

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,**  
**Mecánica Eléctrica y Mecatrónica**



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO  
PARA CHANCADO SECUNDARIO EN UNA PLANTA  
CONCENTRADORA DE COBRE**

Tesis presentada por el Bachiller

**Sarmiento Bolaños, Fabricio Javier**

Para optar el Título profesional de:

**Ingeniero Mecánico**

Asesor:

**Mg. Donayre Cahua, Jesús Manuel**

**Arequipa-Perú**

**2020**

UCSM-ERP

## UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA

### DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 22 de Agosto del 2020

**Dictamen: 001177-C-EPIMMEM-2020**

Visto el borrador de tesis del expediente 001177, presentado por:

**2012224261 - SARMIENTO BOLAÑOS FABRICIO JAVIER**

Titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO PARA CHANCADO SECUNDARIO EN UNA PLANTA CONCENTRADORA DE COBRE.**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**1839 - DONAYRE CAHUA JESUS MANUEL  
DICTAMINADOR**

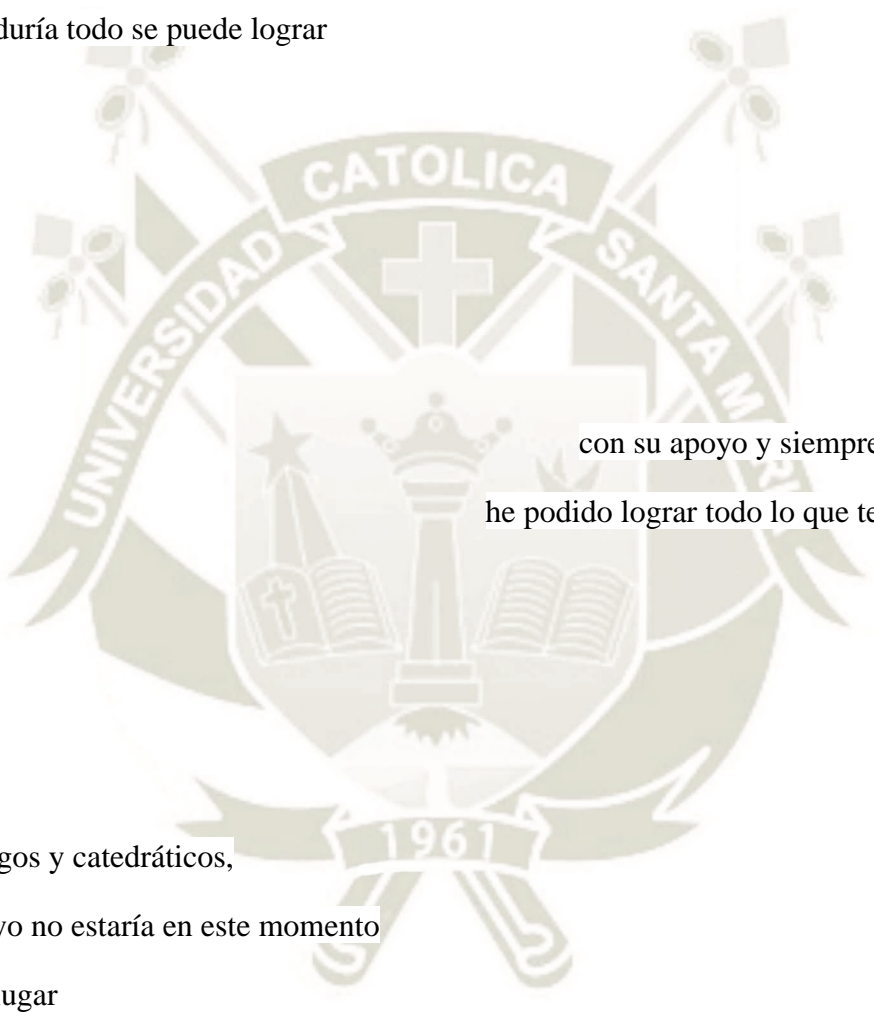


**1895 - CARPIO RIVERA MARCO ANTONIO  
DICTAMINADOR**



## *DEDICATORIA*

A Dios, porque el representa  
la humanidad, humildad, paciencia  
y con sabiduría todo se puede lograr



A mis padres  
con su apoyo y siempre sabios consejos  
he podido lograr todo lo que tengo en esta vida

A mis amigos y catedráticos,  
sin su apoyo no estaría en este momento  
ni en este lugar

## RESUMEN

En el área de chancado secundario se realiza un proceso de conminución para reducir el tamaño de partícula desde un tamaño de 6 in hasta un tamaño en un rango de 0.5 in a 3 in. Debido a este proceso se emiten partículas de polvo las cuales contaminan el ambiente. Bajo estudios de calidad de aire se tiene que actualmente existe  $140000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire, una cantidad de polvo nociva para las personas que trabajan en las áreas circundantes. Para poder mitigar la contaminación ambiental producto de la acumulación de polvo en el ambiente se debe implementar un sistema de colección de polvo. En la actualidad existen múltiples sistemas de colección y control de polvo, sin embargo, el sistema propuesto en el siguiente proyecto consiste en uno en el que se mezclará agua con el polvo dentro de un tanque mezclador, garantizando que el polvo colectado no se disperse en el ambiente.

**Palabras claves:**

Chancado secundario, conminución, polvo, calidad de aire, colección de polvo, agua.

## ABSTRACT

In the secondary crushing area, a comminution process is performed to reduce the particle size from a size of 6 in to a size in the range of 0.5 in to 3 in. Due to this process, dust particles are emitted that, under air quality studies, there are currently 140,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a quantity of dust harmful to people who work in the surrounding areas. In order to mitigate environmental pollution due to the accumulation of dust in the environment, a dust collection system must be implemented. Currently, there are multiple dust collection and control systems, however, the system proposed in the following project consists of one in which water will be mixed with the powder inside a mixing tank, guaranteeing that the collected dust will not be dispersed in the environment.

**Key words:**

Secondary crushing, particle size, dust, air quality, dust collection, water.

## INDICE

RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	III
INDICE.....	IV
INDICE DE IMAGENES.....	IX
INDICE DE TABLAS.....	XIII
SIMBOLOGIA.....	XV
CAPITULO I. GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Descripción del problema.....	3
1.4. Hipotesis.....	5
1.5. Objetivos del proyecto.....	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	5
1.6. Justificación del proyecto.....	6
CAPITULO II. MARCO TEORICO.....	8
2.1. Introducción.....	8
2.2. Polvo.....	8
2.3. Medición de polvo.....	8
2.4. Colector de polvo.....	9

2.5. Slurry .....	9
2.6. Slurry homogéneo .....	9
2.7. Slurry Heterogéneo.....	10
2.8. Secador de aire .....	10
2.9. Ventiladores.....	10
2.10. Consecuencias del polvo .....	11
2.10.1. Riesgo a la salud.....	11
2.10.2. Riesgo de seguridad.....	13
2.11. Control pasivo de polvo .....	14
2.11.1. Minimizar la elevación de polvo en la caída de material.....	14
2.11.2 Cortinas de caucho .....	15
2.11.3. Bolsas de filtro.....	16
2.12. Control activo de polvo .....	17
2.12.1. Control y supresión con agua .....	18
2.12.2. Control y supresión con niebla.....	19
2.13. Secador de aire .....	20
2.14. Ventiladores.....	22
2.14.1. Ventiladores axiales. ....	23
2.14.2. Ventiladores centrífugos.....	23
2.14.3. Ventiladores centrífugos.....	24
2.15. Bombas hidráulicas .....	24
2.15.1. Bombas centrifugas .....	24

2.15.2. NPSH (Net Positive Suction Head).....	24
2.15.3. Bomba sumidero.....	25
<b>CAPITULO III. DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS Y SOPORTERIA .....</b>	<b>28</b>
3.1. Introducción.....	28
3.2. Designación de puntos de colección de polvo.....	28
3.3. Cálculo del caudal a ser colectado. ....	29
3.3.1. Caudal colectado en faja transportadora. ....	29
3.3.2. Caudal colectado en chancadora secundaria. ....	31
3.3.3. Caudal colectado en chute de descarga a chancadora secundaria. ....	33
3.3.4. Ruteo de los ductos y disposición de equipos mecánicos. ....	34
3.4. Diseño de ductos de colección de polvo. ....	35
3.5. Diseño de soportes estructurales. ....	39
3.5.1. Definición de cargas, combinaciones de cargas y restricciones de traslación y rotación.....	40
3.5.2. Definición de material y de perfiles estructurales usados. ....	44
3.5.3. Resultados de simulación estructural. ....	45
<b>CAPITULO IV. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO .....</b>	<b>47</b>
4.1. Introducción.....	47
4.2. Cálculo de la densidad de aire corregida.....	47
4.3. Cálculo de las pérdidas del sistema de colección de polvo.....	49
4.4. Cálculo de la relación de aire tela y selección del colector de polvo.....	88
4.5. Cálculo de la potencia del ventilador. ....	92

CAPITULO V. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA .....	96
5.1. Introducción.....	96
5.2. Cálculo de la velocidad de sedimentación del polvo en el agua. ....	96
5.2. Análisis del comportamiento del agua dentro del tanque de mezcla. ....	99
5.3. Altura dinámica total del sistema. ....	111
5.4. Selección de bomba centrífuga.....	116
CAPITULO VI. SISTEMA DE TRANSPORTE DE MEZCLA POLVO-AGUA.....	121
6.1. Introducción.....	121
6.2. Propiedades del fluido.....	121
6.3. Altura dinámica total del sistema. ....	126
6.4. Selección de bomba sumidero.....	130
CAPITULO VII. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	135
7.1. Introducción.....	135
7.2. Dimensionamiento de tuberías y pérdidas hidráulicas en estas. ....	135
7.3. Dimensionamiento de depósito de aire. ....	144
CAPITULO VIII. PRESUPUESTO.....	151
8.1. Introducción.....	151
8.2. Metrado .....	152
8.3. Presupuesto.....	156
CONCLUSIONES.....	158
RECOMENDACIONES .....	160
REFERENCIA .....	161

ANEXOS.....	162
PLANOS .....	163



## INDICE DE IMAGENES

Figura 1. Polvo en las fajas transportadoras de chancado secundario.....	1
Figura 2. Boquillas de expulsión de agua del sistema Agglomerative Dust Suppression (ADS). .....	2
Figura 3. Equipos mecánicos de línea de chancado secundario.....	3
Figura 4. Zonas donde se genera polvo. ....	4
Figura 5. Polvo a la salida del túnel de la faja transportadora oversize .....	6
Figura 6. Rango de niveles de exposición al polvo.....	12
Figura 7. Control pasivo de polvo mediante aumento de zona de asentamiento. ....	15
Figura 8. Control pasivo de polvo el uso de cortinas de caucho.....	16
Figura 9. Control pasivo de polvo el uso de bolsas.....	17
Figura 10. Control activo de polvo mediante la supresión con agua. ....	18
Figura 11. Control activo de polvo mediante la supresión con niebla.....	20
Figura 12. Modelo de aplicación de sobre compresión para secado. ....	21
Figura 13. Modelo de aplicación de refrigeración para secado.....	22
Figura 14. Cálculo del NPSH.....	25
Figura 15. Estanque sumidero. ....	26
Figura 16. Sumidero de piso.....	27
Figura 17. Esquema de componentes mecánicos en el área.....	29
Figura 18. Vista de corte a plano de elevación de chancadora secundaria.....	31
Figura 19. Layout, disposición general de equipos según ingeniería conceptual. ....	35
Figura 20. Valores recomendados para la velocidad de diseño de conductos. ....	35
Figura 21. Diagrama de flujo de proceso del sistema de colección de polvo .....	38
Figura 22. Vista Isométrica del proyecto .....	39
Figura 23. Vista Isométrica de las estructuras soporte .....	40

Figura 24. Puntos de carga en estructura soporte N° 1 .....	41
Figura 25. Espectro de carga sísmica. ....	42
Figura 26. Restricciones de soportes estructura soporte N° 1.....	43
Figura 27. Estructura soporte N° 1 en SAP2000.....	44
Figura 28. Ratio de esfuerzo de elementos estructurales. ....	45
Figura 29. Rugosidad superficial absoluta. ....	52
Figura 30. Propiedades del aire en función a la temperatura. ....	52
Figura 31. Factor de pérdida de carga de codos en función de R/D.....	52
Figura 32. Factor de pérdida de carga uniones laterales en función de ángulo de unión.....	53
Figura 33. Factor de pérdida de carga en campanas de colección.....	53
Figura 34. Factor de pérdida de carga en ensanchamientos.....	54
Figura 35. Factor de pérdida de accesorios. ....	55
Figura 36. Designación de nodos del sistema de colección de polvo N° 2.....	57
Figura 37. Designación de nodos del sistema de colección de polvo N° 1.....	86
Figura 38. Factor del material para resolución de ecuación 11.....	89
Figura 39. Factor de aplicación para resolución de ecuación 11.....	89
Figura 40. Gráfico referencial de colector de polvo GSX24.....	92
Figura 41. Información filtros colector de polvo. ....	92
Figura 42. Vista isométrica del tanque mezclador. ....	100
Figura 43. Vista lateral del tanque mezclador.....	100
Figura 44. Vista Isométrica del tanque mezclador simplificado. ....	101
Figura 45. Vista Isométrica del tanque mezclador simplificado tras ser mallado.....	102
Figura 46. Mallado de la tubería de alimentación del tanque mezclador.....	103
Figura 47. Acercamiento visual al mallado en la tubería. ....	103
Figura 48. Condiciones de frontera designadas en el volumen de control.....	105
Figura 49. Residuos de convergencia como resultado de la simulación.....	106

Figura 50. Líneas de flujo formadas dentro del tanque.....	107
Figura 51. Líneas de flujo formadas dentro del tanque con mayor sensibilidad.....	108
Figura 52. Contornos de velocidad en un plano a 1mm de distancia respecto al suelo del tanque. .....	109
Figura 53. Contornos de velocidad con mayor sensibilidad, en un plano a 1mm de distancia respecto al suelo del tanque.....	110
Figura 54. Isométrico del sistema de alimentación de agua.....	111
Figura 55. Isométrico de la alimentación de agua a tanque mezclador.....	112
Figura 56. Isométrico de la estación de bombeo.....	113
Figura 57. Nomenclatura de nodos en isométrico de la estación de bombeo.....	115
Figura 58. Nomenclatura de nodos en isométrico de la estación de bombeo.....	115
Figura 59. Curvas de bomba Gould Pump, modelo 3196/HT3196.....	117
Figura 60. Curvas de la bomba vs Curva de sistema (sin válvula de control). ....	118
Figura 61. Curvas de la bomba vs Curva de sistema (con válvula de control). ....	119
Figura 62. Bomba sumidero.....	129
Figura 63. Curvas de bomba Gould Pump, modelo API 3171.....	131
Figura 64. Curvas de la bomba vs Curva de sistema.....	132
Figura 65. Requerimiento de aire comprimido por colector de polvo. ....	135
Figura 66. Vista isométrica de sistema de aire comprimido .....	136
Figura 67. Factor de corrección por punto de rocío a presión.....	137
Figura 68. Factor de corrección por presión de entrada .....	137
Figura 69. Factor de corrección por temperatura de entrada.....	138
Figura 70. Vista isométrica de recipiente a presión. ....	147
Figura 71. Diagrama de cuerpo libre de esfuerzo circunferencial. ....	147
Figura 72. Diagrama de cuerpo libre de esfuerzo axial.....	148



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diámetro de diseño de ductos de sistema de colección de polvo N° 2. ....	38
Tabla 2 Cargas de la estructura soporte N° 1 .....	41
Tabla 3. Metrado de perfiles estructurales de la estructura soporte N° 1.....	46
Tabla 4. Geometría de ductos de los tramos 1→3 y 2→3. ....	58
Tabla 5. Geometría de ductos de los tramos 4→6 y 5→6. ....	63
Tabla 6. Geometría de ductos de los tramos B+6→8 y 7→8.....	67
Tabla 7. Geometría de ductos de los tramos A+3→9 y C+8→9. ....	72
Tabla 8. Geometría de ductos de los tramos 10→11 y 10→12. ....	78
Tabla 9. Geometría de ductos de los tramos 9→10. ....	83
Tabla 10. Geometría de ductos del sistema de colección N° 1. ....	86
Tabla 11. Resultados de pérdidas hidráulicas de ductos del sistema de colección N° 1.....	87
Tabla 12. Granulometría del polvo colectado. ....	90
Tabla 13. Resultados de simulación. ....	116
Tabla 14. Datos de operación de bomba centrífuga sin válvula de control.....	118
Tabla 15. Datos de operación de bomba centrífuga con válvula de control. ....	119
Tabla 16. Datos de operación de válvula de control. ....	120
Tabla 17. Información geométrica de tubería. ....	126
Tabla 18. Datos de operación de bomba sumidero. ....	130
Tabla 19. Datos de operación de bomba centrífuga sin corrección.....	132
Tabla 20. Elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido. ....	136
Tabla 21. Elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido. ....	140
Tabla 22. Elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido. ....	141
Tabla 23. Elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido. ....	142
Tabla 24. Cantidad de acero para ductos de colección de polvo.....	153

Tabla 25. Cantidad de acero para soportes estructurales.....	153
Tabla 26. Tuberías utilizadas en el sistema de alimentación de agua. ....	153
Tabla 27. Materiales utilizados en el sistema de aire comprimido. ....	154
Tabla 28. Accesorios utilizados en el proyecto.....	155
Tabla 29. Equipos utilizados en el proyecto.....	156
Tabla 30. Resumen de presupuesto del proyecto. ....	157



## SIMBOLOGIA

°: Grados de ángulo

°C: Grados Celsius

°F: Grados Fahrenheit

bar(a): bar, presión absoluta

CFM: Pies cúbicos por minuto

SCFM: Pies cúbicos por minuto, condición estándar

ACFM: Pies cúbicos por minuto, condición actual

cm: Centímetro

cm<sup>2</sup>: Centímetro cuadrado

*Ec*: Ecuación

ft<sup>3</sup>/min: pies cúbicos por minuto

ft<sup>2</sup>: Pies cuadrados

ft: Pies

ft/min: Pies sobre minuto

gal/min: Galón sobre minuto

gr/ ft<sup>3</sup>: Gramos sobre pie cúbico

gr/ m<sup>3</sup>: Gramos sobre metro cúbico

H.P.: Caballos de potencia

K: Kelvin

kg: Kilogramo

kg/m<sup>3</sup>: Kilogramo sobre metro cúbico

kg/s: Kilogramo sobre segundo

kW: Kilowatts

kPa: Kilopascal

inH<sub>2</sub>O: Pulgadas de columna de agua

L/s: Litros sobre segundo

L: Litros

mH<sub>2</sub>O: Metros de columna de agua

m/s: Metro sobre segundo

m/s<sup>2</sup>: Metro sobre segundo cuadrado

m: Metro

m.s.n.m: Metro sobre el nivel del mar

m<sup>2</sup>: Metro cuadrado

m<sup>3</sup>/s: Metro cubico sobre segundo

m<sup>3</sup>: Metro cubico

μg: Microgramos

μg/m<sup>3</sup>: Microgramos por metro cúbico

mg: Miligramos

mm: Milímetros

mmH<sub>2</sub>O: Milímetros de columna de agua

MPa: Megapascal

N: Newton

Pa: Pascal

Pa. s: Pascal por segundo

psi: Libra sobre pulgada cuadrada

psia: Libra sobre pulgada cuadrada, presión absoluta

psid: Diferencia de libra sobre pulgada cuadrada

psig: Libra sobre pulgada cuadrada, presión manométrica

RPM: Revoluciones por minuto

s: Segundos

ton/hr: Tonelada por hora

1/s: Oscilaciones sobre segundo

US\$: Dólares americanos

S/.: Nuevos soles

$\pi$ : Numero pi

%: Porcentaje

## CAPITULO I. GENERALIDADES

### 1.1. Introducción

En una unidad minera en la región de Arequipa, se tiene una planta concentradora con una antigüedad de 12 años, en la cual para su operación se utilizan procesos de conminución es decir reducción de partículas. Los procesos se desarrollan en tres áreas: chancado primario, chancado secundario y chancado terciario. El área de chancado secundario es donde se genera la mayor cantidad de polvo, donde la calidad de aire muestra que la cantidad de polvo en el ambiente es  $140000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , una cantidad nociva para la salud de las personas que trabajan en la empresa.

*Figura 1. Polvo en las fajas transportadoras de chancado secundario.*



Fuente: Empresa minera en la región de Arequipa.

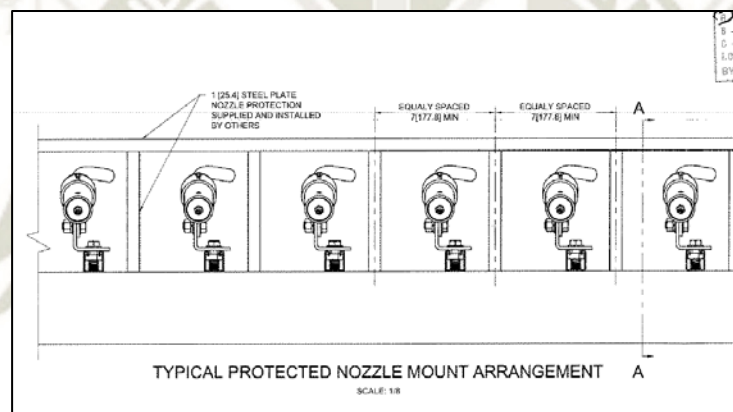
La figura 1 refleja la contaminación existente en el área de chancado secundario, donde, aunque existían sistemas de control de polvo, estos no lograban mitigar la contaminación ambiental debido al polvo. Nuevos diseños de plantas concentradoras nos muestran que en la actualidad existen un sistema de control de polvo que, si puede

mitigar la contaminación por polvo casi en su totalidad, siendo este el sistema de colección de polvo con descarga en un tanque mezclador con agua.

## 1.2. Antecedentes

La planta concentradora fue implementada con un sistema de control de polvo, el sistema denominado “ADS Dry Fog”, un sistema hidroneumático donde aire comprimido aumentaba la presión de expulsión del agua y al mismo tiempo reduce el tamaño de las partículas de agua para luego mojar el material particulado.

*Figura 2. Boquillas de expulsión de agua del sistema Agglomerative Dust Suppression (ADS).*



Fuente: The Raring Corporation

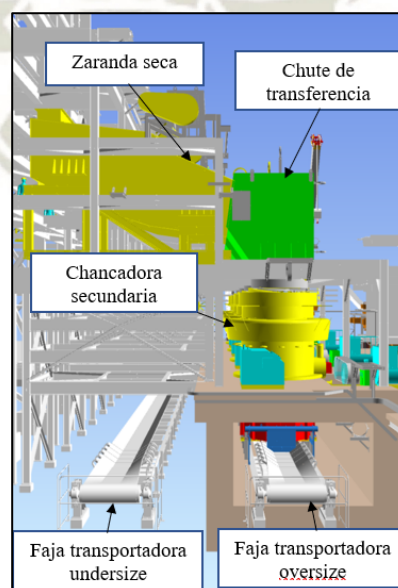
Sin embargo el sistema tuvo problemas que no permitieron un correcto control de polvo: el primer problema fue el incremento de la capacidad de la planta donde se tuvo un aumento en un 20% de la capacidad de transporte logrando que el sistema original de control de polvo quede subdimensionado, el segundo problema fue que el sistema estaba diseñado para un uso con agua sin impurezas y el agua con el cual se utilizó el sistema era alcalina ocasionando que en las boquillas se produjera incrustación, por lo que la disponibilidad del sistema era baja, esto sumado a que las boquillas se encontraban en ubicaciones donde se tenía que parar la operación para poder

cambiarlas, condujo a que no se lograra hacerles mantenimiento hasta una parada de planta y finalmente el ultimo problema se debía a que el sistema controlaba la emisión de polvo pero no de una manera perpetua, esto debido a que el agua impregnada en el material particulado al momento de secarse no lograba contener el polvo, generando nuevamente contaminación.

### 1.3. Descripción del problema

El área de chancado secundario de la planta actualmente cuenta con dos chancadoras secundarias, en el proceso primero el material es zarandeado en las zarandas secas, donde el material es dividido en dos tipos, el denominado undersize (material con tamaño menor al tamiz de la zaranda) y el oversize (material con tamaño mayor al tamiz de la zaranda), el material undersize alimenta a la chancadora secundaria con un flujo de material de 3000 ton/hr, y el tamaño de partícula de este material es 130 mm, para que luego el material sea transportado al siguiente proceso mediante las fajas transportadoras.

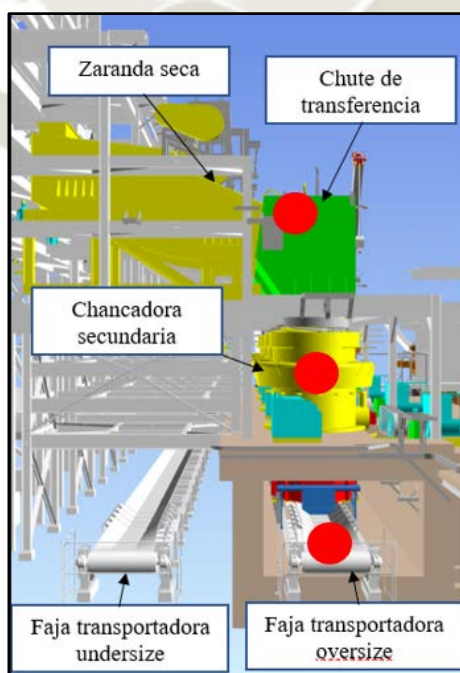
*Figura 3. Equipos mecánicos de línea de chancado secundario.*



Fuente: Propia.

Bajo el proceso mencionado se realizaron inspecciones visuales donde se apreció que la contaminación de polvo se genera en tres ubicaciones. La primera ubicación es en el chute de transferencia, esto debido a que el material al impactar en la zaranda y posteriormente en el chute de transferencia generaba polvo que escapaba del chute de transferencia por sus aberturas. La segunda ubicación es en la corona de la chancadora secundaria, en esta ubicación se encuentra una abertura debido a la reducción del tamaño del manto de la chancadora secundaria debido a la operación, es por este espacio generado por el cual el polvo encuentra una vía para salir de la chancadora secundaria. La tercera ubicación es en el punto de descarga de la chancadora secundaria en la faja transportadora, en esta zona no se tiene un medio que contenga al polvo, ocasionando que a la salida del túnel de la faja transportadora oversize se tenga un alto nivel de contaminación de polvo. En la figura 4 se muestran los puntos donde se genera el polvo, estos puntos están resaltados de color rojo.

*Figura 4. Zonas donde se genera polvo.*



Fuente: Propia.

#### 1.4. Hipotesis

Con la instalación de un sistema de colección de polvo tipo pulse jet con descarga en un tanque mezclador de agua, se reducirá la cantidad de polvo en el ambiente de 140,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 1.5. Objetivos del proyecto

##### 1.5.1. Objetivo general

Reducir la cantidad de polvo en el ambiente desde 140,000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mediante la instalación de un sistema de colección de polvo, de esta manera cumpliendo con lo impuesto en el decreto supremo D.S. 074-2001-PCM, reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire.

##### 1.5.2. Objetivos específicos

- Definir los puntos de colección de polvo.
- Dimensionar el caudal a coleccionar de los puntos de colección.
- Seleccionar los perfiles estructurales adecuados para sostener los ductos de colección de polvo
- Seleccionar el colector de polvo y la potencia del ventilador.
- Seleccionar la bomba impulsora de agua del sistema de alimentación de agua.
- Seleccionar la bomba impulsora para el sistema de transporte de mezcla polvo-agua.
- Seleccionar el secador y dimensionar el depósito de aire del sistema de aire comprimido.
- Elaborar un presupuesto para la implementación del proyecto.

### 1.6. Justificación del proyecto

La contaminación ambiental en el área de chancado secundario es alta, el polvo acumulado en el aire es un riesgo para la seguridad y la salud. Es un riesgo a la seguridad debido a que reduce la visibilidad de las personas que transitan en el área, impidiendo visualizar lo que está aconteciendo en la zona o algún desperfecto de algún equipo. Es un riesgo para la salud debido a que el respirar grandes cantidades de polvo ocasiona enfermedades respiratorias a las personas, siendo la causa de la enfermedad denominada silicosis.

*Figura 5. Polvo a la salida del túnel de la faja transportadora oversize*



Fuente: Empresa minera en la región de Arequipa.

Así mismo otra justificación económica para la empresa, es que esta dejara de tener observaciones en las auditorías ambientales, lo cual significa que no tendrán multas por parte del ministerio del ambiente.

La empresa constara con un sistema cuya disponibilidad de equipos sea alta y la mantenibilidad de los equipos no tenga valores altos debido a la dificultad de hacer mantenimiento a los equipos como en el caso del sistema ADS.



## CAPITULO II. MARCO TEORICO

### 2.1. Introducción

Para lograr manejo de polvo deseado se diseñan sistemas de control y de supresión de polvo. El objetivo en común es el de no dejar que el polvo se esparza en el ambiente, sin embargo, los sistemas de control de polvo muestran diferencias desde la eficiencia, los costos operativos, los costos de mantenimiento y los costos capitales para la implementación del proyecto.

Para poder dar una mayor amplitud en el tema de control de polvo, se desarrollarán ideas acerca de los conceptos desarrollados en este proyecto.

### 2.2. Polvo

El polvo es un conjunto de solidos que están divididos finamente y que pueden esparcirse en el ambiente sin realizar ningún cambio físico o químico más que la fractura. Si tamaño se mide en micrómetros y se considera que en promedio el polvo es menor a 500 micrómetros (RAE, 2019).

### 2.3. Medición de polvo

El polvo se mide en micrómetros (micras), lo que equivale a la millonésima parte de un metro. Y se puede medir 2 tipos de polvo:

- El polvo respirable, que son partículas que, por su tamaño, pueden llegar a ingresar a los pulmones mediante el aparato respiratorio. Y suelen ser retenidos en su mayoría por la mucosa.

- El polvo toxico, cuando el material es cancerígeno, peligroso y pone en peligro a un gran número de personas (Todd R. Swinderman, Fundations. El recurso practico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y materia, 2009).

#### **2.4. Colector de polvo**

Un colector de polvo es sistema que se encarga de limpiar el aire, ya sea de polvo o de alguna otra sustancia parecida que se encuentre en el fluido, con la finalidad de purificarlo. Su objetivo es limpiar grandes volúmenes de aire y poder juntar los residuos. Usado comúnmente en la industria minera y química, es un proceso sencillo, eficiente y barato (RAE, 2019).

#### **2.5. Slurry**

Abulnaga (2002), señaló que un Slurry es básicamente una mezcla de líquidos y sólidos (consistencia del lodo), por lo que, dependiendo de los materiales y las concentraciones, se va a determinar las características físicas de la mezcla, ya sean la concentración, la distribución de partículas, temperatura y otras que sirven para determinar el tipo de Slurry a utilizar.

#### **2.6. Slurry homogéneo**

Es un Slurry en el que los sólidos están distribuidos de manera uniforme, a través del líquido que lo sostiene. Se identifica porque las partículas de solidos tienen una alta concentración, además que se encuentran de una forma muy fina, partículas muy pequeñas. A medida que se aumenta la concentración del sólido, la mezcla se vuelve más viscosa. Se debe tomar en cuenta la viscosidad, para poder elegir correctamente la bomba y las tuberías que los van a movilizar (Abulnaga, 2002) .

## 2.7. Slurry Heterogéneo

Un Slurry heterogéneo es aquel en el que los sólidos no están distribuidos de manera uniforme dentro del líquido que lo lleva, puesto que se tiene distintas partículas unas más pesadas que otras, siendo las primeras las que se asientan en el fondo de la mezcla, mientras que las más ligeras quedan en la parte superior. Es por ello que se debe tener mayor cuidado al manejar estas mezclas, porque pueden ocasionar mayores problemas, al quedarse acumuladas mayor cantidad de partículas pesadas, obstruyendo tanto las bombas como las tuberías (Abulnaga, 2002).

## 2.8. Secador de aire

Un secador de aire es un equipo que permite remover agua y humedad que se encuentra mezclado dentro del aire comprimido. Es una acción necesaria puesto que la mayoría de sistemas requieren aire comprimido seco, puesto que la humedad puede malograr las tuberías, así como otros equipos por los que pasa el gas. Es por ello que se ha visto la necesidad de retirar la mayor cantidad de agua posible mediante ciertos métodos como refrigeración y sobre compresión, haciendo que se reduzca y extraiga la mayor cantidad de agua del aire comprimido. Quedando este con menos humedad o más seco para un mejor trabajo (Atlas Copco, 2008).

## 2.9. Ventiladores

Un ventilador es una máquina de fluido, cuyo funcionamiento consiste en transferir energía mecánica hacia un gas, mayormente aire, aumentándole la presión en cantidades mínimas y manteniendo un flujo constante. A su vez, los ventiladores pueden considerarse bombas/máquinas hidráulicas (RAE, 2019).

## 2.10. Consecuencias del polvo

Swinderman (2009), señaló que el polvo puede llegar a esparcirse en gran medida a comparación de un derrame de algún material, puesto que una vez liberado en el aire se asentará por donde estén las corrientes de aire, pudiendo ser transportadas por grandes distancias.

### 2.10.1. Riesgo a la salud

El polvo genera riesgo a la salud, cuando existe exposición tanto a trabajadores, pobladores o negocios, incluso animales. En especial aun si el material es toxico, cancerígeno o peligroso. Una vez que la sustancia ha ingresado al organismo de manera prolongada, puede que ya no sea expulsado y comience a acumularse. Mayormente las partículas que se quedan en el organismo son aquellas menores a 10 micras (Todd R. Swinderman, 2009).

Figura 6. Rango de niveles de exposición al polvo.

Niveles de exposición de polvo admisibles por día de ocho horas según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) [EE.UU.]		
Sustancia	Tipo	mg/m <sup>3</sup>
Sílice: cristalino  <i>Cristobalita: usar ½ del valor calculado del conteo o fórmula de masa del cuarzo.</i>  <i>Tridimita: usar ½ del valor calculado de la fórmula de masa del cuarzo.</i>	Cuarzo (respirable)	10 mg/m <sup>3</sup> %SiO <sub>2</sub> +2
	Cuarzo (polvo total)	30 mg/m <sup>3</sup> %SiO <sub>2</sub> +2
Amorfo	Amorfo, incluyendo tierra natural de diatomeas	80 mg/m <sup>3</sup> %SiO <sub>2</sub> +2
Polvo de carbón	Fracción respirable < 5% SiO <sub>2</sub>	2.4 mg/m <sup>3</sup>
	Fracción respirable > 5% SiO <sub>2</sub>	10 mg/m <sup>3</sup> %SiO <sub>2</sub> +2
Polvo inerte o molesto	Fracción respirable	5 mg/m <sup>3</sup>
	Polvo total	15 mg/m <sup>3</sup>

Fuente: Foundations. El recurso practico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material

Según la figura 6, se indica la cantidad máxima de polvo a la que una persona puede estar expuesta durante las 8 horas laborables (periodo regular de trabajo diario). Es por eso que OSHA ha determinado dicho rango.

El polvo debe ser manejado de forma muy cuidadosa puesto que existe polvo que presenta riesgo de explosión. Mayormente referidos al carbón y a los combustibles. Es por ello que se han identificado 5 maneras en las que el polvo presenta riesgo, los cuales son:

- Combustible (Polvo inflamable)
- Fuente de ignición (chispa de calor o eléctrica)
- Agente oxidante (oxígeno en el aire)

Los 2 componentes finales se requieren para crear una explosión de polvo:

- La suspensión de polvo en la nube (cantidad suficiente)
- Confinamiento de la nube de polvo.

Es necesario que existan todos estos componentes para que se dé la explosión de polvo.

La acumulación de polvo dentro del organismo, puede llegar a ocasionar varias y severas enfermedades pulmonares llamadas neumoconiosis, entre ellas una de las que más destaca es la silicosis.

- La silicosis, es una enfermedad respiratoria generada por la inhalación de sílice, el cual se acumula en los pulmones, la cual es muy difícil de eliminar, por lo que comienzan a deteriorar al pulmón, conduciendo a la fibrosis, enfermedad que limita el funcionamiento del pulmón y sus partes.
- Así como la silicosis, dependiente del material que se aspire, se puede llegar a desencadenar otro tipo de neumoconiosis, tales como asbestosis o antracosis (Todd R. Swinderman, 2009).

#### **2.10.2. Riesgo de seguridad**

Uno de los principales problemas que genera en polvo en cuanto a la seguridad, es la pérdida de la visibilidad y accesibilidad. Así mismo crean un mal ambiente de trabajo porque es incómodo para el personal tener contacto con el mismo a pesar de utilizar tanto respiradores como gafas protectoras. Por lo que eliminarlo aumentara su estado de ánimo y por ende aumentara su productividad (Todd R. Swinderman, 2009).

Otro tema referido a la seguridad y el polvo es con respecto a los filtros de la maquinaria, los cuales se capturan más materia en un menor tiempo, lo cual hace que pierdan eficiencia y por lo tanto sobrecarguen algunos costos y tiempos. Dando por deterioro de equipo, aumento del ciclo de trabajo o incluso aumentando la cantidad y calidad del mantenimiento brindado (Todd R. Swinderman, 2009).

Así como afecta no solo a la maquinaria y a las personas, también el polvo puede asentarse tanto en sensores sesgando un trabajo correcto del mismo, levantando alertas que no son reales (Todd R. Swinderman, 2009).

También puede caer sobre el producto intermedio o el producto terminado, contaminándolo y afectando de manera negativa los resultados.

Swinderman (2009), señaló: “Se descubrió que el polvo de las minas de metal precioso, tenía más oro y cobre que el mineral primario, con concentraciones crecientes del 25 a casi el 100 por ciento. La recuperación de este valioso polvo ofrece una compensación significativa a la inversión en sistemas de control de polvo.”

## **2.11. Control pasivo de polvo**

Existen varias maneras de realizar un control pasivo de polvo, que en su mayoría no requieren recursos como electricidad o agua. Ya que, en su mayoría, el control debe ser aplicado en la zona de carga y descarga de material, que son los lugares en los que se libera más polvo (Todd R. Swinderman, 2009).

### **2.11.1. Minimizar la elevación de polvo en la caída de material**

En primer lugar, se debe minimizar la elevación de polvo en las caídas de material, por lo que en el diseño se debe evitar la existencia de caídas y pendientes que generen la elevación del polvo, es decir, que se debe minimizar las distancias de caídas del material. Así mismo reducir el flujo de aire, para evitar que las partículas de polvo sean levantadas por ligeras corrientes y posteriormente transportadas a algún lugar indeseado.

Además de un adecuado diseño, agrandar la zona de asentamiento, es otro método sencillo de controlar el polvo, puesto que se reduce la velocidad del flujo de aire, evitando el levantamiento del mismo; además que, al estar recubierto, permite que el polvo regrese a su lugar de forma más rápida (Todd R. Swinderman, 2009).

*Figura 7. Control pasivo de polvo mediante aumento de zona de asentamiento.*



Fuente: Foundations. El recurso practico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material

En la figura 7 se puede apreciar cómo se tienen recubiertas las fajas transportadoras, para evitar la mayor cantidad de flujo de aire que pueda levantar el polvo, lo que permite que no solo no escape del ducto, sino que también se asiente de nuevo más rápido.

### **2.11.2 Cortinas de caucho**

Las cortinas de caucho son otro medio que permite el control del polvo, mayormente utilizados para minimizar el aire inducido mediante el cubrimiento de la entrada como la salida con planchas de caucho, que funcionan como una

barrera, para así reducir la cantidad de flujo de aire que será atraído al flujo de material a medida que este se esparce al caer (Todd R. Swinderman, 2009).

*Figura 8. Control pasivo de polvo el uso de cortinas de caucho.*



Fuente: Foundations. El recurso practico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material

En la figura 8 se puede ver que se tienen cortinas de caucho, las cuales impiden el ingreso de corrientes de aire que puedan transportar o levantar el polvo, esta técnica es utilizada tanto en entradas como salidas del material.

### **2.11.3. Bolsas de filtro**

También se suele utilizar bolsas de filtro colector de polvo, que suelen usarse cuando no se puede agrandar la zona de asentamiento. Su función es filtrar el aire para minimizar el escape del polvo al ambiente. Consiste en un hueco en el techo en el que se encuentra la bolsa, esta bolsa consta de filtros, además de ciertas características que le permiten cumplir mejor su función, entre ellas un alambre a tierra para evitar chispazos y provocar una explosión, un soporte en

la parte superior, una abrazadera a conectar al flujo de material (Todd R. Swinderman, 2009).

*Figura 9. Control pasivo de polvo el uso de bolsas.*



Fuente: Fundations. El recurso practico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material

En la figura 9 se puede apreciar 2 bolsas de aire sobre el ducto de transporte de material, la función de ambos el filtrar el polvo originado y que quede atrapado, para que este no se esparza por la planta.

## **2.12. Control activo de polvo**

La finalidad de un control activo de polvo es suprimirlo, no solo atraparlo, sino aglomerar el polvo de alguna manera para evitar su escape, y cuenta con la característica que en este caso si se utilizan recursos como electricidad o agua para poder lograr el objetivo (Todd R. Swinderman, 2009).

### 2.12.1. Control y supresión con agua

Consiste mayormente en aplicar agua en estado natural o mezclada con ciertos químicos para juntar el polvo y evitar que escape, es decir que el líquido forme una cortina para evitar que las pequeñas partículas de polvo, escapen.

La eficacia de estos sistemas, depende de la velocidad en la que se aplica el agua y algunas otras características, como la ubicación y también el tamaño de las gotas. En sí, lo óptimo para esta técnica, es que las gotas sean del tamaño más pequeño posible además que deben ser bien frecuentes, para así atrapar la mayor cantidad de polvo (Todd R. Swinderman, 2009).

*Figura 10. Control activo de polvo mediante la supresión con agua.*



Fuente: Foundations. El recurso practico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material

En la figura 10 se puede apreciar, como se usa el agua para cubrir material para evitar el levantamiento de polvo, una acción muy común utilizada en las vías mineras para evitar el polvo al momento de que un vehículo pase.

Estos sistemas tienen ventajas y desventajas, dentro de las ventajas se encuentra el hecho que el agua es fácil de adquirir, además que no necesariamente debe ser filtrada para su uso, por otro lado, en el aspecto minero tiene una gran desventaja, en la mayoría de lugares no se da la facilidad de usar agua dulce en el sistema, por lo que se complica el uso correcto del mismo. Por lo que se debe reciclar el agua, que puede llegar a ser costoso en algunos casos. Y no solo es eso, además hay que tener control del agua, porque una vez que se evapora, dejara de retener el polvo, por lo que suele usarse mayormente una cantidad más elevada de agua, cosa que aumenta el consumo y puede, en algunos casos, ser más complicado de controlar (Todd R. Swinderman, 2009).

#### **2.12.2. Control y supresión con niebla**

El uso de niebla, es un método para controlar de una mejor manera los materiales polvorientos, su sistema se basa en el uso de rociadores tan finos que las gotas de agua llegan a ser realmente muy pequeñas, generándose una pequeña nube o roció. Estas maximizan el potencial de captura del polvo, juntándose y convirtiéndose en una partícula más pesada, por lo cual caen de nuevo al material, para posteriormente evaporarse el agua. Estos sistemas mayormente se utilizan en ambientes de poca humedad (Todd R. Swinderman, 2009).

*Figura 11. Control activo de polvo mediante la supresión con niebla.*



Fuente: Foundations. El recurso practico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material

En la figura 11 se puede apreciar cómo se genera la niebla a través de boquillas especiales, y notándose el tamaño de las gotas, por lo que es más fácil que atrapen partículas de polvo y puedan caer de nuevo al material.

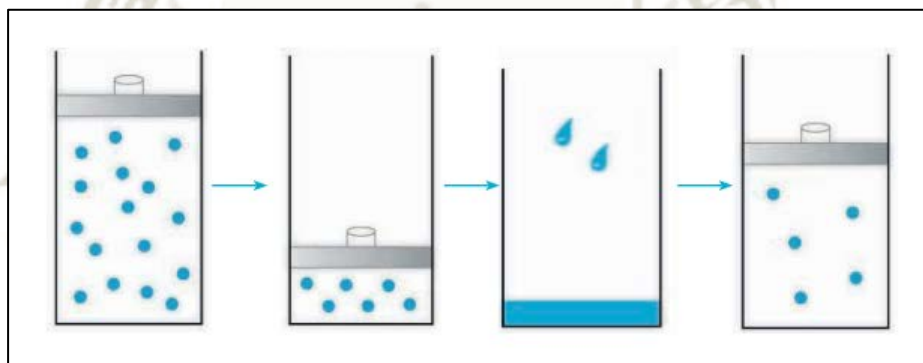
### **2.13. Secador de aire**

Es un sistema donde se comprime el aire, se mantiene la humedad, por lo que regularmente se ira liberando cierta cantidad de litros de agua. Por lo que se ve necesario secar el aire para evitar tener esa cantidad de agua dentro del compresor. Así mismo dañar las tuberías y los otros equipos conectados a compresor de aire.

- a) Es un proceso el cual se realiza mediante el uso de un secador un refrigerador posterior. Se debe llegar al punto de rocío, el cual es un punto en el que el vapor de agua comienza a condensarse (Atlas Copco, 2011).

- b) Hay 5 formas en las que se puede eliminar el agua del aire mediante el uso de un secador, las cuales son: sobre compresión, membranas, refrigeración, absorción y adsorción (Atlas Copco, 2011).
- c) Sobre compresión: es un método para secar el aire que consiste en incrementar la presión del aire hasta que este llegue a una presión en la que sea superior a la requerida, por lo que pasan a ser removidas las gotas de agua que quedan libres. Luego de eso el aire se regresa a la presión requerida, quedando únicamente vapor y aire. Es un método costoso (Atlas Copco, 2011).

*Figura 12. Modelo de aplicación de sobre compresión para secado.*



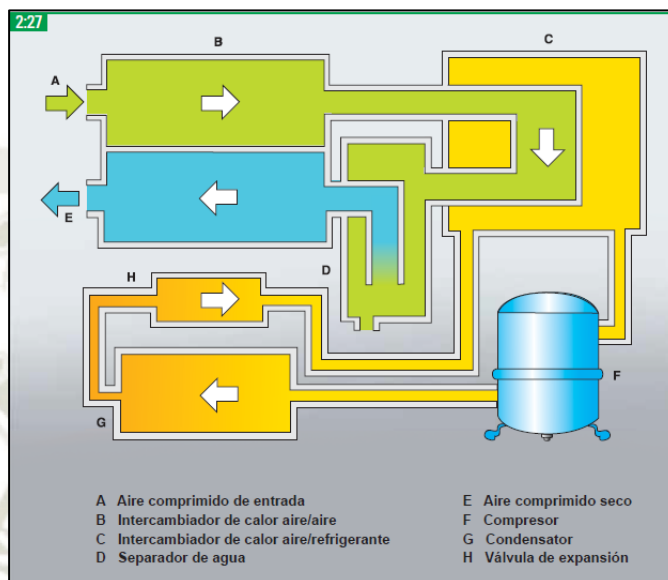
Fuente: Atlas Copco. Compressed air drying.

En la figura 12 se muestra cómo se comprime el aire haciendo que se formen gotas de agua las cuales después van a ser retiradas, quedando una cantidad mucho menor de vapor mezclado con el aire comprimido.

- d) Refrigeración: una vez que se tiene el aire comprimido, este se enfría, producto de ello es que se forman gotas de agua, esto se debe a que la humedad excedería el 100% por lo que comenzaría a condensarse el agua, para ser posteriormente removidas. Luego de eso, el aire comprimido se lleva a la temperatura adecuada.

Al final, al igual que la sobre compresión, quedaría únicamente vapor y aire (Atlas Copco, 2011).

Figura 13. Modelo de aplicación de refrigeración para secado.



Fuente: Atlas Copco. Compressed air drying.

En la figura 13 se muestra como ingresa el aire comprimido, y mediante un chiller o un intercambiador de calor, es que se le reduce la temperatura, por lo que el agua dentro del tubo se condensa y se retiran las gotas de agua, secándolo.

#### 2.14. Ventiladores

Los ventiladores, son las maquinas hidráulicas para movimiento de aire por excelencia, trabajan muchísimo mejor que los eyectores, los cuales tienen un bajo rendimiento. Por lo que los ventiladores son los más utilizados en la industria (Ricardo Governa, 1992).

Governa (1992), afirmó que existen 3 tipos de ventiladores, entre ellos se tiene una regla general, los axiales se usan cuando se necesita caudales importantes de aire, mientras que los centrífugos para caudales menores.

### **2.14.1. Ventiladores axiales.**

Se subdividen en 3 tipos:

Ventiladores helicoidales: para mover aire con poca pérdida de carga, mayormente utilizada en la ventilación general.

Ventiladores tubulares: basado en una hélice aerodinámica, montado en una carcasa cilíndrica.

Ventiladores tubulares con directrices: trabaja de la misma forma que los ventiladores tubulares, con la excepción de que dispone de aletas enderezadoras en un lado de la hélice. Esos tienen un rendimiento superior.

### **2.14.2. Ventiladores centrífugos.**

Se subdividen en 3 tipos:

Ventiladores centrífugos de palas curvadas para adelante: en estos ventiladores se cuenta con una hélice que tiene una curva en el sentido que gira, lo que le permite ser silencioso y utilizar un menor espacio. No es recomendado para el aire con polvo, ya que el polvo puede quedar atrapado en las hélices haciendo que tenga un funcionamiento defectuoso.

Ventiladores centrífugos radiales: tiene palas de forma radial, lo cual permite que no quede atrapado ningún tipo de materia, por lo que es mayormente utilizado en instalaciones de extracción o que llevan aire sucio.

Ventiladores centrífugos de palas curvadas para atrás: estos ventiladores tienen las hélices inclinadas en el sentido contrario al que gira, lo que le permite ser más veloz, además que llega a generar un ruido bajo, y cabe mencionar que consumen menos energía.

### **2.14.3. Ventiladores centrífugos.**

Se tiene 2 tipos, ventiladores centrífugos de flujo axial: es una combinación entre ambos tipos, donde se utiliza el espacio de un ventilador axial y se tienen las palas hacia atrás de un centrífugo.

Extractores de techo: equipos compactos, que descarga el aire a través de todo el perímetro de la rueda. Y pueden llevar aire de salida tanto para abajo como para arriba (Ricardo Governa, 1992).

### **2.15. Bombas hidráulicas**

Una bomba hidráulica es una máquina que transforma la energía mecánica en el movimiento de algún fluido, lo que genera un incremento en la presión para así poder moverlo de un lugar de menor presión a otra de mayor presión (RAE, 2019).

#### **2.15.1. Bombas centrifugas**

También llamadas bombas roto dinámicas, son máquinas cuyo funcionamiento consiste en convertir energía mecánica del aparato en energía cinética del fluido (Menon E. S., 2005).

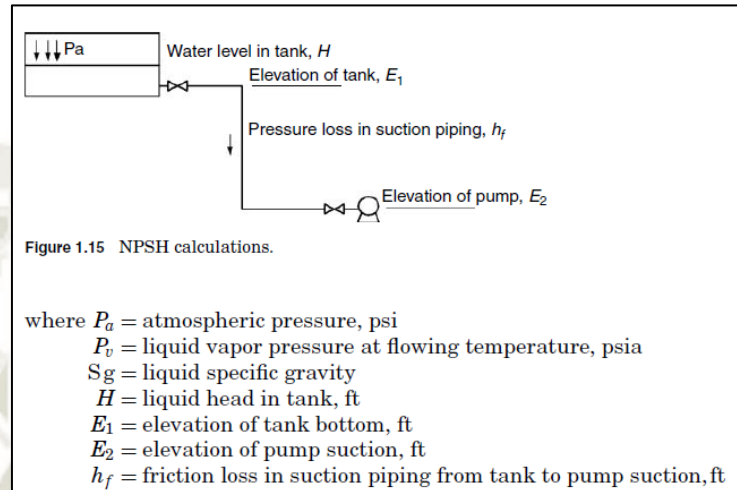
Consisten en bombas que tienen paletas dentro de una estructura que, al ser giradas, la fuerza de rotación genera presión en el líquido que va desde la zona de succión hacia la zona de descarga de la bomba, son bombas bastante eficientes y su costo de mantenimiento.

#### **2.15.2. NPSH (Net Positive Suction Head)**

En español Altura neta positiva de la succión. Es un valor que representa la presión mínima que debe existir al momento de la succión para evitar que se cree vacío (cavitación), y si la presión cae por debajo de ese valor, se puede dañar la bomba. Para poder calcularlo es necesario saber el tamaño de la tubería,

la elevación de la fuente de agua y la elevación del impulsor de la bomba, así como la presión atmosférica y la presión del vapor (Menon S. , 2005).

*Figura 14. Cálculo del NPSH.*



Fuente: Metso minerals

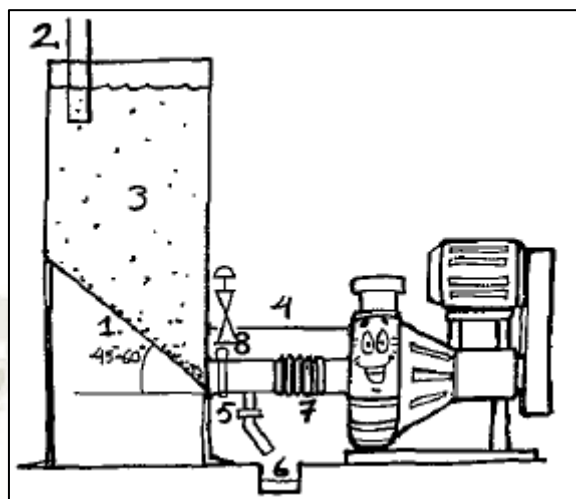
Según la figura 14, se muestra un diagrama para comprender el funcionamiento y el tipo de succión que realiza el NPSH, indicándose las distintas variables, como la presión atmosférica, la presión del vapor, el líquido del tanque, las elevaciones y la pérdida por fricción; con la finalidad de poder determinar la presión mínima para evitar la cavitación.

### 2.15.3. Bomba sumidero

Un sumidero es un desnivel en el que se junta líquido ya sea de ríos o canales, así como donde llegan líquidos por mano del hombre, por lo que puede llegar a considerarse un vertedero (RAE, 2019).

Son bombas que trabajan junto a un sumidero ya sea por un estanque que alimenta una bomba horizontal o un sumidero en el piso, donde la bomba se encuentra dentro del sumidero (Metso Minerals, 2006).

Figura 15. Estanque sumidero.

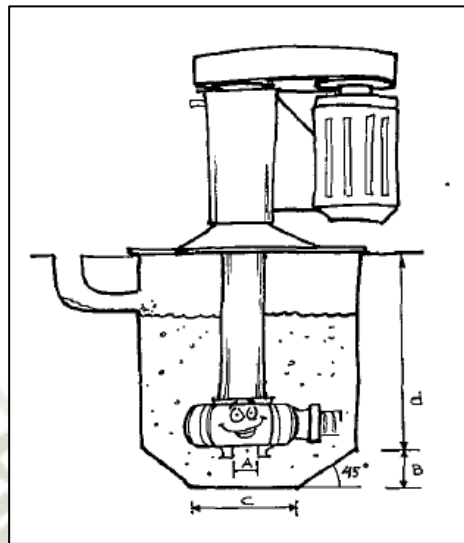


Fuente: Metso Minerals

La figura 15 muestra un diagrama del funcionamiento de una bomba de sumidero de tipo estanque, para poder alimentar una bomba mediante un estanque, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- El fondo del estanque/sumidero, debe tener más de 45°, y dependiendo de las partículas, será necesario 60°.
- EL alimentador del sumidero, debe estar dentro del líquido para evitar burbujas de aire.
- El volumen del sumidero debe ser el menor posible.
- La conexión de la bomba con el sumidero, debe ser pequeña.
- Debe haber un drenaje para recuperar ciertos sólidos.
- Se debe reforzar la conexión flexible de la bomba para que no se cree vacío.
- Debe contar con una válvula de cierre.

*Figura 16. Sumidero de piso.*



Fuente: Metso Minerals

Según la figura 16, se muestra un sumidero en el piso, donde la bomba se encuentra dentro del mismo, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- El volumen del sumidero, debe ser lo más pequeño posible.
- La profundidad del sumidero, debe ser dos veces el diámetro de la alimentación de la bomba.
- La profundidad de penderá de las características de la bomba, en especial de la carcasa.

## CAPITULO III. DIMENSIONAMIENTO DE DUCTOS Y SOPORTERIA

### 3.1. Introducción

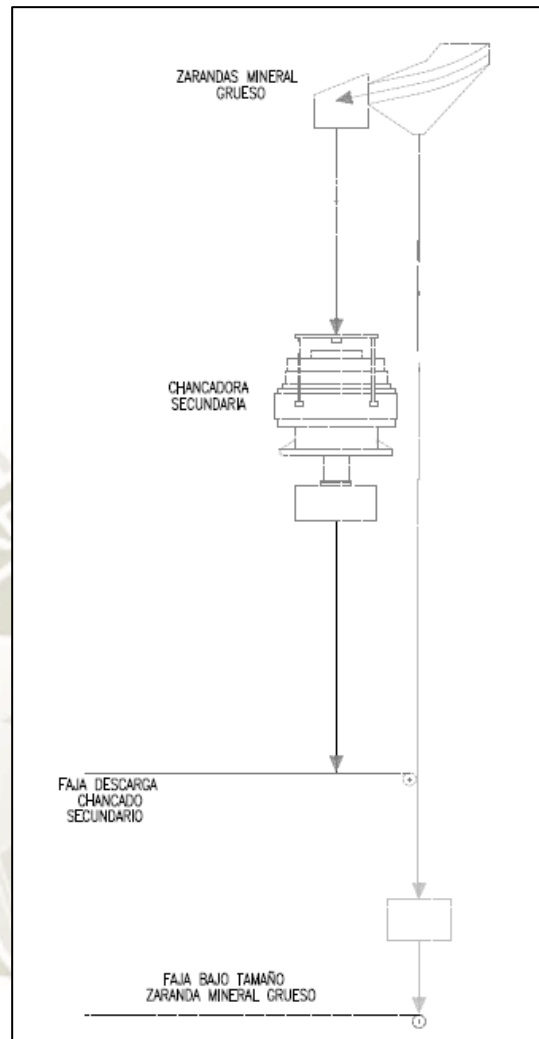
El dimensionamiento de los sistemas de colección de polvo, sistema de alimentación de agua y sistema de aire comprimido son dependientes del caudal de mezcla polvo aire a colectar. El dimensionamiento del caudal requiere como información de entrada la ubicación de las zonas donde el polvo se genera, con ello distintos expertos determinan el caudal de polvo con el cual se podrá realizar una colección de polvo efectiva. El dimensionamiento del caudal lleva a determinar el tamaño del ducto en función de velocidades recomendadas con un valor suficiente para no entrar en una abrasión prematura en el ducto o en una sedimentación del polvo colectado. Determinado el tamaño del ducto se realiza el trazo de los ductos hacia donde se han planteado los colectores de polvo, para finalmente determinar los soportes estructurales de los ductos.

### 3.2. Designación de puntos de colección de polvo.

Para poder definir y diseñar los puntos donde se coleccionará polvo es importante conocer el circuito de reducción de partícula existente en la planta.

Como se aprecia en la figura 12, el circuito consta de tres elementos mecánicos principales, la zaranda seca, la chancadora secundaria y la faja transportadora. Por ello el sistema de colección de polvo se enfocará en estos tres componentes.

Figura 17. Esquema de componentes mecánicos en el área.



Fuente: Empresa minera en la región de Arequipa.

### 3.3. Cálculo del caudal a ser colectado.

Existen tres puntos de colección de polvo en el sistema mencionado, a continuación, se dimensionará el sistema de colección de polvo a ser colectado en función de los parámetros operacionales y geométricos de los sistemas mecánicos.

#### 3.3.1. Caudal colectado en faja transportadora.

El caudal necesario para la colección del polvo en la faja transportadora es considerado según American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en

español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, el dimensionamiento del sistema es en función de la velocidad y ancho de la faja transportadora, así mismo otro parámetro a considerar es la altura de caída desde el chute de transferencia hasta la chancadora secundaria.

Los datos de la faja transportadora a considerar son: Ancho de faja de 48 pulgadas (1.22 m), velocidad de transporte de material 5 m/s.

American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practices Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, menciona en el capítulo 10 en el diseño denominado “VS-306” se tiene que el caudal de extracción debe de ser de  $0.77 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$  para velocidades de transporte de material superiores a 1 m/s, tomando eso como referencia se tendría la siguiente ecuación:

$$Q_E = 0.77 * A_F \dots (\text{Ec. 1})^1$$

En donde:

$Q_E$  = Flujo de extracción ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A_F$  = Ancho de la faja (m).

Reemplazando el ancho de la faja en la ecuación 1, se tiene:

$$Q_E = 0.77 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1.22 \text{ m} = 0.939 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

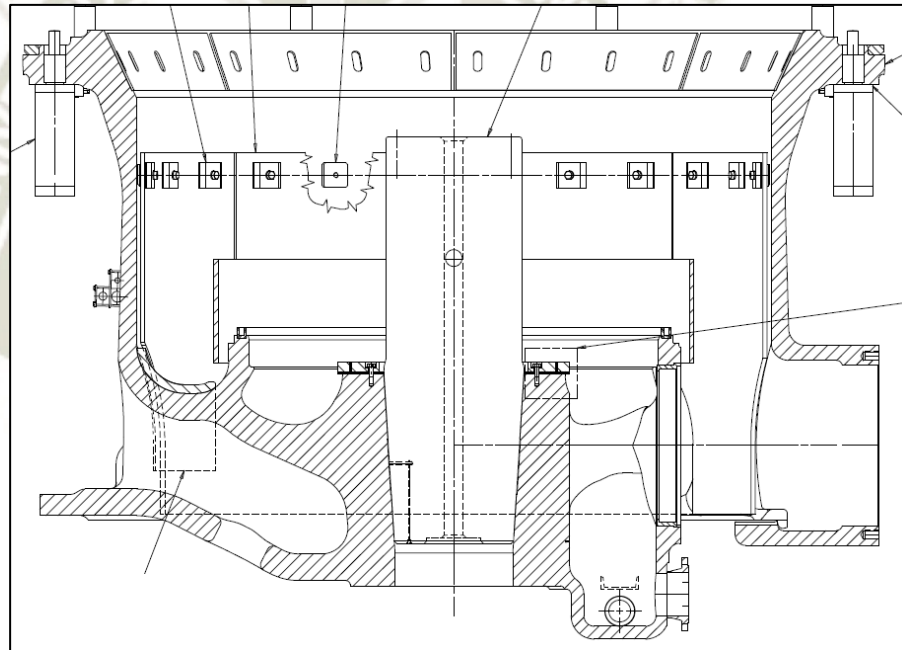
<sup>1</sup> La ecuación uno proviene del libro ‘Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practices’ siendo la ecuación de la figura VS-306 ubicada en la página 10-39

De acuerdo a lo mencionado, se tiene que el primer punto de colección de polvo tendrá un caudal de extracción de  $0.939 \text{ m}^3/\text{s}$

### 3.3.2. Caudal colectado en chancadora secundaria.

Debido a la naturaleza de los procesos de conminución se tiene entendido que el que material sea triturado por la chancadora secundaria generara polvo. Debido a esto se está considerando realizar una colección de polvo en la chancadora secundaria.

*Figura 18. Vista de corte a plano de elevación de chancadora secundaria.*



Fuente: Metso-Manual Nordberg MP Series Cone Crusher

De acuerdo a lo especificado por Andrew B. Cecala, A. D. (2012), Dust Control Handbook for Industrial Mineral Mining and Processing, Pittsburg, se tiene la siguiente ecuación para determinar el caudal necesario de extracción de la chancadora secundaria.

$$Q_E = 10 * A_U * \sqrt[3]{\frac{R * S^2}{D}} \dots (\text{Ec. 2})^2$$

En donde:

$Q_E$  = Flujo de extracción, (ft<sup>3</sup>/min)

$A_U$  = Área de encapsulamiento (ft<sup>2</sup>)

R = Flujo de material (ton/hr)

S = Altura de caída de material (ft)

D = Tamaño promedio de material procesado(ft)

De acuerdo a lo considerado en el diseño de la planta se tiene que el tamaño promedio de material procesado es 130 mm (0.43 ft) , el flujo de material considerado es 3000 tonne/hr (3307 ton/hr) , la altura de caída de material es 1.5 m ( 4.92 ft) considerado desde que llega el material a la boca de la chancadora secundaria, hasta la zona donde el bowl comienza a realizar la trituración ; y considerando el espacio reducido que cuentan las chancadoras secundarias en los faldones aislantes se tiene un área de encapsulamiento de 0.3 m<sup>2</sup> (3.23 ft<sup>2</sup>).

Teniendo estos datos de entrada y realizando las conversiones a las unidades indicadas, despejando la ecuación 2 se tiene:

$$Q_E = 10 * 3.23 \text{ ft}^2 * \sqrt[3]{\frac{3307 \frac{\text{ton}}{\text{hr}} * (4.92 \text{ ft}^2)^2}{0.43 \text{ ft}}} = 0.87 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

<sup>2</sup> La ecuación dos proviene del libro ‘Dust Control Handbook for Industrial Mineral Mining and Processing’ siendo la ecuación (4.2) ubicada en la página 117.

De acuerdo al diseño del proceso de chancado secundario, en la chancadora secundaria se instalarían dos campanas donde cada una extraería un caudal de  $0.87 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.3.3. Caudal colectado en chute de descarga a chancadora secundaria.

Andrew B. Cecala, A. D. (2012), Dust Control Handbook for Industrial Mineral Mining and Processin, Pittsburg, menciona que otra de las zonas donde se genera mayor polución ocurre tras el paso del material por las zarandas secas. Por ello se plantea tomar otro punto de colección de polvo, sin embargo, por facilidades de mantenimiento la idea de colocar un punto de colección de polvo en la zaranda seca se hace inviable, por ello se tiene planteado colocar un punto de colección de polvo sobre el chute de transferencia, para el cálculo del flujo de extracción de polvo se tienen las siguientes consideraciones:

El  $d_{80}$  del proceso y el flujo del material seguirán siendo  $130 \text{ mm}$  ( $0.43 \text{ ft}$ ) y  $3000 \text{ tonne/hr}$  ( $3307 \text{ ton/hr}$ ) respectivamente, la altura de caída de material es  $3 \text{ m}$  ( $9.84 \text{ ft}$ ) considerados desde que el “oversize” (material que no logra pasar la criba de la zaranda) sale de la zaranda hasta que llega a la boca de la chancadora secundaria; y considerando el espacio que tienen los chutes de transferencia de chancado secundario se considera un área de  $0.75 \text{ m}^2$  ( $8.07 \text{ ft}^2$ ).

Reemplazando los datos listados anteriormente en la ecuación 2, se tiene:

$$Q_E = 10 * 8 \text{ ft}^2 * \sqrt[3]{\frac{3307 \frac{\text{ton}}{\text{hr}} * (4.92 \text{ ft}^2)^2}{0.43 \text{ ft}}} = 2.16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

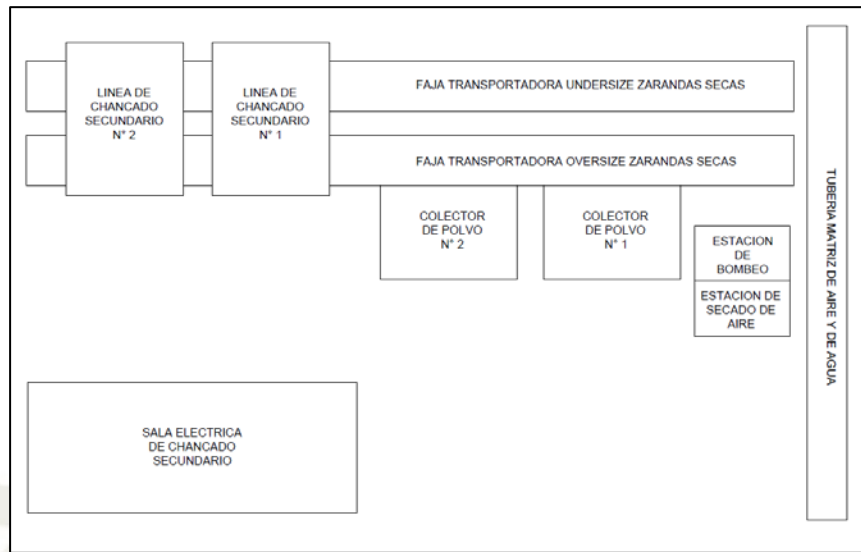
De acuerdo al diseño del proceso de selección de material usando zarandas secas se tiene que en el chute de transferencia se instalara una campana que extraerá un caudal de  $2.16 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### **3.3.4. Ruteo de los ductos y disposición de equipos mecánicos.**

El criterio a utilizarse para el ruteo de los ductos y la disposición de los equipos mecánicos se realizará considerando los gastos operativos y los gastos capitales, el criterio que primará es el de preservar los gastos operativos, aunque los gastos capitales sean mayores, esto debido a la gran cantidad de años de vida que le quedan a la planta.

De acuerdo a lo estipulado se tiene el siguiente Layout de ubicación de equipos, tratando de que los ductos no interfieran con otros equipos mecánicos existentes en la zona y tampoco dificulten sus labores de mantenimiento. Así mismo la ubicación de los equipos mecánicos proyectados será cerca al lugar donde se colecta el fluido, en otras palabras, la ubicación de los colectores de polvo será lo más cerca posible a la línea de chancado secundario, la ubicación de las bombas centrifugas será lo más cerca posible a la tubería matriz de agua; en el caso del compresor y del secador de aire ya que colectan aire del medio para poder comprimirlo se tomara como premisa el colocarlos cerca a los colectores de polvo, el cual es el equipo que alimentaran con aire comprimido. Haciendo que la disposición de los equipos mecánicos sea de acuerdo al siguiente Layout (Plano TES-FS-2020-DWG-001).

Figura 19. Layout, disposición general de equipos según ingeniería conceptual.



Fuente: Propia

### 3.4. Diseño de ductos de colección de polvo.

Los ductos serán dimensionados de acuerdo a lo especificado por American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, en ella se especifican las velocidades recomendadas dependiendo del tipo de polvo que se maneje. Debido a que el polvo es desprendido de un proceso de conminución de mineral de cobre este será considerado como un polvo pesado.

Figura 20. Valores recomendados para la velocidad de diseño de conductos.

TABLA 3.2 Valores recomendados para la velocidad de diseño de conductos		Velocidad de diseño (m/s)
Naturaleza del contaminante	Ejemplos	
Vapores, gases, humos de combustión	Todos los vapores, gases y humos	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 y 10 m/s)
Humos de soldadura	Soldadura	10-12,5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco	12,5-15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero	15-20
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles	17,5-20
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorrado con arena, pedzcos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado de fundición, polvo de plomo	20-22,5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir (pegajosos)	> 22,5

Fuente: Industrial Ventilation 20va edición

Tomando en consideración lo mostrado en la tabla, la velocidad recomendada de transporte de polvo debe ir en un rango de 17.5 m/s a 20 m/s. Teniendo eso en consideración se demostrará mediante cálculo la forma en la que se dimensiona el ducto de colección de polvo que proviene del punto de colección proyectado encima del chute de transferencia. Este punto de colección tiene un caudal de 2.16 m<sup>3</sup>/s y como es el inicio del sistema hidráulico se empezará dimensionando el ducto con la velocidad máxima recomendada es decir 20 m/s, se tomará como premisa la ecuación de continuidad para el dimensionamiento de los ductos donde el caudal es igual a la velocidad por el área y de esta fórmula se despejará el área para poder hallar el diámetro de los ductos, asumiendo que los ductos tendrán una geometría circular. Para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$Q_E = V * A \dots (\text{Ec. 3})$$

En donde:

$Q_E$ : Caudal de colección (m<sup>3</sup>/s)

V: Velocidad de colección (m/s)

A: Sección del ducto (m<sup>2</sup>)

Modificando la ecuación 3 para obtener el diámetro se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{Q_E * 4}{V * \pi}}$$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{2.16 \frac{m^3}{s} * 4}{20 \frac{m}{s} * \pi}} = 0.371 m$$

Dado que este diámetro no existe se aproximará a un valor que sea más real al manufacturarlo, en este caso 375 mm con lo que obtendremos la nueva sección del ducto y junto al caudal designado de 2.16 m<sup>3</sup>/s se recalculará la velocidad en el ducto para verificar que estemos dentro de los parámetros. Para ello se plantea la ecuación 3 despejando la velocidad.

$$V = \frac{Q_E * 4}{D^2 * \pi}$$

$$V = \frac{2.16 \frac{m^3}{s} * 4}{(0.375 m)^2 * \pi} = 19.75 \frac{m}{s}$$

Como se aprecia, la velocidad está dentro de los límites de velocidad recomendada. Este procedimiento será repetido para el resto de ductos, de acuerdo a lo considerado en el PFD (Figura 16, Plano TES-FS-2020-DWG-002). Determinado el diámetro de los tramos de ductos se debe especificar el espesor de los ductos, American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana; menciona que el espesor depende del diámetro del ducto y de la clase de operación que tendrá el sistema, debido a que el polvo de chancado secundario es altamente abrasivo y que el sistema será constantemente operado este será considerado como Clase 4, de ahí menciona que para ductos con un diámetro comprendido entre 100 mm y 200 mm se tendrá un espesor de 2 mm, para ductos con un diámetro comprendido entre 200 mm y 450 mm se tendrá un espesor de 3 mm, para ductos con

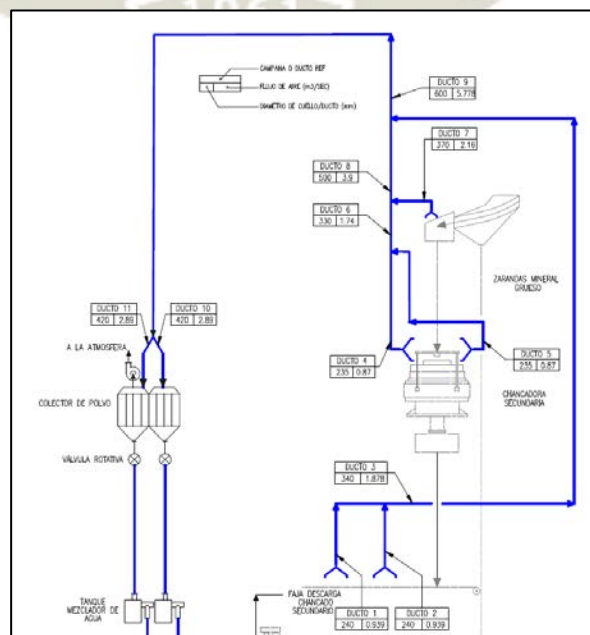
un diámetro comprendido entre 450 mm y 750 mm se tendrá un espesor de 5 mm y para ductos con un diámetro superior a 750 mm se tendrá un espesor de 7 mm. Utilizando la información anterior se completará la tabla 1 especificando el diámetro y su correspondiente espesor y velocidad para cada ducto.

Tabla 1 Diámetro de diseño de ductos de sistema de colección de polvo N° 2.

Ítem	Designación	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad límite (m/s)	Diámetro (mm)	Diámetro de diseño (mm)	Velocidad de diseño(m/s)	Espesor de ducto (mm)
1	1→3	0.939	20	244.50	245	19.92	3
2	2→3	0.939	20	244.50	245	19.92	3
3	A+3→9	1.878	20	345.77	350	19.52	3
4	4→6	0.87	20	235.34	240	19.23	3
5	5→6	0.87	20	235.34	240	19.23	3
6	B+6→8	1.74	20	332.82	340	19.16	3
7	7→8	2.16	20	370.82	375	19.56	3
8	C+8→9	3.9	20	498.28	510	19.09	5
9	D+8→9	5.778	20	606.50	625	18.83	5
10	9→10	2.889	20	428.86	450	18.16	3
11	9→11	2.889	20	428.86	450	18.16	3

Fuente: Propia

Figura 21. Diagrama de flujo de proceso del sistema de colección de polvo

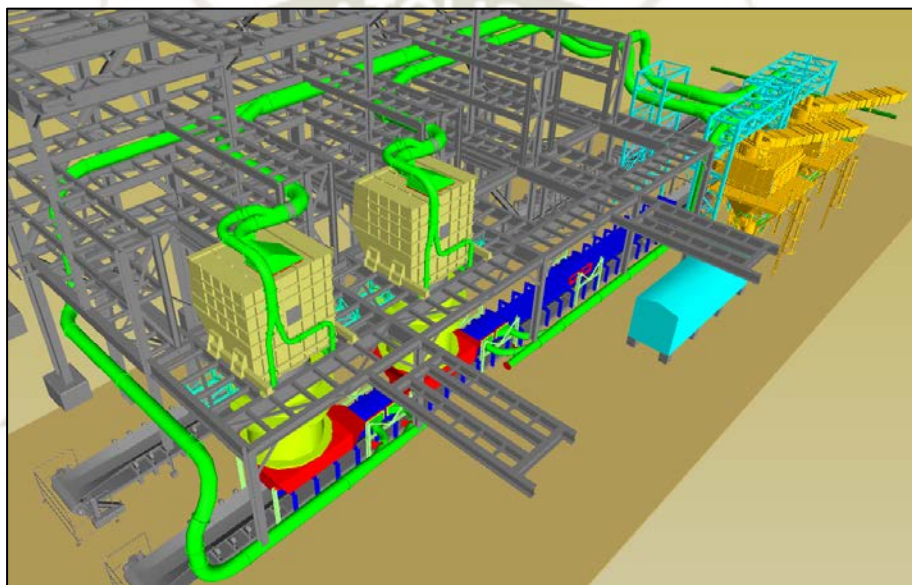


Fuente: Propia

### 3.5. Diseño de soportes estructurales.

Bajo el arreglo conceptual presentado se determinó el arreglo del proyecto, en el arreglo se muestra el arreglo de la disposición de los ductos, el sistema de aire comprimido, el sistema de alimentación de agua y el diseño del soporte estructural.

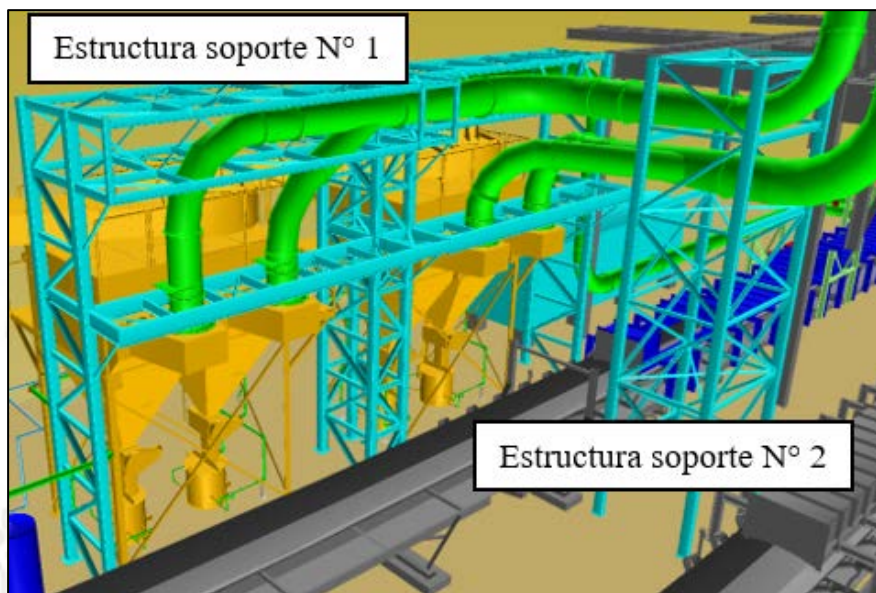
*Figura 22. Vista Isométrica del proyecto*



Fuente: Propia

En el arreglo se presentan dos torres estructurales, una dispuesta entre la faja transportadora de undersize y la faja transportadora de oversize (Estructura soporte N° 1) y la otra dispuesta a la llegada de los ductos a los colectores de polvo (Estructura soporte N° 2).

Figura 23. Vista Isométrica de las estructuras soporte



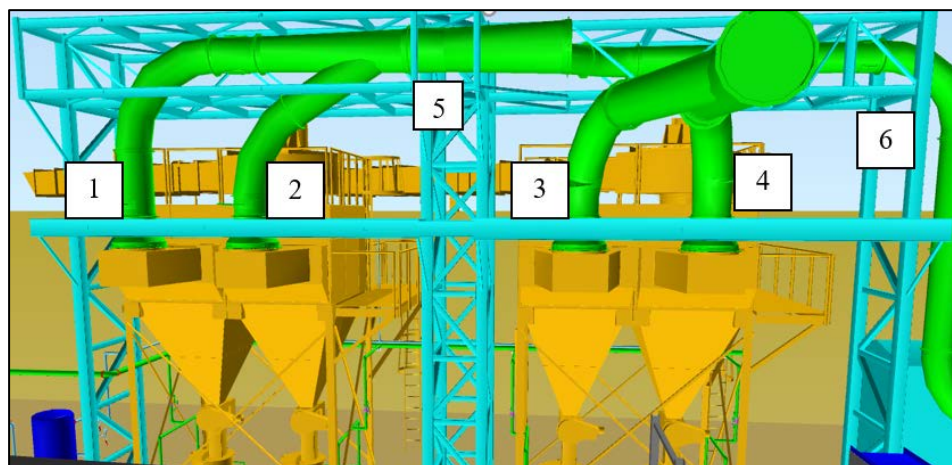
Fuente: Propia

Para ejemplificar el diseño se desarrollará la estructura soporte N° 1, ya que esta supone la estructura con mayor dificultad de diseño debido a su forma irregular y a que tiene más puntos de conexión entre los ductos y la estructura, por lo tanto, mayor carga sobre la estructura. Para la simulación se utilizará el software SAP 2000, la definición de cargas será de acuerdo a lo estipulado en la norma técnica peruana E.020, la revisión de las combinaciones de carga será bajo lo estipulado en la norma técnica peruana E.090 y el método de diseño será LRFD.

### 3.5.1. Definición de cargas, combinaciones de cargas y restricciones de traslación y rotación

Para la estructura soporte N° 1 se determinan los siguientes puntos de conexión entre los ductos y la estructura soporte.

Figura 24. Puntos de carga en estructura soporte N° 1



Fuente: Propia

Determinada la ubicación de los puntos de carga, para el diseño de estas estructuras se considerará 3 tipos de carga, carga viva, carga muerta y carga sísmica. La carga viva es determinada bajo la suposición de que hay polvo acumulado en el ducto considerando una densidad de  $2300 \text{ kg/m}^3$  y considerando que un porcentaje del ducto se encuentra lleno de este material, dependiendo si es un ducto principal el porcentaje es 30%, ducto que agrupa ramales 50% y un ramal propiamente dicho 100%, la carga muerta es determinada por el peso de los ductos considerando la longitud y el espesor y una densidad de  $7850 \text{ kg/m}^3$ .

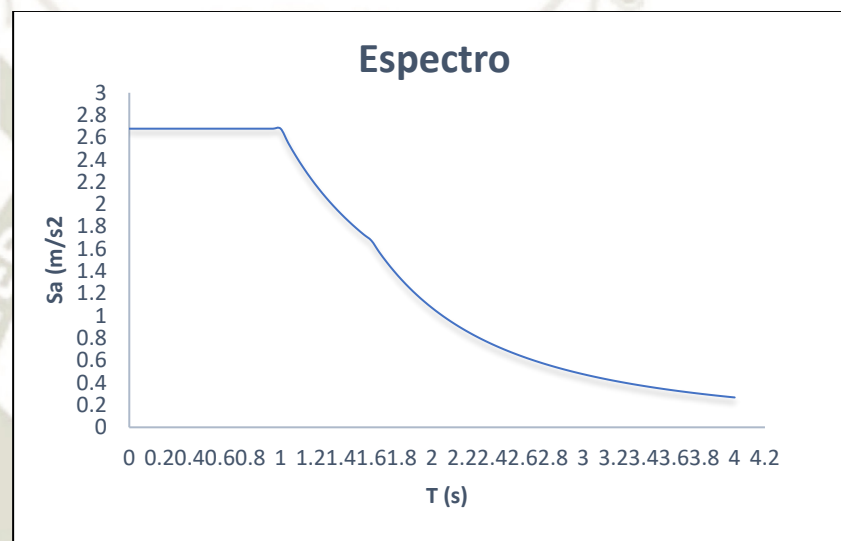
Tabla 2 Cargas de la estructura soporte N° 1

Soporte	1	2	3	4	5	6
Carga Muerta (kgf)	117	84	101	101	425	235
Carga Viva (kgf)	640	457	549	549	2341	996

Fuente: Propia

Para la carga sísmica se considera el uso de un espectro determinado por la norma técnica peruana E.030, considerando un espectro de 4.2 segundos con muestras tomadas cada 0.05 segundos, teniendo en consideración que la zona del proyecto es una zona 4, tipo de suelo es S3, la categoría del factor de uso es 4.2, dando como resultado el siguiente espectro

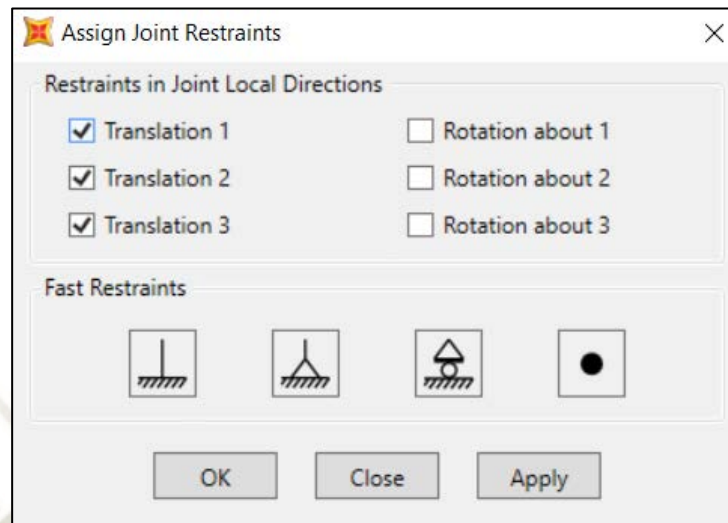
*Figura 25. Espectro de carga sísmica.*



Fuente: Propia

El tipo de apoyo que se considera para la estructura considera restricción de movimiento en los tres ejes, este es usado en las 8 columnas de la estructura soporte N° 1.

Figura 26. Restricciones de soportes estructura soporte N° 1.



Fuente: Propia

Respecto a la combinación de cargas se utilizarán cuatro de las combinaciones de carga planteadas en la norma técnica peruana E.090

- $C1=1.4*CV$
- $C2=1.2*CM+1.6*CV$
- $C3=1.2*CM+CV+E(x)$
- $C4=1.2*CM+CV+E(y)$

En donde:

CM: Carga muerta

CV: Carga viva

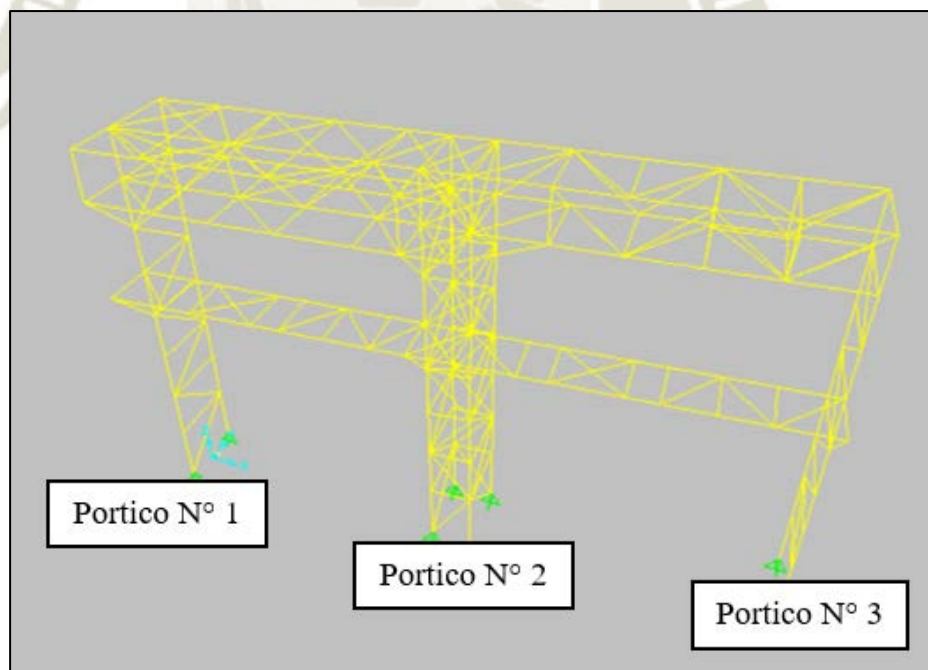
E(x): Carga por espectro sísmico en el eje x

E(y): Carga por espectro sísmico en el eje y

### 3.5.2. Definición de material y de perfiles estructurales usados.

Como material se utilizará el acero estructural ASTM A36, debido a que es el material más común para el diseño estructural. Respecto a la estructuración se tiene que la estructura cuenta con tres pórticos compuestos por ocho columnas, el pórtico N° 1 está compuesto por dos columnas dispuestas al extremo del colector de polvo N° 2, el pórtico N° 2 compuesto por cuatro columnas ubicadas entre el colector de polvo N° 1 y N° 2 y el pórtico N° 3 compuesto por dos columnas ubicadas al extremo del colector de polvo N° 1. Las columnas de los pórticos son perfiles estructurales HSS 5x5x1/2, mientras que las vigas y arriostres de la estructura son perfiles estructurales HSS2x2x1/4.

*Figura 27. Estructura soporte N° 1 en SAP2000.*



Fuente: Propia

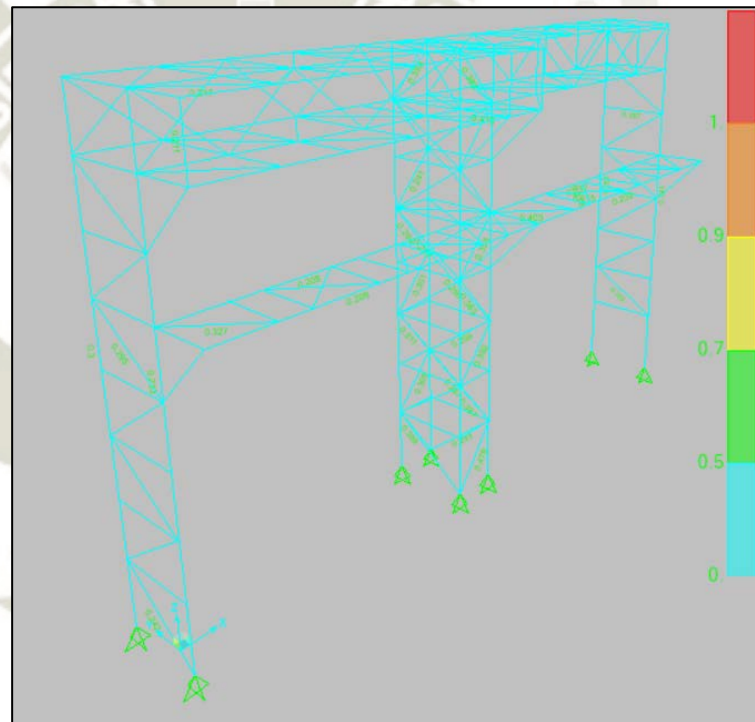
La unión entre pórticos utilizará perfiles HSS4x4x1/4 en la unión superior, mientras que en la parte inferior se utilizarán perfiles W14x22 para las vigas

intermedias y los arriostres intermedios se utilizaron indistintamente perfiles L2x2x1/4, C200x17.1, C150x12.2, 2L2x2x3/8 y W12x16.

### 3.5.3. Resultados de simulación estructural.

Utilizados los parámetros listados anteriormente se comprueba el diseño estructural, comprobando que ninguna de las estructuras este sobre esforzada, tenga fallas por deflexión y esbeltez.

*Figura 28. Ratio de esfuerzo de elementos estructurales.*



Fuente: Propia

De la comprobación estructural se tiene que el elemento estructural que tiene un mayor ratio de esfuerzo respecto del límite impuesto por el método de diseño LRFD y la combinación de carga es el elemento estructural que une el soporte N° 5 con la estructura, cuyo ratio es 0.549, siendo sometido a una fuerza que deforma axialmente el elemento bajo un efecto de tracción, esta deformación es producto

de la combinación de carga número 2, el análisis del software se muestra en el anexo 1. Debido a la elevada carga en los elementos estructurales de los soportes N° 5 y N° 6, se utilizó el perfil HSS4x4x1/4.

Comprobados todos los elementos estructurales la siguiente tabla muestra un resumen de la cantidad de metros lineales y de kilogramos utilizados para cada uno de los perfiles usados.

*Tabla 3. Metrado de perfiles estructurales de la estructura soporte N° 1.*

Perfil estructural	Metros lineales	Toneladas métricas
HSS2X2X1/4	191.6	1.465
HSS4X4X1/4	99.62	1.7
C200X17.1	14.4	0.245
HSS6X4X1/4	5.235	0.114
L2X2X1/4	41.27	0.196
2L2X2X3/8	74.62	1.032
C150X12.2	34.03	0.411
W12X16	4.8	0.115
W14X22	27.95	0.919
HSS5X5X1/2	76.8	3.065

Fuente: Propia

Finalmente comprobados los elementos estructurales, el plano de ingeniería básica se encuentra en el plano TES-FS-2020-DWG-012.

## CAPITULO IV. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO

### 4.1. Introducción

Para determinar el colector de polvo, es necesario determinar la potencia del ventilador y la relación aire tela requerido por el colector de polvo. Las pérdidas hidráulicas del sistema de colección de polvo se determinan tomando en cuenta tres factores, la velocidad de diseño de los ductos del sistema de colección de polvo, la densidad de aire corregida y la geometría (longitud de ductos, número de codos, intersecciones) de los ductos del sistema de colección de polvo. La potencia del ventilador se determina usando las pérdidas hidráulicas y el caudal requerido a transportar. Las características del polvo, así como las condiciones de operación son las que determinan la relación aire tela para con ello definir el colector de polvo necesario para la operación.

### 4.2. Cálculo de la densidad de aire corregida.

Dado que el proyecto está planteado para una unidad minera a 2770 m.s.n.m y a una temperatura ambiente de 25 °C, se debe de realizar correcciones al valor ideal de densidad de aire. Howard L. Hartman (1997), *Mine Ventilation and Air Conditioning*. Toronto: Editorial John Wiley and Sons, menciona que aire debe ser corregido bajo dos parámetros la temperatura del aire que estará dentro del sistema de colección y la altura del medio donde será colectado el aire respecto al nivel del mar. Para la corrección del aire se utilizará la siguiente ecuación:

$$Ch = e^{\frac{-Z}{R*T}} \dots (Ec.4)^3$$

En donde:

---

<sup>3</sup> La ecuación cuatro proviene del libro 'Mine Ventilation and Air Conditioning' siendo la ecuación (2.16) ubicada en la página 24.

Ch: Factor de corrección del aire (adimensional)

Z: Altura sobre el nivel del mar donde se realizará el proyecto (m)

T: Temperatura del medio donde se colectará el aire (°C)

R: Constante del gas (0.287 J/kg\*°C)

Usando la ecuación con los valores mencionados anteriormente tenemos lo siguiente:

$$Ch = e^{\frac{-2770 \text{ m}}{287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} * 25 \text{ °C}}} = 0.68$$

El factor de corrección se debe utilizar en la siguiente ecuación:

$$\rho_c = Ch * \rho \dots (Ec. 5)$$

En donde:

$\rho_c$ : Densidad del aire corregida (kg/m<sup>3</sup>)

Ch: Factor de corrección del aire (adimensional)

$\rho$ : Densidad del aire estándar (kg/m<sup>3</sup>)

El valor de la densidad del aire estándar es 1.225 kg/m<sup>3</sup>, utilizando la ecuación número 5 en ella tenemos:

$$\rho_c = 0.68 * 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

El cual será el valor de densidad de aire que utilizaremos para hallar el total de pérdidas hidráulicas del sistema.

### 4.3. Cálculo de las pérdidas del sistema de colección de polvo.

Teniendo en cuenta los datos anteriormente calculados y lo mencionado por, American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, se utilizan las siguientes ecuaciones para calcular las pérdidas hidráulicas del sistema de colección de polvo, empezando con la ecuación para determinar el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho_c * D * V}{\mu} \dots (Ec. 6)$$

En donde:

Re: Número de Reynolds (adimensional)

$\rho_c$ : Densidad del aire corregida ( $\text{kg/m}^3$ )

D: Diámetro interior del ducto de aire (m)

V: Velocidad de diseño (m/s)

$\mu$ : Viscosidad dinámica (Pa.s)

La ecuación de Churchill, para determinar el factor de fricción:

$$f = 8 \left[ \frac{8^{12}}{Re} + \left[ (-2.457 * \ln \left[ \frac{7^{0.9}}{Re} + \frac{k}{3.7D} \right])^{16} + \frac{37530^{16}}{Re} \right]^{-1.5} \right]^{\frac{1}{12}} \dots (Ec. 7)^4$$

<sup>4</sup> La ecuación siete proviene del libro 'Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice' siendo la ecuación (1.15) ubicada en la página 1-8.

En donde:

$f$ : factor de fricción (adimensional)

Re: Número de Reynolds (adimensional)

D: Diámetro interior del ducto de aire (m)

k: Rugosidad absoluta del material (m)

La ecuación para determinar la presión dinámica:

$$PD = \rho_c * \left( \frac{V}{4.43} \right)^2 \dots (Ec. 8)^5$$

En donde:

PD: Presión dinámica (mmH<sub>2</sub>O)

$\rho_c$ : Densidad del aire corregida (kg/m<sup>3</sup>)

V: Velocidad de diseño (m/s)

La ecuación para determinar las pérdidas hidráulicas:

$$hf = \left( f \frac{L}{D} + k_c + k_a + k_{co} + k_u \right) * PD \dots (Ec. 9)$$

<sup>5</sup> La ecuación ocho proviene del libro ‘Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice’ siendo la ecuación (1.4) ubicada en la página 1-4.

En donde:

$h_f$ : Pérdidas hidráulicas (mmH<sub>2</sub>O)

$f$ : factor de fricción (adimensional)

L: Longitud de ducto (m)

D: Diámetro interior del ducto de aire (m)

$k_c$ : Factor de pérdida por campana (adimensional)

$k_a$ : Factor de pérdida por aceleración (adimensional)

$k_{co}$ : Factor de pérdida por codos (adimensional)

$k_u$ : Factor de pérdida por uniones (adimensional)

PD: Presión dinámica (mmH<sub>2</sub>O)

Como datos adicionales para la resolución de las ecuaciones anteriores, American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, menciona que la rugosidad absoluta del acero es 0.005 cm. Yunus A. Çengel (2011), menciona que la viscosidad dinámica del aire a 25°C es  $1.849 \times 10^{-5}$  Pa/s.

Figura 29. Rugosidad superficial absoluta.

Material	Rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ), cm
Chapa galvanizada	0,015
Acero	0,005
Aluminio	0,005
Acero inoxidable	0,005
Conducto flexible (alma descubierta)	0,3
Conducto flexible (alma recubierta)	0,09

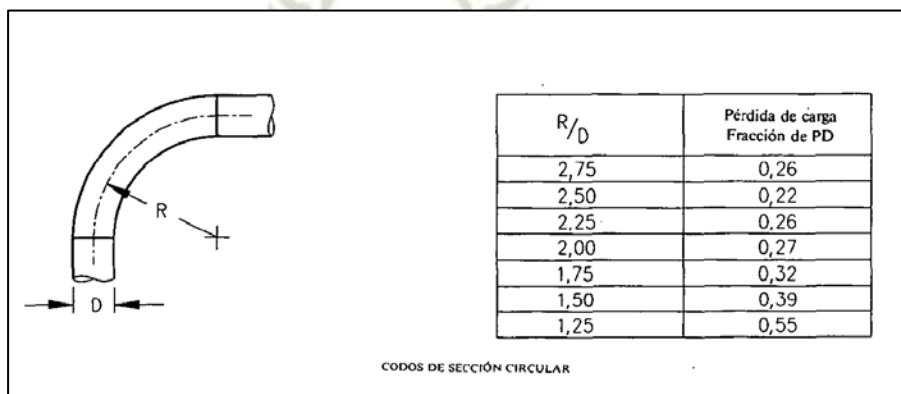
Fuente: Ventilación Industrial 20va Edición

Figura 30. Propiedades del aire en función a la temperatura.

Temp., T, °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111

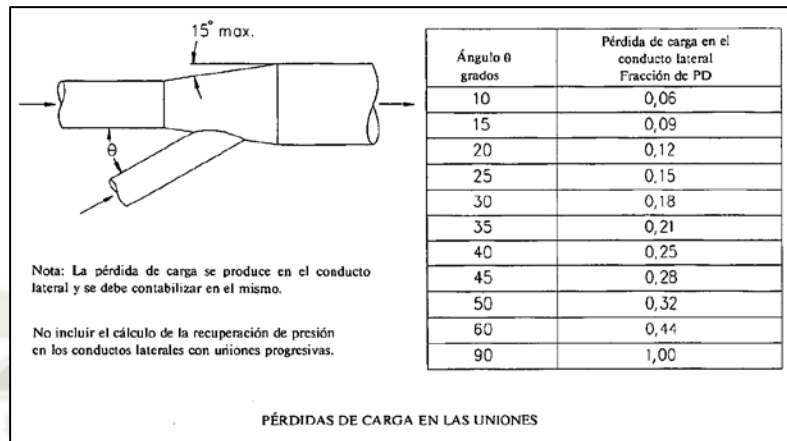
Fuente: Transferencia de Calor y Masa, Fundamentos y Aplicaciones

Figura 31. Factor de pérdida de carga de codos en función de R/D.



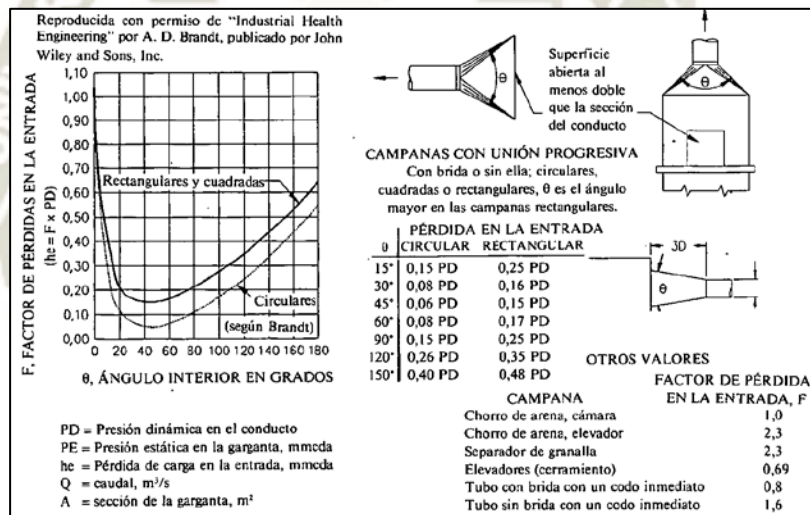
Fuente: Industrial Ventilation 20va edición

Figura 32. Factor de pérdida de carga uniones laterales en función de ángulo de unión.



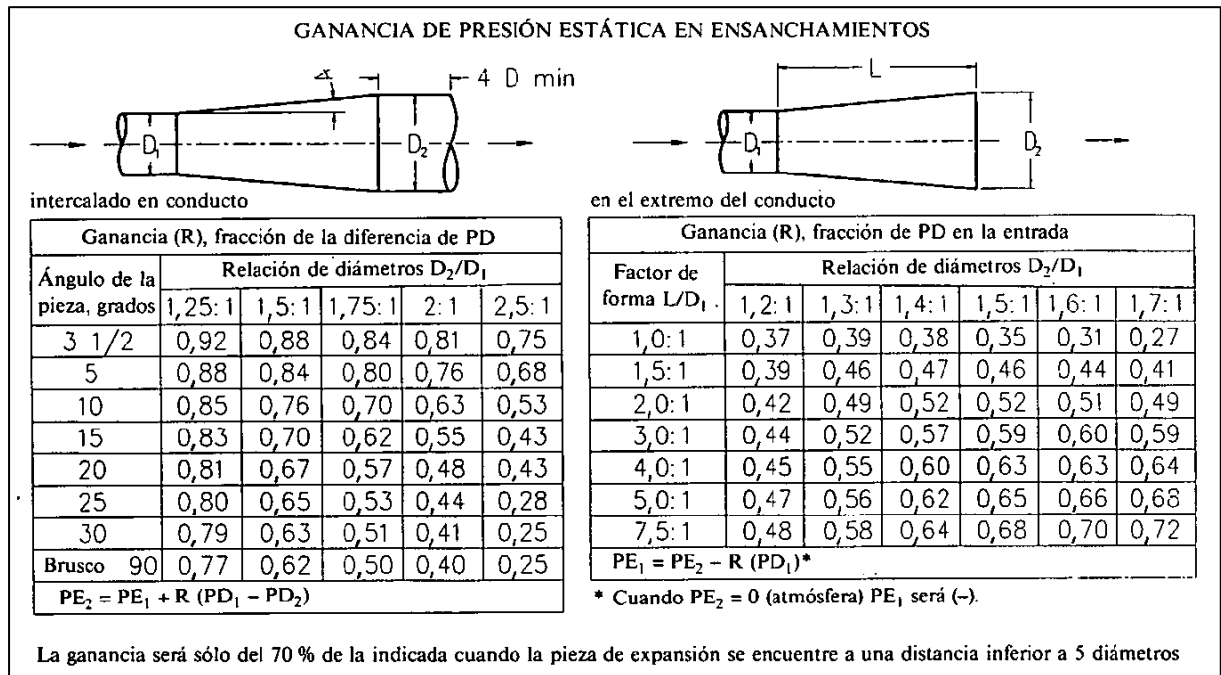
Fuente: Industrial Ventilation 20va edición

Figura 33. Factor de pérdida de carga en campanas de colección.



Fuente: Industrial Ventilation 20va edición

Figura 34. Factor de pérdida de carga en ensanchamientos.



Fuente: Industrial Ventilation 20va edición

De la figura 27 se tiene la siguiente ecuación para los ensanchamientos y reducciones:

$$\pm \Delta hf = R * PD \dots (Ec. 10)$$

En donde:

$\pm \Delta hf$ : Pérdidas hidráulicas, son positivas en caso de reducciones y negativas en caso de ensanchamientos (mmH<sub>2</sub>O)

R: factor de fricción (adimensional)

PD: Presión dinámica (mmH<sub>2</sub>O)

Figura 35. Factor de pérdida de accesorios.

FACTORES DE PÉRDIDA			
CODOS DE 90°		UNIONES	
R/D	Factor	ángulo	Factor
0,0 escuadra	1,25	15°	0,09
1,5	0,39	30°	0,18
2,0	0,27	45°	0,28
2,5	0,22	60°	0,44
		90°	1,00
codos de 60° = 2/3 pérdida			
codos de 30° = 1/3 pérdida			

Fuente: Industrial Ventilation 20va edición

Como se mencionó anteriormente la geometría de los ductos del sistema de colección de polvo tienen parámetros que dictan las pérdidas hidráulicas, los elementos como los codos, ensanchamientos, uniones y campanas dan valores que se multiplican con la presión dinámica con el fin de tener el valor de las pérdidas hidráulicas de la ecuación 9. De los datos anteriores como parte de lo designado por la ingeniería básica tenemos:

- Relación de Radio-Diámetro de 2.5, de donde se tiene que el factor de pérdida de los codos es 0.22. (Figura 31)
- El ángulo de unión que tienen dos ramales al unirse será de 15°, de donde se tiene que el factor de pérdida de las uniones es 0.18. (Figura 32)
- De acuerdo al diseño planteado para las campanas de colección de polvo (Planos TES-FS-2020-DWG-009 y TES-FS-2020-DWG-010) se tiene que el ángulo de diseño que hay varios diseños de campanas que tienen ángulos entre caras que varían entre 64° y 84° con lo que se tiene un factor de pérdida en las campanas de 0.16. (Figura 33)

- La relación entre la longitud del ensanchamiento y el diámetro menor del ducto será de dos, con lo que el factor de pérdida en los ensanchamientos será un valor entre 0.49 y 0.52, dependiendo de la relación entre diámetros

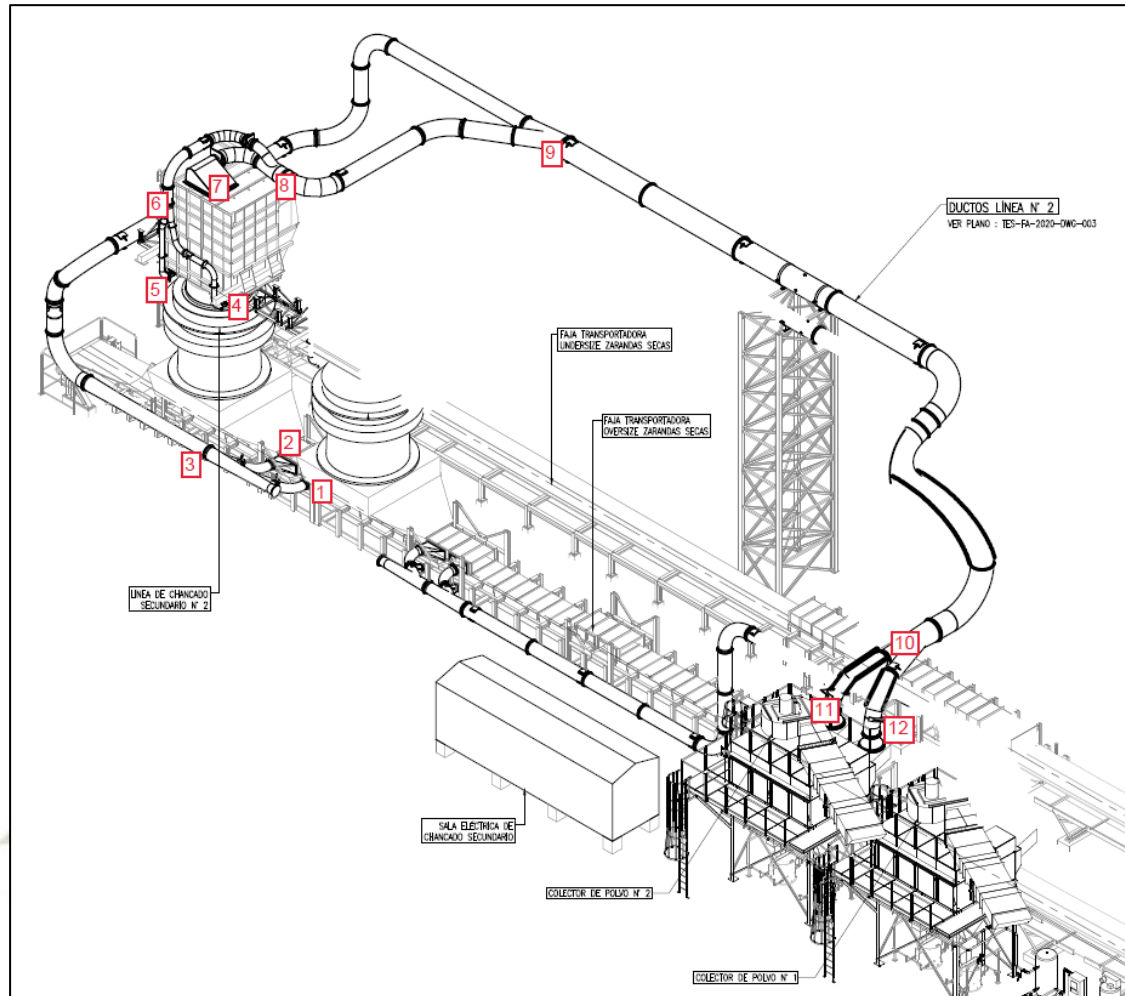
#### **4.3.1. Pérdidas Hidráulicas Sistema de Colección de Polvo N° 02.**

Con los parámetros anteriores y el arreglo general realizado para la ingeniería básica (Plano TES-FS-2020-DWG-003), de donde se obtendrá información de los parámetros geométricos de los ductos se resolverán las ecuaciones 5, 6, 7, 8, 9 y 10 para tener el total de las pérdidas hidráulicas. El método de cálculo considera hacer comparaciones entre distintos nodos a fin de encontrar el tramo que tiene más pérdidas para el sistema y en función a las pérdidas y el caudal máximo demandado tener un equipo seleccionado.

Se instalarán dos sistemas de colección de polvo, por ello para simplificar el contenido se desarrollará el procedimiento para el sistema de colección N°2 y para el sistema de colección N° 1 solo se muestran los resultados.

Teniendo en cuenta las ramificaciones que tiene cada uno de los sistemas de colección de polvo cada nodo tiene una designación a fin de calcular pérdidas hidráulicas entre nodos y hacer esta comparación. La designación será de acuerdo a lo mostrado en la figura 36.

Figura 36. Designación de nodos del sistema de colección de polvo N° 2.



Fuente: Propia

Considerando la designación de la figura 36, se compararán las pérdidas hidráulicas de los tramos de ductos a fin de seleccionar el tramo que tenga una pérdida hidráulica mayor, se realizará esto siguiendo el siguiente desarrollo:

- Paso 1: Se comparan los tramos 1-3 y 2-3, el que tenga mayor pérdida hidráulica es denominado acumulado A
- Paso 2: Se comparan los tramos 4-6 y 5-6, el que tenga mayor pérdida hidráulica es denominado acumulado B

- Paso 3: Se realiza la comparación entre el tramo 7-8 y la suma del acumulado B con el tramo 6-8, el que tenga mayor pérdida hidráulica es denominado acumulado C.
  - Paso 4: Se realiza la comparación entre la suma del acumulado C con el tramo 8-9 y la suma del acumulado A con el tramo 3-9, el que tenga mayor pérdida hidráulica es denominado acumulado D.
  - Paso 5: Se comparan los tramos 10-11 y 10-12, el que tenga mayor pérdida hidráulica es denominado acumulado E.
  - Paso 6: Se hallan las pérdidas hidráulicas entre el tramo 9-10 y se suman con las pérdidas hidráulicas del acumulado E y con las del acumulado D, obteniendo el valor final.
- a. Paso 1: Se realizará una comparación entre las pérdidas hidráulicas del tramo 1→3 con respecto a las del tramo 2→3, en la tabla 4 se muestra la información referida a los elementos que componen el tramo 1→3 y el tramo 2→3.

*Tabla 4. Geometría de ductos de los tramos 1→3 y 2→3.*

Item	Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro diseño (mm)	Longitud (m)	N° codos 90°	N° codos 30°	N° expansiones	N° uniones	Angulo de campana
1	1→3	0.939	245	1.303	1	1	0	0	78
2	2→3	0.939	245	0.25	1	1	0	1	64

Fuente: Propia

- Tramo 1→3: Se resuelve las ecuaciones 06, 07, 08 y 09 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 1→3. La ecuación 6 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes valores: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,84 \cdot 10^{-5}$  Pa.s, densidad corregida del aire con un valor

de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.92 \text{ m/s}$  (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.245 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.245\text{m} * 19.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \text{Pa} \cdot \text{s}} = 222737$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de  $222737$  (Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de  $0.005 \text{ cm}$  y el diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.245 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1)^{\left( \frac{-3}{2} \right)^{\frac{1}{12}}} \right)$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right)^{-1} \right) \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.017$$

La ecuación 08 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de: densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.92 \text{ m/s}$  (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left( \frac{19.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4.43} \right)^2 = 16.84 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La ecuación 9 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evaluar, de ella se tiene que la longitud del ducto es 5 m, hay un codo de 90°, un codo de 30° y la campana tiene un ángulo entre caras de 78°. Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos de 90° es 0.22, por codos de 30° es un tercio de 0.22 es decir 0.073 teniendo como factor de pérdida por codos 0.293, por el ángulo entre caras de la campana se tiene un factor de pérdida de campana de 0.2 y de acuerdo a American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, el factor de aceleración representa la presión necesaria para poder succionar el aire del medio externo siendo solo utilizado cuando se hallan pérdidas hidráulicas de ductos que tienen dentro de su desarrollo campanas de colección, debido a ello se les designa el valor de 1. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de 16.84 mmH<sub>2</sub>O (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.017 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf = \left( 0.017 \frac{5 \text{ m}}{0.245 \text{ m}} + 0.2 + 1 + +0.293 + 0 \right) * 16.84 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$hf = 30.965 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La pérdida hidráulica total del tramo 1→3 es 30.965 mmH<sub>2</sub>O.

- Tramo 2→3: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 2→3. La ecuación 6 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes valores: viscosidad dinámica del aire con un valor de 1,849.10<sup>-5</sup> Pa. s, densidad corregida del aire con un valor de 0.833

kg/m<sup>3</sup> (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de 19.92 m/s (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de 0.245 m (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{kg}{m^3} * 0.245m * 19.92 \frac{m}{s}}{1.849 * 10^{-5} * Pa.s} = 222737$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan los valores de: el número de Reynolds con un valor de 222737 (Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de 0.005 cm y el diámetro de diseño del ducto con un valor de 0.245 m (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right)^{\frac{1}{12}} \right)$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right)^{-1} \right) \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.017$$

La ecuación 8 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de: densidad corregida del aire con un valor de 0.833 kg/m<sup>3</sup> (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de 19.92 m/s (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{kg}{m^3} * \left( \frac{19.92 \frac{m}{s}}{4.43} \right)^2 = 16.84 mmH2O$$

La ecuación 9 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evaluar, de ella se tiene que la longitud del ducto es 2 m, hay un codo de 90°, un codo de 30°, una unión lateral a la troncal y la campana tiene un ángulo entre caras de 64°. Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos de 90° es 0.22, por codos de 30° es un tercio de 0.22 es decir 0.073 teniendo como factor de pérdida por codos 0.293, por la unión lateral se tiene un factor de pérdida de 0.18, por el ángulo entre caras de la campana se tiene un factor de pérdida de campana de 0.17 y de acuerdo a American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, el factor de aceleración representa la presión necesaria para poder succionar el fluido del medio externo siendo solo utilizado cuando se hallan pérdidas hidráulicas de ductos que tienen dentro de su geometría campanas de colección de polvo y debido a ello se les designa el valor de 1. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de 16.84 mmH<sub>2</sub>O (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.017 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf = \left( 0.017 \frac{5 \text{ m}}{0.245 \text{ m}} + 0.17 + 1 + 0.293 + 0.18 \right) * 16.84 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$hf = 30 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La pérdida hidráulica total del tramo 2→3 es 30mmH<sub>2</sub>O.

Comparando las pérdidas hidráulicas del tramo 1→3, 30.89 mmH<sub>2</sub>O, con las pérdidas hidráulicas del tramo 2→3, 30 mmH<sub>2</sub>O, se tiene que la pérdida de hidráulica de mayor valor es 30.89 mmH<sub>2</sub>O que será denominado acumulado A.

- b. Paso 2: Se realizará una comparación entre las pérdidas hidráulicas del tramo 4→6 con respecto a las del tramo 5→6, en la tabla 5 se muestra la información referida a los elementos que componen el tramo 4→6 y el tramo 5→6.

Tabla 5. Geometría de ductos de los tramos 4→6 y 5→6.

Item	Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro diseño (mm)	Longitud (m)	N° codos 90°	N° codos 45°	N° expansiones	N° uniones	Angulo de campana
1	4→6	0.87	240	6.5	2	1	0	1	18
2	5→6	0.87	240	4	1	0	0	0	18

Fuente: Propia

- Tramo 4→6: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 4→6. La ecuación 6 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes datos: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,849 \cdot 10^{-5}$  Pa.s, densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.23 \text{ m/s}$  (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.24 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.24\text{m} * 19.23 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \text{Pa.s}} = 210669$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de 210669 (Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de  $0.005 \text{ cm}$  y el diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.24 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right)^{\frac{1}{12}} \right)$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right)^{-1} \right) \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.017$$

La ecuación 8 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de densidad corregida del aire con un valor de 0.833 kg/m<sup>3</sup> y velocidad de diseño del ducto con un valor de 19.23 m/s (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{kg}{m^3} * \left( \frac{19.23 \frac{m}{s}}{4.43} \right)^2 = 15.69 mmH2O$$

La ecuación 9 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evaluar, de ella se tiene que la longitud del ducto es 6.5 m, hay dos codos de 90°, un codo de 45°, una unión lateral a la troncal y la campana tiene un ángulo entre caras de 18°. Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos de 90° es 0.22, por codos de 45° es la mitad de 0.22 es decir 0.11, teniendo como factor de pérdida por codos 0.33, por la unión lateral se tiene un factor de pérdida de 0.18, por el ángulo entre caras de la campana se tiene un factor de pérdida de campana de 0.22 y de acuerdo a American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of

Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, el factor de aceleración representa la presión necesaria para poder succionar el fluido del medio externo siendo solo utilizado cuando se hallan pérdidas hidráulicas de ductos que tienen dentro de su geometría campanas de colección de polvo y debido a ello se les designa el valor de 1. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de 15.69 mmH<sub>2</sub>O (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.017 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf = \left( 0.017 \frac{6.5 \text{ m}}{0.24 \text{ m}} + 0.22 + 1 + +0.55 + 0.18 \right) * 15.69 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$hf = 37.89 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La pérdida hidráulica total del tramo 4→6 es 37.89 mmH<sub>2</sub>O.

- Tramo 5→6: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 5→6. La ecuación 6 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes datos: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,849 \cdot 10^{-5}$  Pa.s, densidad corregida del aire con un valor de 0.833 kg/m<sup>3</sup> (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de 19.23 m/s (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de 0.24 m (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.24\text{m} * 19.23 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \text{Pa.s}} = 210669$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de 210669

(Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de 0.005 cm y el diámetro de diseño del ducto con un valor de 0.24 m (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right)^{\frac{1}{12}} \right)$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right)^{-1} \right) \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.017$$

La ecuación 8 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de densidad corregida del aire con un valor de 0.833 kg/m<sup>3</sup> (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de 19.23 m/s (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{kg}{m^3} * \left( \frac{19.23 \frac{m}{s}}{4.43} \right)^2 = 15.69 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La ecuación 09 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evaluar, de ella se tiene que la longitud del ducto es 4 m, hay un codo de 90° y la campana tiene un ángulo entre caras de 18°. Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos es 0.22, por el ángulo entre caras de la campana se tiene un factor de pérdida de campana de 0.22 y de acuerdo a American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition

of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, el factor de aceleración representa la presión necesaria para poder succionar el fluido del medio externo siendo solo utilizado cuando se hallan pérdidas hidráulicas de ductos que tienen dentro de su geometría campanas de colección de polvo y debido a ello se les designa el valor de 1. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de 15.69 mmH<sub>2</sub>O (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.017 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf = \left( 0.017 \frac{4 \text{ m}}{0.24 \text{ m}} + 0.22 + 1 + +0.22 + 0 \right) * 15.69 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$hf = 27.074 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La pérdida hidráulica total del tramo 5→6 es 27.07 mmH<sub>2</sub>O.

Comparando las pérdidas hidráulicas del tramo 4→6, 37.88 mmH<sub>2</sub>O, con las pérdidas hidráulicas del tramo 5→6, 27.07 mmH<sub>2</sub>O, se tiene que la pérdida de hidráulica de mayor valor es 37.88 mmH<sub>2</sub>O que será denominado acumulado B.

- c. Paso 3: Se realizará una comparación entre las pérdidas hidráulicas resultantes de la suma del acumulado B con el tramo 6→8 con respecto a las del tramo 7→8, en la tabla 6 se muestra la información referida a los elementos que componen el tramo B+6→8 y el tramo 7→8.

Tabla 6. Geometría de ductos de los tramos B+6→8 y 7→8.

Item	Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro diseño (mm)	Longitud (m)	Nº codos 90°	Nº codos 45°	Nº expansiones	Nº uniones	Angulo de campana
1	B+6→8	1.74	340	10	2	0	1	1	-

2	7→8	2.16	375	2	1	0	0	0	66
---	-----	------	-----	---	---	---	---	---	----

Fuente: Propia

- Suma del acumulado B con el tramo 6→8: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 6→8. La ecuación 6 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes datos: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,849 \cdot 10^{-5}$  Pa.s, densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.16 \text{ m/s}$  (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.34 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.34\text{m} * 19.16 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \text{Pa.s}} = 297415$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de 297415 (Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de  $0.005 \text{ cm}$  y el diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.34 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right)^{\frac{1}{12}} \right)$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right)^{-1} \right) \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.016$$

La ecuación 8 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.16 \text{ m/s}$  (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left( \frac{19.16 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4.43} \right)^2 = 15.59 \text{ mmH}_2\text{O}$$

El ducto cuenta con un ensanchamiento, la ecuación 10 se usa para hallar las pérdidas hidráulicas por ensanchamiento. En ella se utiliza el factor R y la presión dinámica con un valor de  $15.59 \text{ mmH}_2\text{O}$  (Ecuación 8). El factor R se obtiene de la figura 22, donde se usan la relación entre diámetro menor y longitud de ensanchamiento con un valor de 2 y la relación entre diámetro menor y diámetro mayor con un valor de 1.42, de ello se obtiene que el factor R es 0.52.

$$-\Delta hf = 0.52 * 15.59 \text{ mmH}_2\text{O} = -8.11 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La ecuación 9 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evalúa, de ella se tiene que la longitud del ducto es  $10 \text{ m}$ , hay dos codos de  $90^\circ$  y hay una unión lateral hacia la troncal. Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos es 0.44, por la unión lateral se tiene un factor de pérdida de 0.18. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de  $15.59 \text{ mmH}_2\text{O}$  (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.016 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf1 = \left( 0.016 \frac{10 \text{ m}}{0.34 \text{ m}} + 0 + 0 + +0.44 + 0.18 \right) * 15.59 \text{ mmH2O}$$

$$hf1 = 16.95 \text{ mmH2O}$$

Las pérdidas hidráulicas del acumulado B más el tramo 6→8, se obtienen sumando las pérdidas hidráulicas de la ecuación 09 (16.95 mmH2O), el acumulado B (37.88 mmH2O) y las pérdidas hidráulicas del ensanchamiento (-8.11 mmH2O).

$$hf = 46.72 \text{ mmH2O}$$

El valor de las pérdidas hidráulicas del acumulado B más el tramo 6→8 es 46.72 mmH2O.

- Tramo 7→8: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 7→8. La ecuación 06 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes datos: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,849 \cdot 10^{-5}$  Pa.s, densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.56 \text{ m/s}$  (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.375 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.375 \text{ m} * 19.56 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \text{Pa.s}} = 334745$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de 334745 (Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de 0.005 cm y el diámetro de diseño del ducto con un valor de 0.375 m (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right) \right)^{\frac{1}{12}}$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right) \right)^{-1} \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.016$$

La ecuación 8 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.56 \text{ m/s}$  (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left( \frac{19.56 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4.43} \right)^2 = 16.24 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La ecuación 09 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evaluar, de ella se tiene que la longitud del ducto es  $2 \text{ m}$ , hay un codo de  $90^\circ$  y la campana tiene un ángulo entre caras de  $66^\circ$ . Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos es  $0.22$ , por el ángulo entre caras de la campana se tiene un factor de pérdida de campana de  $0.16$  y de acuerdo a American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, el factor de aceleración representa la presión necesaria para poder succionar el fluido del medio

externo siendo solo utilizado cuando se hallan pérdidas hidráulicas de ductos que tienen dentro de su geometría campanas de colección de polvo y debido a ello se les designa el valor de 1. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de 16.24 mmH<sub>2</sub>O (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.016 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf = \left( 0.016 \frac{2 \text{ m}}{0.375 \text{ m}} + 0.16 + 1 + +0.22 + 0 \right) * 16.24 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$hf = 23.75 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La pérdida hidráulica total del tramo 7→8 es 23.75 mmH<sub>2</sub>O.

Comparando las pérdidas hidráulicas del tramo 7→8, 23.75 mmH<sub>2</sub>O, con las pérdidas hidráulicas de la suma del acumulado B con el tramo 6→8, 46.72 mmH<sub>2</sub>O, se tiene que la pérdida de hidráulica de mayor valor es 46.72 mmH<sub>2</sub>O que será denominado acumulado C.

- d. Paso 4: Se realizará una comparación entre las pérdidas hidráulicas resultantes de la suma del acumulado A con el tramo 3→9 con respecto a las pérdidas hidráulicas resultantes de la suma del acumulado C con el tramo 8→9, en la tabla 7 se muestra la información referida a los elementos que componen el tramo A+3→9 y el tramo C+8→9.

*Tabla 7. Geometría de ductos de los tramos A+3→9 y C+8→9.*

Item	Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro diseño (mm)	Longitud (m)	N° codos 90°	N° codos 45°	N° expansiones	N° uniones	Angulo de campana
1	A+3→9	1.878	350	40	4	1	1	0	-
2	C+8→9	3.9	510	10	1	1	1	1	-

Fuente: Propia

- Suma del acumulado A con el tramo 3→9: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 3→9. La ecuación 6 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes datos: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,849 \cdot 10^{-5}$  Pa.s, densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.52 \text{ m/s}$  (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.35 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.35\text{m} * 19.52 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \frac{\text{Pa}}{\text{s}}} = 311831$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de 311831 (Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de  $0.005 \text{ cm}$  y el diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.35 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right) \right)^{\frac{1}{12}}$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right) \right)^{-1} \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.016$$

La ecuación 8 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.52 \text{ m/s}$  (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left( \frac{19.52 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4.43} \right)^2 = 16.17 \text{ mmH}_2\text{O}$$

El ducto cuenta con un ensanchamiento, la ecuación 10 se usa para hallar las pérdidas hidráulicas por ensanchamiento. En ella se utiliza el factor R (Figura 19) y la presión dinámica con un valor de  $16.17 \text{ mmH}_2\text{O}$  (Ecuación 8). El factor R se obtiene de la figura 22, donde se usan la relación entre diámetro menor y longitud de ensanchamiento con un valor de 2 y la relación entre diámetro menor y diámetro mayor con un valor de 1.43, de ello se obtiene que el factor R es 0.52.

$$-\Delta hf = 0.52 * 16.17 \text{ mmH}_2\text{O} = -8.41 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La ecuación 9 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evaluar, se tiene que la longitud del ducto es  $40 \text{ m}$ , hay cuatro codos de  $90^\circ$  y un codo de  $45^\circ$ . Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos es 0.99. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de  $16.17 \text{ mmH}_2\text{O}$  (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.016 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf1 = \left( 0.016 \frac{40 \text{ m}}{0.35 \text{ m}} + 0 + 0 + +0.99 + 0 \right) * 16.17 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$hf1 = 48.05 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Las pérdidas hidráulicas del acumulado A más el tramo 3→9, se obtienen sumando las pérdidas hidráulicas de la ecuación 9 (48.05 mmH<sub>2</sub>O), el acumulado B (30.89 mmH<sub>2</sub>O) y las pérdidas hidráulicas del ensanchamiento (-8.41 mmH<sub>2</sub>O).

$$hf = 70.53 \text{ mmH}_2\text{O}$$

El valor de las pérdidas hidráulicas del acumulado A más el tramo 3→9 es 70.53 mmH<sub>2</sub>O.

- Suma del acumulado C con el tramo 8→9: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 8→9. La ecuación 06 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes datos: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,849 \cdot 10^{-5}$  Pa.s, densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.09 \text{ m/s}$  (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.51 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.51\text{m} * 19.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \text{Pa.s}} = 444413$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de 444413 (Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de  $0.005 \text{ cm}$  y el diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.51 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right) \right)^{\frac{1}{12}}$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right)^{-1} \right) \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.015$$

La ecuación 8 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.09 \text{ m/s}$  (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left( \frac{19.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4.43} \right)^2 = 15.47 \text{ mmH}_2\text{O}$$

El ducto cuenta con un ensanchamiento, la ecuación 10 se usa para hallar las pérdidas hidráulicas por ensanchamiento. En ella se utiliza el factor R y la presión dinámica con un valor de  $15.47 \text{ mmH}_2\text{O}$  (Ecuación 8). El factor R se obtiene de la figura 22, donde se usan la relación entre diámetro menor y longitud de ensanchamiento con un valor de 2 y la relación entre diámetro menor y diámetro mayor con un valor de 1.5, de ello se obtiene que el factor R es 0.52.

$$-\Delta h_f = 0.52 * 15.47 \text{ mmH}_2\text{O} = -8.41 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La ecuación 09 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evaluar, de ella se tiene que la longitud del ducto es  $10 \text{ m}$ , hay un codo de  $90^\circ$ , un codo de  $45^\circ$  y hay una unión lateral hacia la troncal. Esta información se traduce en

que el factor de pérdida por codos es 0.33, y el factor de pérdida por unión lateral es 0.18. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de 15.47 mmH<sub>2</sub>O (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.015 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf1 = \left( 0.015 \frac{10 m}{0.51 m} + 0 + 0 + +0.33 + 0.18 \right) * 15.47 mmH2O$$

$$hf1 = 12.34 mmH2O$$

Las pérdidas hidráulicas del acumulado C más el tramo 8→9, se obtienen sumando las pérdidas hidráulicas de la ecuación 9 (12.34 mmH<sub>2</sub>O), el acumulado C (46.72 mmH<sub>2</sub>O) y las pérdidas hidráulicas del ensanchamiento (-8.05 mmH<sub>2</sub>O).

$$hf = 51.01 mmH2O$$

El valor de las pérdidas hidráulicas del acumulado C más el tramo 8→9 es 51.01 mmH<sub>2</sub>O. Comparando las pérdidas hidráulicas del tramo C+8→9, 51.01 mmH<sub>2</sub>O, con las pérdidas hidráulicas del tramo A+3→9, 70.53 mmH<sub>2</sub>O, se tiene que la pérdida hidráulica de mayor valor es 70.53 mmH<sub>2</sub>O que será denominado acumulado D.

- e. Paso 5: Se realizará una comparación entre las pérdidas hidráulicas del tramo 10→11 con respecto a las pérdidas hidráulicas del tramo 10→12, en la tabla 8 se muestra la información referida a los elementos que componen el tramo 10→11 y el tramo 10→12.

Tabla 8. Geometría de ductos de los tramos 10→11 y 10→12.

Ítem	Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro diseño (mm)	Longitud (m)	Nº codos 90°	Nº codos 45°	Nº expansiones	Nº uniones	Angulo de campana
1	10→11	2.889	450	1	1	0	0	0	-
2	10→12	2.889	450	3	1	0	0	1	-

Fuente: Propia

- Tramo 10→11: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 10→11. La ecuación 6 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes datos: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,849 \cdot 10^{-5}$  Pa.s, densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de  $18.17 \text{ m/s}$  (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.45 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.45\text{m} * 18.17 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \text{Pa. s}} = 373102$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de 373102 (Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de  $0.005 \text{ cm}$  y el diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.45 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right) \right)^{\frac{1}{12}}$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right)^{-1} \right) \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.015$$

La ecuación 08 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de  $18.17 \text{ m/s}$  (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left( \frac{18.17 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4.43} \right)^2 = 14.01 \text{ mmH}_2\text{O}$$

El ducto cuenta con una reducción, la ecuación 10 se usa para hallar las pérdidas hidráulicas por reducción. En ella se utiliza el factor R (Figura 34) y la presión dinámica con un valor de  $14.01 \text{ mmH}_2\text{O}$  (Ecuación 8). El factor R se obtiene de la figura 34, donde se usan la relación entre diámetro menor y longitud de ensanchamiento con un valor de 2 y la relación entre diámetro menor y diámetro mayor con un valor de 1.39, de ello se obtiene que el factor R es 0.52.

$$\Delta hf = 0.52 * 14.01 \text{ mmH}_2\text{O} = 7.28 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La ecuación 9 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evaluar, de ella se tiene que la longitud del ducto es  $1 \text{ m}$  y hay un codo de  $90^\circ$ . Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos es 0.22. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de  $14.01 \text{ mmH}_2\text{O}$

(Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.015 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf1 = \left( 0.015 \frac{1 \text{ m}}{0.45 \text{ m}} + 0 + 0 + +0.22 + 0 \right) * 14.01 \text{ mmH2O}$$

$$hf1 = 5.8 \text{ mmH2O}$$

Las pérdidas hidráulicas del tramo 10→11, se obtienen sumando las pérdidas hidráulicas de la ecuación 09 (5.8 mmH2O) y las pérdidas hidráulicas de la reducción (7.28 mmH2O).

$$hf = 13.08 \text{ mmH2O}$$

El valor de las pérdidas hidráulicas del tramo 10→11 es 13.08 mmH2O.

- Tramo 10→12: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 10→12. La ecuación 06 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes datos: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,849 \cdot 10^{-5}$  Pa.s; densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de 18.17 m/s (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de 0.45 m (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.45\text{m} * 18.17 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \text{Pa. s}} = 373102$$

La ecuación 7 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de 373102

(Ecuación 6), la rugosidad absoluta con un valor de 0.005 cm y el diámetro de diseño del ducto con un valor de 0.45 m (Tabla 1).

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right)^{\frac{1}{12}} \right)$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right)^{-1} \right) \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.015$$

La ecuación 8 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de densidad corregida del aire con un valor de 0.833 kg/m<sup>3</sup> (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de 18.17 m/s (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{kg}{m^3} * \left( \frac{18.17 \frac{m}{s}}{4.43} \right)^2 = 14.01 \text{ mmH}_2\text{O}$$

El ducto cuenta con una reducción, la ecuación 10 se usa para hallar las pérdidas hidráulicas por reducción. En ella se utiliza el factor R (Figura 34) y la presión dinámica con un valor de 14.01 mmH<sub>2</sub>O (Ecuación 8). El factor R se obtiene de la figura 34, donde se usan la relación entre diámetro menor y longitud de ensanchamiento con un valor de 2 y la relación entre diámetro menor y diámetro mayor con un valor de 1.39, de ello se obtiene que el factor R es 0.52.

$$\Delta hf = 0.52 * 16.17 \text{ mmH}_2\text{O} = 7.28 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La ecuación 9 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto, de ella se tiene que la longitud del ducto es 3 m, hay un codo de 90°, y hay una unión lateral hacia la troncal. Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos es 0.22, y el factor de pérdida por unión es 0.18. Usando los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de 14.01 mmH<sub>2</sub>O (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.015 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf1 = \left( 0.015 \frac{3 \text{ m}}{0.45 \text{ m}} + 0 + 0 + +0.22 + 0.18 \right) * 14.01 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$hf1 = 9.25 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Las pérdidas hidráulicas del tramo 10→12, se obtienen sumando las pérdidas hidráulicas de la ecuación 09 (9.25 mmH<sub>2</sub>O) y las pérdidas hidráulicas de la reducción (7.28 mmH<sub>2</sub>O).

$$hf = 16.54 \text{ mmH}_2\text{O}$$

El valor de las pérdidas hidráulicas del tramo 10→12 es 16.54 mmH<sub>2</sub>O. Comparando las pérdidas hidráulicas del tramo 10→12, 16.54 mmH<sub>2</sub>O, con las pérdidas hidráulicas del tramo 10→11, 13.08 mmH<sub>2</sub>O, se tiene que la pérdida hidráulica de mayor valor es 30.54 mmH<sub>2</sub>O que será denominado acumulado E.

- f. Paso 6: Se hallarán las pérdidas hidráulicas del tramo 9→10 y a esta se le sumarán las pérdidas hidráulicas de los acumulados D y E.

Tabla 9. Geometría de ductos de los tramos 9→10.

Item	Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro diseño (mm)	Longitud (m)	N° codos 90°	N° codos 45°	N° expansiones	N° uniones	Angulo de campana
1	9→10	5.778	625	26	4	0	1	0	-

Fuente: Propia

- Tramo 9→10: Se resuelve las ecuaciones 6, 7, 8 y 9 en este orden para obtener las pérdidas hidráulicas del tramo 9→10. La ecuación 6 da como resultado el número de Reynolds, en ella se usan los siguientes datos: viscosidad dinámica del aire con un valor de  $1,849 \cdot 10^{-5}$  Pa.s; densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5), velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.09 \text{ m/s}$  (Tabla 1) y diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.625 \text{ m}$  (Tabla 1).

$$Re = \frac{0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.45\text{m} * 19.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.849 * 10^{-5} * \frac{\text{Pa}}{\text{s}}} = 373102$$

La ecuación 07 da como resultado el factor de fricción para las pérdidas hidráulicas, en ella se usan el número de Reynolds con un valor de  $444413$  (Ecuación 06), la rugosidad absoluta con un valor de  $0.005 \text{ cm}$  y el diámetro de diseño del ducto con un valor de  $0.625 \text{ m}$ .

$$f := 8 \cdot \left( \left( \frac{8}{Re} \right)^{12} + (A1 + B1) \left( \frac{-3}{2} \right) \right)^{\frac{1}{12}}$$

$$A1 := \left( 2.457 \cdot \ln \left( \left( \left( \frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \left( \frac{k}{3.7 \cdot D} \right)^{-1} \right) \right) \right)^{16}$$

$$B1 := \left( \frac{37530}{Re} \right)^{16}$$

$$f = 0.015$$

La ecuación 08 da como resultado la presión dinámica, en ella se usan los valores de densidad corregida del aire con un valor de  $0.833 \text{ kg/m}^3$  (Ecuación 5) y velocidad de diseño del ducto con un valor de  $19.09 \text{ m/s}$  (Tabla 1).

$$PD = 0.833 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left( \frac{19.09 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4.43} \right)^2 = 15.47 \text{ mmH}_2\text{O}$$

El ducto cuenta con un ensanchamiento, la ecuación 10 se usa para hallar las pérdidas hidráulicas por ensanchamiento. En ella se utiliza el factor R (Figura 34) y la presión dinámica con un valor de  $15.47 \text{ mmH}_2\text{O}$  (Ecuación 8). El factor R se obtiene de la figura 34, donde se usan la relación entre diámetro menor y longitud de ensanchamiento con un valor de 2 y la relación entre diámetro menor y diámetro mayor con un valor de 1.22, de ello se obtiene que el factor R es 0.42.

$$-\Delta hf = 0.42 * 15.47 \text{ mmH}_2\text{O} = -6.49 \text{ mmH}_2\text{O}$$

La ecuación 9 da como resultado las pérdidas hidráulicas del ducto, para resolverla se requiere la información geométrica del ducto a evaluar, de ella se tiene que la longitud del ducto es  $26 \text{ m}$ , hay cuatro codos de  $90^\circ$ . Esta información se traduce en que el factor de pérdida por codos es 0.88. Usando

los valores listados líneas arriba, la presión dinámica con un valor de 15.47 mmH<sub>2</sub>O (Ecuación 8) y el factor de fricción con un valor de 0.015 (Ecuación 7); se despeja la ecuación 9.

$$hf_1 = \left( 0.015 \frac{26 \text{ m}}{0.625 \text{ m}} + 0 + 0 + +0.88 + 0 \right) * 15.47 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$hf_1 = 22.08 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Las pérdidas hidráulicas del tramo 9→10, se obtienen sumando las pérdidas hidráulicas de la ecuación 09 (22.08 mmH<sub>2</sub>O) y las pérdidas hidráulicas de la reducción (-6.32 mmH<sub>2</sub>O).

$$hf = 15.76 \text{ mmH}_2\text{O}$$

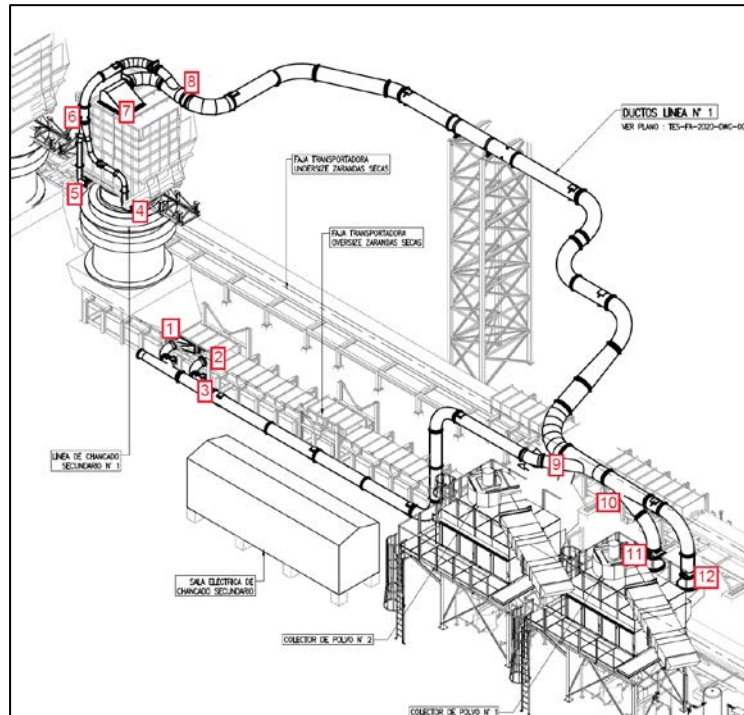
El valor de las pérdidas hidráulicas del tramo 9→10 es 15.76 mmH<sub>2</sub>O.

A las pérdidas hidráulicas del tramo 9→10, 15.76 mmH<sub>2</sub>O, se le sumarán las pérdidas del acumulado D, 70.53 mmH<sub>2</sub>O y las del acumulado E, 16,54 mmH<sub>2</sub>O, dando como pérdidas totales del sistema de colección de polvo N° 02 el valor de 102.83 mmH<sub>2</sub>O.

#### **4.3.2. Pérdidas Hidráulicas Sistema de Colección de Polvo N° 1.**

El sistema de colección de polvo N° 1 tiene las mismas características del sistema de colección de polvo N° 2, contando ambos con cinco puntos de colección de polvo y un dimensionamiento de caudal colectado de la misma cantidad. El arreglo de ductos del sistema de colección de polvo N° 1 se muestra en la figura 37, en ella también se muestra la designación de los nodos de dicho sistema.

Figura 37. Designación de nodos del sistema de colección de polvo N° 1.



Fuente: Propia

Los parámetros geométricos de los ductos del sistema de colección N° 1 están listados en la tabla 10, en ella se aprecian el diámetro de diseño, longitud, número de codos (90°, 45° y 30°), uniones laterales y ensanchamientos.

Tabla 10. Geometría de ductos del sistema de colección N° 1.

Item	Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro diseño (mm)	Longitud (m)	N° codos 90°	N° codos 45°	N° codos 30°	N° expansiones	N° uniones	Angulo de campana
1	1→3	0.939	245	5	1	0	1	0	0	78
2	2→3	0.939	245	2	1	0	1	0	1	64
3	A+3→9	1.878	350	23	2	1	1	1	1	-
4	4→6	0.87	240	6.5	2	1	0	0	1	18
5	5→6	0.87	240	4	1	0	0	0	0	18
6	B+6→8	1.74	340	10	2	0	0	1	1	-
7	7→8	2.16	375	2	1	0	0	0	0	66
8	C+8→9	3.9	510	28	5	2	0	1	0	-
9	D+9→10	5.778	625	2	0	0	0	1	0	-
10	10→11	2.889	450	2	1	0	0	1*	0	-
11	10→12	2.889	450	1	0	1	0	1*	1	-

\*En el caso del ítem 10 y 11, las expansiones son reducciones ya que se tiene un diámetro mayor al comienzo del tramo y luego pasan a ser diámetros menores. Fuente: Propia

El método de resolución corresponde al descrito en el apartado 4.4.1 correspondiente a las pérdidas hidráulicas del sistema de colección de polvo N° 2, los resultados obtenidos mediante la resolución de las ecuaciones 6, 7, 8, 9 y 10 se muestran en la tabla 11. Los ítems de la tabla 11 muestran los resultados siguiendo esta relación:

- Paso 1: Ítem 1 y 2
- Paso 2: Ítem 4 y 5
- Paso 3: Ítem 6 y 7
- Paso 4: Ítem 3 y 8
- Paso 5: Ítem 10 y 11

*Tabla 11. Resultados de pérdidas hidráulicas de ductos del sistema de colección N° 1.*

Item	Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Velocidad de diseño(m/s)	Número de Reynolds	Presión dinámica (mmH <sub>2</sub> O)	Factor de fricción	Pérdidas hidráulicas (mmH <sub>2</sub> O)	Sumatoria de Pérdidas Hidráulicas (mmH <sub>2</sub> O)
1	1→3	0.939	19.92	222737	16.84	0.017	30.97	
2	2→3	0.939	19.92	222737	16.84	0.017	30	
3	A+3→9	1.878	19.52	311831	16.17	0.016	21.31	52.22
4	4→6	0.87	19.23	210669	15.69	0.017	37.87	
5	5→6	0.87	19.23	210669	15.69	0.017	27.07	
6	B+6→8	1.74	19.16	297415	15.59	0.016	16.95	46.72
7	7→8	2.16	19.56	334745	16.24	0.016	23.75	
8	C+8→9	3.9	19.09	444413	15.47	0.015	26.81	71.54
9	D+9→10	5.778	18.83	537267	15.06	0.014	-5.64	65.89
10	10→11	2.889	18.16	373102	14.01	0.015	11.31	
11	10→12	2.889	18.16	373102	14.01	0.015	11.82	
							Total	77.72

Fuente: Propia

Las pérdidas hidráulicas totales del sistema de colección N° 1 tienen el valor de 77.72 mmH<sub>2</sub>O, esto como resultado de sumar las pérdidas hidráulicas del ítem 9 con las del ítem 11.

#### 4.4. Cálculo de la relación de aire tela y selección del colector de polvo.

Para la selección del colector de polvo es necesario conocer la relación aire tela o velocidad de filtrado requerida para con esto determinar el área de filtrado y en función al área de filtrado con la que consta cada cartucho determinar la cantidad de cartuchos necesarios para que un colector de polvo tenga una disponibilidad alta y una mantenibilidad óptima respecto a los cartuchos de polvo. Hosokawa Mikropul Environmental System (1997), Cartridge Dust Collectors, boletín del producto, propone la siguiente ecuación para determinar la velocidad de filtrado.

$$V_F = 2.878 * A * B * T^{-0.2335} * L^{-0.06021} * (0.7471 + 0.0853 \ln D) \dots (Ec. 11)^6$$

En donde:

$V_F$ : Velocidad de filtrado, relación aire tela (ft/min)

$A$ : Factor de material

$B$ : Factor de aplicación

$T$ : Temperatura (°F)

$L$ : Carga de polvo de entrada (gr/ft<sup>3</sup>)

$D$ : Diámetro promedio en masa de la partícula (μm)

<sup>6</sup> La ecuación once proviene del libro ‘Cartridge Dust Collectors’ siendo la ecuación (1.11) ubicada en la página 1-23.

El factor de material y el factor de aplicación se obtienen de las figuras 38 y 39 respectivamente.

*Figura 38. Factor del material para resolución de ecuación 11.*

15	12	10	9.0	6.0
Mezcla para Pastel	Asbesto	Oxido de	Fertilizante de	Carbón activado
Polvo de cartón	Polvo para Pulido	Aspirina	fosfato de amonio	Carbón negro
Cacao	Material fibroso	Carbón negro	Pastel	(molecular)
Alimentos	y celulósico	(terminado)	Diatomáceas	Detergentes
Harina	Residuo del agitado	Cemento	Petroquímicos secos	Humos y otros
Grano	en fundiciones	Pigmentos	Tintas	productos
Polvo de piel	Yeso	de cerámica	Ceniza flotante	dispersados
Aserrín	Cal (hidratada)	Polvos de arcilla	Polvo metálico	directo de las
Tabaco	Perlita	y de ladrillo	Oxidos metálicos	reacciones
	Químicos del hule	Carbón	Pigmentos	Leche en polvo
	Sal	Fluorspar	metálicos y sintéticos	Jabón
	Arena	Goma natural	Plásticos	
	Polvo del soplado	Caolina	Resinas	
	de arena	Piedra caliza	Silicatsps	
	Carbonato de sodio	Percloratos	Almidón Estearatos	
		Polvo de roca, y	Acido Tánico	
		de minerales		
		Sílice		
		Azúcar		
		Acido Sórbito		

Fuente: Cartridge Dust Collectors, Hosokawa Mikropul Environmental System

*Figura 39. Factor de aplicación para resolución de ecuación 11.*

Ventilación de Emisiones Molestas (insidiosas) Alivio de los puntos de transferencia, transportadores, estaciones de embalaje, etc.	1.0
Recolección de Producto Transporte-ventilación del aire, molinos, secadoras relámpago, clasificadores, etc.	0.9
Filtración del Gas de Proceso Secadoras por aspersion, hornos, reactores, etc.	0.8

Fuente: Cartridge Dust Collectors, Hosokawa Mikropul Environmental System

Para la aplicación del sistema el factor de material a considerar es 10 dado que el contenido de polvo resultante del proceso de conminución tiene altos contenidos de sílice. El factor de aplicación es 1, debido al grado de peligrosidad que tiene el respirar

sílice. La temperatura de operación del sistema fue definida como 25 °C es decir 77 °F. De acuerdo a las pruebas realizadas del medio se tiene que la cantidad de polvo existente es de 140000 μgr/m<sup>3</sup> que viene a ser 0.00396 gr/ft<sup>3</sup>. Para determinar el tamaño a utilizar en la formula se usará la información de la tabla 12, donde se muestra la granulometría del polvo colectado.

Tabla 12. Granulometría del polvo colectado.

Mesh	Abertura	Peso	%			P80 (micras)
			Individual.	Restante	Acumulado.	
# 50	300	0.00	0.0	0.0	100.0	
# 70	212	0.12	0.0	0.0	100.0	
# 100	150	0.41	0.1	0.2	99.8	
# 140	106	2.01	0.7	0.8	99.2	
# 200	75	7.20	2.4	3.2	96.8	
# 270	53	17.03	5.7	8.9	91.1	
#325	45	11.58	3.9	12.8	87.2	
# 400	38	13.48	4.5	17.3	82.7	<b>35</b>
# 635	20	44.99	15.0	32.3	67.7	
# -636		203.28	67.7	100.0	0.0	
<b>Total</b>		300.10	100.0			

Fuente: Propia

De la tabla 12 se tiene que el p80 es 35 micras, este será el parámetro utilizado como tamaño de partícula promedio. Utilizando todos estos datos en la ecuación 11 se tiene:

$$V_F = 2.878 * 10 * 1 * 77^{-0.2335} * 0.00396^{-0.06021} * (0.7471 + 0.0853 * \ln(35))$$

$$V_F = 15.296 \frac{ft}{min}$$

Concluyendo se tiene una relación aire tela o velocidad de filtrado de 16.66 ft/min o 0.085 m/s. Con este dato y con el caudal total a ser colectado por el colector de polvo

se obtendrá el área de filtrado necesario para seleccionar el sistema de colección de polvo.

$$A_F = \frac{Q}{V_F} \dots (Ec. 12)$$

En donde:

$A_F$ : Área de filtrado (m<sup>2</sup>)

$V_F$ : Velocidad de filtrado, relación aire tela (m/s)

$Q$ : Caudal colectado (m<sup>3</sup>/s)

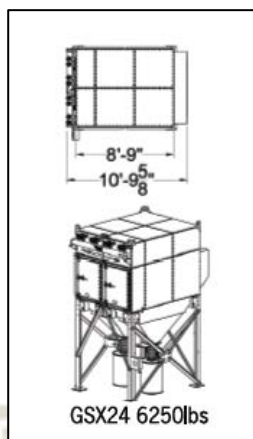
Reemplazando los valores en la ecuación 12, tenemos:

$$A_F = \frac{5.78 \frac{m^3}{s}}{0.078 \frac{m}{s}} = 75 m^2$$

CAMFILL, Product Catalogue, 2015, enlista las características de los filtros que utilizan en los colectores de polvo. El filtro a utilizar es el modelo DuraPleat DPJ 145, con código de serie DPAJ-ML-0145/0025/1000-03-P0-B, el cual tiene un área de filtrado por cada cartucho de 3.5 m<sup>2</sup>. Dividiendo el área total de filtrado entre el área que tiene cada uno de los cartuchos tenemos que se usaran 22 cartuchos en el colector de polvo para el sistema de colección de polvo N° 1 y N° 2.

De acuerdo a lo especificado por CAMFILL el colector que cuenta con una cantidad de superior a 22 cartuchos para cumplir con los requerimientos del sistema es un GSX24, información que se aprecia mas en el anexo 2.

Figura 40. Gráfico referencial de colector de polvo GSX24.



Fuente: CAMFIL Latinoamérica LTDA

#### 4.5. Cálculo de la potencia del ventilador.

Para la selección del ventilador es necesario conocer la potencia requerida del ventilador, para ello debemos obtener la presión total requerida por el ventilador, es decir la suma de las pérdidas hidráulicas ocasionadas por el sistema de colección de polvo y las pérdidas hidráulicas ocasionadas por el colector de polvo. En los subcapítulos 4.3.1 y 4.3.2 se determinaron las pérdidas hidráulicas de los sistemas de colección N°2 y N°1, de información recolectada del equipo se tiene que la pérdida de presión por el equipo es de 4 pulgadas de columna de agua (Figura 16).

Figura 41. Información filtros colector de polvo.

FILTER		
Total filter area	m2 ( sq. ft.)	906 (9,750)
Number of filters		30.00
Filter media		Hemi-Pleat Hi-Efficiency
Overall collection efficiency	99.99%	99.99%
Filter pressure drop	Pa (inch w.g.)	996 (4" w.g.)
Required filter treatment		
Max. air to cloth ratio	2:1	1.54
Interstitial (can) velocity	m/s (fpm)	None
Guaranteed filter life	hr	8760.00

Fuente: CAMFIL Latinoamérica LTDA

De la figura 41 se tiene que la caída de presión por el filtro es de 4 inH<sub>2</sub>O o 101.6 mmH<sub>2</sub>O, adicionalmente a esto se consideran 25.4 mmH<sub>2</sub>O para pérdidas adicionales consideradas para modificaciones necesarias al momento del montaje. Considerando las pérdidas hidráulicas de los sistemas de colección de polvo y sumando esto con las pérdidas hidráulicas adicionales y por el filtro se obtiene la presión estática necesaria para el ventilador, siendo para el sistema de colección N° 1 de 205.44 mmH<sub>2</sub>O (8.08 inH<sub>2</sub>O) y para el sistema de colección N° 2 de 229.83 mmH<sub>2</sub>O (9.04 inH<sub>2</sub>O).

Dado que el caudal colectado es el caudal que debería ser colectado a condiciones estándar se realizara una corrección a fin de tener el caudal para condiciones actuales. Se tiene un caudal total de colección de 5.78 m<sup>3</sup>/s que equivale a 12245 CFM, y dado que estos fueron determinados para condiciones estándar también son denominados 12245 SCFM, para poder tener la corrección de este valor a ACFM, (2020). Recuperado 15 de abril de 2020, ACFM TO SCFM CONVERSION website: <https://www.theleeco.com/engineering/lohm-laws-working-with-gases/acfm-to-scfm-conversion/>, propone la siguiente ecuación:

$$ACFM = SCFM * \frac{101.325}{P} * \frac{T}{288} \dots (Ec. 13)$$

En donde:

ACFM: Caudal a condiciones actuales (ft<sup>3</sup>/min)

SCFM: Caudal a condiciones estandar (ft<sup>3</sup>/min)

P: Presión a condiciones actuales (kPa)

T: Temperatura a condiciones actuales (K)

Para reemplazar los valores en la ecuación 13, tenemos que la presión atmosférica a condiciones actuales es 74 kPa y la temperatura es 298 K, reemplazando esto en la ecuación tenemos:

$$ACFM = 12245 * \frac{101.325}{74} * \frac{298}{288}$$

$$ACFM = 17349$$

American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana, propone la siguiente ecuación para determinar la potencia del ventilador.

$$Pot = \frac{ACFM * P}{6356 * \eta} \dots (Ec. 13)$$

En donde:

Pot: Potencia requerida para el motor (HP)

ACFM: Caudal a condiciones actuales (ft<sup>3</sup>/min)

P: Presión estática (inH<sub>2</sub>O)

η: Producto de eficiencia mecánica y eficiencia hidráulica (adimensional)

La eficiencia para estos sistemas para determinar la potencia requerida del motor se considera un valor de 0.6.

Utilizando los valores obtenidos en la ecuación 13 se tiene que la potencia requerida para el ventilador del sistema de colección N° 1 es:

$$Pot = \frac{17349 \frac{ft^3}{min} * 8.08 inH_2O}{6356 * 0.6}$$

$$Pot = 36.8 \text{ HP}$$

Utilizando los valores obtenidos en la ecuación 13 se tiene que la potencia requerida para el ventilador del sistema de colección N° 2 es:

$$Pot = \frac{17349 \frac{ft^3}{min} * 9.04 \text{ inH}_2\text{O}}{6356 * 0.6}$$

$$Pot = 41.2 \text{ HP}$$

La potencia comercial más próxima a los valores es 45 HP por lo que se utilizará un ventilador con una potencia eléctrica de 45 HP. The New York Blower Company, presenta el ventilador modelo 308 (Anexo 3), que cumple con los parámetros de diseño respecto a flujo de succión y presión de succión.

## CAPITULO V. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA

### 5.1. Introducción

El sistema de alimentación de agua es definido de acuerdo al requerimiento de los tanques mezcladores de agua. Para ello antes de diseñar el sistema se requiere que el flujo y presión de entrada al tanque mezclador de agua tengan el valor adecuado como para superar la velocidad de sedimentación de la mezcla entre el polvo y el agua. Por ello primero se calculará la velocidad límite del polvo antes de que se sedimente en el agua y se realizará una simulación computacional dinámica del fluido a fin de observar el comportamiento del fluido dentro del cajón y con esto obtener el parámetro de presión necesaria en el sistema para el diseño del sistema de bombeo.

### 5.2. Cálculo de la velocidad de sedimentación del polvo en el agua.

Wilson, Addie (2006), *Slurry Transport Using Centrifugal Pumps*. 3th Edition, New York: Springer; menciona que las partículas sólidas en el fluido no se sedimentarán mientras estas no tengan una velocidad por debajo de la velocidad de sedimentación de la partícula, para obtener dicho valor se utilizara el siguiente procedimiento.

1. Hallar la velocidad cortante de la partícula con respecto al fluido.
2. Hallar el número de Reynolds cortante.
3. Hallar la relación entre la velocidad de sedimentación de la partícula y la velocidad cortante.
4. Despejar la velocidad de sedimentación de la partícula.

Para poder realizar la parte 1 se utilizará la siguiente ecuación:

$$V_* = \sqrt{\frac{(S - 1) * g * d}{6}} \dots (Ec. 14)^7$$

En donde:

$V_*$ : Velocidad cortante de la partícula con el fluido (m/s)

S: Gravedad específica de la partícula (adimensional)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

d: Diámetro de partícula (m)

La densidad del material particulado es 1920 kg/m<sup>3</sup> es decir que la gravedad específica es 1.92, el diámetro de la partícula es 35 micras (Tabla 12) o 3.5x10<sup>-5</sup> m, despejando la ecuación se tiene:

$$V_* = \sqrt{\frac{(1.92 - 1) * 9.81 * 3.5 * 10^{-5}}{6}} = 0.0073 \frac{m}{s}$$

Para poder realizar la parte 2 se utilizará la siguiente ecuación:

$$Re_* = \frac{\rho_f * V_* * d}{\mu_f} \dots (Ec. 15)^8$$

En donde:

$Re_*$ : Reynolds cortante de la partícula con el fluido (adimensional)

$\rho_f$ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$V_*$ : Velocidad cortante de la partícula con el fluido (m/s)

d: Diámetro de partícula (m)

<sup>7</sup> La ecuación catorce proviene del libro ‘Slurry Transport Using Centrifugal Pumps’ siendo la ecuación (2.62) ubicada en la página 44.

<sup>8</sup> La ecuación quince proviene del libro ‘Slurry Transport Using Centrifugal Pumps’ siendo la ecuación (2.63) ubicada en la página 44.

$\mu_f$ : Viscosidad dinámica del fluido (Pa.s)

La densidad del fluido es  $1000 \text{ kg/m}^3$ , el diámetro de la partícula es 35 micras (Tabla 15) o  $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$  y la viscosidad dinámica del fluido es  $1,002 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$ , la correspondiente a agua a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , despejando la ecuación se tiene:

$$Re_* = \frac{1000 * 0.0073 * 3.5 * 10^{-5}}{1.002 * 10^{-3}} = 0.255$$

Para el paso 3, con el valor del Reynolds se seleccionará la siguiente ecuación, solo utilizable para condiciones en las que el Reynolds cortante sea inferior a 10.

$$\frac{V_{ts}}{V_*} = \frac{Re_*}{3 * (1 + 0.08 * Re_*^{1.2})} + \frac{2.8}{1 + 3 * 10^4 * Re_*^{-3.2}} \dots (Ec. 16)^9$$

En donde:

$V_{ts}$ : Velocidad de sedimentación de la partícula (adimensional)

$V_*$ : Velocidad cortante de la partícula con el fluido (m/s)

$Re_*$ : Reynolds cortante de la partícula con el fluido (adimensional)

Los parámetros para despejar la ecuación fueron determinados en los pasos 1 y 2, por lo que al despejar la ecuación 16 se tiene:

$$\frac{V_{ts}}{V_*} = \frac{0.255}{3 * (1 + 0.08 * 0.255^{1.2})} + \frac{2.8}{1 + 3 * 10^4 * 0.255^{-3.2}} = 0.085$$

Como paso final se despeja la velocidad de sedimentación, finalmente obteniendo:

<sup>9</sup> La ecuación dieciséis proviene del libro ‘Slurry Transport Using Centrifugal Pumps’ siendo la ecuación (2.64) ubicada en la página 44.

$$V_{ts} = 6.205 * 10^{-4} \frac{m}{s}$$

Cabe mencionar que el procedimiento listado es para partículas con forma esférica, debido al minúsculo tamaño de la partícula estudiada esta será considerada esférica, de otra manera se requerirían factores de modificación de volumen para adecuar el valor obtenido.

## **5.2. Análisis del comportamiento del agua dentro del tanque de mezcla.**

Dado que no se cuenta con información del requerimiento de presión de la alimentación de agua del tanque de mezcla. Para ello se desarrolla una simulación CFD (Computational Fluid Dynamics) y bajo esta perspectiva verificar que los vectores de velocidad del agua dentro del tanque de mezcla no llegaran a una velocidad inferior a la velocidad de sedimentación de partícula.

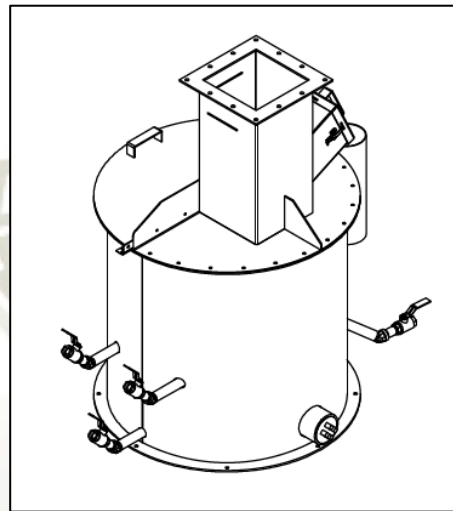
A continuación, se describirá la información especificada en el programa CFX de la plataforma ANSYS para poder desarrollar la simulación.

### **5.2.1. Geometría del tanque desarrollado en la simulación.**

La geometría del tanque de acuerdo a la ingeniería básica es la determinada en el plano TES-FS-2020-DWG-011. El tanque cuenta con cinco ingresos de agua y una salida, los ingresos de agua son tubería con un diámetro de 3/4 pulgada, estas ubicándose en la parte inferior del tanque de mezcla, donde una se ubica aproximadamente a 3 pulgadas del nivel del suelo, dos entradas se ubican a aproximadamente 9 pulgadas del nivel del suelo y las otras dos entradas a aproximadamente 19 pulgadas del nivel del suelo; la salida del tanque se ubica

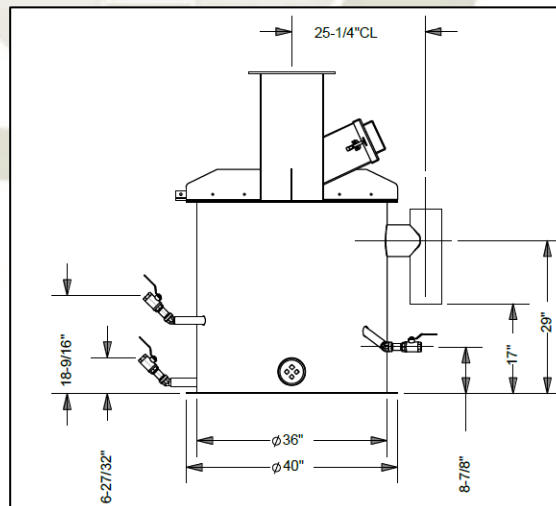
en la parte superior de este a aproximadamente 29 pulgadas del nivel del suelo y teniendo un diámetro de 6 pulgadas; dichas dimensiones se pueden apreciar en la vista lateral mostrada en la figura 42.

*Figura 42. Vista isométrica del tanque mezclador.*



Fuente: CAMFIL Latinoamérica LTDA

*Figura 43. Vista lateral del tanque mezclador.*

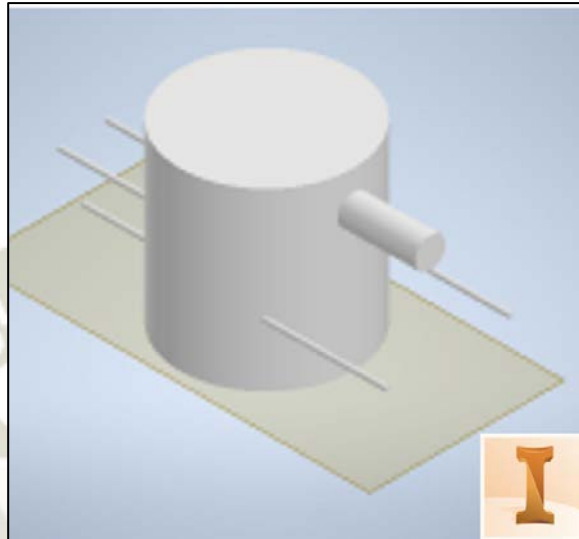


Fuente: CAMFIL Latinoamérica LTDA

Como se aprecia la geometría original del tanque muestra desarrollos que no son necesarios para la simulación CFD dado que no influirán en el desarrollo del

fluido dentro del tanque. Debido a ello se simplificó la geometría original a lo mostrado en la figura 44.

*Figura 44. Vista Isométrica del tanque mezclador simplificado.*



Fuente: Propia

Como se aprecia en la figura 44, la geometría no muestra esos pliegues metálicos propios del diseño del tanque y está simplificado a uno en la que se tienen las dimensiones propias del tanque y los ingresos y salidas de este. Se incrementaron las longitudes del tanque a fin de que el agua que ingrese al tanque pueda desarrollar el perfil de velocidades de acuerdo a un tipo de flujo turbulento y de esta manera tener el perfil de velocidad desarrollado antes del ingreso del agua al tanque. Una vez determinada la geometría simplificada del tanque se procede con el siguiente paso, desarrollo de mallado del tanque.

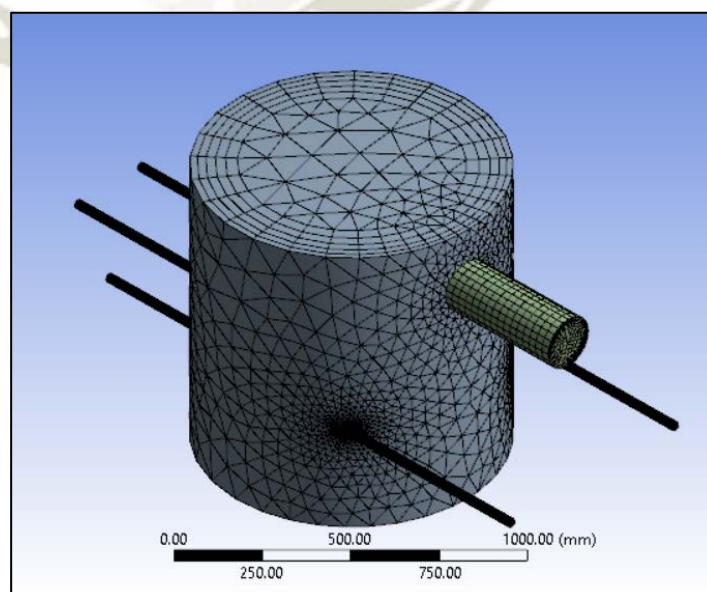
### **5.2.2. Mallado del tanque desarrollado en la simulación.**

Utilizando la geometría simplificada del tanque se procederá a utilizar la plataforma Meshing de ANSYS, en ella se tiene dos objetivos:

- Desarrollar el mallado de cada una de las partes sólidas del tanque simplificado.
- Crear “Name Selections” para utilizarlos en la definición de condiciones de borde.

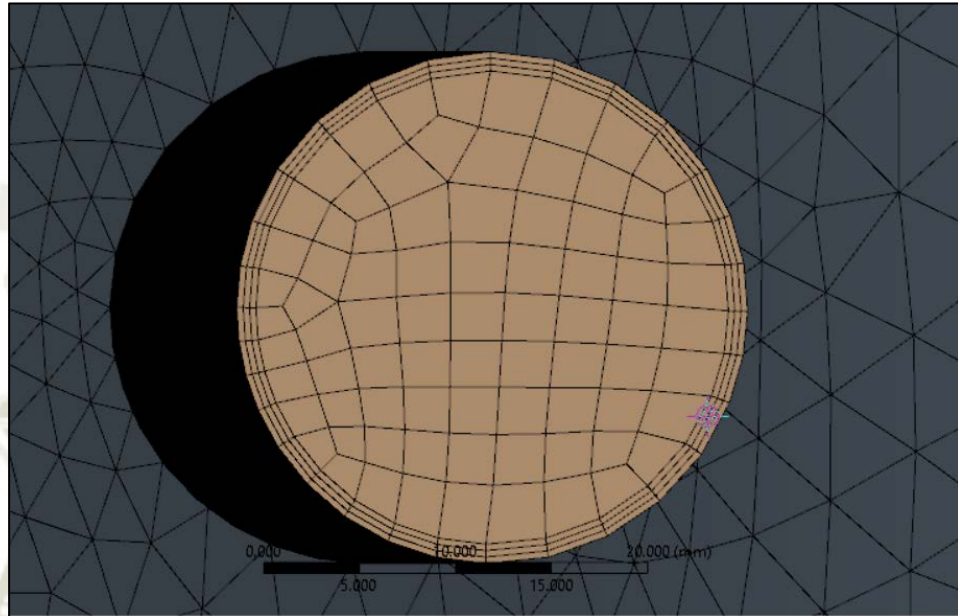
Para desarrollar el primer objetivo se dispuso a dividir el tanque simplificado en siete cuerpos sólidos, dichos cuerpos son las cinco entradas con 3/4 pulgadas de diámetro, la salida de 6 pulgadas de diámetro y el tanque de mezcla. Se dividió de esta manera para poder utilizar métodos de mallado en cada uno de los cuerpos sólidos, utilizando el método “Multizone” para generación de elementos hexaédricos y tetraédricos en cada una de los sólidos, esto para obtener la menor cantidad de elementos que formen la malla para finalmente utilizar un sub-método “Inflation” en cada uno de los sólidos con la finalidad de obtener una malla fina y que asemeje la geometría de la capa límite del agua en el tanque. Los resultados del método de mallado se aprecian en las figuras 45, 46 y 47.

*Figura 45. Vista Isométrica del tanque mezclador simplificado tras ser mallado.*



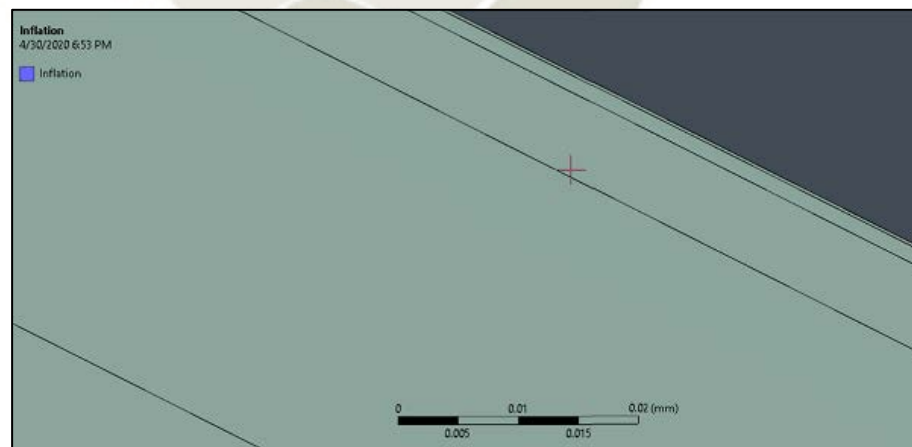
Fuente: Propia

*Figura 46. Mallado de la tubería de alimentación del tanque mezclador.*



Fuente: Propia

*Figura 47. Acercamiento visual al mallado en la tubería.*



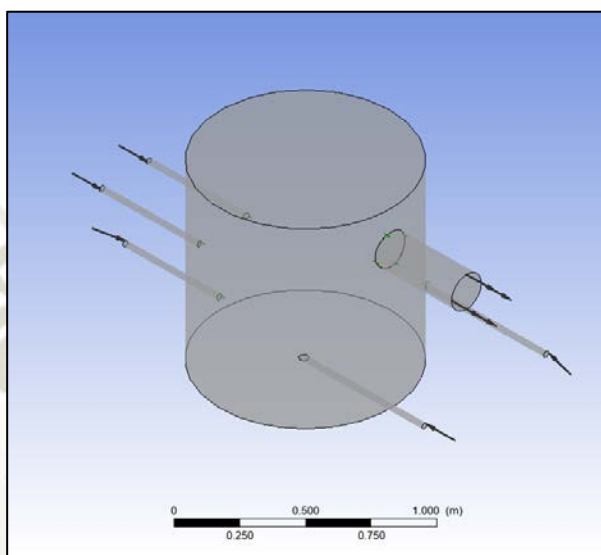
Fuente: Propia

### 5.2.3. Configuración de “Setup”.

En esta etapa se establecen las condiciones de frontera y la configuración a utilizar para la simulación.

Las condiciones de frontera a utilizar son de tres tipos, se utilizarán condiciones de frontera que reflejen el ingreso del fluido al tanque, condiciones de frontera que reflejen las condiciones de salida del fluido y condiciones de frontera que reflejen los límites del fluido con el medio externo, las llamadas condiciones tipo pared. Respecto a las condiciones de frontera tipo entrada bajo el diseño presentado por CAMFIL, se considera que para una correcta operación del tanque mezclador la presión de ingreso debe ser 60 psi, lo cual considerando que hace referencia a la presión piezométrica de entrada esta puede verse reflejada en una velocidad de entrada de 33 m/s, dato que es el que colocamos como entrada para la simulación en cada una de las entradas de 3/4 pulgadas respectivamente. Respecto a las condiciones de frontera tipo salida, se considera que la presión de salida al medio externo es la presión atmosférica siendo esta condición colocada en la tubería de salida de 6 pulgadas. Finalmente, las condiciones de frontera tipo pared son determinadas en las superficies externas del tanque y tuberías de ingreso y salida.

Figura 48. Condiciones de frontera designadas en el volumen de control.



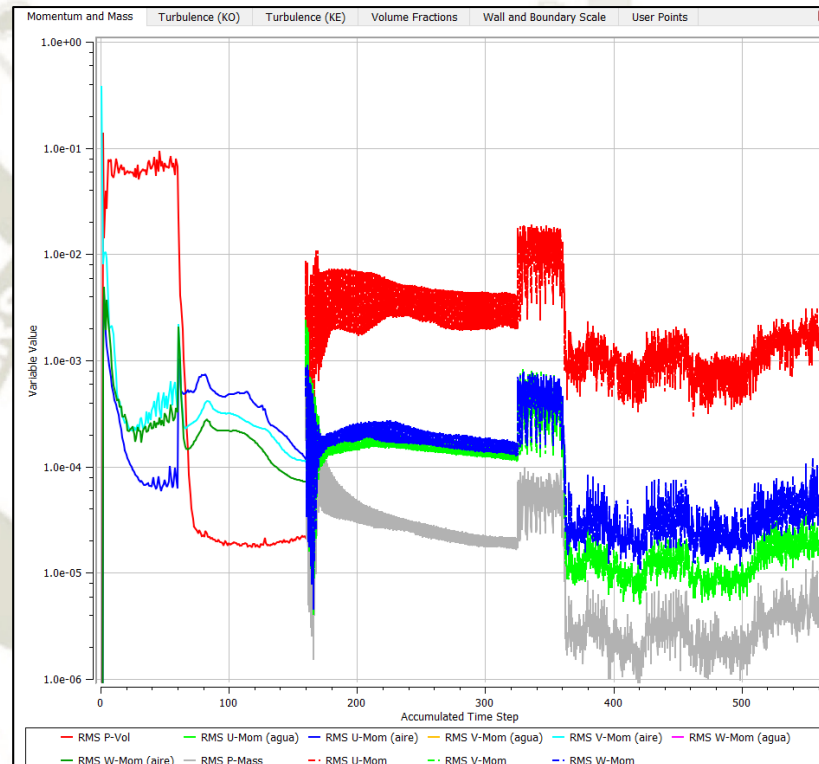
Fuente: Propia

Los parámetros definidos en la simulación se utilizan para indicar que la simulación a desarrollar será una de tipo turbulenta, los parámetros de velocidad se mantienen constantes a 33 m/s como velocidad media de entrada y los parámetros de flujo turbulento se utilizan para reflejar los remolinos formados dentro del tanque los cuales mezclan el polvo con el agua.

### 5.2.3. Resultados de la simulación CFD.

Con los parámetros de entrada colocados en la simulación se corre el cálculo para poder obtener los vectores de velocidad. Para verificar que los resultados sean correctos el residuo en la convergencia como resultado de la resolución de las ecuaciones debe de encontrarse entre un valor de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$ , estos resultados de convergencia se aprecian en la figura 49.

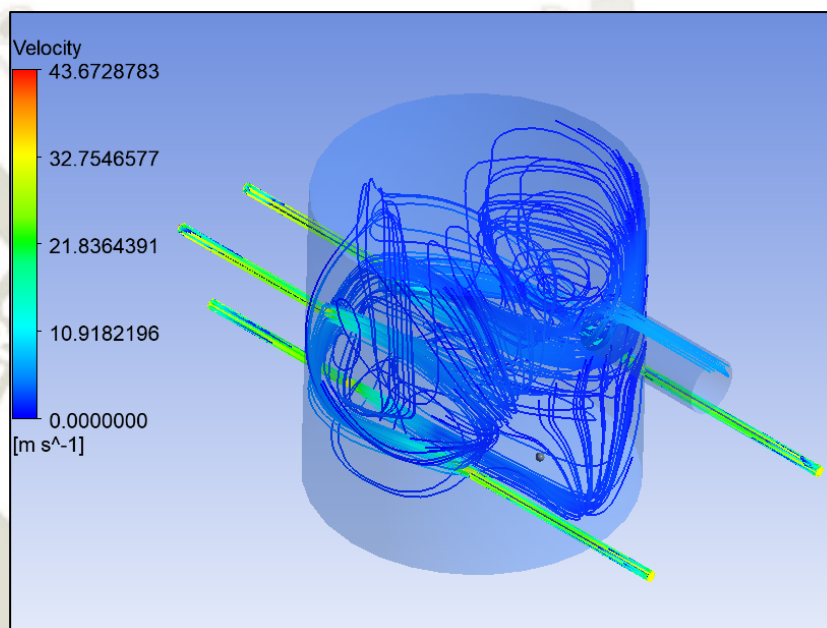
Figura 49. Residuos de convergencia como resultado de la simulación.



Fuente: Propia

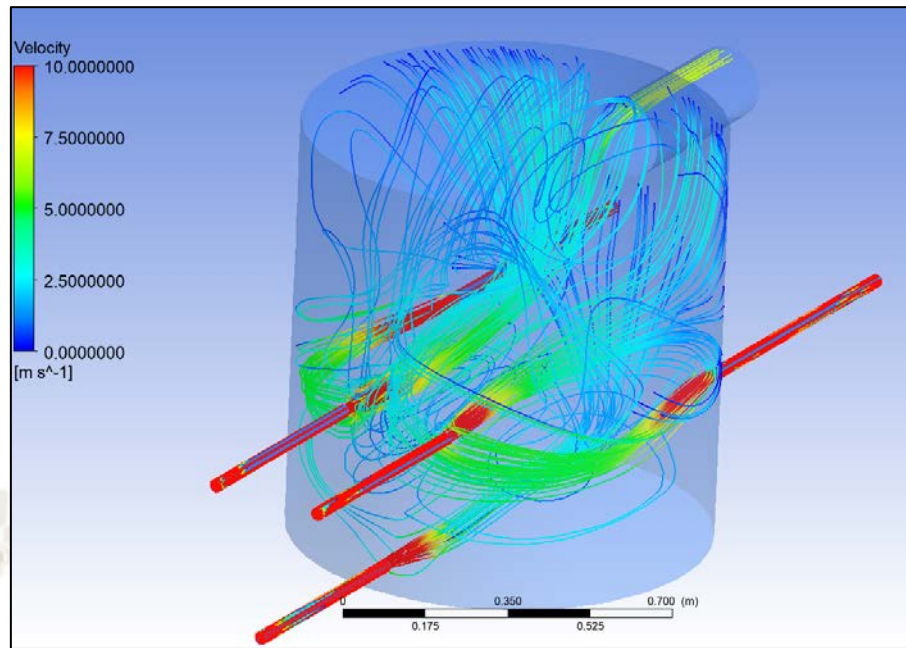
Obtenidos los resultados de la simulación CFD, se procede a verificar los esquemas que se tienen como resultado. Bajo esto se analizarán las líneas de flujo y en función al resultado se verificará la zona que presenta menor velocidad para luego en esta zona realizar una verificación del contorno de velocidades. En las figuras 50 y 51 se aprecian las líneas de flujo formadas dentro del tanque.

*Figura 50. Líneas de flujo formadas dentro del tanque.*



Fuente: Propia

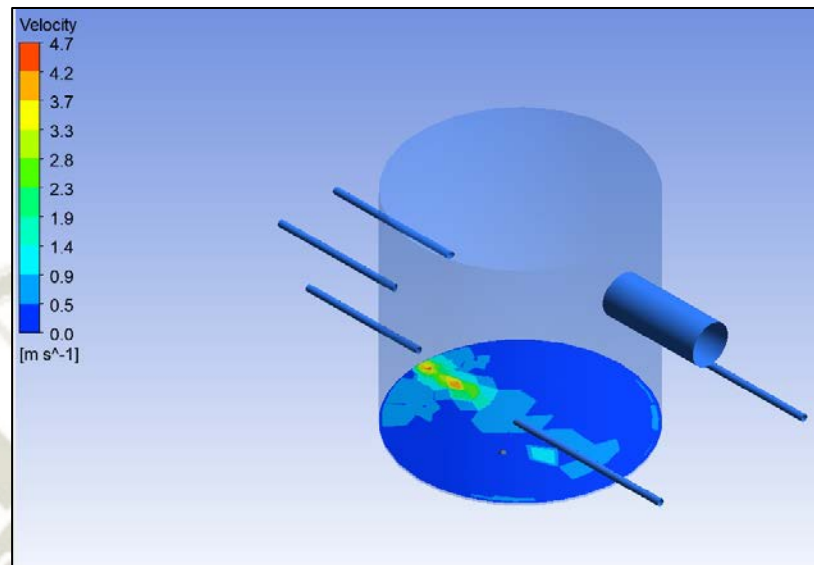
Figura 51. Líneas de flujo formadas dentro del tanque con mayor sensibilidad.



Fuente: Propia

Como se aprecia en las dos figuras anteriores los flujos al ingresar dentro del tanque forman remolinos con un diámetro máximo aproximado de 0.3 m, siendo la velocidad de estas líneas de flujo minimizadas cuando entran en contacto con las paredes del tanque, siendo este el parámetro que nos indica que las partículas con menor velocidad se deben de encontrar en la pared inferior del tanque, esto dado a que no existe algún ingreso de agua que este por debajo de la pared inferior del tanque que pueda realzar nuevamente la velocidad de las partículas. De acuerdo a los resultados obtenidos para el contorno de velocidades a 1 mm se tiene lo mostrado en la figura 52.

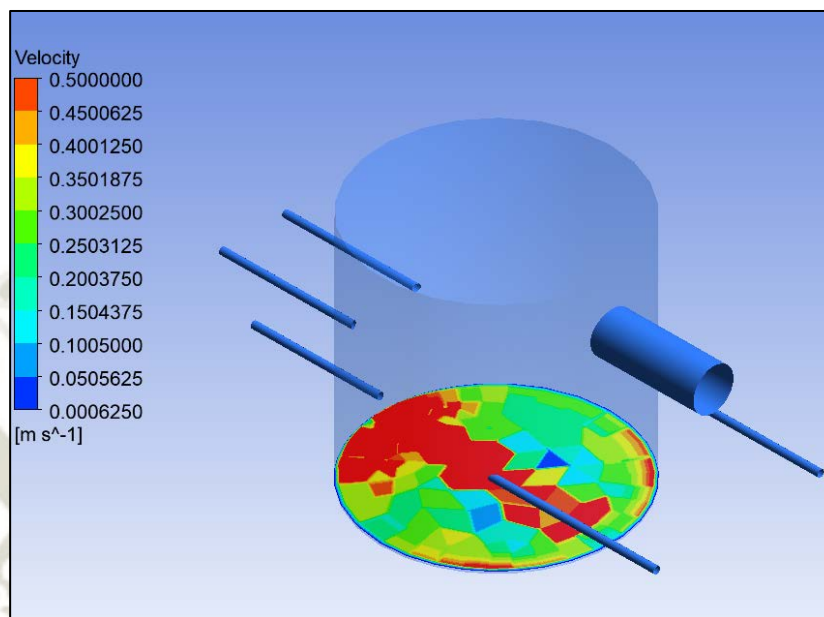
Figura 52. Contornos de velocidad en un plano a 1mm de distancia respecto al suelo del tanque.



Fuente: Propia

Como se aprecia la escala con valores máximos y mínimos locales respecto al plano creado, no tiene la sensibilidad como para identificar si existen lugares con una velocidad menor a la calculada anteriormente para la sedimentación de las partículas de polvo ( $6.205 \cdot 10^{-4} \frac{m}{s}$ ).

Figura 53. Contornos de velocidad con mayor sensibilidad, en un plano a 1mm de distancia respecto al suelo del tanque.



Fuente: Propia

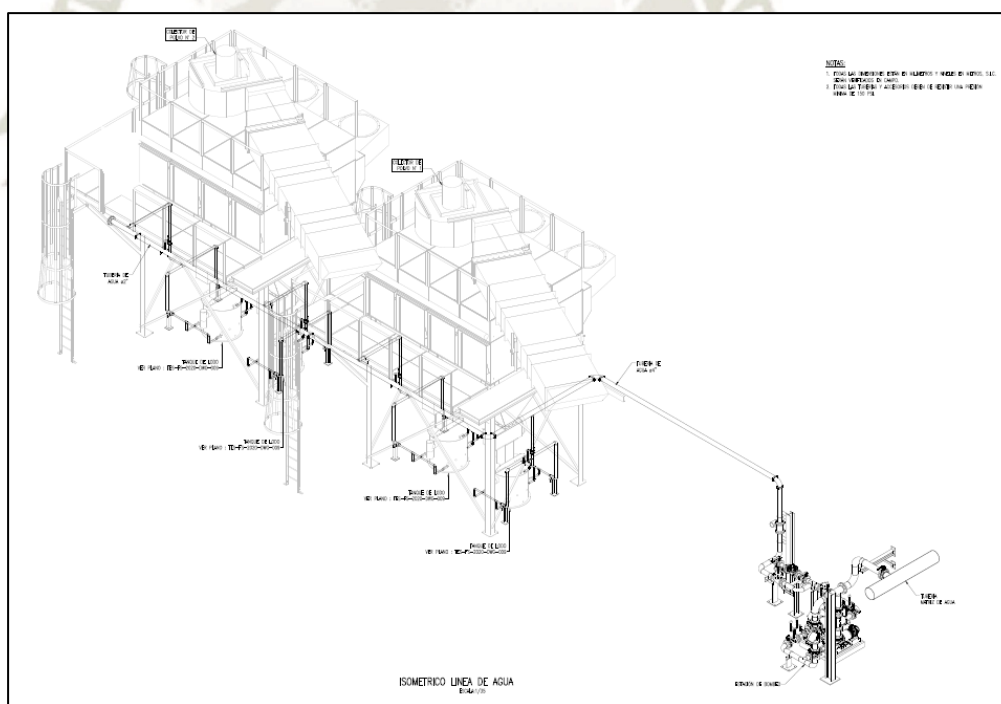
Una vez regulada la sensibilidad del contorno de velocidades del plano a 1 mm respecto del fondo del tanque se observa que casi todos los volúmenes finitos tienen velocidades superiores a la velocidad de sedimentación de las partículas, se aprecia que existe un volumen finito que las zonas que están alrededor del agua ingresando por la tubería de una pulgada tienen los contornos de velocidad con menor magnitud, sin embargo cumplen con tener una velocidad media mayor a la mínima para poder transportar el polvo sin que se sedimente.

Terminada la simulación y estudiados los resultados de esta se determina que con una presión de ingreso de 60 psi y un caudal de 10 gpm por cada uno de las entradas de flujo en el tanque no existirán partículas sedimentadas dentro del tanque.

### 5.3. Altura dinámica total del sistema.

Determinados los parámetros de alimentación de los tanques de mezcla, se debe determinar los accesorios y el dimensionamiento del sistema de alimentación de agua. De acuerdo al Layout del plano TES-FS-2020-DWG-001 se tiene una propuesta de la probable ubicación del sistema de bombeo, según este Layout se desarrolló el plano TES-FS-2020-DWG-006, en él se tiene mayor detalle del arreglo general para lograr la alimentación de los tanques de mezcla, la figura 54 es una vista isométrica del arreglo general del sistema de alimentación de agua.

*Figura 54. Isométrico del sistema de alimentación de agua.*

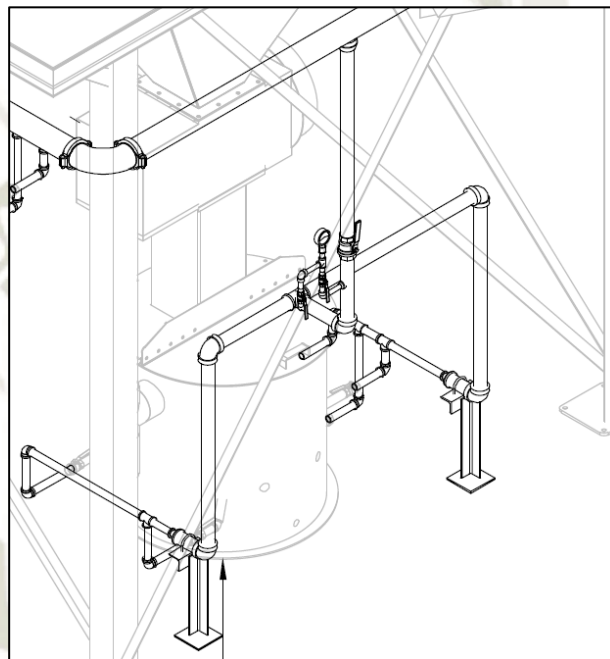


Fuente: Propia

Del arreglo general propuesto se tiene que el sistema de bombeo esta lo más cerca posible de la tubería matriz de agua, desde el sistema de alimentación de agua se tiene una tubería troncal de 4 pulgadas donde en cada una de las tomas de alimentación al

cajón mezclador se tienen ramales de 2 pulgadas, cada uno de los ramales cuenta con un tredolet para poder colocar un manómetro y una válvula bola para regular la alimentación a cada uno de los tanques, esto con el objetivo de regular la presión de alimentación a los tanques, se puede apreciar esto en la figura 55.

*Figura 55. Isométrico de la alimentación de agua a tanque mezclador.*

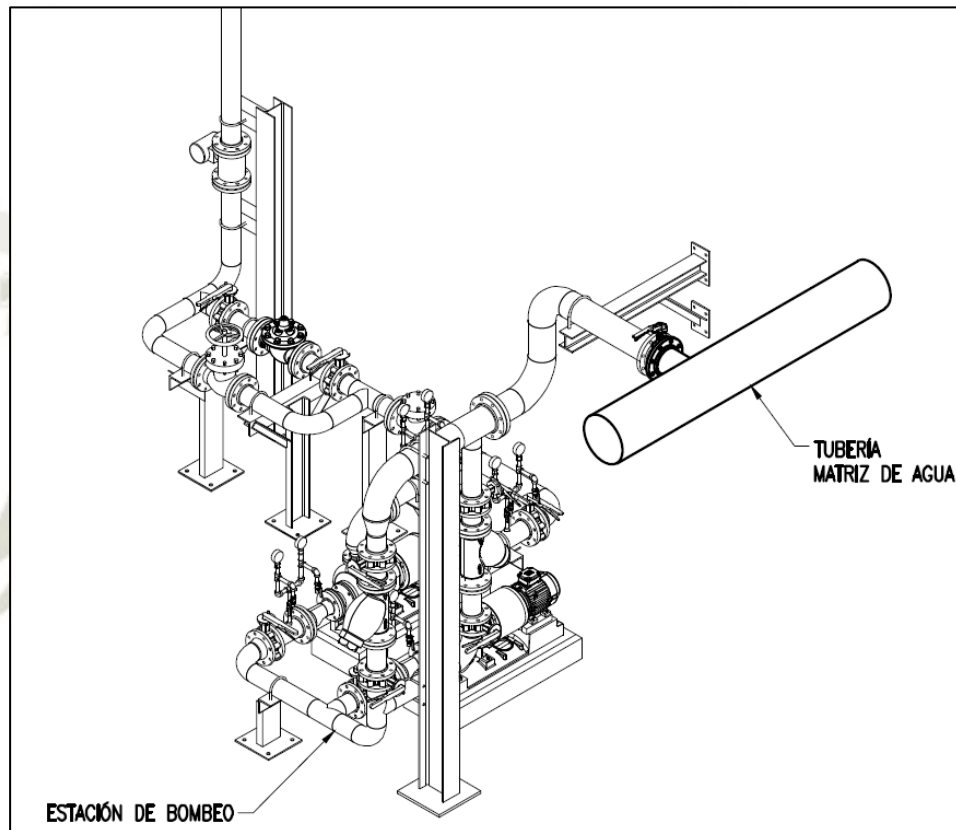


Fuente: Propia

Describiendo los equipos y accesorios utilizados en la estación de bombeo, este es alimentado con agua proveniente de la tubería matriz mediante una tubería de 6 pulgadas, para filtrar los sólidos de un tamaño superior a 5 mm se instalan filtros tipo y- “strainer” de 4 pulgadas, se utilizan bombas centrifugas para la impulsión de agua y para al control de la cantidad de agua impulsada se usa una válvula de control de 4 pulgadas, el cual hace un lazo de control cerrado con el flujómetro instalado aguas arriba. Para aumentar la disponibilidad del sistema de alimentación de agua se cuenta con una bomba “stand by” paralela a la bomba de operación continua y se tiene una

válvula globo de 4 pulgadas paralela a la válvula de control; en la figura 56 se aprecian estos equipos y accesorios.

*Figura 56. Isométrico de la estación de bombeo.*



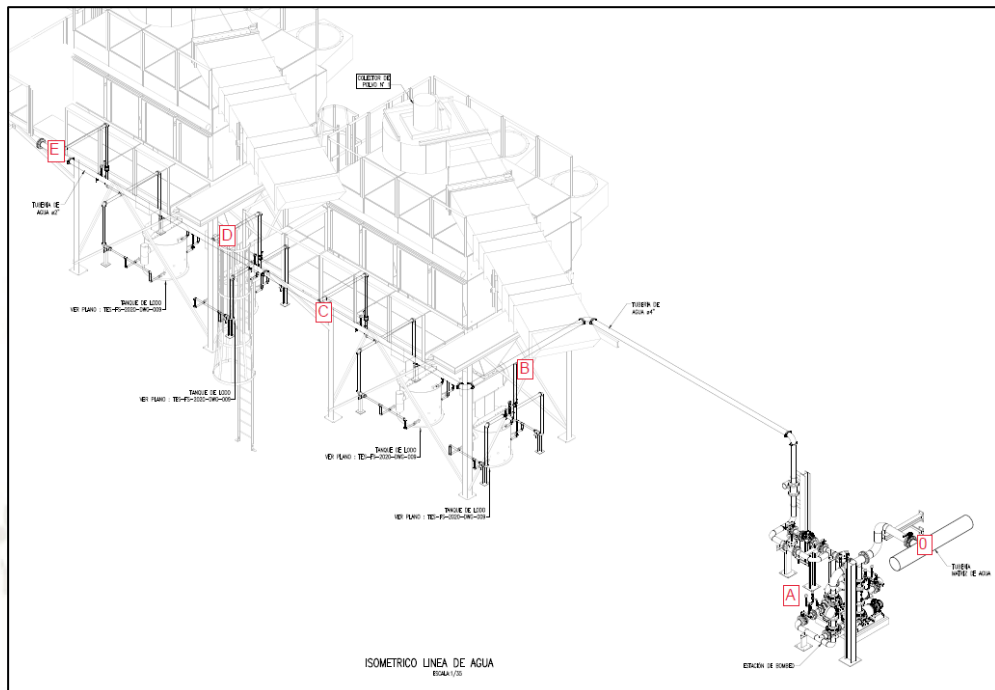
Fuente: Propia

Determinado el requerimiento de agua de los tanques mezcladores y de los equipos y accesorios existentes, se procede a la selección de las bombas centrífugas. El caudal requerido por el sistema de bombeo es de 200 gpm, por lo que el dato faltante para poder seleccionar la bomba es la presión requerida por el sistema, de esta presión requerida por el sistema se tiene que la presión necesaria para los tanques mezcladores es 60 psi, por lo que para determinar la presión total se debe de hallar las pérdidas hidráulicas ocasionadas por la fricción de tuberías y accesorios para ello se realizará

una simulación en el software AFT Fathom, donde los nodos del arreglo general del sistema de alimentación tendrán la siguiente nomenclatura:

- Nodo 0: Alimentación de sistema de bombeo, compuesto por una tubería de 6 pulgadas y dos tuberías paralelas de 4 pulgadas.
- Nodo A: Hace referencia a la estación de bombeo, compuestos por una tubería de 4 pulgadas con un caudal de 200 gpm.
- Nodo B: Hace referencia al ramal de alimentación al primer tanque mezclador, compuesto por una tubería de 2 pulgadas con un caudal de 50 gpm.
- Nodo C: Hace referencia al ramal de alimentación del segundo tanque mezclador, compuesto por una tubería de 2 pulgadas con un caudal de 50 gpm.
- Nodo D: Hace referencia al ramal de alimentación del tercer tanque mezclador, compuesto por una tubería de 2 pulgadas con un caudal de 50 gpm.
- Nodo E: Hace referencia al ramal de alimentación del cuarto tanque mezclador, compuesto por una tubería de 2 pulgadas con un caudal de 50 gpm.

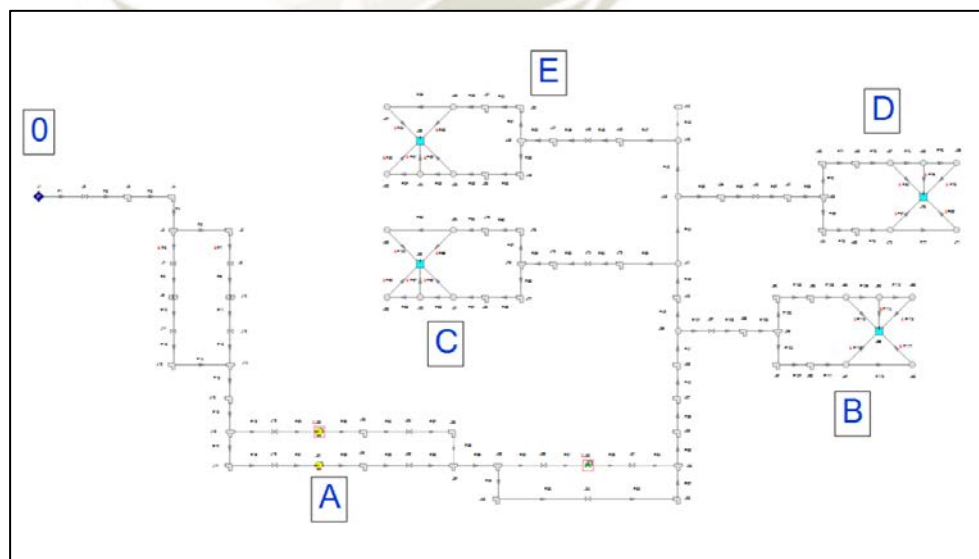
Figura 57. Nomenclatura de nodos en isométrico de la estación de bombeo.



Fuente: Propia

Esto reflejado en el área de trabajo del software AFT Fathom, reflejaría el gráfico del anexo 4, o el de la figura 58 mostrada a continuación.

Figura 58. Nomenclatura de nodos en isométrico de la estación de bombeo.



Fuente: Propia

La simulación tiene como parámetro de entrada la geometría de los elementos que conforman el sistema de bombeo y los parámetros de caudal y de presión de llegada necesaria para los tanques mezcladores. La geometría es considerada por el software como “model data” esta se encuentra en el anexo 4. Los parámetros de entrada para la simulación son el caudal impulsado por la bomba y la presión de ingreso necesaria en los tanques mezcladores, el caudal de ingreso considerado es 230 gpm esto considerando un factor de seguridad de 1.15 para la selección de la bomba y la presión de ingreso considerada es 60 psi. Los resultados de la simulación se encuentran en el reporte de solución del software (anexo 5), como resumen de la simulación se presenta la tabla 13 donde se muestran los datos de operación de la bomba centrífuga.

*Tabla 13. Resultados de simulación.*

Tag Elemento	Nombre	Caudal (gal/min)	Presión impulsada (psid)	Cabeza impulsada (mH2O)	Eficiencia (Porcentaje)	Potencia (kW)	NPSHd (mH2O)
X20	Pump	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Pump	230	65.3	46.01	100	6.53	9.1

Fuente: Propia

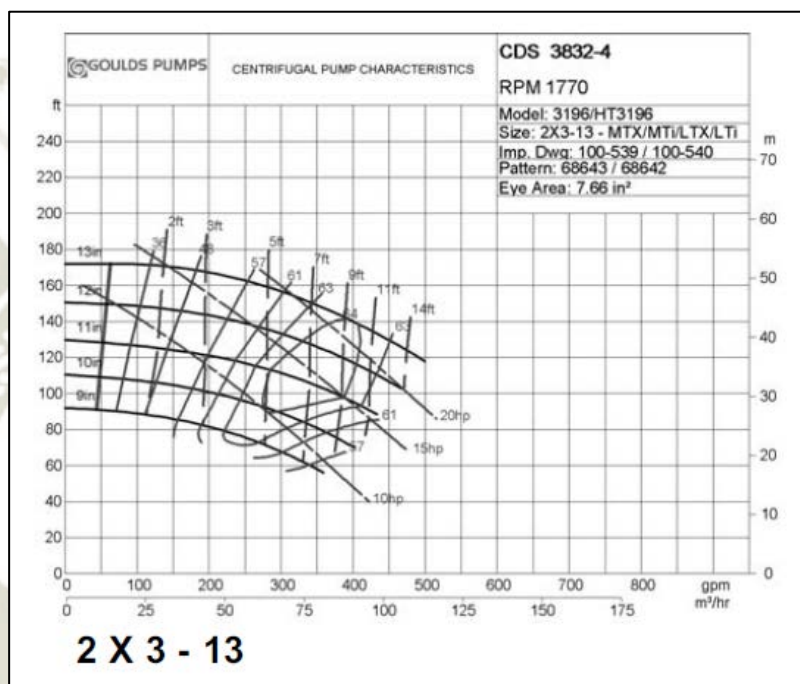
Se aprecia que una de las bombas no muestra información, esto debido a que se especificó en la simulación que esta bomba debe mantenerse apagada, ya que como se mencionó será una bomba “stand by”. Con los resultados de la simulación y el parámetro calculado de presión impulsada o cabeza impulsada se seleccionará una bomba centrífuga que cumpla con los requerimientos y con un NPSH requerido menor al disponible.

#### **5.4. Selección de bomba centrífuga.**

Determinados los requerimientos de la bomba centrífuga, se seleccionó una bomba de marca “Gould Pump” modelo 3196/HT3196, con una brida de 2 pulgadas de diámetro

nominal para la descarga, 3 pulgadas de diámetro nominal para la succión, velocidad de giro del motor eléctrico de 1770 RPM y un tamaño máximo del impulsor de 13 pulgadas, en la figura 59 se muestran las curvas de la bomba.

Figura 59. Curvas de bomba Gould Pump, modelo 3196/HT3196.



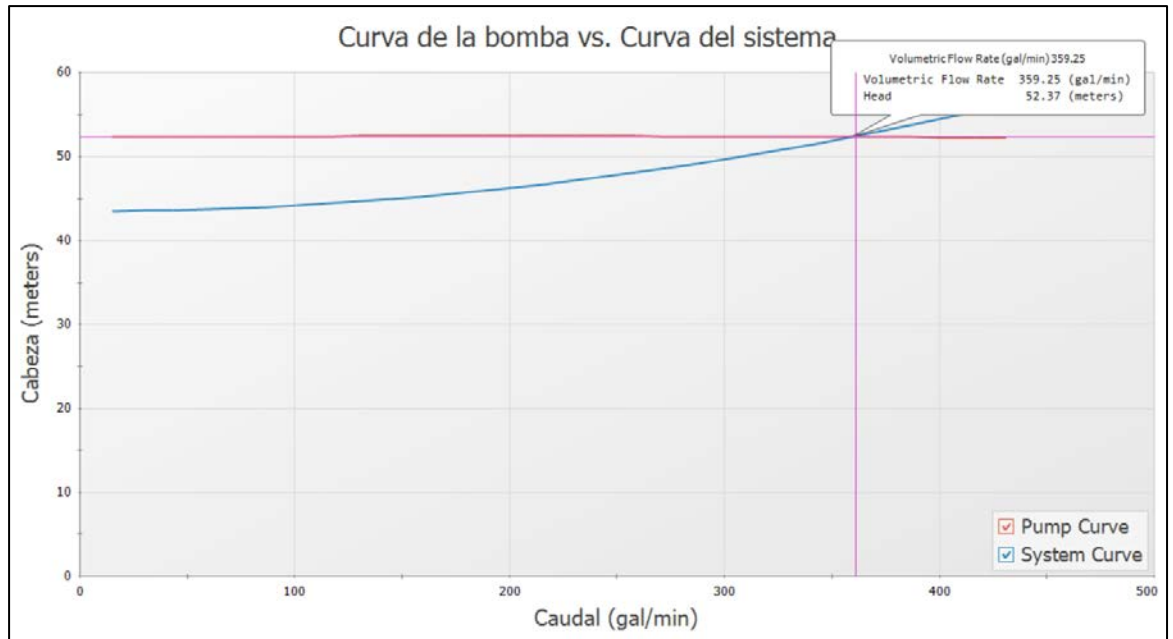
Fuente: Propia

Como se aprecia existen cinco curvas hidráulicas que hacen referencia a las características de la bomba si se utiliza determinado diámetro de impulsor, para las necesidades operativas del sistema se considera que la curva de 13 pulgadas de diámetro cumple con los requerimientos. Seleccionada la bomba y el diámetro de impulsor necesarios se colocará la información en el software AFT Fathom para la obtención del punto de operación y al mismo tiempo colocando reducciones en la succión y descarga de las bombas centrifugas.

Realizando los cambios en los parámetros de entrada de la simulación se presentan a continuación dos escenarios, el primer escenario muestra la simulación sin utilizar la

válvula de control, donde la curva del sistema y la curva de la bomba convergen en el punto de operación mostrado en la figura 60 o en el anexo 6.

Figura 60. Curvas de la bomba vs Curva de sistema (sin válvula de control).



Fuente: Propia

Como se muestra en la figura 60 el punto de operación se encuentra en un flujo superior al indicado, para lo cual se tiene los siguientes datos de operación de la bomba.

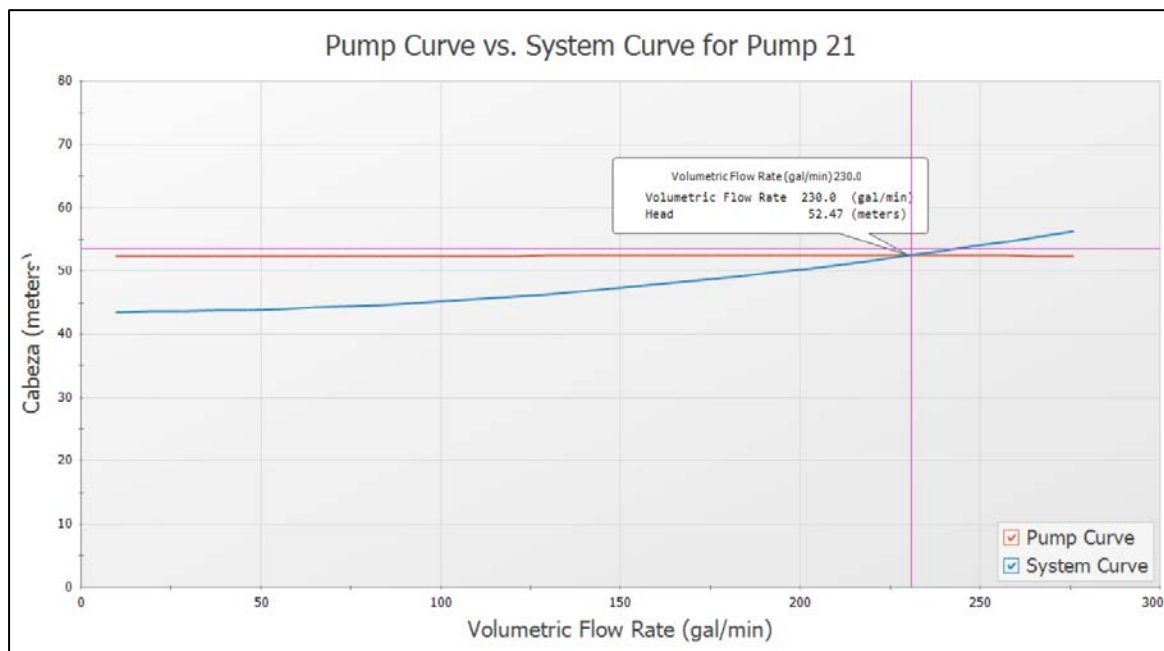
Tabla 14. Datos de operación de bomba centrífuga sin válvula de control.

Tag	Nombre	Caudal (gal/min)	Presión impulsada (psid)	Cabeza impulsada (mH2O)	Eficiencia (%)	Potencia (kW)	NPSHd (mH2O)	NPSHr (mH2O)
X20	Pump	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Pump	359.1	74.36	52.37	63	18.42	7.648	2.438

Fuente: Propia

En la siguiente simulación se estableció como parámetro el uso de la válvula de control, estando designada para que el flujo que sea impulsado por el sistema sea un total de 230 gpm, en la figura 61 (Anexo 7) se muestra el resultado.

Figura 61. Curvas de la bomba vs Curva de sistema (con válvula de control).



Fuente: Propia

Como se muestra en la figura 61 el punto de operación se encuentra con el flujo deseado para la operación de los sistemas, la bomba muestra los siguientes datos de operación.

Tabla 15. Datos de operación de bomba centrífuga con válvula de control.

Tag	Nombre	Caudal (gal/min)	Presión impulsada (psid)	Cabeza impulsada (mH2O)	Eficiencia (%)	Potencia (kW)	NPSHd (mH2O)	NPSHr (mH2O)
X20	Pump	0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Pump	230	74.5	52.47	53	14.05	8.956	1.219

Fuente: Propia

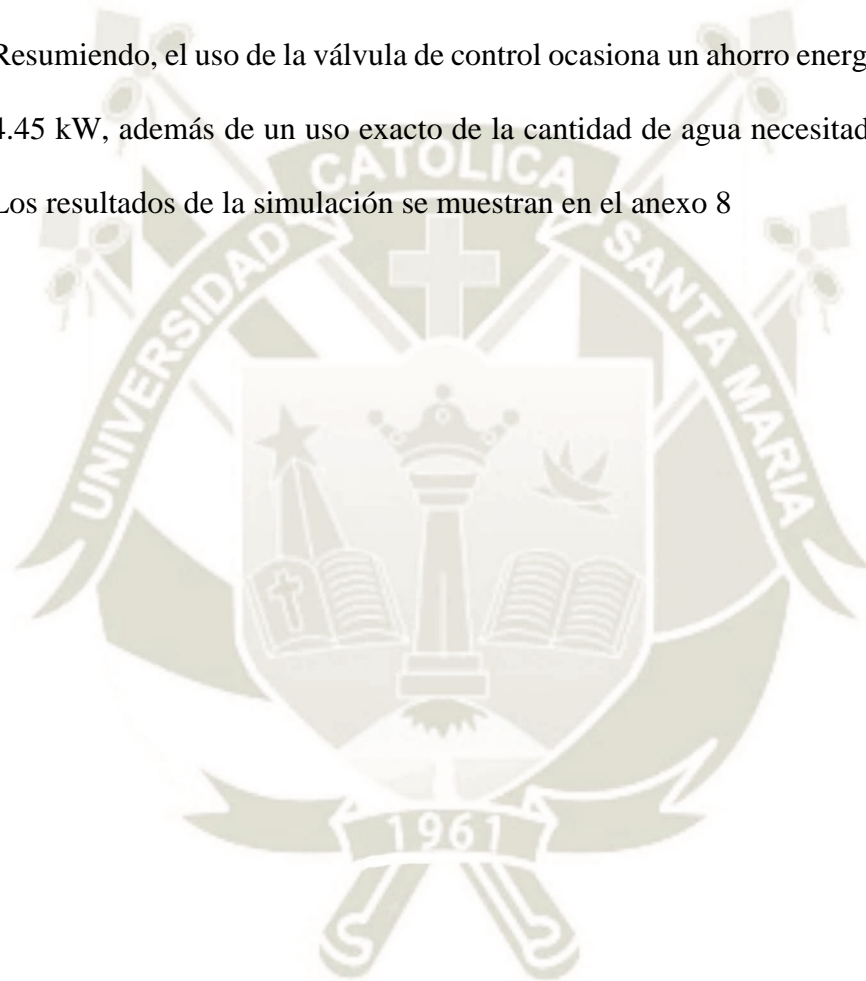
Respecto a los datos de operación de la válvula de control, se tiene la siguiente información:

*Tabla 16. Datos de operación de válvula de control.*

Tag	Nombre	Tipo de válvula	Caudal (gal/min)	Diferencia de presión (psi)	Diferencia de cabeza (mH2O)	Presión de ingreso (psi)	K
30	Control Valve	FCV	230	7.52	5.3	69.96	33.3

Fuente: Propia

Resumiendo, el uso de la válvula de control ocasiona un ahorro energético de alrededor 4.45 kW, además de un uso exacto de la cantidad de agua necesitada para el sistema. Los resultados de la simulación se muestran en el anexo 8



## CAPITULO VI. SISTEMA DE TRANSPORTE DE MEZCLA POLVO-AGUA

### 6.1. Introducción

Teniendo la premisa de que el polvo ha sido mezclado con el agua dentro del tanque de mezcla, se crea un nuevo fluido que es descargado por la tubería de 6 pulgadas en un canal que desemboca en un sumidero. De lo mencionado anteriormente se estructura el siguiente capítulo de la siguiente manera, cálculo de las propiedades del nuevo fluido, cálculo de pérdidas hidráulicas del sistema de bombeo desde la bomba sumidero ubicada en el sumidero hasta el tanque de reutilización, y selección de una bomba sumidero, esto se realizará considerando que el fluido impulsado es una mezcla de polvo y agua.

### 6.2. Propiedades del fluido.

En el apartado 5.2 se calcula la velocidad de sedimentación de la partícula, Wilson, Addie (2006), *Slurry Transport Using Centrifugal Pumps*. 3th Edition, New York: Springer, menciona que a velocidades de sedimentación inferiores a 0.0015 m/s el fluido puede considerarse como un no newtoniano, esto significa que las propiedades del nuevo fluido son diferentes debido a la introducción de partículas sólidas en este, estas propiedades son dependientes de dos variables, el tamaño de partícula del sólido con el cual es mezclado y la concentración de sólidos existente, la granulometría de la partícula y la concentración de sólidos será calculada.

Para obtener la concentración de sólidos del fluido se requieren los flujos máscicos de agua y polvo que alimentan el tanque mezclador de polvo. Para obtener el flujo masico de polvo se utilizará la siguiente ecuación:

$$m_p = C_p * Q \dots (Ec. 17)$$

En donde:

$m_p$ : Flujo másico de polvo (kg/s)

$C_p$ : Concentración de polvo en el ambiente (gr/m<sup>3</sup>)

$Q$ : Caudal colectado de aire (m<sup>3</sup>/s)

En el ambiente donde se instaló el sistema colector de polvo, se colectaron muestras tomadas donde se observó que la concentración de polvo era 140000 µgr/m<sup>3</sup> y respecto al sistema de colección de polvo diseñado se tiene que el caudal colectado de 5.88 m<sup>3</sup>/s se divide en dos partes para alimentar cada tanque mezclador, con lo que se tendría un caudal colectado de aire para cada tanque mezclador de 2.94 m<sup>3</sup>/s, reemplazando en la ecuación 17 se tiene:

$$m_p = 140 \frac{gr}{m^3} * 2.94 \frac{m^3}{s} = 0.412 \frac{kg}{s}$$

Para obtener el flujo musico de agua que alimenta el tranque mezclador se utilizará la siguiente ecuación.

$$m_a = \rho * Q \dots (Ec. 18)$$

En donde:

$m_a$ : Flujo másico de agua (kg/s)

$\rho$ : Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

$Q$ : Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s)

Respecto al flujo másico de agua que alimenta al tanque mezclador, se tiene que el caudal de alimentación a cada tanque mezclador es de 50 gpm (0,0031 m<sup>3</sup>/s) y la densidad de agua a usar es 1000 kg/m<sup>3</sup>, usando estos valores en la ecuación 18 se tiene:

$$m_a = 0.0031 \frac{m^3}{s} * 1000 \frac{kg}{m^3} = 3.16 \frac{kg}{s}$$

Para hallar la concentración de solidos de acuerdo al peso, se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_w = \frac{m_p}{m_a + m_p} \dots (Ec. 19)$$

En donde:

$C_w$ : Concentración de solidos de acuerdo al peso (adimensional)

$m_p$ : Flujo másico de polvo (kg/s)

$m_a$ : Flujo másico de agua (kg/s)

Utilizando los valores de flujo masico de agua y flujo masico de aire calculados con las ecuaciones 17 y 18 y reemplazándolos en la ecuación 19 se tiene:

$$C_w = \frac{0.412 \frac{kg}{s}}{3.16 \frac{kg}{s} + 0.412 \frac{kg}{s}} = 0.115$$

Una vez calculada la concentración de solidos de acuerdo al peso, se procede con calcular ahora la concentración de solidos de acuerdo al volumen, para ello se requiere tener el valor de la densidad de mezcla, para calcularla Menon, E. S. (2005). Piping Calculations Manual . McGraw-Hill, propone la siguiente ecuación:

$$\rho_m = \frac{100}{\frac{C_w}{\rho_s} + \frac{(100 - C_w)}{\rho_l}} \dots (Ec. 20)^{10}$$

En donde:

$\rho_m$ : Densidad de mezcla ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_w$ : Concentración de sólidos de acuerdo al peso (%)

$\rho_s$ : Densidad del sólido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\rho_l$ : Densidad del líquido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Para resolver la ecuación 20 se usa la concentración de sólidos de acuerdo al peso, lo que viene a ser 11.5 %, la densidad del agua ( $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) y la densidad del polvo ( $1900 \text{ kg}/\text{m}^3$ ), reemplazando los valores en la ecuación 20 se tiene:

$$\rho_m = \frac{100}{\frac{11.5}{1900 * \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{(100 - 11.5)}{1000 * \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}} = 1058 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

La densidad de mezcla del fluido es  $1058 \text{ kg}/\text{m}^3$ , con este valor y la concentración de sólidos de acuerdo al peso se calculará la concentración de sólidos de acuerdo al volumen, para lo que Menon, E. S. (2005). Piping Calculations Manual. McGraw-Hill, propone la ecuación:

$$C_v = \frac{C_w * \rho_m}{\rho_s} \dots (Ec. 21)$$

En donde:

$C_v$ : Concentración de sólidos de acuerdo al volumen (%)

<sup>10</sup> La ecuación veinte proviene del libro 'Piping Calculations Manual' siendo la ecuación (10.1) ubicada en la página 603.

$C_w$ : Concentración de sólidos de acuerdo al peso (%)

$\rho_m$ : Densidad de mezcla ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\rho_s$ : Densidad del sólido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Reemplazando los valores obtenidos de las ecuaciones 20 y 19 y reemplazándolos en la ecuación 2, se tiene:

$$Cv = \frac{11.5 * 1058 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 6.43$$

Obtenidos el valor de Cv junto al tamaño de partícula se calcula la viscosidad del fluido, utilizando la ecuación de Thomas-Einstein propuesta en Menon, E. S. (2005). Piping Calculations Manual. McGraw-Hill, esta ecuación se usa para calcular la viscosidad de la mezcla:

$$\mu_m = \mu_l * (1 + 2.5 * Cv + 10.05 * Cv^2 + 0.00273 * e^{16.6 * Cv}) \dots (Ec. 22)^{11}$$

En donde:

$\mu_m$ : Viscosidad de la mezcla (Pa.s)

$\mu_l$ : Viscosidad del líquido (Pa.s)

$Cv$ : Concentración Volumétrica (adimensional)

La viscosidad del líquido es 0.001 Pa.s y la concentración volumétrica es la calculada con la ecuación 21, reemplazando los valores en la ecuación 22 se tiene:

$$\mu_m = 0.001 \text{ Pa} * \text{s} (1 + 2.5 * 0.0643 + 10.05 * 0.0643^2 + 0.00273 * e^{16.6 * 0.0643}) = 0.00266 \text{ Pa} * \text{s}$$

<sup>11</sup> La ecuación veintidós proviene del libro ‘Piping Calculations Manual’ siendo la ecuación (10.6) ubicada en la página 605.

Con el nuevo valor calculado de la viscosidad se procede a calcular las pérdidas hidráulicas del sistema.

### 6.3. Altura dinámica total del sistema.

Para calcular las pérdidas hidráulicas se requieren las propiedades del fluido impulsado y la geometría del sistema de bombeo impulsado. La geometría de la tubería del sistema de bombeo es descrita en la siguiente tabla:

*Tabla 17. Información geométrica de tubería.*

Tag	Descripción	Cantidad	Coefficiente de resistencia (K)	Coefficiente de resistencia total (K)
1	Diferencia de cotas	15 m	-	-
2	Tubería 4" SCH 40	120 m	-	-
3	Codo 90°, R/D 3	8	0.20	1.63
4	Válvula mariposa de 4", apertura de 100%	2	0.765	1.53

Fuente: Propia

Para calcular las pérdidas hidráulicas se utilizará la ecuación de Darcy-Weisbach modificada, que agrupa las pérdidas hidráulicas primarias y secundarias como se muestra en la ecuación 23.

$$h_f = \left( f * \frac{L}{D} + \sum K \right) * \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * g * D^4} \dots (Ec. 23)$$

En donde:

$h_f$ : Pérdidas hidráulicas totales (mH<sub>2</sub>O)

$f$ : Factor de fricción del fluido con las tuberías (f)

$L$ : Longitud de tubería (m)

D: Diámetro interno de tubería (m)

K: Coeficiente de resistencia por accesorios (adimensional)

Q: Caudal impulsado (m<sup>3</sup>/s)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

De lo mostrado en la ecuación anterior se cuenta con la información de todos los parámetros excepto del factor de fricción, para ello se utilizará la ecuación de Colebrook and White, mostrada a continuación:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} \left( \frac{k}{3.7 * D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right) \dots (Ec. 24)$$

En donde:

f: Factor de fricción del fluido con las tuberías (f)

k: Rugosidad absoluta de tubería (m)

D: Diámetro interno de tubería (m)

Re: Número de Reynolds (adimensional)

Para poder resolver la ecuación 23 se necesita el número de Reynolds, para ello se usará la ecuación 3 y la ecuación 6. Debido al balance de masas respecto al flujo masico de entrada del polvo más el flujo masico de entrada de agua, se tiene que el caudal total a transportar es 54 gpm por cada tanque mezclador, lo que sería un total de 216 gpm (0.00337 m<sup>3</sup>/s) y el área interna de una tubería de 4 pulgadas SCH 40 es 0.00821 m<sup>2</sup>, utilizando ambos valores en la ecuación 3 para obtener la velocidad se tiene que:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.00337 \frac{m^3}{s}}{0.00821 m^2} = 1.642 \frac{m}{s}$$

Obtenida la velocidad del fluido dentro de la tubería se calcula el número de Reynolds con la ecuación 6, la velocidad es 1.642 m/s, la densidad del fluido es 1058 kg/m<sup>3</sup>, el

diámetro interno de la tubería es 0.102 m y la viscosidad del fluido es 0,00266 Pa.s, con lo que se obtiene:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} = \frac{1058 \frac{kg}{m^3} * 1.642 \frac{m}{s} * 0.102m}{0.00266 Pa * s} = 66845$$

Obtenido el número de Reynolds con valor de 66845 y teniendo como premisa que el diámetro interno de la tubería es 0.102 m y la rugosidad absoluta es 0.00046 m se procede a usar la ecuación 24, teniendo como valor inicial de f a 1 hasta que el resultado de la ecuación converja en un valor constante.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log_{10} \left( \frac{0.00046 m}{3.7 * 0.102 m} + \frac{2.51}{66845 * \sqrt{1}} \right)$$

Tras resolver la ecuación anterior en 4 iteraciones el valor del factor de fricción converge en 0.021 como resultado. Teniendo todos los valores anteriormente considerados se procede a utilizar la ecuación de Darcy Weisbach (Ecuación 23), sin embargo, se dejará la ecuación en función del caudal.

$$h_f = \left( 0.021 * \frac{120 m}{0.102 m} + 3.16 \right) * \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * 9.81 * 0.102^4} = 21353.7 Q^2$$

Calculadas las pérdidas del sistema en la descarga, ahora se procede a calcular las pérdidas hidráulicas en la succión.

Figura 62. Bomba sumidero.



Fuente: Recuperado de,  
<https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/como-elegir-bomba-agua-para-pozos>.

Para calcular las pérdidas hidráulicas en la succión, se determina que la bomba a utilizar será una de tipo vertical sumidero, por lo que no cuenta con una tubería de succión sin embargo la presión del agua en la succión con un valor de 0.2 mH<sub>2</sub>O es sustraído de los 15 m de diferencia de cotas entre el punto de succión y el tanque destino al que el sistema alimenta pone como resultado que el TDH del sistema es:

$$TDH = H_d - H_s = P_D + hf - P_S \dots (Ec. 25)$$

En donde:

$TDH$ : Altura total dinámica (mH<sub>2</sub>O)

$H_d$ : Altura dinámica a la descarga (mH<sub>2</sub>O)

$H_s$ : Altura dinámica a la succión (mH<sub>2</sub>O)

$P_D$ : Presión estática a la descarga (mH<sub>2</sub>O)

$P_S$ : Presión estática a la succión (mH<sub>2</sub>O)

$hf$ : Pérdidas hidráulicas a la succión (mH<sub>2</sub>O)

Para poder determinar finalmente las pérdidas hidráulicas en la descarga es necesario determinar el caudal al cual se dimensionará el sistema. De acuerdo a los requerimientos debido a la descarga de los tanques mezcladores se definió 216 gpm como el caudal total, sin embargo, se utilizará un factor 1.15 para tener un margen de control en la bomba hasta setearlo a 215 gpm, con esto tenemos finalmente que el caudal de 245 gpm (0,0155 m<sup>3</sup>/s) es con el que se determinará el TDH y se seleccionará la bomba. Finalmente, al reemplazar los valores en la ecuación 25 se tiene:

$$TDH = P_D + hf - P_S = 15 \text{ mca} + 21353.7 * \left(0.0155 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)^2 - 0.2\text{mca} = 19.81 \text{ mH}_2\text{O}$$

Teniendo finalmente la siguiente tabla resumen:

*Tabla 18. Datos de operación de bomba sumidero.*

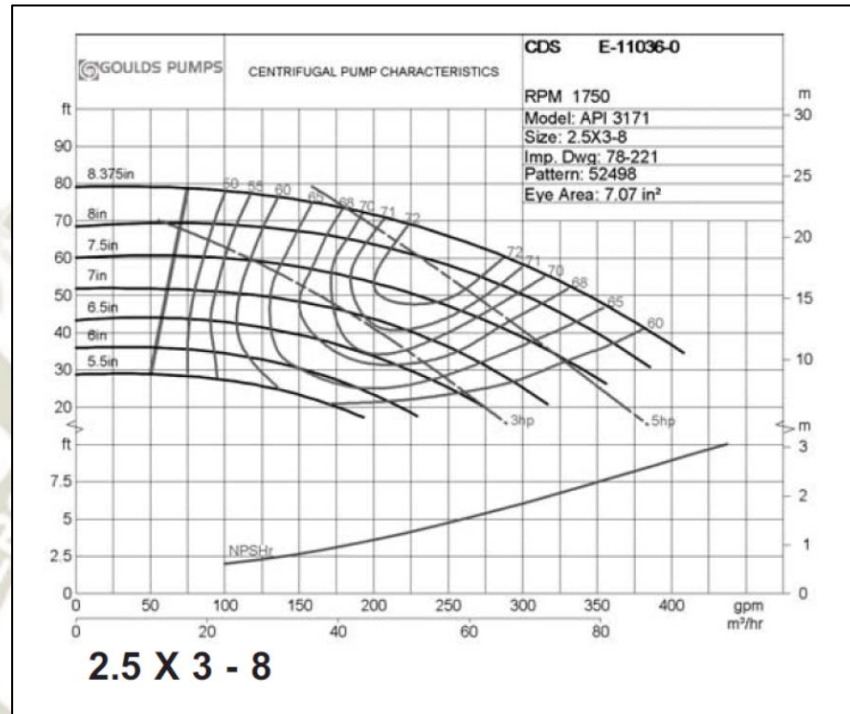
Tag Elemento	Nombre	Caudal (gal/min)	Presión impulsada (psid)	TDH (mH <sub>2</sub> O)	NPSHd (mH <sub>2</sub> O)
1	Bomba sumidero	245	29.82	19.81	N/A

Fuente: Propia

#### 6.4. Selección de bomba sumidero.

Determinados los requerimientos de la bomba centrífuga, se seleccionó una bomba de marca “Gould Pump” modelo API 3171, con una brida de 2.5 pulgadas de diámetro nominal para la descarga, 3 pulgadas de diámetro nominal para la succión, velocidad de giro del motor eléctrico de 1750 RPM y un tamaño máximo del impulsor de 8.375 pulgadas, en la figura 63 se muestran las curvas de la bomba.

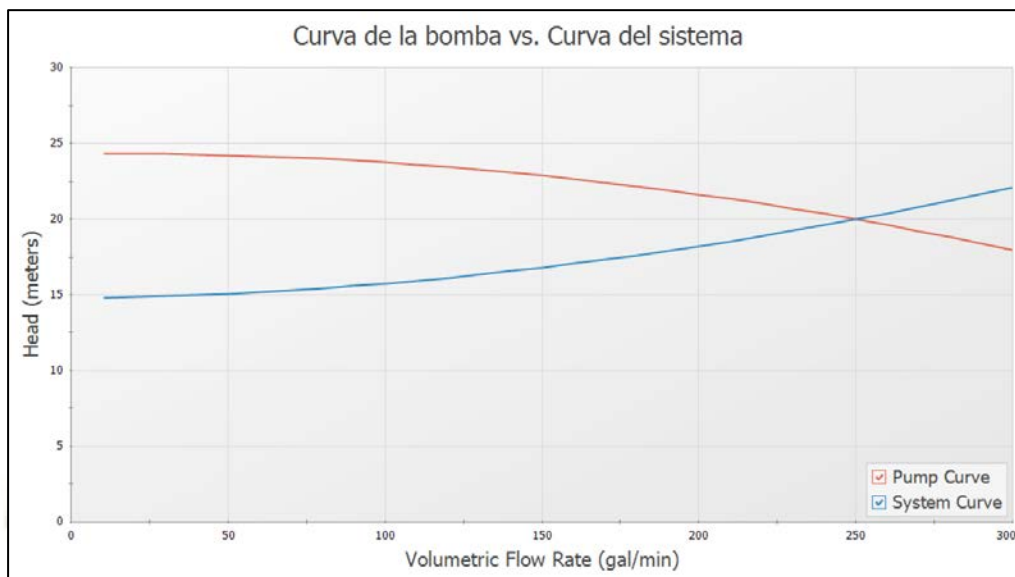
Figura 63. Curvas de bomba Gould Pump, modelo API 3171.



Fuente: Propia

Seleccionada la bomba se procede a encontrar el punto de operación del sistema, se graficarán la curva del sistema y la curva de la bomba a fin de ubicar el punto de operación, esto en la figura 64 o en el anexo 9.

Figura 64. Curvas de la bomba vs Curva de sistema.



Fuente: Propia

Como se muestra en la figura 64 el punto de operación se encuentra en un flujo superior al indicado, para lo cual se tiene los siguientes datos de operación de la bomba.

Tabla 19. Datos de operación de bomba centrífuga sin corrección.

Tag	Nombre	Caudal (gal/min)	Presión impulsada (psid)	Cabeza impulsada (mca)	Eficiencia (%)	Potencia (kW)	NPSHr (mca)
21	Pump	250.1	30.09	20	72.5	4.51	1.51

Fuente: Propia

Como se aprecia en los resultados el caudal impulsado es mayor al requerido, por lo que regulando la apertura de la válvula mariposa se lograra llegar al caudal deseado. Sin embargo, el punto faltante para poder determinar si la selección de la bomba es el adecuado es hacer la comparación entre NPSH disponible y requerido, para ello se calcula el NPSH disponible con la siguiente ecuación:

$$NPSHd = Hatm - Hvap \pm z - Hi - Hfs \dots (Ec. 26)^{12}$$

En donde:

*NPSHd*: NPSH disponible (mH<sub>2</sub>O)

*Hatm*: Presión atmosférica en la ubicación de la bomba (mH<sub>2</sub>O)

*Hvap*: Presión de vaporización del fluido (mH<sub>2</sub>O)

*z*: Nivel del agua respecto al punto de succión (mH<sub>2</sub>O)

*Hi*: Pérdida de presión por ingreso de agua al sistema (mH<sub>2</sub>O)

*Hfs*: Pérdida por fricción de la tubería en la succión (mH<sub>2</sub>O)

Teniendo esta ecuación se tienen los siguientes parámetros para resolverla, la presión atmosférica del sitio donde se instalará la bomba es 73.5 kPa (7.5 mH<sub>2</sub>O), el nivel del agua respecto al eje de succión es 0.2 m en las condiciones mínimas del nivel del fluido dentro del sumidero, y ya que es una bomba sumidero sumergible no existen pérdidas por ingreso de agua ni pérdidas por fricción de la tubería, el valor de la presión de vaporización del fluido será asumido igual a la del agua debido a que sus características son semejantes, teniendo esto como premisa la presión de vaporización del agua a 20°C es 2.393 kPa (0,24 mH<sub>2</sub>O). Reemplazando los parámetros anteriores en la ecuación 26 se tiene:

$$NPSHd = 7.5 \text{ mca} - 0.24 \text{ mca} + 0.2 \text{ mca} - 0 \text{ mca} - 0 \text{ mca} = 7.46 \text{ mH}_2\text{O}$$

Se tiene finalmente que el NPSH disponible tiene un valor de 7.46 mH<sub>2</sub>O mientras que el NPSH requerido tiene un valor de 1.51 mH<sub>2</sub>O, lo que determina que la bomba

<sup>12</sup> La ecuación veintiséis proviene del libro ‘Piping Calculations Manual’ siendo la ecuación (1.71) ubicada en la página 56.

seleccionada cumpliría con este parámetro, siendo determinada como adecuada para el sistema.



## CAPITULO VII. SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

### 7.1. Introducción

Los colectores de polvo requieren de un suministro de aire comprimido para realizar la limpieza de los cartuchos de los colectores de polvo, el suministro de aire para cada colector requiere de un caudal y de una presión mínima para garantizar la limpieza. Estas características del aire suministrado se muestran en la figura 65.

*Figura 65. Requerimiento de aire comprimido por colector de polvo.*

COMPRESSED AIR		
Compressed air consumption	m <sup>3</sup> /s (scfm)	0.0236 (50)
Compressed air pressure	Kpa (psig)	621 (90 psi)
Air diameter intake	mm	26.64 (1")
Pulses to a given cartridge, max/min		On Demand Cleaning

Fuente: CAMFIL Latinoamérica LTDA

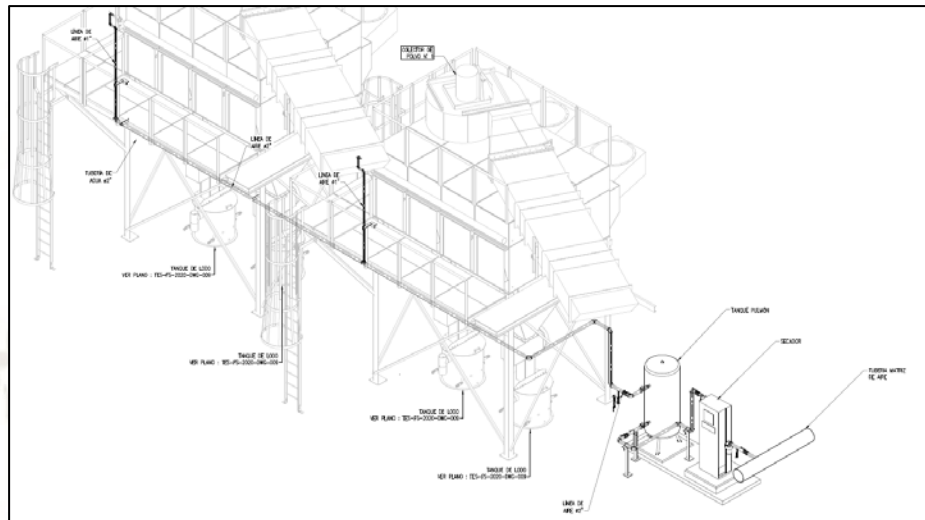
Con los datos de presión y caudal requeridos por el colector determinado se procede a hacer un planteamiento de las tuberías que llegaran con una presión mínima de 90 psig y a un diámetro de 1 pulgada. El aire comprimido que será suministrado a los colectores de polvo será tomado de una tubería de aire comprimido, en la que la presión del aire en el punto de conexión es de 120 psig, sin embargo, el aire colectado es uno que aun cuenta con cierto grado de humedad ya que no ha pasado por un proceso de secado. Debido a las características del aire se considera que el material adecuado para las tuberías del sistema es acero galvanizado.

### 7.2. Dimensionamiento de tuberías y pérdidas hidráulicas en estas.

Se realizo un arreglo de tuberías para alimentar a los colectores de polvo desde una toma de aire en la tubería matriz de 6 pulgadas para luego pasar por el secador de aire, el tanque de almacenamiento de aire y finalmente alimentar a los colectores de polvo.

El arreglo que muestra lo descrito líneas arriba se muestra en la figura 66 y en los planos TES-FS-2020-DWG-006 y TES-FS-2020-DWG-007.

*Figura 66. Vista isométrica de sistema de aire comprimido*



Fuente: Propia

Respecto al arreglo mostrado se verificarán las pérdidas del aire comprimido desde la toma de aire hasta el depósito de aire, para poder determinar la presión máxima con la que se alimenta al sistema de aire comprimido. Determinada esta presión se determinarán las pérdidas por fricción en las tuberías y cuál es la presión máxima de llegada en el colector de polvo N° 1 y N° 2.

Desde el punto de toma de aire hasta el tanque pulmón se tienen elementos que oponen resistencia al paso de flujo, ellos están descritos en la tabla 20.

*Tabla 20. Elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido.*

Tag	Descripción	Cantidad	Longitud equivalente (m)	Longitud equivalente total (m)
1	Tubería 2" SCH 40	5 m	-	-
2	Secador de aire	1	-	-
3	Codo 90°, R/D 1	5	0.8	4

4	Válvula bola de 2", apertura de 100%*	4	0.6	2.4
5	Reductor de 2" a 1 1/4"	1	1	1

Fuente: Propia

El secador de aire ofrece una resistencia al paso del aire, sin embargo, para obtener la información primero se debe de seleccionar el secador de polvo adecuado. Para ello el secador de aire se selecciona en función al caudal total de 100 CFM (47 L/s) con el cual se piensa trabajar en la red, donde el caudal estándar de operación del secador de aire tendrá correcciones de acuerdo a las siguientes figuras:

Figura 67. Factor de corrección por punto de rocío a presión.

<b>Corrección por punto de rocío a presión (<math>K_d</math>):</b>				
<b>Punto de rocío a presión</b>	<b>°C</b>	<b>-20</b>	<b>-40</b>	<b>-70</b>
<b>CD 2-32</b>	$K_d$	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,7</b>
<b>CD 44-60</b>	$K_d$	<b>1</b>	<b>0,88</b>	<b>0,7</b>
<b>CD 65 -1050</b>	$K_d$	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>

Fuente: Atlas Copco, Manual de secadores de aire.

Figura 68. Factor de corrección por presión de entrada

<b>Factor de corrección de presión de entrada (<math>K_p</math>):</b>		<b>Versión 11 bar(e)/160 psi(e)</b>							
<b>Presión de entrada</b>	<b>bar (g)</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
	<b>psi (g)</b>	<b>58</b>	<b>73</b>	<b>87</b>	<b>102</b>	<b>116</b>	<b>131</b>	<b>145</b>	<b>160</b>
<b>CD 2-32</b>	$K_p$	<b>0,62</b>	<b>0,75</b>	<b>0,87</b>	<b>1</b>	<b>1,12</b>	<b>1,25</b>	<b>1,37</b>	<b>1,5</b>
<b>CD 44-1050</b>	$K_p$	<b>0,47</b>	<b>0,68</b>	<b>0,84</b>	<b>1</b>	<b>1,12</b>	<b>1,25</b>	<b>1,37</b>	<b>1,38</b>

Fuente: Atlas Copco, Manual de secadores de aire.

Figura 69. Factor de corrección por temperatura de entrada.

Factor de corrección de temperatura de entrada ( $K_t$ ):							
Temperatura de entrada	°C	25	30	35	40	45	50
CD 2-1050	$K_t$	1	1	1	0,84	0,67	0,55
CD 44-1050	$K_t$	1	1	1	0,84	0,71	0,55

Fuente: Atlas Copco, Manual de secadores de aire.

Como se aprecia en los cuadros mostrados el factor de corrección aparte de depender de parámetros de temperatura y presión es dependiente del modelo de secador de aire seleccionado, por ello debido al requerimiento de caudal se estima que el modelo a seleccionar pueda ser el CD 60 de la marca Atlas Copco, por lo que para obtener la capacidad real de entrada se resuelve la siguiente ecuación:

$$Q_r = Q_d * K_d * K_p * K_t \dots \text{(Ec. 27)}^{13}$$

En donde:

$Q_r$  : Capacidad real de entrada del secador de aire (L/s)

$Q_d$  : Capacidad de diseño de entrada del secador de aire (L/s)

$K_d$ : Factor de corrección por punto de rocío a presión (adimensional)

$K_p$ : Factor de corrección por presión de entrada (adimensional)

$K_t$ : Factor de corrección por temperatura de entrada del aire (adimensional)

La temperatura de punto de rocío en los modelos CD para caudales similares al caudal de diseño es -70 °C, teniendo esto en consideración se tiene 0.70 como factor de corrección por punto de rocío a presión para el modelo CD 60. La presión de ingreso

<sup>13</sup> La ecuación veintisiete proviene del documento ‘Atlas Copco Secadores de aire comprimido’ siendo la ecuación (1) ubicada en la página 13.

al secador de aire es 120 psig, ya que no existe un valor estándar para el factor de corrección se interpolan los valores teniendo finalmente como factor de corrección por presión 1.155. La temperatura del aire dentro de la tubería es asumida igual a la temperatura ambiente siendo 25 °C por lo que el factor de corrección por temperatura es 1. Reemplazando los valores mencionados anteriormente en la ecuación 27 se tiene:

$$Q_r = Q_d * K_d * K_p * K_t = 60 \frac{L}{s} * 0.7 * 1.155 * 1 = 48.51 \frac{L}{s}$$

Como se aprecia el caudal real admisible del secador de aire cumple con el requerimiento de aire de los colectores de polvo, por lo que el secador de aire de la marca Atlas Copco, modelo CD 60 es adecuado.

Determinado el secador de aire seleccionado, este equipo ocasiona una pérdida de presión de 2.2 psig de acuerdo a Atlas Copco, Secadores de aire comprimido, Bélgica.

Finalmente, para definir las pérdidas ocasionadas por distintos elementos, desde el punto de toma de aire hasta el tanque pulmón, para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$\Delta P = 450 * \frac{q_c^{1.85} * l}{d^5 * p} \dots (Ec. 28)^{14}$$

En donde:

$\Delta P$  : Caída de presión (bar)

<sup>14</sup> La ecuación veintiocho proviene del documento ‘Manual del aire comprimido 2011 de Atlas Copco’ siendo la ecuación (3.6.3) ubicada en la página 91.

$q_c$  : Caudal de aire (L/s)

$d$ : Diámetro interno de la tubería (mm)

$l$ : Longitud de la tubería (m)

$p$ : Presión absoluta inicial (bar)

El caudal de aire es 47 L/s , el diámetro interno de la tubería de 2 pulgadas SCH 40 es 52.48 mm , la longitud de tubería es 5 m , a esto se le suman los 7.4 m de longitud equivalente debido a los accesorios de la tabla 26 teniendo finalmente una longitud total de 12.4 m, y la presión inicial del aire es 120 psig es decir 130.7 psia (9.01 bar), reemplazando en la ecuación 28 se tiene:

$$\Delta P = 450 * \frac{47^{1.85} * 12.4}{52.48^5 * 9.01} = 0.002 \text{ bar} = 0.028 \text{ psi}$$

Las pérdidas hidráulicas por la fricción de tubería y accesorios son 0.028 psi, eso sumado a los 2.2 psi de pérdida ocasionados por el secador de aire determinan que la presión de ingreso en el depósito de aire es 117.77 psi.

El siguiente tramo en el que se hallaran las pérdidas hidráulicas es desde el tanque pulmón hasta la “T” donde el flujo se divide en una parte para el colector de polvo N°1 y N° 2, la tabla 21 muestra la información de los elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido en este tramo.

*Tabla 21. Elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido.*

Tag	Descripción	Cantidad	Longitud equivalente (m)	Longitud equivalente total (m)
1	Tubería 2” SCH 40	10 m	-	-

2	Codo 90°, R/D 1	5	0.8	4
3	Válvula bola de 2", apertura de 100%*	2	0.6	1.2
4	Reductor de 2" a 1 1/4"	1	1	1

Fuente: Propia

El caudal de aire es 47 L/s , el diámetro interno de la tubería de 2 pulgadas SCH 40 es 52.48 mm , la longitud de tubería es 10 m , a esto se le suman los 6.2 m de longitud equivalente debido a los accesorios de la tabla 21 teniendo finalmente una longitud total de 16.2 m, y la presión inicial del aire es 117.77 psig es decir 128.47 psia (8.86 bar), reemplazando en la ecuación 28 se tiene:

$$\Delta P = 450 * \frac{47^{1.85} * 16.2}{52.48^5 * 8.86} = 0.003 \text{ bar} = 0.037 \text{ psi}$$

Las pérdidas hidráulicas por la fricción de tubería y accesorios son 0.037 psi, con lo que se determina que la presión en la "T" donde el flujo se divide en dos partes para el colector de polvo N°1 y N°2 es 117.74 psig

El siguiente tramo en el que se hallaran las pérdidas hidráulicas es desde la "T" donde el flujo se divide en una parte para el colector de polvo N°1 y N° 2, hasta el colector de polvo N°1, la tabla 22 muestra la información de los elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido en este tramo.

*Tabla 22. Elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido.*

Tag	Descripción	Cantidad	Longitud equivalente (m)	Longitud equivalente total (m)
1	Tubería 1" SCH 40	3 m	-	-

3	Codo 90°, R/D 1	3	0.4	1.2
4	Válvula bola de 1", apertura de 100%*	2	0.3	0.6
5	Reductor de 2" a 1"	1	1	1
6	Te, salida angular	1	3	3

Fuente: Propia

El caudal de aire es 23.5 L/s , el diámetro interno de la tubería de 1 pulgada SCH 40 es 26.64 mm , la longitud de tubería es 3 m y a esto se le suman los 5.8 m de longitud equivalente debido a los accesorios de la tabla 20 teniendo finalmente una longitud total de 8.8 m, y la presión inicial del aire es 117.74 psig es decir 128.4 psia (8.85 bar), reemplazando en la ecuación 28 se tiene:

$$\Delta P = 450 * \frac{23.5^{1.85} * 7.6}{26.64^5 * 8.85} = 0.036 \text{ bar} = 0.6 \text{ psi}$$

Las pérdidas hidráulicas por la fricción de tubería y accesorios son 0.6 psi, con lo que se determina que la presión en el colector de polvo N°1 es 117.14 psig.

El siguiente tramo en el que se hallaran las pérdidas hidráulicas es desde la “T” donde el flujo se divide en una parte para el colector de polvo N°1 y N° 2, hasta el colector de polvo N°2, la tabla 23 muestra la información de los elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido en este tramo.

*Tabla 23. Elementos que oponen resistencia al paso del aire comprimido.*

Tag	Descripción	Cantidad	Longitud equivalente (m)	Longitud equivalente total (m)
Tramo de 2 pulgadas				

1	Tubería 2" SCH 40	8 m	-	-
2	Codo 90°, R/D 1 (2")	1	0.8	0.8
3	Te, salida angular	1	3	1
Tramo de 1 pulgada				
4	Tubería 1" SCH 40	3 m	-	-
5	Codo 90°, R/D 1 (1")	3	0.4	1.2
6	Válvula bola de 1", apertura de 100%	2	0.3	0.6
7	Reductor de 2" a 1"	1	1	1

Fuente: Propia

La tubería que se dirige desde la "T" hasta el colector de polvo N° 2 tiene dos tramos en diferentes secciones, por lo que primero se calcularán las pérdidas en el tramo de sección mayor y luego en el tramo de sección menor. Respecto al tramo con 2 pulgadas de sección, se tiene que el caudal de aire es 23.5 L/s , el diámetro interno de la tubería de 2 pulgadas SCH 40 es 52.48 mm , la longitud de tubería es 8 m , a esto se le suman los 1.8 m de longitud equivalente debido a los accesorios de la tabla 21 teniendo finalmente una longitud total de 9.8 m, y la presión inicial del aire es 117.74 psig es decir 128.4 psia (8.85 bar), reemplazando en la ecuación 28 se tiene:

$$\Delta P = 450 * \frac{23.5^{1.85} * 9.8}{52.48^5 * 8.814} = 0.0004 \text{ bar} = 0.006 \text{ psi}$$

Las pérdidas hidráulicas por la fricción de tubería y accesorios son 0.006 psi, con lo que la presión tras recorrer el primer tramo de tubería es 117.734 psig. Desarrollando el segundo tramo de tubería con una sección de 1 pulgada se tiene que el caudal de aire es 23.5 L/s , el diámetro interno de la tubería de 1 pulgada SCH 40 es 26.64 mm , la longitud de tubería es 3 m y a esto se le suman los 2.8 m de longitud equivalente debido

a los accesorios de la tabla 21 teniendo finalmente una longitud total de 5.8 m, y la presión inicial del aire es 117.734 psig es decir 127.834 psia (8.855 bar), reemplazando en la ecuación 28 se tiene:

$$\Delta P = 450 * \frac{23.5^{1.85} * 5.8}{52.48^5 * 8.855} = 0.008 \text{ bar} = 0.11 \text{ psi}$$

Las pérdidas hidráulicas por la fricción de tubería y accesorios son 0.11 psi, con lo que se determina que la presión en el colector de polvo N°2 es 117.624 psig.

Como la presión requerida en ambos colectores de polvo es de 90 psig, el suministro de aire supera en 27.14 psi lo requerido para el colector de polvo N°1 y en 27.64 psi lo requerido para el colector de polvo N°2, por ello la diferencia de presión será regulada en el depósito de aire definiendo la presión límite de la válvula de alivio a una presión inferior en 25 psi.

### **7.3. Dimensionamiento de depósito de aire.**

El depósito de aire se dimensiona para que la línea de alimentación a los colectores de polvo no demande mayor capacidad al compresor de la planta y que de esta manera otros procesos de la planta no se vean mermados. Atlas Copco. (2011). Manual del aire comprimido. Bruselas, propone la siguiente ecuación para el dimensionamiento de la capacidad del tanque pulmón.

$$V = \frac{0.25 * q_c * p_1 * T_o}{f_{max} * (p_u - p_l) * T_1} \dots (Ec. 29)^{15}$$

En donde:

$V$  : Volumen del depósito de aire (L)

$q_c$  : Capacidad de ingreso en el tanque (L/s)

$p_1$  : Presión de entrada en el tanque (bar(a))

$T_o$  : Temperatura del aire comprimido en el depósito (K)

$T_1$  : Temperatura del aire comprimido en el depósito (K)

$(p_u - p_l)$  : Diferencia de presión de entrada y de salida del tanque pulmón (bar)

$f_{max}$  : Frecuencia máxima de carga (1/s)

Los parámetros para resolver la siguiente ecuación son los siguientes, el caudal que ingresa al tanque es 47 L/s, la presión de entrada en el depósito es 117.77 psi (8.86 bar(a)), la temperatura de ingreso del aire comprimido es 25°C (298 K) , la temperatura al interior del depósito se asume que será 20°C (293 K), como se mencionó en la sección anterior la presión de ingreso en los colectores de polvo es superior en 27.14 psi, por lo que se establecerá la presión límite de la válvula de alivio del depósito de aire de manera que la diferencia de presión de entrada y de salida del depósito de aire sea de 25psi (1.724 bar) y la frecuencia máxima de carga 1/30 segundos, reemplazando estos valores en la ecuación 29 se tiene:

$$V = \frac{0.25 * 47 * 8.86 * 298}{1/30 * 1.724 * 293} = 1842 L$$

<sup>15</sup> La ecuación veintinueve proviene del documento 'Manual del aire comprimido 2011 de Atlas Copco' siendo la ecuación (3.6.1.1) ubicada en la página 90.

El volumen mínimo del depósito debe ser 1842 L (1.84 m<sup>3</sup>), para dimensionar el depósito se considera un factor de 1.1 para el volumen mínimo del depósito, geometría cilíndrica y la relación entre diámetro y altura del depósito es 1 a 1.5, considerando esto se plantea la siguiente ecuación para determinar el diámetro y la altura del depósito.

$$V * 1.1 = \frac{D^2 * \pi}{4} * H = 1.5 * \frac{D^3 * \pi}{4} \dots (Ec. 30)$$

En donde:

$V$  : Volumen del depósito de aire (m<sup>3</sup>)

$D$  : Diámetro del depósito de aire (m)

$H$ : Altura del depósito de aire (m)

Despejando la ecuación anterior en función del diámetro se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V * 4 * 1.1}{\pi * 1.5}} \dots (Ec. 31)$$

En donde:

$V$  : Volumen del depósito de aire (m<sup>3</sup>)

$D$  : Diámetro del depósito de aire (m)

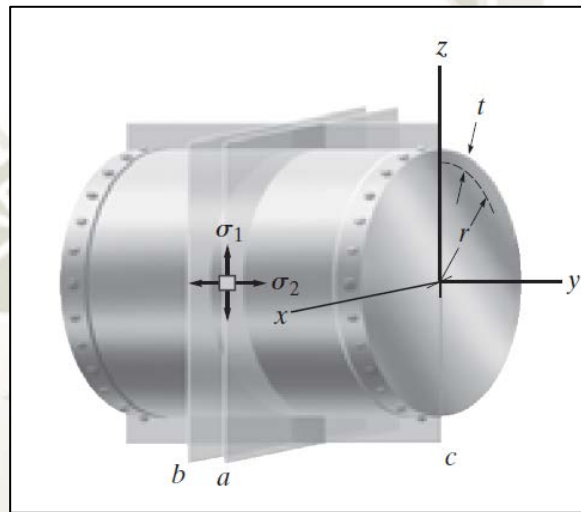
Reemplazando el volumen mínimo del depósito de 1.842 m<sup>3</sup> en la ecuación 31, se tiene:

$$D = \sqrt[3]{\frac{1.84 \text{ m}^3 * 1.1 * 4}{\pi * 1.5}} = 1.372 \text{ m}$$

Para determinar el espesor de las planchas que conforman el recipiente Russel C. Hibbeler (2011), Mechanics of Materials, 8th edition, Pearson Education, menciona

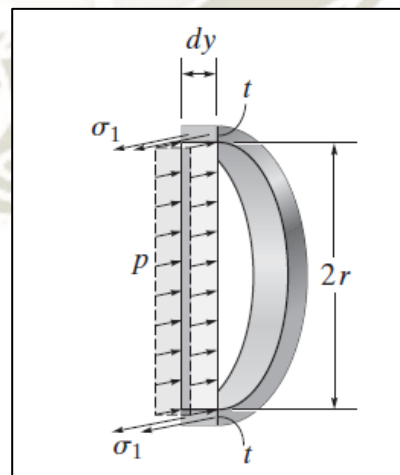
que los recipientes que almacenan fluidos a presión sufren esfuerzos en la dirección circunferencial  $\sigma_1$  (Figura 71) y esfuerzos en la dirección axial  $\sigma_2$  (Figura 72), los cuales determinan el espesor de la plancha de la circunferencia y el espesor de las planchas circulares respectivamente.

Figura 70. Vista isométrica de recipiente a presión.



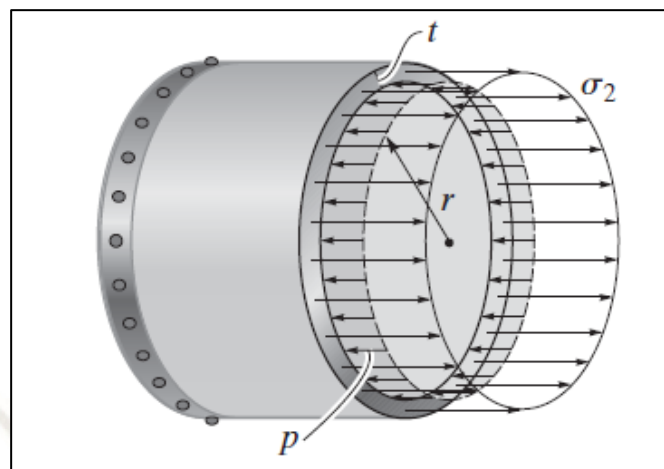
Fuente: Mechanics of materials 8<sup>th</sup> edition, Russel C Hibbeler.

Figura 71. Diagrama de cuerpo libre de esfuerzo circunferencial.



Fuente: Mechanics of materials 8<sup>th</sup> edition, Russel C Hibbeler.

Figura 72. Diagrama de cuerpo libre de esfuerzo axial.



Fuente: Mechanics of materials 8<sup>th</sup> edition, Russel C Hibbeler.

Para determinar el espesor de la plancha que es sometida al esfuerzo circunferencial se utiliza la siguiente ecuación:

$$t = \frac{p * r}{\sigma_1} \dots (Ec. 32)^{16}$$

En donde:

$\sigma_1$  : Esfuerzos circunferenciales (MPa)

$p$  : Presión interna del depósito (MPa)

$r$  : Radio interno del depósito (m)

$t$  : Espesor de plancha del depósito (m)

La presión interna del recipiente es la presión de ingreso del aire al depósito es decir 117.77 psi (0.812 MPa), el radio interno del depósito es 0.688 m y los esfuerzos circunferenciales del depósito serán como máximo 137 MPa considerando que el material con el que se construirá es acero inoxidable AISI 316 cuyo esfuerzo de fluencia

<sup>16</sup> La ecuación treinta y dos proviene del libro 'Mechanics of Materials, 8th edition' siendo la ecuación (8.1) ubicada en la página 406.

es 205 MPa y a este se le aplicara un factor de seguridad de 1.5, reemplazando los parámetros anteriores en la ecuación 32 se tiene:

$$t = \frac{0.812 \text{ MPa} * 0.688 \text{ m}}{137 \text{ MPa}} = 4.1 \text{ mm}$$

El espesor obtenido es 3.5 mm por lo que se utilizara el inmediato superior que ofrece el mercado para la plancha es decir 5 mm.

Para determinar el espesor de la plancha que es sometida al esfuerzo axial se usa la siguiente ecuación:

$$t = \frac{p * r}{\sigma_2 * 2} \dots (\text{Ec. 33})^{17}$$

En donde:

$\sigma_2$  : Esfuerzos axiales (MPa)

$p$  : Presión interna del depósito (MPa)

$r$ : Radio interno del depósito (m)

$t$ : Espesor de plancha del depósito (m)

La presión interna del recipiente es la presión de ingreso del aire al depósito es decir 117.77 psi (0.812 MPa), el radio interno del depósito es 0.688 m y los esfuerzos axiales del depósito serán como máximo 160 MPa considerando que el material con el que se construirá es acero estructural A36 cuyo esfuerzo de fluencia es 240 MPa y a este se le

---

<sup>17</sup> La ecuación treinta y dos proviene del libro 'Mechanics of Materials, 8th edition' siendo la ecuación (8.2) ubicada en la página 406.

aplicara un factor de seguridad de 1.5, reemplazando los parámetros anteriores en la ecuación 33 se tiene:

$$t = \frac{0.812 \text{ MPa} * 0.688 \text{ m}}{137 \text{ MPa} * 2} = 2.01 \text{ mm}$$

El espesor obtenido es 2.01 mm por lo que se utilizará el inmediato inferior que ofrece el mercado para la plancha es decir 2 mm.

De acuerdo a los cálculos realizados el depósito de aire tendrá una altura de 2 m, 1.375 m de diámetro interno, un espesor de plancha de 5 mm de espesor para la plancha que conforme la circunferencia y 2mm de espesor para las planchas superior e inferior.

## CAPITULO VIII. PRESUPUESTO

### 8.1. Introducción

La tesis desarrollada involucra cuatro subsistemas que se han desarrollado en los capítulos anteriores, el objetivo del siguiente capítulo es recopilar la información de cantidad de elementos utilizados y establecer un estimado de costo con lo mostrado en las tablas anteriores y en los planos de ingeniería básica desarrollados.

Así mismo los precios considerados a los equipos son estimaciones realizadas de acuerdo a comparación de precios estipulados a equipos similares en otros presupuestos, de la misma manera el precio considerado para los precios unitarios de distintas partidas, esto es una práctica común para el desarrollo de presupuestos en ingeniería básica.

AACE International, Recommended Practice 17R-97, Cost Estimate Classification System, AACE International, Morgantown, menciona que la clasificación del presupuesto de este nivel de desarrollo es uno de clase 2, en la que se propone lo siguiente al momento de elaborar el presupuesto:

- Estimados de clase 2 incluyen varias partidas que involucran costos unitarios.
- Estimado de clase 2 puede utilizar comparaciones con otros presupuestos para obtener información del costo, esto aplica para subcontratos, labores de detalle, material y equipos.
- Estimado de clase 2 tiene un rango de precisión con valores inferiores al del presupuesto de -5% a -10% y con valores superiores al del presupuesto entre +5% a +15%.

Dispuestos los parámetros bajo los cuales se desarrollará el presupuesto a continuación se desarrollarán dos apartados, el apartado 8.2 desarrolla los estimados de costos de las partidas unitarias y el apartado 8.3 agrupará las partidas unitarias y los estimados aplicados por comparación para los subcontratos y equipos.

## 8.2. Metrado

Cada uno de los subsistemas desarrollados cuenta con dos componentes para su funcionamiento, un equipo mecánico (colector de polvo, bombas hidráulicas, bomba sumidero y compresor) que es el que genera la energía para el transporte del fluido y un medio por el cual transita el fluido (ductos y tuberías). Los medios por los cuales transitará el fluido a diferencia de los equipos involucran cantidades diferentes a una unidad, por lo que primero para poder estimar el precio que costara todo el sistema es necesario determinar la cantidad de material necesaria para el desarrollo del proyecto. El primer grupo de partidas corresponde a los ductos de colección de polvo y los soportes estructurales N°1 y N° 2 , tomando la información desarrollada en el capítulo 3 para los sistema de colección de polvo N°1 y N° 2, la información de diseño que se utilizará para calcular el peso de los tramos rectos de los sistemas de colección de polvo N°1 y N°2, considerando los espesores presentados en la tabla 1 y que la densidad del acero es  $7850 \text{ kg/m}^3$ , el peso total de los ductos rectos que es 7722 kg, el cuadro resumen que presenta el metrado está en el anexo 10. Lo correspondiente a los accesorios, codos, pantalones y campanas hechos de acero Hardox 400 constituyen un total de 3500 kg, el cuadro resumen que presenta el metrado está en el anexo 11. En resumen, la cantidad de acero que requieren los ductos del sistema de colección de polvo se muestra en la tabla 24 y la cantidad de acero que se requiere para los soportes estructurales se muestra en la tabla 25.

Tabla 24. Cantidad de acero para ductos de colección de polvo.

Sistema	Cantidad (kg)	
	Acero A36	Hardox 400
Colección de polvo N° 2	4460	1865
Colección de polvo N° 1	3262	1628
Total	7722	3493

Fuente: Propia

Tabla 25. Cantidad de acero para soportes estructurales.

Sistema	Cantidad (kg)
	Acero A36
Soporte estructural N° 1	9262
Soporte estructural N° 2	3550
Total	12812

Fuente: Propia

El segundo grupo de partidas corresponde a las tuberías de acero utilizadas para el sistema de alimentación de agua, dicha información está desarrollada en el capítulo 5. La información de diseño que se utilizará es la cantidad de metros lineales de tubería planteados para el desarrollo del proyecto, las tuberías utilizadas se presentan en la tabla 26.

Tabla 26. Tuberías utilizadas en el sistema de alimentación de agua.

Ítem	Descripción	Tamaño	Cantidad (m)
1	Tubería, espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	6"	3
2	Tubería, espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	4"	33
3	Tubería, espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	2"	56
4	Tubería, espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	1/2"	13

Fuente: Propia

Para las partidas unitarias se utilizará precios diferentes considerando que el suministro y montaje de tuberías tiene un precio distinto de acuerdo al tamaño.

El tercer grupo de partidas corresponde a las tuberías de acero utilizadas para el sistema de transporte agua-polvo, dicha información está desarrollada en el capítulo 6. La información de diseño que se utilizará es la cantidad de metros lineales de tubería planteados para el desarrollo del proyecto, dicha información se encuentra en la tabla 17, donde se menciona que se utilizan 120 m de tubería de 4", espesor estándar, material acero A-53-B.

El cuarto grupo de partidas corresponde a las tuberías de acero galvanizado y al depósito de aire utilizados para el sistema de aire comprimido, dicha información está desarrollada en el capítulo 7. La información de diseño que se utilizará es la cantidad de metros lineales de tubería planteados para el desarrollo del proyecto, y el peso del depósito de aire cuyo material es acero inoxidable AISI 316, dicha información se encuentra en la tabla 27.

*Tabla 27. Materiales utilizados en el sistema de aire comprimido.*

Ítem	Descripción	Tamaño	Cantidad (m)
1	Tubería, espesor estándar, material acero A53-B galvanizado	2"	23
2	Tubería, espesor estándar, material acero A53-B galvanizado	1"	6
3	Acero AISI 316 para depósito de aire (kg)	-	443

Fuente: Propia

Los cuatro grupos de partidas anteriores cuentan con accesorios los cuales están agrupados en la tabla 28.

Tabla 28. Accesorios utilizados en el proyecto.

Accesorio	Tamaño	Sistema			Total
		Agua	Aire	Mezcla	
<b>Codos y Y's</b>					
Codo 90°, R/D 3, clase 150, A197	4"			8	8
Codo 90°, R/D 1, clase 150, A197	6"	3			3
Codo 90°, R/D 1, clase 150, A197	4"	13			13
Codo 90°, R/D 1, clase 150, A197	2"	24			24
Codo 90°, R/D 1, clase 150, A197	1/2"	28			28
"T" reductora, clase 150, A197	6" x 4"	1			1
"T", clase 150, A197	4"	9			9
"T", clase 150, A197	2"	4			4
Codo 90°, R/D 1, clase 150, A197 galvanizado	2"		11		11
Codo 90°, R/D 1, clase 150, A197 galvanizado	1/2"		6		6
<b>Válvulas</b>					
Mariposa, clase 175, tipo "waffer"	6"	1			1
Mariposa, clase 175, tipo "waffer"	4"	10		2	12
Pinch, clase 150, accionamiento manual	4"	1			1
Pinch, clase 150, accionamiento eléctrico	4"	1			1
Bola, 1000 PSI, acero, accionamiento manual	2"	5			5
Bola, 1000 PSI, acero, accionamiento manual	1/2"	20			20
Bola, 1000 PSI, bronce, accionamiento manual	2"		6		6
Bola, 1000 PSI, bronce, accionamiento manual	1"		5		5
<b>Reducciones</b>					
Reducción, clase 150, A197	6" x 4"	1			1
Reducción, clase 150, A197	4" x 2"	2			2
Reducción, clase 150, A197	4" x 3"	2			2
Reducción, clase 150, A197	4" x 2"	4			4
Reducción, clase 150, A197 galvanizado	2" x 1"		2		2
<b>Bridas</b>					
Brida, clase 150, A105	6"	2			2
Brida, clase 150, A105	4"	39			39
<b>Otros</b>					
Flujómetro magnético	4"	1			1
Weldolet, estandar, A 105	4" x 1/2"	4			4
Weldolet, estandar, A 105	2" x 1/2"	24			24
Empaquetadura, clase 150, FF, espesor 3 mm	6"	2			2
Empaquetadura, clase 150, FF, espesor 3 mm	4"	29			29

Fuente: Propia

Los cuatro grupos de partidas anteriores cuentan con equipos los cuales están agrupados en la tabla 29.

*Tabla 29. Equipos utilizados en el proyecto.*

Item	Equipo	Sistema	Cantidad
1	Colector de polvo CAMFILL, GS 24	Colección de polvo	2
2	Tanque mezclador de agua y polvo CAMFILL, 60 psig	Colección de polvo	4
3	Bomba centrífuga GOULD PUMP, 3196/HT3196 2x3-13	Alimentación de agua	2
4	Bomba sumidero GOULD PUMP, API 3171 2.5x3-8	Transporte de mezcla polvo-agua	1
5	Secador de aire ATLAS COPCO, CD 60	Aire comprimido	1

Fuente: Propia

Determinada la cantidad total de elementos necesarios para el desarrollo del proyecto, se procede a desarrollar el presupuesto.

### 8.3. Presupuesto

El presupuesto involucra partidas para suministro de equipos y materiales, construcción y pre operaciones y gastos indirectos, cuyos precios unitarios son tomados por comparación con otros proyectos similares. El suministro de equipos y materiales involucra el precio de los equipos y el flete del transporte hacia la ubicación de desarrollo de proyectos y el costo directo de los materiales, tuberías y accesorios para el desarrollo del proyecto. La construcción y pre operaciones involucra, costos por trabajos preliminares, fabricación y montaje y preoperaciones, respecto a los trabajos preliminares se consideran partidas para movilización y desmovilización de equipos y herramientas que tendrá un costo global de 1200 dólares, acondicionamiento de almacén para materiales, equipos e implementos de seguridad que tendrá un global de 2400 dólares y una partida para trazo y replanteo que tendrá un global de 2200 dólares,

los gastos de pre operaciones considera, gestión y aseguramiento de la calidad y pruebas y puesta en marcha en ambos casos se considera un costo global de 9000 dólares. Respecto a los gastos indirectos el presupuesto agrupa dentro de estos gastos, los gastos indirectos de la contratista, la contingencia del proyecto y la ingeniería del proyecto, donde se estima que los gastos indirectos de la contratista abarcan el 35% de la construcción y pre operaciones, la contingencia será un 15% de la suma del suministro de equipos y materiales con la construcción y preoperaciones y la ingeniería se estima tendrá un valor del 4% de la suma del suministro de equipos y materiales con la construcción y preoperaciones.

El presupuesto desarrollado se encuentra en el anexo 12, y el resumen de costos de acuerdo a las divisiones explicadas anteriormente se presenta en la tabla 30.

*Tabla 30. Resumen de presupuesto del proyecto.*

<b>Grupo de partida</b>	<b>Costo US\$</b>
Suministro de equipos y materiales	541,800.00
Construcción y preoperaciones (B)	150,100.00
Parcial 1 (C=A+B)	691,900.00
Gastos indirectos cliente (D)	184,000.00
Costo total	875,900.00

Fuente: Propia

Finalmente, el costo total del proyecto es 897,200.00 dólares, este costo incluye IGV.

## CONCLUSIONES

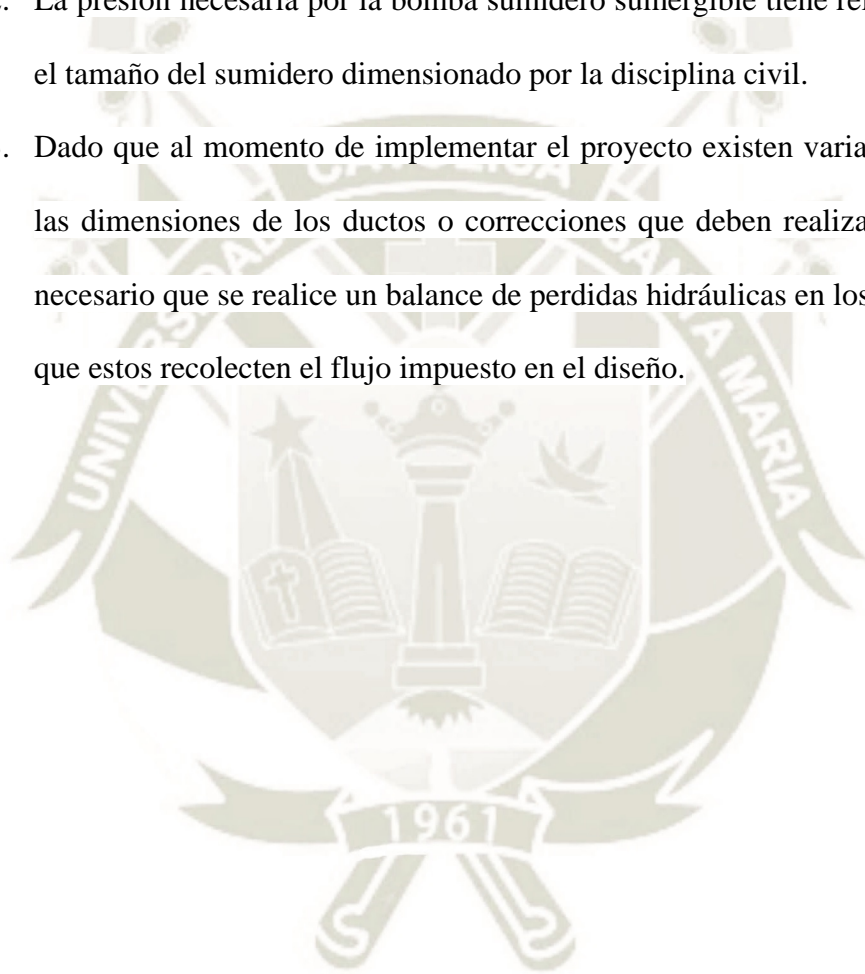
1. Utilizando el sistema de colección mencionado se logró reducir la cantidad de polvo en el ambiente desde un valor de  $140000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire hasta un valor de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de aire, garantizando que se cumplirá lo establecido en el decreto supremo D.S. 074-2001-PCM, reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire.
2. Se tendrán cinco puntos de colección de polvo por chancadora secundaria, dos puntos de colección en la faja transportadora, dos puntos de colección en la chancadora secundaria y un punto de colección en el chute de transferencia.
3. Cada punto de colección en la faja transportadora tiene un flujo de colección de  $0.939 \text{ m}^3/\text{s}$ , cada punto de colección en la chancadora secundaria tienen un flujo de colección de  $0.87 \text{ m}^3/\text{s}$  y el punto de colección en el chute de transferencia tiene un flujo de colección de  $2.16 \text{ m}^3/\text{s}$ .
4. Se seleccionaron los perfiles estructurales de acuerdo a lo indicado en la tabla 11, siendo el perfil con un mayor ratio de esfuerzo el HSS4x4x1/4, utilizado en los soportes N°5 y N° 6 de la estructura soporte N°1.
5. El colector de polvo a usar en el sistema de colección de polvo es de la marca CAMFIL modelo GSX24, el ventilador del colector de polvo es de la marca “The New York Blower Company” siendo el modelo 308, el cual tiene una potencia eléctrica de 45 HP.
6. La bomba centrífuga a usar en el sistema de alimentación de agua es de la marca GOULD PUMP, modelo 3196/HT3196 2x3-13, el motor eléctrico de la bomba tiene una potencia eléctrica de 25 HP.

7. La bomba sumidero sumergible a usar en el sistema de transporte de la mezcla polvo-agua es de la marca GOULD PUMP, modelo API 3171 2.5x3-8, el motor eléctrico de las bombas tiene una potencia eléctrica de 7.5 HP
8. El secador a utilizar en el sistema de aire comprimido es de la marca ATLAS COPCO, modelo CD 60 y el depósito de aire tiene una capacidad de 2 m<sup>3</sup>
9. El presupuesto de la disciplina mecánica tuberías para el proyecto es de 875,900.00 dólares.



## RECOMENDACIONES

1. El presupuesto y el desarrollo del proyecto solo incluyen partidas de la disciplina mecánica, debe considerarse un trabajo multidisciplinario para afinar el monto del presupuesto.
2. La presión necesaria por la bomba sumidero sumergible tiene relación directa con el tamaño del sumidero dimensionado por la disciplina civil.
3. Dado que al momento de implementar el proyecto existen variaciones respecto a las dimensiones de los ductos o correcciones que deben realizarse en campo, es necesario que se realice un balance de pérdidas hidráulicas en los ramales, a fin de que estos recolecten el flujo impuesto en el diseño.



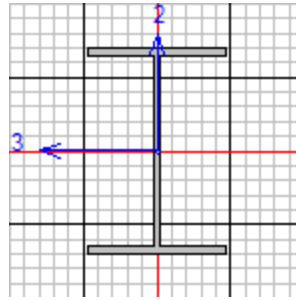
## REFERENCIA

- AACE International, Recommended Practice 17R-97, Cost Estimate Classification System, AACE International, Morgantown
- Abulnaga, B. E. (2002). Slurry Systems Handbook. McGraw-Hill.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1988), Industrial Ventilation. 20th Edition of Recommended Practice Edición en español. Valencia: Librería de la Generalitat Valenciana.
- Andrew B. Cecala, A. D. (2012). Dust Control Handbook for Industrial Mineral Mining and Processin. Pittsburg.
- Atlas Copco. (2008). Compressed air drying.
- Atlas Copco. (2011). Manual del aire comprimido. Bruselas.
- C. Hibbeler (2011), Mechanics of Materials, 8th edition, Pearson Education
- Hosokawa Mikropul Environmental System, Cartridge Dust Collectors, boletín del producto, 1997,
- Howard L. Hartman (1997), Mine Ventilation and Air Conditioning. Toronto: Editorial John Wiley and Sons
- Menon, E. S. (2005). Piping Calculations Manual. . McGraw-Hill.
- Metso Minerals. (2006). Conceptos básicos de bombas de pulpa. Suecia.
- RAE. (19 de 06 de 2019). RAE. Obtenido de <http://lema.rae.es/drae2001/srv/search?id=ZS3o5fHPDDXX2fbVvSc9>
- Todd R. Swinderman, P. A. (2009). Foundations. El recurso practico para mayor limpieza, seguridad y productividad en el control de polvo y material. Illinois: Martin Corporation.
- Wilson, Addie (2006), Slurry Transport Using Centrifugal Pumps. 3th Edition, New York: Springer
- Yunus A. Çengel (2011), Transferencia de Calor y Masa, Fundamentos y Aplicaciones, México D.F. : McGraw-Hill Companies, Inc.

## ANEXOS

1. Anexo 1: Análisis de elemento estructural.
2. Anexo 2: Colectores de Polvo disponibles
3. Anexo 3: Ventilador de The New York Blower Company
4. Anexo 4: Workbench de simulación en AFT Fathom.
5. Anexo 5: Resultados de la simulación en AFT Fathom para dimensionar bomba centrífuga.
6. Anexo 6: Curva de bomba vs curva del sistema, sin uso de válvula de control.
7. Anexo 7: Curva de bomba vs curva del sistema, con uso de válvula de control.
8. Anexo 8: Resultados de la simulación en AFT Fathom usando válvula de control.
9. Anexo 9: Curva de bomba vs curva del sistema, para bomba sumidero.
10. Anexo 10: Metrado de ductos en acero A36.
11. Anexo 11: Metrado de ductos en acero Hardox 400.
12. Anexo 12: Presupuesto del proyecto.

# Anexo 1



AISC360-05/IBC2006 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)  
Units : KgF, m, C

Frame : 252      X Mid: 6.600      Combo: COMB2      Design Type: Beam  
Length: 1.200      Y Mid: -1.250      Shape: W6X9      Frame Type: SMF  
Loc : 0.600      Z Mid: 8.450      Class: Compact      Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis  
D/C Limit=0.950      2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed  
AlphaPr/Py=0.027      AlphaPr/Pe=0.009      Tau\_b=1.000      EA factor=0.800      EI factor=0.800  
Ignore Seismic Code? Yes      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

SDC: D      I=1.000      Rho=1.000      Sds=0.500  
R=8.000      Omega0=3.000      Cd=5.500  
PhiB=0.900      PhiC=0.900      PhiTY=0.900      PhiTF=0.750  
PhiS=0.900      PhiS-RI=1.000      PhiST=0.900

A=0.002      I33=6.826E-06      r33=0.063      S33=9.110E-05      Av3=9.109E-04  
J=0.000      I22=0.000      r22=0.023      S22=1.830E-05      Av2=6.471E-04  
E=2.039E+10      fy=25310506.54      Ry=1.500      z33=1.021E-04      Cw=0.000  
RLLF=1.000      Fu=40778038.3      z22=2.819E-05

## STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB2)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.600	1181.361	938.552	0.347	1484.053	-3.270	0.031

## PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2,H1-1b)

D/C Ratio: 0.419 = 0.015 + 0.404 + 0.000  
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

## AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1.2,H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Minor Bending	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

	Lltb	Kltb	Cb
LTB	1.000	1.000	1.348

	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
Axial	1181.361	34133.504	39386.336

	Mu Moment	phi*Mn Capacity	phi*Mn No LTB
Major Moment	938.552	2325.587	2325.587
Minor Moment	0.347	642.056	

SHEAR CHECK

	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	1484.053	9826.989	0.151	OK
Minor Shear	3.270	14939.179	0.000	OK

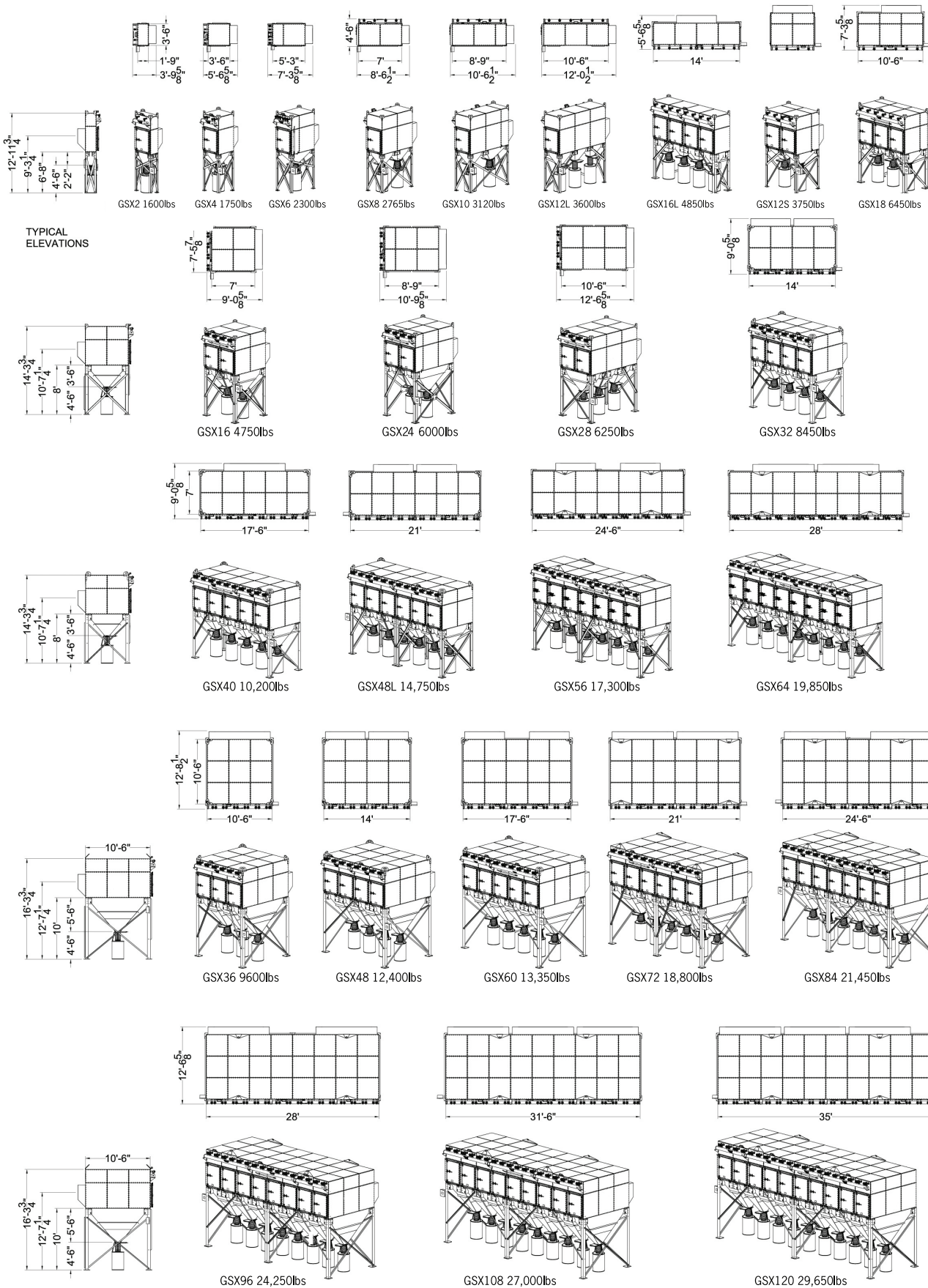
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	VMajor	VMajor
	Left	Right
Major (V2)	2781.318	1493.824



# Anexo 2

# Camfil APC Gold Series X-Flo Models



**Model Code#**  
 GSX — # of cartridges  
 24 — Gold Series X-Flo



# Anexo 3

<b>SIZE 278</b>				<b>WITH EVASE</b>		Wheel diameter: 27.0" Wheel circumference: 7.07'				Capacity outlet area: 4.60ft. <sup>2</sup>				Maximum BHP = 4.08 $\left[ \frac{\text{RPM}}{1000} \right]^3$							
CFM	OV	10"SP		12"SP		14"SP		16"SP		18"SP		20"SP		24"SP		28"SP		32"SP		36"SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
9000	1957	1799	20.1	1931	24.0	2062	28.3	2178	32.4	2290	36.7	2405	41.4	2623	51.3	2829	62.0				
10000	2174	1846	22.5	1980	26.9	2100	31.2	2213	35.7	2323	40.2	2435	45.2	2641	55.2	2835	65.8	3018	76.8		
11000	2391	1906	25.3	2026	29.7	2144	34.4	2255	39.1	2364	44.1	2467	49.0	2663	59.3	2859	70.6	3035	81.8	3207	93.8
12000	2609	1967	28.4	2081	33.0	2192	37.8	2303	42.9	2411	48.2	2514	53.7	2704	64.4	2885	75.6	3056	87.2	3224	99.5
13000	2826	2030	31.7	2144	36.7	2256	42.0	2361	47.3	2457	52.4	2553	57.9	2745	69.6	2921	81.4	3090	93.5	3255	106
14000	3043	2099	35.4	2210	40.8	2317	46.3	2417	51.8	2514	57.4	2605	62.9	2786	74.8	2959	87.1	3124	99.9	3288	113
15000	3261	2170	39.4	2278	45.1	2376	50.6	2477	56.6	2570	62.4	2663	68.5	2842	81.1	3005	93.5	3169	107	3322	120
16000	3478	2243	43.7	2343	49.5	2443	55.6	2541	61.9	2636	68.3	2719	74.1	2889	86.9	3050	100	3213	114		
17000	3696	2318	48.4	2416	54.5	2509	60.6	2609	67.6	2695	73.8	2786	80.8	2949	93.9	3103	107	3257	121		

<b>SIZE 308</b>				<b>WITH EVASE</b>		Wheel diameter: 30.0" Wheel circumference: 7.85'				Capacity outlet area: 5.62 ft. <sup>2</sup>				Maximum BHP = 6.92 $\left[ \frac{\text{RPM}}{1000} \right]^3$							
CFM	OV	10"SP		12"SP		14"SP		16"SP		18"SP		20"SP		24"SP		28"SP		32"SP		36"SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
11000	1957	1617	24.6	1733	29.3	1848	34.4	1955	39.6	2059	44.9	2165	50.9	2357	62.8	2547	76.3				
12250	2180	1658	27.5	1776	32.8	1887	38.3	1992	43.9	2094	49.7	2190	55.5	2372	67.5	2551	80.8	2721	94.9		
13500	2402	1710	31.0	1821	36.5	1925	42.1	2028	48.1	2122	53.9	2217	60.1	2398	73.1	2571	86.7	2735	101	2882	115
14750	2625	1768	34.9	1874	40.7	1972	46.5	2075	53.0	2162	58.9	2258	65.8	2426	78.7	2593	92.8	2752	108	2896	122
16000	2847	1827	39.1	1929	45.2	2028	51.6	2120	58.0	2208	64.4	2298	71.4	2462	85.0	2625	99.9	2781	115	2925	131
17250	3069	1887	43.5	1986	50.1	2081	56.8	2174	63.8	2258	70.4	2343	77.5	2512	92.6	2665	108	2811	123	2954	139
18500	3292	1949	48.3	2045	55.3	2137	62.3	2226	69.6	2312	77.0	2394	84.2	2553	99.6	2705	116	2850	132	2993	149
19750	3514	2017	53.8	2111	61.2	2200	68.7	2287	76.4	2370	84.1	2448	91.6	2601	107	2745	123	2889	141		
21000	3737	2087	59.8	2175	67.3	2262	75.2	2346	83.2	2426	91.3	2507	99.6	2654	116	2798	133	2936	151		

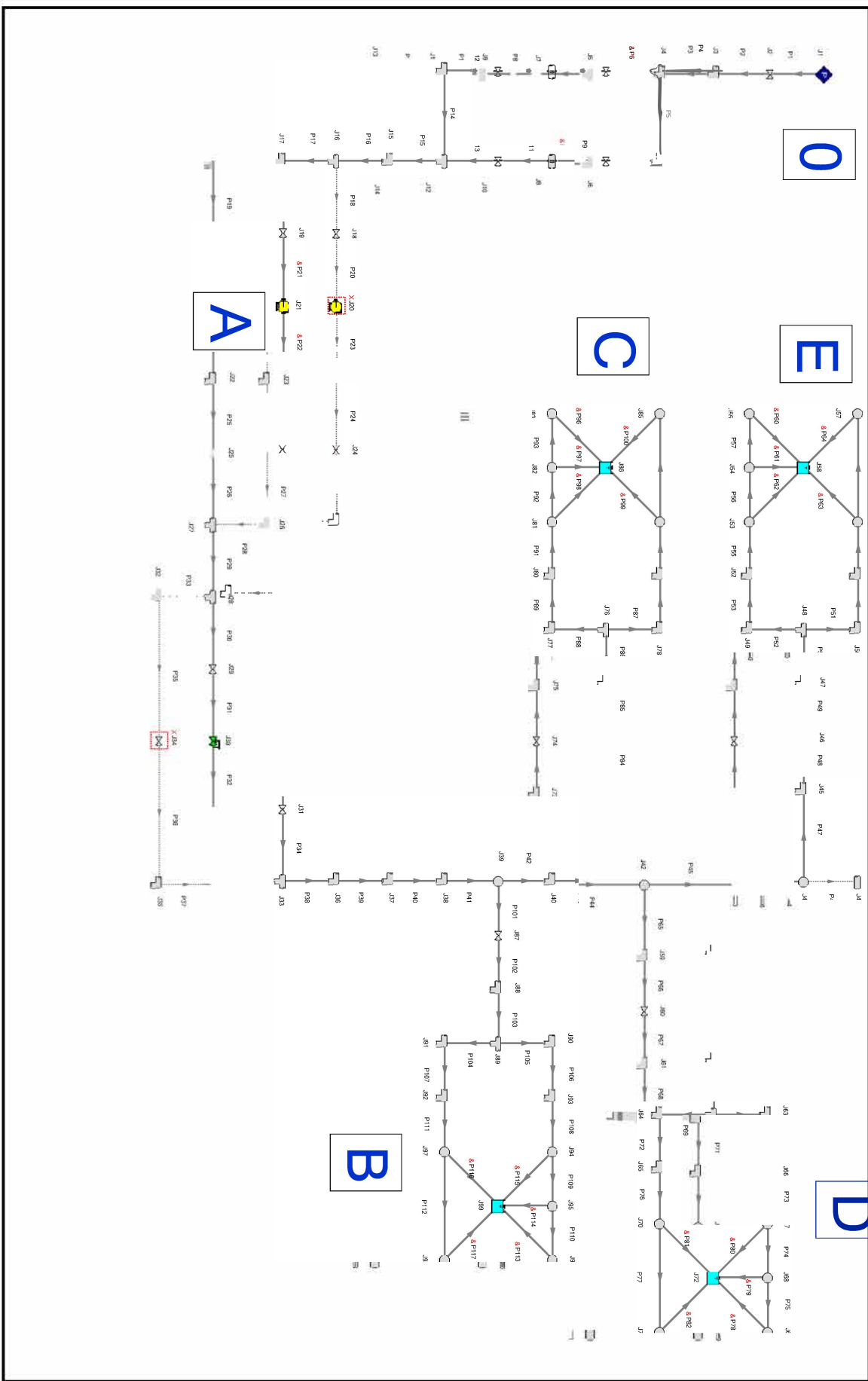
<b>SIZE 338</b>				<b>WITH EVASE</b>		Wheel diameter: 33.0" Wheel circumference: 8.64'				Capacity outlet area: 6.83 ft. <sup>2</sup>				Maximum BHP = 11.2 $\left[ \frac{\text{RPM}}{1000} \right]^3$							
CFM	OV	10"SP		12"SP		14"SP		16"SP		18"SP		20"SP		24"SP		28"SP		32"SP		36"SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
12000	1757	1435	26.7	1551	32.4	1660	38.3	1762	44.4	1860	50.7	1960	57.7	2137	71.8						
13750	2013	1479	30.7	1584	36.5	1687	42.8	1789	49.6	1883	56.2	1970	62.8	2150	78.0	2309	93.1				
15500	2269	1529	35.1	1630	41.5	1729	48.3	1823	55.1	1913	62.3	1999	69.4	2167	84.7	2326	101	2475	118	2620	136
17250	2526	1586	40.3	1682	47.0	1780	54.5	1867	61.5	1950	68.8	2041	77.2	2195	92.5	2346	109	2489	126	2628	144
19000	2782	1648	46.1	1740	53.3	1827	60.6	1919	68.9	1997	76.3	2082	84.9	2230	101	2384	119	2524	138	2651	155
20750	3038	1710	52.1	1802	60.2	1887	68.1	1969	76.2	2053	85.0	2127	93.2	2279	111	2415	129	2551	148	2685	168
22500	3294	1776	58.9	1866	67.7	1952	76.5	2026	84.6	2106	93.8	2182	103	2325	121	2460	140	2595	161	2719	181
24250	3551	1847	66.7	1931	75.6	2010	84.5	2090	94.2	2168	104	2240	113	2377	132	2511	153	2638	173		
26000	3807	1923	75.5	2001	84.6	2078	94.2	2152	104	2227	114	2297	124	2433	145	2560	165	2680	186		

<b>SIZE 368</b>				<b>WITH EVASE</b>		Wheel diameter: 36.5" Wheel circumference: 9.56'				Capacity outlet area: 8.41 ft. <sup>2</sup>				Maximum BHP = 18.5 $\left[ \frac{\text{RPM}}{1000} \right]^3$							
CFM	OV	10"SP		12"SP		14"SP		16"SP		18"SP		20"SP		24"SP		28"SP		32"SP		36"SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
18000	2140	1363	40.6	1456	48.1	1545	55.9	1635	64.4	1716	72.6	1798	81.5	1953	100	2098	119	2233	139		
20000	2378	1405	45.9	1496	54.0	1584	62.5	1667	71.2	1747	80.2	1822	89.0	1970	108	2108	128	2247	149	2373	171
22000	2616	1455	52.0	1542	60.6	1625	69.6	1703	78.5	1783	88.2	1858	98.0	2002	118	2137	139	2264	160	2387	182
24000	2854	1509	58.9	1593	68.1	1673	77.6	1752	87.5	1822	96.9	1893	107	2033	128	2165	150	2290	173	2403	194
26000	3092	1564	66.2	1645	76.1	1722	86.1	1798	96.5	1865	106	1937	117	2069	139	2200	162	2317	185	2438	210
28000	3329	1623	74.5	1698	84.6	1773	95.3	1846	106	1915	117	1985	129	2111	151	2234	175	2350	199		
30000	3567	1682	83.4	1757	94.3	1830	106	1901	117	1968	129	2030	140	2156	164	2274	188	2391	214		
32000	3805	1743	93.2	1817	105	1885	116	1954	129	2019	141	2084	153	2205	178	2318	203	2430	230		
34000	4043	1809	104	1878	116	1945	129	2009	141	2072	154	2136	167	2253	193	2367	220				

<b>SIZE 408</b>				<b>WITH EVASE</b>		Wheel diameter: 40.25" Wheel circumference: 10.5'				Capacity outlet area: 10.2 ft. <sup>2</sup>				Maximum BHP = 38.2 $\left[ \frac{\text{RPM}}{1000} \right]^3$							
CFM	OV	10"SP		12"SP		14"SP		16"SP		18"SP		20"SP		24"SP		28"SP		32"SP		36"SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
23000	2250	1211	52.6	1300	63.0	1387	74.2	1468	85.4	1552	97.9	1624	109	1780	136	1916	163				
26000	2544	1249	60.2	1336	71.5	1415	82.8	1494	94.9	1569	107	1646	121	1784	147	1920	176	2047	205		
29000	2838	1291	68.8	1377	81.0	1455	93.4	1528	106	1603	120	1674	133	1806	161	1936	191	2058	222	2175	254
32000	3131	1333	78.3	1418	91.4	1492	104	1565	117	1635	131	1706	146	1834	176	1961	208	2071	238	2186	272
35000	3425	1379	89.2	1461	103	1535	117	1609	131	1675	145	1742	161	1868	192	1985	224	2102	259		
38000	3718	1429	101	1504	115	1580	130	1650	145	1718	161	1781	176	1906	210	2016	242	2132	279		
41000	4012	1482	115	1556	130	1626	146	1694	161	1763	178	1824	194	1942	228	2058	264	2161	299		
44000	4305	1533	130	1605	146	1673	162	1739	179	1801	195	1864	212	1982	248	2092	284				
47000	4599	1588	146	1659	163	1726	181	1790	198	1851	216	1912	234	2026	270	2137	309				

Performance shown is for RTS Fans with evase discharges, with outlet ducts, and with or without inlet ducts. BHP does not include belt losses.

# Anexo 4



# Anexo 5

## Model Reference Information

### General

Title: AFT Fathom Model

Analysis run on: 6/18/2020 3:14:00 PM

Application version: AFT Fathom Version 10 (2018.06.12)

Input File: C:\Users\Fabricio\Documents\Tesis\Simulacion Fathom\Linea de agua.fth

Scenario: Base Scenario/Con válvula de control

Output File: C:\Users\Fabricio\Documents\Tesis\Simulacion Fathom\Linea de agua\_F3.out

Execution Time= 0.25 seconds

Total Number Of Head/Pressure Iterations= 37

Total Number Of Flow Iterations= 4

Total Number Of Temperature Iterations= 0

Number Of Pipes= 117

Number Of Junctions= 99

Matrix Method= Gaussian Elimination

Pressure/Head Tolerance= 0.0001 relative change

Flow Rate Tolerance= 0.0001 relative change

Temperature Tolerance= 0.0001 relative change

Flow Relaxation= (Automatic)

Pressure Relaxation= (Automatic)

### Constant Fluid Property Model

Fluid Database: AFT Standard

Fluid: Water at 1 atm

Max Fluid Temperature Data= 212 deg. F

Min Fluid Temperature Data= 32 deg. F

Temperature= 20 deg. C

Density= 998.3167 kg/m3

Viscosity= 0.001 kg/sec-m

Vapor Pressure= 0.02321 bar

Viscosity Model= Newtonian

Apply laminar and non-Newtonian correction to: Pipe Fittings & Losses, Junction K factors, Junction Special Losses, Junction Polynomials

Corrections applied to the following junctions: Branch, Reservoir, Assigned Flow, Assigned Pressure, Area Change, Bend, Tee or Wye, Spray Discharge, Relief Valve

Ambient Pressure (constant)= 1 atm

Gravitational Acceleration= 1 g

Turbulent Flow Above Reynolds Number= 4000

Laminar Flow Below Reynolds Number= 2300

Total Inflow= 52.24 m3/hr

Total Outflow= 52.24 m3/hr

Maximum Static Pressure is 6.021 bar at Pipe 22 Inlet

Minimum Static Pressure is 0.7290 bar at Pipe 3 Inlet

### Warnings

No Warnings

### Pump Summary

Jct	Results Diagram	Name	Vol. Flow (gal/min)	Mass Flow (kg/sec)	dP (psid)	dH (meters)	Overall Efficiency (Percent)	Speed (Percent)	Overall Power (kW)	BEP (m3/hr)	% of BEP (Percent)	NPSHA (meters)
X20	Show	Pump	0.0	0.00	N/A	N/A	N/A	0	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Show	Pump	230.0	14.49	74.50	52.47	100.0	N/A	7.449	N/A	N/A	8.956

Jct	NPSHR (meters)
X20	N/A
21	N/A

#### Valve Summary

Jct	Name	Valve Type	Vol. Flow (gal/min)	Mass Flow (kg/sec)	dP Stag. (psid)	dH (meters)	P Static In (psig)	Cv	K	Valve State
2	Valve	REGULAR	230.00	14.486	0.02955	0.020814	-4.080	1,337.32	0.67354	Open
7	Valve	REGULAR	114.43	7.207	0.04273	0.030092	-2.538	553.35	0.76383	Open
8	Valve	REGULAR	115.57	7.279	0.04358	0.030693	-2.544	553.35	0.76383	Open
11	Valve	REGULAR	114.43	7.207	0.04273	0.030092	-1.865	553.35	0.76383	Open
12	Valve	REGULAR	115.57	7.279	0.04358	0.030693	-1.883	553.35	0.76383	Open
18	Valve	REGULAR	0.00	0.000	N/A	N/A	-1.229	N/A	N/A	Open
19	Valve	REGULAR	230.00	14.486	0.17262	0.121567	-1.525	553.35	0.76383	Open
24	Valve	REGULAR	0.00	0.000	N/A	N/A	70.420	N/A	N/A	Open
25	Valve	REGULAR	230.00	14.486	0.17262	0.121567	70.371	553.35	0.76383	Open
29	Valve	REGULAR	0.00	0.000	N/A	N/A	70.383	N/A	N/A	Open
31	Valve	REGULAR	0.00	0.000	N/A	N/A	62.468	N/A	N/A	Open
34	Valve	REGULAR	230.00	14.486	7.72886	5.443090	70.064	82.70	34.20000	Open
46	Valve	REGULAR	53.91	3.395	0.01011	0.007122	59.638	535.84	0.05660	Open
60	Valve	REGULAR	54.30	3.420	0.01026	0.007225	59.645	535.84	0.05660	Open
74	Valve	REGULAR	55.25	3.480	0.01062	0.007482	59.662	535.84	0.05660	Open
87	Valve	REGULAR	66.54	4.191	0.01541	0.010852	59.886	535.84	0.05660	Open
X30	Control Valve	FCV	0.00	0.000	N/A	N/A	70.383	N/A	N/A	Closed By User

#### Reservoir Summary

Jct	Name	Type	Liq. Height (meters)	Liq. Elevation (meters)	Surface Pressure (bar)	Liquid Volume (meters3)	Liquid Mass (kg)	Net Vol. Flow (m3/hr)	Net Mass Flow (kg/sec)
58	Reservoir	Infinite	N/A	1.000	5.150	N/A	N/A	12.24	3.395
72	Reservoir	Infinite	N/A	1.000	5.150	N/A	N/A	12.33	3.420
86	Reservoir	Infinite	N/A	1.000	5.150	N/A	N/A	12.55	3.480
99	Reservoir	Infinite	N/A	1.000	5.150	N/A	N/A	15.11	4.191

Pipe Output Table

Pipe	Name	Vol. Flow Rate (gal/min)	Velocity (meters/sec)	P Static Max (bar)	P Static Min (bar)	Elevation Inlet (meters)	Elevation Outlet (meters)	dP Stag. Total (psid)	dP Static Total (bar)	dP Gravity (bar)
1	Pipe	230.00	0.7785	0.7320	0.7319	2.6000	2.6000	0.0008631	0.00005951	0.00000
2	Pipe	230.00	0.7785	0.7299	0.7297	2.6000	2.6000	0.0031556	0.00021757	0.00000
3	Pipe	230.00	0.7785	0.7973	0.7290	2.6000	1.9000	-0.9901820	-0.06827067	-0.06853
4	Pipe	230.00	0.7785	0.7967	0.7966	1.9000	1.9000	0.0005394	0.00003719	0.00000
5	Pipe	115.57	0.3912	0.7989	0.7988	1.9000	1.9000	0.0006095	0.00004202	0.00000
6	Pipe	114.43	0.8790	0.8383	0.7958	1.9000	1.4000	-0.6161706	-0.04248348	-0.04895
7	Pipe	115.57	0.8878	0.8379	0.7955	1.9000	1.4000	-0.6143075	-0.04235503	-0.04895
8	Pipe	114.43	0.8790	0.8742	0.8353	1.4000	1.0000	-0.5635091	-0.03885259	-0.03916
9	Pipe	115.57	0.8878	0.8737	0.8349	1.4000	1.0000	-0.5634264	-0.03884689	-0.03916
10	Pipe	114.43	0.8790	0.8847	0.8361	1.0000	0.5000	-0.7043863	-0.04856574	-0.04895
11	Pipe	115.57	0.8878	0.8834	0.8349	1.0000	0.5000	-0.7042830	-0.04855861	-0.04895
12	Pipe	114.43	0.8790	0.9109	0.8817	0.5000	0.2000	-0.4226318	-0.02913944	-0.02937
13	Pipe	115.57	0.8878	0.9096	0.8804	0.5000	0.2000	-0.4225698	-0.02913517	-0.02937
14	Pipe	114.43	0.8790	0.9100	0.9096	0.2000	0.2000	0.0044670	0.00030799	0.00000
15	Pipe	230.00	1.7668	0.9169	0.8979	0.2000	0.0000	-0.2757081	-0.01900941	-0.01958
16	Pipe	230.00	1.7668	0.9132	0.9129	0.0000	0.0000	0.0041400	0.00028544	0.00000
17	Pipe	230.00	1.7668	0.9129	0.9127	0.0000	0.0000	0.0041400	0.00028544	0.00000
18	Pipe	0.00	0.0000	0.9285	0.9285	0.0000	0.0000	0.0000000	0.00000000	0.00000
19	Pipe	230.00	1.7668	0.9090	0.9081	0.0000	0.0000	0.0124199	0.00085632	0.00000
20	Pipe	0.00	0.0000	0.9285	0.9285	0.0000	0.0000	0.0000000	0.00000000	0.00000
21	Pipe	230.00	1.7668	0.8962	0.8845	0.0000	0.0000	0.1702907	0.01174114	0.00000
22	Pipe	230.00	1.7668	6.0214	5.8703	0.0000	0.5000	2.1918630	0.15112368	0.04895
23	Pipe	0.00	0.0000	5.9175	5.8685	0.0000	0.5000	0.7099701	0.04895073	0.04895
24	Pipe	0.00	0.0000	5.8685	5.8685	0.5000	0.5000	0.0000000	0.00000000	0.00000
25	Pipe	230.00	1.7668	5.8666	5.8651	0.5000	0.5000	0.0206999	0.00142721	0.00000
26	Pipe	230.00	1.7668	5.8532	5.8530	0.5000	0.5000	0.0041400	0.00028544	0.00000
27	Pipe	0.00	0.0000	5.8685	5.8685	0.5000	0.5000	0.0000000	0.00000000	0.00000
28	Pipe	0.00	0.0000	5.8685	5.8685	0.5000	0.5000	0.0000000	0.00000000	0.00000
29	Pipe	230.00	1.7668	5.8530	5.8504	0.5000	0.5000	0.0372597	0.00256897	0.00000
30	Pipe	0.00	0.0000	5.8660	5.8660	0.5000	0.5000	0.0000000	0.00000000	0.00000
31	Pipe	0.00	0.0000	5.8660	5.8660	0.5000	0.5000	0.0000000	0.00000000	0.00000
32	Pipe	0.00	0.0000	5.3203	5.3203	0.5000	0.5000	0.0000000	0.00000000	0.00000
33	Pipe	230.00	1.7668	5.8504	5.8491	0.5000	0.5000	0.0186299	0.00128448	0.00000
34	Pipe	0.00	0.0000	5.3203	5.3203	0.5000	0.5000	0.0000000	0.00000000	0.00000
35	Pipe	230.00	1.7668	5.8454	5.8440	0.5000	0.5000	0.0206999	0.00142721	0.00000
36	Pipe	230.00	1.7668	5.3111	5.3097	0.5000	0.5000	0.0206999	0.00142721	0.00000
37	Pipe	230.00	1.7668	5.3060	5.3047	0.5000	0.5000	0.0186299	0.00128448	0.00000
38	Pipe	230.00	1.7668	5.3047	5.3044	0.5000	0.5000	0.0041400	0.00028544	0.00000
39	Pipe	230.00	1.7668	5.3007	5.0689	0.5000	2.8000	3.3610817	0.23173849	0.22517

Pipe	dH (meters)	P Static In (psig)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)
1	0.0006078	-4.080	0.7319	0.7350	0.7349
2	0.0022223	-4.110	0.7297	0.7329	0.7327
3	0.0026592	-4.122	0.7973	0.7321	0.8003
4	0.0003799	-3.141	0.7966	0.7997	0.7997
5	0.0004292	-3.109	0.7988	0.7997	0.7996
6	0.0660589	-3.154	0.8383	0.7997	0.8421
7	0.0673710	-3.158	0.8379	0.7994	0.8418
8	0.0031459	-2.581	0.8742	0.8392	0.8780
9	0.0032042	-2.587	0.8737	0.8388	0.8776
10	0.0039324	-2.569	0.8847	0.8400	0.8885
11	0.0040052	-2.587	0.8834	0.8388	0.8874
12	0.0023594	-1.908	0.9109	0.8856	0.9147
13	0.0024031	-1.926	0.9096	0.8844	0.9135
14	0.0031459	-1.498	0.9096	0.9138	0.9135
15	0.0058312	-1.673	0.9169	0.9135	0.9325
16	0.0029156	-1.451	0.9129	0.9288	0.9285
17	0.0029156	-1.455	0.9127	0.9285	0.9282
18	0.0000000	-1.229	0.9285	0.9285	0.9285
19	0.0087468	-1.513	0.9081	0.9245	0.9237
20	0.0000000	-1.229	0.9285	0.9285	0.9285
21	0.1199281	-1.698	0.8845	0.9118	0.9000
22	1.0436306	72.637	5.8703	6.0370	5.8859
23	0.0000000	71.130	5.8685	5.9175	5.8685
24	0.0000000	70.420	5.8685	5.8685	5.8685
25	0.0145780	70.391	5.8651	5.8822	5.8807
26	0.0029156	70.198	5.8530	5.8688	5.8685
27	0.0000000	70.420	5.8685	5.8685	5.8685
28	0.0000000	70.420	5.8685	5.8685	5.8685
29	0.0262404	70.194	5.8504	5.8685	5.8660
30	0.0000000	70.383	5.8660	5.8660	5.8660
31	0.0000000	70.383	5.8660	5.8660	5.8660
32	0.0000000	62.468	5.3203	5.3203	5.3203
33	0.0131202	70.157	5.8491	5.8660	5.8647
34	0.0000000	62.468	5.3203	5.3203	5.3203
35	0.0145780	70.084	5.8440	5.8610	5.8596
36	0.0145780	62.335	5.3097	5.3267	5.3252
37	0.0131202	62.260	5.3047	5.3215	5.3203
38	0.0029156	62.242	5.3044	5.3203	5.3200
39	0.0670587	62.184	5.0689	5.3163	5.0845



Pipe	Name	Vol. Flow Rate (gal/min)	Velocity (meters/sec)	P Static Max (bar)	P Static Min (bar)	Elevation Inlet (meters)	Elevation Outlet (meters)	dP Stag. Total (psid)	dP Static Total (bar)	dP Gravity (bar)
40	Pipe	230.00	1.7668	5.0652	5.0473	2.8000	2.8000	0.2608182	0.01798279	0.00000
41	Pipe	230.00	1.7668	5.0436	5.0373	2.8000	2.8000	0.0910794	0.00627971	0.00000
42	Pipe	163.46	1.2556	5.0450	5.0428	2.8000	2.8000	0.0315112	0.00217262	0.00000
43	Pipe	163.46	1.2556	5.0409	5.0326	2.8000	2.8000	0.1216985	0.00839082	0.00000
44	Pipe	108.20	0.8312	5.0370	5.0348	2.8000	2.8000	0.0322110	0.00222087	0.00000
45	Pipe	53.91	0.4141	5.0373	5.0365	2.8000	2.8000	0.0128931	0.00088895	0.00000
46	Pipe	0.00	0.0000	5.0373	5.0373	2.8000	2.8000	0.0000000	0.00000000	0.00000
47	Pipe	53.91	1.5710	5.0250	5.0172	2.8000	2.8000	0.1132464	0.00780807	0.00000
48	Pipe	53.91	1.5710	5.1252	5.0139	2.8000	1.6000	-1.6133311	-0.11123529	-0.11748
49	Pipe	53.91	1.5710	5.1708	5.1245	1.6000	1.1000	-0.6722213	-0.04634804	-0.04895
50	Pipe	53.91	1.5710	5.1676	5.1655	1.1000	1.1000	0.0301996	0.00208219	0.00000
51	Pipe	22.58	0.6580	5.1756	5.1751	1.1000	1.1000	0.0074836	0.00051598	0.00000
52	Pipe	31.33	0.9130	5.1736	5.1714	1.1000	1.1000	0.0328429	0.00226444	0.00000
53	Pipe	31.33	0.9130	5.2759	5.1703	1.1000	0.0000	-1.5318282	-0.10561586	-0.10769
54	Pipe	22.58	0.6580	5.2811	5.1746	1.1000	0.0000	-1.5454702	-0.10655645	-0.10769
55	Pipe	31.33	0.9130	5.2748	5.2731	0.0000	0.0000	0.0246326	0.00169836	0.00000
56	Pipe	20.86	0.6079	5.2754	5.2752	0.0000	0.0000	0.0025897	0.00017855	0.00000
57	Pipe	10.43	0.3038	5.2766	5.2766	0.0000	0.0000	0.0007390	0.00005095	0.00000
58	Pipe	22.58	0.6580	5.2805	5.2799	0.0000	0.0000	0.0089805	0.00061919	0.00000
59	Pipe	11.27	0.3284	5.2815	5.2813	0.0000	0.0000	0.0033980	0.00023428	0.00000
60	Pipe	10.43	1.9119	5.2588	5.2298	0.0000	0.0000	0.4208778	0.02901851	0.00000
61	Pipe	10.44	1.9136	5.2588	5.2297	0.0000	0.0000	0.4216168	0.02906946	0.00000
62	Pipe	10.47	1.9195	5.2589	5.2296	0.0000	0.0000	0.4242064	0.02924801	0.00000
63	Pipe	11.31	2.0739	5.2606	5.2265	0.0000	0.0000	0.4941787	0.03407243	0.00000
64	Pipe	11.27	2.0667	5.2605	5.2267	0.0000	0.0000	0.4907807	0.03383815	0.00000
65	Pipe	54.30	1.5823	5.0257	5.0178	2.8000	2.8000	0.1147887	0.00791441	0.00000
66	Pipe	54.30	1.5823	5.1256	5.0145	2.8000	1.6000	-1.6120972	-0.11115022	-0.11748
67	Pipe	54.30	1.5823	5.1712	5.1249	1.6000	1.1000	-0.6717072	-0.04631259	-0.04895
68	Pipe	54.30	1.5823	5.1679	5.1658	1.1000	1.1000	0.0306104	0.00211051	0.00000
69	Pipe	22.74	0.6627	5.1761	5.1756	1.1000	1.1000	0.0075824	0.00052279	0.00000
70	Pipe	31.55	0.9196	5.1741	5.1718	1.1000	1.1000	0.0332837	0.00229483	0.00000
71	Pipe	31.55	0.9196	5.2763	5.1707	1.1000	0.0000	-1.5314241	-0.10558800	-0.10769
72	Pipe	22.74	0.6627	5.2816	5.1750	1.1000	0.0000	-1.5452529	-0.10654147	-0.10769
73	Pipe	31.55	0.9196	5.2752	5.2735	0.0000	0.0000	0.0249628	0.00172113	0.00000
74	Pipe	21.01	0.6123	5.2758	5.2756	0.0000	0.0000	0.0026241	0.00018092	0.00000
75	Pipe	10.50	0.3060	5.2770	5.2770	0.0000	0.0000	0.0007485	0.00005161	0.00000
76	Pipe	22.74	0.6627	5.2810	5.2804	0.0000	0.0000	0.0090989	0.00062735	0.00000
77	Pipe	11.35	0.3308	5.2820	5.2818	0.0000	0.0000	0.0034418	0.00023730	0.00000
78	Pipe	10.50	1.9257	5.2589	5.2295	0.0000	0.0000	0.4268793	0.02943230	0.00000
79	Pipe	10.51	1.9274	5.2590	5.2295	0.0000	0.0000	0.4276278	0.02948390	0.00000
80	Pipe	10.54	1.9334	5.2590	5.2294	0.0000	0.0000	0.4302519	0.02966483	0.00000

Pipe	dH (meters)	P Static In (psig)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)
40	0.1836825	58.769	5.0473	5.0808	5.0628
41	0.0641432	58.455	5.0373	5.0591	5.0529
42	0.0221920	58.475	5.0428	5.0529	5.0507
43	0.0857068	58.417	5.0326	5.0488	5.0404
44	0.0226848	58.359	5.0348	5.0404	5.0382
45	0.0090800	58.365	5.0365	5.0382	5.0373
46	0.0000000	58.364	5.0373	5.0373	5.0373
47	0.0797544	58.185	5.0172	5.0373	5.0295
48	0.0638035	58.025	5.1252	5.0263	5.1375
49	0.0265848	59.628	5.1708	5.1368	5.1831
50	0.0212682	60.253	5.1655	5.1799	5.1778
51	0.0052704	60.370	5.1751	5.1778	5.1773
52	0.0231298	60.341	5.1714	5.1778	5.1755
53	0.0212023	60.293	5.2759	5.1744	5.2801
54	0.0115948	60.355	5.2811	5.1767	5.2833
55	0.0173476	61.808	5.2731	5.2790	5.2773
56	0.0018238	61.817	5.2752	5.2773	5.2771
57	0.0005204	61.835	5.2766	5.2771	5.2770
58	0.0063246	61.892	5.2799	5.2827	5.2821
59	0.0023931	61.906	5.2813	5.2821	5.2818
60	0.2964053	61.576	5.2298	5.2770	5.2480
61	0.2969258	61.576	5.2297	5.2771	5.2480
62	0.2987495	61.577	5.2296	5.2773	5.2480
63	0.3480279	61.603	5.2265	5.2821	5.2480
64	0.3456348	61.602	5.2267	5.2818	5.2480
65	0.0808405	58.196	5.0178	5.0382	5.0303
66	0.0646724	58.033	5.1256	5.0270	5.1381
67	0.0269468	59.635	5.1712	5.1374	5.1837
68	0.0215575	60.259	5.1658	5.1804	5.1783
69	0.0053399	60.378	5.1756	5.1783	5.1778
70	0.0234402	60.348	5.1718	5.1783	5.1760
71	0.0214869	60.299	5.2763	5.1749	5.2805
72	0.0117479	60.362	5.2816	5.1772	5.2838
73	0.0175802	61.814	5.2735	5.2794	5.2777
74	0.0018480	61.823	5.2756	5.2777	5.2775
75	0.0005272	61.841	5.2770	5.2775	5.2774
76	0.0064080	61.898	5.2804	5.2832	5.2826
77	0.0024239	61.913	5.2818	5.2826	5.2823
78	0.3006319	61.578	5.2295	5.2774	5.2480
79	0.3011590	61.579	5.2295	5.2775	5.2480
80	0.3030070	61.580	5.2294	5.2777	5.2480



Pipe	Name	Vol. Flow Rate (gal/min)	Velocity (meters/sec)	P Static Max (bar)	P Static Min (bar)	Elevation Inlet (meters)	Elevation Outlet (meters)	dP Stag. Total (psid)	dP Static Total (bar)	dP Gravity (bar)
81	Pipe	11.39	2.0887	5.2608	5.2262	0.0000	0.0000	0.5011882	0.03455572	0.00000
82	Pipe	11.35	2.0815	5.2607	5.2264	0.0000	0.0000	0.4977465	0.03431842	0.00000
83	Pipe	55.25	1.6102	5.0275	5.0193	2.8000	2.8000	0.1186361	0.00817967	0.00000
84	Pipe	55.25	1.6102	5.1268	5.0159	2.8000	1.6000	-1.6090193	-0.11093801	-0.11748
85	Pipe	55.25	1.6102	5.1723	5.1261	1.6000	1.1000	-0.6704247	-0.04622417	-0.04895
86	Pipe	55.25	1.6102	5.1689	5.1667	1.1000	1.1000	0.0316364	0.00218125	0.00000
87	Pipe	23.14	0.6744	5.1774	5.1768	1.1000	1.1000	0.0078284	0.00053975	0.00000
88	Pipe	32.11	0.9358	5.1753	5.1729	1.1000	1.1000	0.0343820	0.00237056	0.00000
89	Pipe	32.11	0.9358	5.2773	5.1718	1.1000	0.0000	-1.5304173	-0.10551859	-0.10769
90	Pipe	23.14	0.6744	5.2828	5.1762	1.1000	0.0000	-1.5447117	-0.10650415	-0.10769
91	Pipe	32.11	0.9358	5.2761	5.2743	0.0000	0.0000	0.0257866	0.00177792	0.00000
92	Pipe	21.38	0.6231	5.2768	5.2766	0.0000	0.0000	0.0027095	0.00018681	0.00000
93	Pipe	10.69	0.3114	5.2780	5.2780	0.0000	0.0000	0.0007724	0.00005325	0.00000
94	Pipe	23.14	0.6744	5.2822	5.2815	0.0000	0.0000	0.0093941	0.00064770	0.00000
95	Pipe	11.55	0.3366	5.2832	5.2830	0.0000	0.0000	0.0035510	0.00024483	0.00000
96	Pipe	10.69	1.9597	5.2593	5.2288	0.0000	0.0000	0.4418966	0.03046770	0.00000
97	Pipe	10.70	1.9614	5.2593	5.2288	0.0000	0.0000	0.4426689	0.03052096	0.00000
98	Pipe	10.73	1.9675	5.2594	5.2287	0.0000	0.0000	0.4453784	0.03070777	0.00000
99	Pipe	11.59	2.1254	5.2612	5.2255	0.0000	0.0000	0.5187187	0.03576440	0.00000
100	Pipe	11.55	2.1180	5.2611	5.2256	0.0000	0.0000	0.5151676	0.03551956	0.00000
101	Pipe	66.54	1.9393	5.1423	5.0341	2.8000	1.6000	-1.5689674	-0.10817652	-0.11748
102	Pipe	66.54	1.9393	5.1863	5.1412	1.6000	1.1000	-0.6537364	-0.04507355	-0.04895
103	Pipe	66.54	1.9393	5.1813	5.1782	1.1000	1.1000	0.0449871	0.00310175	0.00000
104	Pipe	27.85	0.8117	5.1937	5.1929	1.1000	1.1000	0.0110110	0.00075918	0.00000
105	Pipe	38.69	1.1276	5.1906	5.1873	1.1000	1.1000	0.0486320	0.00335306	0.00000
106	Pipe	38.69	1.1276	5.2902	5.1856	1.1000	0.0000	-1.5173549	-0.10461796	-0.10769
107	Pipe	27.85	0.8117	5.2981	5.1921	1.1000	0.0000	-1.5377101	-0.10602141	-0.10769
108	Pipe	38.69	1.1276	5.2886	5.2860	0.0000	0.0000	0.0364737	0.00251478	0.00000
109	Pipe	25.76	0.7508	5.2896	5.2893	0.0000	0.0000	0.0038149	0.00026303	0.00000
110	Pipe	12.88	0.3753	5.2914	5.2913	0.0000	0.0000	0.0010794	0.00007442	0.00000
111	Pipe	27.85	0.8117	5.2972	5.2963	0.0000	0.0000	0.0132130	0.00091101	0.00000
112	Pipe	13.90	0.4052	5.2988	5.2984	0.0000	0.0000	0.0049576	0.00034182	0.00000
113	Pipe	12.88	2.3614	5.2642	5.2202	0.0000	0.0000	0.6386830	0.04403566	0.00000
114	Pipe	12.89	2.3634	5.2642	5.2201	0.0000	0.0000	0.6397624	0.04411008	0.00000
115	Pipe	12.93	2.3705	5.2643	5.2200	0.0000	0.0000	0.6435773	0.04437311	0.00000
116	Pipe	13.95	2.5582	5.2669	5.2153	0.0000	0.0000	0.7482396	0.05158932	0.00000
117	Pipe	13.90	2.5496	5.2668	5.2156	0.0000	0.0000	0.7432820	0.05124750	0.00000

Pipe	dH (meters)	P Static In (psig)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)
81	0.3529643	61.605	5.2262	5.2826	5.2480
82	0.3505405	61.604	5.2264	5.2823	5.2480
83	0.0835501	58.221	5.0193	5.0404	5.0322
84	0.0668400	58.053	5.1268	5.0288	5.1398
85	0.0278500	59.652	5.1723	5.1390	5.1853
86	0.0222801	60.273	5.1667	5.1818	5.1797
87	0.0055132	60.396	5.1768	5.1797	5.1791
88	0.0242137	60.365	5.1729	5.1797	5.1773
89	0.0221959	60.314	5.2773	5.1761	5.2817
90	0.0121290	60.379	5.2828	5.1785	5.2850
91	0.0181603	61.828	5.2743	5.2805	5.2787
92	0.0019082	61.837	5.2766	5.2787	5.2785
93	0.0005439	61.856	5.2780	5.2785	5.2785
94	0.0066159	61.915	5.2815	5.2844	5.2838
95	0.0025008	61.930	5.2830	5.2838	5.2835
96	0.3112079	61.584	5.2288	5.2785	5.2480
97	0.3117518	61.584	5.2288	5.2785	5.2480
98	0.3136600	61.585	5.2287	5.2787	5.2480
99	0.3653102	61.612	5.2255	5.2838	5.2480
100	0.3628094	61.610	5.2256	5.2835	5.2480
101	0.0950469	58.317	5.1423	5.0529	5.1610
102	0.0396029	59.871	5.1863	5.1600	5.2050
103	0.0316824	60.453	5.1782	5.2001	5.1970
104	0.0077545	60.632	5.1929	5.1970	5.1962
105	0.0342493	60.588	5.1873	5.1970	5.1936
106	0.0313952	60.515	5.2902	5.1920	5.2966
107	0.0170599	60.609	5.2981	5.1954	5.3014
108	0.0256868	62.008	5.2860	5.2949	5.2924
109	0.0026866	62.023	5.2893	5.2924	5.2921
110	0.0007602	62.050	5.2913	5.2921	5.2920
111	0.0093053	62.134	5.2963	5.3005	5.2996
112	0.0034914	62.156	5.2984	5.2996	5.2993
113	0.4497957	61.655	5.2202	5.2920	5.2480
114	0.4505559	61.655	5.2201	5.2921	5.2480
115	0.4532426	61.657	5.2200	5.2924	5.2480
116	0.5269515	61.694	5.2153	5.2996	5.2480
117	0.5234601	61.693	5.2156	5.2993	5.2480

All Junction Table

Jct	Name	P Static In (bar)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)	Vol. Flow Rate Thru Jct (m3/hr)	Mass Flow Rate Thru Jct (kg/sec)	Loss Factor (K)
1	Assigned Pressure	0.7320	0.7320	0.7350	0.7350	52.239	14.4863	0.00000
2	Valve	0.7319	0.7299	0.7349	0.7329	52.239	14.4863	0.67354
3	Bend	0.7297	0.7290	0.7327	0.7321	52.239	14.4863	0.20954
4	Bend	0.7973	0.7967	0.8003	0.7997	52.239	14.4863	0.20954
5	Tee or Wye	0.7973	0.7973	0.7997	0.7997	N/A	N/A	0.00000
6	Bend	0.7988	0.7955	0.7996	0.7994	26.248	7.2789	0.20954
7	Valve	0.8383	0.8353	0.8421	0.8392	25.990	7.2074	0.76383
8	Valve	0.8379	0.8349	0.8418	0.8388	26.248	7.2789	0.76383
9	Screen	0.8742	0.8361	0.8780	0.8400	25.990	7.2074	9.87000
10	Screen	0.8737	0.8349	0.8776	0.8388	26.248	7.2789	9.87000
11	Valve	0.8847	0.8817	0.8885	0.8856	25.990	7.2074	0.76383
12	Valve	0.8834	0.8804	0.8874	0.8844	26.248	7.2789	0.76383
13	Bend	0.9109	0.9100	0.9147	0.9138	25.990	7.2074	0.23764
14	Tee or Wye	0.9066	0.9066	0.9135	0.9135	N/A	N/A	0.00000
15	Bend	0.9169	0.9132	0.9325	0.9288	52.239	14.4863	0.23764
16	Tee or Wye	0.9216	0.9216	0.9285	0.9285	N/A	N/A	0.00000
17	Bend	0.9127	0.9090	0.9282	0.9245	52.239	14.4863	0.23764
18	Valve	0.9285	0.9285	0.9285	0.9285	0.000	0.0000	0.00000
19	Valve	0.9081	0.8962	0.9237	0.9118	52.239	14.4863	0.76383
X20	Pump	0.9285	5.9175	0.9285	5.9175	0.000	0.0000	0.00000
21	Pump	0.8845	6.0214	0.9000	6.0370	52.239	14.4863	0.00000
22	Bend	5.8703	5.8666	5.8859	5.8822	52.239	14.4863	0.23764
23	Bend	5.8685	5.8685	5.8685	5.8685	0.000	0.0000	0.00000
24	Valve	5.8685	5.8685	5.8685	5.8685	0.000	0.0000	0.00000
25	Valve	5.8651	5.8532	5.8807	5.8688	52.239	14.4863	0.76383
26	Bend	5.8685	5.8685	5.8685	5.8685	0.000	0.0000	0.00000
27	Tee or Wye	5.8616	5.8616	5.8685	5.8685	N/A	N/A	0.00000
28	Tee or Wye	5.8590	5.8590	5.8660	5.8660	N/A	N/A	0.00000
29	Valve	5.8660	5.8660	5.8660	5.8660	0.000	0.0000	0.00000
X30	Control Valve	5.8660	5.3203	5.8660	5.3203	0.000	0.0000	0.00000
31	Valve	5.3203	5.3203	5.3203	5.3203	0.000	0.0000	0.00000
32	Bend	5.8491	5.8454	5.8647	5.8610	52.239	14.4863	0.23764
33	Tee or Wye	5.3133	5.3133	5.3203	5.3203	N/A	N/A	0.00000
34	Valve	5.8440	5.3111	5.8596	5.3267	52.239	14.4863	34.20000
35	Bend	5.3097	5.3060	5.3252	5.3215	52.239	14.4863	0.23764
36	Bend	5.3044	5.3007	5.3200	5.3163	52.239	14.4863	0.23764
37	Bend	5.0689	5.0652	5.0845	5.0808	52.239	14.4863	0.23764
38	Bend	5.0473	5.0436	5.0628	5.0591	52.239	14.4863	0.23764
39	Branch	5.0392	5.0392	5.0529	5.0529	N/A	N/A	0.00000
40	Bend	5.0428	5.0409	5.0507	5.0488	37.125	10.2951	0.23764
41	Branch	5.0328	5.0328	5.0404	5.0404	N/A	N/A	0.00000

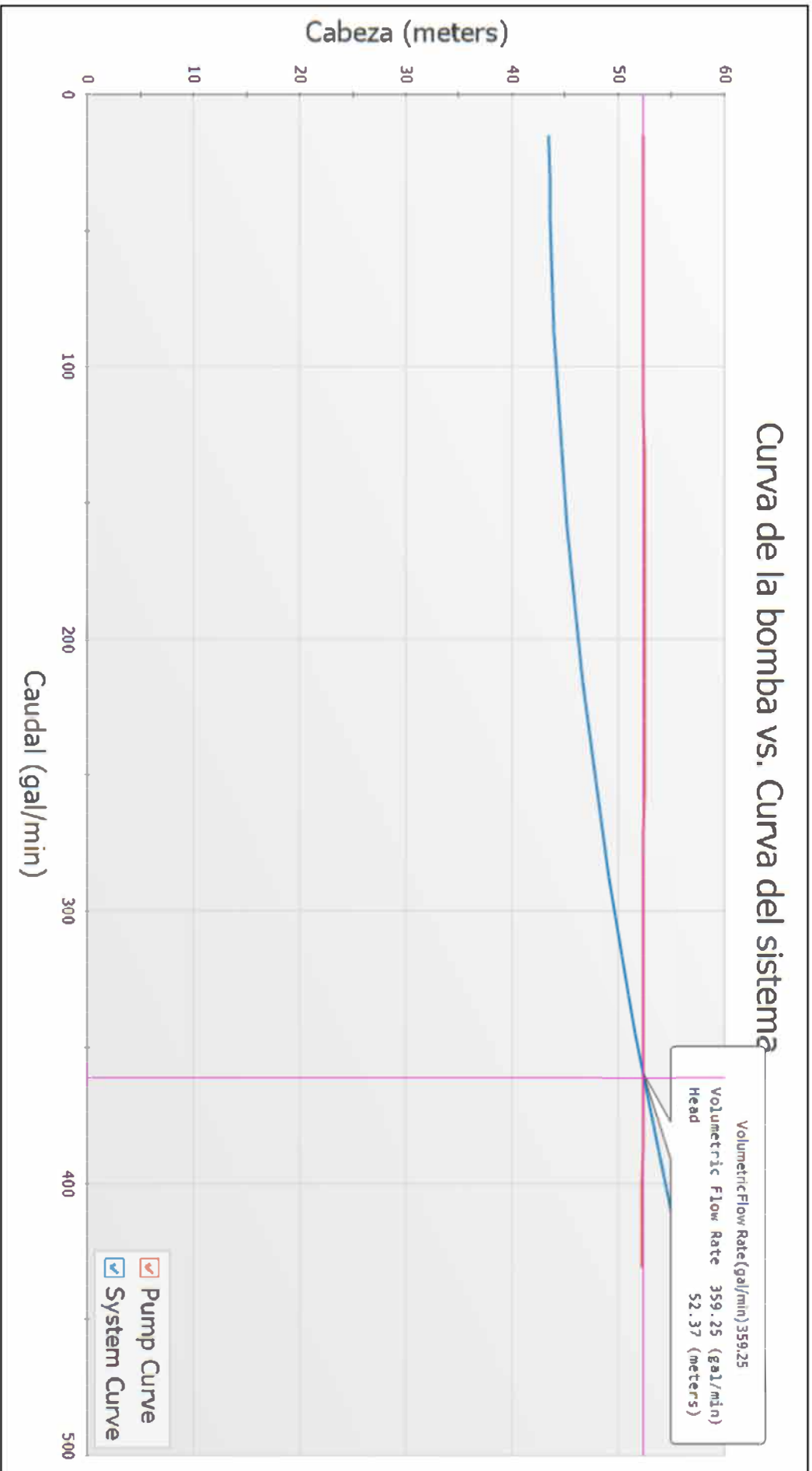
Jct	Name	P Static In (bar)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)	Vol. Flow Rate Thru Jct (m3/hr)	Mass Flow Rate Thru Jct (kg/sec)	Loss Factor (K)
42	Branch	5.0338	5.0338	5.0382	5.0382	N/A	N/A	0.00000
43	Branch	5.0351	5.0351	5.0373	5.0373	N/A	N/A	0.00000
44	Dead End	5.0373	5.0373	5.0373	5.0373	0.000	0.0000	0.00000
45	Bend	5.0172	5.0139	5.0295	5.0263	12.244	3.3953	0.26412
46	Valve	5.1252	5.1245	5.1375	5.1368	12.244	3.3953	0.05660
47	Bend	5.1708	5.1676	5.1831	5.1799	12.244	3.3953	0.26412
48	Tee or Wye	5.1723	5.1723	5.1778	5.1778	N/A	N/A	0.00000
49	Bend	5.1714	5.1703	5.1755	5.1744	7.115	1.9732	0.26412
50	Bend	5.1751	5.1746	5.1773	5.1767	5.128	1.4221	0.26412
51	Bend	5.2811	5.2805	5.2833	5.2827	5.128	1.4221	0.26412
52	Bend	5.2759	5.2748	5.2801	5.2790	7.115	1.9732	0.26412
53	Branch	5.2707	5.2707	5.2773	5.2773	N/A	N/A	0.00000
54	Branch	5.2727	5.2727	5.2771	5.2771	N/A	N/A	0.00000
55	Branch	5.2766	5.2588	5.2770	5.2770	2.368	0.6567	0.00000
56	Branch	5.2769	5.2769	5.2821	5.2821	N/A	N/A	0.00000
57	Branch	5.2813	5.2605	5.2818	5.2818	2.560	0.7098	0.00000
58	Reservoir	5.1501	5.2480	5.1501	5.2480	N/A	N/A	0.00000
59	Bend	5.0178	5.0145	5.0303	5.0270	12.332	3.4197	0.26412
60	Valve	5.1256	5.1249	5.1381	5.1374	12.332	3.4197	0.05660
61	Bend	5.1712	5.1679	5.1837	5.1804	12.332	3.4197	0.26412
62	Tee or Wye	5.1728	5.1728	5.1783	5.1783	N/A	N/A	0.00000
63	Bend	5.1718	5.1707	5.1760	5.1749	7.167	1.9874	0.26412
64	Bend	5.1756	5.1750	5.1778	5.1772	5.165	1.4323	0.26412
65	Bend	5.2816	5.2810	5.2838	5.2832	5.165	1.4323	0.26412
66	Bend	5.2763	5.2752	5.2805	5.2794	7.167	1.9874	0.26412
67	Branch	5.2710	5.2710	5.2777	5.2777	N/A	N/A	0.00000
68	Branch	5.2730	5.2730	5.2775	5.2775	N/A	N/A	0.00000
69	Branch	5.2770	5.2589	5.2774	5.2774	2.385	0.6614	0.00000
70	Branch	5.2773	5.2773	5.2826	5.2826	N/A	N/A	0.00000
71	Branch	5.2818	5.2607	5.2823	5.2823	2.578	0.7149	0.00000
72	Reservoir	5.1501	5.2480	5.1501	5.2480	N/A	N/A	0.00000
73	Bend	5.0193	5.0159	5.0322	5.0288	12.549	3.4800	0.26412
74	Valve	5.1268	5.1261	5.1398	5.1390	12.549	3.4800	0.05660
75	Bend	5.1723	5.1689	5.1853	5.1818	12.549	3.4800	0.26412
76	Tee or Wye	5.1739	5.1739	5.1797	5.1797	N/A	N/A	0.00000
77	Bend	5.1729	5.1718	5.1773	5.1761	7.293	2.0225	0.26412
78	Bend	5.1768	5.1762	5.1791	5.1785	5.256	1.4575	0.26412
79	Bend	5.2828	5.2822	5.2850	5.2844	5.256	1.4575	0.26412
80	Bend	5.2773	5.2761	5.2817	5.2805	7.293	2.0225	0.26412
81	Branch	5.2718	5.2718	5.2787	5.2787	N/A	N/A	0.00000
82	Branch	5.2739	5.2739	5.2785	5.2785	N/A	N/A	0.00000

Jct	Name	P Static In (bar)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)	Vol. Flow Rate Thru Jct (m3/hr)	Mass Flow Rate Thru Jct (kg/sec)	Loss Factor (K)
83	Branch	5.2780	5.2593	5.2785	5.2785	2.427	0.6731	0.00000
84	Branch	5.2783	5.2783	5.2838	5.2838	N/A	N/A	0.00000
85	Branch	5.2830	5.2611	5.2835	5.2835	2.623	0.7275	0.00000
86	Reservoir	5.1501	5.2480	5.1501	5.2480	N/A	N/A	0.00000
87	Valve	5.1423	5.1412	5.1610	5.1600	15.114	4.1913	0.05660
88	Bend	5.1863	5.1813	5.2050	5.2001	15.114	4.1913	0.26412
89	Tee or Wye	5.1886	5.1886	5.1970	5.1970	N/A	N/A	0.00000
90	Bend	5.1873	5.1856	5.1936	5.1920	8.788	2.4370	0.26412
91	Bend	5.1929	5.1921	5.1962	5.1954	6.326	1.7543	0.26412
92	Bend	5.2981	5.2972	5.3014	5.3005	6.326	1.7543	0.26412
93	Bend	5.2902	5.2886	5.2966	5.2949	8.788	2.4370	0.26412
94	Branch	5.2824	5.2824	5.2924	5.2924	N/A	N/A	0.00000
95	Branch	5.2854	5.2854	5.2921	5.2921	N/A	N/A	0.00000
96	Branch	5.2913	5.2642	5.2920	5.2920	2.925	0.8110	0.00000
97	Branch	5.2917	5.2917	5.2996	5.2996	N/A	N/A	0.00000
98	Branch	5.2984	5.2668	5.2993	5.2993	3.158	0.8757	0.00000
99	Reservoir	5.1501	5.2480	5.1501	5.2480	N/A	N/A	0.00000



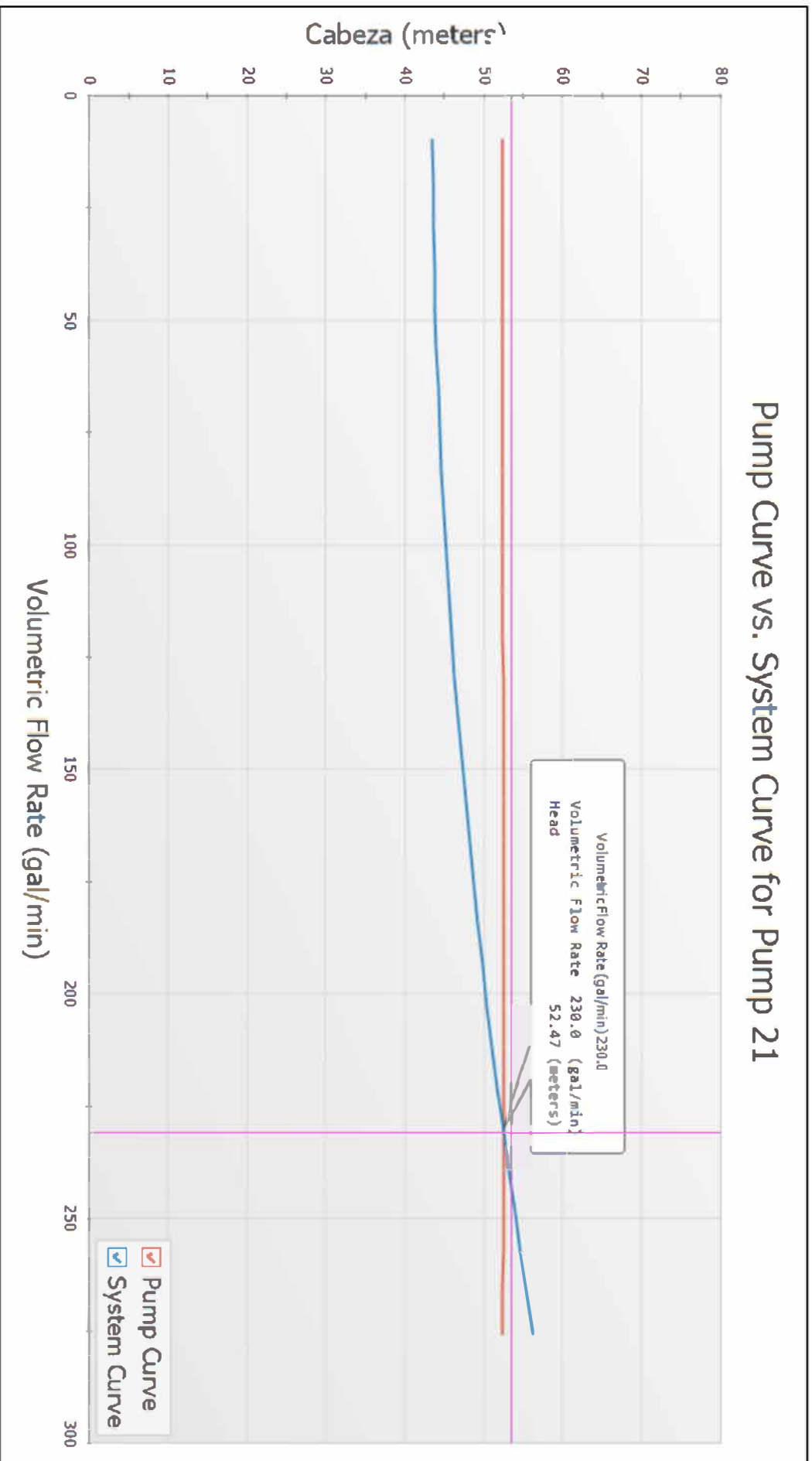
# Anexo 6

## Curva de la bomba vs. Curva del sistema



# Anexo 7

## Pump Curve vs. System Curve for Pump 21



# Anexo 8

## Model Reference Information

### General

Title: AFT Fathom Model  
Analysis run on: 5/8/2020 4:39:51 PM  
Application version: AFT Fathom Version 10 (2018.06.12)  
Input File: C:\Users\Fabricio\Documents\Tesis\Simulacion Fathom\Linea de agua.fth  
Scenario: Base Scenario/Sin válvula de control  
Output File: C:\Users\Fabricio\Documents\Tesis\Simulacion Fathom\Linea de agua\_F2.out

Execution Time= 0.42 seconds  
Total Number Of Head/Pressure Iterations= 275  
Total Number Of Flow Iterations= 40  
Total Number Of Temperature Iterations= 0  
Number Of Pipes= 117  
Number Of Junctions= 99  
Matrix Method= Gaussian Elimination

Pressure/Head Tolerance= 0.0001 relative change  
Flow Rate Tolerance= 0.0001 relative change  
Temperature Tolerance= 0.0001 relative change  
Flow Relaxation= (Automatic)  
Pressure Relaxation= (Automatic)

Constant Fluid Property Model  
Fluid Database: AFT Standard  
Fluid: Water at 1 atm  
Max Fluid Temperature Data= 212 deg. F  
Min Fluid Temperature Data= 32 deg. F  
Temperature= 20 deg. C  
Density= 998.3167 kg/m3  
Viscosity= 0.001 kg/sec-m  
Vapor Pressure= 0.02321 bar  
Viscosity Model= Newtonian  
Apply laminar and non-Newtonian correction to: Pipe Fittings & Losses, Junction K factors, Junction Special Losses, Junction Polynomials  
Corrections applied to the following junctions: Branch, Reservoir, Assigned Flow, Assigned Pressure, Area Change, Bend, Tee or Wye, Spray Discharge, Relief Valve

Ambient Pressure (constant)= 1 atm  
Gravitational Acceleration= 1 g  
Turbulent Flow Above Reynolds Number= 4000  
Laminar Flow Below Reynolds Number= 2300  
Total Inflow= 81.58 m3/hr  
Total Outflow= 81.58 m3/hr  
Maximum Static Pressure is 5.861 bar at Pipe 22 Inlet  
Minimum Static Pressure is 0.7205 bar at Pipe 3 Inlet

### Warnings

No Warnings

### Pump Summary

Jct	Results Diagram	Name	Vol. Flow (gal/min)	Mass Flow (kg/sec)	dP (psid)	dH (meters)	Overall Efficiency (Percent)	Speed (Percent)	Overall Power (kW)	BEP (m3/hr)	% of BEP (Percent)	NPSHA (meters)
X20	Show	Pump	0.0	0.00	N/A	N/A	N/A	0.0	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Show	Pump	359.1	22.61	74.36	52.37	63.00	100.0	18.42	N/A	N/A	7.648

Jct	NPSHR (meters)
X20	N/A
21	0.1893

#### Valve Summary

Jct	Name	Valve Type	Vol. Flow (gal/min)	Mass Flow (kg/sec)	dP Stag. (bar)	dH (meters)	P Static In (bar)	Cv	K	Valve State
2	Valve	REGULAR	359.09	22.617	0.004967	0.05073	0.7275	1,337.3	0.67354	Open
7	Valve	REGULAR	178.67	11.253	0.007182	0.07336	0.8180	553.4	0.76383	Open
8	Valve	REGULAR	180.45	11.365	0.007326	0.07483	0.8170	553.4	0.76383	Open
11	Valve	REGULAR	178.67	11.253	0.007182	0.07336	0.8045	553.4	0.76383	Open
12	Valve	REGULAR	180.45	11.365	0.007326	0.07483	0.8015	553.4	0.76383	Open
18	Valve	REGULAR	0.00	0.000	N/A	N/A	0.8412	N/A	N/A	Open
19	Valve	REGULAR	359.06	22.615	0.029005	0.29627	0.7915	553.4	0.76383	Open
24	Valve	REGULAR	0.00	0.000	N/A	N/A	5.5591	N/A	N/A	Open
25	Valve	REGULAR	359.06	22.615	0.029005	0.29627	5.5508	553.4	0.76383	Open
29	Valve	REGULAR	0.00	0.000	N/A	N/A	5.5531	N/A	N/A	Open
31	Valve	REGULAR	0.00	0.000	N/A	N/A	5.4869	N/A	N/A	Open
34	Valve	REGULAR	359.06	22.615	0.035451	0.36210	5.4998	500.5	0.93357	Open
46	Valve	REGULAR	84.33	5.311	0.001706	0.01743	5.1721	535.8	0.05660	Open
60	Valve	REGULAR	84.87	5.346	0.001728	0.01765	5.1732	535.8	0.05660	Open
74	Valve	REGULAR	86.30	5.436	0.001787	0.01825	5.1759	535.8	0.05660	Open
87	Valve	REGULAR	103.57	6.523	0.002574	0.02629	5.2122	535.8	0.05660	Open
X30	Control Valve	FCV	0.00	0.000	N/A	N/A	5.5531	N/A	N/A	Closed By User

#### Reservoir Summary

Jct	Name	Type	Liq. Height (meters)	Liq. Elevation (meters)	Surface Pressure (bar)	Liquid Volume (meters3)	Liquid Mass (kg)	Net Vol. Flow (m3/hr)	Net Mass Flow (kg/sec)
58	Reservoir	Infinite	N/A	1.000	5.150	N/A	N/A	19.15	5.311
72	Reservoir	Infinite	N/A	1.000	5.150	N/A	N/A	19.28	5.346
86	Reservoir	Infinite	N/A	1.000	5.150	N/A	N/A	19.60	5.436
99	Reservoir	Infinite	N/A	1.000	5.150	N/A	N/A	23.53	6.524

Pipe Output Table

Pipe	Name	Vol. Flow Rate (gal/min)	Velocity (meters/sec)	P Static Max (bar)	P Static Min (bar)	Elevation Inlet (meters)	Elevation Outlet (meters)	dP Stag. Total (psid)	dP Static Total (bar)	dP Gravity (bar)
1	Pipe	359.09	1.2155	0.7276	0.7275	2.6000	2.6000	0.001982	0.00013666	0.00000
2	Pipe	359.09	1.2155	0.7225	0.7220	2.6000	2.6000	0.007247	0.00049968	0.00000
3	Pipe	359.09	1.2155	0.7884	0.7205	2.6000	1.9000	-0.985286	-0.06793310	-0.06853
4	Pipe	359.09	1.2155	0.7869	0.7868	1.9000	1.9000	0.001227	0.00008460	0.00000
5	Pipe	180.45	0.6108	0.7923	0.7922	1.9000	1.9000	0.001378	0.00009501	0.00000
6	Pipe	178.67	1.3725	0.8180	0.7848	1.9000	1.4000	-0.482079	-0.03323820	-0.04895
7	Pipe	180.45	1.3862	0.8170	0.7841	1.9000	1.4000	-0.477521	-0.03292390	-0.04895
8	Pipe	178.67	1.3725	0.8493	0.8108	1.4000	1.0000	-0.557701	-0.03845211	-0.03916
9	Pipe	180.45	1.3862	0.8481	0.8097	1.4000	1.0000	-0.557507	-0.03843874	-0.03916
10	Pipe	178.67	1.3725	0.8045	0.7565	1.0000	0.5000	-0.697126	-0.04806514	-0.04895
11	Pipe	180.45	1.3862	0.8015	0.7535	1.0000	0.5000	-0.696883	-0.04804842	-0.04895
12	Pipe	178.67	1.3725	0.8262	0.7973	0.5000	0.2000	-0.418275	-0.02883909	-0.02937
13	Pipe	180.45	1.3862	0.8231	0.7942	0.5000	0.2000	-0.418907	-0.02888260	-0.02937
14	Pipe	178.67	1.3725	0.8239	0.8232	0.2000	0.2000	0.010190	0.00070258	0.00000
15	Pipe	359.06	2.7582	0.8129	0.7947	0.2000	0.0000	-0.264614	-0.01824450	-0.01958
16	Pipe	359.06	2.7582	0.8039	0.8032	0.0000	0.0000	0.009687	0.00066789	0.00000
17	Pipe	359.06	2.7582	0.8032	0.8026	0.0000	0.0000	0.009687	0.00066789	0.00000
18	Pipe	0.00	0.0000	0.8412	0.8412	0.0000	0.0000	0.000000	0.00000000	0.00000
19	Pipe	359.06	2.7582	0.7935	0.7915	0.0000	0.0000	0.029061	0.00200368	0.00000
20	Pipe	0.00	0.0000	0.8412	0.8412	0.0000	0.0000	0.000000	0.00000000	0.00000
21	Pipe	359.06	2.7582	0.7625	0.7340	0.0000	0.0000	0.413802	0.02853068	0.00000
22	Pipe	359.06	2.7582	5.8610	5.5632	0.0000	0.5000	4.319025	0.29778636	0.04895
23	Pipe	0.00	0.0000	5.6081	5.5591	0.0000	0.5000	0.709970	0.04895073	0.04895
24	Pipe	0.00	0.0000	5.5591	5.5591	0.5000	0.5000	0.000000	0.00000000	0.00000
25	Pipe	359.06	2.7582	5.5542	5.5508	0.5000	0.5000	0.048435	0.00333947	0.00000
26	Pipe	359.06	2.7582	5.5218	5.5212	0.5000	0.5000	0.009687	0.00066789	0.00000
27	Pipe	0.00	0.0000	5.5591	5.5591	0.5000	0.5000	0.000000	0.00000000	0.00000
28	Pipe	0.00	0.0000	5.5591	5.5591	0.5000	0.5000	0.000000	0.00000000	0.00000
29	Pipe	359.06	2.7582	5.5212	5.5152	0.5000	0.5000	0.087183	0.00601105	0.00000
30	Pipe	0.00	0.0000	5.5531	5.5531	0.5000	0.5000	0.000000	0.00000000	0.00000
31	Pipe	0.00	0.0000	5.5531	5.5531	0.5000	0.5000	0.000000	0.00000000	0.00000
32	Pipe	0.00	0.0000	5.4869	5.4869	0.5000	0.5000	0.000000	0.00000000	0.00000
33	Pipe	359.06	2.7582	5.5152	5.5122	0.5000	0.5000	0.043591	0.00300553	0.00000
34	Pipe	0.00	0.0000	5.4869	5.4869	0.5000	0.5000	0.000000	0.00000000	0.00000
35	Pipe	359.06	2.7582	5.5031	5.4998	0.5000	0.5000	0.048435	0.00333947	0.00000
36	Pipe	359.06	2.7582	5.4643	5.4610	0.5000	0.5000	0.048435	0.00333947	0.00000
37	Pipe	359.06	2.7582	5.4520	5.4490	0.5000	0.5000	0.043591	0.00300553	0.00000
38	Pipe	359.06	2.7582	5.4490	5.4483	0.5000	0.5000	0.009687	0.00066789	0.00000
39	Pipe	359.06	2.7582	5.4393	5.1987	0.5000	2.8000	3.488663	0.24053492	0.22517

Pipe	dH (meters)	P Static In (psig)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)
1	0.0013959	-4.143	0.7275	0.7350	0.7349
2	0.0051039	-4.217	0.7220	0.7299	0.7294
3	0.0061072	-4.246	0.7884	0.7279	0.7958
4	0.0008642	-3.283	0.7868	0.7942	0.7942
5	0.0009704	-3.205	0.7922	0.7942	0.7941
6	0.1604934	-3.314	0.8180	0.7942	0.8274
7	0.1637038	-3.324	0.8170	0.7937	0.8266
8	0.0072365	-2.936	0.8493	0.8202	0.8587
9	0.0073732	-2.953	0.8481	0.8193	0.8577
10	0.0090457	-3.724	0.8045	0.7659	0.8139
11	0.0092165	-3.768	0.8015	0.7630	0.8111
12	0.0054274	-3.131	0.8262	0.8067	0.8356
13	0.0049829	-3.177	0.8231	0.8038	0.8326
14	0.0071764	-2.746	0.8232	0.8334	0.8326
15	0.0136442	-3.170	0.8129	0.8326	0.8509
16	0.0068221	-3.036	0.8032	0.8419	0.8412
17	0.0068221	-3.046	0.8026	0.8412	0.8405
18	0.0000000	-2.495	0.8412	0.8412	0.8412
19	0.0204663	-3.187	0.7915	0.8315	0.8295
20	0.0000000	-2.495	0.8412	0.8412	0.8412
21	0.2914224	-3.636	0.7340	0.8005	0.7720
22	2.5416950	70.310	5.5632	5.8990	5.6012
23	0.0000000	66.642	5.5591	5.6081	5.5591
24	0.0000000	65.933	5.5591	5.5591	5.5591
25	0.0341106	65.861	5.5508	5.5922	5.5888
26	0.0068221	65.391	5.5212	5.5598	5.5591
27	0.0000000	65.933	5.5591	5.5591	5.5591
28	0.0000000	65.933	5.5591	5.5591	5.5591
29	0.0613990	65.382	5.5152	5.5591	5.5531
30	0.0000000	65.845	5.5531	5.5531	5.5531
31	0.0000000	65.845	5.5531	5.5531	5.5531
32	0.0000000	64.885	5.4869	5.4869	5.4869
33	0.0306995	65.295	5.5122	5.5531	5.5501
34	0.0000000	64.885	5.4869	5.4869	5.4869
35	0.0341106	65.120	5.4998	5.5411	5.5378
36	0.0341106	64.558	5.4610	5.5023	5.4990
37	0.0306995	64.378	5.4490	5.4899	5.4869
38	0.0068221	64.335	5.4483	5.4869	5.4863
39	0.1569086	64.194	5.1987	5.4773	5.2367



Pipe	Name	Vol. Flow Rate (gal/min)	Velocity (meters/sec)	P Static Max (bar)	P Static Min (bar)	Elevation Inlet (meters)	Elevation Outlet (meters)	dP Stag. Total (psid)	dP Static Total (bar)	dP Gravity (bar)
40	Pipe	359.06	2.7582	5.1897	5.1476	2.8000	2.8000	0.610280	0.04207736	0.00000
41	Pipe	359.06	2.7582	5.1386	5.1239	2.8000	2.8000	0.213890	0.01474723	0.00000
42	Pipe	255.49	1.9626	5.1426	5.1376	2.8000	2.8000	0.073294	0.00505342	0.00000
43	Pipe	255.49	1.9626	5.1330	5.1135	2.8000	2.8000	0.283081	0.01951774	0.00000
44	Pipe	169.19	1.2997	5.1243	5.1192	2.8000	2.8000	0.074191	0.00511526	0.00000
45	Pipe	84.33	0.6478	5.1255	5.1235	2.8000	2.8000	0.029215	0.00201430	0.00000
46	Pipe	0.00	0.0000	5.1256	5.1256	2.8000	2.8000	0.000000	0.00000000	0.00000
47	Pipe	84.33	2.4574	5.0954	5.0772	2.8000	2.8000	0.264889	0.01826349	0.00000
48	Pipe	84.33	2.4574	5.1721	5.0692	2.8000	1.6000	-1.492017	-0.10287095	-0.11748
49	Pipe	84.33	2.4574	5.2132	5.1704	1.6000	1.1000	-0.621674	-0.04286290	-0.04895
50	Pipe	84.33	2.4574	5.2053	5.2004	1.1000	1.1000	0.070247	0.00484337	0.00000
51	Pipe	35.27	1.0278	5.2253	5.2241	1.1000	1.1000	0.017051	0.00117560	0.00000
52	Pipe	49.04	1.4293	5.2204	5.2151	1.1000	1.1000	0.075823	0.00522783	0.00000
53	Pipe	49.04	1.4293	5.3154	5.2125	1.1000	0.0000	-1.492430	-0.10289942	-0.10769
54	Pipe	35.27	1.0278	5.3278	5.2227	1.1000	0.0000	-1.524423	-0.10510529	-0.10769
55	Pipe	49.04	1.4293	5.3127	5.3087	0.0000	0.0000	0.056846	0.00391943	0.00000
56	Pipe	32.66	0.9519	5.3144	5.3140	0.0000	0.0000	0.005913	0.00040767	0.00000
57	Pipe	16.33	0.4759	5.3174	5.3173	0.0000	0.0000	0.001658	0.00011430	0.00000
58	Pipe	35.27	1.0278	5.3264	5.3250	0.0000	0.0000	0.020438	0.00140915	0.00000
59	Pipe	17.61	0.5132	5.3290	5.3285	0.0000	0.0000	0.007606	0.00052442	0.00000
60	Pipe	16.33	2.9943	5.2737	5.2033	0.0000	0.0000	1.021134	0.07040472	0.00000
61	Pipe	16.34	2.9956	5.2737	5.2032	0.0000	0.0000	1.022792	0.07051902	0.00000
62	Pipe	16.38	3.0043	5.2739	5.2030	0.0000	0.0000	1.028705	0.07092670	0.00000
63	Pipe	17.66	3.2384	5.2780	5.1957	0.0000	0.0000	1.193606	0.08229625	0.00000
64	Pipe	17.61	3.2292	5.2777	5.1960	0.0000	0.0000	1.186000	0.08177183	0.00000
65	Pipe	84.87	2.4734	5.0971	5.0786	2.8000	2.8000	0.268191	0.01849111	0.00000
66	Pipe	84.87	2.4734	5.1732	5.0705	2.8000	1.6000	-1.489376	-0.10268886	-0.11748
67	Pipe	84.87	2.4734	5.2142	5.1715	1.6000	1.1000	-0.620573	-0.04278702	-0.04895
68	Pipe	84.87	2.4734	5.2062	5.2012	1.1000	1.1000	0.071605	0.00493702	0.00000
69	Pipe	35.50	1.0347	5.2264	5.2252	1.1000	1.1000	0.017264	0.00119031	0.00000
70	Pipe	49.38	1.4389	5.2214	5.2161	1.1000	1.1000	0.076787	0.00529430	0.00000
71	Pipe	49.38	1.4389	5.3163	5.2134	1.1000	0.0000	-1.491546	-0.10283849	-0.10769
72	Pipe	35.50	1.0347	5.3289	5.2238	1.1000	0.0000	-1.523953	-0.10507291	-0.10769
73	Pipe	49.38	1.4389	5.3135	5.3096	0.0000	0.0000	0.057586	0.00397038	0.00000
74	Pipe	32.88	0.9583	5.3153	5.3149	0.0000	0.0000	0.005987	0.00041281	0.00000
75	Pipe	16.44	0.4791	5.3183	5.3182	0.0000	0.0000	0.001678	0.00011571	0.00000
76	Pipe	35.50	1.0347	5.3275	5.3261	0.0000	0.0000	0.020701	0.00142726	0.00000
77	Pipe	17.73	0.5166	5.3301	5.3295	0.0000	0.0000	0.007699	0.00053083	0.00000
78	Pipe	16.44	3.0145	5.2740	5.2027	0.0000	0.0000	1.034875	0.07135215	0.00000
79	Pipe	16.45	3.0158	5.2741	5.2026	0.0000	0.0000	1.036553	0.07146784	0.00000
80	Pipe	16.49	3.0246	5.2742	5.2023	0.0000	0.0000	1.042541	0.07188066	0.00000

Pipe	dH (meters)	P Static In (psig)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)
40	0.4297930	60.574	5.1476	5.2277	5.1856
41	0.1506334	59.833	5.1239	5.1766	5.1618
42	0.0516174	59.891	5.1376	5.1618	5.1568
43	0.1993610	59.752	5.1135	5.1522	5.1327
44	0.0522491	59.625	5.1192	5.1327	5.1276
45	0.0205748	59.643	5.1235	5.1276	5.1256
46	0.0000000	59.644	5.1256	5.1256	5.1256
47	0.1865497	59.207	5.0772	5.1256	5.1073
48	0.1492398	58.827	5.1721	5.0993	5.2022
49	0.0621832	60.294	5.2132	5.2005	5.2434
50	0.0494718	60.800	5.2004	5.2354	5.2306
51	0.0120080	61.091	5.2241	5.2306	5.2294
52	0.0533989	61.019	5.2151	5.2306	5.2253
53	0.0489490	60.904	5.3154	5.2226	5.3255
54	0.0264175	61.053	5.3278	5.2280	5.3331
55	0.0400344	62.358	5.3087	5.3229	5.3189
56	0.0041641	62.383	5.3140	5.3189	5.3185
57	0.0011675	62.426	5.3173	5.3185	5.3184
58	0.0143936	62.558	5.3250	5.3317	5.3303
59	0.0053566	62.594	5.3285	5.3303	5.3298
60	0.7191387	61.792	5.2033	5.3184	5.2480
61	0.7203062	61.793	5.2032	5.3185	5.2480
62	0.7244703	61.795	5.2030	5.3189	5.2480
63	0.8406030	61.854	5.1957	5.3303	5.2480
64	0.8352464	61.851	5.1960	5.3298	5.2480
65	0.1888747	59.230	5.0786	5.1276	5.1091
66	0.1510998	58.845	5.1732	5.1010	5.2037
67	0.0629582	60.310	5.2142	5.2020	5.2448
68	0.0504285	60.813	5.2012	5.2367	5.2318
69	0.0121583	61.107	5.2252	5.2318	5.2306
70	0.0540779	61.035	5.2161	5.2318	5.2265
71	0.0495714	60.918	5.3163	5.2238	5.3266
72	0.0267483	61.069	5.3289	5.2292	5.3342
73	0.0405549	62.370	5.3096	5.3239	5.3199
74	0.0042166	62.396	5.3149	5.3199	5.3195
75	0.0011819	62.440	5.3182	5.3195	5.3194
76	0.0145785	62.573	5.3261	5.3328	5.3314
77	0.0054221	62.610	5.3295	5.3314	5.3309
78	0.7288160	61.797	5.2027	5.3194	5.2480
79	0.7299978	61.798	5.2026	5.3195	5.2480
80	0.7342144	61.800	5.2023	5.3199	5.2480



Pipe	Name	Vol. Flow Rate (gal/min)	Velocity (meters/sec)	P Static Max (bar)	P Static Min (bar)	Elevation Inlet (meters)	Elevation Outlet (meters)	dP Stag. Total (psid)	dP Static Total (bar)	dP Gravity (bar)
81	Pipe	17.78	3.2602	5.2784	5.1950	0.0000	0.0000	1.209596	0.08339872	0.00000
82	Pipe	17.73	3.2508	5.2781	5.1953	0.0000	0.0000	1.201897	0.08286789	0.00000
83	Pipe	86.30	2.5151	5.1011	5.0820	2.8000	2.8000	0.276910	0.01909231	0.00000
84	Pipe	86.30	2.5151	5.1759	5.0737	2.8000	1.6000	-1.482400	-0.10220790	-0.11748
85	Pipe	86.30	2.5151	5.2167	5.1741	1.6000	1.1000	-0.617667	-0.04258662	-0.04895
86	Pipe	86.30	2.5151	5.2084	5.2033	1.1000	1.1000	0.073937	0.00509779	0.00000
87	Pipe	36.10	1.0521	5.2293	5.2281	1.1000	1.1000	0.017808	0.00122785	0.00000
88	Pipe	50.21	1.4632	5.2242	5.2187	1.1000	1.1000	0.079247	0.00546387	0.00000
89	Pipe	50.21	1.4632	5.3185	5.2159	1.1000	0.0000	-1.489291	-0.10268305	-0.10769
90	Pipe	36.10	1.0521	5.3316	5.2266	1.1000	0.0000	-1.522756	-0.10499033	-0.10769
91	Pipe	50.21	1.4632	5.3157	5.3116	0.0000	0.0000	0.059432	0.00409767	0.00000
92	Pipe	33.44	0.9745	5.3176	5.3172	0.0000	0.0000	0.006177	0.00042586	0.00000
93	Pipe	16.72	0.4872	5.3207	5.3206	0.0000	0.0000	0.001730	0.00011928	0.00000
94	Pipe	36.10	1.0521	5.3302	5.3287	0.0000	0.0000	0.021354	0.00147233	0.00000
95	Pipe	18.03	0.5253	5.3328	5.3323	0.0000	0.0000	0.007936	0.00054719	0.00000
96	Pipe	16.72	3.0654	5.2749	5.2011	0.0000	0.0000	1.069820	0.07376149	0.00000
97	Pipe	16.72	3.0668	5.2749	5.2011	0.0000	0.0000	1.071550	0.07388077	0.00000
98	Pipe	16.77	3.0757	5.2751	5.2008	0.0000	0.0000	1.077726	0.07430662	0.00000
99	Pipe	18.08	3.3150	5.2794	5.1932	0.0000	0.0000	1.250256	0.08620212	0.00000
100	Pipe	18.03	3.3055	5.2791	5.1935	0.0000	0.0000	1.242320	0.08565494	0.00000
101	Pipe	103.57	3.0184	5.2122	5.1164	2.8000	1.6000	-1.389610	-0.09581023	-0.11748
102	Pipe	103.57	3.0184	5.2495	5.2096	1.6000	1.1000	-0.579004	-0.03992093	-0.04895
103	Pipe	103.57	3.0184	5.2375	5.2303	1.1000	1.1000	0.104868	0.00723040	0.00000
104	Pipe	43.31	1.2620	5.2678	5.2661	1.1000	1.1000	0.025012	0.00172453	0.00000
105	Pipe	60.28	1.7566	5.2604	5.2526	1.1000	1.1000	0.111877	0.00771365	0.00000
106	Pipe	60.28	1.7566	5.3492	5.2486	1.1000	0.0000	-1.459380	-0.10062076	-0.10769
107	Pipe	43.31	1.2620	5.3679	5.2640	1.1000	0.0000	-1.506907	-0.10389763	-0.10769
108	Pipe	60.28	1.7566	5.3451	5.3393	0.0000	0.0000	0.083921	0.00578614	0.00000
109	Pipe	40.14	1.1699	5.3479	5.3473	0.0000	0.0000	0.008681	0.00059854	0.00000
110	Pipe	20.07	0.5848	5.3524	5.3523	0.0000	0.0000	0.002413	0.00016634	0.00000
111	Pipe	43.31	1.2620	5.3658	5.3637	0.0000	0.0000	0.030003	0.00206862	0.00000
112	Pipe	21.62	0.6301	5.3697	5.3689	0.0000	0.0000	0.011061	0.00076266	0.00000
113	Pipe	20.07	3.6799	5.2864	5.1804	0.0000	0.0000	1.536951	0.10596904	0.00000
114	Pipe	20.08	3.6816	5.2865	5.1804	0.0000	0.0000	1.539363	0.10613538	0.00000
115	Pipe	20.13	3.6921	5.2867	5.1800	0.0000	0.0000	1.548044	0.10673392	0.00000
116	Pipe	21.68	3.9763	5.2927	5.1691	0.0000	0.0000	1.793446	0.12365375	0.00000
117	Pipe	21.62	3.9651	5.2924	5.1695	0.0000	0.0000	1.782384	0.12289111	0.00000

Pipe	dH (meters)	P Static In (psig)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)
81	0.8518640	61.860	5.1950	5.3314	5.2480
82	0.8464419	61.857	5.1953	5.3309	5.2480
83	0.1950156	59.290	5.0820	5.1327	5.1136
84	0.1560125	58.892	5.1759	5.1053	5.2075
85	0.0650052	60.348	5.2167	5.2057	5.2483
86	0.0520706	60.845	5.2033	5.2399	5.2348
87	0.0125417	61.149	5.2281	5.2348	5.2336
88	0.0558099	61.074	5.2187	5.2348	5.2294
89	0.0511591	60.954	5.3185	5.2266	5.3292
90	0.0275917	61.110	5.3316	5.2322	5.3371
91	0.0418550	62.402	5.3116	5.3264	5.3223
92	0.0043498	62.429	5.3172	5.3223	5.3219
93	0.0012183	62.474	5.3206	5.3219	5.3218
94	0.0150389	62.611	5.3287	5.3357	5.3342
95	0.0055892	62.650	5.3323	5.3342	5.3337
96	0.7534259	61.809	5.2011	5.3218	5.2480
97	0.7546442	61.811	5.2011	5.3219	5.2480
98	0.7589941	61.813	5.2008	5.3223	5.2480
99	0.8804989	61.875	5.1932	5.3342	5.2480
100	0.8749098	61.871	5.1935	5.3337	5.2480
101	0.2213605	59.511	5.2122	5.1618	5.2577
102	0.0922335	60.863	5.2495	5.2551	5.2950
103	0.0738539	61.268	5.2303	5.2830	5.2758
104	0.0176150	61.707	5.2661	5.2758	5.2740
105	0.0787899	61.599	5.2526	5.2758	5.2680
106	0.0722241	61.428	5.3492	5.2640	5.3646
107	0.0387529	61.652	5.3679	5.2719	5.3758
108	0.0591017	62.829	5.3393	5.3605	5.3547
109	0.0061137	62.869	5.3473	5.3547	5.3541
110	0.0016991	62.935	5.3523	5.3541	5.3540
111	0.0211297	63.128	5.3637	5.3737	5.3717
112	0.0077901	63.185	5.3689	5.3717	5.3709
113	1.0824052	61.977	5.1804	5.3540	5.2480
114	1.0841043	61.978	5.1804	5.3541	5.2480
115	1.0902179	61.981	5.1800	5.3547	5.2480
116	1.2630431	62.069	5.1691	5.3717	5.2480
117	1.2552532	62.064	5.1695	5.3709	5.2480

All Junction Table

Jct	Name	P Static In (bar)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)	Vol. Flow Rate Thru Jct (m3/hr)	Mass Flow Rate Thru Jct (kg/sec)	Loss Factor (K)
1	Assigned Pressure	0.7276	0.7276	0.7350	0.7350	81.558	22.617	0.00000
2	Valve	0.7275	0.7225	0.7349	0.7299	81.558	22.617	0.67354
3	Bend	0.7220	0.7205	0.7294	0.7279	81.558	22.617	0.20954
4	Bend	0.7884	0.7869	0.7958	0.7942	81.558	22.617	0.20954
5	Tee or Wye	0.7885	0.7885	0.7942	0.7942	N/A	N/A	0.00000
6	Bend	0.7922	0.7841	0.7941	0.7937	40.985	11.365	0.20954
7	Valve	0.8180	0.8108	0.8274	0.8202	40.579	11.253	0.76383
8	Valve	0.8170	0.8097	0.8266	0.8193	40.985	11.365	0.76383
9	Screen	0.8493	0.7565	0.8587	0.7659	40.579	11.253	9.87000
10	Screen	0.8481	0.7535	0.8577	0.7630	40.985	11.365	9.87000
11	Valve	0.8045	0.7973	0.8139	0.8067	40.579	11.253	0.76383
12	Valve	0.8015	0.7942	0.8111	0.8038	40.985	11.365	0.76383
13	Bend	0.8262	0.8239	0.8356	0.8334	40.579	11.253	0.23764
14	Tee or Wye	0.8158	0.8158	0.8326	0.8326	N/A	N/A	0.00000
15	Bend	0.8129	0.8039	0.8509	0.8419	81.550	22.615	0.23764
16	Tee or Wye	0.8243	0.8243	0.8412	0.8412	N/A	N/A	0.00000
17	Bend	0.8026	0.7935	0.8405	0.8315	81.550	22.615	0.23764
18	Valve	0.8412	0.8412	0.8412	0.8412	0.000	0.000	0.00000
19	Valve	0.7915	0.7625	0.8295	0.8005	81.550	22.615	0.76383
X20	Pump	0.8412	5.6081	0.8412	5.6081	0.000	0.000	0.00000
21	Pump	0.7340	5.8610	0.7720	5.8990	81.550	22.615	0.00000
22	Bend	5.5632	5.5542	5.6012	5.5922	81.550	22.615	0.23764
23	Bend	5.5591	5.5591	5.5591	5.5591	0.000	0.000	0.00000
24	Valve	5.5591	5.5591	5.5591	5.5591	0.000	0.000	0.00000
25	Valve	5.5508	5.5218	5.5888	5.5598	81.550	22.615	0.76383
26	Bend	5.5591	5.5591	5.5591	5.5591	0.000	0.000	0.00000
27	Tee or Wye	5.5423	5.5423	5.5591	5.5591	N/A	N/A	0.00000
28	Tee or Wye	5.5363	5.5363	5.5531	5.5531	N/A	N/A	0.00000
29	Valve	5.5531	5.5531	5.5531	5.5531	0.000	0.000	0.00000
X30	Control Valve	5.5531	5.4869	5.5531	5.4869	0.000	0.000	0.00000
31	Valve	5.4869	5.4869	5.4869	5.4869	0.000	0.000	0.00000
32	Bend	5.5122	5.5031	5.5501	5.5411	81.550	22.615	0.23764
33	Tee or Wye	5.4701	5.4701	5.4869	5.4869	N/A	N/A	0.00000
34	Valve	5.4998	5.4643	5.5378	5.5023	81.550	22.615	0.93357
35	Bend	5.4610	5.4520	5.4990	5.4899	81.550	22.615	0.23764
36	Bend	5.4483	5.4393	5.4863	5.4773	81.550	22.615	0.23764
37	Bend	5.1987	5.1897	5.2367	5.2277	81.550	22.615	0.23764
38	Bend	5.1476	5.1386	5.1856	5.1766	81.550	22.615	0.23764
39	Branch	5.1286	5.1286	5.1618	5.1618	N/A	N/A	0.00000
40	Bend	5.1376	5.1330	5.1568	5.1522	58.028	16.092	0.23764
41	Branch	5.1142	5.1142	5.1327	5.1327	N/A	N/A	0.00000

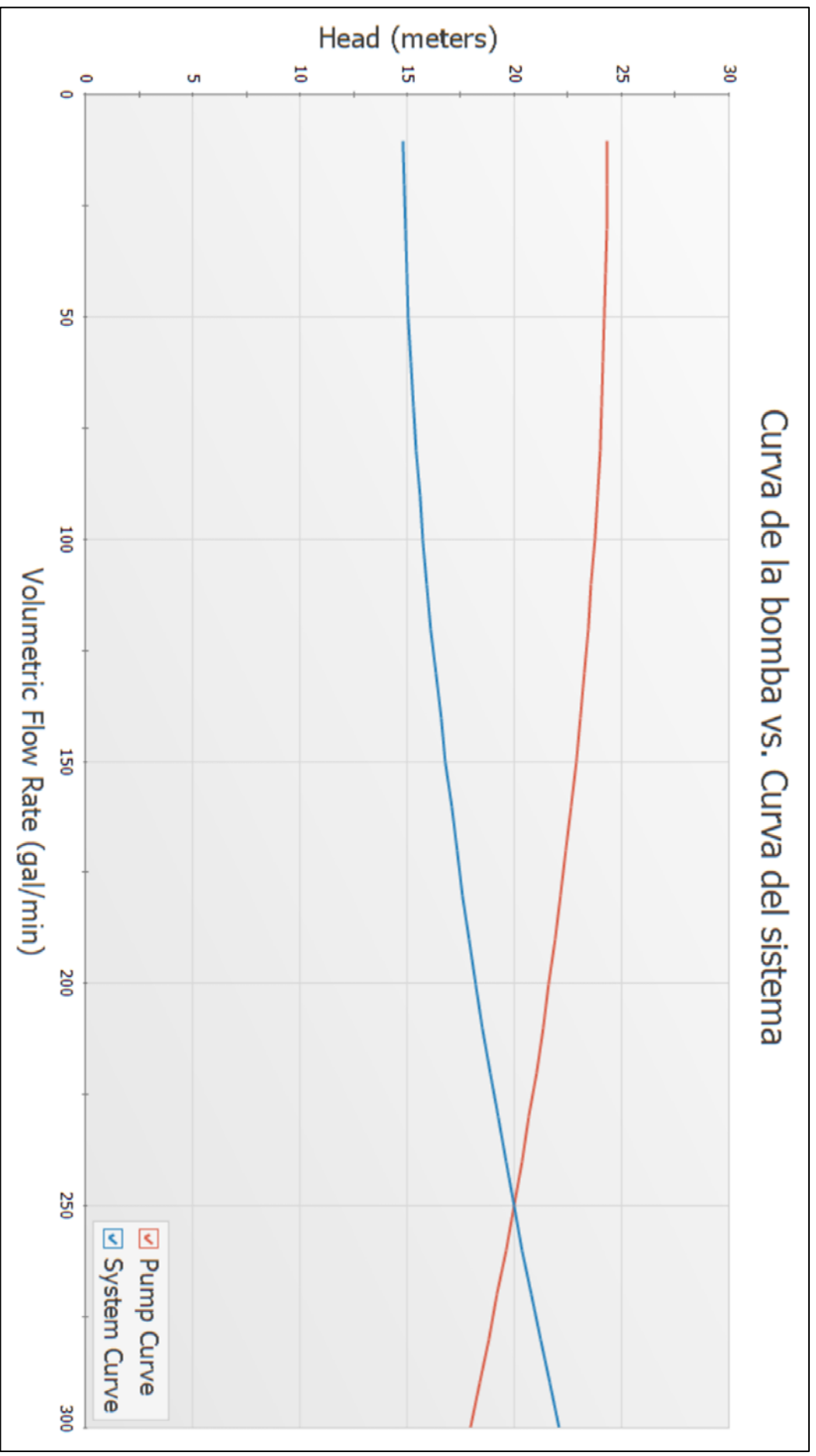
Jct	Name	P Static In (bar)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)	Vol. Flow Rate Thru Jct (m3/hr)	Mass Flow Rate Thru Jct (kg/sec)	Loss Factor (K)
42	Branch	5.1167	5.1167	5.1276	5.1276	N/A	N/A	0.00000
43	Branch	5.1202	5.1202	5.1256	5.1256	N/A	N/A	0.00000
44	Dead End	5.1256	5.1256	5.1256	5.1256	0.000	0.000	0.00000
45	Bend	5.0772	5.0692	5.1073	5.0993	19.152	5.311	0.26412
46	Valve	5.1721	5.1704	5.2022	5.2005	19.152	5.311	0.05660
47	Bend	5.2132	5.2053	5.2434	5.2354	19.152	5.311	0.26412
48	Tee or Wye	5.2172	5.2172	5.2306	5.2306	N/A	N/A	0.00000
49	Bend	5.2151	5.2125	5.2253	5.2226	11.139	3.089	0.26412
50	Bend	5.2241	5.2227	5.2294	5.2280	8.010	2.221	0.26412
51	Bend	5.3278	5.3264	5.3331	5.3317	8.010	2.221	0.26412
52	Bend	5.3154	5.3127	5.3255	5.3229	11.139	3.089	0.26412
53	Branch	5.3029	5.3029	5.3189	5.3189	N/A	N/A	0.00000
54	Branch	5.3077	5.3077	5.3185	5.3185	N/A	N/A	0.00000
55	Branch	5.3173	5.2737	5.3184	5.3184	3.709	1.028	0.00000
56	Branch	5.3176	5.3176	5.3303	5.3303	N/A	N/A	0.00000
57	Branch	5.3285	5.2777	5.3298	5.3298	3.999	1.109	0.00000
58	Reservoir	5.1501	5.2480	5.1501	5.2480	N/A	N/A	0.00000
59	Bend	5.0786	5.0705	5.1091	5.1010	19.277	5.346	0.26412
60	Valve	5.1732	5.1715	5.2037	5.2020	19.277	5.346	0.05660
61	Bend	5.2142	5.2062	5.2448	5.2367	19.277	5.346	0.26412
62	Tee or Wye	5.2182	5.2182	5.2318	5.2318	N/A	N/A	0.00000
63	Bend	5.2161	5.2134	5.2265	5.2238	11.214	3.110	0.26412
64	Bend	5.2252	5.2238	5.2306	5.2292	8.064	2.236	0.26412
65	Bend	5.3289	5.3275	5.3342	5.3328	8.064	2.236	0.26412
66	Bend	5.3163	5.3135	5.3266	5.3239	11.214	3.110	0.26412
67	Branch	5.3036	5.3036	5.3199	5.3199	N/A	N/A	0.00000
68	Branch	5.3085	5.3085	5.3195	5.3195	N/A	N/A	0.00000
69	Branch	5.3182	5.2740	5.3194	5.3194	3.734	1.035	0.00000
70	Branch	5.3186	5.3186	5.3314	5.3314	N/A	N/A	0.00000
71	Branch	5.3295	5.2781	5.3309	5.3309	4.026	1.117	0.00000
72	Reservoir	5.1501	5.2480	5.1501	5.2480	N/A	N/A	0.00000
73	Bend	5.0820	5.0737	5.1136	5.1053	19.602	5.436	0.26412
74	Valve	5.1759	5.1741	5.2075	5.2057	19.602	5.436	0.05660
75	Bend	5.2167	5.2084	5.2483	5.2399	19.602	5.436	0.26412
76	Tee or Wye	5.2208	5.2208	5.2348	5.2348	N/A	N/A	0.00000
77	Bend	5.2187	5.2159	5.2294	5.2266	11.404	3.162	0.26412
78	Bend	5.2281	5.2266	5.2336	5.2322	8.200	2.274	0.26412
79	Bend	5.3316	5.3302	5.3371	5.3357	8.200	2.274	0.26412
80	Bend	5.3185	5.3157	5.3292	5.3264	11.404	3.162	0.26412
81	Branch	5.3055	5.3055	5.3223	5.3223	N/A	N/A	0.00000
82	Branch	5.3105	5.3105	5.3219	5.3219	N/A	N/A	0.00000

Jct	Name	P Static In (bar)	P Static Out (bar)	P Stag. In (bar)	P Stag. Out (bar)	Vol. Flow Rate Thru Jct (m3/hr)	Mass Flow Rate Thru Jct (kg/sec)	Loss Factor (K)
83	Branch	5.3206	5.2749	5.3218	5.3218	3.797	1.053	0.00000
84	Branch	5.3209	5.3209	5.3342	5.3342	N/A	N/A	0.00000
85	Branch	5.3323	5.2791	5.3337	5.3337	4.094	1.135	0.00000
86	Reservoir	5.1501	5.2480	5.1501	5.2480	N/A	N/A	0.00000
87	Valve	5.2122	5.2096	5.2577	5.2551	23.524	6.523	0.05660
88	Bend	5.2495	5.2375	5.2950	5.2830	23.524	6.523	0.26412
89	Tee or Wye	5.2555	5.2555	5.2758	5.2758	N/A	N/A	0.00000
90	Bend	5.2526	5.2486	5.2680	5.2640	13.690	3.796	0.26412
91	Bend	5.2661	5.2640	5.2740	5.2719	9.836	2.728	0.26412
92	Bend	5.3679	5.3658	5.3758	5.3737	9.836	2.728	0.26412
93	Bend	5.3492	5.3451	5.3646	5.3605	13.690	3.796	0.26412
94	Branch	5.3304	5.3304	5.3547	5.3547	N/A	N/A	0.00000
95	Branch	5.3378	5.3378	5.3541	5.3541	N/A	N/A	0.00000
96	Branch	5.3523	5.2864	5.3540	5.3540	4.558	1.264	0.00000
97	Branch	5.3526	5.3526	5.3717	5.3717	N/A	N/A	0.00000
98	Branch	5.3689	5.2924	5.3709	5.3709	4.911	1.362	0.00000
99	Reservoir	5.1501	5.2480	5.1501	5.2480	N/A	N/A	0.00000



## Anexo 9

### Curva de la bomba vs. Curva del sistema



# Anexo 10

SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 2

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro diseño (m)	Espesor de ducto (m)	Longitud (m)	Nº codos 90º	Nº codos 45º	Nº codos 30º	Nº expansiones	Nº uniones	Ángulo de campanas	Peso lineal
1-3	0,94	0,245	0,003	5	1	0	1	0	0	78	18,35
2-3	0,94	0,245	0,003	2	1	0	1	0	1	64	18,35
A3-9	1,88	0,35	0,003	40	4	1	0	0	0	-	261,2
4-6	0,87	0,24	0,003	6,5	2	1	0	0	1	18	17,98
5-6	0,87	0,24	0,003	4	1	0	0	0	0	18	17,98
B-6-8	1,74	0,34	0,003	10	2	0	0	0	1	66	279,7
7-8	2,16	0,375	0,003	2	1	0	0	0	0	66	279,7
C-8-9	3,90	0,51	0,005	10	1	1	0	0	1	-	63,50
D-9-10	5,78	0,625	0,005	26	4	0	0	0	0	-	77,68
10-11	2,89	0,45	0,003	1	1	0	0	0	0	-	33,51
10-12	2,89	0,45	0,003	3	1	0	0	0	1	-	33,51

SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 1

Tramo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro diseño (m)	Espesor de ducto (m)	Longitud (m)	Nº codos 90º	Nº codos 45º	Nº codos 30º	Nº expansiones	Nº uniones	Ángulo de campanas	Peso lineal
1-3	0,94	0,25	0,003	5	1	0	1	0	0	78	18,35
2-3	0,94	0,25	0,003	2	1	0	1	0	1	64	18,35
A3-9	1,88	0,35	0,003	23	2	1	0	0	1	-	261,2
4-6	0,87	0,24	0,003	7	2	1	0	0	1	18	17,98
5-6	0,87	0,24	0,003	4	1	0	0	0	0	18	17,98
B-6-8	1,74	0,34	0,003	10	2	0	0	0	1	66	279,7
7-8	2,16	0,38	0,003	2	1	0	0	0	0	66	279,7
C-8-9	3,90	0,51	0,005	28	5	2	0	0	1	-	63,50
D-9-10	5,78	0,63	0,005	2	1	0	0	0	0	-	77,68
10-11	2,89	0,45	0,003	2	1	1	0	0	0	-	33,51
10-12	2,89	0,45	0,003	1	0	0	0	0	1	-	33,51

Tramo	1-3		2-3		A3-9		4-6		5-6		B-6-8		7-8		C-8-9		D-9-10		10-11		10-12		TOTAL (kg)
	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	L (m)	P (kg)	
SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 2	5	92	2	37	40	1045	7	117	4	72	10	254	10	56	10	635	26	2020	1	34	3	101	4460
SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 1	5	92	2	37	23	601	7	117	4	72	10	254	10	56	10	1778	2	155	2	67	1	34	3262
Sistema (kg)	183		73		1645		234		144		508		112		2413		2175		101		134		7722


# Anexo 11

SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 2												
Tamaño	Caudal (m³/s)	Diametro dibujo (m)	Espesor de dibujo (m)	Longitud (m)	Nº codos 90°	Nº codos 45°	Nº codos 30°	Nº expansiones	Nº uniones	ángulo de campanas	peso lineal	longitud codos
1-3	0,939	0,245	0,003	5	1	0	1	0	0	78	0	0,6125
2-3	0,939	0,245	0,003	2	1	0	1	0	1	64	0	0,6125
A+3-9	1,878	0,35	0,003	40	4	1	0	1	0	4	0	0,875
4-6	0,87	0,24	0,003	6,5	2	1	0	0	1	18	0	0,6
5-6	0,87	0,24	0,003	4	1	0	0	0	0	18	0	0,6
B+6-8	1,74	0,34	0,003	10	2	0	0	1	1	66	0	0,85
7-8	1,74	0,375	0,003	2	1	0	0	0	0	66	0	0,9375
C+8-9	3,9	0,51	0,005	10	5	1	0	1	1	1,275	0	1,275
D+9-10	5,778	0,625	0,005	26	4	0	0	1	0		0	1,5625
10-11	2,889	0,45	0,003	1	1	0	0	0	0		0	1,125
10-12	2,889	0,45	0,003	3	1	0	0	0	1		0	1,125

SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 1												
Tamaño	Caudal (m³/s)	Diametro dibujo (m)	Espesor de dibujo (m)	Longitud (m)	Nº codos 90°	Nº codos 45°	Nº codos 30°	Nº expansiones	Nº uniones	ángulo de campanas	peso lineal	longitud codos
1-3	0,939	0,245	0,003	5	1	0	1	0	0	78	0	0,6125
2-3	0,939	0,245	0,003	2	1	0	1	0	1	64	0	0,6125
A+3-9	1,878	0,35	0,003	23	2	1	1	1	1	18	0	0,875
4-6	0,87	0,24	0,003	6,5	2	1	0	0	1	18	0	0,6
5-6	0,87	0,24	0,003	4	1	0	0	0	0	18	0	0,6
B+6-8	1,74	0,34	0,003	10	2	0	0	1	1	66	0	0,85
7-8	1,74	0,375	0,003	2	1	0	0	0	0	66	0	0,9375
C+8-9	3,9	0,51	0,005	28	5	2	0	1	0	1,275	0	1,275
D+9-10	5,778	0,625	0,005	2	0	0	0	1	0		0	1,5625
10-11	2,889	0,45	0,003	2	1	0	0	0	0		0	1,125
10-12	2,889	0,45	0,003	1	0	1	0	0	1		0	1,125

Característica	1-3			2-3			A+3-9			4-6			5-6			B+6-8	
	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)
SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 2	15,0	95,0	15,0	91,2	106,2	102,8	34,3	137,1	27,0	60,8	87,8	10,8	50,0	60,8	43,1	53,9	97,1
SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 1	15,0	95,0	15,0	91,2	106,2	64,7	57,1	121,9	27,0	60,8	87,8	10,8	50,0	60,8	43,1	53,9	97,1
Subtotal		190,0			212,4			259,0			175,5		121,6			194,1	
Característica	7-8			C+8-9			D+9-10			10-11			10-12			TOTAL	
	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)	Peso codos accesorios (kg)	Peso total (kg)
SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 2	26,2	176,2	121,5	202,4	323,9	485,5	182,1	667,6	37,7	0,0	37,7	18,9	37,7	56,6	1628,5		
SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO 1	26,2	176,2	121,5	202,4	323,9	0,0	182,1	182,1	37,7	0,0	75,4	18,9	37,7	56,6	1628,5		
Subtotal		352,4			931,1			849,7			152,8		132,0		1152,6		

Anexo 12

 <b>ESTIMADO COSTO CAPITAL DEL PROYECTO:</b> <b>TESIS: Diseño de un sistema de coleccion de polvo</b> <b>Con descarga en un tanque mezclador de agua</b>						
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	P.U. US\$	PARCIAL	TOTAL
<b>1.00 SUMINISTRO DE EQUIPOS Y MATERIALES (PROCURA)</b>						<b>541,800</b>
<b>1.01 EQUIPOS MECANICOS</b>						<b>476,900</b>
1.01.01	Colector de polvo CAMFILL, GS 24	Und	2	200,000	400,000	
1.01.02	Tanque mezclador de agua y polvo CAMFILL, 60 psig	Und	4	6,600	26,400	
1.01.03	Bomba centrífuga GOULD PUMP, 3196/HT3196 2x3-13	Und	2	10,240	20,480	
1.01.04	Bomba sumidero GOULD PUMP, API 3171 2.5x3-8	Und	1	15,000	15,000	
1.01.05	Secador de aire ATLAS COPCO, CD 60	Und	1	15,000	15,000	
<b>1.02 ACERO</b>						<b>42,100</b>
1.02.01	Acero A-36	kg	20,534	1	26,694	
1.02.02	Acero Hardox 400	kg	3,493	3	11,352	
1.02.03	Acero AISI-316	kg	443	9	4,031	
<b>1.03 TUBERIAS Y ACCESORIOS</b>						<b>22,800</b>
1.03.01	Tubería,6", espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	ml	3	50	150	
1.03.02	Tubería,4", espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	ml	153	20	3,060	
1.03.03	Tubería,2", espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	ml	56	15	840	
1.03.04	Tubería,1/2", espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	ml	13	6	78	
1.03.05	Tubería,2", espesor estándar (SCH 40), A53-B galvanizado	ml	23	60	1,380	
1.03.06	Tubería,1", espesor estándar (SCH 40), A53-B galvanizado	ml	6	22	132	
1.03.07	Codo 90°, 4", R/D 3, clase 150, A197	Und	8	100	800	
1.03.08	Codo 90°, 6", R/D 1, clase 150, A197	Und	3	130	390	
1.03.09	Codo 90°, 4", R/D 1, clase 150, A197	Und	13	80	1,040	
1.03.10	Codo 90°, 2", R/D 1, clase 150, A197	Und	24	20	480	
1.03.11	Codo 90°, 1/2", R/D 1, clase 150, A197	Und	28	5	140	
1.03.12	T, 6" x 4", reductora, clase 150, A197	Und	1	150	150	
1.03.13	T, 4", clase 150, A197,	Und	9	150	1,350	
1.03.14	T, 2", clase 150, A197,	Und	4	50	200	
1.03.15	Codo 90°, 2", R/D 1, clase 150, A197 galvanizado	Und	11	80	880	
1.03.16	Codo 90°, 1/2", R/D 1, clase 150, A197 galvanizado	Und	6	20	120	
1.03.17	Mariposa, 6", clase 175, tipo "waffer",	Und	1	200	200	
1.03.18	Mariposa, 4", clase 175, tipo "waffer",	Und	12	180	2,160	
1.03.19	Pinch, 4", clase 150, abierta, accionamiento manual	Und	1	200	200	
1.03.20	Pinch, 4", clase 150, abierta, accionamiento eléctrico	Und	1	500	500	
1.03.21	Bola, 2", 1000 PSI, acero, accionamiento manual	Und	5	50	250	
1.03.22	Bola, 1/2", 1000 PSI, acero, accionamiento manual	Und	20	10	200	
1.03.23	Bola, 2", 1000 PSI, bronce, accionamiento manual	Und	6	30	180	
1.03.24	Bola, 1", 1000 PSI, bronce, accionamiento manual	Und	5	20	100	
1.03.25	Reducción, 6" x 4", clase 150, A197,	Und	1	150	150	
1.03.26	Reducción, 4" x 2", clase 150, A197,	Und	4	50	200	
1.03.27	Reducción, 2" x 1", clase 150, A197 galvanizado,	Und	2	50	100	
1.03.28	Brida, 6", clase 150, A105,	Und	2	80	160	
1.03.29	Brida, 4", clase 150, A105,	Und	39	50	1,950	
1.03.30	Flujómetro magnético, 4",,,	Und	1	4,000	4,000	
1.03.31	Weldolet, 4" x 1/2", estandar, A 105,	Und	4	5	20	
1.03.32	Weldolet, 2" x 1/2", estandar, A 105,	Und	24	5	120	
1.03.33	Empaquetadura, 6", clase 150, FF, espesor 3 mm	Und	2	3	6	
1.03.34	Empaquetadura, 4", clase 150, FF, espesor 3 mm	Und	29	3	87	
1.03.35	Filtro Y strainer, 4",	Und	2	500	1,000	
<b>2.00 CONSTRUCCIÓN Y PRE OPERACIONES</b>						<b>150,100</b>
<b>2.01 TRABAJOS PRELIMINARES</b>						<b>5,800</b>
02.01.01	Movilización y desmovilización de equipos y herramientas	Glb	1	1,200	1,200	
02.01.02	Acondicionamiento de almacén para materiales, equipos e implementos de seguridad	Glb	1	2,400	2,400	
02.01.03	Trazo y replanteo	Glb	1	2,200	2,200	
<b>2.02 OBRAS MECANICAS</b>						<b>121,000</b>
02.02.01	Montaje Colector de polvo CAMFILL, GS 24	Und	2	10,000	20,000	
02.02.02	Montaje Tanque mezclador de agua y polvo CAMFILL, 60 psig	Und	4	500	2,000	
02.02.03	Montaje Bomba centrífuga GOULD PUMP, 3196/HT3196 2x3-13	Und	2	3,000	6,000	
02.02.04	Montaje Bomba sumidero GOULD PUMP, API 3171 2.5x3-8	Und	1	3,000	3,000	
02.02.05	Montaje Secador de aire ATLAS COPCO, CD 60	Und	1	500	500	
02.02.06	Fabricación y montaje de soportes estructurales	kg	12,812	3	38,436	
02.02.07	Fabricación y montaje de ductos tramos rectos	kg	7,722	4	30,888	
02.02.08	Fabricacion y montaje de accesorios de ductos y campanas	kg	3,493	5	17,465	
02.02.09	Fabricación y montaje de deposito de aire	kg	443	6	2,658	



**ESTIMADO COSTO CAPITAL DEL PROYECTO:**

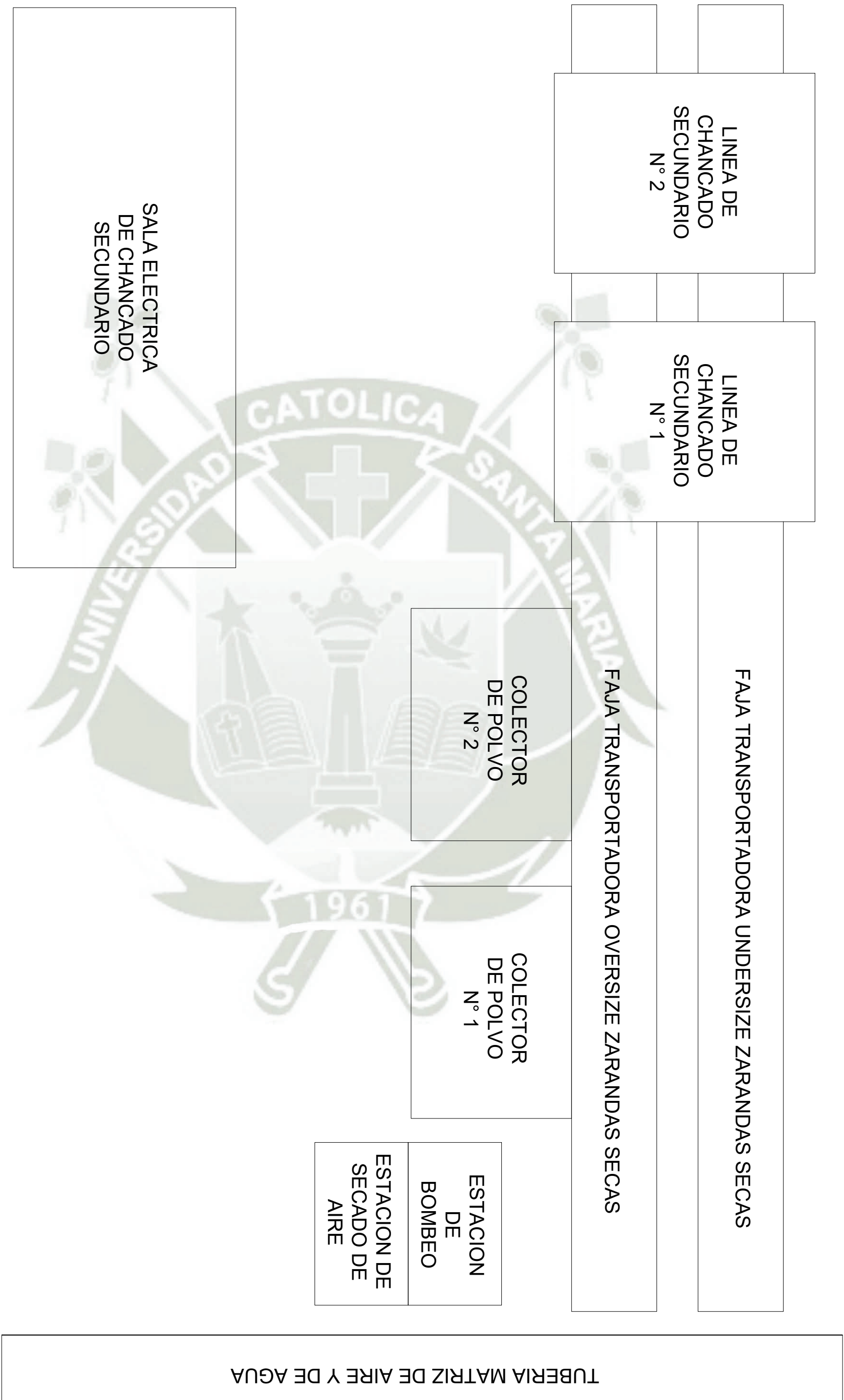
**TESIS: Diseño de un sistema de coleccion de polvo**

**Con descarga en un tanque mezclador de agua**

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	P.U. US\$	PARCIAL	TOTAL
<b>2.03</b>	<b>OBRAS TUBERIAS</b>					<b>5,300</b>
1.03.01	Instalación Tubería,6", espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	ml	3	30	90	
1.03.02	Instalación Tubería,4", espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	ml	153	13	1,989	
1.03.03	Instalación Tubería,2", espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	ml	56	7	392	
1.03.04	Instalación Tubería,1/2", espesor estándar (SCH 40), material acero A53-B	ml	13	3	39	
1.03.05	Instalación Tubería,2", espesor estándar (SCH 40), A53-B galvanizado	ml	23	7	161	
1.03.06	Instalación Tubería,1", espesor estándar (SCH 40), A53-B galvanizado	ml	6	7	42	
2.03.01	Montaje Codo 90°, 4", R/D 3, clase 150, A197	Und	8	12	96	
2.03.02	Montaje Codo 90°, 6", R/D 1, clase 150, A197	Und	3	13	39	
2.03.03	Montaje Codo 90°, 4", R/D 1, clase 150, A197	Und	13	12	156	
2.03.04	Montaje Codo 90°, 2", R/D 1, clase 150, A197	Und	24	7	168	
2.03.05	Montaje Codo 90°, 1/2", R/D 1, clase 150, A197	Und	28	7	196	
2.03.06	Montaje T, 6" x 4", reductora, clase 150, A197	Und	1	13	13	
2.03.07	Montaje T, 4", clase 150, A197,	Und	9	13	117	
2.03.08	Montaje T, 2", clase 150, A197,	Und	4	7	28	
2.03.09	Montaje Codo 90°, 2", R/D 1, clase 150, A197 galvanizado	Und	11	7	77	
2.03.10	Montaje Codo 90°, 1/2", R/D 1, clase 150, A197 galvanizado	Und	6	7	42	
2.03.11	Montaje Mariposa, 6", clase 175, tipo "waffer",	Und	1	13	13	
2.03.12	Montaje Mariposa, 4", clase 175, tipo "waffer",	Und	12	12	144	
2.03.13	Montaje Pinch, 4", clase 150, abierta, accionamiento manual	Und	1	12	12	
2.03.14	Montaje Pinch, 4", clase 150, abierta, accionamiento eléctrico	Und	1	12	12	
2.03.15	Montaje Bola, 2", 1000 PSI, acero, accionamiento manual	Und	5	7	35	
2.03.16	Montaje Bola, 1/2", 1000 PSI, acero, accionamiento manual	Und	20	7	140	
2.03.17	Montaje Bola, 2", 1000 PSI, bronce, accionamiento manual	Und	6	7	42	
2.03.18	Montaje Bola, 1", 1000 PSI, bronce, accionamiento manual	Und	5	7	35	
2.03.19	Montaje Reducción, 6" x 4", clase 150, A197,	Und	1	12	12	
2.03.20	Montaje Reducción, 4" x 2", clase 150, A197,	Und	4	12	48	
2.03.23	Montaje Reducción, 2" x 1", clase 150, A197 galvanizado,	Und	2	12	24	
2.03.24	Montaje Brida, 6", clase 150, A105,	Und	2	30	60	
2.03.25	Montaje Brida, 4", clase 150, A105,	Und	39	20	780	
2.03.26	Montaje Flujómetro magnético, 4",,,	Und	1	12	12	
2.03.27	Montaje Weldolet, 4" x 1/2", estandar, A 105,	Und	4	7	28	
2.03.28	Montaje Weldolet, 2" x 1/2", estandar, A 105,	Und	24	7	168	
2.03.29	Montaje Empaquetadura, 6", clase 150, FF, espesor 3 mm	Und	2	1	2	
2.03.30	Montaje Empaquetadura, 6", clase 150, FF, espesor 3 mm	Und	29	1	29	
2.03.30	Filtro Y strainer, 4",	Und	2	12	24	
<b>2.05</b>	<b>QA/QC</b>	Glb	1	9,000	9,000	<b>9,000</b>
<b>2.06</b>	<b>PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA</b>	Glb	1	9,000	9,000	<b>9,000</b>
<b>SUB TOTAL DIRECTO US\$ (INCLUYE GASTOS INDIRECTOS Y UTILIDADES)</b>						<b>691,900</b>
<b>3.00</b>	<b>GASTOS INDIRECTOS CLIENTE</b>					
3.01	Gastos indirectos contratista	%	35%	150,100	52,500.00	
3.02	Contingencia	%	15.0%	691,900	103,800.00	
3.03	Ingeniería	%	4%	691,900	27,700.00	
<b>SUB TOTAL INDIRECTOS US\$</b>						<b>184,000</b>
<b>COSTO TOTAL PROYECTO SIN IGV US\$</b>						<b>875,900</b>

## PLANOS

1. TES-FS-2020-DWG-001: Layout disposición de equipos.
2. TES-FS-2020-DWG-002: Diagrama de flujo de procesos.
3. TES-FS-2020-DWG-003: Isométrico general.
4. TES-FS-2020-DWG-004: Vista de planta sistema de colección de polvo N° 1.
5. TES-FS-2020-DWG-005: Vista de planta sistema de colección de polvo N° 2.
6. TES-FS-2020-DWG-006: Isométrico de tuberías de aire y de agua.
7. TES-FS-2020-DWG-007: Vista de planta y de elevación sistema de aire comprimido.
8. TES-FS-2020-DWG-008: Vista de planta y de elevación sistema de alimentación de agua.
9. TES-FS-2020-DWG-009: Ingeniería básica de campanas de colección de polvo.
10. TES-FS-2020-DWG-010: Ingeniería básica de campanas de colección de polvo ubicadas en chancadora secundaria.
11. TES-FS-2020-DWG-011: Tanque mezclador de polvo y agua.
12. TES-FS-2020-DWG-012: Estructura soporte N° 1.



SALA ELECTRICA  
DE CHANCADO  
SECUNDARIO

LINEA DE  
CHANCADO  
SECUNDARIO  
N° 2

LINEA DE  
CHANCADO  
SECUNDARIO  
N° 1

COLECTOR  
DE POLVO  
N° 2

COLECTOR  
DE POLVO  
N° 1


FAJA TRANSPORTADORA OVERSIZE ZARANDAS SECAS

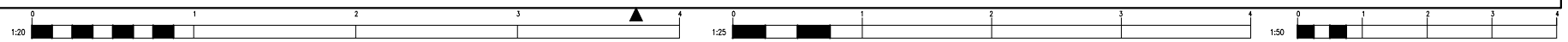
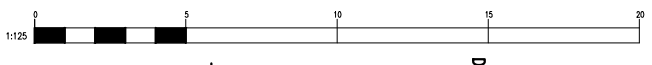
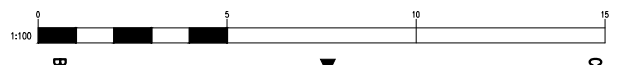
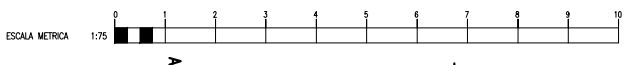
FAJA TRANSPORTADORA UNDERSIZE ZARANDAS SECAS

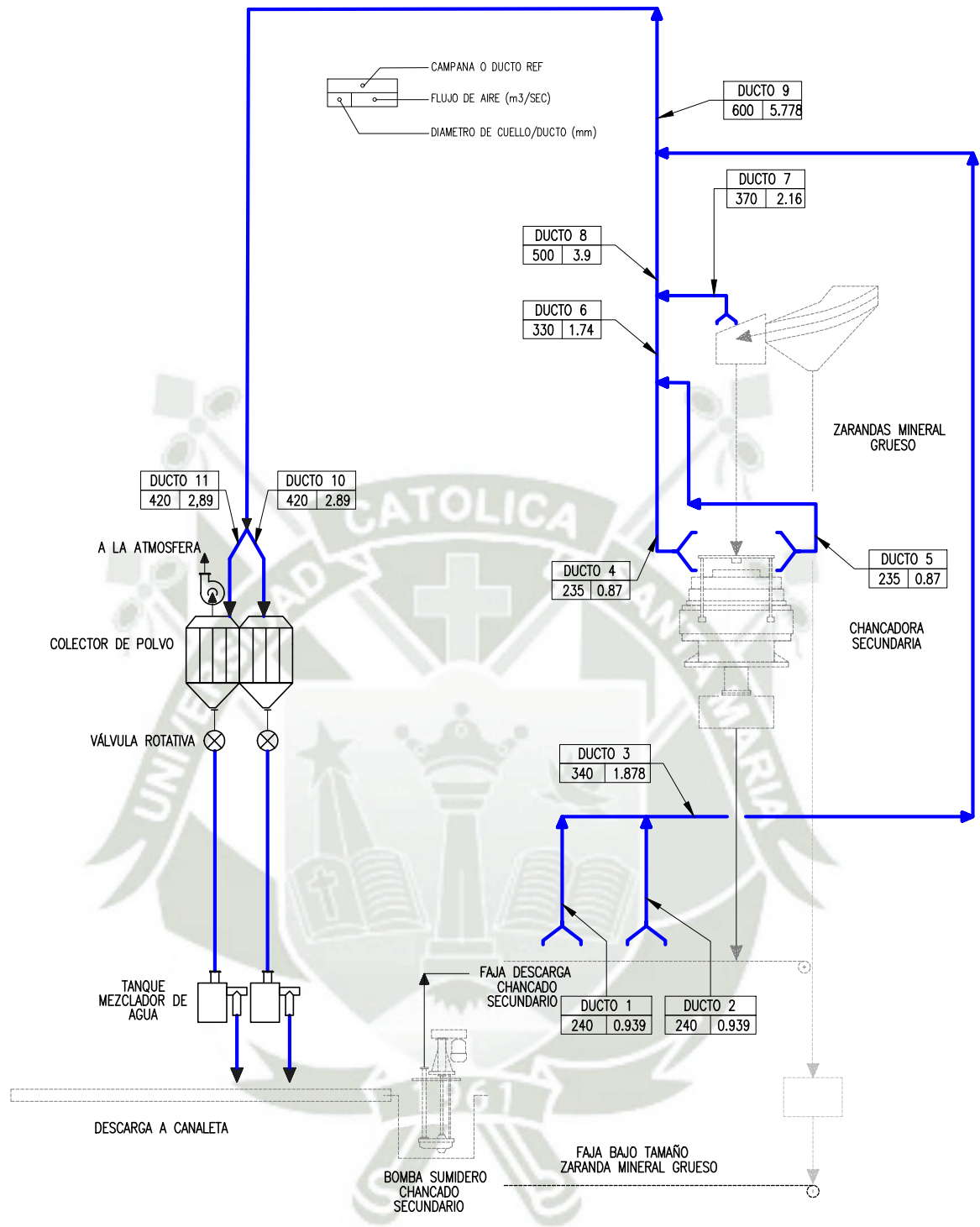
ESTACION  
DE  
BOMBEO

ESTACION DE  
SECADO DE  
AIRE

TUBERIA MATRIZ DE AIRE Y DE AGUA

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS	REALIZADO POR: INDICADA	NUMERO DE PLANO: TES-FS-2020-DWG-001	TR. 0
A	27MARZO	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.	/						TES-FS-2020-DWG-004	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 1	 <p>Universidad Católica de Santa María FACULTA DE INGENIERIA MECANICA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA</p>		
B	27MARZO	EMITO PARA APROBACION	F.S.	/						TES-FS-2020-DWG-005	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 2			
0	05ABRZO	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.	/						TES-FS-2020-DWG-006	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOMBRERO LINEA DE AGUA Y AIRE			
			F.S.	/						TES-FS-2020-DWG-007	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AIRE			
			F.S.	/						TES-FS-2020-DWG-008	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AGUA			





**LEGEND**  
**LEYENDA**

- FLUJO/EQUIPO DE PROCESO
- DUCTO/EQUIPO DE CONTROL DE POLVO
- REGULADOR DE CUERPO DE TIRO
- REGULADOR DE TIRO MANUAL
- EXTRACTOR DE AIRE
- PUNTO DE LIMPIEZA
- PUNTO DE EMPALME A EQUIPO
- TP
- SP
- CAMPANA DE POLVO

**NOTAS**

1. PARA UBICACIÓN Y CANTIDADES DE TODOS LOS PUERTOS DE PRUEBA, PUERTOS DE NUESTREO Y PUNTOS DE LIMPIEZA, CONSULTAR PLANOS DE TRAZADO.

Stream No.	Description	Solids (dry basis)				Wet basis			Copper		Design	
		t/d Avg	t/h	S.G.	t/h	% Solids	S.G.	t/h	% Cu	Max dry t/h	Max wet t/h	
105	COARSE ORE SCREEN OVERSIZE	27,000	1,264	2.75	27	97.9%	2.85	1,292		1,700	1,700	
106	COARSE ORE SCREEN UNDERSIZE	27,000	1,264	2.75	27	97.9%	2.85	1,292		1,500	1,500	

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.
A	27MAR20	EMITIDO PARA COORDINACION INTERNA	FS
B	27MAR20	EMITIDO PARA APROBACION	FS
0	05ABR20	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	FS



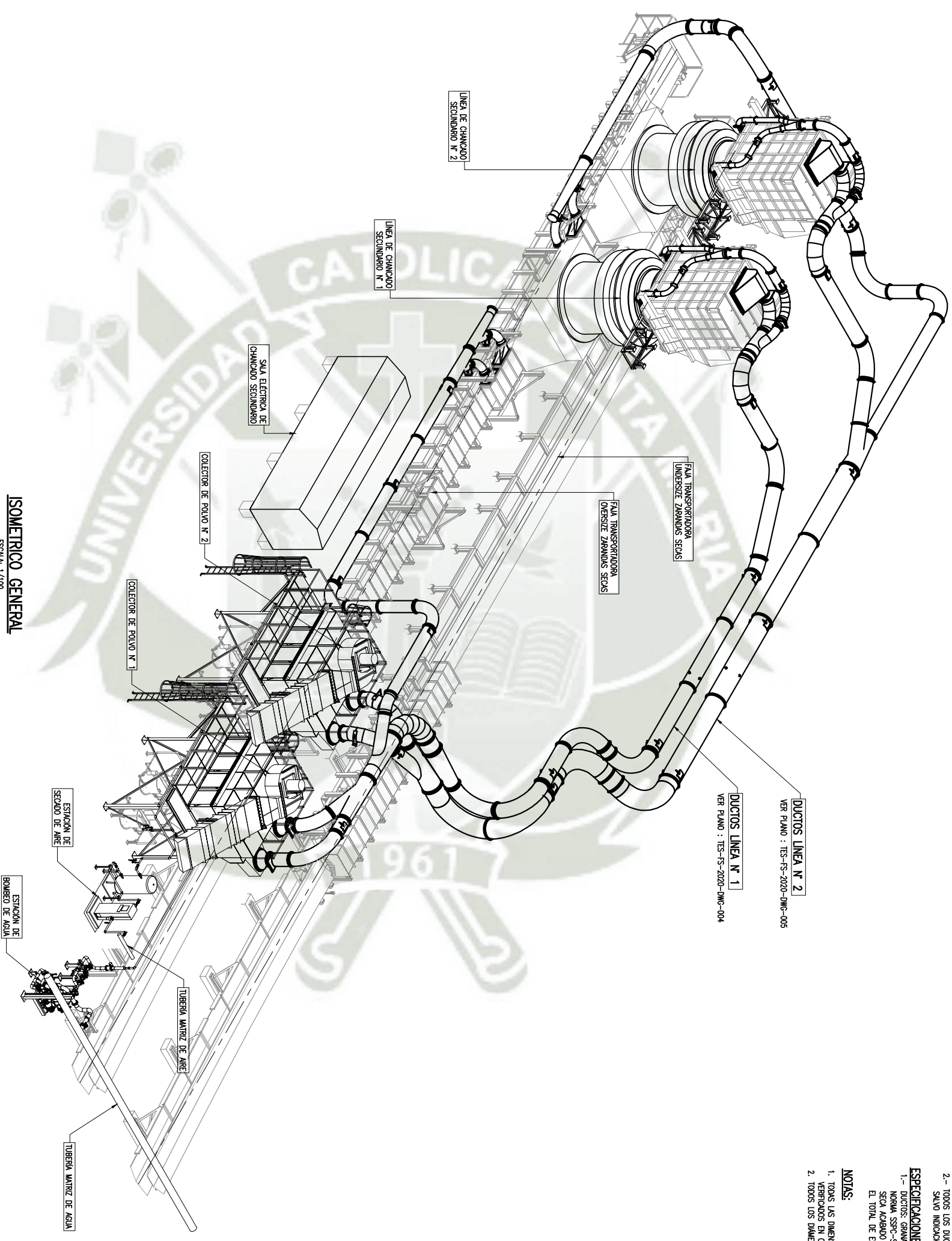
**Universidad Católica de Santa María**  
FACULTA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRONICA

PLANO: **DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCIÓN DE POLVO CON DESCARGA A TANQUE / DIAGRAMA DE FLUJO**

REALIZADO POR: **FABRICIO JAVIER SARMIENTO BOLAÑOS**

ESCALA: \_\_\_\_\_ NUMERO DE PLANO: \_\_\_\_\_

INDICADA **TES-FS-2020-DWG-002** REV. **0**



ISOMETRICO GENERAL  
ESCALA: 1/100

- ESPECIFICACIONES DE ACERO:**
- 1.- TODOS LOS ACCESORIOS (Codos y PANTALLONES) DEBERN SER DE PLANCHA HARBOX 400 4x4mm SALVO INDICACION CONTRARIA, DUREZA BRINELL 130, 400.
  - 2.- TODOS LOS DUCTOS Y BRIDAS DEBERN SER DE MATERIAL PLANCHA ASTM A-36 4x4,5mm SALVO INDICACION CONTRARIA.
- ESPECIFICACIONES DE PINTURA:**
- 1.- DUCTOS GRANULADO Y APLICACION DE PINTURA SOLO EXTERIORMENTE GRANULADO SEGON NORMA SPC-SP10 PINTURA BASE MACROPOXY 646 A 3 MILS DE ESPESOR DE PELICULA SECA ACABADO MACROPOXY 646 A 3 MILS DE ESPESOR DE PELICULA SECA EL TOTAL DE ESPESOR DE PELICULA SECA SERA DE 6 MILS.

- NOTAS:**
- 1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y ANGELES EN METROS, S.I.C. SERAN VERIFICADOS EN CAMPO.
  - 2. TODOS LOS DIAMETROS DE DUCTOS INDICADOS EN EL PLANO SON INTERIORES.

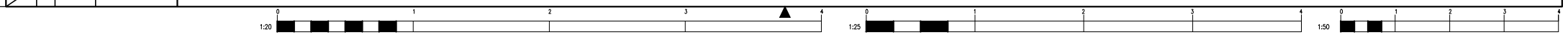
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO REV.	FECHA
A	27/03/20	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.			TES-FS-2020-DWG-004	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 1						
B	27/03/20	EMITO PARA APROBACION	F.S.			TES-FS-2020-DWG-005	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 2						
0	05/03/20	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.			TES-FS-2020-DWG-007	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOLOMETRICO LINEA DE AGUA Y AIRE						
						TES-FS-2020-DWG-008	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AGUA						

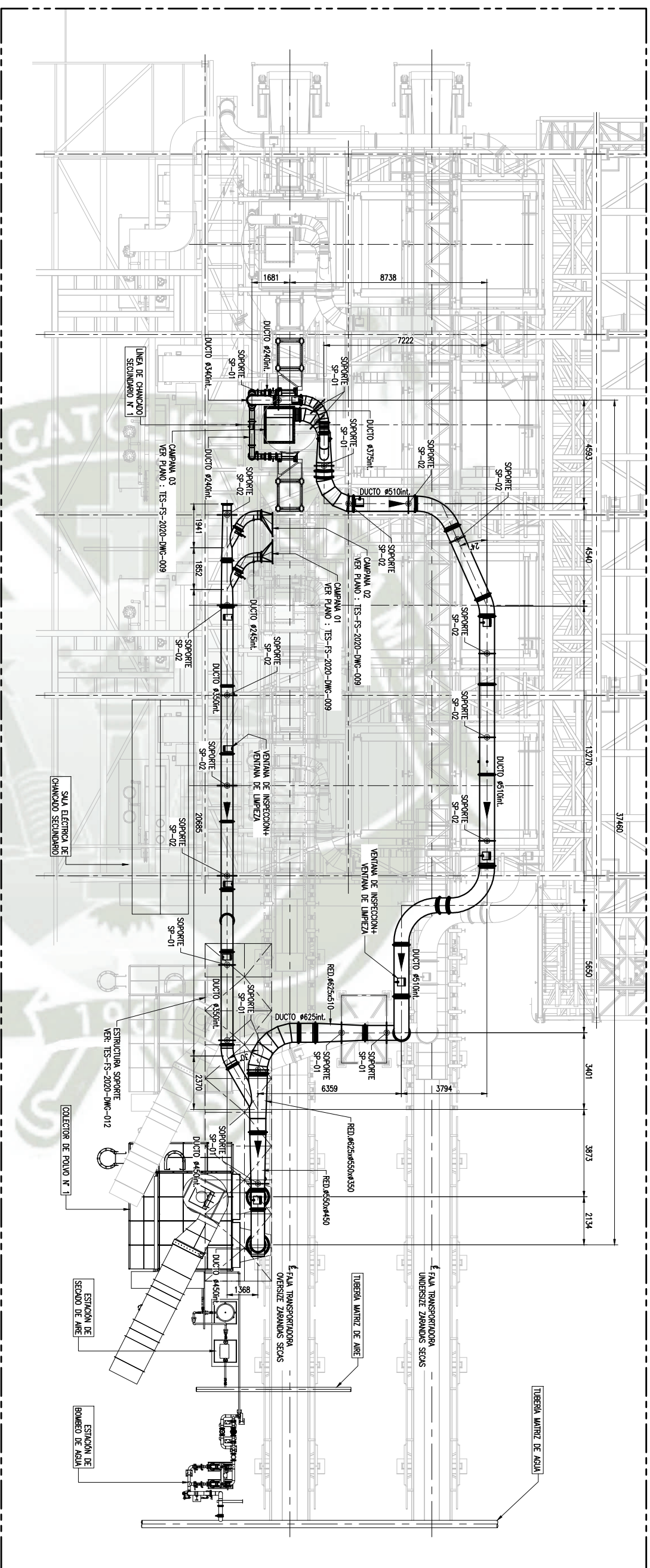
  

REALIZADO POR:	FABRICIO JAVIER SARMIENTO BOLAÑOS	FECHA:	
ESCALA:		INDICADA:	
INDICADA:	TES-FS-2020-DWG-003	NÚMERO DE PLANO:	

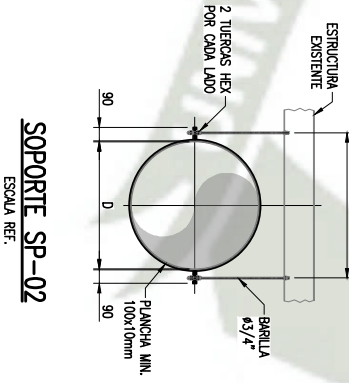
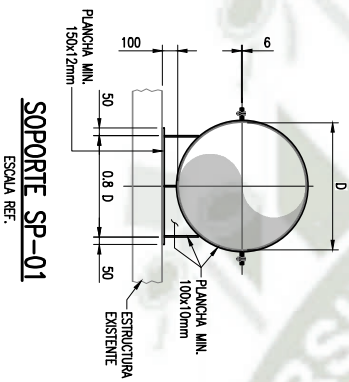
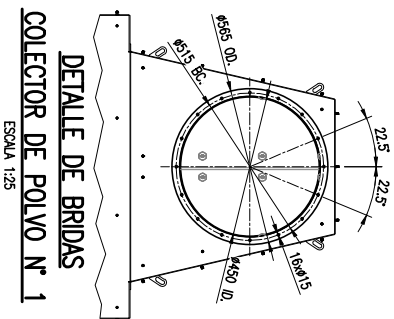


Universidad Católica de Santa María  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA





**PLANTA DUCTOS LINEA N° 1**  
ESCALA: 1/100



**ESPECIFICACIONES DE ACERO:**  
1.- TODOS LOS ACCESORIOS (Codos y PANTALLONES) DEBERN SER DE PLANCHAS HARDOX 400 e= 8mm SALVO INDICACION CONTRARIA, DUREZA BRINELL MIN. 400.  
2.- TODOS LOS DUCTOS Y BRIDAS DEBERN SER DE MATERIAL PLANCHAS ASTM A-36 e=4-5mm SALVO INDICACION CONTRARIA.

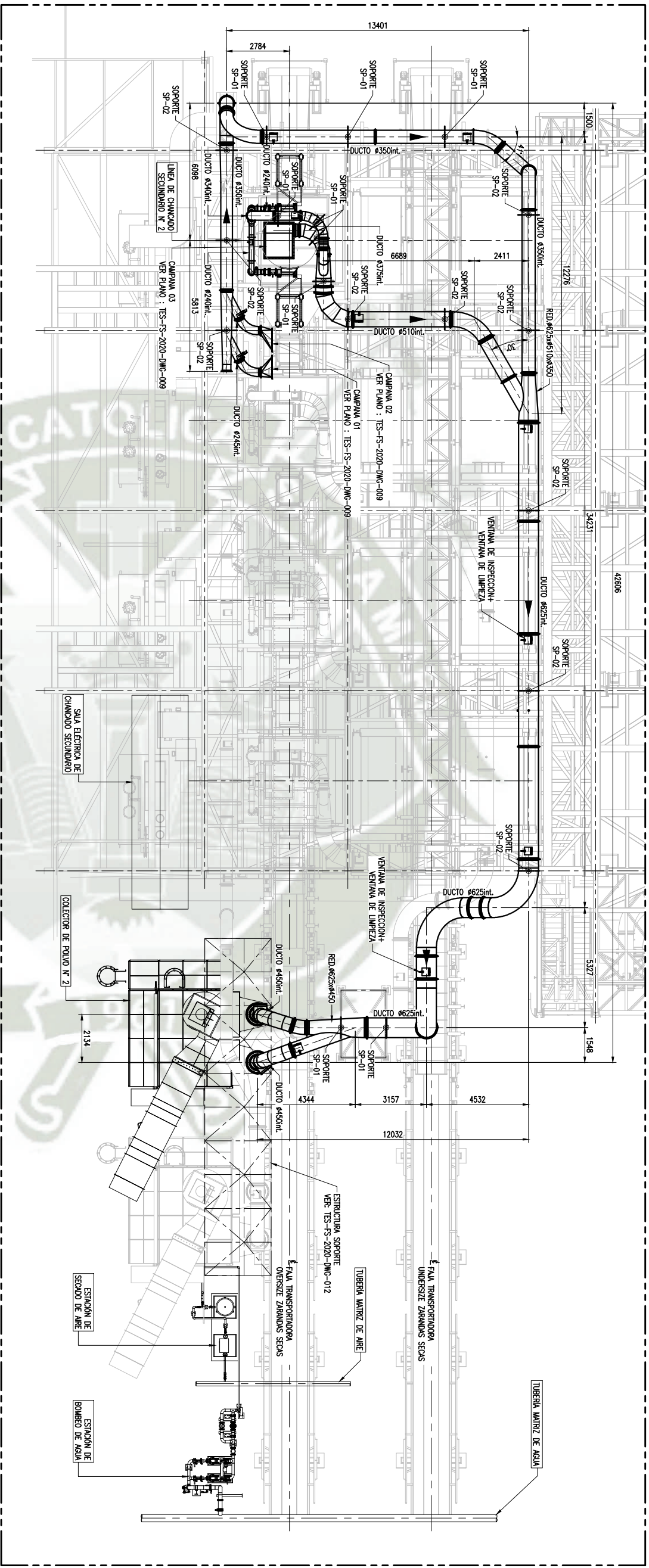
**ESPECIFICACIONES DE PINTURA:**  
1.- DUCTOS: GRANULADO Y APLICACION DE PINTURA SÓLO EXTERIORMENTE GRANULADO SEGUN NORMA SSPC-SP10 PINTURA BASE MARGOPOLY 646 A 3 MILS DE ESPESOR DE PELICULA SECA ACABADO MACROPOXY 646 A 3 MILS DE ESPESOR DE PELICULA SECA EL TORNILLO DE ESPESOR DE PELICULA SECA SERA DE 6 MILS.

**NOTAS:**  
1.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y ANGLES EN GRADOS, S.I.C. SE SAN VERIFICADOS EN CAMPO.  
2.- TODOS LOS DIAMETROS DE DUCTOS INDICADOS EN EL PLANO SON INTERIORES.

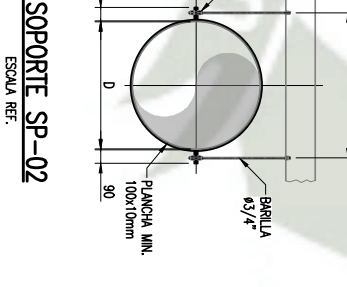
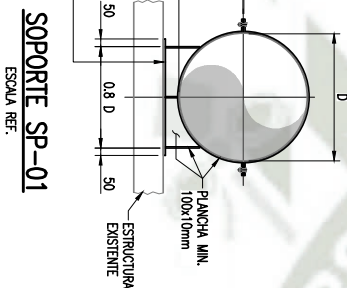
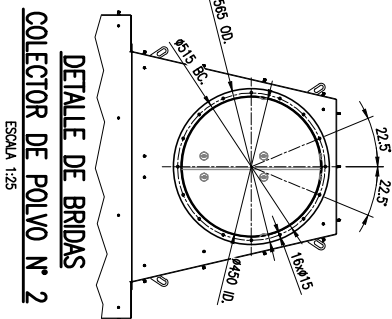
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
A	27/MARZO	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.							TES-FS-2020-DWG-003	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOMERERO GENERAL
B	27/MARZO	EMITO PARA APROBACION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-005	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 2
0	05/ABRZO	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-006 TES-FS-2020-DWG-007 TES-FS-2020-DWG-008	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOMERERO LINEA DE AGUA Y AIRE DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AIRE DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AGUA

<p><b>Universidad Católica</b> <b>Santa María</b> FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA</p>		<p>Realizado por: <b>FABRICIO JAVIER SARMIENTO BOLAÑOS</b></p> <p>Número de Plano: <b>TES-FS-2020-DWG-004</b></p>
ESCALA:	INDICADA	TEMA:




**PLANTA DUCTOS LINEA N° 2**  
ESCALA: 1/100



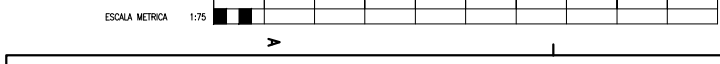
- ESPECIFICACIONES DE AEREO:**
- 1.- TODOS LOS ACCESORIOS (COBOS Y PANTALLONES) DEBEN SER DE PLANCHA HARBOX 400 e= 0.8mm SALVO INDICACION CONTRARIA, DUREZA BRINELL MIN. 400.
  - 2.- TODOS LOS DUCTOS Y BRIDAS DEBEN SER DE MATERIAL PLANCHA ASTM A-36 e=4-5mm SALVO INDICACION CONTRARIA.
- ESPECIFICACIONES DE PINTURA:**
- 1.- DUCTOS: GRANULADO Y APLICACION DE PINTURA SOLO EXTERIORMENTE GRANULADO SEGUN NORMA SSPC-SP10 PINTURA BASE MARGOPOLY 646 A 3 MILS DE ESPESOR DE PELICULA SECA ACABADO MACROPOXY 646 A 3 MILS DE ESPESOR DE PELICULA SECA EL TOPL DE ESPESOR DE PELICULA SECA SERA DE 6 MILS.
- NOTAS:**
- 1.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y ANGLES EN GRADOS, S.I.C. SE USA VERIFICADOS EN CAMPO.
  - 2.- TODOS LOS DIAMETROS DE DUCTOS INDICADOS EN EL PLANO SON INTERIORES.

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
A	27/MARZO	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.							TES-FS-2020-DWG-003	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOBMETRO GENERAL
B	27/MARZO	EMITO PARA APROBACION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-004	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 1
0	05/ABRZO	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-006 TES-FS-2020-DWG-007 TES-FS-2020-DWG-008	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOBMETRO LINEA DE AGUA Y AIRE DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AIRE DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AGUA

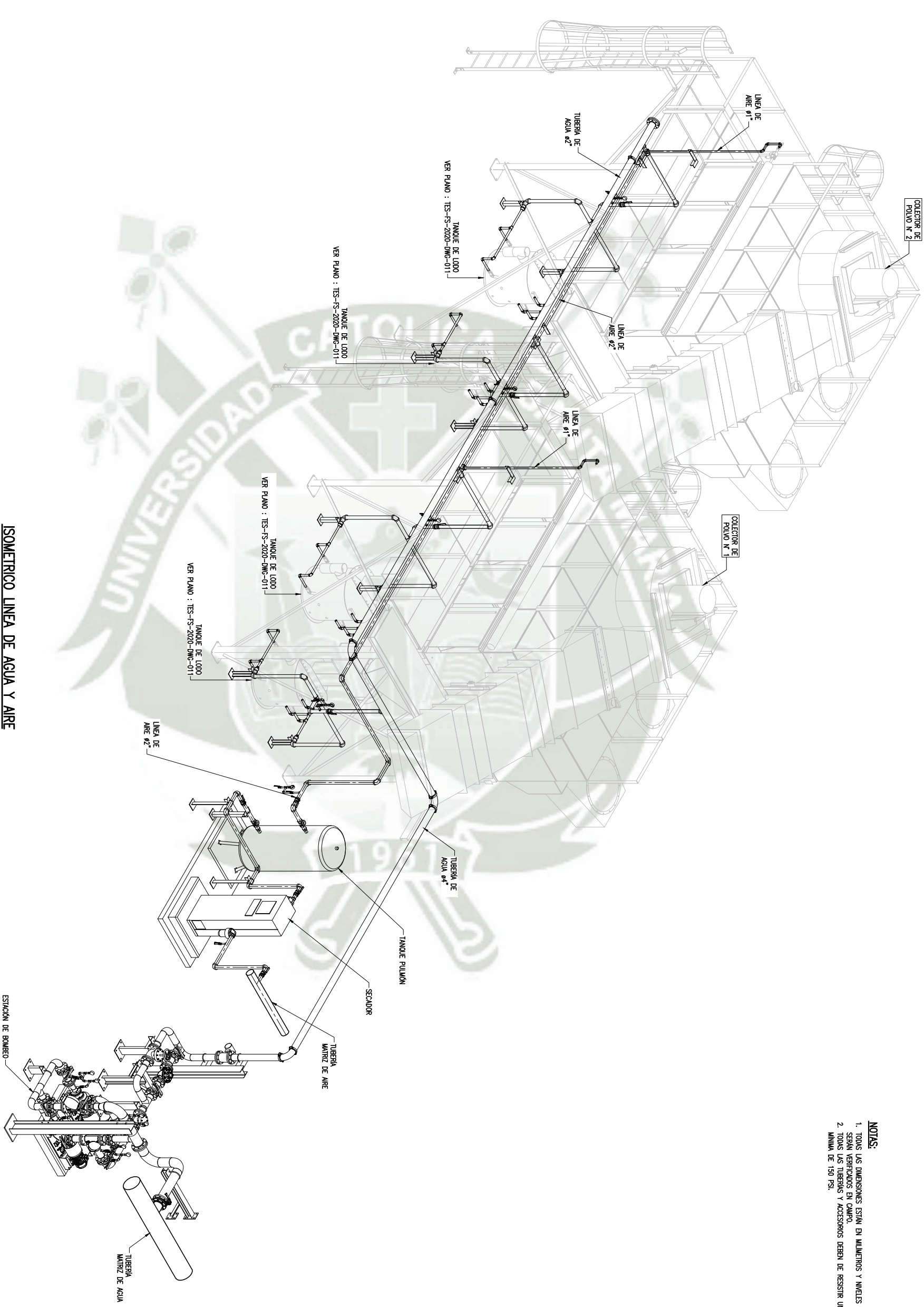
  
**Universidad Católica**  
**Santa María**  
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
 MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

**DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO CON DESCARGA A TANQUE / DUCTOS LINEA N° 2**

ELABORADO POR: FABRICIO JAVIER SARMIENTO BOLAÑOS  
 ESCALA: NÚMERO DE PLANOS: TES-FS-2020-DWG-005



- NOTAS:**
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y ANELES EN METROS, S.L.C.
  2. SERAN VERIFICADOS EN CAMPO.
  3. TODAS LAS TUBERIAS Y ACCESORIOS DEBEN DE RESISTIR UNA PRESION MINIMA DE 150 PSI.

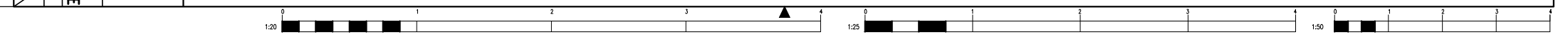
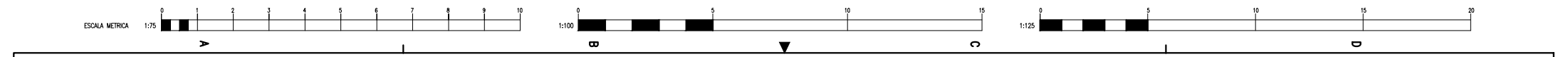


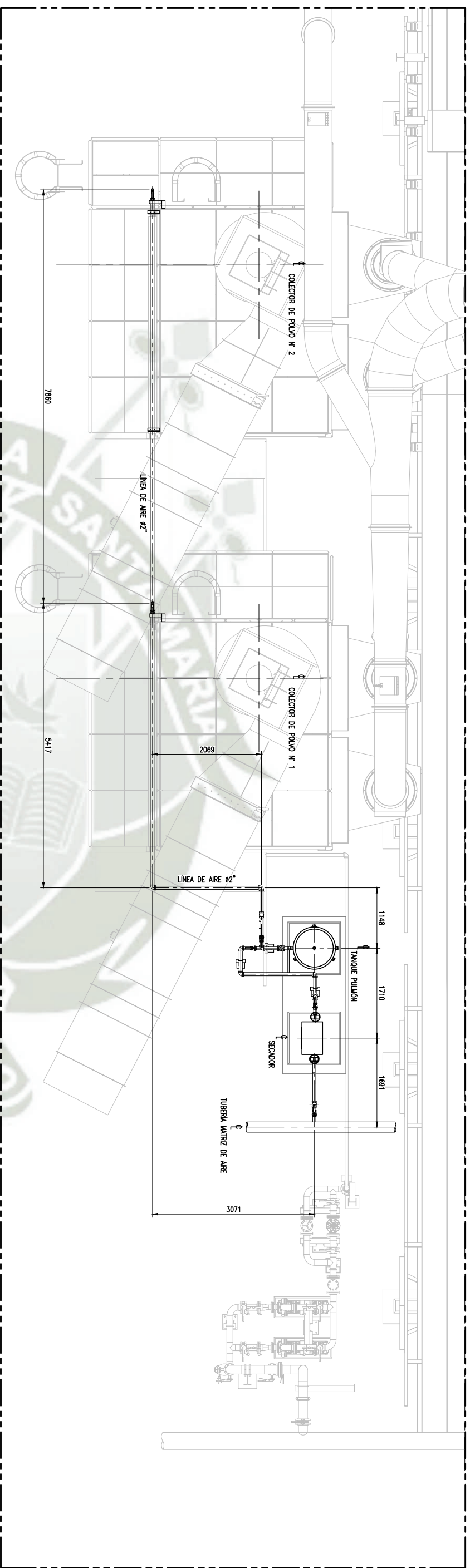
**ISOMETRICO LINEA DE AGUA Y AIRE**  
ESCALA: 1/35

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
A	27/03/2020	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.							TES-FS-2020-DWG-003	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO ISOMETRICO GENERAL
B	27/03/2020	EMITO PARA APROBACION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-004	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 1
0	05/08/2020	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-005	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 2
										TES-FS-2020-DWG-007	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AIRE
										TES-FS-2020-DWG-008	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AGUA

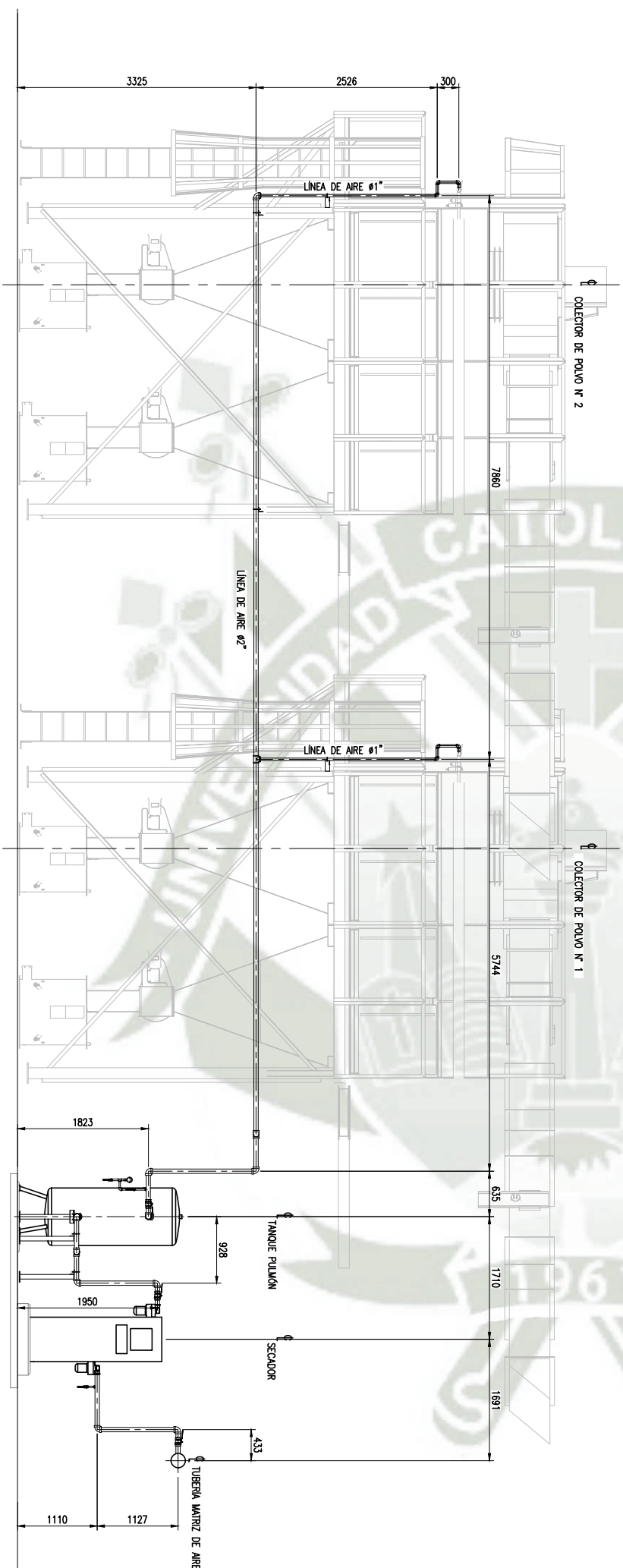
  

<p><b>Universidad Católica de Santa María</b> FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA</p>		<p>REALIZADO POR: FABRICIO JAVIER SARMIENTO BOLAÑOS</p> <p>ESCALA: 1/35</p>
<p>PROYECTO: DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO CON DESCARGA A TANQUE / ISOMETRICO LINEA DE AGUA Y AIRE</p>	<p>FECHA: 05/08/2020</p>	<p>INDICADA: TES-FS-2020-DWG-006</p>





PLANTA - LINEA DE AIRE  
ESCALA: 1/40



ELEVACION - LINEA DE AIRE  
ESCALA: 1/40

**LISTADO DE MATERIALES**

D	CANT.	TAMANO	TAMANO	TI.
23	2'	PIPE XS WELDED STL A53 TYPE F GALV T&C		1
6	1"	PIPE XS WELDED STL A53 TYPE F GALV T&C		2
6	2"	BALL 600# SPCD BRONZE UNIBODY, HNDL, OP		3
5	1"	BALL 600# SPCD BRONZE UNIBODY, HNDL, OP		4
2	2"	ELL 90 DEG 150# SPCD GALV MI A197		5
6	1"	ELL 90 DEG 150# SPCD GALV MI A197		6
1	1"	REDUCER 150# SPCD GALV MI A197		7
2	2"x1"	REDUCER 150# SPCD GALV MI A197		8
				9
				10
				11


**NOTAS:**  
 1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y ANTES EN METROS, S.L.C.  
 SERAN VERIFICADOS EN CAMPO.  
 2. TODAS LAS TUBERIAS Y ACCESORIOS DEBEN DE RESISTIR UNA PRESION NOMINAL DE 150 PSI.

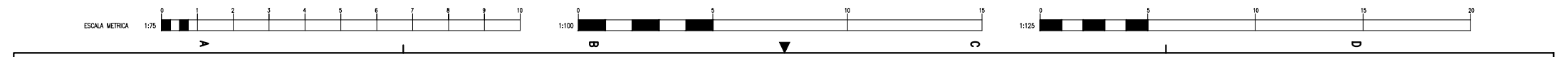
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
A	27/MARZO	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.							TES-FA-2020-DWG-003	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOMERERO GENERAL
B	27/MARZO	EMITO PARA APROBACION	F.S.							TES-FA-2020-DWG-004	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 1
0	05/ABRZO	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.							TES-FA-2020-DWG-005 TES-FA-2020-DWG-006 TES-FA-2020-DWG-008	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 2 DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOMERERO LINEA DE AGUA Y AIRE DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AGUA

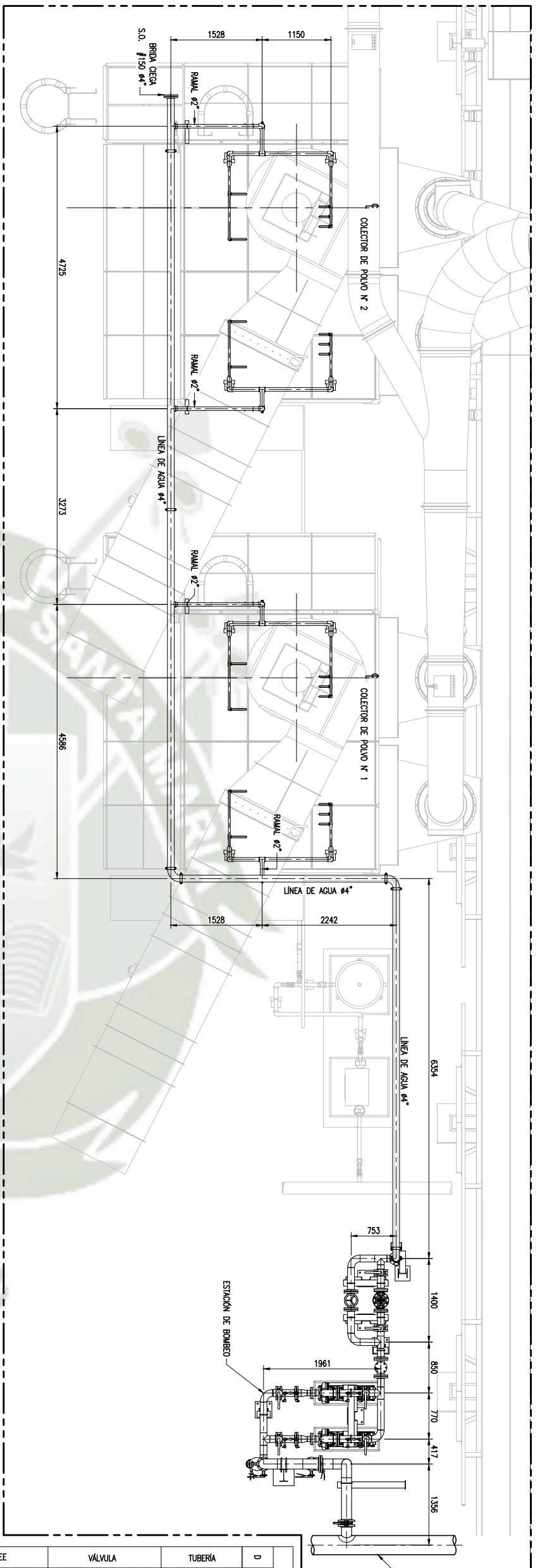
  

REALIZADO POR:	FABRICIO JAVIER SARMIENTO BOLAÑOS
ESCALA:	NUMERO DE PLANOS
INDICADA	TES-FA-2020-DWG-007

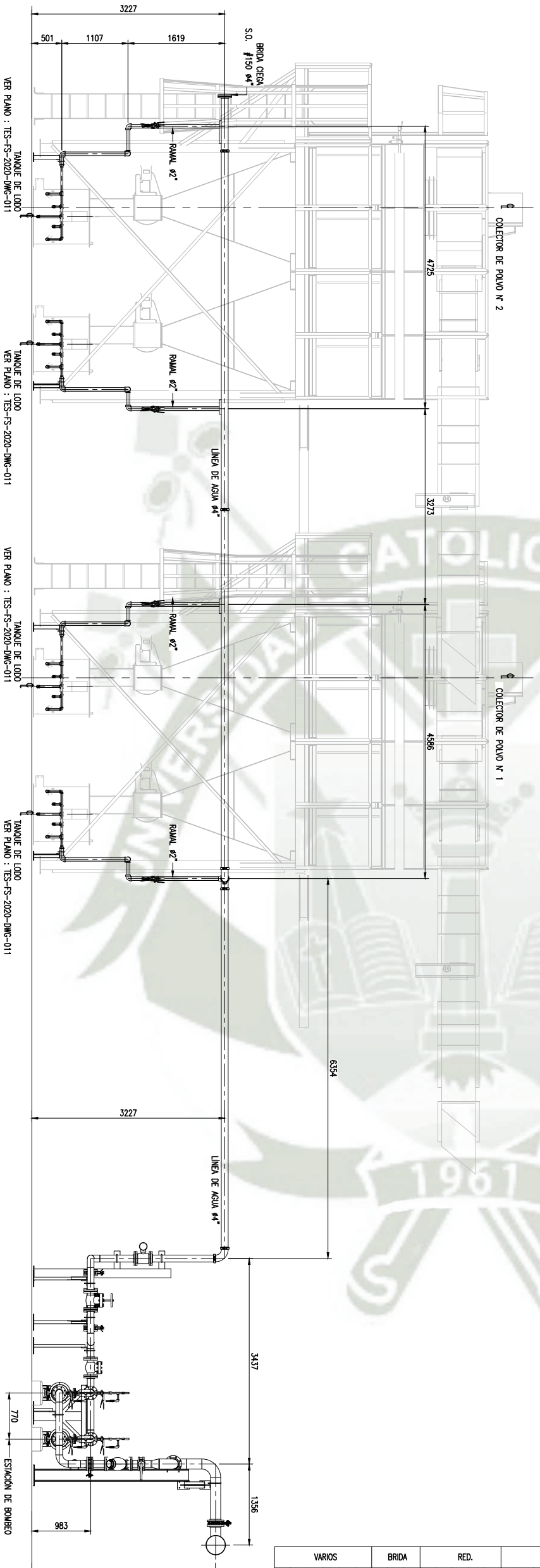
  

 <b>Universidad Católica</b> <b>Santa María</b> FACULTA DE INGENIERIA MECANICA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	
<b>PROYECTO:</b> DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO CON DESCARGA A TANQUE / LINEA DE AIRE	





**PLANTA - LÍNEA DE AGUA**  
ESCALA: 1/40



**ELEVACIÓN - LÍNEA DE AGUA**  
ESCALA: 1/40

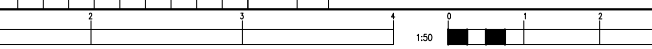
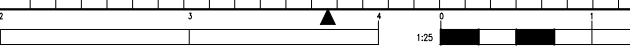
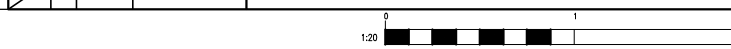
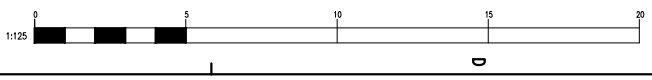
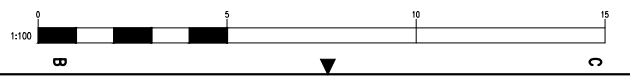
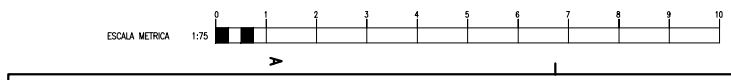
D	CANT.	TAMAÑO	TAMAÑO	TI.
TUBERÍA	3	6"	PPE STD W/ ERW STL AP-5L-8 / A53-B 13MM RL. MRL GRND	1
	33	4"	PPE STD W/ ERW STL AP-5L-8 / A53-B 13MM RL. MRL GRND	2
	56	2"	PPE STD W/ ERW STL AP-5L-8 / A53-B 13MM RL. MRL GRND	3
VÁLVULA	13	1/2"	PPE STD W/ ERW STL AP-5L-8 / A53-B 13MM RL. MRL GRND	4
	1	6"	BRTV 175 PSI, WATER, D/BUNA-N, LEVER	5
	10	4"	BRTV 175 PSI, WATER, D/BUNA-N, LEVER	6
	4	4"	PNCH, 150#/FT OPEN FRAME, CS HAND, OP	7
	1	4"	PNCH, 150#/FT OPEN FRAME, CS ELECTRICAL ACTUATOR	8
CODO Y TEE	5	2"	BALL, 1000 PSI, SORB, STL, 2-PC, HAND, OP	9
	20	1/2"	BALL, 1000 PSI, SORB, STL, 2-PC, HAND, OP	10
	3	6"	ELL 90 DEG 150# SORB MI A197	11
	13	4"	ELL 90 DEG 150# SORB MI A197	12
RED.	24	2"	ELL 90 DEG 150# SORB MI A197	13
	28	1/2"	ELL 90 DEG 150# SORB MI A197	14
BRIDA	1	6x4"	REDUCER 150# SORB MI A197	15
	2	4x2"	REDUCER 150# SORB MI A197	16
	2	4"	FILTRO YEE STRAINER	17
	4	2"	TEE 150# SORB MI A197	18
VARIOS	1	2"	TEE 150# SORB MI A197	19
	1	2"	TEE 150# SORB MI A197	20
	1	6x4"	REDUCER 150# SORB MI A197	21
	2	4x2"	REDUCER 150# SORB MI A197	22
BRIDA	2	6"	FLG SORB 150# FF STL A105	23
	39	4"	FLG SORB 150# FF STL A105	24
	1	2"	FLUJOMETRO MANOMETRICO	25
	4	2"	WELDOLET STD W/ STL A105	26
	24	2"	WELDOLET STD W/ STL A105	27
	2	2"	GASKET 150# FF NON-ASB NBR 1/8" (3 MM) THK	28
	2	2"	GASKET 150# FF NON-ASB NBR 1/8" (3 MM) THK	29
	29	2"	GASKET 150# FF NON-ASB NBR 1/8" (3 MM) THK	30
	2	2"	GASKET 150# FF NON-ASB NBR 1/8" (3 MM) THK	31
	2	2"	GASKET 150# FF NON-ASB NBR 1/8" (3 MM) THK	32
2	2"	GASKET 150# FF NON-ASB NBR 1/8" (3 MM) THK	33	
2	2"	GASKET 150# FF NON-ASB NBR 1/8" (3 MM) THK	34	

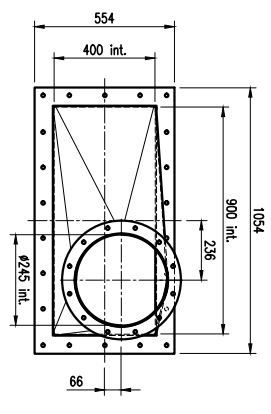
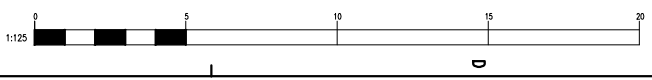
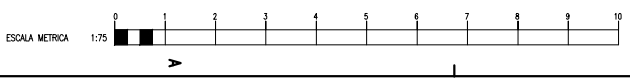
- NOTAS:**
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y ANEXOS EN METROS, S.I.C. SEÑAL VERIFICADOS EN CAMPO.
  2. TODOS LOS TUBERIAS Y ACCESORIOS DEBEN DE RESISTIR UNA PRESION MINIMA DE 150 PSI.

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
A	27/MARZO	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.							TES-FS-2020-DWG-003	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOCOMERCO GENERAL
B	27/MARZO	EMITO PARA APROBACION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-004	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 1
0	05/ABRZO	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-005	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 2
			F.S.							TES-FS-2020-DWG-006	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOCOMERCO LINEA DE AGUA Y AIRE
			F.S.							TES-FS-2020-DWG-007	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AGUA

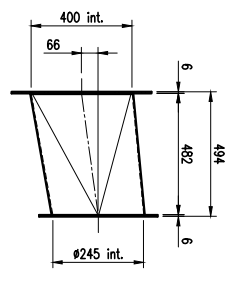
**Universidad Católica**  
**Santa María**  
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
 MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

PROYECTO: **DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO CON DESCARGA A TANQUE / LINEA DE AGUA**  
 ELABORADO POR: **FABRICIO JAVIER SARMIENTO BOLAÑOS**  
 ESCALA: **TES-FS-2020-DWG-008**

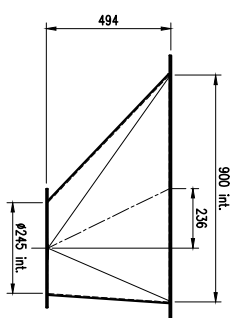




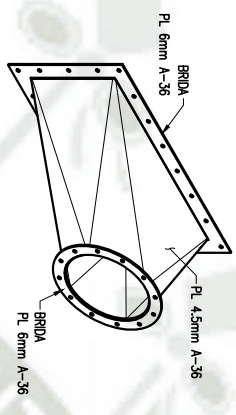
**CAMPANAS 01**  
ESCALA: 1:115



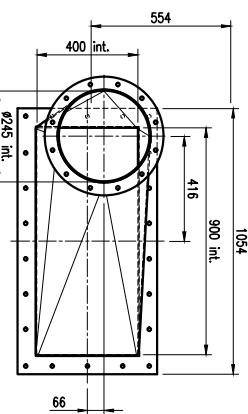
**VISTA LATERAL**  
ESCALA: 1:115



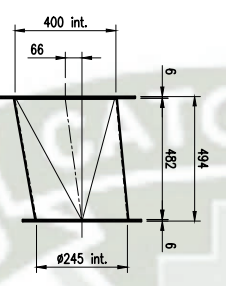
**VISTA SUPERIOR**  
ESCALA: 1:115



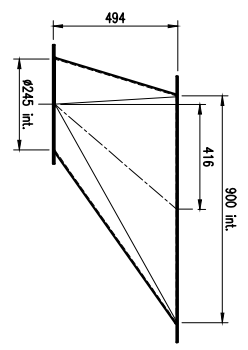
**VISTA ISOMETRICA**  
ESCALA: 1:115



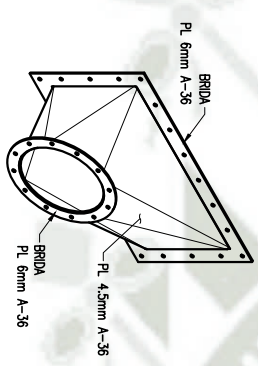
**CAMPANAS 02**  
ESCALA: 1:115



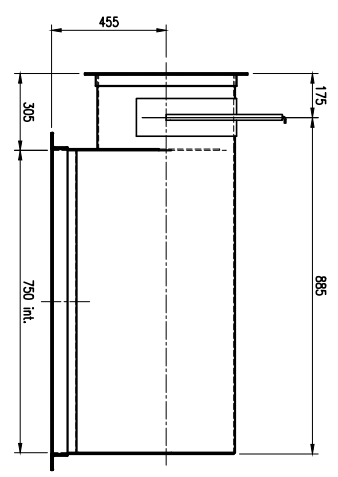
**VISTA LATERAL**  
ESCALA: 1:115



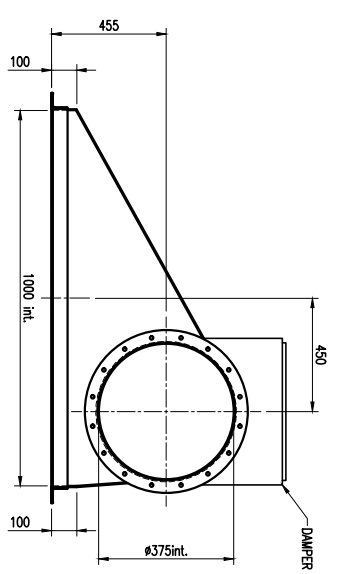
**VISTA SUPERIOR**  
ESCALA: 1:115



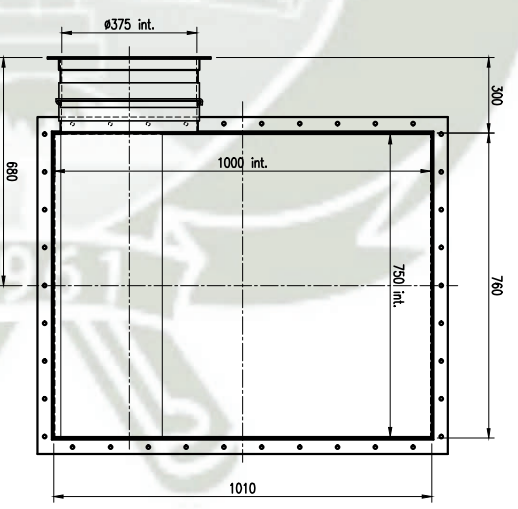
**VISTA ISOMETRICA**  
ESCALA: 1:115



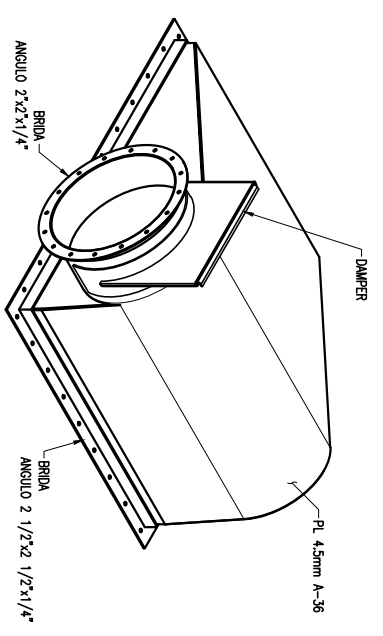
**CAMPANAS 03**  
ESCALA: 1:115



**VISTA LATERAL**  
ESCALA: 1:115



**VISTA SUPERIOR**  
ESCALA: 1:115



**VISTA ISOMETRICA**  
ESCALA: 1:115

- ABREVIATURAS:**
1. PL. = PLANCHA
  2. TP. = TIRADO
  3. (N) = NUEVO
  4. (E) = EXISTENTE
- NOTAS:**
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y INCHES EN METROS, S.I.C.
  2. MATERIAL PARA CAMPANAS ASTM A36.

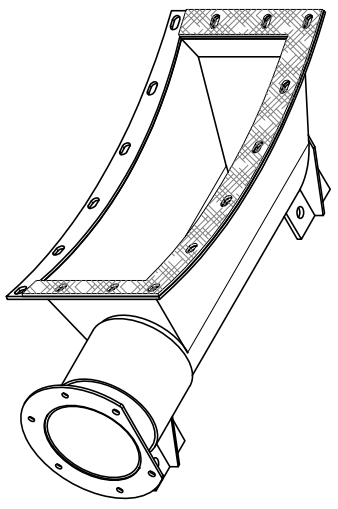
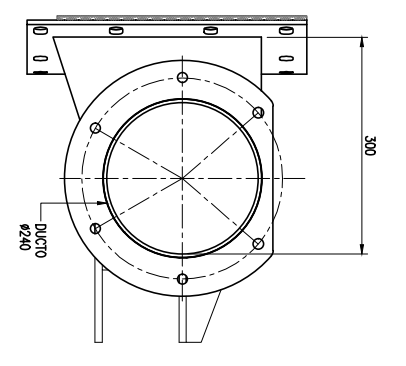
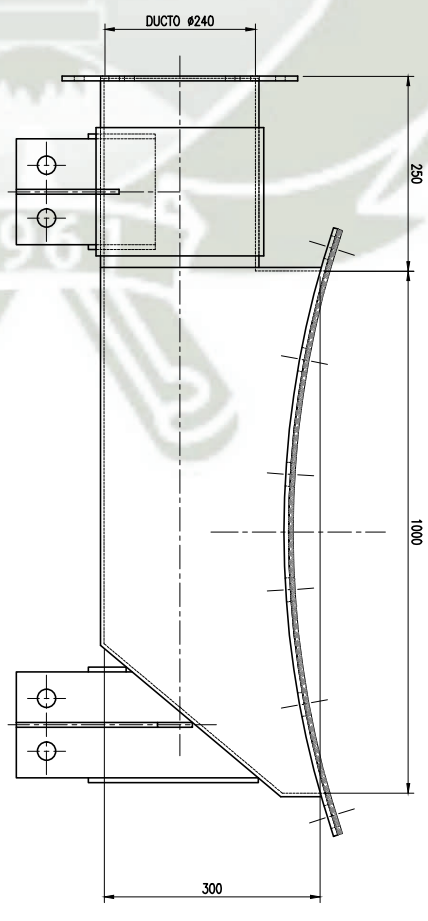
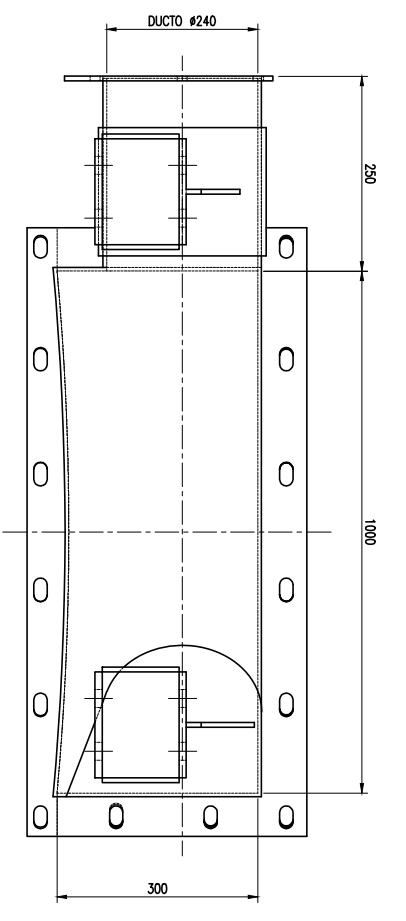
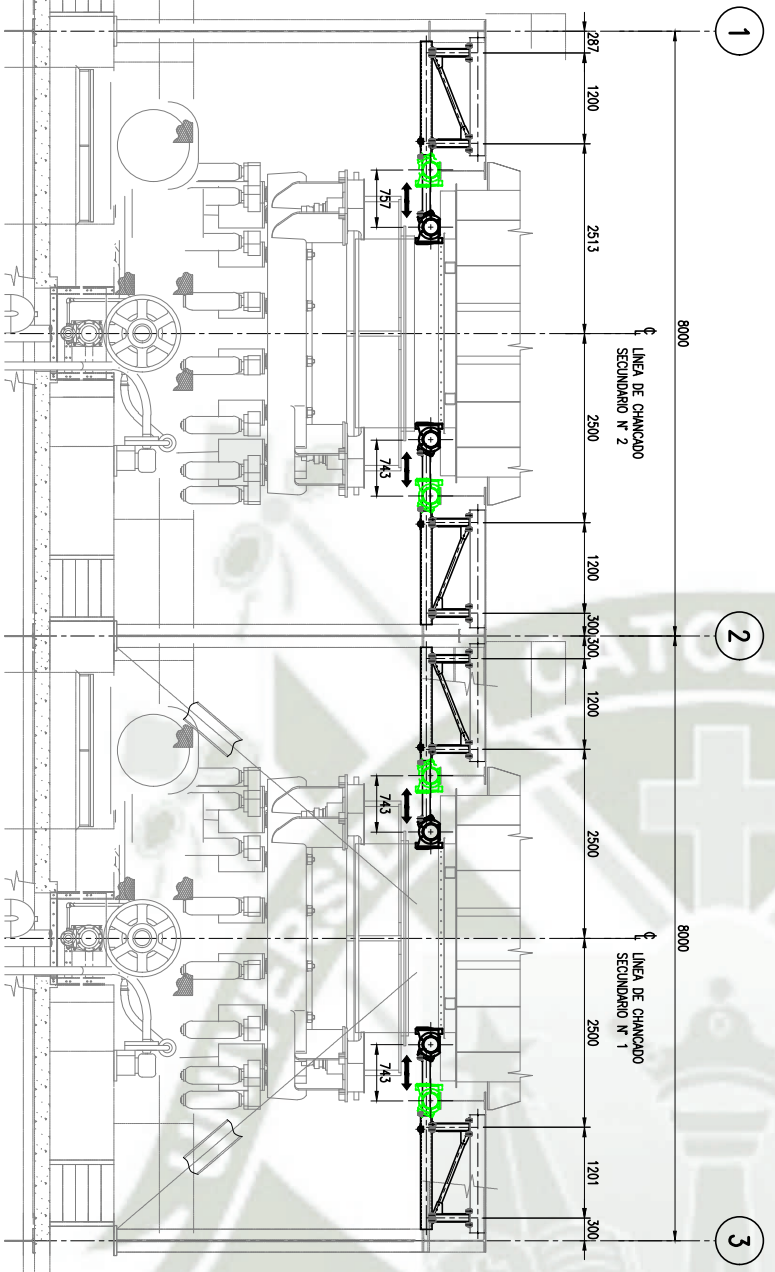
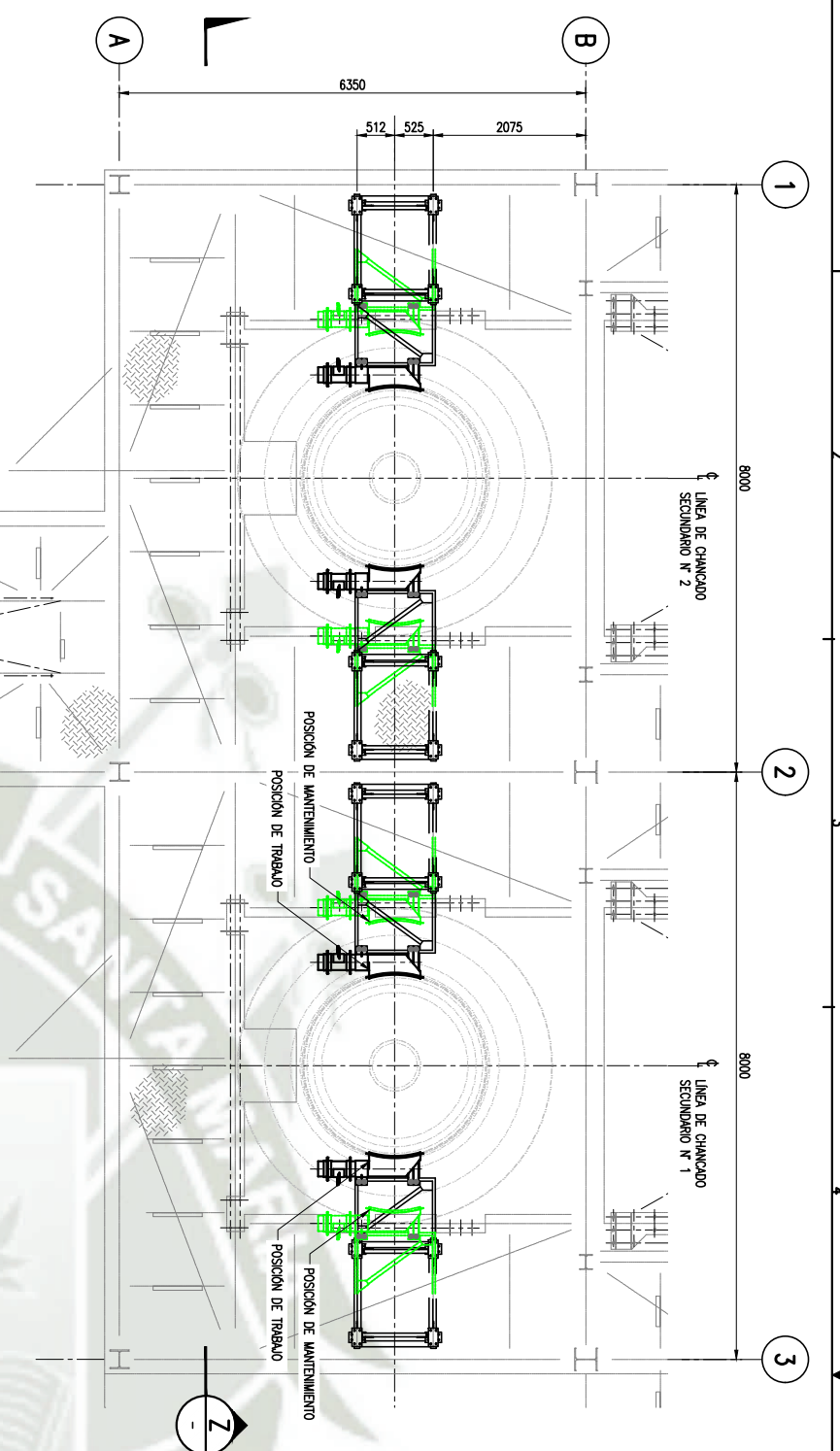
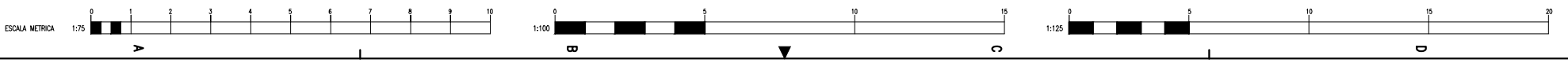
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑADOR	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑADOR	APROBADO
A	27MAR20	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.						
B	27MAR20	EMITO PARA APROBACION	F.S.						
0	05ABR20	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.						

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑADOR	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
					TES-FS-2020-DWG-003	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO ISOMETRICO GENERAL
					TES-FS-2020-DWG-004	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DIRECTOS LINEA N° 1
					TES-FS-2020-DWG-005	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DIRECTOS LINEA N° 2

<p>Realizado por: <b>FABRICIO JAVIER SAMBRINO BOLAÑOS</b></p> <p>ESCALA: INDICADA</p>	<p>Universidad Católica de Santa María</p> <p>Facultad de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica</p> <p>DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO CON DESCARGA A TANQUE / CAMPANAS COLECTORAS</p>	<p>TES-FS-2020-DWG-009</p>
---	--	----------------------------



SECCION Z-Z  
ESCALA: 1:50

ELEVACION - CAMPANA  
ESCALA 1:5

VISTA PLANTA  
ESCALA 1:5

VISTA LATERAL  
ESCALA 1:5

ISOMETRICO - CAMPANA  
ESCALA 1:7.5

NOTAS:  
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y ANELES EN METROS. S.L.C.

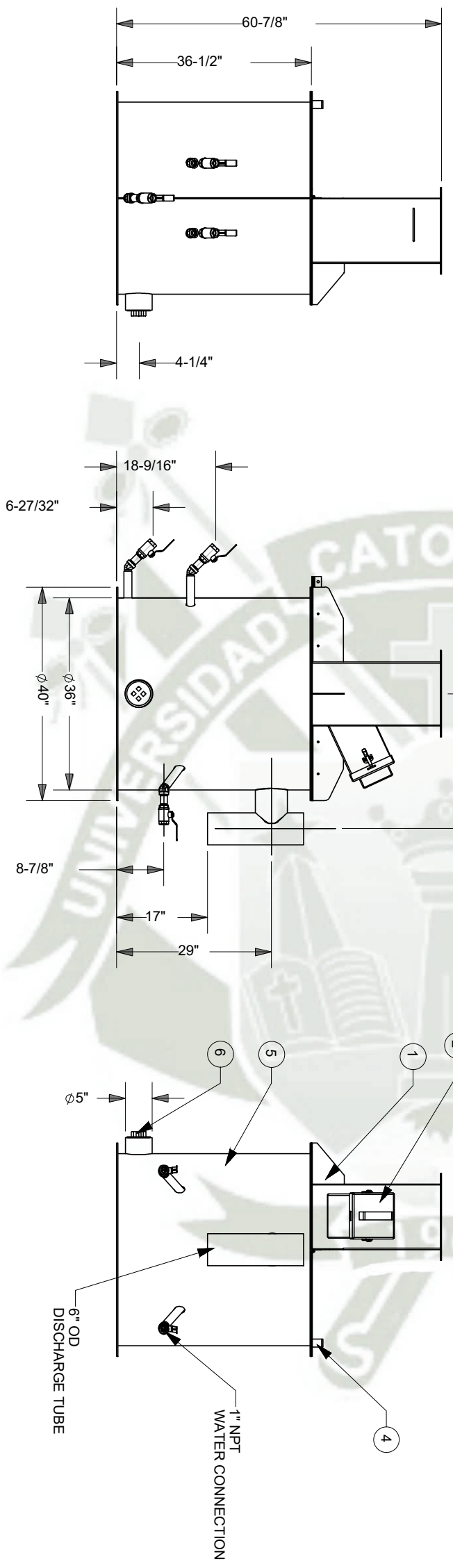
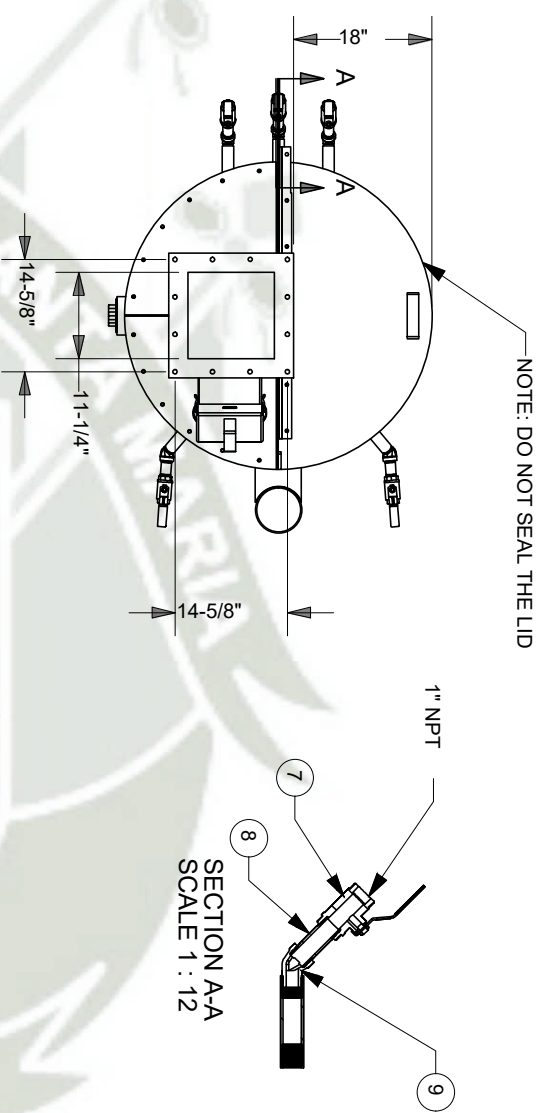
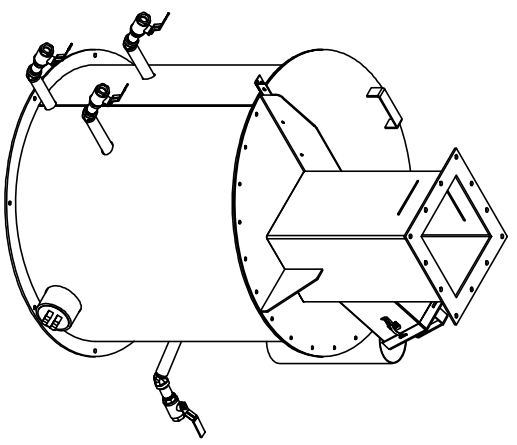
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
A	27/03/20	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.							TES-FS-2020-DWG-003	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO ISOMETRICO GENERAL
B	27/03/20	EMITO PARA APROBACION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-004	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 1
0	05/08/20	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-005	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 2

P.A.S. <b>DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO CON DESCARGA A TANQUE / CAMPANAS DE CHANCADORAS</b>	RESOLUIDOR POR: <b>FABRICIO JAVIER SARMIENTO BOLAÑOS</b>	ESCALA: <b>TES-FS-2020-DWG-010</b>
--	---	---------------------------------------


Universidad Católica de Santa María FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA	TEMA: <b>TES-FS-2020-DWG-010</b>
--	-------------------------------------



ITEM NO.	PART NUMBER	Default Qty.	UNITS	DESCRIPTION
1	221306002	1	EA	SLURRY DISCHARGE LID 12"
2	221306122	1	EA	INSPECTION CAP
3	221306112	1	EA	SLURRY LID HINGE
4	221306120	1	EA	SLURRY LID
5	221306004	1	EA	SLURRY TANK W/LDMT
6	064102036	1	EA	PIPE PLUG BAR HD BLK. 4"
7	221607002	5	EA	VALVE, BALL 1"
8	039214069	5	EA	PIPE NIP GALV 1X3.5TLG
9	215776001	5	EA	ELBOW, 45 1" NPT - GALV
10	205229001	21	EA	CUTTER SCREW, 3/8-16 X 3/4
11	074492000	1	EA	SEALANT TAPE 3/16X1/4X40'
12	219354001	2	EA	SPRING LATCH HOOK
13	048963101	4	EA	SCR. TPG SRDH 10-32X1/2CAD
14	034997006	4	EA	WSHRLCK EXTL T #10 ZINC
15	038105004	4	EA	NUT, LK FLGD 10-32 ZINC

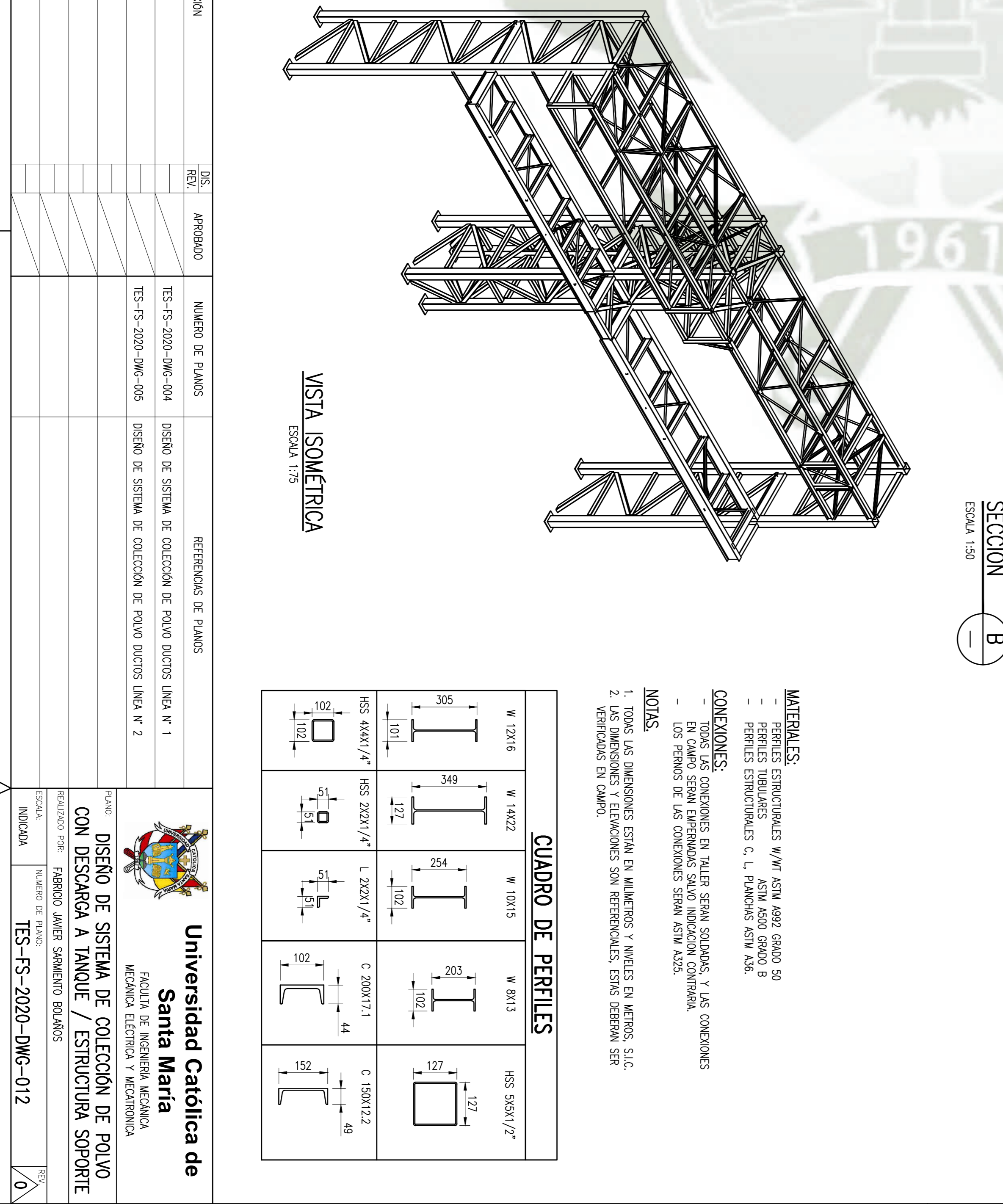
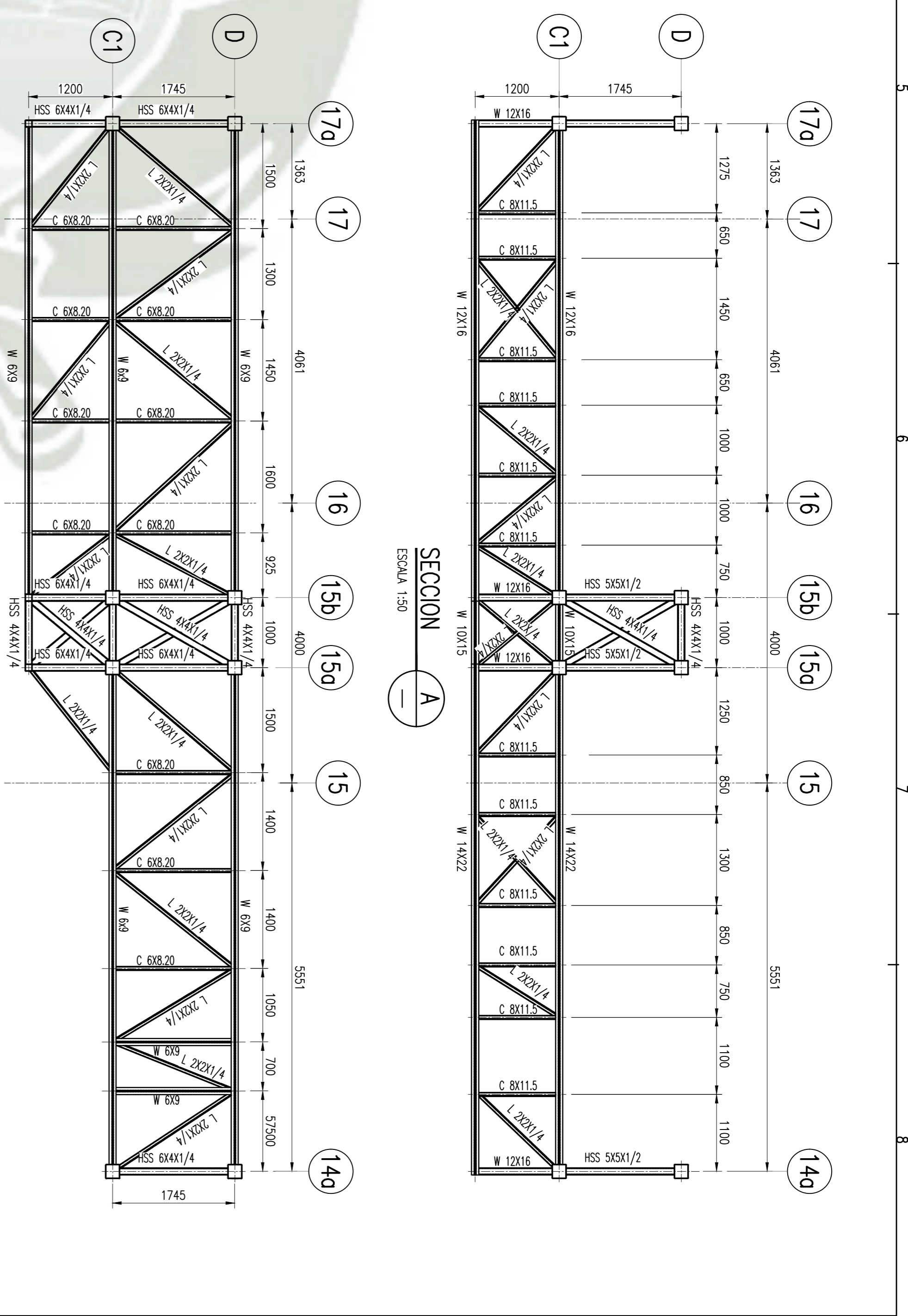
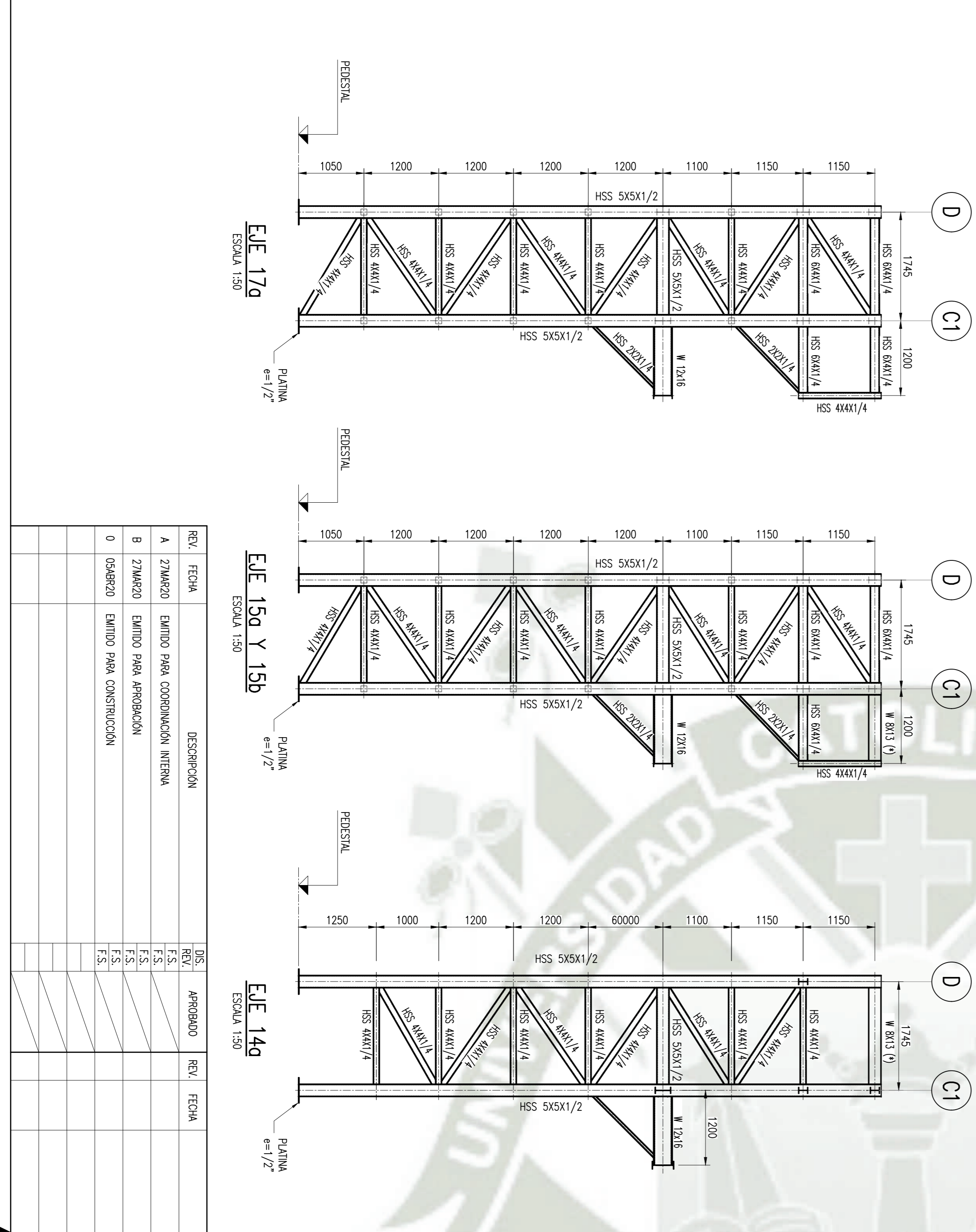
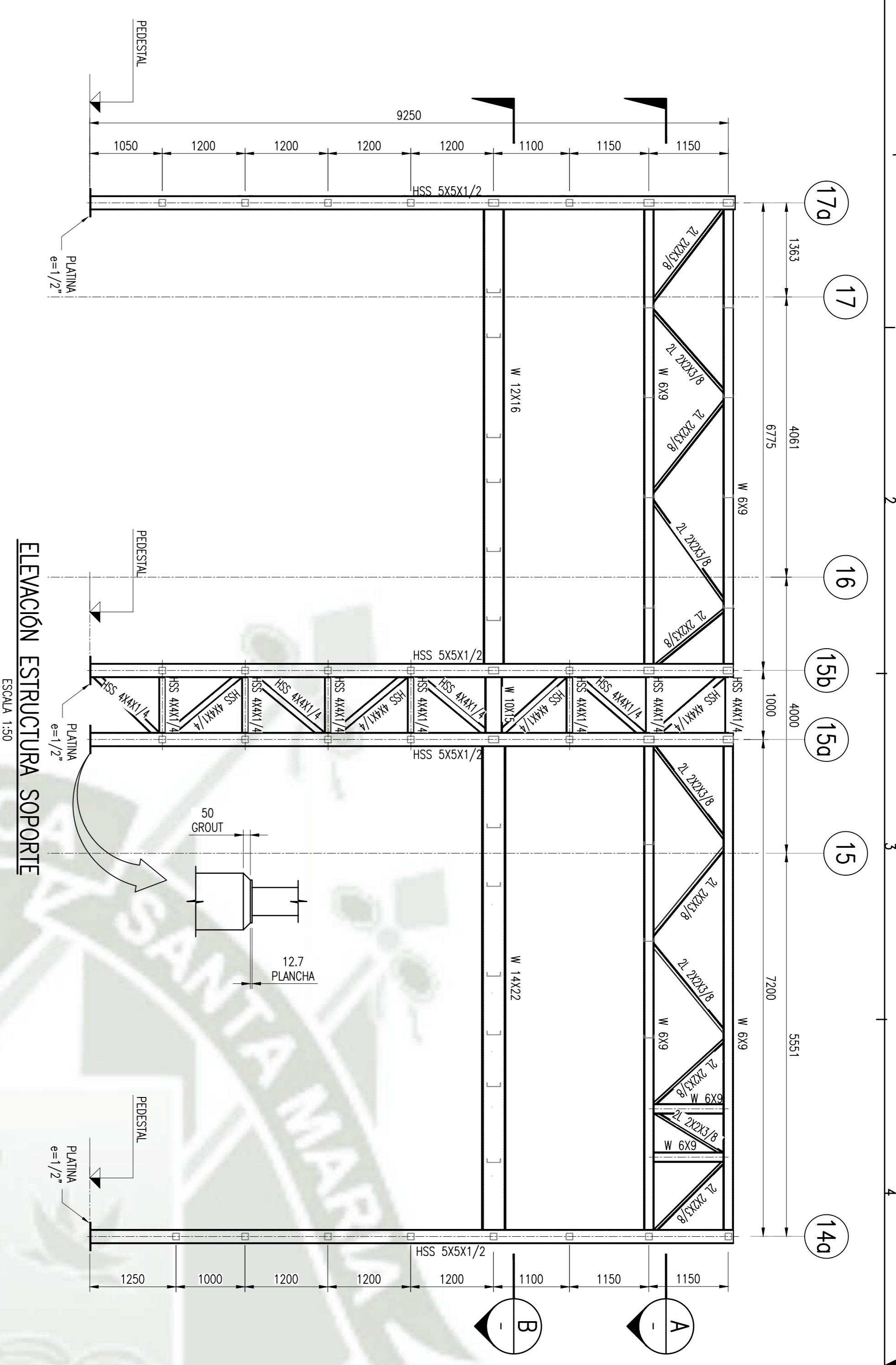
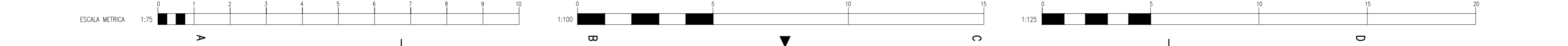
**NOTAS:**  
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y ANGLAS EN METROS, S.L.C.

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIS. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS	REALIZADO POR:	ESCALA:	INDICADA
A	27/03/20	EMITO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.							TES-FS-2020-DWG-003	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOOMETRICO GENERAL	FABIAN	1:25	
B	27/03/20	EMITO PARA APROBACION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-005	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO DUCTOS LINEA N° 2	FABIAN	1:25	
0	05/08/20	EMITO PARA CONSTRUCCION	F.S.							TES-FS-2020-DWG-006	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO SOOMETRICO LINEA DE AGUA Y AIRE	FABIAN	1:25	
			F.S.							TES-FS-2020-DWG-007	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AIRE	FABIAN	1:25	
			F.S.							TES-FS-2020-DWG-008	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO LINEA DE AGUA	FABIAN	1:25	

  
**Universidad Católica**  
**Santa María**  
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
 MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

**DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO CON DESCARGA A TANQUE / TANQUE DE LODO**

FABRICADO POR: FABRICIO JAVIER SARMiento BOLAÑOS  
 ESCALA: 1:25  
 INDICADA: TES-FS-2020-DWG-011




- MATERIALES:**
- PERFILES ESTRUCTURALES W/WF ASTM A992 GRADO 50
  - PERFILES TUBILARES ASTM A500 GRADO B
  - PERFILES ESTRUCTURALES C, L, PLANCHAS ASTM A36.
- CONEXIONES:**
- TOVAS LAS CONEXIONES EN TALLER SEAN SOLDADAS, Y LAS CONEXIONES EN CAMPO SEAN EMPERNADAS SALVO INDICACION CONTRARIA.
  - LOS PERNOS DE LAS CONEXIONES SEAN ASTM A325.
- NOTAS:**
1. TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS Y NIVELES EN METROS, S.I.C.
  2. LAS DIMENSIONES Y ELEVACIONES SON REFERENCIALES, ESTAS DEBERAN SER VERIFICADAS EN CAMPO.

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DISEÑO	APROBADO	DESCRIPCION	DISEÑO	APROBADO
A	27/MARZO	EMITIDO PARA COORDINACION INTERNA	F.S.		TES-FS-2020-DWG-004		
B	27/MARZO	EMITIDO PARA APROBACION	F.S.		TES-FS-2020-DWG-005		
0	05/ABRIL	EMITIDO PARA CONSTRUCCION	F.S.				

PLANO	DESCRIPCION	REFERENCIAS DE PLANOS
01	DISEÑO DE SISTEMA DE COLECCION DE POLVO	TES-FS-2020-DWG-004
02	CON DESCARGA A TANQUE / ESTRUCTURA SOPORTE	TES-FS-2020-DWG-005


  
**Universidad Católica de Santa María**  
 FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
 MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

FABRICADO POR: FABRICIO JAVIER SAMENIO BOLAÑOS  
 INGENIERO EN PLANO: FABRICIO JAVIER SAMENIO BOLAÑOS  
 INDICADA: TES-FS-2020-DWG-012