

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA**

**“DISEÑO Y MODELACIÓN EN 3D DE DUCTOS Y CAMPANA DE
CAPTACIÓN DE GASES Y POLVOS DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO EN
FUNDICIÓN TALLERES DE ME ELECMETAL”.**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Técnico Universitario en PROYECTOS
DE INGENIERÍA.

Alumno:

Miguel Alejandro Cortés Silva.

Profesor Guía:

Ing. Carlos Antillanca Espina.

2018

RESUMEN

KEYWORDS: DUCTOS DE CAPTACIÓN-HORNO, ARCO ELÉCTRICO, FUNDICIÓN TALLERES.

El presente trabajo trata sobre el diseño de ductos para la captación de gases y polvos de un horno arco eléctrico de la Fundición Talleres de ME Elecmetal ubicada en la ciudad de Rancagua, VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.

Son de considerar las emisiones de gases que produce una fundición de metales ubicada cerca del radio urbano, por lo que el mejoramiento del sistema de captación de los mismos a los hornos de arco eléctrico que posea, proporcionaría una baja considerable en las emisiones que la fundición produce, ya que los equipos filtrantes captan dichas emisiones y las regresan a la atmósfera como aire puro, quedando de esta manera las impurezas en las mangas del filtro, las que deben ser retiradas manualmente.

El objetivo concreto es lograr tanto el diseño de una estructura, como de ductos de captación de gases que se conecten de forma directa al equipo filtrante (filtro de mangas) que posee la Fundición de Talleres en comento, a fin de optimizar, valga la redundancia, la captación de los gases emitidos. Para lo anterior, el diseño contemplará una campana que cubrirá desde el horno de arco eléctrico hasta la entrada del ducto al equipo filtrante, de esta manera, se podrá calcular de forma eficiente la pérdida de gases a través de dicho tramo en relación a la capacidad del equipo filtrante con que se cuenta.

En el Capítulo 1, se reunirán antecedentes generales para el diseño de ductos de captación de gases y polvos, en consideración a sus utilidades y los elementos que lo componen. Asimismo, se realizará una introducción a la ingeniería básica del proyecto, enumerando todos los procesos que conlleva, desglosándolos y explicándolos uno a uno para un entendimiento mayor con el avance de este trabajo de tesis, de esta manera, este capítulo funcionará como marco teórico para introducirse en el tema de los ductos de captación de gases para hornos de arco eléctrico y su necesaria existencia en este tipo de industrias en relación al impacto ambiental asociado.

En el Capítulo 2, se desarrollarán los criterios a considerar para el diseño del sistema de captación de gases, como materiales, diagramas iniciales, así como especificaciones técnicas necesarias para la realización del proyecto, también se analizará el entorno del proyecto, como este puede jugar un rol importante para el diseño e idea del desarrollo de este. Este capítulo apunta a la generación de un proyecto acorde a su entorno, y a la búsqueda constante de explicación del proyecto, por qué se desarrolla en este lugar, motivos y circunstancias de importancia, que moldean el proyecto.

El Capítulo 3, dará cuenta de la información utilizada para llevar a cabo el cálculo de un sistema de captación de gases de un horno eléctrico, como lo son el método y modelo de cálculo, presión del diseño, soportes y altura de ductos, entre otras consideraciones que serán necesarias para el diseño del sistema que se pretende. Del mismo modo, se verá la suportación ideal para el descansa de los ductos de captación de gases, previniendo de esta manera las consecuencias que incluso puede acarrear el acaecimiento de un sismo de mediana o gran intensidad.

En este proyecto, en cuanto a la funcionalidad técnica de la estructura a generar, se sugieren las normas y cálculos relacionados a este tipo de trabajo para generar el diseño más apropiado (SMACNA, único documento oficial de buenas prácticas para este tipo de proyectos), manteniendo los márgenes de lo existente, cumpliendo así con los requisitos pedidos para el desarrollo del proyecto y su posterior realización, tomando en cuenta las cantidades de gases y polvos a filtrar, para la obtención de un ambiente idóneo para el entorno rural del proyecto, el filtro de estos es un resguardo a las personas del entorno y futuros empleadores del recinto, cada costo asociado se refleja en un mejor entorno, en mejorar la calidad de vida y en el menor impacto posible de un proyecto de esta envergadura en el sector.

Un punto importante del proyecto es el valor, para este proyecto se emplean cerca de 2000 kilogramos de acero, este para la fabricación de los ductos, \$20.000.000 aproximadamente. Se emplea un filtro de mangas marca Termovent, el cual posee el caudal de filtro apropiado para el sistema, el cual tiene un peso de 6000 kilogramos, con un valor aproximado de \$45.000.000. Mientras que para la instalación y puesta en marcha de este sistema se consideran 8 semanas (2 meses), la empresa a cargo MIES, considera este plazo, empleando todo lo necesario para llevar a cabo ambos procesos, la empresa entrega el valor por este tipo de trabajo de \$32.002.500. Teniendo en cuenta los puntos anteriores se obtiene un total del proyecto en funcionamiento de \$97.002.500 o UF3600. Todos estos puntos se verán detallados más adelante.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

1

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN **3**

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO 5

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO 5

1.2.1. Objetivo general 5

1.2.2. Objetivos específicos 5

1.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN 6

1.3.1. Generalidades de las captaciones 6

1.3.2. Configuración de un sistema de captación 6

1.3.3. Ubicación de un sistema de captación 9

1.4. CARACTERÍSTICAS CAPTACIÓN CON FILTRO TIPO MANGAS 10

1.4.1. Funcionamiento de filtros de mangas 11

1.4.2. Emisiones de los arcos horno eléctricos 12

1.4.3. Operación de filtración en el proceso 13

1.4.4. Cálculos relacionados a sistemas de captación 14

1.5. GENERALIDADES DE LOS DUCTOS 15

1.5.1. Normas de diseño aplicables a ductos de captación 15

CAPÍTULO 2: INGENIERÍA BÁSICA **18**

2.1. ETAPA INICIAL DEL PROYECTO 20

2.2. CONSIDERACIONES DEL PROYECTO 21

2.2.1. Ubicación de las operaciones 22

2.2.2. Normas y códigos 23

2.2.3. Flujo y velocidad 24

2.2.4. Diámetro ducto 26

2.3. DIAGRAMA DE FLUJO PROYECTO 27

2.4. FACTORES INFLUYENTES EN EL PROYECTO 28

2.4.1. Factores estructurales de la planta 29

2.4.2. Factores ambientales del entorno 30

CAPÍTULO 3: INGENIERÍA DE DESARROLLO	34
3.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO	36
3.1.1. Pérdidas por fricción en tramos rectos de conductos	37
3.1.2. Pérdidas por accesorios	38
3.1.3. Pérdidas por entrada	42
3.2. PONTENCIA DEL VENTILADOR	44
3.3. RESULTADOS RESPECTO A DIAGRAMA	45
3.3.1. Filtro de Horno N°3	46
3.3. SOPORTES DUCTOS	49
3.3.2. Tipos de soportes	49
3.3.3. Silla Soportes	50
3.4. DISEÑO	54
3.4.1. Planos layout ubicación áreas	55
3.4.2. Plano layout general ductos	58
3.4.3. Planos Campana extracción y Captación horno	60
3.4.4. Plano Layout y cortes y elevaciones ductos horno N°3	61
3.5. MODELADO DEL PROYECTO.	66
3.5.1. Diseño final del proyecto	67
3.6. COSTOS DEL PROYECTO	71
3.6.1. Ubicación del material	71
3.6.2. Cotización de filtros	72
3.6.3. Tabla general de valores	72
3.6.4. Tabla valores montaje	73
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Campana extracción	7
Figura 1-2. Ductos de transporte	8
Figura 1-3. Equipo de filtrado, filtro de mangas	8
Figura 1-4. Ubicación sistema de captación, layout planta	9
Figura 2-1. Ubicación del proyecto, imagen satelital	21
Figura 2-2. Diagrama de flujo sistema de captación	26
Figura 2-3. Fachada planta Elecmetal , vista aérea de la zona	27

Figura 2-4.	Techo planta Elecmetal, vista aérea de la zona	28
Figura 2-5.	Climograma ciudad de Rancagua	29
Figura 3-1.	Pérdidas en codos de sección circular	35
Figura 3-2.	Pérdidas de codos de sección cuadrada y rectangular	36
Figura 3-3.	Pérdida de carga en conducto lateral	36
Figura 3-4.	Coeficiente de pérdida en sombreretes	37
Figura 3-5.	Ganancias y pérdidas de presión estática en ensanchamientos	37
Figura 3-6.	Ganancias y pérdidas de presión estática en estrechamientos	38
Figura 3-7.	Coeficientes o factores de pérdidas en entradas al sistema	39
Figura 3-8.	Diagrama de flujo de sistema de captación	42
Figura 3-9.	Silla tipo A	44
Figura 3-10.	Silla tipo B	46
Figura 3-11.	Silla tipo C	47
Figura 3-12.	Soporte S2	48
Figura 3-13.	Soporte S3	49
Figura 3-14.	Soporte S4	50
Figura 3-15.	Plano FTR-0001-MEC-PL-001 Layout general de la planta	51
Figura 3-16.	Plano FTR-0001-MEC-PL-002 Detalle de áreas de la planta	53
Figura 3-17.	Plano FTR-0001-MEC-PL-002 Detalle de horno fusión N°2	54
Figura 3-18.	Plano FTR-0001-MEC-PL-007 Detalle general ductos de la planta	55
Figura 3-19.	Plano FTR-0001-MEC-PL-007 Detalle de layout del proyecto	55
Figura 3-20.	Plano FTR-0001-MEC-PL-0213 Fabricación campana extracción	56
Figura 3-21.	Plano FTR-0001-MEC-PL-0214 Fabricación extracción horno	57
Figura 3-22.	Plano FTR-0001-MEC-PL-0216 Layout ductos horno fusión N°2	58
Figura 3-23.	Detalle de layout ductos horno fusión N°2	61
Figura 3-24.	Plano FTR-0001-MEC-PL-0212 Plano cortes y elevaciones	62
Figura 3-25.	Plano FTR-0001-MEC-PL-0212 Corte B	62
Figura 3-26.	Plano FTR-0001-MEC-PL-0212 Corte E	63
Figura 3-27.	Plano FTR-0001-MEC-PL-0212 Corte G	63
Figura 3-28.	Render Planta Elecmetal	65
Figura 3-29.	Trabajo del proyecto en Autocad 3D	66
Figura 3-30.	Trabajo Proyecto Autocad Plant 3D totalidad del proyecto	66
Figura 3-31.	Trabajo Proyecto Autocad Plant 3D planta del proyecto	67
Figura 3-32.	Render horno de arco eléctrico	68
Figura 3-33.	Render Campana Horno arco eléctrico	68
Figura 3-34.	Render trazados del ductos de sistema de captación	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1.	Normas y códigos	23
Tabla 2-2.	Velocidades de flujo	25
Tabla 2-3.	Dimensionamiento de ductos	26
Tabla 2-4.	Tabla climática de la ciudad de Rancagua	31
Tabla 3-1.	Pérdidas de carga del sistema de captación	45
Tabla 3-2.	Memoria de cálculos sistema de ductos.	47
Tabla 3-3.	Tabla para determinar dimensiones de silla	51
Tabla 3-4.	Tabla para determinar dimensiones del soporte S2	61
Tabla 3-5.	Listado de materiales del proyecto	75
Tabla 3-6.	Listado de montaje del proyecto	72

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS:

AISC	: American Institute of Steel Construction.
AISI	: American Iron and Steel Institute.
ANSI	: American National Standards Institute.
ASME	: American Society of Mechanical Engineers.
ASTM	: American Society for Testing and Materials.
CLP	: Chilean Peso.
ISO	: International Standard Organization.
ME	: Mechanical Engineer.
SMACNA	: Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National.

SIMBOLOGÍAS:

°C:	Grados Celsius.
%:	Porcentaje.
fpm:	Feets per minutes (pies por minuto).
HP:	Horse Power (Caballos de fuerza).
Kg/m ³ :	Kilogramo por metro cúbico.
m:	Metro.
mca:	Metro columna de agua.
µm:	Micrómetro.
mm:	Milímetro.
mmca:	Milímetro columna de agua.
m/s:	Metros por segundo.
m ³ /s:	Metros cúbicos por segundo.
m/ s ² :	Metro segundo por cuadrado.
cfm:	Cubic feet per minute (pies cubicos por minuto)

INTRODUCCIÓN

Un sistema de captación de gases y polvos para un horno de arco eléctrico, es un proceso que se utiliza en las fundiciones de metales principalmente, que sirve para proteger de contaminación ambiental tanto el medio donde se desarrollan las faenas, como el entorno a la planta de fundición, es por ello que incluso existe normativa legal al efecto que debe cumplirse a cabalidad en este tipo de industrias en cuanto a la emisión de gases producidos.

Un sistema de colección de polvos extrae aire contaminado con partículas de polvo o materiales varios del proceso y direcciona el flujo de aire extraído hacia un dispositivo de filtrado donde se separan los contaminantes de la corriente de aire que es enviada hacia la atmósfera.

Existen diferentes tipos de extracción de gases y polvos, incluso observamos cotidianamente algunos, como el de la campana de nuestras cocinas, donde de una simple observación concluimos que todos estos sistemas convergen en los mismos componentes que los conforman, una campana captadora de las emisiones, sistema de ductos de transporte de la corriente de aire con contaminantes, y un equipo de filtrado donde se encuentra el extractor y la chimenea de descarga de aire limpio, con todos esos componentes se logra una extracción adecuada del aire, lo mismo ocurre al tratarse de un horno de arco eléctrico.

Para un proyectista será muy útil conocer sobre este tipo de ductos, ya que se puede encontrar en todo tipo de proyectos industriales, en procesos tales como: trituración de materiales, procesos de empacado de polvos, procesos de fundido, entre otros. Teniendo una noción básica se podrá familiarizar con estos sistemas, y con esto, aplicar conocimientos aprendidos en ramos propios de la carrera como calderería industrial.

En el presente trabajo de título, se podrán conocer los sistemas típicos de ductos y la aplicación de éstos al proyecto de ME Elecmetal Fundición Talleres, específicamente a un horno de arco eléctrico de esta fundición.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN

1. ANTECEDENTES GENERALES Y DOCUMENTACIÓN

En este capítulo se presentará una descripción general de un sistema de captación de gases y polvos, el cual forma el trabajo de titulación que se desarrollará a continuación, explicando los procedimientos a seguir, teniendo en cuenta en la ingeniería básica la necesidad del cliente para el proyecto, así como el entorno que rodea el sector del proyecto.

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto consiste en diseñar y modelar el sistema de captación de gases y polvos para un horno de arco eléctrico para Función Talleres, a fin de mejorar el entorno de trabajo de la fundición y el ambiente que rodea a la industria. Para lo anterior, se proyecta un sistema de captación con diferentes diámetros, siguiendo las normativas que involucran el diseño de ductos de captación para hornos de arco eléctrico, con esos datos se desarrollará un sistema idóneo al entorno del proyecto, en este caso Fundición Talleres, cuyo entorno medioambiental es la localidad de Rancagua.

Todo el proyecto cuenta con la coordinación en terreno, para una mayor comprensión del desarrollo del proyecto y mejor dimensionamiento del proyecto.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

A continuación, se desarrollarán los objetivos fundamentales que conforman el proyecto, desde los objetivos generales hasta los más específicos, que detallarán un poco más como se llevará a cabo, así como los tecnicismos detrás de cada paso que se realizará en un horno de arco eléctrico en Taller Fundición ME Elecmetal.

1.2.1. Objetivo general

Diseñar y modelar un sistema de captación de gases y polvos para un horno de arco eléctrico ubicado en Fundición Talleres ME Elecmetal.

1.2.2. Objetivos específicos

- Aplicar normativas y criterios para el diseño de ductos de captación.
- Dimensionar los requerimientos de captación desde las campanas de extracción hasta los equipos de filtrado.

- Diseñar el sistema de captación, respecto a las medidas y acorde con la estructura civil.
- Confeccionar planimetría, plantas y elevaciones; y modelado 3D en software.

1.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN

En esta sección se darán a conocer las características generales de un sistema de captación de gases y polvos.

1.3.1. Generalidades de las captaciones

Principalmente, un sistema de captación es la extracción de agentes contaminantes de un proceso, en este caso industrial, pero que se puede observar en casos cotidianos, como puede ser una cocina o lugares en que se emitan agentes contaminantes perjudiciales para los seres humanos y al entorno en general. La captación y depuración de partículas presenta una problemática muy diversa en los distintos procesos industriales que generan emisiones a la atmósfera. La recuperación de productos en polvo del gas de descarga es vital para cualquier industria para evitar los problemas de polución o aumentar el rendimiento de la planta.

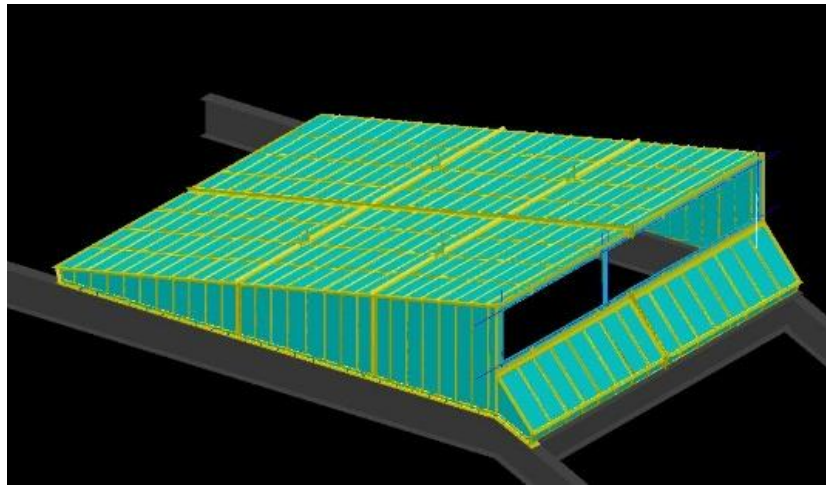
Los filtros de mangas son uno de los equipos más representativos de la separación sólido-gas mediante un medio poroso: aparecen en todos aquellos procesos en los que sea necesaria la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa. Eliminan las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido.

La eliminación de polvo o de las pequeñas gotas que arrastra un gas, es necesaria, bien por motivos de contaminación, para acondicionar las características de un gas a las tolerables para su emisión a la atmósfera, o bien, como necesidad de un proceso para depurar una corriente gaseosa intermedia en un proceso de fabricación. En ocasiones el condicionante de la separación será un factor de seguridad, ya que algunos productos en estado de partículas muy finas forman mezclas explosivas con el aire.

1.3.2. Configuración de un sistema de captación

Un sistema de captación por filtro de mangas está generalmente conformado por tres grandes partes, las cuales se analizarán a continuación, junto con el orden correspondiente según su funcionamiento en el proceso de captación.

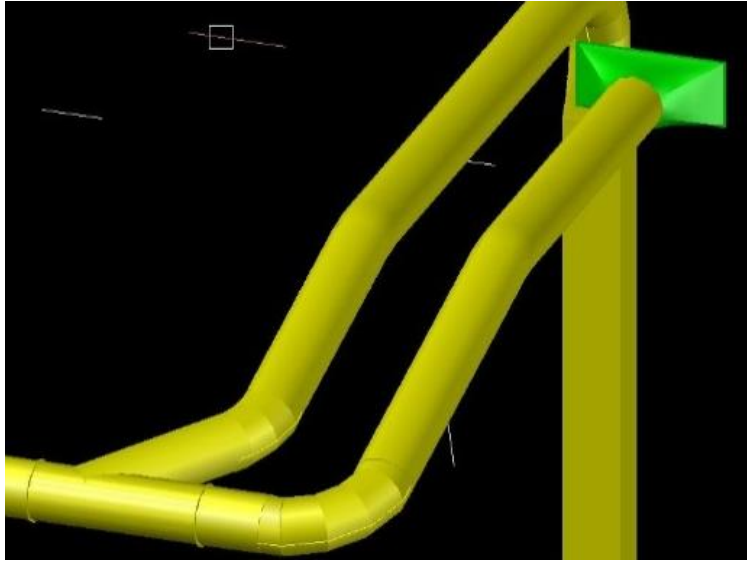
- **Campana de extracción:** Una campana de gases, campana de humos o campana extractora es un tipo de dispositivo de ventilación local que está diseñado para limitar la exposición a sustancias peligrosas o nocivas, humos, vapores o polvos. Cumplen una misión similar a las campanas extractoras existentes en muchas cocinas para evacuar los humos y vapores producidos al preparar alimentos, pero las campanas de gases son específicas de los laboratorios de investigación, donde se trabaja con gases peligrosos producidos. (Figura 1-1).



Fuente: Elaboración propia, derivado de cálculos y tamaño horno.

Figura 1-1. Campana extracción.

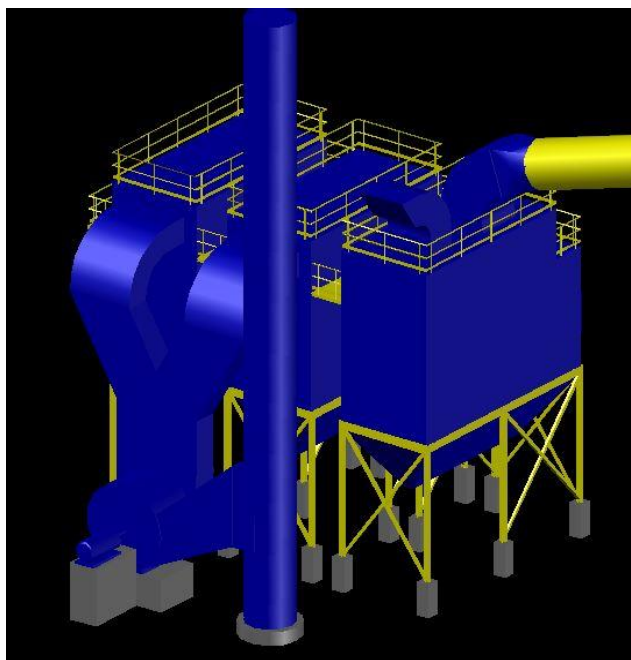
- **Ductos de transporte:** Como su nombre lo indica, éstos transportan el fluido (gases y polvos) desde la campana de extracción hasta el equipo de filtrado, asumiendo que estos contaminantes vienen desde los hornos arco eléctricos. Lo más relevante de los ductos es su diámetro y el recorrido que estos tomen, cuyos datos son imprescindibles para llevar a cabo el diseño del recorrido de estos mismos, para esto, es necesario conocer todas las generalidades respecto a velocidades del equipo de filtrado, área de extracción de la campana, y el tipo de fluido a extraer. Generalmente, estos ductos toman diámetros de gran envergadura, por lo que se emplean sobre el techo de la estructura con soportes que se ubican sobre el marco del techo (Figura 1-2). Siempre dependerán del flujo que estos deberán extraer, ya que hasta el material del ducto puede cambiar respecto al fluido del interior, tanto como el caudal del fluido que recorrerá por el interior de este, determinará el tamaño del diámetro.



Fuente: Elaboración propia, ductos de captación diseñados en AutoCAD.

Figura 1-2. Ductos de transporte.

- **Equipo de filtrado:** El equipo de filtrado es la parte esencial del sistema de captación de gases y polvos, ya que gracias a éste se logra la separación de las partículas sólidas del aire extraído, una vez realizado el proceso, el aire ya libre de dichos contaminantes es liberado a la atmósfera; las consecuentes partículas de polvo o materiales sólidos son retenidas en las mangas del filtro, que posteriormente serán retiradas por debajo del equipo, por camiones o carros. Los filtros de mangas son los más idóneos para este sistema, ya que en las mangas se atrapan los agentes contaminantes de manera más eficiente, dejando salir el aire limpio al exterior (Figura 1-3).

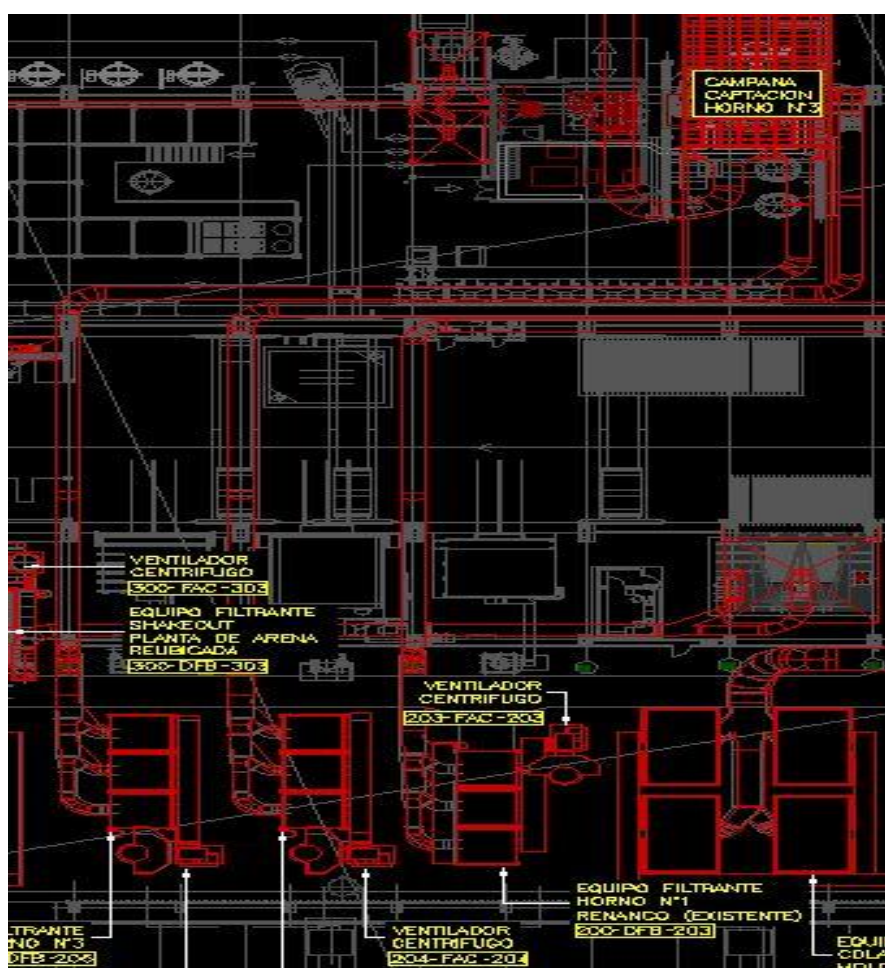


Fuente: Levantamiento equipo filtro de mangas, a partir de planos entregados por proveedor.

Figura 1-3. Equipo de filtrado, filtro de mangas.

1.3.3. Ubicación de un sistema de captación

Un sistema de captación se emplazará principalmente dependiendo del área que se desee filtrar, con una campana de extracción de gases y ductos de transporte de aire que seguirán su recorrido hasta el filtro de mangas dependiendo del caso. En los diseños de sistemas de captaciones, generalmente se debe dejar una entrada en la parte inferior del equipo filtrante, donde se recolectarán los agentes contaminantes albergados en las mangas del filtro, éstos son retirados por camiones o carros especialmente diseñados para esta labor, por ello los filtros deben ir cerca de caminos adyacentes o líneas de carros cercanas ya diseñadas o predeterminadas al efecto. La línea de ductos, en la mayoría de los casos se encuentra en el exterior, debido a que los diámetros de éstos ocupan demasiado espacio para ir en el interior de la planta industrial, aunque existen casos de ductos interiores, los que se pueden observar cuando el ducto tiene menores diámetros o no se puede realizar el trazado para el ducto, el que debe abarcar como ya se mencionó, desde la campana de extracción hasta el equipo filtrante, tomándose en cuenta en su ubicación o recorrido la suportación del sistema de ductos, los que no pueden instalarse sin soportes, a fin de lograr mantener una posición determinada (Figura 1-4).



Fuente: Elaboración propia plano Layout general.

Figura 1-4. Ubicación sistema de captación, layout planta.

1.4. CARACTERÍSTICAS CAPTACIÓN CON FILTRO TIPO MANGAS

Los filtros de mangas son uno de los equipos más representativos de la separación sólido-gas mediante un medio poroso, aparecen en todos aquellos procesos en los que sea necesaria la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa. Eliminan las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido.

La eliminación de polvo o de las pequeñas gotas que arrastra un gas puede ser necesaria bien por motivos de contaminación, para reacondicionar las características de un gas tóxico a las tolerables para su emisión a la atmósfera, o bien, como necesidad de un proceso para depurar una corriente gaseosa intermedia en un proceso de fabricación. En ocasiones, el condicionante de la separación será un factor de seguridad, ya que algunos productos en estado de partículas muy finas forman mezclas explosivas con el aire.

Los filtros de mangas son capaces de recoger altas cargas de partículas resultantes de procesos industriales de muy diversos sectores, tales como: cemento, yeso, cerámica, caucho, química, petroquímica, siderúrgica, automovilística, cal, minera, amianto, aluminio, hierro, coque, silicatos, almidón, carbón, anilina, fibras, granos, etc.

Descrito en términos simples, el filtro de tela es una versión a gran escala de una aspiradora, se provoca que el gas efluente fluya a través del material del filtro y que las partículas queden retenidas sobre este material. Los mecanismos que intervienen en el filtro de tela son más complejos que el tamizado directo de las partículas para separarlas de la corriente de aire, esto se prueba por medio de las eficiencias elevadas que se obtienen al colectar partículas, las cuales son más pequeñas que los intersticios en la tela del filtro.

La unidad básica de un filtro de tela es la fibra y los poros de éstas son más grandes en general que las partículas que se van a colectar. La recolección ocurre como resultado de la operación de varios mecanismos, de tal manera que la fibra intercepta directamente las partículas en el momento en que la trayectoria del flujo que las contiene pasa a través de la fibra quedando atrapadas en la porosidad de la misma, lo anterior, debido a que el tamaño del diámetro de las partículas normalmente es del doble que el de las ranuras de la fibra de la tela del filtro, lo que se tuvo en cuenta en el momento del diseño de la misma, a fin de que el flujo de gas siga el curso predeterminado y los agentes tóxicos se adhieran a la tela. En cuanto a las partículas de tamaños más pequeños, hacen contacto con la fibra como resultado de su propio movimiento al azar (movimiento browniano) en la corriente de gas, y otras se ponen en contacto como resultado de la atracción electroestática.

Con el tiempo, se va formando una costra que incrementa la eficiencia de los filtros, pero disminuye la velocidad de flujo. Por consiguiente, la maraña del filtro se

tiene que remover a intervalos mediante agitación de la tela o al invertir el flujo de aire, o ambos.

En cuanto al proceso de recogida de polvo o eliminación de partículas dispersas en gases se efectúa para finalidades tan diversas como:

- Control de la contaminación del aire.
- Reducción del coste de mantenimiento de los equipos.
- Eliminación de peligros para la salud o para la seguridad.
- Mejora de la calidad del producto.
- Recuperación de productos valiosos.
- Recogida de productos en polvo.

1.4.1. Funcionamiento de filtros de mangas

En lo que se refiere a funcionamiento, la separación de las partículas sólidas de los gases, se efectúa haciendo pasar el aire con partículas en suspensión mediante un ventilador a través de la tela que forma la bolsa, de esa forma, las partículas quedan retenidas entre los intersticios de la tela formando una torta filtrante. Es así como la torta se va engrosando con lo que aumenta la pérdida de carga del sistema, y para evitar que el caudal disminuya se procede a efectuar una limpieza periódica de las mangas.

Los filtros de mangas constan de una serie de bolsas con forma de mangas, normalmente de fibra sintética o natural, colocadas en unos soportes para darles consistencia y encerrarlos en una carcasa de forma y dimensiones muy similares a las de una casa. El gas sucio al entrar al equipo, fluye por el espacio que está debajo de la placa a la que se encuentran sujetas las mangas y hacia arriba para introducirse en las ellas, a continuación, el gas fluye hacia afuera de las mangas dejando atrás los sólidos. De esta manera, el gas limpio fluye por el espacio exterior de los sacos y se lleva por una serie de conductos hacia la chimenea de escape.

Los filtros además contienen una serie de paneles para distribuir el aire, dispositivos para la limpieza de las mangas y una tolva para recoger las partículas captadas.

La característica principal que diferencia unos tipos de filtros de mangas de otros, es la forma en que se lleve a cabo su limpieza. Esto además condiciona que los filtros sean continuos o discontinuos, siendo continuos aquellos en que la limpieza se realiza sin que cese el paso del aire por el filtro; y discontinuos, aquellos en que es necesario aislar temporalmente la bolsa de la corriente de aire para su limpieza. Según este criterio, se tienen tres tipos principales de filtros de mangas:

Los por sacudida: son aquellos en que existe la posibilidad de suspender el servicio del filtro durante un corto periodo de tiempo, por tanto, exige un funcionamiento discontinuo con un ciclo de filtración y otro de limpieza. El tipo más

barato y sencillo consiste en un cierto número de bolsas reunidas en el interior de una carcasa y funciona con una velocidad aproximada de 0,01 m/s a través de la bolsa filtrante. En éstos la limpieza se puede llevar a cabo manualmente para unidades pequeñas.

Existe también una versión más complicada y robusta que incluye un mecanismo automático de agitación para la limpieza de las telas que puede funcionar por métodos mecánicos, vibratorios o de pulsación. Aquí las bolsas están sujetas a un soporte mecánico conectado a un sistema capaz de emitir sacudidas o vibraciones mediante un motor eléctrico. Al ser el tejido más grueso, se pueden utilizar velocidades frontales más elevadas, de hasta 0,02 m/s, y permite el funcionamiento en condiciones más severas que las admisibles en el caso anterior.

Los por aire inverso: son aquellos donde el mecanismo habitual de limpieza consiste en la introducción, en contracorriente y durante un breve periodo de tiempo, de un chorro de aire a alta presión mediante una tobera conectada a una red de aire comprimido. En éstos la velocidad frontal alcanza aproximadamente 0,05 m/s y es posible tratar altas concentraciones de polvo con elevadas eficacias. Mediante este tipo de filtro se pueden tratar mezclas de difícil separación en una unidad compacta y económica. Este mecanismo de limpieza se denomina también de chorros pulsantes o “*jet pulse*” y resulta ser más eficaz que las anteriores.

Los mixtos: son aquellos en que la limpieza se efectúa mediante impulsos de aire comprimido a través de un programador de ciclos con variación regulable de tiempo y pausa.

Para una correcta efectividad en un sistema de filtración de polvo hay que tener en cuenta las características del polvo a tratar, grado de humedad, temperatura, espacio disponible y otros factores específicos.

1.4.2. Emisiones de los arcos horno eléctricos

En lo que se refiere a emisión, siempre en la vanguardia de las nuevas tecnologías de depuración de gases se dispone de un buen equipo de técnicos especialistas, con amplia experiencia en este campo, que han desarrollado acabados programas de equipos de filtración de polvo de alta calidad, pensados para cubrir todas las necesidades del mercado con la garantía y nivel de exigencia del futuro.

La característica fundamental de nuestro programa de filtros es su alto rendimiento y su facilidad de mantenimiento. Toda la manipulación de los elementos se efectúa en la cámara de zona limpia, sin tener que entrar dentro del filtro en contacto con el polvo.

Un estudiado diseño permite su configuración modular pudiendo variar su capacidad en anchura y altura, consiguiendo la máxima superficie filtrante en el mínimo espacio. Su construcción es robusta y compacta.

La elección del tejido filtrante depende del tipo de polvo a retener y el nivel de emisión deseado. Existe una gama de tipos y calidades específicas para cada caso, que permiten trabajar a temperaturas de hasta 500 °C. Para seleccionar el tipo de manga necesaria se debe considerar:

- Resistencia química y térmica al polvo y al gas.
- Desprendimiento fácil de la torta.
- Eficiencia en la recolección de polvo.
- Resistencia a la abrasión por el polvo del caudal y la velocidad del gas.

El tamaño de las partículas a separar por los filtros de mangas será entre 2 y 30 µm. Sin embargo, no es usual disponer de medios filtrantes con poros tan pequeños como para retener las partículas que transporta el gas, debido a que los diámetros de éstas son extraordinariamente pequeños. Por tanto, la filtración no comienza a efectuarse de manera efectiva hasta que no se han acumulado una cierta cantidad de partículas sobre la superficie de la bolsa en forma de torta filtrante.

Así puede decirse que el sistema de filtración que se da en los filtros de mangas es análogo al de los filtros por torta, donde el medio filtrante actúa únicamente como soporte de la torta y es ésta la que realiza realmente la operación.

1.4.3. Operación de filtración en el proceso

Una corriente de gas cargado de polvo entra al equipo, choca contra una serie de paneles y se divide en varias corrientes.

Las partículas más gruesas se depositan directamente en el fondo de la tolva cuando chocan contra dichos paneles.

Las partículas finas se depositan en la superficie del tejido cuando el gas pasa a través de la bolsa. Una vez que el gas ha sido filtrado, éste fluye (ya limpio) a través de la salida y se descarga a la atmósfera por medio de un ventilador. Las partículas depositadas en la superficie de la bolsa se sacuden durante un breve periodo de tiempo por medio de aire comprimido inyectado desde una tobera hacia la bolsa, o bien de manera mecánica.

El chorro de propulsión actúa periódicamente mediante un controlador automático de secuencia. El polvo recogido en el fondo de la tolva se descarga mediante un transportador de tornillo helicoidal y una válvula rotativa. La limpieza de las mangas no es completa en ningún caso debido a la dificultad para desprender la torta en su totalidad y también porque, si se aplicaran procedimientos más vigorosos de limpieza, el

desgaste de las mangas sería mayor y se provocaría un mayor número de paradas de planta motivadas por el cambio de las mangas.

La eficacia del filtro será baja hasta que se forme sobre la superficie del tejido filtrante una capa que constituye el medio filtrante para la separación de partículas finas. Una vez superada la fase inicial, los filtros de mangas son equipos muy eficientes (sus eficacias sobrepasan con frecuencia el 99,9%), con lo que su aplicación en la industria es cada vez mayor.

La limitación más importante que se da en los filtros de mangas es la debida a la temperatura, ya que se debe tener en cuenta el material del que está constituida la tela para conocer la temperatura máxima que se puede aplicar.

Así, para fibras naturales la temperatura máxima a aplicar es alrededor de 90 °C. Los mayores avances dentro de este campo se han dado en el desarrollo de telas hechas a base de vidrio y fibras sintéticas, que han aumentado la temperatura máxima aplicable hasta rangos de 230 a 260 °C. Modernas fibras cerámica permiten trabajar hasta 500 °C con puntas de 600 °C.

Otros factores que pueden afectar a la operación del filtro de mangas son el punto de rocío y el contenido de humedad del gas, la distribución del tamaño de las partículas y su composición química.

1.4.4. Cálculos relacionados a sistemas de captación

Los dos parámetros fundamentales a considerar en el diseño de un filtro de mangas son la velocidad del gas y la pérdida de carga.

La velocidad a la que los gases pasan por la tela debe ser baja, normalmente entre 0,005 y 0,03 m/s, para evitar una excesiva compactación de la torta de sólidos con la consiguiente elevación de la pérdida de carga, o para impedir la rotura local del lecho filtrante que permitiría el paso de partículas grandes a través del filtro.

Para mantener una velocidad aproximadamente constante es evidente que se debe aumentar la presión a medida que aumenta el espesor de la torta. Para realizar esta función de aumento de la presión se dispone de un ventilador o una soplante, que se encargará de impulsar el gas.

Normalmente la resistencia del material filtrante es depreciable en comparación con la de la torta de modo que el volumen del gas procesado resulta proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de filtración.

Para determinar la capacidad de un filtro de mangas se debe tener en cuenta:

- La cantidad de gas a filtrar.
- Si se va a disponer de varios equipos en paralelo.
- Si va haberá algún equipo detenido durante el proceso.

1.5. GENERALIDADES DE LOS DUCTOS

Para conocer más respecto a los ductos es necesario conocer las normativas referentes a éstos, para tener mayor claridad respecto al futuro diseño de los ductos. En Chile no existen normativas respecto a los ductos, por lo que, al buscar en normativas internacionales, el SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association), esto es, el estándar americano de construcción de ductos, se empleará como normativa referente para el diseño y construcción del sistema de ductos para el proyecto.

1.5.1. Normas de diseño aplicables a ductos de captación

La norma a utilizar en este proyecto para la construcción es la ya nombrada SMACNA, ya que en nuestro país no existen normas reguladoras del diseño y construcción de ductos. El estándar de esta norma de construcción, está creado para los contratistas, fabricantes y diseñadores de sistemas de control de limpieza de aire y sistemas industriales de ventilación.

En 1977 fue la primera edición de estos estándares de soportes con las primeras calibraciones de los ductos, reforzándolos para la aplicación en sistemas industriales. Desde su primera edición estos estándares ayudaron enormemente, siendo aplicados en la industria por muchos años; pero como la tecnología fue avanzando, y las industrias evolucionando tecnológicamente, la SMACNA también debió ir adaptándose a los nuevos requerimientos de la industria, reestructurando el manual de diseño y construcción; lo que conlleva a la aplicación de softwares dependientes del SMACNA para ser más “amigable” el entorno de trabajo¹.

¹ SMACNA, Segunda edición, Septiembre 1999, Round industrial duct construction standards, Lafayette Virginia, Estados Unidos de América, ANSI, capítulo 1, páginas 1.1 a 1.3

CAPÍTULO 2: INGENIERÍA BÁSICA

2. INGENIERÍA BÁSICA

En este capítulo se abarcan las distintas etapas de la ingeniería básica que da forma al proyecto, desde las normativas, velocidades mínimas por contaminantes dependiendo del proceso, hasta el diagrama de flujo que conlleva el diseño más básico del proyecto. Asimismo, se debe considerar el entorno que rodea a las instalaciones del proyecto, y las ideas fundamentales para comenzar con el diseño y dar forma al trabajo. A priori, se debe realizar un diseño previo al definitivo, tomando en cuenta las ideas iniciales que se considerarán para lograr un mejor y más eficiente ejemplar final. Todo lo necesario para la realización de un diseño preliminar se encontrará recopilado en este capítulo, además de información relativa al lugar de emplazamiento de las instalaciones.

2.1. ETAPA INICIAL DEL PROYECTO

El siguiente proyecto consiste en el diseño de un sistema de captación de gases para una fundición de metales, ubicada dentro del radio urbano de la ciudad de Rancagua, produciendo como promedio 15.000 toneladas anuales en piezas de acero, principalmente para la gran minería, a través de procesos de fundición de chatarra, moldeo, enfriamiento, tratamiento térmico y terminaciones. ME Elecmetal es una empresa con más de 100 años de experiencia en el rubro de ingeniería y producción de piezas y trabajos a la gran minería, desde procesos de chancado y molienda, hasta diseño y maestranza de piezas mecanizadas, dentro de ese último punto se encuentra la planta denominada Fundición Talleres, que es donde se llevará a cabo el proyecto.

El sistema de captación será diseñado para adecuarse a la estructura ya existente de la planta Fundición Talleres, considerando la arquitectura, estructura y generalidades que presente la empresa para guiar el recorrido de ductos al filtro de aire del horno, así como se verán antiguos filtros de manga ya instalados, asegurando un funcionamiento ya establecido para la planta. También se deberán diseñar soluciones estructurales para lograr el perfecto funcionamiento y viabilidad del proyecto sobre lo ya existente, diseño de estructuras para soportar los ductos (soportes) y perfiles para soportar las campanas de los arcos horno eléctrico.

Los conductos de un sistema de ventilación localizada deben cumplir la función de llevar el aire contaminado desde las diferentes campanas al punto de descarga, esto mediante un adecuado diseño asegurando que en cada campana se capte el caudal de aire requerido a la velocidad adecuada de transporte, para de este modo lograr que cada filtro pueda limpiar lo que genere cada campana.

En cuanto a los objetivos específicos, primero, se deben dimensionar los ductos del sistema de captación de gases de los hornos de arco eléctrico para que el caudal de aire que se genere sea concordante con la capacidad del filtro, lo que se calculará para

cada horno arco eléctrico caso a caso; segundo, determinar la pérdida de carga en el sistema hasta el flange de conexión al equipo filtrante del horno, asumiendo la pérdida de carga referencial en el equipo filtrante (que deberá ser corroborada por el Vendor); y tercero, estimar la potencia de los ventiladores centrífugos. Todo esto se realiza bajo la supervisión de un ingeniero, o en su defecto, el ingeniero deberá realizar por su propia cuenta este trabajo, el proyectista en tanto se encargará de desarrollar el diseño acorde a los cálculos ya realizados, permitiendo el trabajo conjunto de ambos para el perfecto desarrollo del proyecto.

2.2. CONSIDERACIONES DEL PROYECTO

Para el diseño del sistema se debe considerar el flujo, velocidad, tamaño (diámetro) y pérdidas de carga en el sistema, y, por consiguiente, la potencia del ventilador, lo cual se realizará mediante el método de *“equilibrio por diseño”*. Se posee un equipo filtrante con una capacidad ya asignada por catálogo, por lo cual el diseño debe ir directamente relacionado a esta especificación dada por el proveedor del equipo. El método de *“equilibrio por diseño”* consiste en lograr la distribución de los caudales en los distintos tramos, que deben ser iguales o mayores que los caudales de diseño, sin el empleo de las compuertas de regulación. El cálculo comienza en las campanas conectadas a conductos con mayores resistencias, y a partir del caudal de diseño establecido para cada una de ellas, se elige la velocidad de transporte mínima adecuada al contaminante generado, luego se calcula el área y las dimensiones de cada conducto que concurren a un mismo nudo, más adelante se verán las fórmulas relacionadas a este método, en el siguiente capítulo.

Los principios básicos de los cálculos son los planteados por Bernoulli, ya que el aire dentro del sistema se considera como un fluido, el aire en si es un fluido compresible, pero la presión, generalmente del orden de los 500 milímetros de columna de agua (mmca) o su equivalente en pascales (Pa) de valor máximo y la temperatura, del orden de los 15° C a los 45° C que normalmente se producen en los conductos de un sistema de ventilación localizada, no afectan de manera significativa la densidad del aire. Por lo tanto, se supone al aire como un fluido incompresible, y se utilizan las expresiones de Bernoulli para estudiar el comportamiento del aire en los conductos de los sistemas de ventilación localizada, como en el del proyecto. Al analizar el comportamiento de éste en un espacio cerrado, primeramente, Bernoulli la planteó como un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) y en su obra prima *“Hidrodinámica”*, bajo las circunstancias descritas anteriormente, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. Esto es, bajo los conceptos básicos que se plantean, se pueden aplicar al proyecto los principios básicos del fluido, podemos llegar a la

conclusión de que mientras el área transversal de una tubería (en este caso el ducto de captación) es un punto esencial en el diseño de ductos, ya que, si el área transversal se reduce, se aumenta la velocidad del fluido, y por consecuencia, se reducirá la presión del fluido.

Con todos estos datos generamos las primeras consideraciones del proyecto, al menos las que hasta este punto se deben tomar en cuenta, esto también nos ayuda a tener más precauciones, y de esta manera disminuir el riesgo de imprevistos para la realización del proyecto de la mejor forma posible.

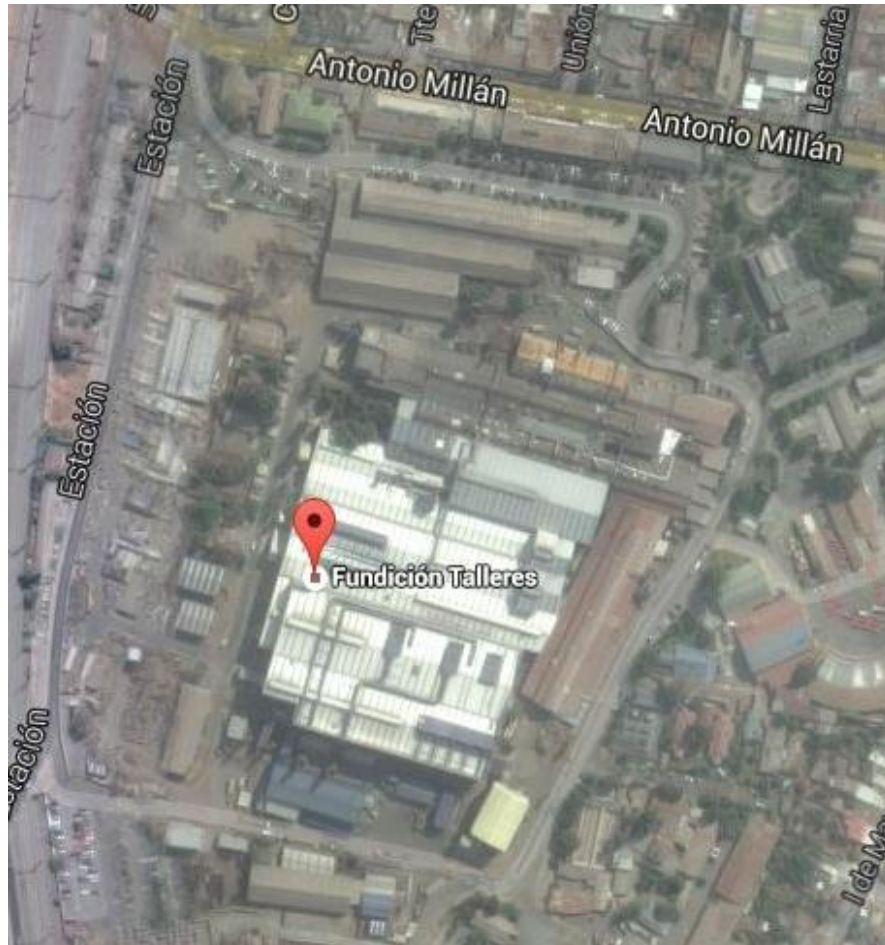
2.2.1. Ubicación de las operaciones

El detalle de la ubicación de las operaciones se encuentra en el documento denominado FTR-0001-MEC-PL-0001 “*Condiciones de sitio*” se encuentra en los anexos A: Planos del proyecto. La ubicación del proyecto es la ciudad de Rancagua, VI Región del Libertador General Bernardo O’Higgins, Chile. En la Figura 2-1 Ubicación del proyecto, imagen satelital se puede apreciar una foto geo-referenciada del lugar, a través del sitio Google Maps, aplicación gratuita para ver localidades o sitios remotos y lograr una apreciación más clara de la locación y del entorno del proyecto, en esa misma plataforma (pagina de internet) se puede ver las calles aledañas, casas, y demás industrias cercanas a la planta.

El terreno donde se encuentra la planta es un sitio industrial, donde la estructura principal del proyecto ya se encuentra construida, y se puede ver el entorno industrializado del proyecto, aunque igualmente se encuentran viviendas alrededor de la planta, siendo éste uno de los motivos más importantes para el planteamiento de filtros para los hornos de arco eléctrico, la salud de las viviendas continuas, al mismo tiempo que el cuidado del medio ambiente, temas de la contingencia nacional, que no se deben dejar pasar en todo tipo de proyectos industriales, cuidar el entorno del proyecto y la sustentabilidad del mismo son factores importantes para que una empresa de esta envergadura sea valorada por los habitantes que rodean su entorno, una evaluación ciudadana positiva es un plus para este tipo de industrias, generalmente mal vistas por los cohabitantes de su entorno.

Como dato histórico podemos señalar que la Avenida Antonio Millán, donde se encuentra situada la planta, es la arteria vial que demarca el centro histórico de la ciudad de Rancagua por el Sur. En la Batalla de Rancagua, fue el lugar por donde entraron las fuerzas realistas de Mariano Osorio al centro de la ciudad.

Es un lugar lleno de historia, un lugar unico dentro de la ciudad por su ubicación, y un lugar donde ya se han emplazado otras industrias, por lo que el impacto del emplazamiento, no será un problema.



Fuente: Google Maps.

Figura 2-1. Ubicación del proyecto, imagen satelital

2.2.2. Normas y códigos

El cálculo de la geometría de ductos, fittings y elementos estándar que constituyen el sistema de ductos de captación de gases y polvos, debe estar en conformidad con todas las leyes, decretos, normas y códigos, entendiendo estos últimos como compendio de leyes, que resulten aplicables al proyecto.

A continuación, en la Tabla 2-1, se verán las normas y códigos más importantes para el proyecto, y se desglosan para una mayor comprensión e investigación de las mismas. Cabe destacar que en Chile no existen normas específicamente relacionadas a los ductos de captación de gases de hornos de arco eléctrico, por lo que las normas que se analizan en la Tabla 2-1 serán sólo normas internacionales referentes al diseño de este proyecto, ya que son las únicas aplicables a un proyecto de esta envergadura, al tratarse sólo de normativa internacional, sólo se observan normas con descripciones en inglés, la gran mayoría de estas siglas se ven dentro del proyecto o en el manual SMACNA, que es fundamental al momento del diseño de cada una de las partes que conforman los ductos de captación de los hornos arco eléctricos.

Tabla 2-1. Normas y Códigos.

Sigla	Descripción
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
AISC	American Institute of Steel Construction.
AISI	American Iron and Steel Institute.
AMCA	Air Moving and Conditioning Association.
ANSI	American National Standards Institute.
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers.
ASME	American Society of Mechanical Engineers.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
AWS	American Welding Society.
ISO	International Standard Organization.
NFPA	National Fire Protection Association.
OSHA	Occupational Safety and Health Administration.
SMACNA	Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National.

Fuente: Elaboración propia, respecto a recopilación de datos utilizados en el proyecto.

2.2.3. Flujo y velocidad

Se han tomado como base del diseño las velocidades de flujo recomendadas en la norma “*Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National*” (SMACNA), en esta tabla se destacan las distintas naturalezas de los gases y polvos, los cuales se denominan como lo que en realidad son, contaminantes del medio ambiente, uno de los grandes motivos por los que deben ser diseñados los ductos de captación. Asimismo, se dan ejemplos para cada uno de los contaminantes a fin de asociarlos a un proceso en específico, se exponen las diferentes características de los contaminantes, nivel de abrasión del polvo o gas contaminante, la concentración de éstos, entre otras especificaciones expuestas en la Figura 1-5. Del mismo modo, se logra apreciar en la figura que el ducto a diseñar se encuentra en los ductos de clase 3, que son aquellos relacionados con el promedio industrial, ya que los contaminantes emitidos por un horno arco eléctrico se encuentran dentro del promedio de los típicos de contaminantes dentro de un proceso industrial, teniendo esa descripción y según la tabla la velocidad mínima de transmisión que debe tener el contaminante, que en este caso sería de 3500 – 4000 fpm (feet per minutes/pies por minuto) o 18 -20 m/s (metros por segundo), podemos concluir que serán éstos los valores de velocidad mínima de transmisión para el sistema de captación. En la Tabla 2-2 Velocidades de flujo Se pueden apreciar las distintas velocidades de transmisión mínima de los distintos tipos de gases y polvos. En la

primera columna, se aprecia la clase del ducto de 1 a 5, dependiendo del tipo de fluido o sólido que se encuentre en el interior del ducto, puede ser gas, humo, vapor, polvo fino, harinas, polvo industrial general, polvos pesados, o humos corrosivos, dependiendo del proceso industrial a examinar; en la segunda columna, se encuentra la naturaleza del contaminante, fluido o sólido interior ducto, denominaciones naturales del contaminante; en la tercera columna, se denomina y especifica con ejemplos al contaminante, tipo de abrasión, y qué clase de proceso o trabajo lo genera, de esta manera se puede identificar por el tipo de proceso el contaminante que se origina; en la cuarta columna, se especifica el grado de concentración dependiendo de la naturaleza del contaminante, desde “*none*” (ninguno), “*light*” (leve), hasta “*high*” (alto); en la quinta columna, se especifica el grado de abrasión del contaminante, que al igual que en la columna anterior se utilizan las mismas categorías: “*none*”, “*light*” y “*high*”; en la sexta columna, se detalla la velocidad mínima de transporte del contaminante, la cual varía dependiendo de los puntos anteriormente mencionados en cada una de las columnas de la tabla, y se especifican en fpm (feet per minutes/pies por minuto) y en m/s (metros por segundo).

Asimismo, el flujo de gas o polvo que se considerará en los cálculos será el valor declarado por el Vendor del equipo emisor o el declarado por la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), el que resulte más restrictivo.

Cabe destacar que la Tabla 2-2 Velocidades de flujo sólo se considerará de modo referencial, y dependerá de un estudio de ingeniería de la especialidad en terreno de las emisiones que deben ser filtradas, generar un promedio de las mismas, y así tener pruebas fehacientes del fluido a ser filtrado. Siempre serán los estudios en terreno la única forma para tener el dato objetivo y en detalle de los fluidos, y en este caso particular, un estudio de las emisiones de los hornos arco eléctrico, que ayude con un resultado fehaciente de las emisiones a filtrar.

Guiándonos por la tabla, se obtiene un ducto de clase 4 (polvo pesados, que según la especificación o ejemplos de la tabla abarca el punto de fundición de metales) estos fluidos pueden contener pequeñas partes de metales, no siempre, pero se deben tener bajo control todos los casos que puedan ocasionar un problema al ducto, la concentración es alta, ya que al contener partes sólidas se considera alta concentración, por lo que esto ayuda a entender la alta resistencia que debe tener el ducto, para no tener problemas en un futuro cercano.

Asimismo, por la temperatura con la que se maneja en promedio los hornos de arco eléctrico, la abrasión resulta del mismo modo alta por los motivos ya mencionados; mientras que la velocidad mínima de transporte del fluido es de 4000 – 4500 fpm. Estos datos fueron tomados directamente de lo que establece la Tabla 2-2 Velocidades de flujo, por lo que quedan bajo la evaluación de la ingeniería en terreno, para obtener los datos concretos que arroje el estudio particular.

Tabla 2-2. Velocidades de flujo.

Duct Class	Nature of Contaminant	Examples	Concentration	Abrasion	Minimum Conveying Velocities fpm (m/s)
1	Gases	Non-abrasive, non-corrosive applications, including contaminated duct sections of make-up air and general ventilation systems, and gaseous emission control systems.	None	None	1000 – 2000 (5 – 10)
	Fumes, Vapors, Smoke and Aerosols (Spray, Mists, and Fog)	Zinc and aluminum oxide fumes, welding fumes, paint overspray, etc.	Light	None	2000 – 2500 (10 – 13)
2	Very Fine, Light Dust	Cotton lint, wood flour, litho powder, etc.	Light	Light	2500 – 3000 (13 – 15)
	Dry Dusts and Powders	Fine rubber dust, Bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, light shavings, leather shavings, soap dust, dry fine sawdust, grain dust, and buffing and polishing dust	Low	Moderate	3000 – 4000 (15 – 20)
3	Average Industrial Dust	Class 3 materials in low to moderate concentrations, including granite dust, silica flour, material handling (general), brick cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, abrasive cleaning operations, dryers, kilns, boiler breaching, sand handling, manganese, steel chips, coke, etc.	Moderate	High	3500 – 4000 (18 – 20)
		Class 2 materials in moderate to high concentrations, including sawdust (heavy and wet), grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, etc.	High	Moderate	
4	Heavy Dusts	Class 3 materials in high concentrations, metal turnings, foundry shakeout and tumbling barrels, sand blast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast iron boring dust, lead dust, etc.	High	High	4000 – 4500 (20 – 23)
	Heavy, Moist, and Sticky Dusts	Lead dust with small chips, moist cement dust, wet furnace slag, wet mortar, buffing lint (sticky), quick lime dust, etc.	High	High	4500 and up (23 and up)
5	Corrosive Fumes	Corrosive applications; laboratory fume hoods, plating tanks containing corrosive chemicals, etc.	Light	None	1000 – 2000 (5 – 10)

Fuente: Recopilación del Manual SMACNA.

2.2.4. Diámetro ducto

En la Tabla 2-3, se considera el “*dimensionamiento*”, entendiendo por tal el sistema para definir y comunicar tolerancias de fabricación, y entendiendo a su vez la voz “*tolerancia*” en el campo de la ingeniería y el diseño, como el margen de error admisible en la fabricación de un producto.

En el caso de los ductos de captación de gases y polvos de un horno, su dimensionamiento dependerá de cada equipo filtrante, teniendo en cuenta factores tales como el tipo de gas que este equipo emite, el flujo que recorre, y la temperatura que alcanzarán los gases dentro del proceso de filtrado; todos datos que resultan imprescindibles para llevar a cabo el proceso de calcular las dimensiones de los ductos del sistema de captación de gases del horno y serán considerados como parámetros del diseño.

Tabla 2-3. Dimensionamiento de ductos.

Equipo	Emisión	Flujo [cfm] ² (m ³ /s)	Temperatura [°C]
Equipo filtrante 200-DBF-204	Gases de fundición	60000 (28,31)	55
Equipo filtrante 200-DBF-206	Gases de fundición	60000 (28,31)	55

Fuente: Elaboración propia.

Estas emisiones de gases se producen en tres condiciones de operación:

- Carga de chatarra por la tapa superior del horno.
- Carga de cuchara con metal líquido.
- Operación regular del horno, es decir, mientras se funde el metal en su interior.

Según la Tabla 2-3, para cada horno se consideró una campana situada en el techo de la nave dimensionada para cubrir el diámetro de la columna de gases calientes ascendentes emitidos en las dos primeras condiciones de operación, en cambio, para la tercera condición, una campana adosada a la tapa superior del horno de dimensiones recomendadas por el Vendor. Debido a que las condiciones de operación descritas no son simultáneas, se considerará para cada una el flujo indicado en la Tabla 1-2.

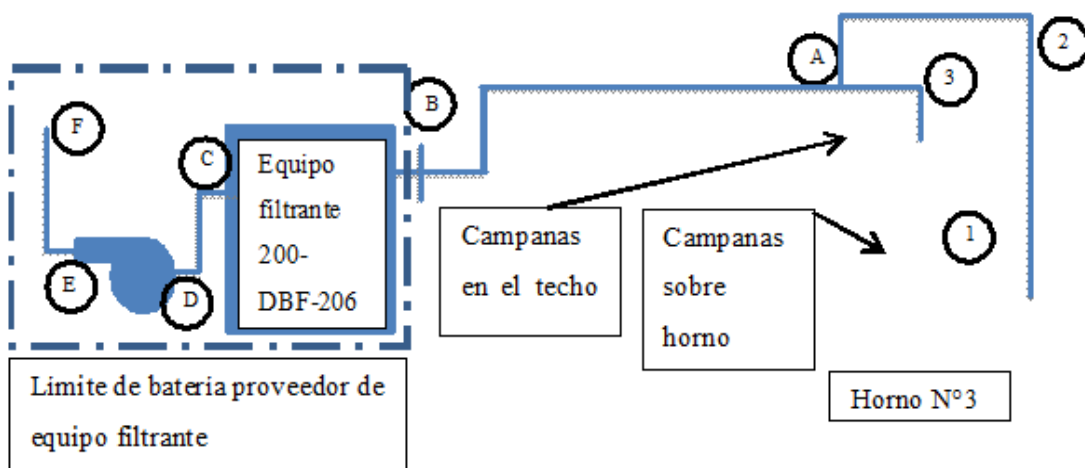
2.3. DIAGRAMA DE FLUJO PROYECTO

Para considerar un diseño preliminar del proyecto es necesario realizar un diagrama de flujo del sistema para obtener mayor claridad del trazado y como se conectarán los componentes que conforman el sistema, en la Figura 2-2, se aprecia el diagrama que conforma al sistema de captación. Se aprecia al lado izquierdo el equipo

² Cubic feet per minute (pies cubicos por minuto)

filtrante, filtro de mangas con el tag de equipo: 200-DBF-206 (200= área de trabajo; DBF= referente a que es un equipo de filtrado, sigla utilizada comúnmente en el mundo de la ingeniería para referirse a un tag de equipo de filtrado, las líneas representan a los ductos de captación y su recorrido, desde el equipo filtrante hasta las campanas, campanas techo, las que se encuentran sobre el techo de la planta del proyecto, y las campanas sobre el horno, las que se encuentran dentro de la planta exactamente sobre el horno arco eléctrico; En la parte derecha del diagrama se aprecia dónde comienza la contaminación o polvos, y gases, que es donde están ubicadas las campanas del horno arco eléctrico, y las contaminaciones se encuentran en el horno arco eléctrico para ser más exacto, ya que es ahí donde se produce la fundición de los metales y donde los gases producidos por este proceso son liberados.

Teniendo esta configuración de cómo debe ser el recorrido, ya que se posee una claridad de donde comienzan las emisiones contaminantes, en el horno arco eléctrico, y el recorrido a realizar, pasando por las campanas ubicadas en el techo de la planta, siguiendo por los ductos hasta alcanzar el equipo filtrante, las velocidades y el filtro de manga del sistema, se puede proceder con la Ingeniería de desarrollo.



Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del proyecto.

Figura 2-2. Diagrama de flujo sistema de captación.

2.4. FACTORES INFLUYENTES EN EL PROYECTO

Luego de lo anteriormente visto y descrito en relación al proyecto es necesario el análisis de los factores que pueden generar cambios en el proyecto, ya se trate tanto de factores estructurales, como de factores naturales del entorno del proyecto, los cuales pueden dar un cambio radical al diseño final, como lo son los cambios climáticos del entorno, como lluvias, nieve, extremos de temperaturas alta o baja, etc.

A continuación, se analizarán los posibles factores que afectan el diseño del proyecto a continuación.

2.4.1. Factores estructurales de la planta

Un factor particularmente importante al momento del diseño de ductos es la estructura sobre la cual se realizará el proyecto, en este caso la fachada estructural de la planta ME Elecmetal, la que por su forma no ocasionó mayor inconveniente, al tratarse de una fachada convencional rectangular, con techo a 15° de inclinación, estructura típica industrial, por lo que la idea de diseño de los ductos de captación deberá sobrellevar este diseño matriz e ir por sobre este techo tipo industrial, al ser la solución menos invasiva, ya que sólo deberá ser ubicada sobre la estructura existente.

Lo anterior, ya que, en la simple observación de los ductos de captación de otros proyectos similares, se puede ver un recorrido real de cómo debe ser el proyecto, tomando este sistema como base para el diseño, a la sazón se realizó un estudio de ductos de fábricas en China, país en que los ductos de este tipo son muy comunes, debido a las grandes emisiones de fundiciones que abundan en ese país, los diseños idóneos se recopilaron de los diseños de ductos ya realizados con bastante anterioridad en fundiciones de acero de China.

De este modo, en la Figura 2-3 Fachada planta Elecmetal, vista aérea de la zona, se puede observar la fachada de la planta por donde se aprecia el recorrido que deberá poseer el ducto al subir desde el filtro hacia la techumbre de la planta, asimismo se puede ver el frontis de toda la planta de ME Elecmetal, lo cual da una idea más clara y aterrizada del proyecto, para lograr el diseño idóneo respecto al entorno estructural de la planta. En este caso se puede ver como los ductos respetan la armonía de la fachada de la planta, así como también los colores institucionales de Elecmetal, azul oscuro, en este caso; por otro lado, cuando el ducto sube al techo de la planta, este se recubre para que no se vea al menos en la fachada el ducto subiendo.

En la Figura 2-4 Techo planta Elecmetal, vista aérea de la zona, se observa de forma acabada el techo industrial de la planta desde una vista aérea del mismo, a fin de graficar para mayor entendimiento las líneas de diseño que se tendrán en cuenta a la hora de trazar el recorrido que deberán cruzar los ductos de captación de gases y polvos.

A mayor abundamiento, es menester señalar que de la simple observación y estudio de la estructura madre se debe realizar un diseño amigable, que no requiera mayor intervención de la misma, sino que se adapte a ella de manera tal que se respeten las líneas del diseño original adecuando las del diseño de ductos para que encajen homogéneamente, sincronía que no revistió mayor complejidad por tratarse de una base rectangular simple. A continuación se encuentran las imágenes mencionadas, Figura 2-3 Fachada planta Elecmetal, y la Figura 2-4 Techo planta Elecmetal.



Fuente: ME Elecmetal, tras contacto previo con encargados.

Figura 2-3. Fachada planta Elecmetal, vista aérea de la zona.



Fuente: ME Elecmetal, tras contacto previo con encargados.

Figura 2-4. Techo planta Elecmetal, vista aérea de la zona.

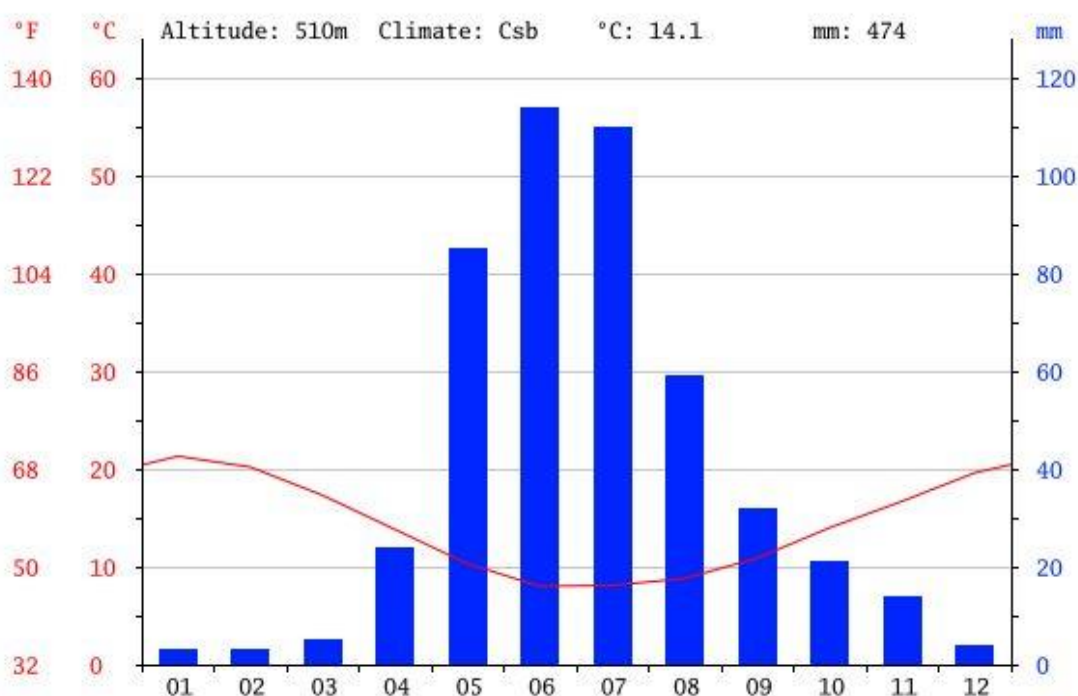
2.4.2. Factores ambientales del entorno

Otro factor importante al momento del diseño de ductos, es el ambiente donde

se realizará el proyecto, ya que éste juega un papel fundamental para todo diseño de estructuras, el cual puede cambiar dependiendo de este factor. Con esto nos referimos a las temperaturas y ambiente que puede tener el entorno del proyecto, esto puede derivar a temperaturas muy altas o demasiado bajas, dependiendo del lugar donde se lleva a cabo el diseño de los ductos de captación de gases y polvos.

Anteriormente, en la Tabla 2-3, nos referimos a la temperatura que logra alcanzar el proceso en sí, y se señaló su importancia a la hora de diseñar el filtro de partículas contaminantes, ahora nos referiremos a la importancia del factor temperatura ambiente del entorno.

Como se indicó anteriormente, la planta y consecuentemente el proyecto se emplazan en la ciudad de Rancagua, VI Región, lugar donde es de público conocimiento que la nieve o bajas temperaturas extremas no resultan habituales, así como tampoco lo son las extremas altas, así, según la clasificación del clima de Koppen-Geiger se trata de un clima medio de denominación “Csc” (Csc= Verano seco o clima mediterráneo). A su respecto, la temperatura media anual en Rancagua es de 14,1° C, y el promedio de milímetros de precipitaciones al año es de 474 mm, lo cual se considera bastante normal respecto a la zona geográfica de la ciudad.



Fuente: Climograma ciudad de Rancagua, climate-data distintos climas por locación.

Figura 2-5. Climograma ciudad de Rancagua.

Como se aprecia en la Figura 2-5 las temperaturas son las típicas de una ciudad templada/cálida con temperaturas mínimas cercanas a los 10° C en los meses de mayo y agosto (invierno) y temperaturas máximas que bordean los 20° C en los meses de octubre hasta marzo (verano), por lo que referente a temperatura no será un factor

importante a analizar referente al diseño. Por otra parte, las precipitaciones son inversamente proporcionales respecto a la temperatura, a menor temperatura mayor precipitación, por lo que en los meses de verano se aprecian las precipitaciones más bajas (menos de 20 mm), mientras que en los meses de invierno se aprecian las precipitaciones más altas (bordeando los 100 mm).

Tabla 2-4. Tabla climática de la ciudad de Rancagua, VI Región.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	3	3	5	24	85	114	110	59	32	21	14	4
°C	21.3	20.2	17.3	13.8	10.3	8.0	8.1	8.8	10.9	14.0	16.7	19.6
°C (min)	13.0	12.0	9.6	6.6	4.5	3.1	2.9	3.1	4.7	7.4	9.3	11.6
°C (max)	29.7	28.5	25.1	21.1	16.2	13.0	13.4	14.5	17.2	20.7	24.2	27.6
°F	70.3	68.4	63.1	56.8	50.5	46.4	46.6	47.8	51.6	57.2	62.1	67.3
°F (min)	55.4	53.6	49.3	43.9	40.1	37.6	37.2	37.6	40.5	45.3	48.7	52.9
°F (max)	85.5	83.3	77.2	70.0	61.2	55.4	56.1	58.1	63.0	69.3	75.6	81.7

Fuente: Tabla climática ciudad de Rancagua, Climate-data climas por locación.

En la Tabla 2-4, se plasma un promedio de datos climográficos históricos de la zona de O'Higgins, tanto de las extremas altas y bajas en las temperaturas en grados Celcius y Farenheit, como de los milímetros en las precipitaciones de un año calendario con sus variaciones mes a mes.

Del análisis meteorológico de los datos obtenidos, se concluye que el clima de la zona a llevar a cabo el proyecto es apto para cualquier tipo de construcción normalizada, en consecuencia, no se requiere en este caso en particular de un diseño especial respecto a factores de orden climático, en caso contrario, la complejidad del diseño tanto de las campanas como de los ductos hubiere significado un mayor despliegue de logística a considerar en el dimensionamiento, como en los materiales a usar en la realización misma del proyecto.

CAPÍTULO 3: INGENIERÍA DE DESARROLLO

3. INGENIERÍA DE DESARROLLO

La ingeniería de desarrollo de este proyecto comienza con la explicación de las fórmulas esenciales que dan forma al proyecto, hasta llegar a los cálculos en detalle y más complejos que puede tener el proyecto. Es importante destacar que como proyectista de ingeniería se tiene conocimiento de las fórmulas y de cómo aplicarlas, pero es labor de un ingeniero el llevar a cabo este procedimiento, como proyectista de ingeniería se debe velar que lo realizado se plantee de la mejor manera posible dentro de las normas y conductos establecidos, pero el cálculo y decisiones finales del proyecto es realizado por un ingeniero.

En este capítulo se tratará el diseño, teniendo en consideración todos los factores de relevancia mencionados anteriormente que necesariamente deben tenerse en cuenta, a modo teórico, se verán las denominadas fórmulas fundamentales, para poco a poco, con los resultados que se obtengan de dichos cálculos, pasar derechamente a la realización diseño final del proyecto que debe satisfacer tanto las necesidades del cliente y se ajuste a los parámetros técnicos material y funcionalmente.

3.1. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

El cálculo del diámetro de los ductos, de la pérdida de carga en el sistema y por consiguiente de la potencia del ventilador, se realizará mediante el método de “*Equilibrio por Diseño*”. Este método consiste en lograr la distribución de los caudales en los distintos tramos, que deben ser iguales o mayores que los caudales de diseño, sin el empleo de las compuertas de regulación.

El cálculo comienza en las campanas conectadas a conductos con mayores resistencias, y a partir del caudal de diseño establecido para cada una de ellas, se elige la velocidad de transporte mínima adecuada al contaminante generado y se calcula el área y dimensiones de cada conducto que concurren a un mismo nudo, en la Fórmula 3-1.

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Fórmula 3-1.}$$

Donde:

Q : Flujo volumétrico [m³/s].

A : Sección del ducto o área [m²].

V : Velocidad [m/s].

A partir de las longitudes de los tramos rectos y de los accesorios de esos conductos, se calculan las pérdidas de carga de los mismos y se las comparan entre sí. Si no son iguales, quiere decir que no se logra el equilibrio de presión estática en el nudo considerado, caso en el cual deben modificarse las variables de cálculo hasta lograr dicho equilibrio. A partir de lo anterior, se sigue avanzando siguiendo el trazado de los conductos, nudo a nudo, hasta terminar en la descarga del sistema.

Cada vez, que se llega a un nudo debe verificarse el cumplimiento del equilibrio de la presión estática, siguiendo el camino desde cada una de las campanas consideradas hasta el nudo analizado.

Las pérdidas de carga serán calculadas mediante las fórmulas de pérdidas por fricción en tramos rectos de conductos, y pérdidas por accesorios, donde se consideran todos los factores que cambian el curso del flujo, cada uno de estos factores afectan el cálculo del flujo, por lo que su análisis es esencial para un afable resultado en estos.

3.1.1. Pérdidas por fricción en tramos rectos de conductos

El flujo tras pasar por un tramo tiene pérdidas, debido al largo que posee el ducto por el que atraviesa su recorrido perderá velocidad, estas pérdidas se ven en la Fórmula 3-2 y 3-3. Es necesario tener en cuenta estas pérdidas al momento del diseño.

$$h_l = f_c j L \quad \text{Fórmula 3-2.}$$

Con:

$$j = \frac{5,38 v^{1,9}}{D^{1,22}} \quad \text{Fórmula 3-3.}$$

Donde:

f_c : Factor de corrección por rugosidad de material del ducto.

L : Largo del tramo de ducto [m].

j : Pérdida de carga por unidad de longitud [mca/m].

D : Diámetro del ducto [m].

V : Velocidad del flujo [m/s].

3.1.2. Pérdidas por accesorios

Corresponde a la sumatoria de las pérdidas producidas por cada accesorio, donde cada una de estas pérdidas se determina como una fracción de la altura de presión dinámica, multiplicada por la altura dinámica. En las Fórmulas 3-4 y 3-5 se observa la sumatoria:

$$h_2 = \sum K h_D \quad \text{Fórmula 3-4.}$$

Con:

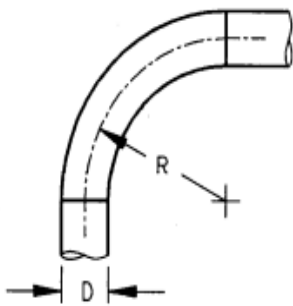
$$h_D = V^2 / 16,35 \quad \text{Fórmula 3-5.}$$

Donde:

K: Factor de pérdida.

h_D: Altura de presión dinámica de la velocidad del flujo en el conducto [mcda].

Desde la Figura 3-1 a Figura 3-6, se ven los coeficientes de pérdidas aplicados al proyecto, los cuales se separan por singularidad que conforman en el proyecto, como codos, empalmes y sombreretes. Del mismo modo en las tablas de ganancia de presión estática en ensanchamientos y estrechamientos, adjuntos en las Figuras 3-1 a la Figura 3-6, todos datos necesarios para los ductos del proyecto.



R/D	Pérdida de carga Fracción de PD
2,75	0,26
2,50	0,22
2,25	0,26
2,00	0,27
1,75	0,32
1,50	0,39
1,25	0,55

CODOS DE SECCIÓN CIRCULAR

Fuentes: "Industrial Ventilation a manual of recommended practice".

Figura 3-1. Pérdidas en codos de sección circular.

Donde:

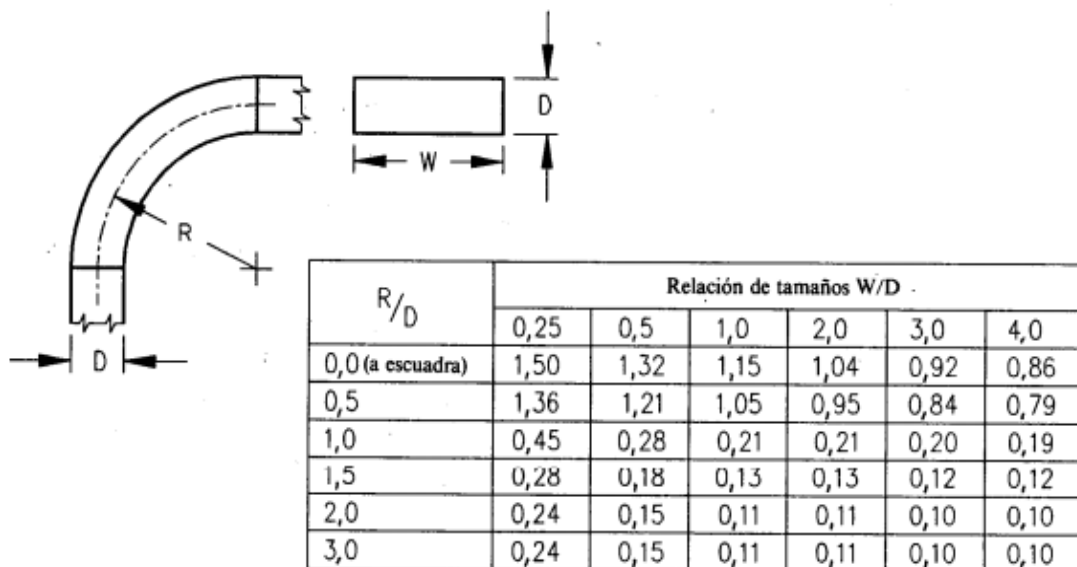
D: Diámetro del ducto. (mm.)

R: Radio de curvatura del codo. (mm.)

En la Figura 3-1 Pérdidas en codos de sección circular, se pueden apreciar las pérdidas en codos de sección circular, para lo cual se debe tener información del codo, con esa información se obtiene la pérdida de carga en milímetros columna de agua.

En la Figura 3-2 Pérdidas de codos de sección cuadrada y rectangular, se logra observar las pérdidas de codos de sección cuadrada y rectangular, dicha Figura se adjunta como referencia de pérdidas en codos cuadrados o rectangulares, en caso de que en el proyecto ocurra esta condición, se pueda dar resolución a esta problemática a tiempo, ya que en el diseño preliminar no se tiene considerado este tipo de singularidad.

Con lo mencionado anteriormente, más lo que se verá en la Figura 3-2 Pérdidas de codos de sección cuadrada y rectangular, se podrá dar solución a los ductos de sección cuadrada o rectangular, según corresponda el diseño de estos para el sistema de captación, aunque no se consideran como los normalizados para el diseño preliminar, se mantiene al margen de un proyecto de estas proporciones.



CODOS DE SECCIÓN CUADRADA Y RECTANGULAR

Fuentes: "Industrial Ventilation a manual of recommended practice".

Figura 3-2. Pérdidas de codos de sección cuadrada y rectangular.

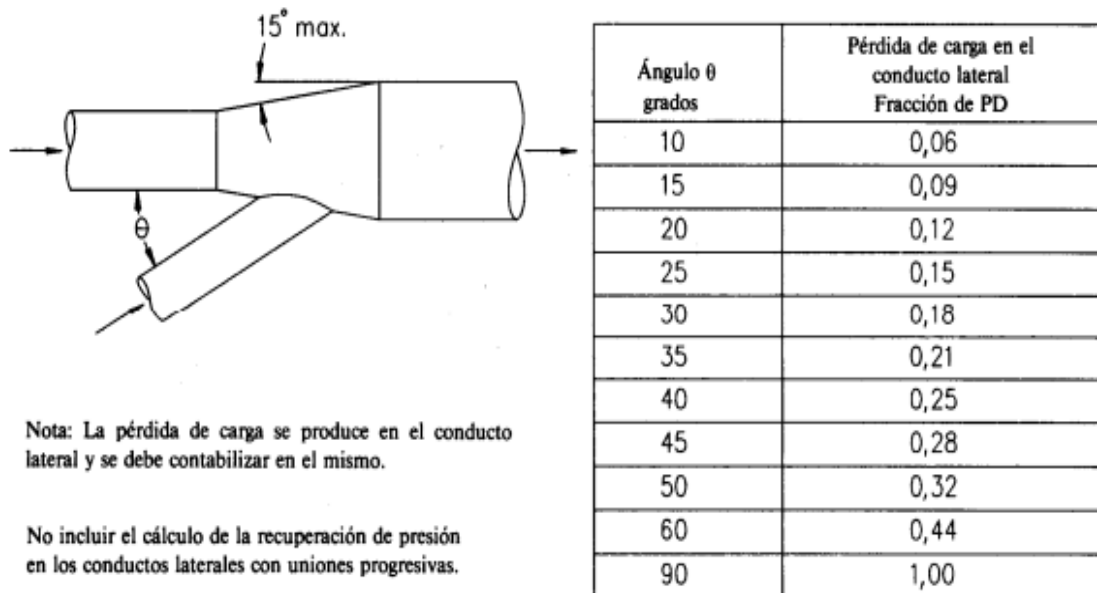
Donde:

D: Dimensión sección vertical cuadrada.

R: Radio de curvatura del ducto cuadrado o rectangular, según corresponda.

W: Dimensión sección horizontal cuadrada, ambas en contraposición.

W/D: Relación entre el radio de curvatura del ducto y sección vertical de la figura rectangular que conforme el ducto.



Fuentes: "Industrial Ventilation a manual of recommended practice".

Figura 3-3. Pérdida de carga en conducto lateral.

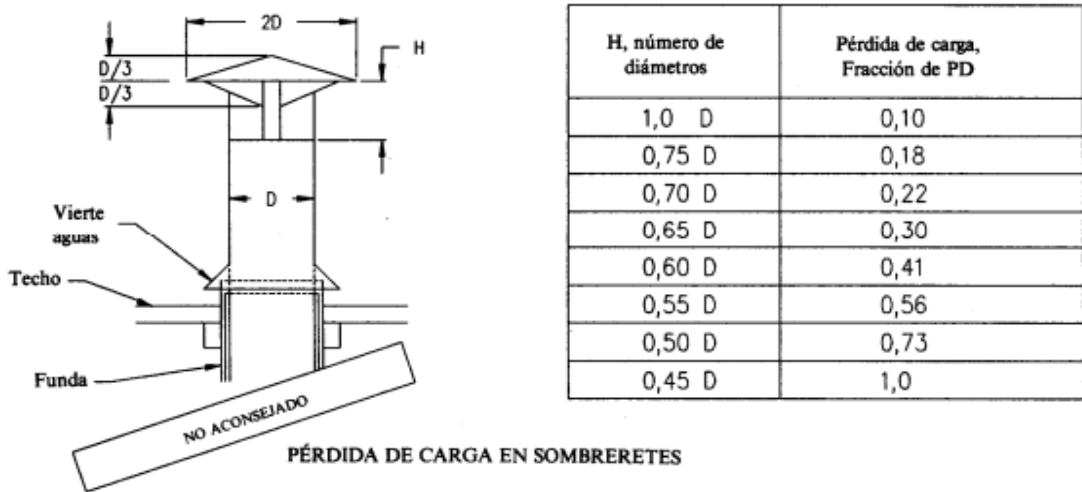
En la Figura 3-3 Pérdida de carga en conducto lateral se aprecia la pérdida de carga en conducto lateral, donde los datos relevantes son el ángulo que posea el conducto lateral, a partir de éste se obtiene la pérdida de carga del conducto lateral.

Los conductos laterales permiten dar una salida con un ángulo deseado de inclinación, estos varían desde los 10° a los 90° alternando entre 5°, generalmente el diámetro de este conducto lateral es menor al utilizado en el flujo general, mientras mayor sea el ángulo de inclinación, mayor será la pérdida.

La pérdida de carga se produce en el conducto lateral y se debe contabilizar en el mismo, en caso alguno incluir el cálculo de la recuperación de presión en los conductos laterales con uniones progresivas.

En la Figura 3-4 Coeficiente de pérdida en sombreretes se aprecian los llamados "sombreretes", que son accesorios de las chimeneas que resultan de importancia práctica en las chimeneas con ductos de salida de aire de tubos verticales, en éstas si no se instalan, podría ocurrir que en días lluviosos, además de colarse agua por el tubo, dicha agua arrastre la suciedad adherida a las paredes del mismo, asimismo, que a pesar de los tubos estar fabricados de material inoxidable éste va a sucumbir en menor tiempo a la corrosión disminuyéndose considerablemente la vida útil del tubo y la chimenea toda. Además, la ausencia del sombrero hace factible que las aves del entorno ambiental de la planta puedan hacer nido en los tubos de salida, lo que podría dañar tanto el ecosistema como limitar el funcionamiento de la obra que se pretende, al impedir la eliminación de aire por obstrucción de la vía. Al mismo tiempo permitiría que al entre aire frío por el tubo, y consecuentemente se enfríe la temperatura interna lo que cambiaría las condiciones a considerar tanto en la elección de la manga como en el dimensionamiento de los ductos, ya que, como vimos con anterioridad, es la temperatura

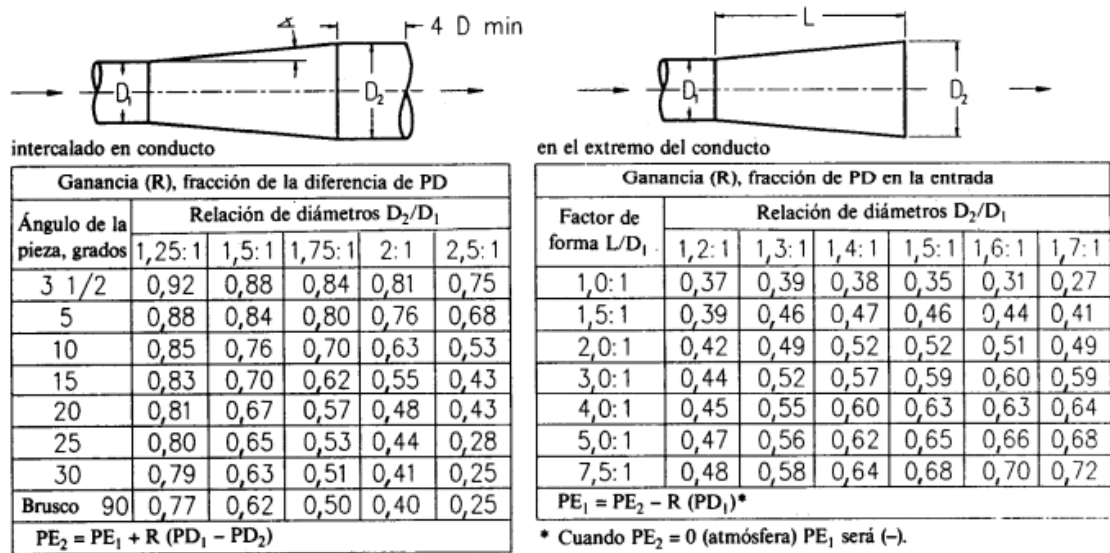
un factor de vital importancia a considerar en los cálculos previos al diseño. En este caso particular, no se consideran en el diseño preliminar del proyecto, pero se adjuntan como dato relevante al estar presentes en el “Industrial ventilation a manual of recommended practice” manual tras el cual se fundan las bases de diseño de ductos, en relación a los cálculos.



Fu

entes: “Industrial Ventilation a manual of recommended practice”.

Figura 3-4. Coeficiente de pérdida en sombreretes.



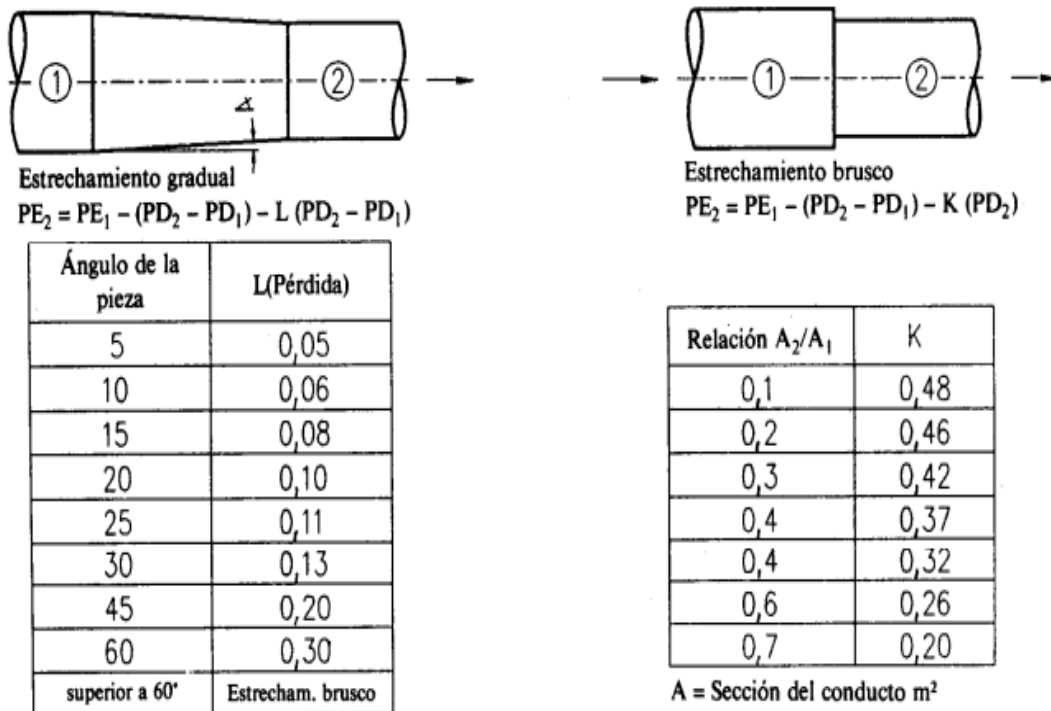
La ganancia será sólo del 70 % de la indicada cuando la pieza de expansión se encuentre a una distancia inferior a 5 diámetros

Fuente: “Industrial Ventilation a manual of recommended practice”.

Figura 3-5. Ganancias y pérdidas de presión estática en ensanchamientos.

En la Figura 3-5 Ganancias y pérdidas de presión estática en ensanchamientos y Figura 3-6 Ganancias y pérdidas de presión estática en estrechamientos, se logra apreciar la ganancia y pérdida de presión estática en ensanchamientos y estrechamientos, para información referente a cambios entre distintos diámetros en el sistema de captación, en

estas figuras los datos relevantes son los diámetros de las piezas, ya que con esos datos se obtendrán las ganancias o pérdidas en el cambio de diámetro en el ducto del sistema.



Al calcular la PE en ensanchamientos o estrechamientos hay que utilizar valores algebraicos; PD es (+), y seguramente el conducto de impulsión del ventilador y (-) en el conducto de aspiración del ventilador.

Fuentes: "Industrial Ventilation a manual of recommended practice".

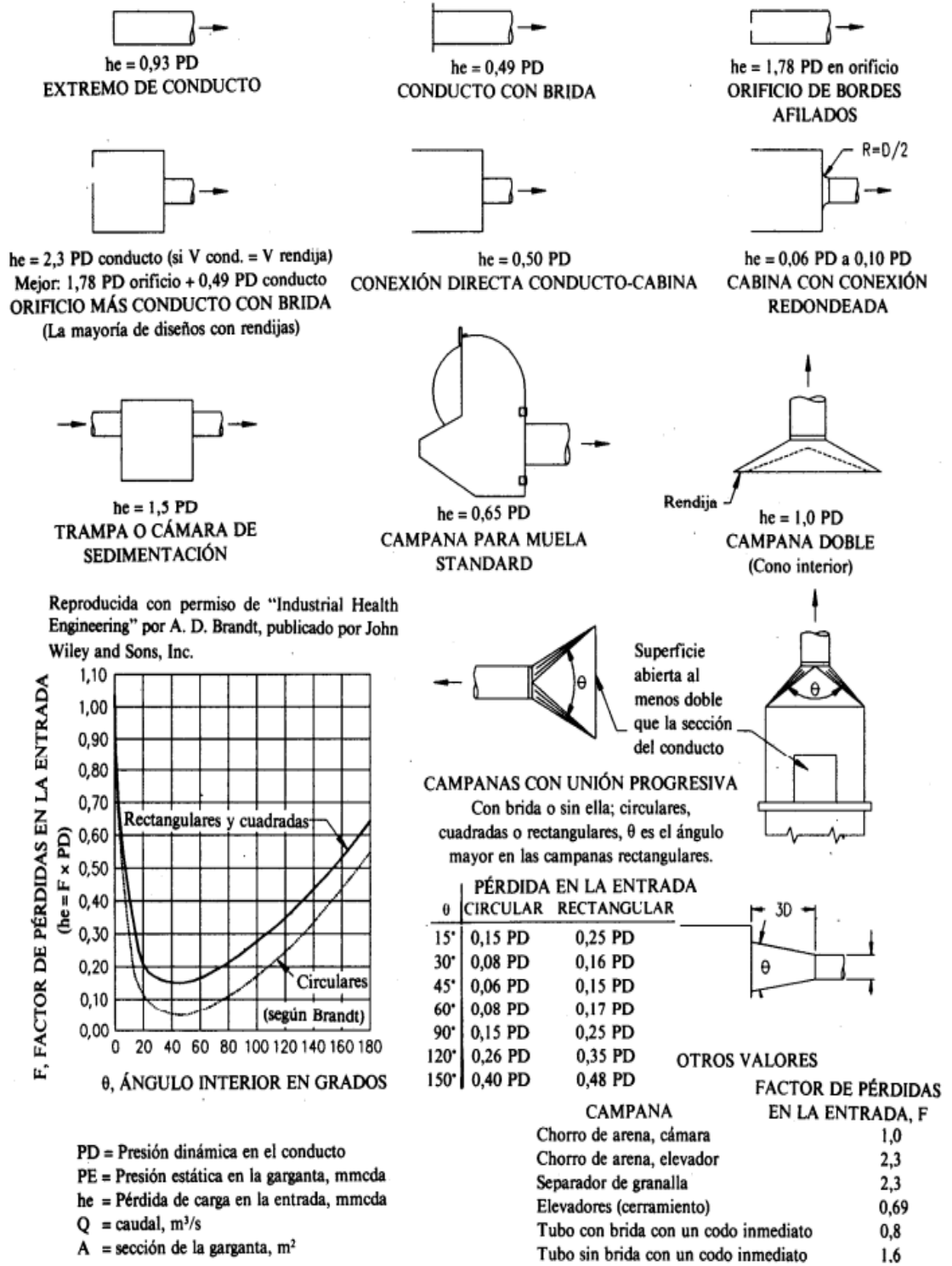
Figura 3-6. Ganancias y pérdidas de presión estática en estrechamientos.

3.1.3. Pérdidas por entrada

Las pérdidas de las entradas en el sistema diseñado se encuentran en las entradas a las campanas del sistema de captación y a los filtros de mangas del sistema, en general producidas por turbulencias en estas áreas, las cuales generan estas pérdidas de presión del flujo que son importantes al momento de analizar el flujo que recorre el sistema de captación de gases y polvos del horno arco eléctrico. En la Figura 3-7 se pueden observar distintos tipos de entradas y el coeficiente de pérdida de cada una de las ellas, teniendo como prioridad las que se verán en el diseño del proyecto (campana doble), estos coeficientes se encuentran en las mismas unidades anteriormente vistas.

Las campanas dobles se caracterizan por tener una superficie abierta al menos el doble de la sección del conducto, por lo que las pérdidas son claras en el sentido de superficies de este tipo en que se dobla la superficie por la cual transita el fluido del proyecto, más en detalle en las entradas del diseño.

En la Figura 3-7, se describen distintos tipos de entradas en un sistema de captación normalmente utilizadas, los distintos factores más importantes para identificar y comprender los distintos tipos de entradas.



Fuente: "Industrial Ventilation a manual of recommended practice".

Figura 3-7. Coeficientes o factores de pérdidas en entradas al sistema.

Las pérdidas en entradas al sistema se deben a pérdidas de altura de presión por turbulencia en la campana, por turbulencia en las ranuras que existen en el frente y/o en el interior de la campana y pérdidas de altura de presión necesaria para la aceleración del

aire desde una velocidad prácticamente nula en el frente de la campana, a la velocidad que se alcanza dentro del conducto conectado a la campana, y que resulta igual a la altura de presión dinámica:

$$h_3 = k_{ent} h_D + k_{ran} h_{Dran} + h_{Dran} + h_D \quad \text{Fórmula 3-6}$$

Donde:

k_{ent} : Factor de pérdida en la entrada de la campana (ver figura 10.4 del Anexo B).

k_{ran} : Factor de pérdida por ranura (ver figura 10.4 del Anexo B).

h_{Dran} : Altura de presión dinámica correspondiente a la velocidad que adquiere el aire al atravesar la ranura [mmcda].

3.2. POTENCIA DEL VENTILADOR

El ventilador debe proveer la energía necesaria para asegurar la circulación del gas a través de todo el sistema de ventilación.

La potencia al eje del ventilador que se debe entregar al flujo para que pueda vencer las resistencias del sistema y está dada por la Fórmula 3-7 y la Fórmula 3-8, expresadas a continuación:

$$POT = Q h_{TV} g \text{ [W]} \quad \text{Fórmula 3-7.}$$

Con:

$$h_{TV} = (h_{Es} - h_{Es}) - (h_{Ds} + h_{Ds}) \quad \text{Fórmula 3-8.}$$

Donde:

h_{TV} : Altura de presión total entregada por el ventilador [mmcda].

ρ_a : Densidad del agua [kg/m³].

g : Aceleración de gravedad [m/s²].

h_{Es} : Altura de presión estática en la sección de entrada del ventilador [mmcda] (corresponde a la pérdida de carga en el sistema hasta la entrada del ventilador).

h_{Es} : Altura de presión estática en la sección de salida del ventilador [mmcda] (corresponde a la pérdida de carga en el sistema desde el ventilador a la salida hacia la atmósfera).

h_{De} : Altura de presión dinámica en la sección de entrada del ventilador correspondiente a la velocidad de entrada al mismo [mmcda].

h_{Ds} : Altura de presión dinámica en la sección de salida del ventilador correspondiente a la velocidad de salida del mismo [mmcda].

Por lo tanto, el rendimiento del ventilador es:

$$\eta_v = \frac{Q h_{TVg}}{POT_{\text{ventilador}}} \quad \text{Fórmula 3-9.}$$

Con:

$$POT_{\text{ventilador}} = \frac{Q h_{TVg}}{\eta_v} \quad \text{Fórmula 3-10.}$$

Donde:

$POT_{\text{ventilador}}$: Potencia entregada al eje del ventilador [W].

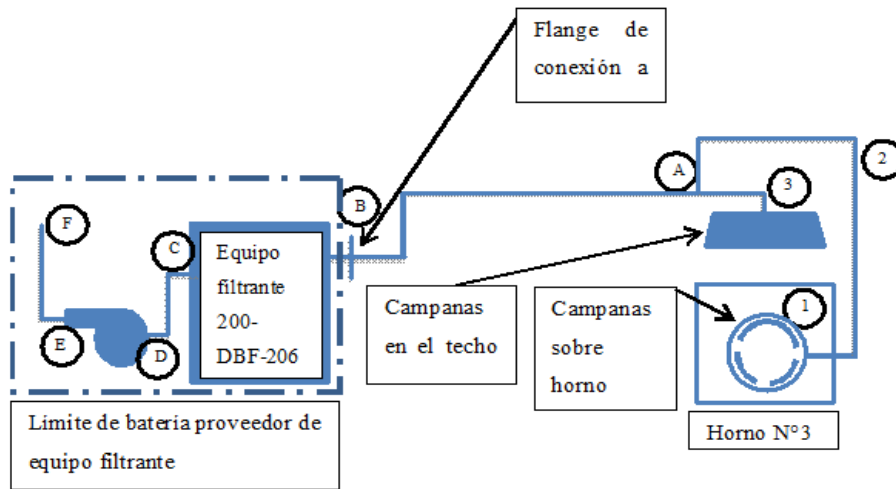
3.3. RESULTADOS RESPECTO A DIAGRAMA

En la Figura 3-8, se plasma el diagrama de flujo general del proyecto, considerando el horno y el ducto de extracción respecto de éste, en el diagrama se denomina Horno N°3 (1), ducto entre horno y campana (2), la campana de extracción (3), ducto entre campana de horno y equipo filtrante 200-DFB-206 (A-B).

En el diagrama Figura 3-8 se genera el diseño general que tendrá el proyecto, la unión de todas las partes que lo conformarán, por lo que es determinante en el proceso de diseño. Aquí sólo se apreciará a grandes rasgos una especie de mapa de construcción que servirá de guía para la materialización del diseño del proyecto final, como el detalle de dónde van campanas (sobre el horno y el techo), los flanges de conexión, y los límites de que consideraran los proveedores del filtro, nociones que deben tenerse claras al momento de trazar los ductos, ya que este detalle podría generar más o menos ductos, número que tendrá en cuenta el proveedor, quien sólo considerará los ductos de entrada al filtro, y el recorrido de este desde la campana de filtración.

En la Figura 3-8 Diagrama de flujo de sistema de captación, esta vez se puede analizar el diagrama de flujo del proyecto de forma más acabada, teniendo en cuenta todos los factores que se han aportado, los que facilitarán su lectura y entendimiento. La Figura 3-8 Diagrama de flujo de sistema de captación ahora hace referencia a nomenclaturas y equipos que serán de vital importancia para entender los planos, se mantiene misma nomenclatura en cálculos, diagramas y planos. Se mencionan los

flanges, los cuales unen a los ductos con el filtro de mangas (200-DBF-206 denominación según área de trabajo, y denominación de equipo DBF, más correlativo 206); igualmente se mencionan las distintas campanas que serán las encargadas de extraer el ente contaminante del proyecto, en distintos puntos de la estructura del proyecto, en este caso son dos puntos importantes, sobre el horno en sí, y sobre la techumbre de la estructura, esta extrae todo hacia los ductos



Fuente: Elaboración propia en Poch & asociados.

Figura 3-8. Diagrama de flujo de sistema de captación.

3.3.1. Filtro de Horno N°3

En la Figura 3-8 se aprecian los tramos representados por números y letras, ya aclarados esos puntos es necesario realizar un resumen de las pérdidas de cargas del sistema respecto a los tramos que conforman cada uno de los ductos del diseño a realizar, acorde al recorrido. En la Tabla 3-1 se puede ver el resumen técnico.

Tabla 3-1. Pérdidas de carga del sistema de captación.

						Valores referenciales a confirmar por Vendedor de equipo filtrante	
TRAMO	1-2	2-A	3-A	A-B	EQUIPO FILTRANTE	C-D	E-F
DIÁMETRO [mm] o Dimensiones [mm]	1000x1280	1250	1250	1250			1500
PÉRDIDA DE CARGA [mmca]	89,54	59,99	59,14	51,97	100	23,7	7,25
PÉRDIDA DE CARGA ACUMULADA [mmca]	-	149,53	-	201,5	301,5	325,2	-
Pérdida de carga hasta flange de conexión a equipo				221,65			

Fuente: Elaboración propia en Poch & asociados, respecto a cálculos realizados.

Por lo tanto, la pérdida de carga total en el sistema hasta el flange de conexión al equipo filtrante es de 221,65 [mmca], considerando un 10% como factor de seguridad, el que siempre debe ser considerado en los cálculos, de esta manera, siempre tendremos un margen con el cual se asegura el resultado.

Suponiendo una pérdida de carga de 123,7 [mmca] en el equipo filtrante y sus componentes (valor a confirmar por Vendor), es decir, desde el nodo B en adelante, la potencia a entregar al flujo de gas para vencer las resistencias del sistema será de 138,45 [hp], y considerando un ventilador con un rendimiento de 70%, la potencia entregada en el eje del ventilador deberá ser de 197,78 [HP]. Con estos datos, se aclara la ingeniería de funcionamiento del proyecto y se obtienen resultados fehacientes en relación a las velocidades y tramos diseñados, manteniendo el sistema y llegando a las velocidades esperadas, de modo que validamos el diseño tras este estudio.



En la Tabla 3-1 Pérdidas de carga del sistema de captación se aprecian los detalles de los cálculos de ductos, realizados en la empresa POCH Ingeniería, los cuales arrojan los resultados de todo lo referente a las pérdidas del sistema de captación de gases y polvos de hornos de arco eléctrico. Asimismo, se observan los puntos relevantes de los cálculos, reflejando la relación existente entre cada uno de ellos con los tramos anteriormente mencionados, 1-2, desde el horno a ducto de extracción; 2-A, desde ducto del horno a ducto de extracción general; 3-A, desde la campana a ducto de extracción; y A-B, de ducto de extracción cercano a la campana del horno hasta el flange de conexión a equipo filtrante. Con estas referencias se une el diagrama con los cálculos realizados, y se genera una comprensión mayor de ambos.

En la Tabla 3-2 Memoria de cálculos sistema de ductos, planilla Excel que contiene el resumen de los cálculos realizados, se logra observar en primera instancia las pérdidas de carga método de equilibrio de presión dinámica, y en su punto N° 1 se divide por ramales para obtener el valor detallado de cada punto. Los ramales concuerdan con las especificaciones anteriormente dadas en capítulos anteriores, mientras que en el punto N° 2 se detalla las potencias del ventilador, para que todos los valores más importantes del proyecto queden resumidos de la mejor manera posible. A su vez se pueden observar los datos de velocidades, diámetros (calculados y adoptados), largo de los tramos, pérdidas (de todo tipo, anteriormente vistas); así como las potencias del ventilador y los datos dados por el vendor del equipo filtrante.

La Tabla 3-2 Memoria de cálculos sistema de ductos, fue elaborada por un ingeniero a cargo de éstos, el proyectista realiza la valorización y corroboración de datos relacionados al diseño como lo son las alturas, diámetros y cambios en los mismos si es que los hubiere. Con esta tabla se busca dejar en claro todo el proceso del diagrama en relación a los cálculos y como estos se unen y conforman el desarrollo de la ingeniería y diseño del proyecto. En este proceso es esencial la relación entre el proyectista y el ingeniero, ya que deben coordinar de la mejor forma posible este proceso, verificando

los datos, y que todo se encuentre en orden al momento de la ejecución de cálculos y valores relacionados a las tablas.

Tabla 3-2. Memoria de cálculos sistema de ductos.

		ME ELEC METAL					
		MODERNIZACIÓN PLANTA RANCAGUA					
		MEMORIA DE CÁLCULO SISTEMA DE DUCTOS					
Por:	P. Rojas					Fecha:	31-07-2014
Reviso:	J. Diaz					Rev:	D
1.- Pérdida de Carga, método equilibrio de presión dinámica							
1	Identificación del tramo de conducto		1-2	2-A	3-A	A-B	
2	Caudal [m ³ /s]	Ramal	28,316	28,316	28,316		C-D
3		Troncal	0			28,316	E-F
4	Velocidad mínima [m/s]		23	23	23	23	28,316
5	Diametro calculado [mm]		1252,01	1252,01	1252,01	1252,01	20
6	Diametro adoptado [mm]		1244,03	1250	1250	1250	1322
7	Velocidad real [m/s]		23,2961	23,074	23,074	23,074	1500
8	Largo tramo [m]		25,2	34	13,8	100	16,0236
9	Pérdida presión/m [mmcda/m]		0,35721	0,34873	0,34873	0,34873	14,0832
10	Factor de corrección	Gráfico 10.3	0,84	0,84	0,84	0,84	24
11	Fricción [mmcda/m]		0,30006	0,29293	0,29293	0,29293	0,13963
12	Pérdida por fricción [mmcda]		7,56149	9,9596	4,04243	29,293	0,10099
13	Suma K accesorios		0,98	0,76889	0,51222	0,69667	0,84
14	Altura dinámica PD [mmcda]		33,1931	32,5631	32,5631		0,11729
15	PDR (Solo troncal) [mmcda]					32,5631	0,08483
16	Pérdidas por accesorios [mmcda]		32,5293	25,0374	16,6796	22,6857	2,81504
17	Factor de pérdida de entrada	Figura 10.4	0,49	0	0,18		1,27251
18	Pérdida entrada en la campana [mmcda]		16,2646	0	5,86136		1,33
19	Factor de pérdida ranuras		0	0	0		0,35
20	Velocidad en la ranura [m/s]	Calcularla según area de la ranura	0	0	0		
21	Altura dinámica en la ranura [mmcda]		0	0	0		
22	Pérdidas por ranuras [mmcda]		0	0	0		
23	Altura dinámica disponible (solo troncal) [mmcda]					32,5631	
24	Pérdidas por entrada [mmcda]		49,4578	0	38,4245		
25	Pérdidas por mata chispas [mmcda]			25		0	
26	Pérdida total Ramal [mmcda]		89,5485	59,997	59,1465		
27	Pérdida total Troncal [mmcda]					51,9786	
28	Pérdida total acumulada [mmcda]					201,524	
29	Factor de seguridad					1,1	
30	Pérdida de carga total [mmcda]					221,68	
Equivalencia Ducto Redondo-Cuadrado							
Lado A	[mm]	1000					
Lado B	[mm]	1280					
Diámetro	[mm]	1244,026231					
2.- Potencia del ventilador							
hEe		357,7475876	[mmcda]				
hDs		12,13071381	[mmcda]				
hEs		5,518257333	[mmcda]				
hDe		15,70367329	[mmcda]				
hTV		366,8388044	[mmcda]				
POT		101,9004684	[KW]				
POT		138,4517234	[HP]				
Ef. Ventilador		0,7					
POT		197,7881763	[HP]				

Fuente: Elaboración de Ingeniero con ayuda de proyectista en Poch & asociados.

3.3. SOPORTES DUCTOS

Toda la suportación de ductos deberá estar diseñada de acuerdo a la normativa SMACNA, que se ha nombrado durante todo el proyecto, y que resultó ser el pilar fundamental del diseño de los soportes, así mismo, toda la información contenida en el estándar fue utilizada para el diseño de los soportes de acuerdo a las necesidades físicas del proyecto.

3.3.1. Criterios de diseño

Para esto se debe analizar la estructura existente, ya que debemos diseñar sobre ésta, de esta manera se observan los marcos estructurales en los cuales se deben apoyar los ductos de captación, forma estructural del techo, y los factores estructurales de la planta.

Los soportes cambiarán dependiendo de la zona donde se encuentre el ducto, según, el SMACNA lo primordial es la silla que soporta al ducto, ya que sobre ésta irá asentado el ducto, de manera tal que no se vea afectado el ducto en su estructura, lo que se analizará con mayor detalle en los tipos de soportes y en los planos de construcción de los mismos adjuntos en anexos A: planos del proyecto.

Las sillas solamente deben soportar movimientos a favor y contra-flujo, pero no deberán permitir movimientos laterales del ducto, esto es, mantener la forma de la estructura sin movimientos fuera de esta.

3.3.2. Tipos de soportes

Dependiendo de la ubicación del ducto de captación, se diseña un tipo de suportación, ver plano FTR-0001-MEC-PL-0030 Detalles de soportes que se encuentra en Anexos, donde se encuentran todos los detalles de estos soportes, este sirve como referencia para todos los soportes que se describen en los siguientes enunciados.

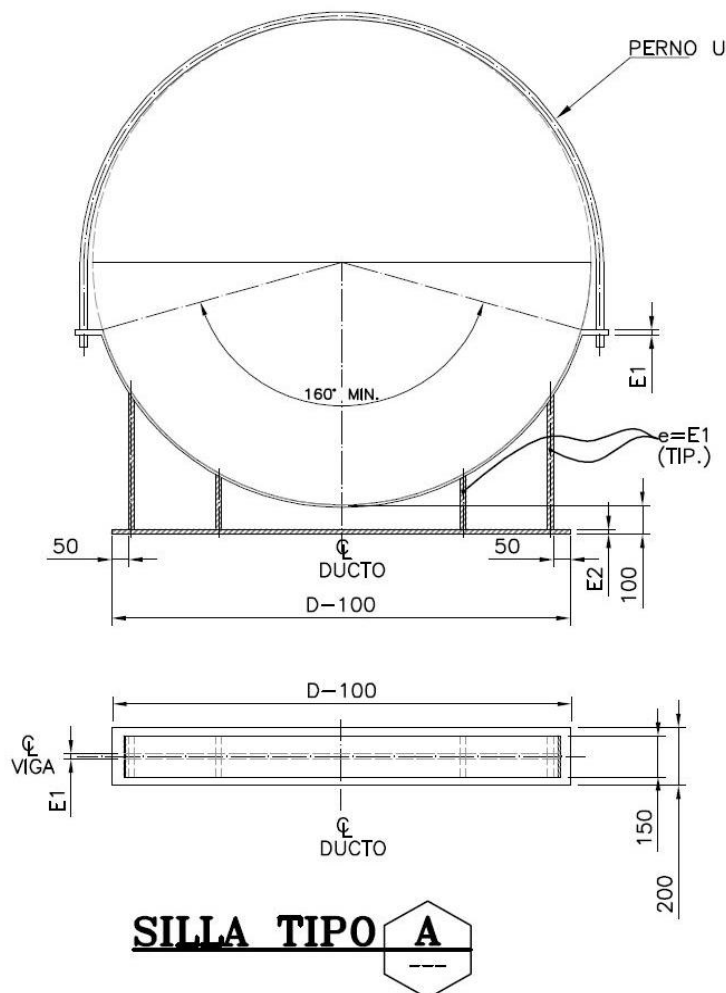
La silla que va debajo el soporte es primordial según el SMACNA para evitar movimientos innecesarios para el sistema de captación silla típica, así veremos en la Figura 3-9 la silla tipo A; en la Figura 3-10, la silla tipo B; y en la Figura 3-11, la silla tipo C. Todos estos tipos de sillas son las que recomienda el SMACNA y permiten una regulación en el diseño de soportes del proyecto. En lo relativo a los soportes en sí, durante el proyecto se generaron distintos tipos de éstos, dependiendo del recorrido del ducto, como los que se encuentran a la salida del filtro de mangas, que deben tener una estructura ya que se encuentran en altura (ver Figura 3-12, Soporte S2), mientras que, para los soportes en el techo se utilizan soportes de distintos tamaños dependiendo de la inclinación donde se encuentre el soporte, para ello la estructura del soporte es un ducto,

el cual se puede asentar sobre el techo (ver Figura 3-13, Soporte S3), en el mismo orden de ideas, para los ductos que suben hacia el techo se utiliza el soporte S4 el cual se apoya en la estructura vertical de la planta para soportar justo en el codo del ducto (ver Figura 3-14, Soporte S4).

A continuación, se verán los distintos tipos de sillas y los distintos tipos de soportes que conforman el diseño estructural del proyecto.

3.3.3. Silla soportes

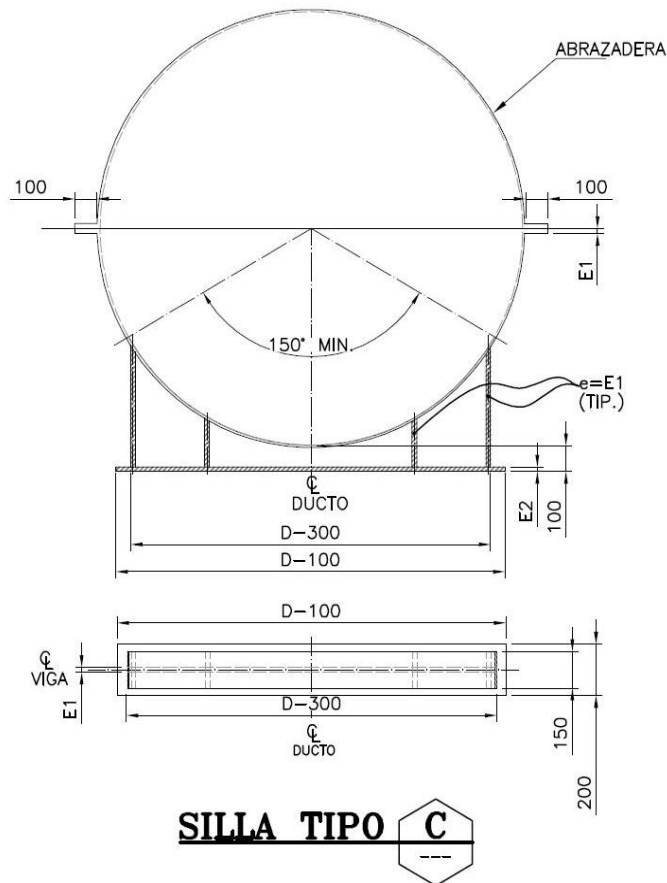
Las sillas Tipo A (Figura 3-9), se utilizan cuando el ducto de captación no deba sufrir movimiento, por ejemplo en tramos en los que el movimiento del ducto no es útil para la captación, para ello se utiliza un perno “U” para la sujeción del ducto y así evitar el movimiento vertical del ducto, sólo permitiendo el movimiento hacia el frente y atrás. Estas sillas se encuentran por lo general cuando el ducto se encuentra en posición vertical subiendo por el edificio, ya que en ese punto en específico el movimiento hacia afuera del ducto debe ser controlado.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-9. Silla tipo A.

medio de un perno “U”, en cambio, en diámetros más extensos, es necesario utilizar una abrazadera que puede ser del mismo material del resto de la silla, y de esta manera disminuir el movimiento del ducto.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-11. Silla Tipo C.

Tabla 3-3. Tabla para determinar dimensiones

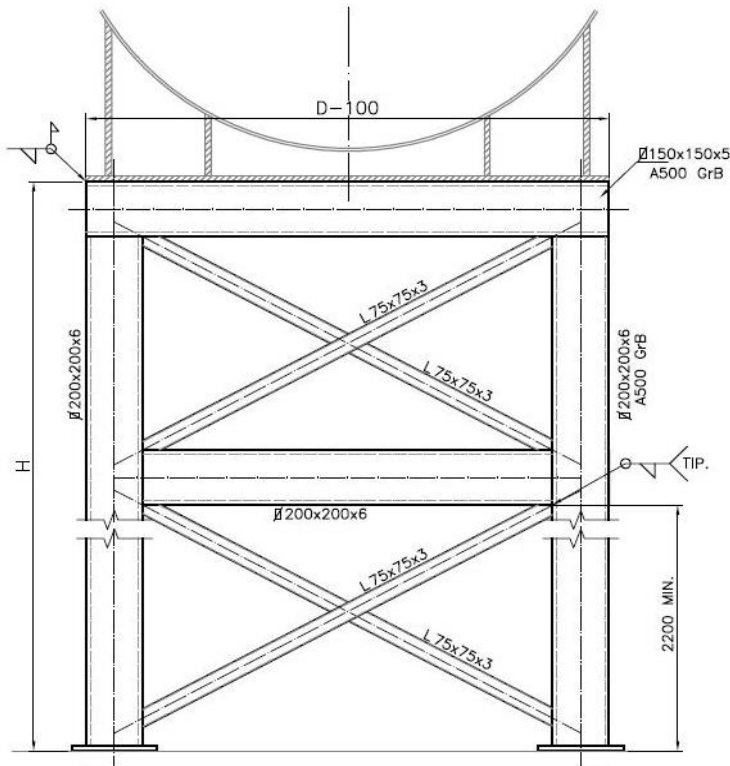
TABLA PARA DETERMINAR DIMENSIONES DE SILLA			
DIAMETRO D		ESPESOR 1 E1	ESPESOR 2 E2
75-329		5	5
330-780		5	5
781-1220		10	10
1221-2440		15	15

NOTA: 1.-TODAS LAS DIMENSIONES DE LA TABLA ESTAN EN mm.
 2.-LOS PERNOS U DEBEN INSTALARSE LEVEMENTE SUELTOS SOBRE EL DUCTO, UTILIZANDO TUERCAS Y CONTRATUERCAS TANTO POR ENCIMA COMO POR DEBAJO DEL SOPORTE.
 3.-TODAS LAS PLANCHAS PARA SILLAS EN ACERO A36.
 4.-"D" ES DIAMETRO DEL DUCTO.

Fuente: Elaboración Propia, Poch & asociados.

Continuando con los tipos de soportes, se encuentran los soportes S2, ver Figura 3-12, estos soportes se encuentran en la entrada del ducto al filtro de mangas, entre la estructura de la planta y el filtro de mangas, estos son los soportes más robustos y de mayor altura del proyecto, son prácticamente una estructura que en su parte

superior lleva una silla que une el ducto a la estructura, para que sobre esta silla se pueda asentar el ducto. A continuación se mostrará el soportes denominado S2, la denominación dependerá de criterios de diseño del proyecto y siempre llevando un numero correlativo, y la “S” de soporte.



Fuente: Elaboración propia, basada en “SMACNA”, en Poch & Asociados.

Figura 3-12. Soporte S2.

Tabla 3-4. Tabla para determinar dimensiones del soporte S2.

TABLA PARA DETERMINAR DIMENSIONES DE SOPORTE "S2"			
TIPO	ALTURA H	SILLA TIPO	CANTIDAD
S2A1	3500	A	1
S2B1	3500	B	1
S2C1	3500	C	4

NOTA: 1.-TODAS LAS DIMENSIONES DE LA TABLA ESTAN EN mm.
 2.-LA ALTURA H DEBERA SER VERIFICADA POR TERRENO, SEGUN B.O.P. DE DUCTOS.
 3.-EL ANCHO "A" DEPENDERA DEL TAMAÑO DEL SOPORTE TIPO SILLA SEGUN DIAMETRO DEL DUCTO, VER TABALA PARA DETERMINAR DIMENSIONES DE SILLA.

Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

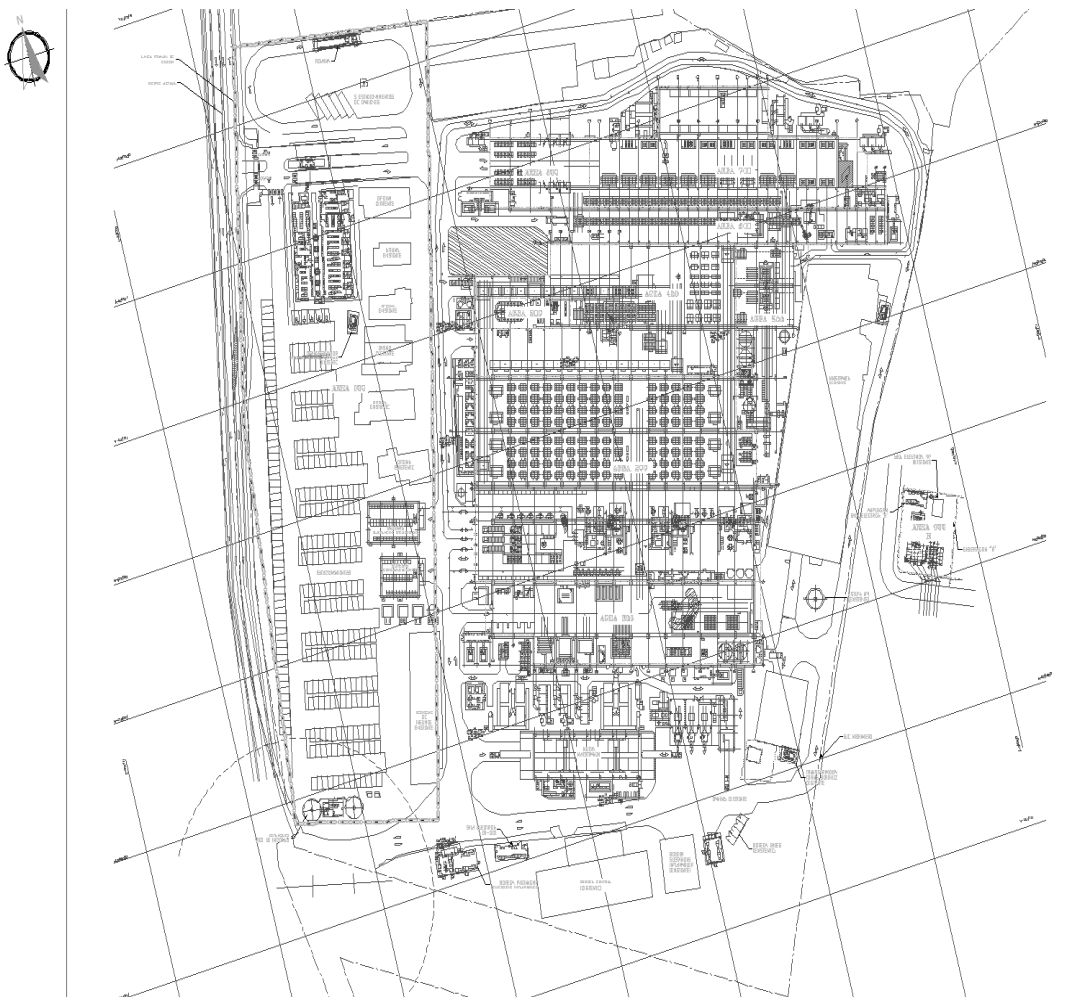
Por otro lado, los soportes S3 se diseñaron para los ductos que van sobre el techo de la planta donde se ubica el proyecto, ya que el techo posee una inclinación de 15°, fue necesario idear un soporte que pueda ir sobre este, por lo que se ideó colocar bajo la silla, que siempre va bajo el ducto, una cañería sería la solución para lograr un diseño apropiado, este soporte cambiará de altura según el nivel que posea el trazado proyectado del ducto.

Los planos del trabajo se encuentran en anexos A: planos del proyecto, se adjuntan sólo los planos que tienen que ver obviamente con el horno eléctrico n° 3, el ducto destinado a la extracción de los contaminantes producidos por este horno, hasta el fin del recorrido, el equipo filtrante en este caso, filtro de mangas (200-DBF-001), a continuación, se abordarán los distintos planos, y una pequeña descripción y porque se consideraron para este proyecto. Estos planos plasman el trabajo realizado con el modelamiento 3d anteriormente, ayudan a la documentación del modelado 3d, este trabajo se lleva a cabo luego de tener un modelado 3d finalizado, con todos los detalles previos ya vistos, y con un manejo avanzado de la totalidad del proyecto. Este proceso ayuda al manejo. Se debe destacar el nombre de cada plano, FTR= Fundición Talleres; 0001= Numeración correlativa de trabajo entre la empresa Poch & Asociados con el cliente Fundición Talleres; MEC= Área de trabajo dentro de la empresa, mecánica & piping; PL= Plano; y el número final es el correlativo dentro del proyecto que posee el plano, se va incrementando mientras más nuevo sea el plano, y va cambiando respecto al área que se esté trabajando, en el caso de los planos que se adjuntan todos se encuentran dentro del área 200, por lo que todos serán desde el correlativo 200 hacia adelante, por ejemplo FTR-0001-MEC-PL-0213 Plano fabricación de campana extracción, este plano corresponde al área donde se emplea el proyecto, esto se puede diferenciar por el correlativo 0213 al final de la denominación del plano, mientras FTR-0001-MEC-PL-001 Layout general de la planta, no está dentro de los márgenes del área de emplazamiento del proyecto, ya que el correlativo es 0001, esto quiere decir que forma parte de los planos comunes del proyecto, valido para todas las especializaciones, y conforma parte de los planos que se muestra la totalidad de la planta.

Para mayor entendimiento ver planos FTR-0001-MEC-PL-001 Layout general de la planta y FTR-0001-MEC-PL-002 Detalle de áreas de la planta.

3.4.1. Planos layout ubicación áreas

En estos planos se abarcará el área completa de la fundición talleres, y se acotarán las distintas áreas de división dentro de estas mismas, para una claridad mayor de dónde se está trabajando en el proyecto, como se comentó anteriormente estos planos son comunes entre especialidades, y nos sirven para mayor comunicación de todas las áreas. Ver en anexos del trabajo planos: FTR-0001-MEC-PL-001 Layout general de la planta y FTR-0001-MEC-PL-002 Detalle de áreas de la planta. Para una mayor claridad de esta descripción.

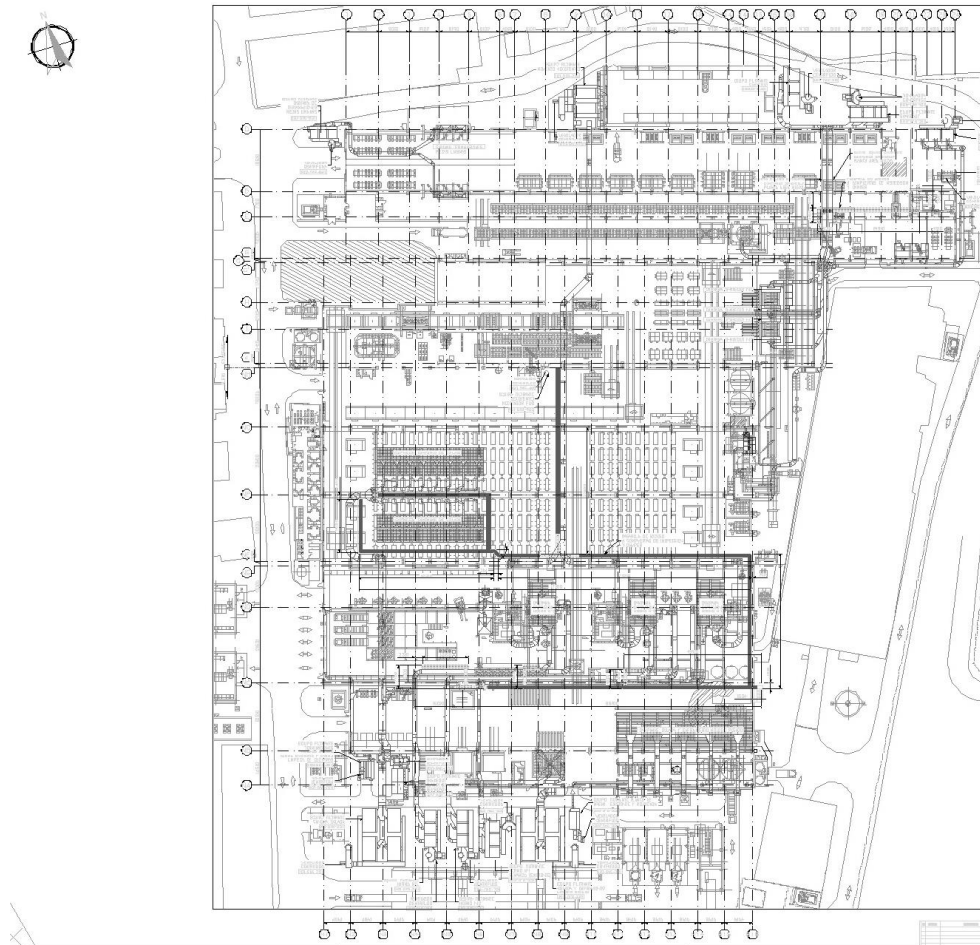


Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-15. Plano FTR-0001-MEC-PL-001 Layout general de la planta.

En la Figura 3-15 Plano FTR-0001-MEC-PL-001 Layout general de la planta (Anexo A), se puede ver la planta general, donde se puede observar los ejes referenciales para la ubicación y topografía relacionada al terreno donde se ubica la planta, este plano nos sirve para entender el lugar de emplazamiento, donde lo primordial es ver todo el conjunto de la planta, así tener un concepto general de todo el entorno alrededor del proyecto, y obtener los ejes y referencias necesarias para la implantación del sistema de captación en el lugar correcto, y no tener desfase con las demás especialidades, las cuales se guiarán de este mismo para el diseño de los demás proyectos a realizar en la planta.

Así como en la Figura 3-16 Plano FTR-0001-MEC-PL-002 Detalle de áreas de la planta, se puede ver con más detalle el layout general de la planta, donde se separan las distintas áreas que conforman la planta, para tener una mayor comprensión de ésta, en este plano se pueden ver los ejes referenciados por el cliente para tomar como referencia, también como se separa en áreas la planta de Elecmetal, para una fácil intercomunicación de trabajo entre las distintas disciplinas.



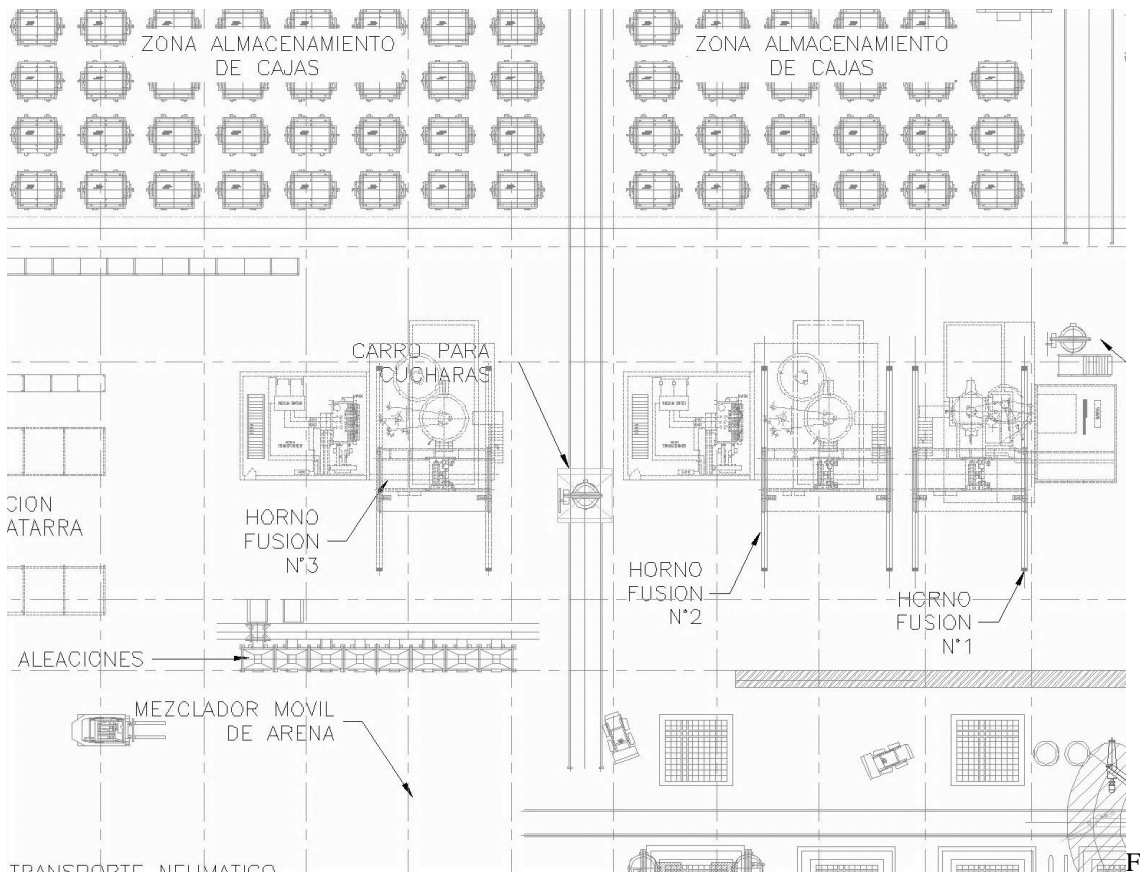
Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-16. Plano FTR-0001-MEC-PL-002 Detalle de áreas de la planta.

En la Figura 3-16 es el FTR-0001-MEC-PL-002 (Anexo B), otro plano que se encuentra en los anexos del proyecto, este especifica las distintas áreas de la totalidad de la planta, separando por proceso cada una de ellas, mientras que en la Figura 3-17 se observa el área donde se realizará el proyecto área 200 más en detalle.

Se puede observar la campana del horno arco eléctrico n°2 (horno fusión n°2, especificado en el plano), se pueden ver los tres hornos fusión, a ambos lados del horno del proyecto, sobre los hornos fusión se aprecia la zona de almacenamiento de cajas, al centro se encuentra el carro para cucharas, también se detallan las zonas del mezclador móvil, donde se realizan las aleaciones, todo en más detalle. Esto permite tener una idea más clara del entorno de la planta, a nivel tierra del proyecto, ya que en los planos anteriormente vistos se encuentra vistas a mayor nivel de la techumbre, en este plano se puede ver una vista a un nivel menor, lo que nos permite profundizar en el diseño de la planta, así mismo en diseño del proyecto, por consiguiente.

Estos planos pueden ser encontrados en anexos A: planos del proyecto, así poder revisarlos en mayor profundidad, pero en lo referente a este plano, esta zona es la que más destaca, ya que el horno fusión n°2 es el equipo a filtrar.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-17. Plano FTR-0001-MEC-PL-002 Detalle del área del horno fusión N°2.

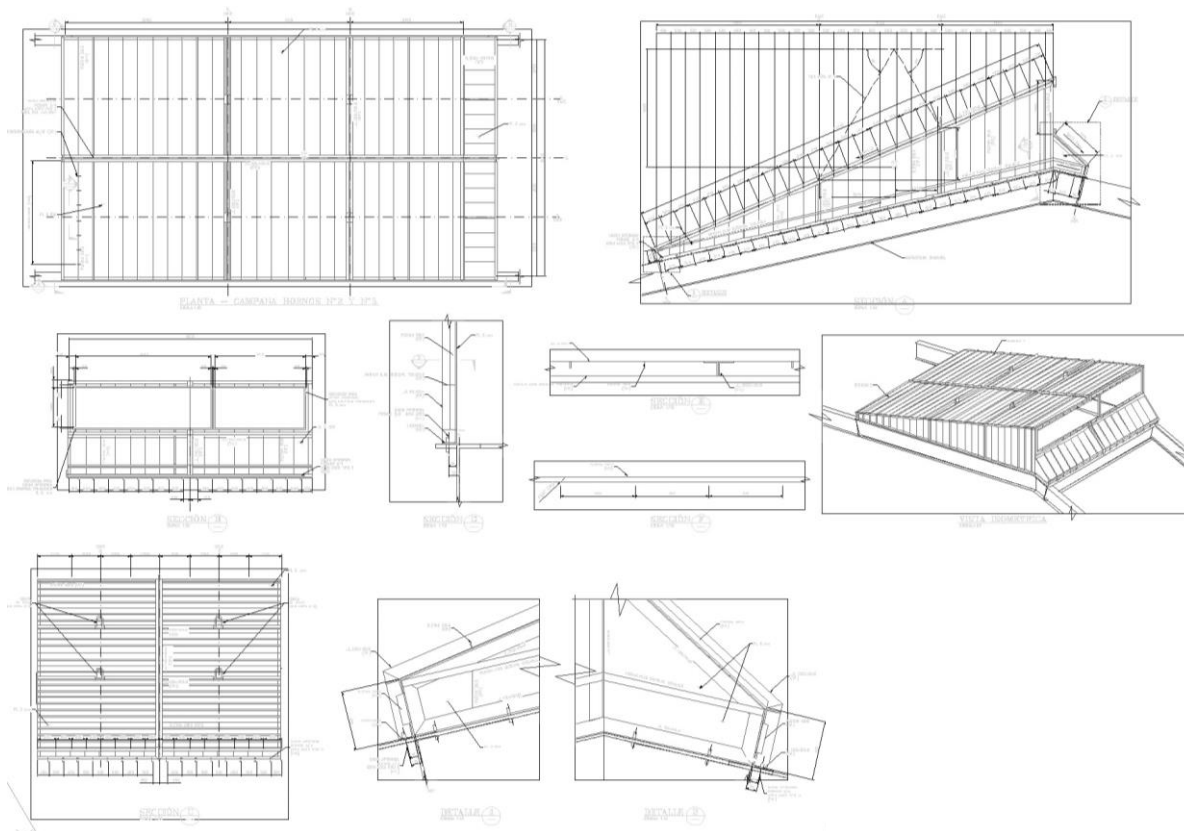
3.4.2. Plano layout general ductos

En este plano se muestran todos los ductos que abarcan el proyecto completo, así se poseerá una mayor claridad en la envergadura del proyecto de sistemas de captación que se utilizarán en total en el proyecto, ver en anexos plano: FTR-0001-MEC-PL-0007 (Anexo C).

En la Figura 3-18 se puede ver el plano FTR-0001-MEC-PL-0007 (Anexo C) que se encuentra en anexos: planos del proyecto, en él se pueden ver los ductos de toda la planta, estos se muestran en color rojo, claramente se pueden identificar en el layout, así se aprecian los ductos de cada área, y en especial el área de estudio del proyecto, el área 200, donde se encuentra el horno fusión N°2 nombrado anteriormente, en la Figura 3-19 se puede apreciar la vista superior de la planta (techo) donde aparecen los ductos de extracción para cada equipo que necesita de este proceso, pero el que importa en este proyecto es el horno fusión u horno de arco eléctrico, por lo que en dicha Figura se muestran claramente los ductos relacionados a éste, el recorrido en la vista superior, desde la campana de captación hasta el filtro de mangas, donde se produce la limpieza del aire, se destacan en esta figura la campana y el filtro de mangas, para un mayor entendimiento.

3.4.3. Planos campana extracción y captación horno

En estos planos se ven en detalle la campana de extracción del horno n°2 y la del n°3, al ser iguales estos hornos, su captación sería equivalente, se pueden ver las medidas generales y detalles para la fabricación de esta campana de extracción del horno de arco eléctrico, ver plano FTR-0001-MEC-PL-0213 Plano fabricación de campana extracción (Anexo D). A continuación, se adjunta la Figura 3-20 donde se aprecia la campana de captación del horno arco eléctrico.

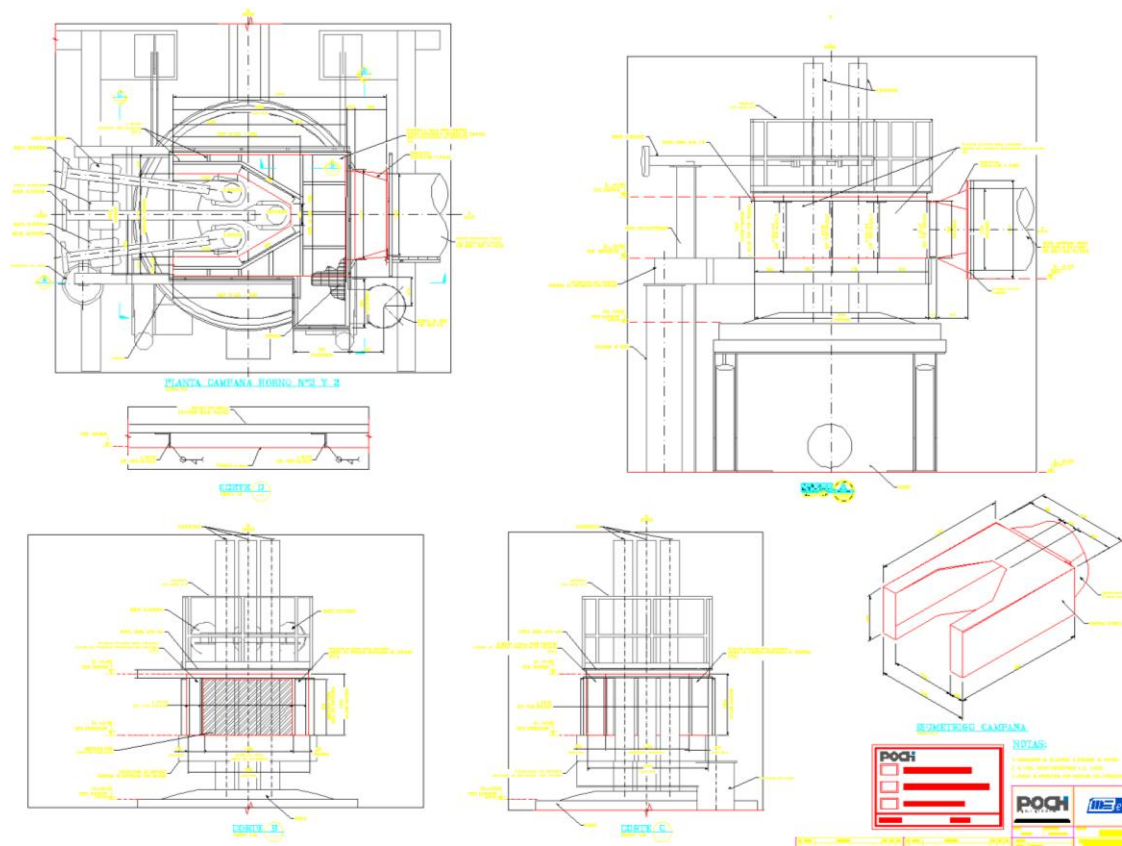


Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-20. Plano FTR-0001-MEC-PL-0213 Plano fabricación de campana extracción.

En lo referente a la captación del horno se adjunta un plano que detalla cómo es la captación realizada en el horno, se puede relacionar este plano con el anteriormente visto FTR-0001-MEC-PL-002 detalles de área de la planta, donde se observa la planta y entorno del plano de detalle que se verá a continuación. De igual manera éste sólo se adjunta para tener una referencia y una mayor claridad de cómo se extraen los contaminantes del horno (ver plano FTR-0001-MEC-PL-0214 Plano fabricación de extracción horno (Anexo E)).

Se adjunta de igual manera la Figura 3-21 donde se puede ver el detalle de la forma de extracción del horno de arco eléctrico, en rojo se puede ver la pieza clave en la extracción, que se encuentra en la parte superior del horno arco eléctrico.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-21. Plano FTR-0001-MEC-PL-0214 Plano fabricación de extracción horno.

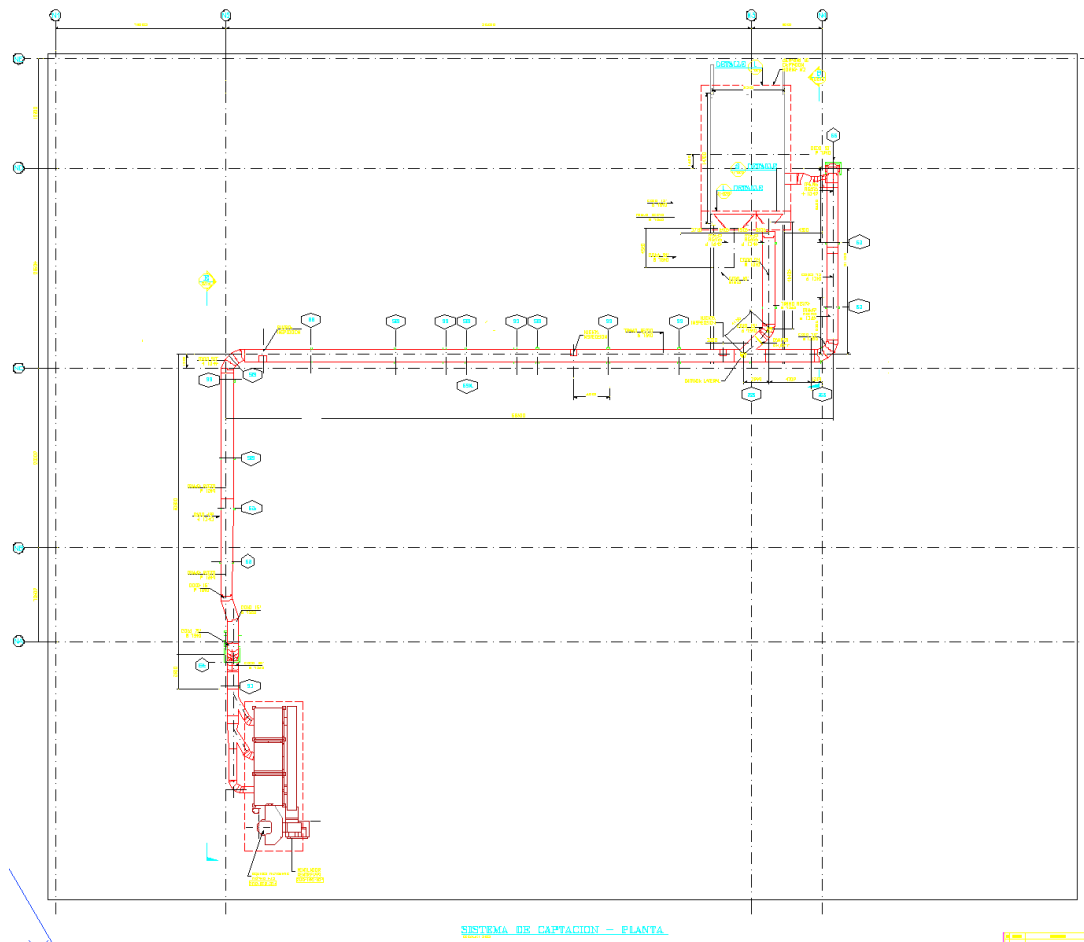
3.4.4. Plano layout, cortes y elevaciones ductos horno n°3

Estos planos son los más relevantes para el proyecto ya que todo lo visto anteriormente se resume a estos planos, donde se acota el recorrido del ducto del sistema de captación en el plano de layout desde una vista de planta del área de trabajo, y en el plano de cortes y elevaciones, desde una vista lateral, detallando cuando es necesario, cabe destacar que en rotulo de cada plano se detalla de que es el plano, y se especifica desde el área y se analiza con detalle cada parte del sistema de captación, para ver el layout ver plano FTR-0001-MEC-PL-0216 Plano layout ductos horno fusión n°3 (Anexo F), y para ver los cortes y elevaciones ver plano FTR-0001-MEC-PL-0212 Plano cortes y elevaciones (Anexo G).

Con estos planos el diseño y modelado 3d del proyecto se llevan a planos 2d, estos planos toman como referencia la maqueta 3d anteriormente modelada y nos entregan documentos en 2d (planos), como se suelen utilizar normalmente para el proceso de montaje y fabricación. Las tecnologías de modelado en 3d ayudan a la coordinación, visualización y ejecución del proyecto, permitiendo de esta forma una mejora al nivel de diseño de proyección.

En la Figura 3-22 se adjunta el detalle del plano FTR-0001-MEC-PL-0216 con el detalle en vista superior de sólo los ductos que conforman el proyecto, este plano muestra todos los detalles para la fabricación del proyecto, ángulos y largos necesarios,

el recorrido que debe seguir el ducto, y cómo debe ser este mismo; también se aprecia la campana de extracción y el filtro, para así tener conocimiento de todo el proyecto. Asimismo, se adjunta la Figura 3-23 donde se aprecia con mayor detalle el ducto de la campana de extracción.

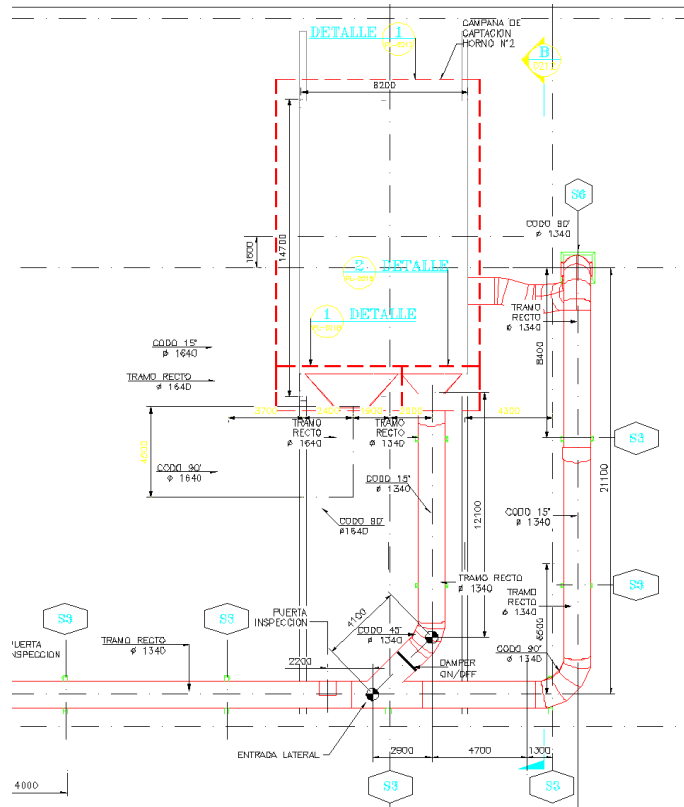


Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-22. Plano FTR-0001-MEC-PL-0216 Plano layout ductos horno fusión n°3.

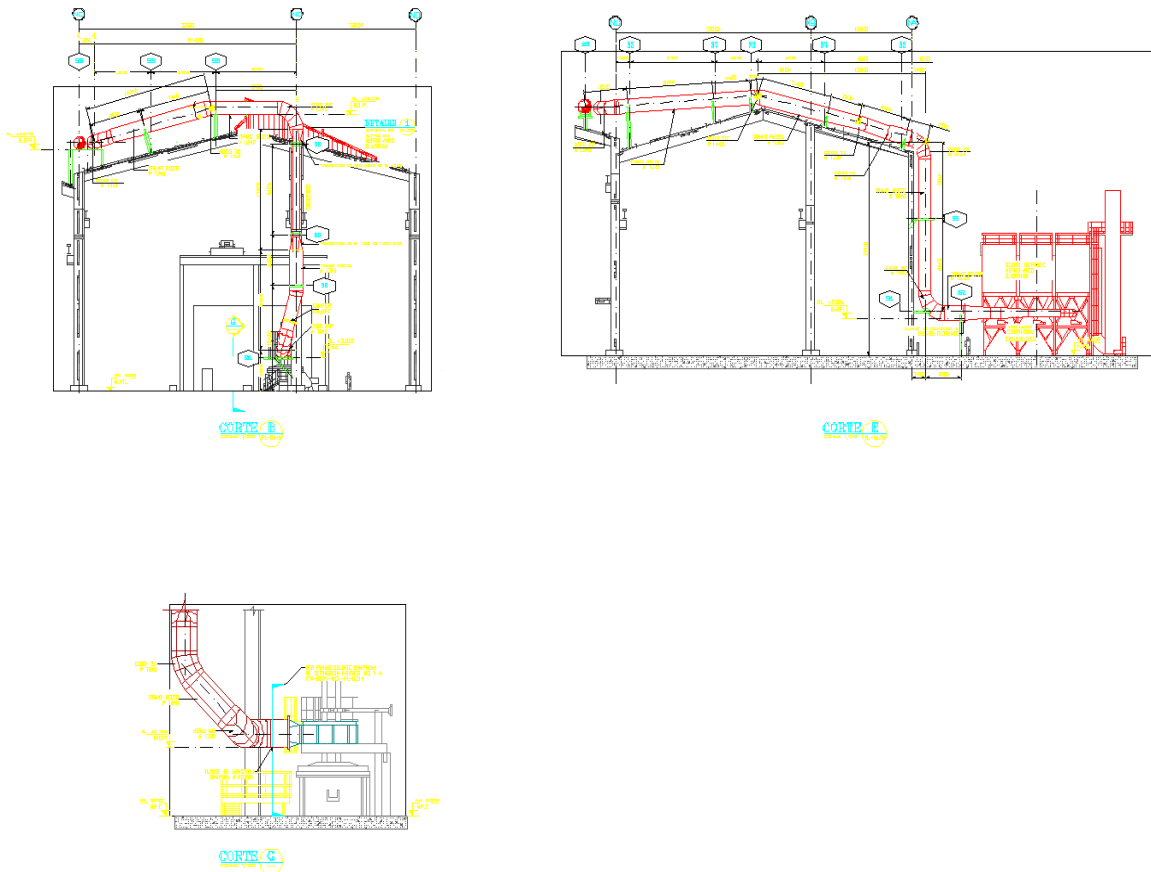
Este plano FTR-0001-MEC-PL-0216 de igual manera se presenta como layout general de soportes, ya que en él se logra apreciar todos los distintos soportes que conforman el proyecto, es el plano ideal para representar gráficamente la idea de distinta soportación. Teniendo en cuenta que no existe un plano que muestre todo el conjunto de ductos de mejor manera, esto hace a este plano de layout un plano con bastante información, uno, si no el plano más relevante para el proyecto, ya que se considera todo el recorrido que diseñó previamente, y como avanza a través de la estructura.

Para la representación de los soportes se utiliza un símbolo con las denominaciones que se dio previamente en a los soportes, cada uno con una denominación diferenciada para que no exista con fusión, como ya se ve anteriormente se utiliza la “S” y un número diferenciador de soportes, así lograr el mejor entendimiento de estos.



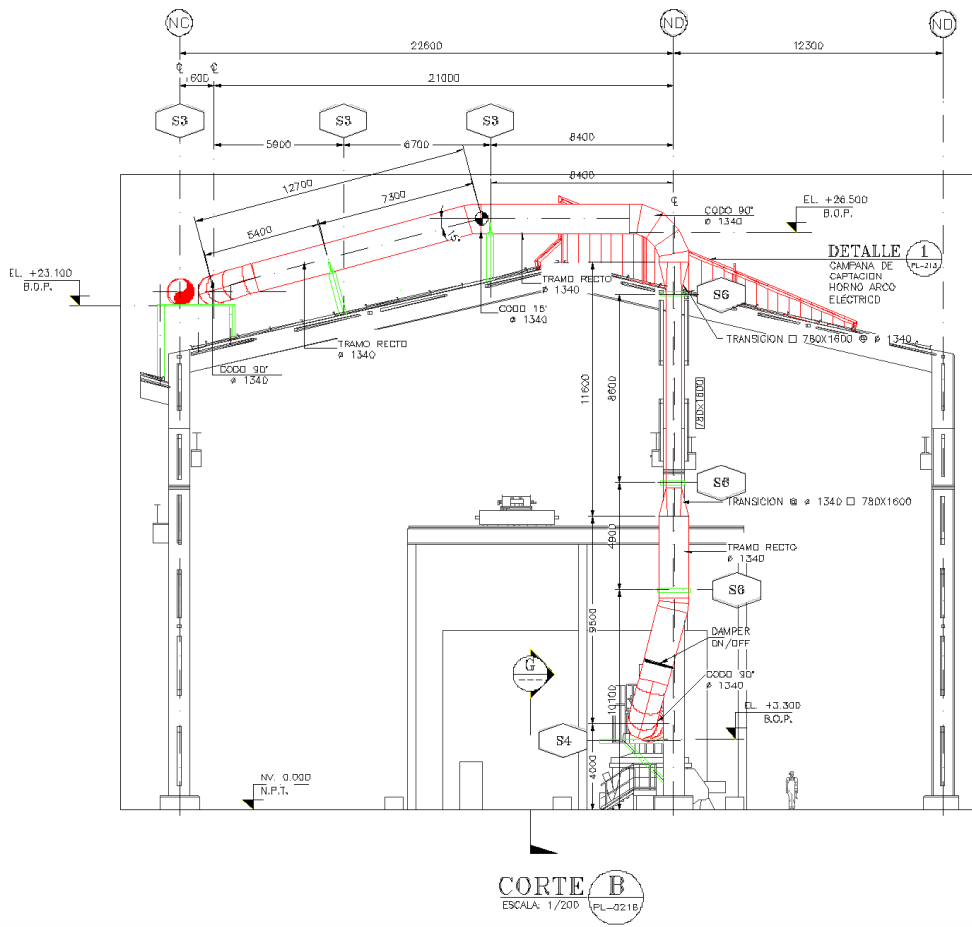
Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-23. Detalle de layout ductos horno fusión n°3.



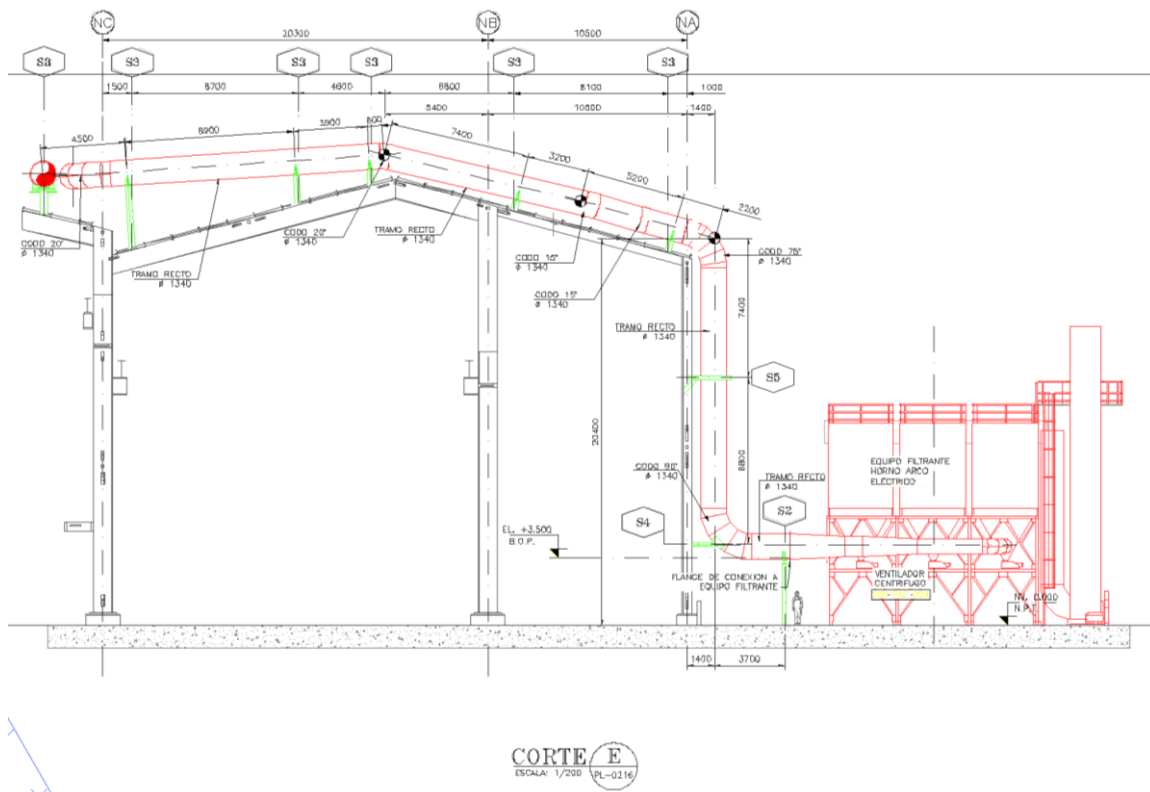
Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-24. Plano FTR-0001-MEC-PL-0212 Plano cortes y elevaciones



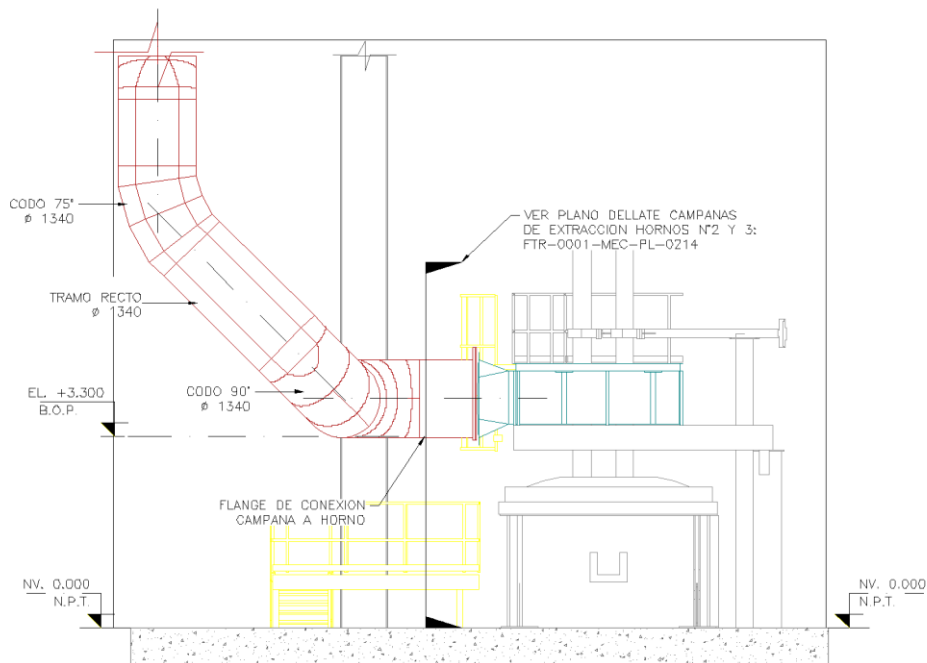
Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-25. Plano FTR-0001-MEC-PL-0212 Corte B.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-26. Plano FTR-0001-MEC-PL-0212 Corte E.



CORTE G
ESCALA: 1/100

Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-27. Plano FTR-0001-MEC-PL-0212 Corte G.

En la Figura 3-24 se adjuntan los cortes y elevaciones, la nomenclatura correspondiente a este plano FTR-0001-MEC-PL-0212 plano cortes y elevaciones. En este plano se pueden ver los cortes y elevaciones correspondientes al layout del proyecto, se adjuntan medidas importantes en relación a los ductos y estructura donde se emplaza el proyecto y con éstas lograr la fabricación y mejor proyección de las distintas vistas del proyecto.

En la Figura 3-25 corte B, se aprecia en detalle el corte b del proyecto, en éste se encuentra una vista lateral derecha en relación al layout del proyecto, se aprecia también el recorrido del ducto desde el horno de arco eléctrico hasta la campana de extracción, el ducto se representa con color rojo, mientras que los soportes en color verde con su respectiva sigla, indicando el tipo de soporte, las siglas corresponden a la especificación dada en el plano FTR-0001-MEC-PL-0030. En la Figura 3-26 se puede ver el corte E correspondiente a la vista lateral izquierda del proyecto, es similar a la vista anterior, ésta muestra el lado opuesto de la anterior, de esta forma visualizar el otro lado, en esta vista se puede apreciar el equipo filtrante y la entrada del ducto a éste. Finalmente, en la Figura 3-27 se puede ver el detalle del ducto de salida de gases y polvos del horno de arco eléctrico, esta unión se genera con un flange donde termina el límite de suministro del proyecto.

3.5. MODELADO DEL PROYECTO

Todo lo calculado anteriormente se puede resumir en la maqueta del proyecto, donde se establece toda la modernización de la planta Fundición Talleres, ya que se utilizan referencias de otras especialidades, aparte de lo proyectado y modelado en la especialidad que se trabaja en este proyecto (Mecánica & Piping).

La parte que se considerará en este proyecto es la del ducto de captación del horno eléctrico n°3, así se denominó en el proyecto de la empresa Poch, y se decidió mantener la misma denominación.

El “Render” es una imagen digital que se crea a partir de un modelo o escenario en 3D realizado en algún programa de computadora especializado, cuyo objetivo es dar una apariencia realista desde cualquier perspectiva del modelo.

Posteriormente, este modelo 3D se somete a diversos procesos, que con el uso de técnicas de texturizado de materiales, iluminación, distribución, así como técnicas fotográficas, crean una serie de efectos ópticos que se asemejan a una situación específica en el mundo real, dando como resultado una imagen foto realista.

En la Figura 3-28 se aprecia el primer diseño preliminar del proyecto, con un render que da una mirada previa general de los ductos, su recorrido en la estructura y como fueron modelados sobre ésta, se ven los filtros a un costado, donde llegan finalmente los ductos. A mayor abundamiento, los ductos que aparecen en la Figura 2-3, donde se mostró el trabajo ya realizado, son los mismos que aparecen en la Figura 3-28 que vienen a significar el diseño preliminar de la obra.

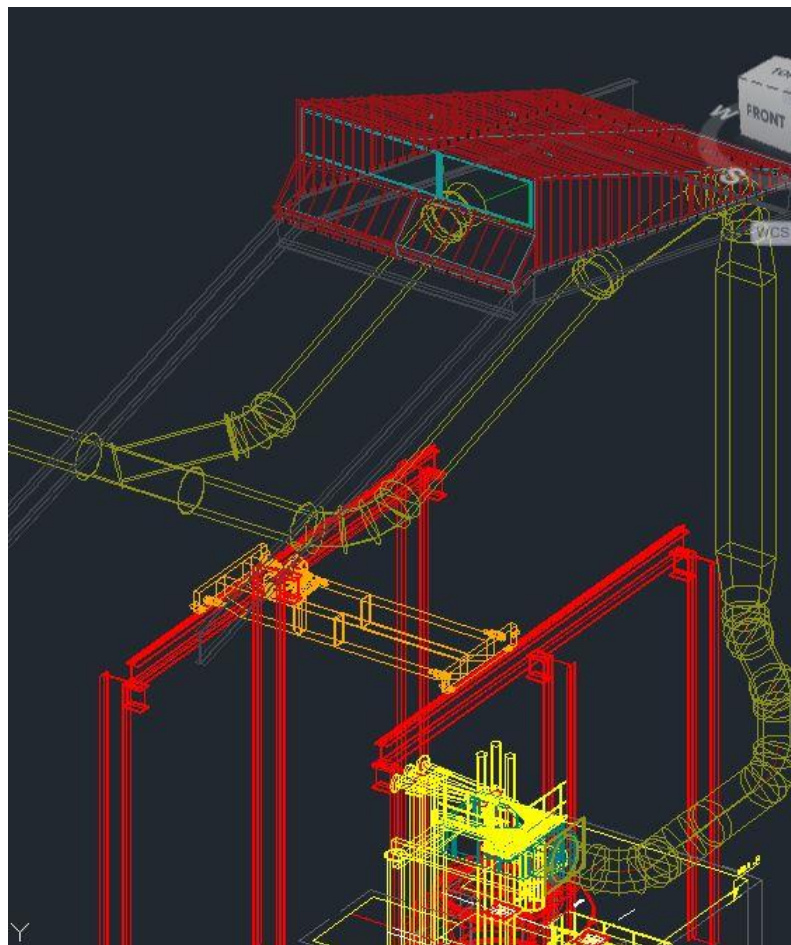


Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-28. Render Planta Elecmetal.

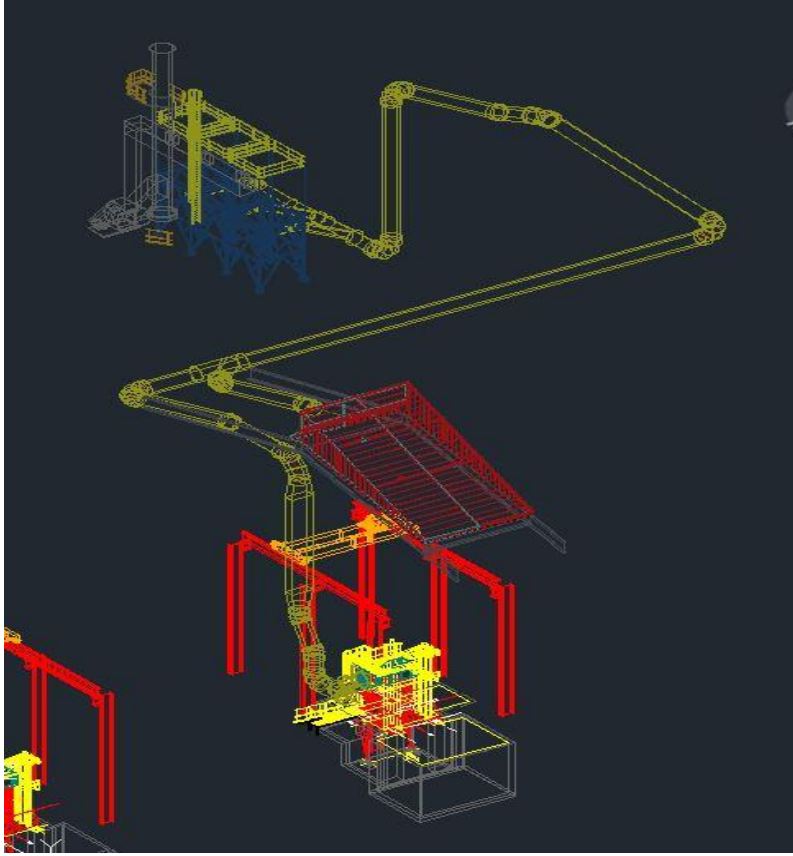
3.5.1. Diseño final del proyecto

Para el diseño final del proyecto fue necesario saber las características de los equipos utilizados, entradas y salidas de éstos, tanto como el recorrido para la suportación, ya teniendo todos esos datos claros, se precede a realizar la proyección y modelado del proyecto en sí, esto se realizó en el programa Autocad Plant 3D donde ya con el diseño claro y todo el estudio técnico finalizado se modelo el proyecto completo en 3D, para obtener los planos de cortes y elevaciones 2D a partir de éstos , se visualizan las interferencias en el programa Navisworks Simulate, igualmente se puede visualizar de forma más expedita un diseño 3D del proyecto, y para finalizar el diseño, se realizó renders de la planta y del ducto de captación del horno de arco eléctrico por medio del programa Showcase para entendimiento y presentación del proyecto, cabe destacar que todos los programas anteriormente señalados son propiedad de la empresa Autodesk. A continuación se mostrarán la Figura 3-29 a la Figura 3-34 correspondientes a imágenes de todos los programas anteriormente mencionados y el resultado final en los renders.



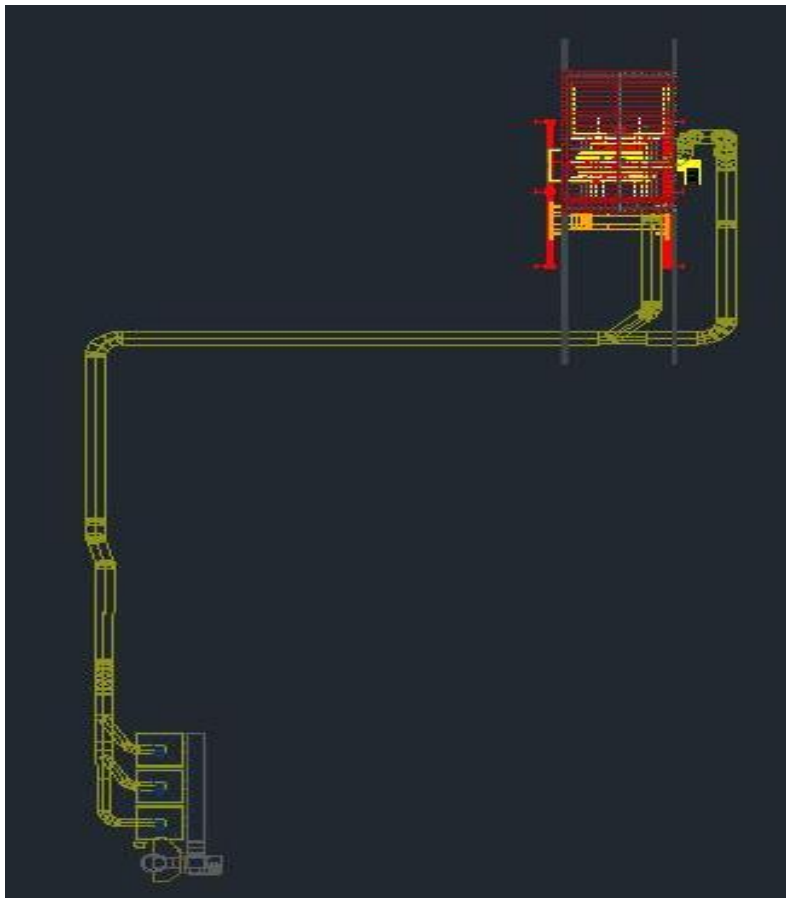
Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-29. Trabajo del proyecto en Autocad 3D.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-30. Trabajo Proyecto Autocad Plant 3D totalidad del proyecto.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

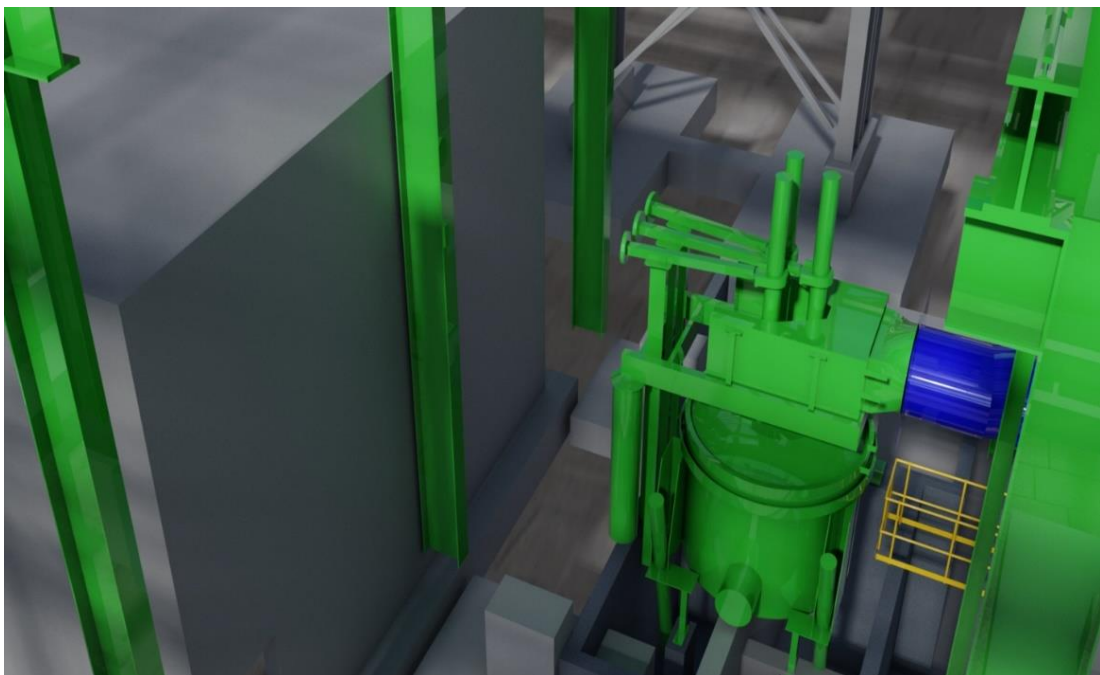
Figura 3-31. Trabajo Proyecto Autocad Plant 3D planta del proyecto.

De la Figuras 3-29 a la Figura 3-31 muestran el desarrollo de la maqueta en 3D en AutoCAD Plant 3D, uno de los softwares más utilizados dentro de la industria para la generación de maquetas 3D de plantas industriales, y herramienta fundamental utilizada para el desarrollo de este proyecto, ya que contiene todas las bibliotecas estandarizadas para el desarrollo de tuberías y ductos, una vez sean cargadas en este software, también permite un trabajo referenciado con otras especialidades, como obras civiles (estructura), y equipos, por lo que se facilita la coordinación del proyecto.

Inicialmente, se usarán como referencia las obras civiles, otorgadas por los Ingenieros Estructurales, quienes ya tienen predeterminada y diseñada su área de trabajo, que será la que el proyectista tomará como base para generar los ductos y sus respectivos soportes, una vez ya trazado el recorrido que utilizará el ducto.

En las imágenes en comento, los ductos están representados con color amarillo, los filtros de manga con color azul, y la campana del horno de arco eléctrico con color rojo, mientras que la estructura usada de referencia se representa con color gris opaco.

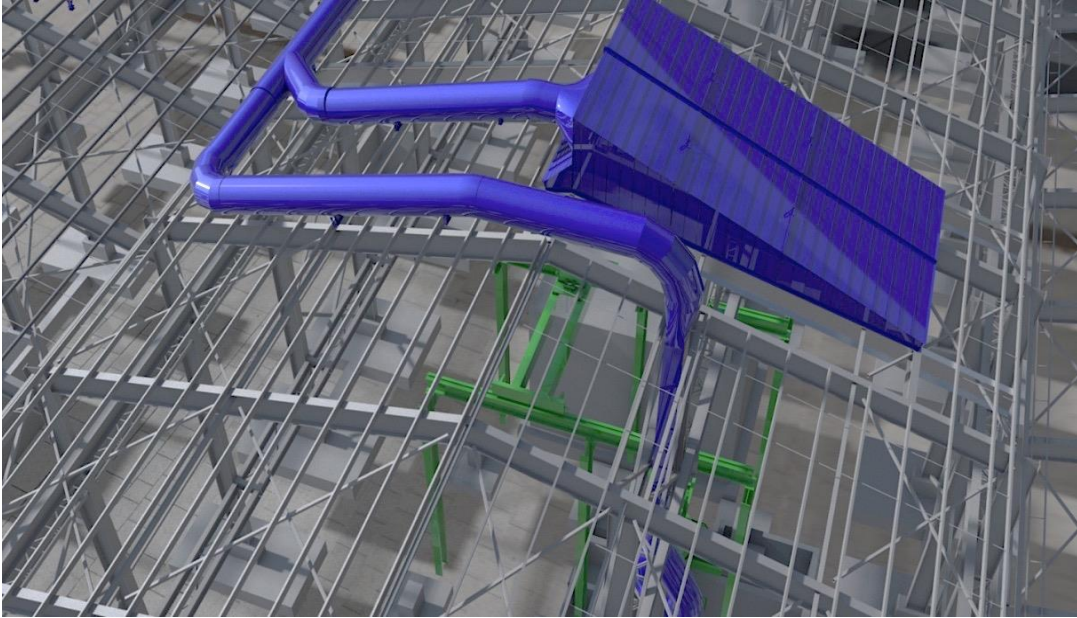
Las Figuras 3-32 a la Figura 3-34 muestran los denominados renders del proyecto, en éstos se aprecian las estructuras en color gris, al igual que en el diseño anterior, mientras que en color azul se aprecian los ductos de captación; en amarillo se pueden ver las barandas de seguridad, y en verde se aprecia el horno de arco eléctrico que abarca el proyecto. Cabe destacar que en los siguientes renders sólo se muestra lo relativo al proyecto, esto quiere decir, el ducto de captación del horno de arco eléctrico, el horno, y la estructura correspondiente a éste, los demás puntos de la planta fueron omitidos, para una mayor comprensión y entendimiento del proyecto.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-32. Render horno de arco eléctrico.

En la Figura 3-32 se puede apreciar el horno de arco eléctrico del proyecto, el cual posee las emisiones a filtrar y conforma la base angular de este, ya que sin este horno lo demás del proyecto no tendría sentido alguno.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-33. Render campana horno arco eléctrico.

En la Figura 3-33 se pudo ver la campana del horno de arco eléctrico antes visto y ejemplificado con su respectivo “render”, la campana se encuentra entre el horno de arco eléctrico y los ductos de captación, es el encargado de la sustracción de los gases, por esto se encuentra sobre el horno arco eléctrico, para que los gases se trasladen en su totalidad hacia el filtro.



Fuente: Elaboración propia en Poch & Asociados.

Figura 3-34. Render trazados del ductos de sistema de captación.

En la Figura 3-34 se logra observar el trazado y recorrido de los ductos del sistema de captación del proyecto, en la parte inferior derecha del “render” se puede ver el filtro de mangas del sistema de captación, mientras que claramente se puede ver el ducto recorrer la estructura por su parte superior (techumbre de la planta), hasta llegar a la campana del horno de arco eléctrico, mientras se observa el entorno simulado del proyecto, antes analizado en el Capítulo 2 de este trabajo.

Los renders, en base al diseño final, muestran con mayor claridad el desarrollo del proyecto, se puede observar la estructura completa, los hornos y como los ductos recorren el techo de la estructura, la diferenciación de colores en este caso es distinta a la del trabajo en AutoCAD Plant 3D, ya que se utilizan los colores más parecidos a la realidad, ductos color azul, estructura gris (se mantiene), horno de arco eléctrico verde y filtro de mangas color azul al igual que el ducto.

3.6. COSTOS DEL PROYECTO

A continuación, se analizarán los costos relativos a las materias primas del proyecto, y el montaje de éstos. Los costos fueron enviados a empresas especializadas en las áreas correspondientes, una empresa distribuidora de material (ductos) y equipos, desarrollo del diseño que se ejecutó en el proyecto, y otra empresa encargada del montaje en terreno del proyecto. Asimismo, se cotizó el material necesario para la materialización del proyecto en varias empresas, para posteriormente realizar una selección entre todas y llegar al valor más acorde al presupuesto, o en su defecto, el que resultare menos gravoso.

3.6.1. Cubicación del material

Para comenzar con los costos relacionados al proyecto, se debe cubicar el material que conforma el proyecto, al menos el material que conforma los ductos y los soportes del ducto, esto se debe llevar a cabo ya que en general las maestranzas trabajan con el peso para realizar el cobro de fabricación, en este caso para la fabricación del ducto y la suportación.

Para realizar esto se utiliza la maqueta 3D realizada con el programa AutoCAD Plant 3D, primero el archivo a analizar debe estar con las medidas y consideraciones finales del proyecto, luego se transforma a un archivo de AutoCAD (.dwg), el archivo .dwg se abre en AutoCAD y se utiliza el comando MASSPROP el cual nos entrega el volumen total del archivo 3D, luego, ese volumen multiplicarlo por el material (Acero A-36, el acero más común del mercado) y así se obtiene el peso. Según el programa, el volumen del total de los ductos por maqueta 3D es 190 m³, multiplicado por 7,56 kg/ m³

densidad acero A-36, el peso (masa) del total de ductos del proyecto es de 1490 kilogramos; mientras que el peso de los soportes tras el mismo proceso anterior es de 700 kg, en total el recorrido de ducto del proyecto. Cabe destacar que es los valores anteriores son valores aproximados, ya que el programa puede tener margen de errores por lo que a estos resultados se les agregó un 5% como margen de errores. En su defecto, también se compara con la cubicación realizada por la empresa contratista que se adjunta al proyecto, para así tener un dato certero y coordinado entre ambas partes. Luego de la licitación, la empresa que se adjudicó el proyecto fue la maestranza Alemania (MIES), ya que por su experiencia en este ámbito, y el valor de su oferta, fue la que más se adecuaba y adaptaba al proyecto.

3.6.2. Cotización de filtros

Para la cotización del filtro, no se cubica nada ya que es un equipo y los equipos sólo se deben buscar proveedores de filtros de manga, según requerimientos mencionados anteriormente en el proyecto, para aquello se realiza una investigación en primera instancia, y luego se piden cotizaciones a estos proveedores. Dentro de estas cotizaciones se selecciona la mejor opción en cuanto a precio, plazo de entrega y calidad del equipo. Luego del análisis de varios presupuestos, se llegó a la conclusión que la mejor opción era la empresa Termovent, la cual después de resolver problemas de ofertas, dio el presupuesto de un filtro de manga con las características necesarias para el proyecto con un precio de \$30.000.000 (treinta millones de pesos).

3.6.3. Tabla general de costos

A continuación, se resume todo lo mencionado en la Tabla 3-3, donde se pueden observar los valores de las distintas partes que conforman el proyecto “Ductos del Sistema de Captación”, desde la campana (la campana está excluida del proyecto) que recoge las emisiones del horno de arco eléctrico, hasta el filtro de mangas, el equipo que realizará la labor de filtrar los gases emitidos por el horno de arco eléctrico, para este proyecto, el horno arco eléctrico N° 3. Los valores importantes de este proyecto son el ducto que transporta las emisiones (polvos y gases contaminantes) y el filtro de mangas, el cual filtra estas emisiones y las deja salir al entorno, por lo que estos dos fueron los cotizados, la empresa a cargo de la fabricación es MIES, empresa que ya tiene bastantes proyectos mecánicos realizados previamente con POCH, por lo que esta realización de este proyecto no tendrá mayores inconvenientes.

Los valores monetarios se encuentran en peso chileno (CLP) y el peso en kilogramos (kg).

Tabla 3-5. Listado de materiales del proyecto.

ITEM	UND.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (Kg)	COSTOS (\$)
1	UN	Ductos sistema captación	ASTM A-36	1500	20.000.000
2	UN	Filtro de manga	A42-7	6000	45.000.000
		total:			65.000.000

Fuente: Elaboración propia, presupuesto realizado por empresa MIES.

3.6.4. Tabla costos montaje

A continuación, se resume el montaje de los ductos y el filtro de mangas del proyecto, el montaje contempla el traslado del material y equipo hasta el lugar de emplazamiento del proyecto, hasta que el ducto está instalado junto al equipo, y éstos ya funcionando sin problemas. La empresa a cargo de esta labor es la misma que proveerá los ductos ya terminados, empresa MIES, la cual trabaja en conjunto con la supervisión de instalación, la empresa encargada del proyecto, POCH, para que el proyecto se lleve con la coordinación adecuada, respecto a los plazos establecidos para la totalidad del proyecto.

En la Tabla 3-6 Listado de montaje del proyecto, se explica en detalle cada una de las acciones que conforman el montaje de los ductos, se desglosa desde el montaje del filtro (equipo) ítem 1, hasta la puesta en marcha, la cual se estimó en 8 semanas por parte de la empresa, según los plazos que manejaba la empresa (disponibilidad), por lo que se fijó como un plazo correcto para el proyecto, con lo que respecta al equipo y puesta en marcha de este, se considera hasta la conexión a los elementos de fuerza y control del equipo, para dejarlo en 100% de funcionalidad, con los elementos nos referimos al filtro de mangas, único equipo de este proyecto en tener funcionalidad electromecánica, por lo que es necesaria una conexión de este para su funcionamiento idóneo.

Posteriormente se analiza el montaje soportes y ductos de captación de polvos y gases, donde el elemento diseñado es llevado hasta la ubicación del proyecto, y éstos son emplazados en el sector donde, según planos de layout, deben estar posicionados, incluyendo la soldadura de los mismos sobre la estructura de la planta. Del mismo modo se consideran los viáticos y traslados del personal, que resulta un factor de relevancia en lo referente al trabajo en terreno del proyecto, en este caso, el montaje mecánico. Finalmente, en el punto N° 4 se desglosa la puesta en marcha, donde se considera tanto el personal, el horario de trabajo, como el tiempo que tardan en su realización.

Tabla 3-6. Listado de montaje del proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	COSTOS (\$)	COSTOS (UF)
1	Montaje filtro de mangas	UND	1	4.800.000	178,41
1.1	Desembalaje e instalación electromecánica	UND	1	1.100.000	40,89
1.2	Conexión a elementos de fuerza y control	UND	1	3.700.000	137,52
1.3	Apoyo a puesta en marcha	UND	1		
2	Montaje soportes y ductos			7.700.000	286,20
2.1	Traslado de ductos	UND	1		
2.2	Desembalaje de soportes y ductos	UND	1		
2.3	Trazado y posicionamiento soportes ductos	UND	1		
2.4	Trazado y posicionamiento de ductos nuevos	UND	1		
2.5	Soldadura en terreno	UND	1		
2.6	Apoyo puesta en marcha		1		
3	Viáticos y traslados		1		
3.1	Alimentación y traslado	h/d	315	1.102.500	40,98
4	Puesta en marcha (8 semanas)		1	9.200.000	341,95
4.1	Puesta en marcha 1 mecánico, 1 eléctrico Lunes a Viernes	h/d	80	8.640.000	321,14
4.2	Alimentación y traslado personal	h/d	160	560.000	20,81
	total:			32.002.500	1189,48

Fuente: Elaboración propia, presupuesto realizado por empresa MIES.

Con los datos recopilados anteriormente se logra tener un valor general y total del proyecto, el cual se obtiene tras sumar ambos valores totales de las Tablas 3-1 y 3-2, con esto se obtiene un valor total del proyecto de \$97.002.500 (noventa y siete millones dos mil quinientos pesos), UF 3605,44 considerando el valor de la UF al día 24 de febrero de 2018 (1 UF = \$26.904,52).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Resulta esencial y se hace imprescindible que la emisión de contaminantes al entorno y su consecuencial impacto ambiental esté regulada por la ley nacional, de manera tal que para la industria sea una obligación hacerse cargo de la más óptima filtración de los agentes nocivos que sus faenas acarrearán al ecosistema.

Sin perjuicio de lo anterior, más allá de que exista una norma coercitiva que regule la importancia del cuidado medioambiental, es menester señalar la relevancia del trabajo técnico que brinda el proyectista para la elaboración del diseño y proyección de los elementos, a fin de que se obtenga un resultado eficaz y eficiente de la obra de filtrado que se pretende. Lo anterior a la luz de que es este profesional el idóneo para realizar la más adecuada interpretación de los estándares, hasta ahora internacionales, que se han establecido para cada etapa del proceso de diseño de un ducto de captación de polvos y gases contaminantes de un horno de arco eléctrico, teniendo en consideración la serie de cálculos y factores que deben ser considerados para su elaboración.

La realización y materialización de este trabajo de tesis resultó muy interesante, en la medida que me permitió llevar a la práctica muchos de los conocimientos adquiridos de manera teórica en las cátedras impartidas por los docentes de nuestra carrera, así como aprender sobre el filtrado de los gases y polvos de los hornos de fundiciones, en este caso de los arcos eléctricos, ductos redondos y su estándar de diseño; y saber que las emisiones se deben llevar a un filtro de mangas para recolectar los polvos y sólidos que se generan en el proceso de los hornos de arco eléctrico, el proceso de extracción de las mangas para ser limpiados los filtros.

Para todo lo anterior se necesitó una evaluación de los costos del proyecto, se detallan dos valores totales del proyecto, uno es el precio de materiales, que asciende a la suma de \$65.000.000, y otro, el valor de montaje equivalente a \$32.002.500. Así se refleja un costo total del proyecto de \$97.002.500, considerando que se trata de un proyecto de 200 metros totales de ductos, y un filtro de mangas con una potencia de 197,78 hp, evaluamos como un costo total del proyecto dentro de los márgenes que significa un proyecto que busca evitar un daño al entorno y a la mano de obra que se desempeña en el lugar de la fundición, un mejor y más saludable espacio de trabajo se refleja en un mejor desempeño en las funciones de los empleados.

Junto a lo anteriormente explicado, significó un desafío personal, en la medida que por primera vez sería el resultado de mi trabajo el reflejo de lo aprendido. Del mismo modo, entender la importancia práctica que revisten factores como el clima del entorno, materiales de fabricación, estructura y capacidad de equipos, conformó la unión de lo teórico con lo práctico, de esta forma se cumplieron los objetivos planteados desde un principio en este trabajo, se diseñó con la normativa correspondiente y acorde a la

estructura civil existente, se confeccionó planimetría, plantas y elevaciones, modelado 3D en software, pudiendo observarse la materialización del proyecto actualmente.

Dentro de los factores favorables que revistió la materialización del proyecto, se encuentra el clima, el cual, al no presentar extremas altas y bajas por tratarse de un clima templado-mediterráneo, permitió que tanto la elección de materiales como el diseño mismo de los ductos de captación de gases y polvo del horno de arco eléctrico fuera mayormente discrecional para el proyectista. Asimismo, la estructura matriz de la planta sobre la cual debió plasmarse el diseño de los ductos, también favoreció al desarrollo del proyecto, ya que se trataba de una estructura de base rectangular con un techo de inclinación de 15°, factores que permitieron un acople favorable de la campana de extracción con el filtro de mangas, a través de los ductos externos empleados en este proyecto. Como contrapartida, revistió mayor dificultad la unión homogénea de cada uno de los procesos que conllevó la realización del proyecto, ya que ésta se materializa con diversos procedimientos que debieron ser estudiados con minucioso detalle.

Por último, me queda agradecer tanto a la empresa a cargo de efectuar el proyecto, POCH, por la oportunidad de formar parte de éste, con los profesionales a cargo, ingenieros civiles mecánicos, y todo el grupo de trabajo que siempre presentó buena disposición y motivación para llevarlo a cabo. También agradecer a mi profesor guía por el constante apoyo que me brindó en cada corrección, su disposición fue esencial para el desarrollo de este trabajo, siempre pendiente de mi progreso, sus comentarios fueron de gran ayuda para avanzar cada día más y finalizar con éxito esta gran etapa.

BIBLIOGRAFÍA

- SMACNA; Normas de diseño de ductos industriales circulares; [En línea] [Consulta el 5 de Julio 2015]; Disponible en:
<https://isgweb.smacna.org/ISGweb/Purchase/ProductDetail.aspx?Product_code=1135>
- “Industrial Ventilation a manual of recommended practice”, Recomendaciones de trabajo para ventilación industrial; [En línea] [Consulta 21 Agosto 2015]; Disponible en:
<https://www.acgih.org/forms/store/ProductFormPublic/search?action=1&Product_categories_Checkboxes=E>
- Lifitec; Características captación con filtro tipo mangas; [En línea] [Consulta el 26 de Agosto 2105]; Disponible en:
<<http://www.lifitec.com/filtro-de-mangas.aspx>>
- Hydronic; Funcionamiento de filtros de mangas; [En línea] [Consulta el 28 de Agosto]; Disponible en:
<[http://www2.imi-hydronic.com/es/conocimiento-y-herramientas/technical-articles/teoria/el-metodo-de-compensacion/?q=filtros de mangas](http://www2.imi-hydronic.com/es/conocimiento-y-herramientas/technical-articles/teoria/el-metodo-de-compensacion/?q=filtros%20de%20mangas)>
- Euskadi; Emisiones de los arcos horno eléctrico; [En línea] [Consulta el 30 de Agosto 2014]; Disponible en:
<http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/eprtr/es_guia/adjuntos/acero.pdf>
- ANSI; El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares [En línea] [Consulta el 30 de Agosto 2015]; Disponible en:
<https://webstore.ansi.org/?_ga=2.58386602.1403838978.1519501237-449772503.1519501237>
- AMCA; La Asociación Internacional del Movimiento y Control de Aire; [En línea] [Consulta el 30 de Agosto 2015]; Disponible en:
<https://www.techstreet.com/amca/standards/amca-208-18?product_id=2004773>

ANEXO A: PLANOS DEL PROYECTO

Anexo A: FTR-0001-MEC-PL-001 Layout general de la planta

Anexo B: FTR-0001-MEC-PL-002

Anexo C: FTR-0001-MEC-PL-0007

Anexo D: FTR-0001-MEC-PL-0213 Plano fabricación de campana extracción

Anexo E: FTR-0001-MEC-PL-0214 Plano fabricación de extracción horno

Anexo F: FTR-0001-MEC-PL-0216 Plano layout ductos horno fusión nº3

Anexo G: FTR-0001-MEC-PL-0212 Plano cortes y elevaciones