

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un Sistema de Descarga de Polvo Fino Detergente en
una Planta de 12 Ton/H”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Paul Isaac Urjilez Vásquez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien me ha permitido estar aquí presente, a mis padres por ser mi guía y mi ejemplo para poder ser la persona que soy y poder forjarme un futuro con mi profesión.

Al Ing. Ernesto Martínez director de este proyecto por su guía durante el desarrollo de del mismo.

Paul Urjilez

DEDICATORIA

A mis padres Marlon y Elina, por ser mi guía, mi ejemplo y los pilares fundamentales en mi vida, de quienes siempre recibí todo su apoyo incondicional durante mi vida académica.

A mis hermanos, Pavel, Pedro y Pablo.

A Nancy, por estar siempre a mi lado e impulsarme a continuar por alcanzar esta meta.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DEL TRABAJO
FINAL DE GRADUACIÓN

Ing. Mario Patiño A.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Paul Isaac Urjilez Vásquez

RESUMEN

El presente proyecto de graduación se desarrolló en una empresa dedicada a la fabricación de polvo detergente con una capacidad de producción nominal de 12 Ton/h de polvo base detergente, el cual es transportado por medio de un sistema de aspiración hasta los silos de almacenamiento para luego agregarle los post-adosados mismos que les dan características especiales al detergente como perfumado, coloración y agentes blanqueadores. En la actualidad esta industria busca que sus procesos de manufactura y productos sean amigables con el medio ambiente; en su afán de disminuir el impacto ambiental innova creando nuevos procesos de producción eficientes y productos con formulaciones que tengan menos demanda de recursos naturales.

Desde hace dos años se cambió la formulación para la manufactura del polvo detergente, la introducción de esta nueva formulación convierte al detergente en un producto completamente biodegradable reduciendo la demanda química de oxígeno (DQO) cuando este es diluido en agua, uno de los cambios significativos en la formulación o receta del polvo detergente fue la introducción en mayor proporción de materias primas polvorientas.

El incremento de materias primas polvorientas aumentó la generación de polvo fino en el proceso de secado por atomización de un 2% a un 10% de la producción de polvo detergente generando un colapso del sistema de aspiración de aire de la torre de secado por bloqueos en el sistema de descarga de polvo fino, la operación continua de la planta se ve afectada por las constantes interrupciones del proceso de secado obligando a operadores y técnicos de mantenimiento a realizar intervenciones de limpieza no programadas influyendo negativamente en los indicadores de productividad ya sea por paradas de planta no programadas en el plan de producción o por costos de manteniendo no contemplados.

El desarrollo de este proyecto de graduación presenta las generalidades del proceso de manufactura de polvo detergente, los equipos que están involucrados en el proceso de secado por atomización, aspiración de aire de la torre de secado y descarga de polvo fino. El principal objetivo de este proyecto de graduación es diseñar un sistema de descarga de polvo fino generado en el proceso de secado por atomización que se ajuste a la demanda actual de producción y a las nuevas características físicas del polvo fino detergente. El desarrollo de este proyecto de graduación presenta un análisis de costo y tiempo de implementación del proyecto para su puesta en marcha e introducción al proceso de secado de polvo detergente.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE PLANOS	XV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
1. PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN.....	3
1.1. Generalidades de fabricación de polvo detergente.....	3
1.2. Descripción del proceso de secado por atomización.....	11
1.3. Torre de secado.....	20
1.3.1. Generación de Aire caliente.....	23
1.3.2. Extracción de Aire caliente de la torre de secado.....	25

CAPÍTULO 2.....	28
2. SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO.....	28
2.1. Parámetros del proceso.....	28
2.2. Sistema actual de descarga de polvo fino detergente.	34
2.2.1. Características de polvo fino detergente.	37
2.3. Identificación de la necesidad.....	38
2.3.1. Problemas sistema de descarga polvo fino detergente.....	40
CAPÍTULO 3.....	44
3. DISEÑO DE SISTEMA DE DESCARGA DE POLVO FINO DETERGENTE.	44
3.1. Selección de sistema de descarga de polvo fino detergente.....	44
3.1.1. Alternativas de sistema de descarga.....	45
3.1.2. Selección de sistema de descarga.....	50
3.2. Diseño de Tolvas.....	51
3.3. Diseño de Transportadores.	59
3.4. Sistema de transporte Neumático.....	83
3.4.1. Tolva de almacenamiento.....	86
3.4.2. Dimensionamiento de ventilador.....	87

CAPÍTULO 4.....	104
4. ANÁLISIS DE COSTOS.....	104
4.1. Costo de equipos.....	105
4.2. Costo de materiales.....	105
4.3. Costos de mano de obra.....	106
4.4. Gantt de Implementación del proyecto.	111
CAPÍTULO 5.....	112
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
5.1. Conclusiones.....	112
5.2. Recomendaciones.....	114
ANEXOS.....	115
BIBLIOGRAFÍA.....	134

ABREVIATURAS

Ab	Ancho de banda
Bar	Bar
C.S	Coeficiente de Suficiencia
C1	Compuerta 1
Ca	Calcio
CFM	Pies cúbicos por minuto
Fe	Hierro
G1	Electroválvula 1
h	Horas
HLAS	Ácido sulfónico
HP	Caballos de Fuerza
in	pulgadas
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
Kg	Kilogramos
Kg/h	Kilogramos por hora
Kg/m ³	kilogramos por metro cubico
Kgf	Kilogramos Fuerza
kW	Kilo Watts
l	Litros
l/min	Litros por minutos
LAB	Alquil benceno lineal
m	Metro
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
m ³ /Kg	Metros cúbicos por Kilogramo
Mg	Magnesio
min	Minutos
mmH ₂ O	Milímetros de agua
Mn	Manganeso
MPa	Mega Pascales
Nm	Torque
n_t	Revoluciones de tambor motriz
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
Pa	Pascal
Patm	Presión atmosférica

Pr	Potencia requerida
PVC	Polivinilo de Cloruro
RPM	Revoluciones por minuto
SAP	Structure Analysis Program
seg.	segundos
SO ₂	Dióxido de Azufre
SO ₃	Trióxido de azufre
Ton/h	Toneladas por hora
µm	Micras
v	Velocidad de banda transportadora
V ₂ O ₅	Pentóxido de vanadio
VD	Válvula de descarga 1

SIMBOLOGÍA

$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
Θ	Angulo de contacto entre la banda y el tambor; rad
\emptyset	Angulo de reposo
β	Angulo de sobrecarga
C_p	Calor especifico
Q_t	Capacidad volumétrica de transporte
C_d	coeficiente de descarga para una esfera
μ	coeficiente de fricción entre tambor y banda
K_{cd}	Coeficiente de perdida por cono
μ_c	Concentración de partículas
R	Constante Universal Gases
ρ	Densidad
D, d	Diámetro
ε	Eficiencia eléctrica
η	Eficiencia mecánica
S_y	Esfuerzo de fluencia
σ	Esfuerzo en paredes
t	espesor de pared
K_b	Factor de carga
f	Factor de fricción de partes móviles
C	Factor de fricción en función de la longitud de banda
n	factor de seguridad
F	Fuerza
$^{\circ}$	Grados
K	Grados Kelvin
g	Gravedad
L	Longitud de Banda transportadora
m_{PF}	Masa de polvo fino
M	Momento flector
N	Newton
e	Numero de Euler
Re	Numero de Reynolds
G	peso de partes en movimiento
γ	Peso específico
$\%$	Porcentaje
ϵ	rugosidad relativa

T	Temperatura
T1	Tensión
Te	Tensión efectiva
Va	Velocidad del aire
V_f	Velocidad mínima de transporte
ν	Viscosidad cinemática
V	Volumen de tolva

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PROCESO DE ALQUILACIÓN DE BENCENO.....	4
FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE SULFONACIÓN.	5
FIGURA 3. SECADO DE AIRE	7
FIGURA 4. GENERACIÓN DE SO ₂ -SO ₃	8
FIGURA 5. ESTACIONES DE DESCARGA SOPLADO DE MATERIAS PRIMAS	10
FIGURA 6. PROCESO DE BOMBEO Y REFINACIÓN DE SLURRY.....	13
FIGURA 7. BOMBA NETZSCH NEMO. TORNILLO SIN FIN EXCÉNTRICO.	14
FIGURA 8. CIRCUITO DE BOQUILLAS DE ATOMIZACIÓN.	17
FIGURA 9. BOQUILLA DE ATOMIZACIÓN DE SLURRY	19
FIGURA 10. PARTES DE TORRE DE SECADO.....	22
FIGURA 11. ENTRADA DE AIRE CALIENTE TORRE DE SECADO.....	24
FIGURA 12. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO FILTRO DE MANGAS....	27
FIGURA 13. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE SISTEMA DE LIMPIEZA PULSE JET.....	30
FIGURA 14. ESQUEMA DE COMPUERTAS Y VÁLVULAS DE FILTRO DE MANGAS.	31
FIGURA 15. SECUENCIA DE TOBERAS DE AIRE COMPRIMIDO.....	32
FIGURA 16. CICLO DE APERTURA DE VÁLVULAS DE DESCARGA.....	33
FIGURA 17. SECUENCIA DE LIMPIEZA DE FILTROS.	33
FIGURA 18. SISTEMA DE DESCARGA DE POLVO FINO DETERGENTE. 34	
FIGURA 19. VÁLVULAS DE DOBLE CUERPO.....	35
FIGURA 20. CONO DE RECEPCIÓN DE POLVO FINO.....	36
FIGURA 21. DAÑOS DE LOS DESCARGADORES.....	42
FIGURA 22. ÁNGULO DE REPOSO POLVO FINO	53
FIGURA 23. DIMENSIONES DE TOLVAS.	54
FIGURA 24. VÁLVULA DE COMPUERTA DESLIZANTE.	56
FIGURA 25. SELLOS AUTO LIMPIANTE DE VÁLVULA DE COMPUERTA DESLIZANTE.....	58
FIGURA 26. ARREGLO DE VÁLVULAS DE COMPUERTA DESLIZANTE..	58
FIGURA 27. TRANSPORTADOR DE POLVO FINO.	59
FIGURA 28. ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE CARGA.....	64
FIGURA 29. FACTOR DE FRICCIÓN EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE BANDA.	67
FIGURA 30. DIMENSIONES TAMBOR MOTRIZ EN FUNCIÓN DE ANCHO DE BANDA.....	73

FIGURA 31. DIMENSIONES DE TAMBOR CONDUcido EN FUNCIÓN DE ANCHO DE BANDA.....	73
FIGURA 32. REDUCTOR BALDOR SERIE 900.....	77
FIGURA 33. TENSIÓN EFECTIVA EN BANDAS TRANSPORTADORAS... ..	78
FIGURA 34. TRANSPORTE NEUMÁTICO EN FASE DILUIDA.	84
FIGURA 35. TRANSPORTE NEUMÁTICO EN FASE DENSA.	84
FIGURA 36. SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO POLVO FINO DETERGENTE.	85
FIGURA 37. DIMENSIONES DE TOLVA DE ALIMENTACIÓN EN MILÍMETROS.....	86
FIGURA 38. DIMENSIONES (MM) Y RECORRIDO DE TUBERÍA DE POLVO FINO.	89
FIGURA 39. PUNTO DE DISEÑO DE VENTILADOR CENTRÍFUGO.....	98
FIGURA 40. SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO TIPO VENTURI..	99
FIGURA 41. VENTURI DE SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO PARA POLVO FINO DETERGENTE.....	100
FIGURA 42. PLATAFORMA SISTEMA POLVO FINO.....	101
FIGURA 43. CARGAS SOBRE PLATAFORMA DE SISTEMA POLVO FINO.	102
FIGURA 44. COEFICIENTE SE SUFICIENCIA DE ESTRUCTURA.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE TORRE DE SECADO.....	22
TABLA 2. DATOS VENTILADOR DE GASES DE ESCAPE.....	25
TABLA 3. PARÁMETROS DE PROCESO DE EXTRACCIÓN DE GASES DE ESCAPE.	29
TABLA 4. SECUENCIA DE SOPLADO	32
TABLA 5. TIEMPOS DE APERTURA Y REPOSO DE VÁLVULAS DE DESCARGA.....	33
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS POLVO FINO DETERGENTE.	38
TABLA 7. VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE POLVO FINO.....	39
TABLA 8. CANTIDAD DE POLVO FINO DE LOS CONOS DE FILTRO DE MANGAS	40
TABLA 9. MEJORAS SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO.....	46
TABLA 10. DESCRIPCIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	50
TABLA 11. CALIFICACIÓN Y PONDERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO	51
TABLA 12. RELACIÓN FLUIDEZ Y ÁNGULOS DE REPOSO.	52
TABLA 13. SELECCIÓN VÁLVULA COMPUERTA DESLIZANTE.....	57
TABLA 14. ANCHO DE BANDA EN FUNCIÓN DE TAMAÑOS DE GRUMO.....	61
TABLA 15. VELOCIDADES DE BANDA NORMALIZADAS.....	62
TABLA 16. VELOCIDADES DE BANDA TRANSPORTADORA.....	62
TABLA 17. ÁNGULO DE SOBRE CARGA EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE REPOSO.	63
TABLA 18. PESO RECOMENDADO DE BANDA TRANSPORTADORA	69
TABLA 19. DISTANCIAS DE SEPARACIÓN DE RODILLOS SUPERIORES E INFERIORES.....	70
TABLA 20. PESO RECOMENDADO DE RODILLOS EN FUNCIÓN DE ANCHO DE BANDA Y DENSIDAD DEL MATERIAL.....	71
TABLA 21. COEFICIENTES PARA DETERMINACIÓN DE FUERZAS F1 Y F2	72
TABLA 22. CARACTERÍSTICAS DE BANDA SELECCIONADA.....	75
TABLA 23. EFICIENCIA DE EQUIPOS REDUCTORES DE VELOCIDAD... ..	76
TABLA 24. CARACTERÍSTICAS DE MOTOR ELÉCTRICO.	77
TABLA 25. CARACTERÍSTICAS REDUCTOR BALDOR SERIE 900.	78
TABLA 26. ÁNGULO DE CONTACTO Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN.....	80

TABLA 27. COEFICIENTE DE PÉRDIDA DEL CODO. (RADIO CODO / DIÁMETRO TUBERÍA.)	96
TABLA 28. PRESIÓN Y FLUJO VOLUMÉTRICO REQUERIDOS.....	97
TABLA 29. DATOS VENTILADOR CENTRÍFUGO.....	98
TABLA 30. COSTO DE EQUIPOS.....	105
TABLA 31. COSTO DE MATERIALES	105
TABLA 32. COSTO DE DESMONTAJE	106
TABLA 33. COSTO DE MONTAJE DE TOLVAS DE FILTRO DE MANGAS....	106
TABLA 34. COSTO DE MONTAJE PLATAFORMA Y ESCALERA.	107
TABLA 35. COSTO MONTAJE TRANSPORTADORES A Y B VÁLVULAS TOLVA Y VENTURI	107
TABLA 36. COSTO TUBERÍA PVC PRUEBAS DE EQUIPOS.....	108
TABLA 37. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.	108
TABLA 38. COSTOS DE MANTENIMIENTO.	109
TABLA 39. COSTOS POR PARADAS.....	109
TABLA 40. COSTOS POR PERSONAL EXTRA	109
TABLA 41. FLUJO DE CAJA PROYECTO POLVO FINO.	110

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 ALTERNATIVA No. 1 SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO	122
PLANO 2 ALTERNATIVA No. 2 SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO	123
PLANO 3 ALTERNATIVA No. 3 SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO	124
PLANO 4 TRANSPORTADOR DE POLVO FINO DETERGENTE	125
PLANO 5 VISTAS EN CORTE TRANSPORTADOR DE POLVO FINO DETERGENTE	126
PLANO 6 VISTA 3D CONJUNTO TRANSPORTADOR Y TOLVAS DE POLVO FINO DETERGENTE	127
PLANO 7 TOLVA DE FILTRO DE MANGAS DE POLVO FINO DETERGENTE	128
PLANO 8 TOLVA DE RECEPCIÓN DE POLVO FINO DETERGENTE.....	129
PLANO 9 VENTURI DE POLVO FINO DETERGENTE	130
PLANO 10 SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO DETERGENTE	131
PLANO 11 PLATAFORMA DE INSPECCIÓN	132
PLANO 12 VÁLVULA DE COMPUERTA DESLIZANTE VORTEX	133

INTRODUCCIÓN

Los detergentes surfactantes tienen varias presentaciones comerciales una de las cuales es el polvo detergente, los detergentes tienen como función remover la suciedad anclada a los tejidos mediante su acción tensoactiva en el agua, el proceso de manufactura de polvo detergente comprende procesos auxiliares en los cuales se obtienen materias primas para su elaboración tales como ácido sulfónico y silicato de sodio diluido.

El polvo detergente se obtiene mediante la mezcla y reacción de carbonatos de sodio y sulfatos junto con la reacción de un ácido y una base que son el ácido sulfónico y la soda caústica esta reacción de neutralización forma un producto llamado sulfonato de alquilbenceno lineal uno de los tensoactivos aniónicos de mayor uso en detergentes por su biodegradabilidad, esta fórmula para la producción de polvo detergente genera un aumento en la producción de polvos finos durante la operación de la torre de secado del polvo detergente.

El polvo fino que se produce en una relación de 10% del polvo detergente, es extraído de la torre por un sistema de depuración de gases formado por un filtro de mangas de 6 cuerpos los cuales cumplen la función de limpiar el aire sucio que pasa a través de ellos, el principal problema de la nueva formulación es el aumento de producción de polvo fino lo cual colapso

el sistema de descarga de polvo de los filtros de mangas, el cual no estaba diseñado para manejar la capacidad actual de polvo fino de 1200 Kg/h.

En este proyecto se realizó un nuevo diseño de sistema de descarga de polvo fino de los filtros de mangas para evitar su colapso por acumulación de material, dimensionado y seleccionado los equipos que comprenden el sistema en función de las características de la nueva formulación, al final de este proyecto se muestra un análisis simple del tiempo de retorno de la inversión y un cronograma de actividades para el montaje del proyecto teniendo como restricción principal un tiempo de 8 días para el montaje y puesta en marcha de los equipos.

CAPÍTULO 1

1.PROCESO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN

El presente proyecto de graduación se desarrolla en un planta de producción de polvo detergente, este capítulo describe las generalidades del proceso de manufactura de polvo detergente base que se realiza mediante la operación de una torre de secado por atomización. Se describen los procesos auxiliares para la elaboración de polvo detergente tales como la obtención de ácido sulfónico y silicato de sodio diluido.

1.1.Generalidades de fabricación de polvo detergente.

El proceso de manufactura de polvo detergente es un proceso discontinuo o tipo batch siguiendo una formulación que define las cantidades y orden de adición de las diferentes materias primas sólidas

y líquidas que conforman el polvo detergente, estas materias primas son mezcladas en un reactor para formar una pasta llamada slurry. A continuación se detallan los cuatro procesos fundamentales para la preparación de un batch de polvo detergente.

Proceso obtención Ácido Sulfónico.

El proceso de Sulfonación se basa en la reacción del gas SO_3 con un hidrocarburo derivado de petróleo formado por la alquilación del benceno llamado Alquil benceno lineal o LAB.

La alquilación se define como la transferencia de un grupo alquilo de una molécula a otra, es un sustituyente formado por la separación de un átomo de hidrógeno de un hidrocarburo saturado o alcano¹, en este caso el grupo alquilo se adhiere a un molécula de benceno.

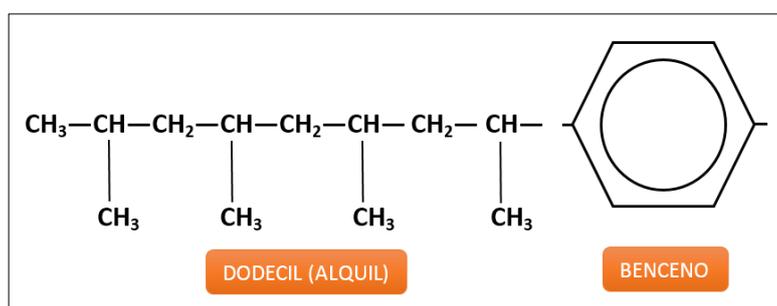


FIGURA 1. PROCESO DE ALQUILACIÓN DE BENCENO

¹IUPAC Recommendations 1995: Glossary of class names of organic compounds and reactivity intermediates based on structure. Pág. 1314

El siguiente diagrama de flujo presenta el proceso de obtención de ácido sulfónico.

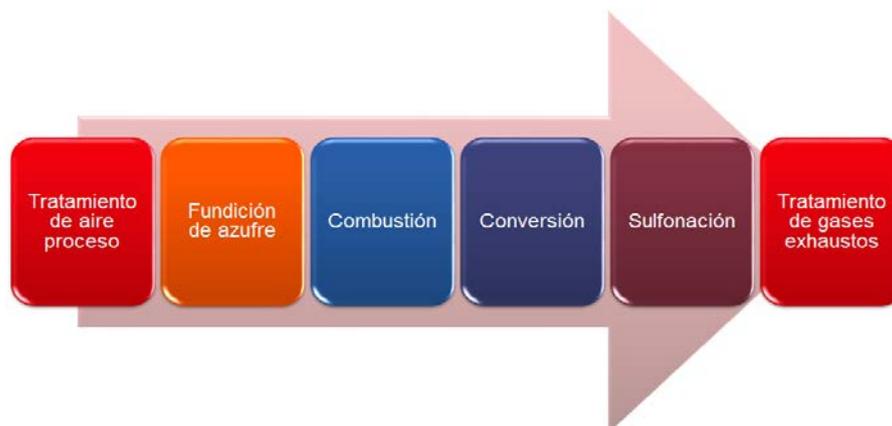


FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE SULFONACIÓN.

El tratamiento de aire de proceso consiste en obtener aire seco mediante, este flujo proporcionado por un blower que genera un caudal de aire que es secado en una primera etapa mediante un conjunto de equipos de refrigeración conformado por dos chillers los cuales enfrían agua a -4°C con una solución de etilenglicol para ser usada en los intercambiadores de calor, de esta manera se condensa la humedad presente en el aire de proceso.

Para eliminar la humedad residual presente en el aire de proceso es necesario una segunda etapa de secado por adsorción, esta etapa está compuesta por dos lechos de silicagel, donde el aire fluye por este material higroscopio o desecante que adsorbe el agua presente en el aire, la silicagel se satura gradualmente con la humedad por lo que es necesario una etapa de regeneración donde mediante un juego de válvulas se cierra el flujo de aire en el primer lecho y pasa al segundo lecho con el objetivo de secar mediante calor la silicagel húmeda.

Luego de pasar por las dos fases de secado el aire se considera como aire de proceso seco para la combustión de azufre, se requiere un aire sin presencia de humedad para evitar la formación de ácidos sulfúricos, que generan corrosión prematura de los equipos.

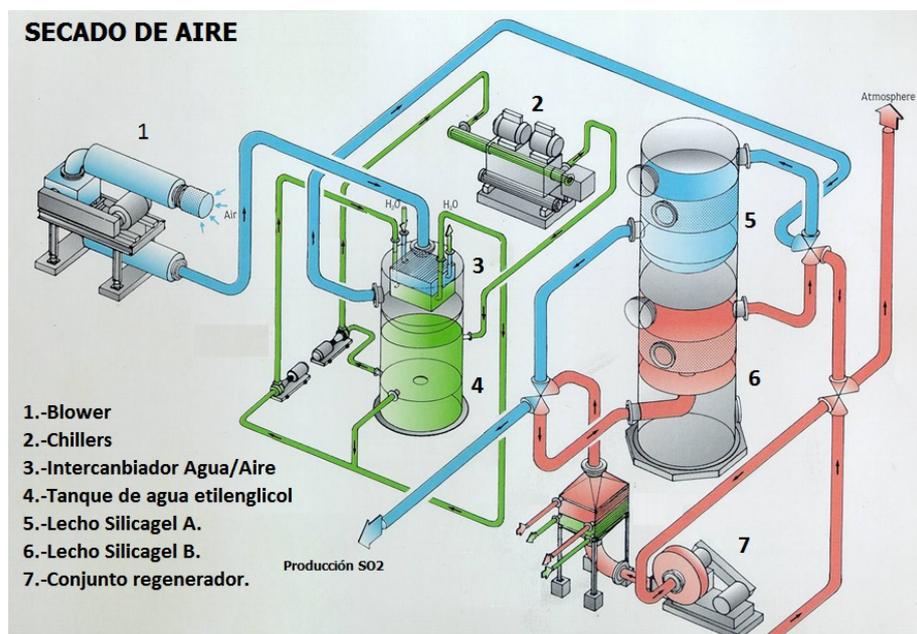


FIGURA 3. SECADO DE AIRE

Fuente: Desment Ballestra

El azufre en estado sólido en forma de pequeñas pastillas ingresa hasta una cuba fusora de 4 cuerpos o etapas donde por medio de intercambiadores de calor que tienen como fluido de trabajo vapor el azufre es fundido a una temperatura de 120°C, el azufre fundido pasa por 2 filtros para separar las impurezas que puedan existir para luego ingresar al horno combustor donde el aire de proceso seco y el azufre fundido se combustiona a 700°C con la ayuda de una llama piloto de GLP esta combustión genera gases de SO₂.

Este gas SO_2 se transforma en trióxido de azufre SO_3 mediante la reacción del oxígeno presente una corriente de aire de proceso con el SO_2 , es necesario acelerar la reacción y se utiliza como catalizador pentóxido de vanadio V_2O_5 el cual sede oxígeno de manera reversible para agregar una molécula de oxígeno al gas SO_2 para obtener trióxido de azufre SO_3 , luego este SO_3 pasa a un proceso de reacción o sulfonación donde en tanques reactores se mezcla con el LAB para formar el ácido sulfónico.

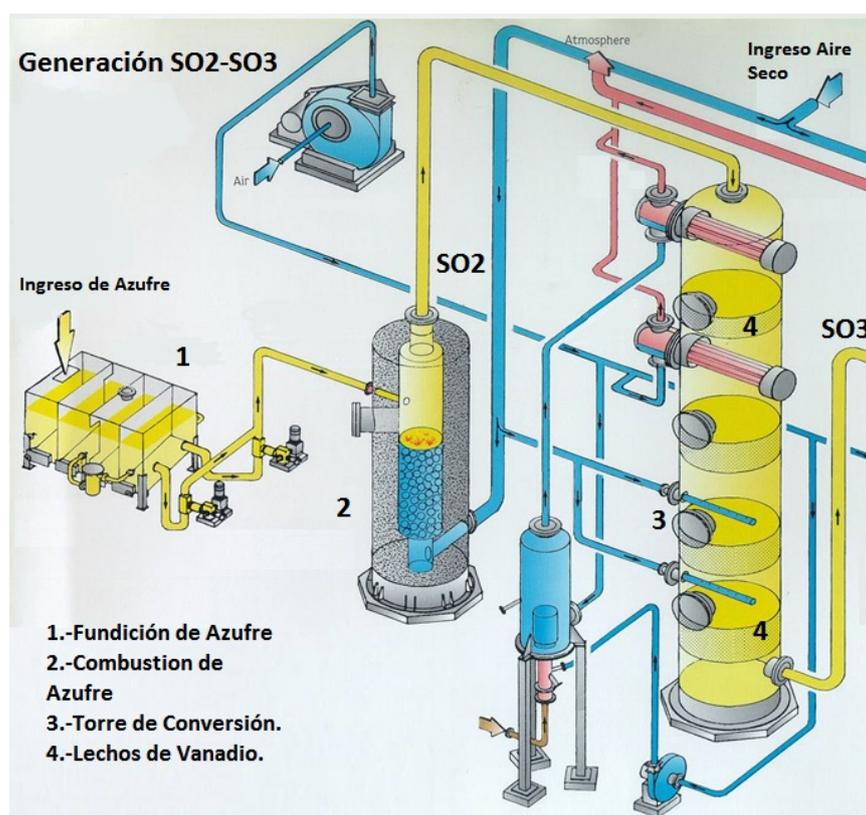


FIGURA 4. GENERACIÓN DE SO_2 - SO_3

Fuente: Desment Ballestra

Fundición de Silicato

En un autoclave se ingresan 4500 litros de agua y 3300 Kg de silicato en piedra para preparar un batch de silicato diluido. El autoclave se presuriza con vapor a una presión 8 Bar durante 3 horas, tiempo en el cual se diluye para ser enviado a tanques de almacenamiento antes de su introducción a proceso de manufactura de polvo detergente.

Transporte Neumático de Materias Primas

Las materias primas sólidas tales como carbonato de sodio, sulfato de sodio zeolita son almacenadas en fundones de una tonelada llamados Big Bag, mediante estaciones de descarga las materias primas sólidas son llevadas hasta los silos de almacenamiento por medio de transporte neumático en fase densa es decir una pequeña cantidad de aire se usa para mover una gran cantidad de sólidos a una alta presión. Las velocidades de transporte típicas están comprendidos entre 2 m/s y 9 m/s y la presión de operación para el transporte puede llegar a ser de 7 Bar.



FIGURA 5. ESTACIONES DE DESCARGA SOPLADO DE MATERIAS PRIMAS

Slurry.

La receta define el orden de adición o entrada al tanque reactor de cada materia prima sólida y líquida, en este tanque reactor se sigue una secuencia de llenado y parámetros de proceso como frecuencias de agitación, temperatura y tiempos de reacción. Las primeras materias a ser dosificadas en el reactor son agua, soda caústica y colorante estas materias no reaccionan entre sí pero es muy importante que estén homogenizadas para el ingreso del ácido sulfónico, la reacción entre el ácido sulfónico y la soda es una reacción de neutralización que da como producto el sulfonato de alquilbenceno lineal, este es el tenso activo aniónico más común en detergentes biodegradables.

Luego ingresa al reactor el silicato diluido el cual contribuye ajustando la alcalinidad del agua de lavado ayudando a remover los minerales o dureza del agua (iones de Ca, Mg, Fe y Mn). Una vez ingresadas las materias primas liquidas, ingresan las materias primas solidas como el sulfato de sodio que contribuye aumentando la densidad del slurry, el carbonato de sodio que aporta alcalinidad de agua de lavado. Finalmente la zeolita que evita que el polvo se compacte mejorado su fluidez.

1.2. Descripción del proceso de secado por atomización.

El proceso de secado se describe comúnmente como un proceso de eliminación térmica de sustancias volátiles (humedad) para producir un producto sólido. La humedad está presente como una solución líquida dentro del sólido o incluso atrapado en la microestructura del mismo, cuando un sólido húmedo se somete a secado térmico, dos procesos ocurren simultáneamente, a continuación se listan los procesos:

- Transferencia de energía (en su mayoría en forma de calor) del medio circundante, causa que la humedad se evapore de las partículas sólidas.

- Transferencia de la humedad o masa de la superficie del sólido y su posterior evaporación debido al proceso de transferencia de energía.

Bombeo de Slurry.

Las materias primas sólidas y líquidas son mezcladas en un reactor una vez pasado el tiempo de reacción el slurry es transferido a un tanque de retención, donde el slurry es mezclado con material reproceso húmedo que está compuesto por polvo terminado fuera de especificación y polvo fino obtenido en el proceso de secado por atomización, estos polvos son diluidos e ingresados al tanque de retención homogenizándolo con el slurry.

El siguiente diagrama de flujo presenta el bombeo de slurry hasta la torre de secado:

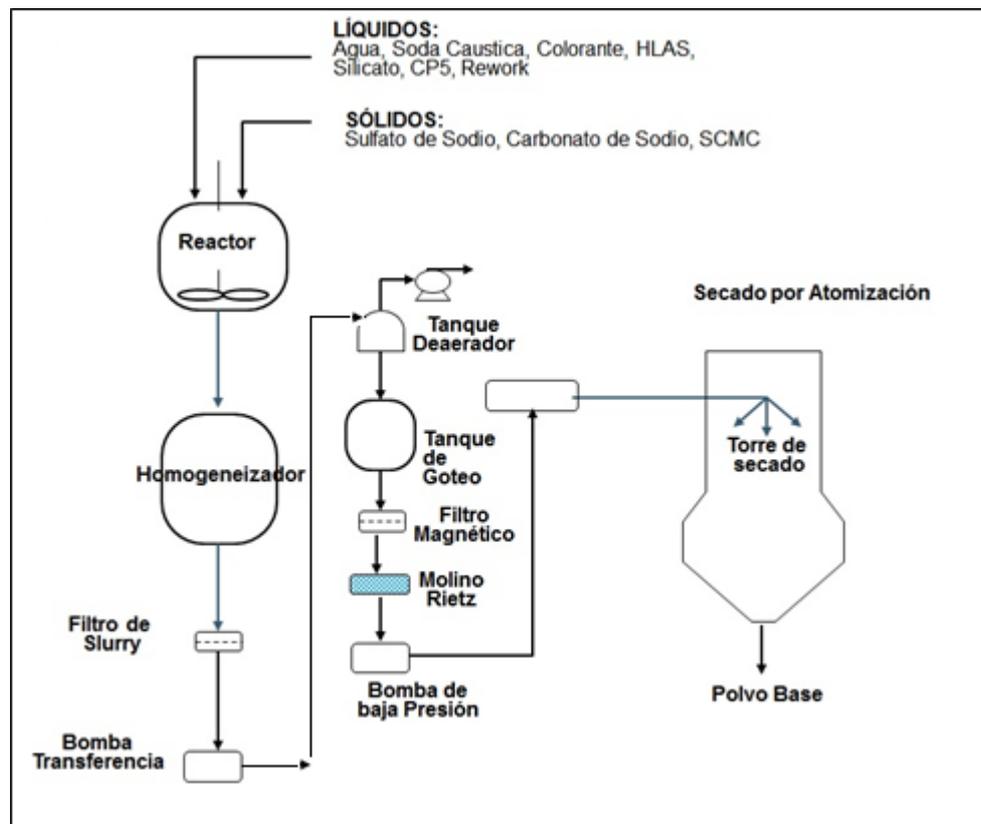


FIGURA 6. PROCESO DE BOMBEO Y REFINACIÓN DE SLURRY.

A continuación se detallan las funciones de los equipos componentes del sistema de bombeo y refinación de slurry:

Filtro de Slurry: Es un filtro compuesto por una malla de acero inoxidable cuyo diámetro de orificios es de 1.5 mm permitiendo el paso de slurry reteniendo las partículas de gran tamaño que no pudieron ser homogenizadas en los procesos previos.

Bomba de Transferencia: La bomba de transferencia es una bomba de desplazamiento positivo, específicamente una bomba de cavidad progresiva tipo tornillo sin fin excéntrico.

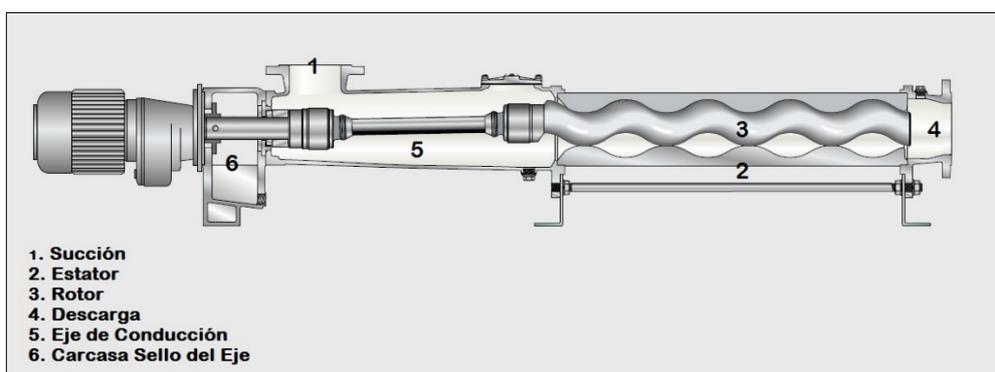


FIGURA 7. BOMBA NETZSCH NEMO. TORNILLO SIN FIN EXCÉNTRICO.

Fuente: NEMO® Progressing Cavity Pumps.

Este tipo de bomba es usada en líquidos viscosos como el Slurry o lodo que tienen un alto contenido de sólidos en su composición. Mediante el giro del rotor dentro del estator el fluido es desplazado entre las cavidades que avanzan hacia la descarga de la bomba, el caudal bombeado es proporcional al número de RPM del motor. Debido a esta característica es esencial en el control del caudal ingresado al proceso de bombeo de slurry.

Tanque desaerador: Es un tanque herméticamente sellado donde el slurry suministrado por la bomba de transferencia se esparce por las paredes del tanque mediante un plato cónico ubicado en la entrada de slurry, por medio de una bomba de vacío las burbujas de aire contenidas en el slurry se extraen con el objetivo de obtener una mayor densidad en la mezcla y por ende una mayor densidad de polvo detergente base.

Tanque de goteo: El tanque de goteo es un tanque de nivel constante usado para mantener un flujo constante de slurry que abastece a las demás etapas de bombeo de slurry.

Filtro magnético: Como su nombre lo indica este filtro se encarga de capturar las partículas metálicas que pudieran estar presentes en el slurry, las partículas metálicas pueden ser producto de desgaste de componentes aguas arriba del sistema de bombeo.

Molino Rietz: Es un molino que se encarga de reducir o moler cualquier material que no haya sido disuelto en el slurry y a que además haya pasado por el primer filtro de slurry.

Bomba de baja presión: Esta bomba es de similares características que la bomba de transferencia, la función principal de esta bomba es proveer flujo constante de Slurry a una presión de 4 Bar.

Bomba de alta presión: La bomba de alta presión es una bomba de desplazamiento positivo compuesta por tres pistones, cada uno formando 120 grados fuera de fase al siguiente pistón, esta disposición reduce las pulsaciones producidas por la bomba. La función principal de este equipo es proporcionar slurry a un caudal de 12000 Kg/h y una presión de 40 Bar hasta el circuito de boquillas de atomización.

Atomización de Slurry

El proceso de atomización de slurry ocurre dentro de la torre de secado el slurry pulverizado se mezcla con el aire caliente que es generado por un quemador evaporando la humedad presente en el slurry. Las partículas de polvo secado caen en el cono de la torre.

Circuito de Boquillas de Atomización.

La pulverización del slurry ocurre por medio de un circuito de boquillas de atomización, las boquillas se encuentran en los extremos de las lanzas que están conectadas a un anillo principal, este anillo es alimentado por la bomba de alta presión. A continuación la Figura 8 presenta un esquema del circuito de boquillas.

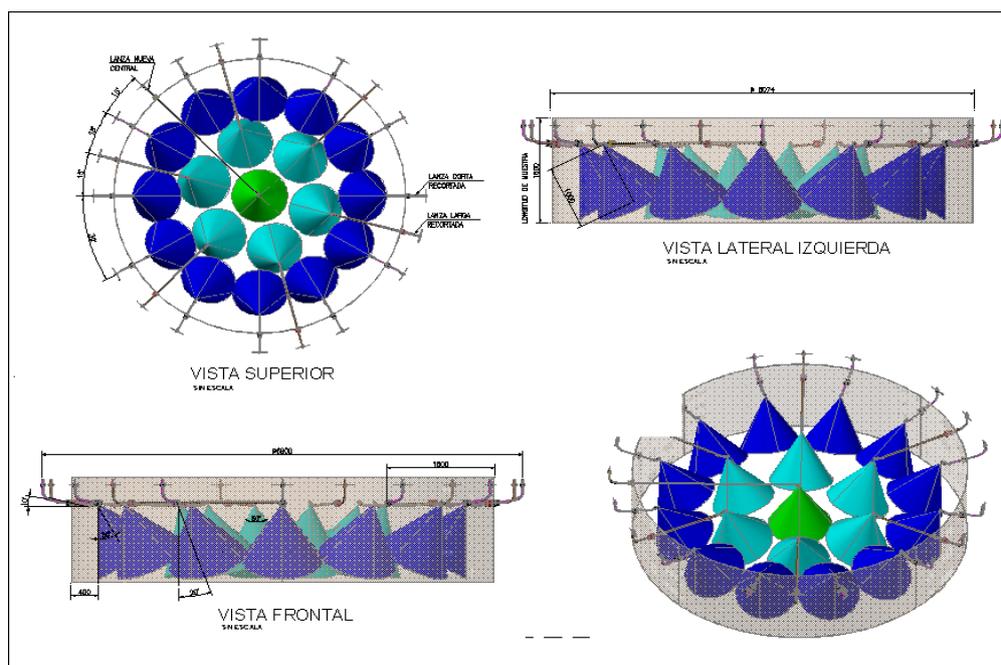


FIGURA 8. CIRCUITO DE BOQUILLAS DE ATOMIZACIÓN.

La distribución de las toberas cubren al máximo el área transversal de la torre de secado, las toberas tienen la siguiente distribución por colores, como se muestra en la Figura 8.

- Perimetrales (Azules): 12 toberas a 500 mm direccionadas con un ángulo de 30° respecto a la vertical.
- Intermedias (Celestes): 6 toberas a 1500 mm direccionadas con un ángulo de 20° respecto a la vertical.
- Central (Verde): 1 Tobera en el centro de la torre direccionada a 0° con respecto a la vertical.

El slurry es bombeado a 40 Bar hasta las toberas o boquillas, donde se debe tener en cuenta el diseño de las boquillas de atomización para tener un ángulo de apertura de spray correcto, este ángulo de apertura de spray oscila entre los 60° y 75° a una presión de 40 Bar.

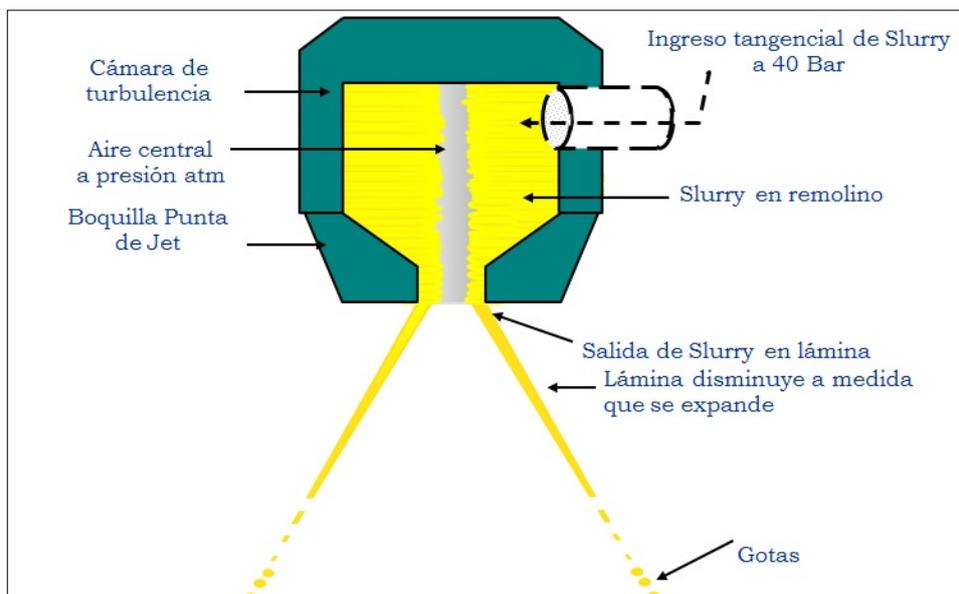


FIGURA 9. BOQUILLA DE ATOMIZACIÓN DE SLURRY

El slurry atomizado es secado por la corriente de aire caliente generada para el proceso de secado, teniendo como producto principal el polvo detergente y como subproducto el polvo fino detergente, debido a la diferencias de densidad el polvo detergente cae al cono de la torre de secado y el polvo fino es aspirado por el sistema de gases de escape.

1.3. Torre de secado.

La torre de secado provee una cámara para el proceso de secado, con suficiente altura y diámetro para que el polvo detergente se separe del polvo fino, la torre de secado está diseñada como un cuerpo cilíndrico con una cámara para la entrada de aire caliente y un cono para la recolección del polvo detergente que es secado dentro de la torre.

Zonas de la torre de secado.

- **Separación:** Es la distancia entre el circuito de boquillas y la tapa de la torre. Se considera esta distancia como un diámetro de la torre, permite la separación de polvo seco de la corriente de aire de escape separando el polvo fino del polvo detergente base.
- **Secado:** La distancia entre el circuito de boquillas y la entrada de aire caliente de la torre es normalmente de 5 metros independiente del diámetro de la torre. De no respetarse esta distancia mínima las partículas de polvo se carbonizan teniendo presencia de cenizas en el cono de la torre producto de la combustión de las partículas de polvo detergente.

- **Entrada de aire caliente:** El diámetro del anillo de la entrada de aire caliente es 1.1 veces el diámetro está formado por 16 compuertas rectangulares. La corriente de aire caliente entra con 20° respecto a la horizontal con el fin de reducir la temperatura de las paredes de la torre reduciendo el riesgo de carbonizar el polvo.
- **Cono de la torre:** El cono de la torre recolecta el polvo secado para descargarlo por su extremo inferior de un metro de diámetro en una banda transportada, forma 30° con respecto a la horizontal.

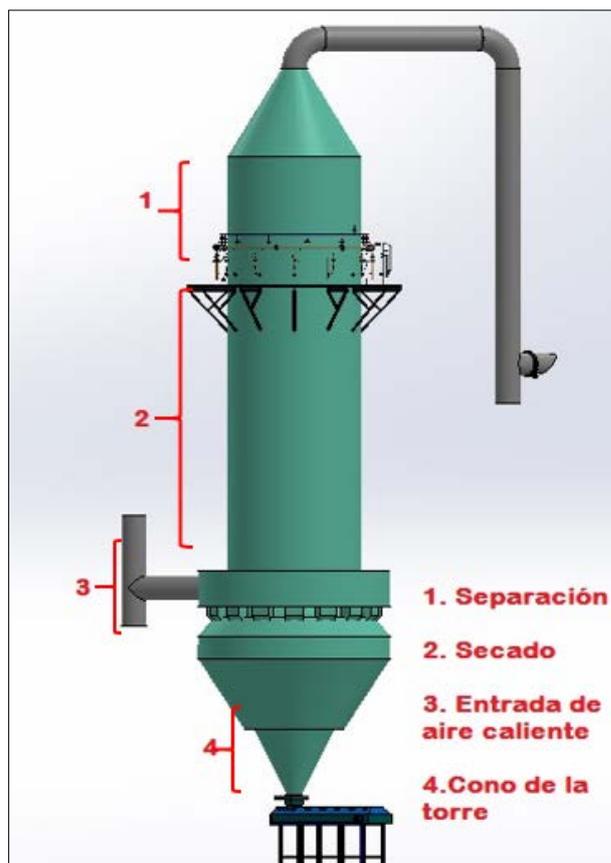


FIGURA 10. PARTES DE TORRE DE SECADO.

La Tabla 1 muestra los parámetros de operación típicos de la torre de secado.

**TABLA 1.
PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE TORRE DE SECADO.**

Máxima capacidad de la torre	12.0 Ton/h
Máxima velocidad del aire dentro de la torre de secado	1.5 m/s
Máxima temperatura de entrada de aire (Temperatura de oxidación del acero)	450°C
Máxima temperatura de salida de aire (Minimiza el riesgo de incendio de filtro de mangas)	120°C
Temperatura típica de operación de torre de secado	95°C-110°C

1.3.1. Generación de Aire caliente.

El aire caliente para el proceso de secado por atomización es suministrado por un sistema de combustión de diésel, este conjunto está constituido por los siguientes equipos:

- Ventilador de combustión.
- Bomba de diésel.
- Quemador Horno
- Ventilador de dilución.
- Anillo principal de distribución o PLENUM.

El aire de combustión es generador por el ventilador centrifugo de combustión que suministra el aire en una relación 4:1 de aire combustible. Una bomba de diésel proporciona el flujo de combustible que es quemado en la cámara de combustión del horno refractario, los gases de combustión en esta etapa alcanzan una temperatura de 1300°C.

El ventilador de dilución aporta aire al proceso, este aire se mezcla con los gases de combustión con el objetivo principal de bajar la temperatura de los gases de combustión de 1300°C a 450°C para que ingresar aire

caliente hacia el Plenum de la torre de secado, suministrando así 57000 m³/h de aire.

El objetivo principal del Plenum es distribuir radial y paralelamente el flujo de masa de aire en cada una de las 16 compuertas de entrada a la torre de secado.

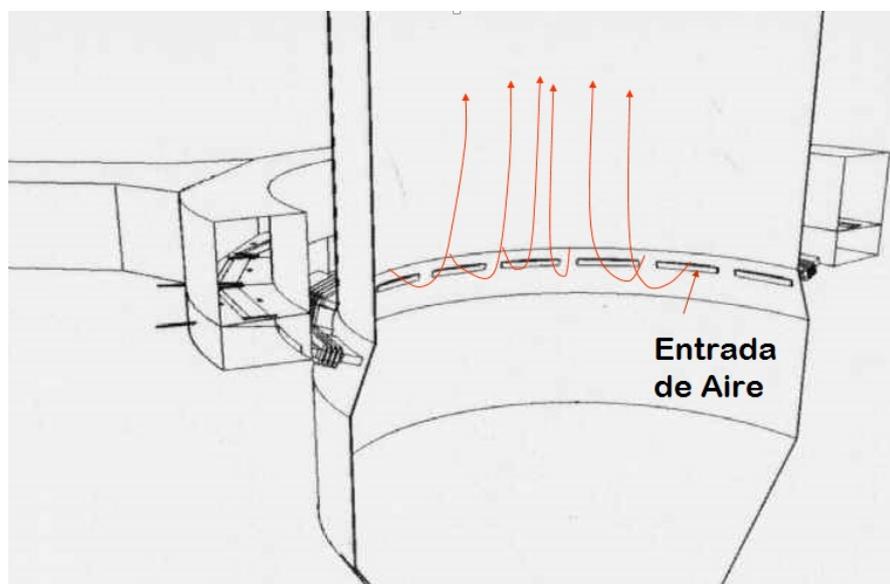


FIGURA 11. ENTRADA DE AIRE CALIENTE TORRE DE SECADO.

1.3.2. Extracción de Aire caliente de la torre de secado.

El agua evaporada del slurry en la torre de secado y los gases de combustión diluidos por el sistema de generación de aire caliente deben ser extraídos de la torre de secado, estos gases son extraídos de la por un ventilador centrifugo denominado ventilador de gases de escape.

Este ventilador es centrifugo con un tipo de rotor con palas planas e inclinadas en la dirección opuesta al sentido del giro del motor, la Tabla 2 muestra las características principales del ventilador de gases de escape.

**TABLA 2.
DATOS VENTILADOR DE GASES DE ESCAPE.**

Diámetro de rotor	1600 mm
Caudal de aire de extracción	75000 m ³ /h @ 90°C
Presión estática	320 mmH ₂ O
Potencia del Motor	150 HP

Por sus características químicas este polvo fino no puede ser lanzado a la atmosfera y debe ser tratado por medio de filtros de mangas. Por restricciones de operación el ventilador de escape debe tener una capacidad 10% mayor que el ventilador de dilución de esta manera se asegura que la torre de secado trabaje siempre a una presión negativa de 6 [mmH₂O], la torre de secado esta provista de sistemas de

seguridad como discos de ruptura para evitar la implosión de la torre de secado.

Filtro de Mangas.

Para cumplir con los requisitos de protección del medio ambiente y recuperar la mayor cantidad posible de polvo fino detergente, se emplea un sistema de depuración de aire. Este sistema está conformado por un filtro de mangas el mismo que consiste en 6 compartimientos o cuerpos aislados entre sí, cada cuerpo contiene un arreglo de 120 mangas filtrantes.

Los gases de escape de la torre cargados con partículas de polvo fino detergente pasan a través de las mangas, reteniendo las partículas entre los intersticios de la superficie exterior de las mangas filtrantes, el aire limpio es expulsado hacia la atmosfera, la Figura 12 muestra un esquema típico de operación de un filtro de mangas.

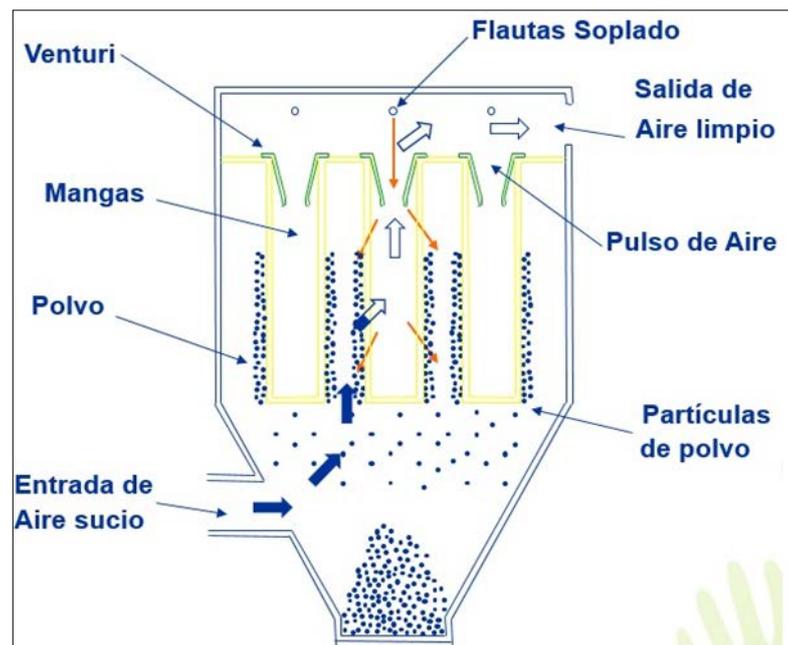


FIGURA 12. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO FILTRO DE MANGAS.

La operación del filtro de mangas de 6 cuerpos es cíclica, alternando cada cuerpo entre periodos de filtrado de aire sucio y periodos de limpieza, en el periodo de limpieza el polvo fino detergente es removido de la superficie exterior de las mangas y cae en tolvas de descarga.

CAPÍTULO 2.

2.SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO

El siguiente capítulo describe los parámetros y equipos involucrados en el tratamiento de los gases de escape del proceso de extracción partículas de polvo fino detergente de la torre de secado por atomización, así como también los equipos que realizan la descarga y reingreso del polvo fino detergente dentro de la torre de secado.

2.1.Parámetros del proceso

Los gases de escape que contienen el polvo fino detergente son aspirados por el sistema de depuración de aire compuesto por la campana de la torre, el filtro de mangas de 6 cuerpos y el ventilador de gases de escape que proporciona el flujo de aire de extracción. Se tienen como parámetros de proceso la temperatura de operación de los

filtros de mangas, la temperatura del aire aspirado, la velocidad del aire de aspiración o escape y el caudal de gases de escape. La Tabla 3 muestra los parámetros de operación del sistema de aspiración de gases de la torre de secado.

**TABLA 3.
PARÁMETROS DE PROCESO DE EXTRACCIÓN DE GASES DE ESCAPE.**

Temperatura de Aire de Aspiración	98.5°C
Temperatura filtros de mangas (120°C máximo)	100°C
Velocidad de Aire de aspiración	18.97 m/s
Caudal de gases de escape	70000 m ³ /h @ 98°C
Caída de presión en los filtros de mangas	60-100 mmH ₂ O

Ciclo de limpieza de filtro de mangas.

La limpieza de las mangas se realiza mediante un sistema Pulse Jet, este tiene como principio la inyección de aire comprimido a 8 Bar en la boca de los filtro de mangas por medio de toberas, tubos metálicos de sección variable, estas transforman la presión y velocidad del aire inyectado en ondas de choque que desprenden el material adherido a la superficie de la manga filtrante. La Figura 13 muestra el principio de funcionamiento de un sistema de limpieza de angas tipo pulse jet

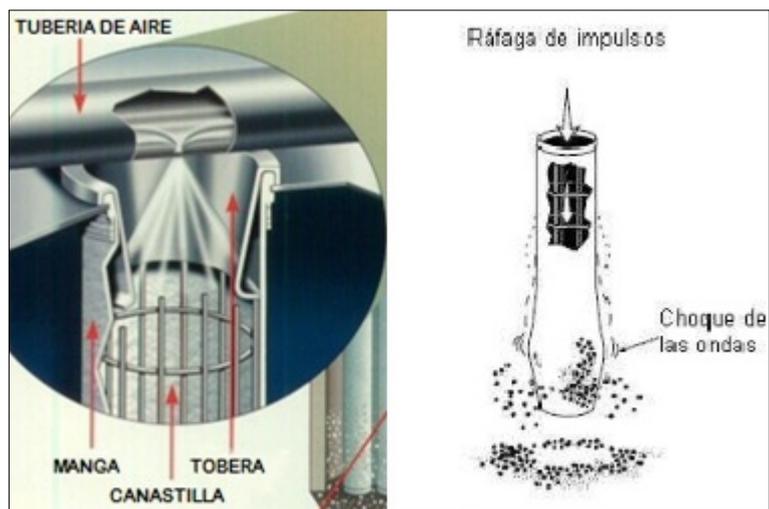


FIGURA 13. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE SISTEMA DE LIMPIEZA PULSE JET

Fuente: AAF Internacional.

La Figura 14 muestra un esquema que representa los 6 cuerpos de filtro de mangas, se representan las compuertas de entrada de aire que contienen las partículas de polvo fino (C2), compuerta de salida de aire limpio (C1), las válvulas de descarga (VD1,VD2) y las electroválvulas que controlan los pulsos de aire comprimido (G1,G2,G3,G4).

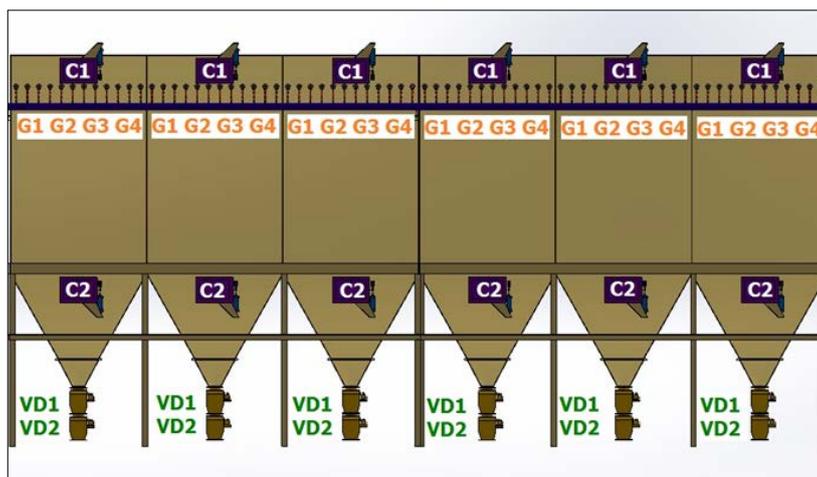


FIGURA 14. ESQUEMA DE COMPUERTAS Y VÁLVULAS DE FILTRO DE MANGAS.

El ciclo de limpieza comienza con el cierre de las compuertas de entrada de aire sucio y la compuerta de salida de aire limpio C1 y C2 respectivamente, aislándose del resto de cuerpos, la aspiración continua en los 5 cuerpos restantes. El ciclo de limpieza de un cuerpo dura 40 segundos.

Durante el tiempo que dura el ciclo de limpieza se deben cumplir 2 sub secuencias de manera paralela.

- Sub secuencia de soplado.
- Sub secuencia de descarga.

La sub secuencia de soplado está compuesta por dos tiempos, como se muestra en la Tabla 4.

**TABLA 4.
SECUENCIA DE SOPLADO**

T Pulso de Aire	0.15 seg.
T Espera	2.85 seg.

El pulso de aire comprimido a 8 Bar es controlado por medio de electroválvulas a un grupo de 3 distribuidores o conjunto G1.

La secuencia de soplado trabaja de manera cíclica hasta completar el ciclo de limpieza de un cuerpo. La Figura 15 representa un ciclo de limpieza para un cuerpo de filtro de mangas.

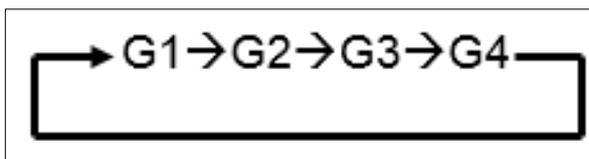


FIGURA 15. SECUENCIA DE TOBERAS DE AIRE COMPRIMIDO.

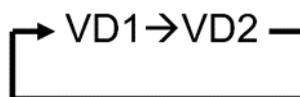
El cuerpo aislado es sacudido a través del pulso de aire comprimido de esta manera el polvo fino adherido a la manga es desprendido y cae a las tolvas de descarga.

Por medio de la sub secuencia de descarga la válvula VD1 se abre de acuerdo a la siguiente secuencia de tiempo como se muestra en la Tabla 5.

**TABLA 5.
TIEMPOS DE APERTURA Y REPOSO DE VÁLVULAS DE
DESCARGA.**

T Apertura	3 seg.
T Espera	2 seg.

Luego se abre la siguiente válvula descarga VD2 y se repite la secuencia hasta cumplir el ciclo de limpieza de 40 segundos.



**FIGURA 16. CICLO DE APERTURA DE VÁLVULAS DE
DESCARGA.**

El ciclo de limpieza termina y las compuerta C1 y C2 se abren, luego el cuerpo siguiente comienza con su limpieza y descarga de polvo fino, este proceso se repite cíclicamente durante toda la operación de los filtros de mangas.

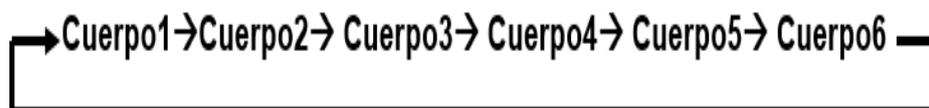


FIGURA 17. SECUENCIA DE LIMPIEZA DE FILTROS.

El Anexo 1 muestra un diagrama de tiempos donde se muestra las secuencias de apertura y cierre de compuertas de gases de escape,

secuencia de accionamiento de las electroválvulas de aire comprimido y accionamiento de descargadores de polvo fino.

2.2. Sistema actual de descarga de polvo fino detergente.

El sistema de descarga de polvo fino está compuesto por 6 conos piramidales, uno por cada cuerpo, que reciben el polvo fino descargado durante los ciclos de limpieza, válvulas de descarga de doble cuerpo, ductos de descarga hacia el cono de recepción de polvo fino. La Figura 18 muestra los equipos que componen el sistema de descarga de polvo fino detergente.

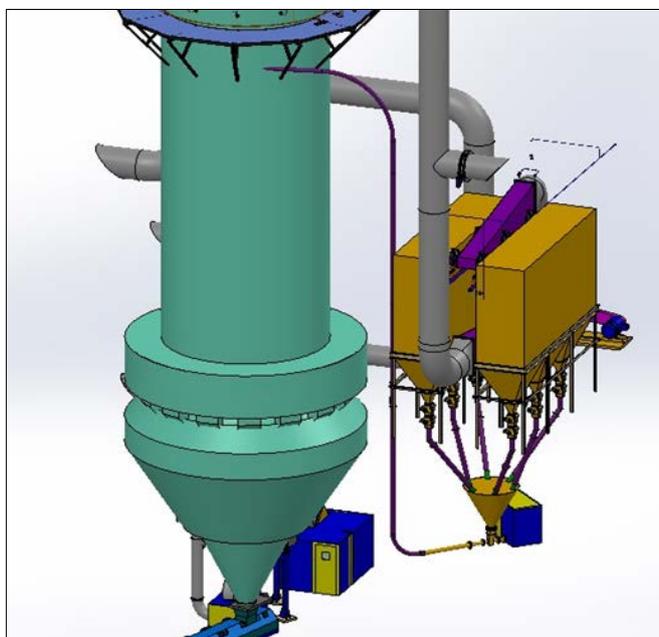


FIGURA 18. SISTEMA DE DESCARGA DE POLVO FINO DETERGENTE.

La capacidad de recepción de polvo fino de cada tolva es de 400 Kg por cuerpo, el polvo fino es descargado por las válvulas de doble cuerpo las cuales tienen en su interior compuertas oscilantes controladas por cilindros neumáticos. La capacidad de descarga de este conjunto de válvulas es de 3.5 Kg por ciclo de apertura de descargadores, la apertura de cada compuerta es alternada para sellar el cuerpo que se encuentra en el ciclo de limpieza, la Figura 19 muestra una válvula de doble cuerpo.

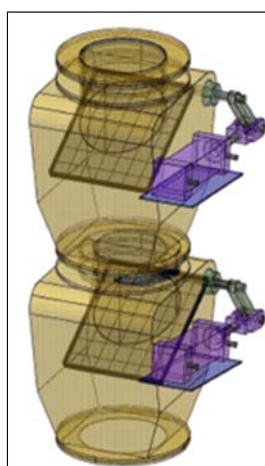


FIGURA 19.VÁLVULAS DE DOBLE CUERPO.

El polvo fino cae a través de ductos de descarga ubicados después de los descargadores hasta un cono recolector que tiene una capacidad de 800 Kg de almacenamiento. La Figura 20 muestra el cono de recepción de polvo fino con sus ductos de abastecimiento.



FIGURA 20. CONO DE RECEPCIÓN DE POLVO FINO.

El polvo fino detergente es reingresado a la torre de secado por medio de un sistema de transporte neumático tipo Venturi es mismo que está compuesto por un ventilador centrifugo de $\frac{1}{2}$ HP y una capacidad de 250 CFM, el polvo fino es reingresado 3 metros por debajo del circuito de boquillas de esta manera el slurry que está siendo secado se mezcla con el polvo fino evitando reprocessar este polvo mediante la vía húmeda.

2.2.1. Características de polvo fino detergente.

El polvo fino detergente es un subproducto de proceso de secado por atomización, este polvo con una granulometría menor al polvo detergente es arrastrado por los gases de escape para su posterior tratamiento en el filtro de mangas.

La concentración del agente tenso activo (dodecil bencén sulfonado de sodio lineal) en el polvo fino detergente varía entre 28% a 35% según ensayos de laboratorios de calidad, se aplica el método de ensayo INEN 833 para la determinación de materia activa valorable. Según la norma NTE INEN 849 (AGENTES TENSOACTIVOS.DETERGENTE EN POLVO PARA USO DOMÉSTICO) en la Pág. 4, establece que “la concentración mínima y máxima para la materia activa valorable es de 10% a 30% respectivamente para polvos detergentes”, el polvo fino al tener una mayor concentración de agentes tenso activos es causantes de irritación y quemaduras leves al contacto con la piel por lo que no es recomendable su empaque y comercialización.

La Tabla 6 muestra las características físicas y químicas del polvo fino detergente.

**TABLA 6.
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS POLVO FINO
DETERGENTE.**

Propiedad	Valor
Densidad	500 Kg/m ³
Humedad	4.57 %
pH	10.79
AD(activo)	35%
Angulo Reposo	36°
Granulometría	250 µm
Tamaño de grumos	40 – 60 mm

2.3. Identificación de la necesidad.

Debido al aumento de la demanda de polvo detergente en el mercado ecuatoriano la planta ha implementado proyectos para aumentar su capacidad de producción de 7.5 toneladas hora a 12 toneladas hora de polvo detergente base.

Estos incrementos de capacidad de producción sumados al cambio de formulación del polvo detergente que introducen materias primas solidas incrementan la producción de finos de 2% a 10% de la producción de polvo detergente. La Tabla 7 muestra los parámetros que cambiaron con la nueva formulación.

**TABLA 7.
VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE POLVO FINO.**

PARAMETROS	ANTES	DESPUES
Producción de polvo detergente	7500 Kg/h	12000 Kg/h
% De finos por tonelada de polvo detergente.	2 %	10%
Densidad	450 Kg/m ³	500 Kg/m ³
Humedad	2 %	4.5 %

Una de las características de la nueva formulación es el aumento de la humedad y densidad del polvo fino como se puede observar en la Tabla 7, esto se refleja en la poca fluidez del polvo fino en los descargadores de los filtros de mangas.

La cantidad de polvo fino puede ser calculada por medio de una estimación dada por la formulación del polvo detergente² que indica el porcentaje máximo de generación de polvo fino, por cada tonelada de polvo detergente base producida con la nueva formulación existen 100 Kg de polvo fino generado.

La relación fue confirmada pesando la cantidad de polvo fino acumulado en las tolvas durante una parada de planta programada para limpieza, se procedió a cerrar las válvulas de descarga de doble cuerpo durante

² Powder Technology Catalog (Documento de uso restringido)

los últimos 30 minutos de producción, de esta manera se acumuló el polvo fino en las tolvas de los filtros de mangas, este polvo fue posteriormente recolectado y pesado teniendo los resultados que se muestran en la Tabla 8.

**TABLA 8.
CANTIDAD DE POLVO FINO DE LOS CONOS DE FILTRO DE MANGAS**

Cuerpo 1	97.2 Kg
Cuerpo 2	102.2 Kg
Cuerpo 3	96.8 Kg
Cuerpo 4	98.3 Kg
Cuerpo 5	100.2 Kg
Cuerpo 6	98.0 Kg

2.3.1. Problemas sistema de descarga polvo fino detergente.

Los problemas principales que genera el aumento de producción de finos son los constantes bloqueos en los cuerpos de mangas debido a la saturación de los conos por acumulación de polvo no descargado por las válvulas de dos cuerpos, estas válvulas tienen en una capacidad de descarga nominal de 3.5 Kg por ciclo de apertura de las mismas, esta capacidad se ve reducida 2 Kg por ciclo por la acumulación de polvo en las compuertas de las válvulas, el polvo fino que es descargado se queda adherido a las paredes de los ductos reduciendo su diámetro.

El diagrama de tiempos mostrado en el Anexo 1 nos indica el número de veces que son accionados los descargadores de polvo fino, teniendo 4 aperturas por cada ciclo de limpieza. Cada ciclo de limpieza tiene una duración de 40 segundos por lo tanto cada cuerpo de filtro de mangas cumple 15 ciclos de limpieza por hora, con las condiciones actuales de los descargadores se tiene una capacidad de descarga de 120 Kg/h de descarga de polvo fino por cuerpo.

Teniendo una capacidad de depuración de polvo fino de 200 Kg/h por cuerpo solo el 60% del polvo fino es descargado hacia el cono de almacenamiento, estas condiciones provocan bloqueos en los filtros de mangas por saturación con polvo fino no descargado teniendo como consecuencias paradas del proceso de secado no programadas.

A continuación se detallan las principales consecuencias de los bloqueos de los filtros de mangas:

- Falta de aspiración en la torre de secado por el bloqueo de los cuerpos del filtro de mangas, la presión dentro de la torre de secado varía de $-6\text{mmH}_2\text{O}$ a $-1\text{ mm H}_2\text{O}$, esta variación de presión dentro de la torre genera reflujos de polvo detergente

generando presencia de cenizas por la entrada de polvo dentro del anillo de aire caliente.

- Técnicos y operadores de mantenimiento se ven en la necesidad de desbloquear las válvulas y ductos de descarga suministrando golpes a los cuerpos de las válvulas para que el polvo apelmazado en las paredes fluya, estos continuos golpes causan daños tales como fisuras y abolladuras en los descargadores como se observa en la Figura 21.



FIGURA 21.DAÑOS DE LOS DESCARGADORES.

- Los costos de mantenimiento correctivo de tolvas, válvulas y cambio de aislamiento térmico de las tolvas son 6300 dólares anuales.
- Las soluciones temporales planteadas para desbloqueo implican la contratación de personal extra para tareas de limpieza y mantenimiento no programados de los conos y de las válvulas de descarga, generando un costo de 4000 dólares mensuales.
- El bloqueo de los cuerpos de los filtros de mangas causa paradas de producción en el proceso de secado por atomización, el tiempo por paradas de este proceso se promedia en 8 horas semanales, cada hora perdida de producción tiene un costo de 120 dólares.

CAPÍTULO 3.

3.DISEÑO DE SISTEMA DE DESCARGA DE POLVO FINO DETERGENTE.

Este capítulo detalla la selección del sistema de descarga de polvo fino detergente la cual se realiza mediante una matriz de selección de diseño evaluando tres alternativas de sistemas de descarga de polvo fino, se presenta el diseño y selección de cada uno de sus componentes.

3.1. Selección de sistema de descarga de polvo fino detergente

El sistema de descarga de polvo fino detergente actual no fue diseñado para manejar las características físicas del polvo fino de la nueva formulación, la creciente demanda de polvo detergente aumentó la producción de finos a 1200 Kg/h en el sistema de depuración de gases de escape de la torre de secado dejando obsoleto el sistema de descarga en operación.

Las premisas para el diseño y selección de equipos para el sistema de descarga de polvo fino se basa en los requerimientos generados durante la operación continua del sistema de descarga, además de considerar las facilidades para el mantenimiento y limpieza de los equipos a instalar, se considerara como un requisito importante las seguridades en la operación del sistema de descarga.

3.1.1. Alternativas de sistema de descarga.

Las alternativas del sistema de descarga de finos deben cumplir con las mejoras propuestas en la Tabla 9, donde se han identificado las condiciones y los equipos que generan los bloqueos de los filtro de mangas.

**TABLA 9.
MEJORAS SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO.**

Problema	Causa	Mejora
Saturación de tolvas de descarga	Poca capacidad de almacenamiento de polvo	Aumento de capacidad de tolvas de descarga
Poca fluidez de polvo fino dentro de tolva	Diseño de tolvas con ángulos rectos donde se acumula el polvo	Cambio de diseño de tolvas esquinas redondeadas y suaves
Polvo acumulado en cuerpo de descargadores	Polvo se apelmaza en el cuerpos de las válvulas (palas)	Cambio del tipo de válvula de descarga
Longitud de ductos de descarga grandes	Cambios de trayectoria, y gran longitud para descarga de polvo	Reducir longitud para descarga de polvo
Polvo se queda acumulado en ductos	Polvo cae por gravedad en los ductos inclinados	Transporte de polvo no debe ser por gravedad
Acumulación de polvo en cono de descarga	Baja capacidad de sistema de transporte neumático	Revisión de capacidad de ventilador y sistema Venturi transporte neumático

Para realizar la selección del sistema de descarga de finos se plantearán tres diseños de forma, los cuales serán analizados con una matriz de selección, para definir la forma más adecuada para las nuevas condiciones de operación.

Alternativa 1

Son parte de la alternativa de diseño 1 los siguientes componentes (Ver Plano 01):

- Válvulas rotativas.
- Ductos descarga.
- Tolva colectora de finos
- Tornillo sin fin
- Plataforma de inspección
- Sistema de transporte neumático.

El polvo fino es descargado desde los conos de los filtros de mangas por las válvulas rotativas, esta válvula asegura que el los cuerpos de los filtro de magas estén completamente aislados durante la operación de soplado, el polvo cae a una tolva donde en su parte baja se encuentra un tornillo sin fin que transporta el polvo fino hacia la entrada del Venturi del sistema de transporte neumático. Con un costo de implementación estimado de 72000 dólares.

Alternativa 2

Son parte de la alternativa de diseño 2 los siguientes componentes (Ver Plano 02):

- Válvulas rotatorias.
- Dos tonillos sin fin.
- Tolva colectora de finos.
- Moto-vibrador.
- Plataforma de inspección.
- Sistema de transporte neumático.

El polvo fino es descargado por tres válvulas rotatorias las cuales descargan un polvo fino en un tornillo sin fin, de igual manera para los tres cuerpos del filtro de mangas restantes, los dos tornillos llevan el polvo fino hasta una tolva colectora donde el polvo es zarandeado por un moto-vibrador hasta la entrada del sistema de transporte neumático. Siendo el costo estimado para este diseño 58000 dólares.

Alternativa 3

Son parte de la alternativa de diseño 3 los siguientes componentes (Ver Plano 03)

- Cambio de tolvas de los cuerpos del filtro de mangas
- Válvulas de compuerta deslizante.
- Ductos de descarga.
- Transportadores de polvo fino.
- Tolva colectora de polvo fino.
- Sistema de transporte neumático.

El polvo fino cae en dos etapas de apertura y cierre de las válvulas de cuchilla para mantener los cuerpos del filtro de mangas asilado, el polvo cae hasta dos transportadores semitubulares los cuales llevan el polvo fino hasta la tolva colectora, la cual sirve de medio abastecedor de polvo fino al sistema de transporte neumático, el costo estimado de esta alterativa es 67000 dólares.

3.1.2. Selección de sistema de descarga

Para la selección del sistema de descarga de polvo fino detergente se usara una matriz de selección definiendo criterios tales como costo de implementación, seguridad, mantenibilidad, confiabilidad y control de polución. La Tabla 10 detalla los criterios de selección.

**TABLA 10.
DESCRIPCIÓN DE CRITERIOS DE SELECCIÓN.**

Criterio	Descripción
Costo de implementación	Costo de equipos y montaje
Seguridad	Diseño no tenga partes en movimiento expuestas, minimizar uso de guardas de seguridad.
Mantenibilidad	Facilidad de mantenimiento a equipos y partes del sistema de descarga
Operatividad	Facilidades de operación y limpieza del sistema de descarga
Control de Polución	Control de fugas de polvo fino detergente en el área de trabajo

Cada criterio de selección tiene un factor de ponderación menor a 1, donde se da el mayor peso a las seguridades que brinda el sistema, cada criterio es evaluado en una escala de 10 puntos y luego es ponderado para cada peso de cada criterio.

La Tabla 11 muestra las calificaciones asignadas a cada alternativa de diseño con su respectiva ponderación.

**TABLA 11.
CALIFICACIÓN Y PONDERACIÓN DE ALTERNATIVAS
DE DISEÑO**

	Costo de implementación	Seguridad	Mantenibilidad	Operatividad	Control de Polución	Rango
Factor de Ponderación	0.15	0.30	0.20	0.10	0.25	1.00
Alternativa 1	8 1.20	7 2.10	6 1.20	8 0.80	7 1.75	7.05
Alternativa 2	5 0.75	7 2.10	5 1.00	7 0.70	6 1.50	6.05
Alternativa 3	6 0.90	8 2.40	8 1.60	6 0.60	8 2.00	7.5

El diseño a elegir es la alternativa 3 con una calificación total de 7.5/10, que corresponde a los a las válvulas tipo cuchillas, transportadores de polvo fino, tolva colectora y sistema de transporte neumático.

3.2. Diseño de Tolvas.

Las tolvas de los filtros de mangas reciben el polvo fino que es sacudido en el ciclo de limpieza también canalizan el polvo hacia las válvulas de descarga, como condiciones para el diseño se debe incrementar la capacidad de recepción y suavizar esquinas para evitar la acumulación del polvo. El material seleccionado para la fabricación de las tolvas es acero AISI 304 por su característica de resistencia a la corrosión.

Una característica importante para el dimensionamiento de las tolvas de descarga es el ángulo de reposo (\emptyset), siendo el ángulo que forma una pila de material con la horizontal en estado estable, este ángulo indica la capacidad del polvo para fluir con facilidad y al ángulo máximo que el polvo puede descansar en un plano inclinado sin deslizarse. La Tabla 12 muestra la relación que existe entre la fluidez de un material y su ángulo de reposo.

**TABLA 12.
RELACIÓN FLUIDEZ Y ÁNGULOS DE REPOSO.**

Fluidez	Ángulos de reposo en (Grados)
Excelente	25° - 30°
Bueno	31° - 35°
Adecuado	36° - 40°
Pobre	41° - 45°
Muy pobre	46° - 55°
Extremadamente pobre	> 55°

La Figura 22 nos sirve para determinar el ángulo de reposo del polvo fino para lo cual tomó una muestra de polvo y se procedió a determinar el ángulo siendo este 36°.

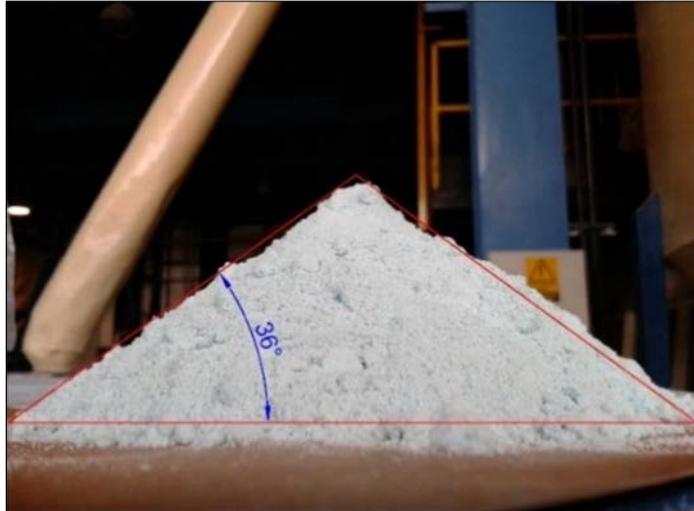


FIGURA 22.ÁNGULO DE REPOSO POLVO FINO

Dimensionamiento de Tolvas

El ángulo de inclinación de la tolva debe ser mayor a 36° , para aprovechar el espacio físico disponible entre el piso de la planta y el filtro de mangas, además de incrementar la capacidad de recepción de polvo fino, las dimensiones seleccionadas para la tolva se presentan en la Figura 23, resultando un ángulo de inclinación de 70° asegurando la fluidez del polvo.

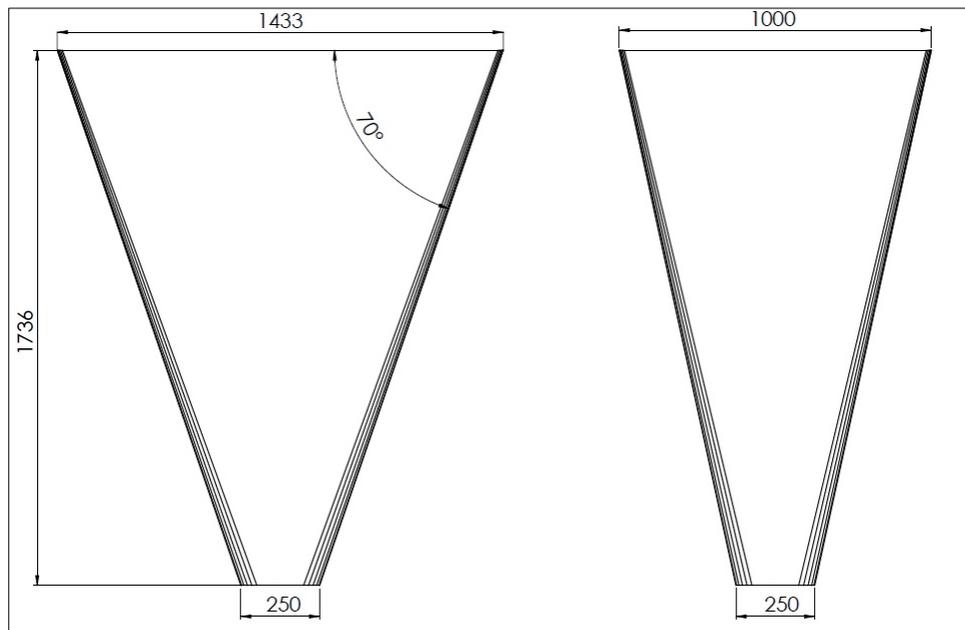


FIGURA 23.DIMENSIONES DE TOLVAS.

El volumen contenido en la tolva es de 1 m^3 , para determinar la cantidad de polvo fino se tiene:

$$m_{PF} = \rho_p V \quad (3.1)$$

Donde:

ρ_p = Densidad del polvo fino 500 Kg/m^3

V = Volumen de tolva 1 m^3

$$m_{PF} = 500 \text{ Kg}$$

Para cálculo del espesor de la pared de la tolva esta se lo considera como un recipiente de pared delgada [1], con una distribución de fuerza ejercida por el peso normal a las paredes de la tolva.

$$\sigma_t = \frac{P d}{2 t} \quad (3.2)$$

Donde se tiene:

$$t = \frac{P d}{2 \sigma_t} \quad y \quad \sigma_t = \frac{S_y}{n}$$

$$t = \frac{P d n}{2 S_y} \quad (3.3)$$

Donde:

P = Presión ejercida por el peso sobre las paredes de la tolva

A = Área de tolva 7.72 m²

d = Perímetro de tolva 4.9 m

t = Espesor de pared.

n = Factor de seguridad, 2

S_y = Esfuerzo de fluencia del material AISI 304 276 MPa

$$P = \frac{m_{PF} g}{A} \quad (3.4)$$

$$P = 635.36 \text{ Pa}$$

Reemplazando en (3.3) se obtiene el espesor mínimo de la tolva.

$$t = 1.13 \times 10^{-5} \text{ m}$$

El espesor de diseño mínimo calculado es 0.01 mm ya que el polvo fino no ejerce mayores presiones sobre las paredes de la tolva, se selecciona un espesor comercial de 2 mm debido a que el espesor de

diseño no es manejable para la construcción de las tolvas, además de no estar disponible en el mercado ecuatoriano.

Selección de válvulas.

Para la selección de las válvulas se considera un flujo de polvo por gravedad, debido a sus características de humedad y granulometría el polvo fino tienen acumularse en superficie con las que tiene contacto, la válvula seleccionada es del tipo compuerta deslizante. El accionamiento de esta válvula es por medio de un cilindro neumático.

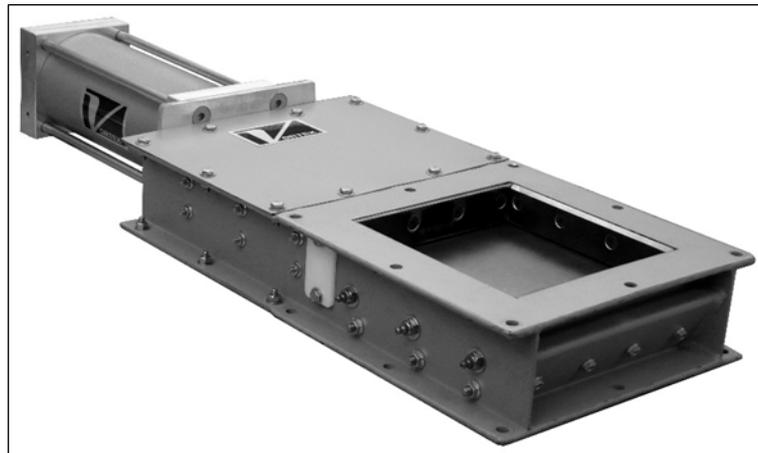


FIGURA 24.VÁLVULA DE COMPUERTA DESLIZANTE.

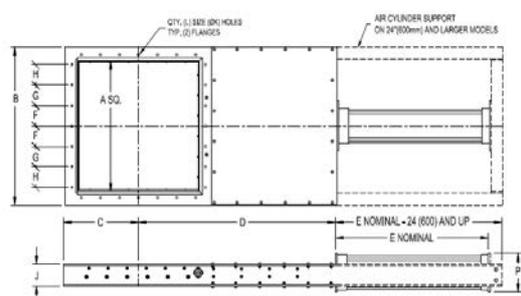
Fuente: Vortex Valves ®

Las dimensiones de la válvula se seleccionan según la descarga de la tolva de los filtros de mangas que tienen una sección cuadrada de 250 mm, el flujo de aire comprimido que se debe suministrar para su accionamiento es 0.60 CFM (17.1 l/min), datos tomados de catálogo.

TABLA 13.
SELECCIÓN VÁLVULA COMPUERTA DESLIZANTE.

Standard Assembly Unit Installation Data:

- Designed for dry material in gravity flow applications.
- **Actuation:** An acme threaded screw driven by a hand crank arm. Counter-clockwise rotation of the hand crank is required to open the gate. 5 complete revolutions of the hand crank is required for 1" (25mm) of travel.
- **Temperature:** Base model rated at 180° f (82° c) continuous service, 200° f (93° c) intermittent (10 minutes maximum).
- **Flange Gasket:** 1/4" (6) minimum soft flange gasket is recommended to minimize distortion from mating flange. If gasket is not used on distorted flange, valve will be placed in bind, and significantly reduced performance, and increase force required to properly actuate valve.
- **Tighten flange bolts to partially compress gaskets!**
- **Hardware:** Imperial models contain Imperial hardware & metric models contain metric hardware.



Model	A		B		C		D		E		F		C**		H**		J		K		L		P		Air Usage f		WEIGHT	
	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	SCF	l	Lbs	Kg
SA04V1 (SA100V1)	4	102	8	203	4	102	9 5/8	244	8 7/8	225	3 1/8	79	-	-	-	-	3	76	7/16	11	8	4 1/8	105	0.14	4.0	21	10	
SA05V1 (SA125V1)	5	127	9	229	4 1/2	114	10 1/2	267	9 7/8	261	3 5/8	92	-	-	-	-	3	76	7/16	11	8	4 1/8	105	0.3	8.6	28	13	
SA06V1 (SA150V1)	6	152	10	254	5	127	12	305	10 7/8	276	4 1/8	105	-	-	-	-	3	76	7/16	11	8	5 1/8	130	0.36	10.2	31	14	
SA07V1 (SA175V1)	7	178	11	279	5 1/2	140	13 1/2	343	11 7/8	302	3	76	2 13/16	71	-	-	3	76	7/16	11	12	5 1/8	130	0.42	12.0	34	16	
SA08V1 (SA200V1)	8	203	12	305	6	152	15	381	12 7/8	327	3 1/2	89	-	-	-	-	3	76	7/16	11	12	5 1/8	130	0.48	13.7	37	17	
SA09V1 (SA225V1)	9	229	13	330	6 1/2	165	16 1/2	419	13 3/8	360	4 1/8	105	3 3/8	89	-	-	3	76	7/16	11	12	5 1/8	130	0.54	15.4	40	19	
SA09V1 (SA225V1)	10	254	14	356	7	178	18	457	14 7/8	378	4	102	-	-	-	-	3	76	7/16	11	12	5 1/8	130	0.6	17.1	46	20	
SA10V1 (SA250V1)	10	254	14	356	7	178	18	457	14 7/8	378	4 1/2	114	-	-	-	-	3	76	4/9	11	-	5 1/8	130	0.6	17.1	46	20	
SA11V1 (SA275V1)	11	279	15	381	7 1/2	191	19 1/2	495	15 3/8	403	4 3/8	111	4 5/16	110	-	-	3	76	4/9	11	12	5 1/8	130	0.66	18.8	49	22	
SA12V1 (SA300V1)	12	305	16	406	8	203	21	533	16 7/8	429	2 3/4	70	-	-	-	-	3	76	4/9	11	20	5 1/8	130	0.73	20.5	54	26	

Fuente: Roller Gate Standard Assembly Unit Installation Data

Este tipo de válvula es auto limpiante, el polvo acumulado durante la operación de apertura de la compuerta se remueve por el diseño de sellos en su interior como se muestra la Figura 25.



FIGURA 25.SELLOS AUTO LIMPIANTE DE VÁLVULA DE COMPUERTA DESLIZANTE.

Fuente: Vortex Valves ®

La lógica de apertura y cierre de las válvulas se mantiene durante el ciclo de descarga de polvo hacia los transportadores, la Figura 26 muestra el arreglo de válvulas para el sistema de descarga.

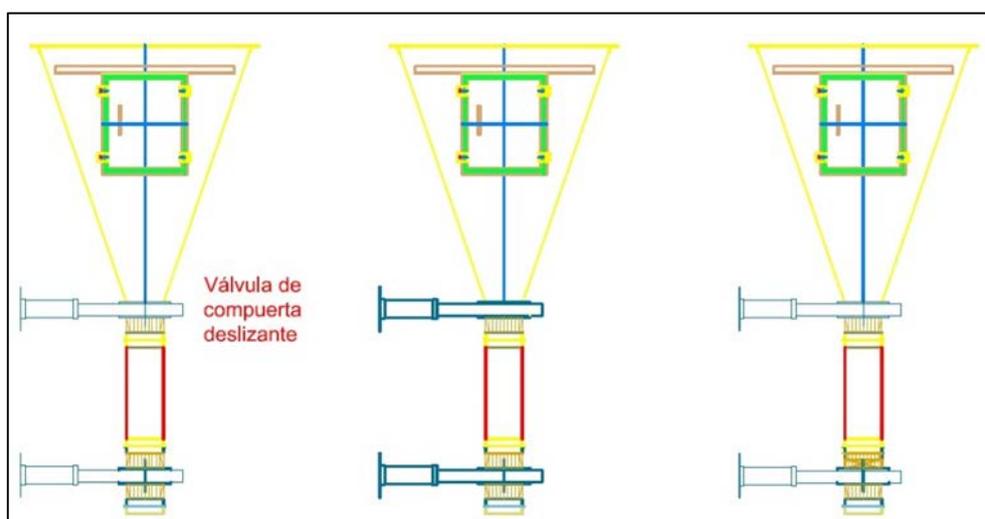


FIGURA 26.ARREGLO DE VÁLVULAS DE COMPUERTA DESLIZANTE.

3.3. Diseño de Transportadores.

El polvo fino detergente es transportado por dos bandas hacia el cono de recolección del sistema de transporte neumático, debido al arreglo del filtro de mangas tres cuerpos descargan el material en un solo transportador. Con esta premisa se calcula que la capacidad de diseño de cada transportador será 1500 Kg/h de polvo fino detergente, los transportadores deben cumplir en su diseño requisitos cero polución al ambiente laboral de la planta. La Figura 27 muestra un esquema de la alimentación y descarga de los transportadores.

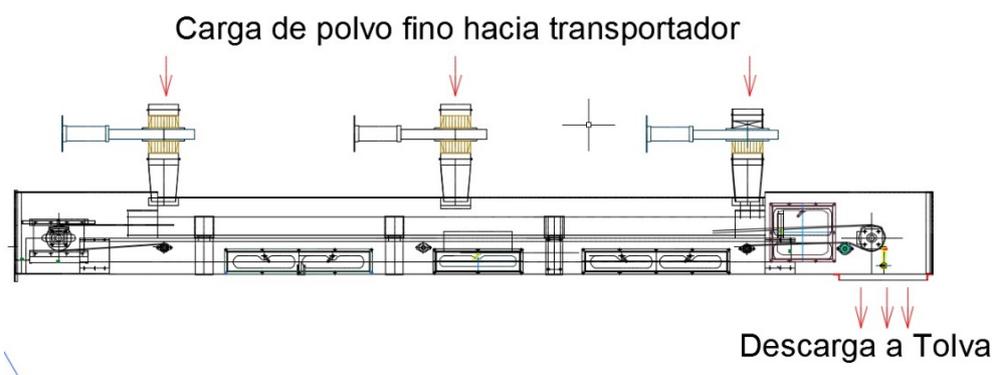


FIGURA 27. TRANSPORTADOR DE POLVO FINO.

El diseño de los transportadores tendrá la siguiente secuencia:

- Ancho de banda.
- Velocidad de banda.
- Capacidades de transporte
- Potencia teórica requerida.
- Peso de partes móviles.
- Selección de rodillos motriz y conducido.
- Selección de banda transportadora.
- Selección de conjunto motor reductor.
- Tensiones de banda transportadora.
- Comprobación de diámetro mínimo de eje motriz.

Ancho de banda.

Para determinar el ancho de banda a seleccionar se deben de tomar en cuenta la granulometría del material a transportar y el tamaño de los grumos presentes en mismo, un ancho de banda correcto evita el derramamiento de material y en consecuencia polución al ambiente, por facilidades comerciales y de mantenimiento es recomendable elegir

anchos normalizados. La Tabla 14 muestra los valores en milímetros sugeridos de ancho de banda normalizado DIN 22101 en función del tamaño de grumos del material. [3]

**TABLA 14.
ANCHO DE BANDA EN FUNCIÓN DE TAMAÑOS DE GRUMO.**

Min. Width (mm)	Lump Size K	
	Sized	Unsize
400	50	100
500	80	150
650	130	200
800	200	300
1000	250	400
1200	350	500
1400	400	600
1600	450	650
1800	550	700
2000	600	800

Fuente: Belt Conveyor Design Dunlop

Se selecciona un ancho de banda normalizado $A_b = 500$ mm.

Velocidad de Banda.

Las velocidades de bandas recomendadas por la norma DIN 22101 se muestran en la Tabla 15.

TABLA 15.
VELOCIDADES DE BANDA NORMALIZADAS

Speeds V (m/s)
0.42 - 0.52 - 0.66 - 0.84 - 1.05 - 1.31 - 1.68
2.09 - 2.62 - 3.35 - 4.19 - 5.20 - 6.60 - 8.40

Fuente: Belt Conveyor Design Dunlop

Se selecciona una velocidad de 1.31 m/s, de acuerdo al tipo de material a transportar, considerando al polvo fino detergente como un material polvoriento como se muestra en la Tabla 16. [3]

TABLA 16.
VELOCIDADES DE BANDA TRANSPORTADORA

Duty	v (m/s)
Unit Loads, Assembly Lines	≤ 1.68
Mobile Conveyors	0.52 - 1.68
Very dusty loads such as Flour, Cement	≤ 1.31
Ash and Refuse	≤ 1.68
Grain, Crushed Limestone Gravel, Sand Readymix	1.05 - 2.09
Ores, Bituminous Coal, Sinter Storage and transhipment, Power Stations	1.31 - 3.35
Long distance conveying, overburden Brown coal	2.62 - 6.60
Thrower belts	≥ 8.40
Steep gradient belts Type CHEVRON and HIGH CHEVRON	0.84 - 2.62

Fuente: Belt Conveyor Design Dunlop.

Capacidades de transporte.

La capacidad de transporte volumétrica de la banda está determinada por la sección transversal de la carga, el área de sección transversal está determinada por la disposición del bastidor, para este diseño se considera una configuración semicircular para evitar el derrame de polvo fino. Para determinar el área de sección circular se debe conocer el ángulo de sobrecarga del material (β), este se define como el ángulo que forma el material con la horizontal mientras está en reposo sobre una banda transportadora en movimiento [4].

TABLA 17.
ÁNGULO DE SOBRECARGA EN FUNCIÓN DEL ÁNGULO DE REPOSO.

Flow				
Very free flowing 1*	Free flowing 2*	Average flowing 3*		Sluggish 4*
Angle of Surcharge				
5°	10°	20°	25°	30°
				
Angle of Repose				
0-19°	20-25°	30-34°	35-39°	40° - up
Material Characteristics				
<i>Uniform size, very small rounded particles, either very wet or very dry, such as dry silica sand, cement, wet concrete, etc.</i>	<i>Rounded, dry polished particles, of medium weight, such as whole grain and beans.</i>	<i>Irregular, granular or lumpy materials of medium weight, such as anthracite coal, cottonseed meal, clay, etc.</i>	<i>Typical common materials such as bituminous coal, stone, most ores, etc.</i>	<i>Irregular, stringy, fibrous, interlocking material, such as wood chips, bagasse, tempered foundry sand, etc.</i>

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials Calculations by CEMA

El ángulo de sobrecarga se determina a partir del ángulo de reposo (36°), siendo para el polvo fino $\beta = 25^\circ$. La Figura 28 muestra la disposición del bastidor del transportador de polvo fino, se determina el área de sección de carga del transportador; 0.03 m^2 .

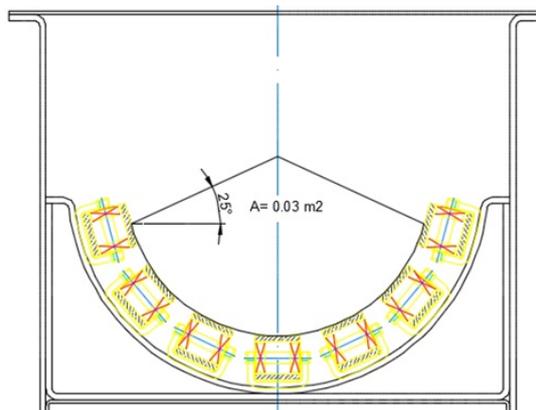


FIGURA 28. ÁREA DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE CARGA.

La capacidad volumétrica de transporte de la banda se determina con la siguiente expresión.

$$Q_V = 3600 A v \quad (3.5)$$

Donde:

A = Área de sección transversal de carga; 0.03 m^2

v = Velocidad de banda transportadora; 1.31 m/s

$$Q_V = 141.48 \text{ m}^3/\text{h}$$

La capacidad en Kg por hora se determina multiplicando la capacidad volumétrica por la densidad del polvo fino.

$$Q_t = Q_V \rho_p \quad (3.6)$$

Donde:

Q_V = Capacidad volumétrica de la banda; 141.48 m³/h

ρ_p = Densidad del polvo fino: 500 Kg/m³

$$Q_t = 70740 \text{ Kg/h}$$

Potencia teórica requerida.

La potencia teórica requerida para mover los componentes de una banda transportadora horizontal se determina a partir de las fuerzas necesarias para mover la banda en vacío o sin carga y la fuerza para desplazar la carga horizontalmente y la fuerza para elevar una carga a determinada altura, esta última no será tomada en cuenta por ser un transportador horizontal. [6]

$$P = \frac{(F_1 + F_2) v}{1000} \quad (3.7)$$

Donde:

Pr = Potencia requerida: kW

F1 = Fuerza para mover la banda en vacío; N

F2 = Fuerza para mover la banda horizontalmente; N

Fuerza para mover la banda en vacío. [5]

$$F_1 = (CfLG)g \quad (3.8)$$

Fuerza para desplazar el material horizontalmente. [5]

$$F_2 = \left(\frac{CfLQ_t}{3.6 v} \right) g \quad (3.9)$$

Donde:

C = Factor de fricción en función de la longitud de banda.

F = Factor de fricción de las partes móviles.

L = Longitud de la proyección horizontal de la banda; m

G = Peso de las partes móviles.

Q_t = Capacidad máxima de transporte; 70.74Ton/h

v = Velocidad de la banda; 1.31 m/s

g = Aceleración de la gravedad; 9.81 m/s²

El factor de fricción en función de longitud de banda se obtiene de la siguiente gráfica según la norma DIN 22101, que se rige bajo la siguiente ecuación.

$$C = 15.9 L^{-0.61} + 0.77 \quad (3.10)$$

Donde L es la longitud de la banda = 6.620 m.

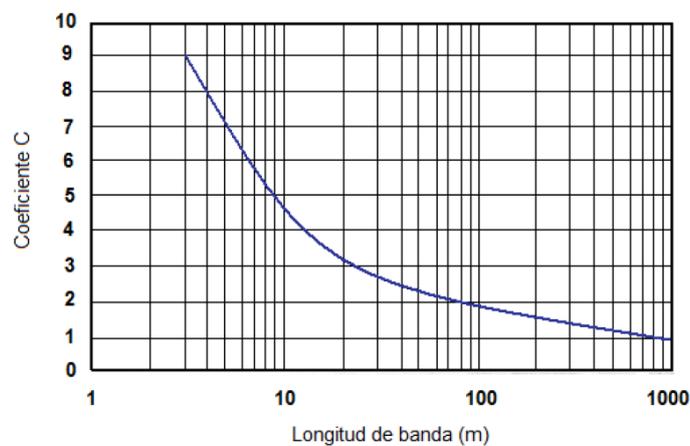


FIGURA 29. FACTOR DE FRICCIÓN EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE BANDA.

Mediante la ecuación y la gráfica se calcula el valor de $C = 5.789$

El factor de fricción f de las partes móviles depende de la asunción de un coeficiente el cual varía en función del tipo de rodillos empleados, la estructura del transportador y el mantenimiento del sistema, el valor estándar de este coeficiente es de 0.020 [5]

Peso de partes móviles.

El peso de las partes móviles G está compuesto por el peso de la banda el peso de los rodillos transportadores y los rodillos de retorno.se expresa en kilogramos por metro de longitud entre los tambores de la banda. [6]

$$G = 2G_b + \frac{G_{ro}}{S_1} + \frac{G_{ru}}{S_2} \quad (3.11)$$

Donde:

G = Peso de partes móviles; Kg/m

G_b = Peso de la banda; Kg/m

G_{ro} = Peso de rodillos superiores; Kg

S_1 = Espacio entre rodillos superiores; m

G_{ru} = Peso de los rodillos inferiores; Kg

S_2 = Espacio entre rodillos inferiores; m

La Tabla 18 muestra los valores promedios del peso de las cintas transportadoras en función del ancho de banda A_b y la densidad del material a transportar, seleccionando 6 Kg/m.

TABLA 18.
PESO RECOMENDADO DE BANDA TRANSPORTADORA

Ancho de banda (mm)	Servicio liviano Peso específico < 1500 kg/m ³	Servicio mediano 800 < Peso específico < 1500 kg/m ³	Servicio pesado Peso específico > 1500 kg/m ³
	Peso de la banda transportadora G_b (kg/m)		
400	3.0	4.5	6.0
500	6.0	7.5	9.0
650	7.5	9.0	10.5
800	9.0	10.5	12.0
1000	10.5	13.5	16.5
1200	13.5	16.5	21.0
1400	18.0	22.5	27.0
1600	21.0	27.0	33.0
1800	25.5	31.5	40.5
2000	30.0	36.0	48.0
2200	33.0	42.0	54.0

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials CEMA.

El espaciamiento de los rodillos superiores e inferiores en función del ancho de banda y la densidad del material, seleccionando $S_1=1.5$ m, $S_2=3$ m, para los rodillos superiores e inferiores respectivamente.

**TABLA 19.
DISTANCIAS DE SEPARACIÓN DE RODILLOS
SUPERIORES E INFERIORES**

Ancho de banda (mm)	Espaciamiento rodillos superiores S1 (m)										Espaciamiento rodillos inferiores S2 (m)
	Peso específico del material (kg/m ³)										
	500	800	1000	1400	1600	2400	3200	4000	5000	>6000	
400	1.7	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.2	0.9	0.75	3.0
500	1.5	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.0	0.9	0.60	3.0
650	1.5	1.4	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	0.9	0.9	0.5	3.0
800	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0	0.9	0.9	0.5	3.0
1000	1.4	1.4	1.2	1.2	1.0	0.9	0.9	0.9	0.75	0.5	3.0
1200	1.4	1.4	1.2	1.2	1.0	0.9	0.9	0.9	0.75	0.5	3.0
1400	1.4	1.2	1.2	1.0	1.0	0.9	0.9	0.75	0.75	0.5	3.0
1600	1.2	1.2	1.2	1.0	0.9	0.9	0.9	0.75	0.60	0.5	3.0
1800	1.2	1.0	1.0	1.0	0.9	0.75	0.75	0.60	0.5	0.5	2.4
2000	1.2	1.0	1.0	1.0	0.9	0.75	0.75	0.60	0.5	0.5	2.4
2200	1.0	1.0	1.0	0.9	0.75	0.75	0.60	0.5	0.5	0.5	2.4

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials CEMA.

Los valores de los pesos recomendados para los rodillos superiores Gro y rodillos inferiores Gru se muestran en la Tabla 20, se selección un peso de 3.5 kg para los rodillos superiores e inferiores.

TABLA 20.
PESO RECOMENDADO DE RODILLOS EN FUNCIÓN DE ANCHO
DE BANDA Y DENSIDAD DEL MATERIAL.

Ancho de banda (mm)	Servicio liviano Peso específico < 1500 kg/m ³		Servicio pesado Peso específico > 1500 kg/m ³	
	G _{sup} (kg)	G _{inf} (kg)	G _{sup} (kg)	G _{inf} (kg)
400	3.0	3.0	4.0	4.0
500	3.5	3.5	5.5	5.5
650	5.5	5.5	10	10
800	11	10	14	12
1000	13	11	18	16
1200	15	13	20	18
1400	22	20	31	27
1600	25	22	35	30
1800	39	35	47	40
2000	43	36	52	45
2200	47	40	56	47

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials CEMA.

Reemplazado los coeficientes en la ecuación (3.11) se obtiene un la carga de las partes móviles por unidad de longitud $G = 15.5 \text{ Kg/m}$, para determinar las fuerzas para mover la banda en vacío F_1 y la fuerza para mover la carga horizontalmente F_2 reemplazado los coeficientes que se resumen en la Tabla 21 en las ecuaciones (3.8) y (3.9) respectivamente,

TABLA 21.
COEFICIENTES PARA DETERMINACIÓN DE FUERZAS F1 Y F2

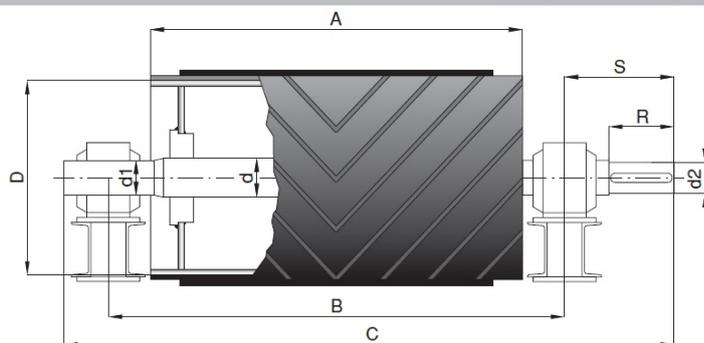
Coeficientes	F1	F2
C	5.789	5.789
F	0.02	0.02
L	6.620 m	6.620 m
G	39 kg/m	39 kg/m
Qt	--	70.74Ton/h
v	1.31 m/s	1.31 m/s

Se tiene $F1 = 116.54$ y $F2 = 112.78$ N, con estos valores de fuerza requerida para proporcionar movimiento a la banda en vacío y con carga se calcula la potencia teórica requerida para el funcionamiento del transportador, reemplazando los valores en la ecuación (3.7) la potencia teórica requerida es 0.300 kW.

Selección de rodillos motriz y conducido.

La selección de los tambores motriz y conducido se los realiza en función del ancho de banda la Figura 3.9 y la Figura 3.10 muestran los tambores comerciales con sus respectivas dimensiones de eje motriz y conducido. Seleccionando un diámetro de tambor $D = 241$ mm.

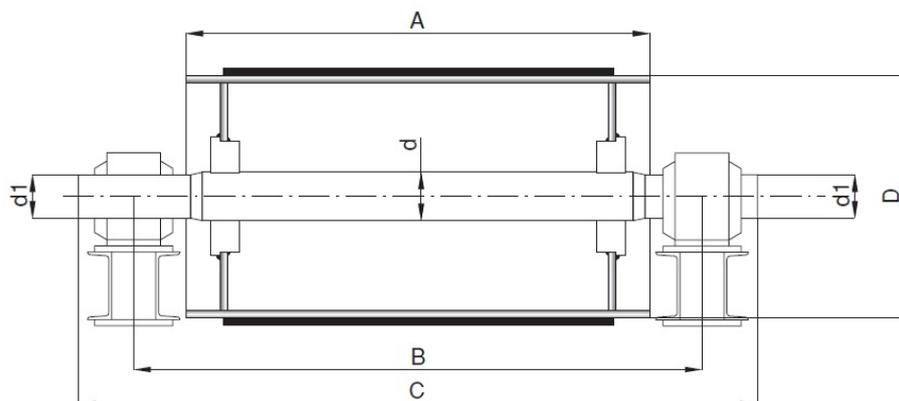
TAMBORES BANDA 500



D	A	B	C	d	d1	d2	S	R	SOPORTE
216	600	755	980	50	40	35	162,5	100	SNL-509
		765	1020	60	50	45	187,5	120	SNL-511
241		780	1065	70	60	55	210	135	SNL-513

FIGURA 30. DIMENSIONES TAMBOR MOTRIZ EN FUNCIÓN DE ANCHO DE BANDA.

Fuente: Catálogo Tambores ROTRANS®



D	A	B	C	d	d1	SOPORTE
216	600	755	880	50	40	SNL-509
		765	900	60	50	SNL-511
241		780	930	70	60	SNL-513

FIGURA 31. DIMENSIONES DE TAMBOR CONDUcido EN FUNCIÓN DE ANCHO DE BANDA.

Fuente: Catálogo Tambores ROTRANS®

Las revoluciones a las cuales gira del tambor motriz se determinan de la siguiente ecuación:

$$n_t = \frac{60 v}{\pi D} \quad (3.12)$$

Donde:

n_t = Revoluciones de tambor motriz: RPM

V = Velocidad lineal de la banda; 1.31 m/s

D = Diámetro de tambor motriz; 0.241 m

Se calculan las revoluciones del tambor conducido en 103.8 RPM.

Selección de banda transportadora.

La carcasa de la banda a seleccionar consta de tres capas de poliéster se selecciona este tipo de material por sus altas prestaciones frente a la humedad y estables en su longitud, para la cobertura de la banda se elige un recubriendo de Polivinilo de cloruro (PVC), este tipo de material permite que el polvo no se adhiera a la banda y permite el flujo de polvo a la descarga sin que se quede pegado a la banda, el espesor total de la banda es de 4.2 mm. La Tabla 22 muestra las construcción de la banda 3TG100AS/LW. Ver Anexo 2.

**TABLA 22.
CARACTERÍSTICAS DE BANDA SELECCIONADA.**

Características Banda PVC	
3	Numero de capas de carcaza poliester
T	Cobertura PVC
G	Resistente a la grasa.
100	Recubrimiento espesor 1,00 mm
AS	Característica antiestática
L	125 N/mm Rigidez de la trama
W	Dorso Rugoso

Fuente: Reveyron Bandas Transportadoras PVC.

Selección de conjunto motor reductor.

Los cálculos realizados consideran las fuerzas requeridas en el tambor motriz y las cargas por los demás componentes fueron incluidas en el factor de fricción por longitud C, para determinar la potencia del motor se requiere conocer el tipo de reductor de velocidad que tendrá el eje del tambor motriz para determinar la eficiencia del mismo, de igual manera el motor se considera la eficiencia de los motores eléctricos en un rango de 85% a 95%.

TABLA 23.
EFICIENCIA DE EQUIPOS REDUCTORES DE VELOCIDAD.

Tipo de mecanismo reductor	Eficiencia
Poleas y bandas en V	94%
Cadena de rodillos	93%
Cadena de rodillos lubricados en aceite	95%
Reductor de engranajes helicoidales, una reducción	95%
Reductor de engranajes helicoidales, doble reducción	94%
Reductor de engranajes helicoidales, triple reducción	93%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1)	90%
Reductor de tronillo sin fin (relación 20:1 a 60:1)	70%
Reductor de tronillo sin fin (relación 60:1 a 100:1)	50%
Reductor de engranajes rectos (mecanizados)	90%
Reductor de engranajes rectos (fundidos)	85%

El reductor seleccionado es tipo tornillo sin fin corona, la relación de velocidades es de 10:1, para lo cual se toma como referencia más próxima la eficiencia mecánica de transmisión de 90%. La potencia real para dimensionar el motor eléctrico se obtiene mediante la ecuación (3.13)

$$P_m = \frac{P_r}{\eta \varepsilon} \quad (3.13)$$

Donde:

P_r = Potencia teórica; 0.3 kW

η = Eficiencia mecánica de transmisión; 90%

ε = Eficiencia de motor eléctrico; 90%

Reemplazando en (3.13) se tiene una potencia real del motor eléctrico de 0.370 kW ó 0.496 HP, seleccionar un motor eléctrico 0.5 HP estaría al límite de la potencia requerida por el transportador razón por la cual se selecciona un motor de 1 HP, comercialmente se encuentra motores con las siguientes características.

**TABLA 24.
CARACTERÍSTICAS DE MOTOR ELÉCTRICO.**

Motor Eléctrico.	
Marca	Baldor.
Potencia	1 HP
Velocidad	1750 RPM
Corriente	220 V Trifásico.
Carcasa	Hierro fundido.

Fuente: Catalogo Baldor Serie 900 reducción sencilla, 2013

El reductor seleccionado es de tipo tornillo sin fin corona con eje hueco para la transmisión de potencia se muestra en la Figura 3.11 y tiene las características mostradas en la Tabla 25



FIGURA 32. REDUCTOR BALDOR SERIE 900

Fuente: Catalogo Baldor Serie 900 reducción sencilla, 2013

TABLA 25.
CARACTERÍSTICAS REDUCTOR BALDOR SERIE 900.

Reductor de velocidad baldor serie 900	
Índice de reducción	10:1
Velocidad de salida nominal @1750 RPM	175 RPM
Torque de salida.	48.4 N m

Tensiones de banda transportadora.

El movimiento de rotación del tambor motriz de una banda transportadora es producido por la diferencia de tensiones en el tambor motriz conocida como tensión efectiva, esta tensión es el resultado de la diferencia entre las tensiones del lado tenso T1 y lado flojo T2.

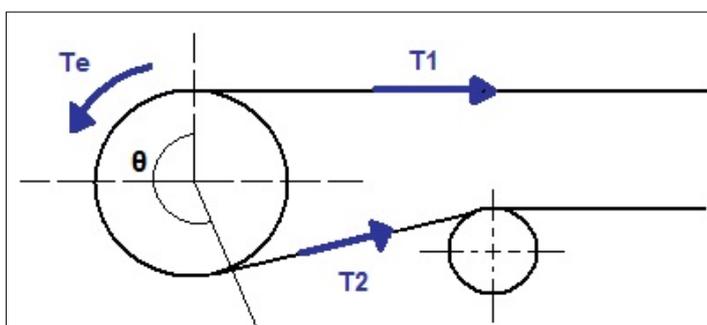


FIGURA 33. TENSIÓN EFECTIVA EN BANDAS TRANSPORTADORAS.

La tensión efectiva se determina mediante la ecuación (3.14)

$$T_e = \frac{1000 P_r}{v} \quad (3.14)$$

Donde:

P_r = Potencia teórica; 0.3 kW

v = Velocidad de banda; 1.31 m/s.

Se tiene que la tensión efectiva es 229.32 N, la tensiones de lado tenso

T_1 se obtiene con la ecuación (3.15)

$$T_1 = T_e \left(1 + \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} \right) \quad (3.15)$$

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials CEMA.

Donde:

e = Número de Euler

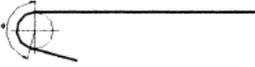
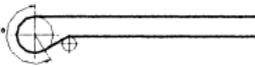
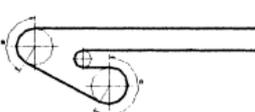
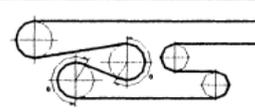
μ = Coeficiente de fricción entre tambor y banda.

Θ = Ángulo de contacto entre la banda y el tambor; rad.

La Tabla 26 muestra los valores de coeficientes de fricción entre tambor y banda dependiendo de las condiciones de operación y tipo de tambor revestido o desnudo.

TABLA 26.
ÁNGULO DE CONTACTO Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN.

coeficiente μ	Tambor motriz			
	Revestido		Desnudo	
	seco	húmedo	seco	húmedo
	0.40	0.35	0.35	0.2

Arreglo cabezal motriz	Ángulo de contacto (°)
	120 150 180
	210 220 230 240
	360 380 400
	420 440 450

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials CEMA.

Reemplazando los coeficientes seleccionados en la ecuación (3.15) se tiene que $T_1 = 303.88$ N, la tensión del lado flojo se puede determinar como la diferencia aritmética entre la tensión efectiva T_e y la tensión T_1 , siendo $T_2 = 74.56$ N.

Comprobación de diámetro mínimo de eje motriz.

El eje del tambor motriz transmite el par de torsión a los demás elementos móviles de la banda transportadora, a continuación se determinara el diámetro mínimo del eje del tambor matriz considerando deformaciones por flexión y torsión. Se conocen las fuerzas que actúan sobre el tambor motriz T1 y T2 y el ángulo de contacto entre el tambor y la banda, la fuerza resultante de estas componentes se expresa en la ecuación (3.16)

$$R_t = (T_1 + T_2) \operatorname{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (3.16)$$

Fuente: Belt Conveyors for Bulk Materials CEMA.

Reemplazado los valores antes encontrados se tiene que la fuerza resultante $R_t = 378.44 \text{ N}$, conocido el valor de la fuerza resultante en el tambor se calcula el momento flector sobre el eje del tambor motriz con la ecuación (3.16) [5].

$$M = \frac{R_t(B - A_t)}{4} \quad (3.17)$$

Donde:

R_t = Fuerza resultante sobre el tambor; 378.44 N.

B = Distancia entre apoyos; 0.755 m (Ver Figura 30).

A_t = Ancho de cara del tambor; 0.600 m (Ver Figura 30)

Se tiene el momento flector $M = 14.66 \text{ Nm}$

De acuerdo con la teoría de Von Mises el diámetro mínimo del eje del tambor motriz debido a los esfuerzos combinados de flexión y torsión se calcula mediante la siguiente ecuación (3.18) [5]

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 n}{\pi S_y} \left(\sqrt{(k_b M)^2 + T^2} \right)} \quad (3.18)$$

Donde:

d = Diámetro mínimo del eje; m.

n = Factor de seguridad (5.8 carga por fatiga)

S_y = Esfuerzo de fluencia del material; 210 MPa (Acero DIN C22)

K_b = Factor de carga (2.5 carga por transmisión)

M = Momento flector; 14.66 Nm.

T = Torque aplicado al eje; 48.4 Nm.

Se calcula el diámetro del eje del tambor motriz d = 0.020 m ó 20 mm, el eje del tambor seleccionado tiene un diámetro de 35 mm por lo que el eje seleccionado es confiable para el diseño.

3.4. Sistema de transporte Neumático.

Los sistemas de transporte neumático son muy usados para el transporte de materiales en polvo y granulados en las industrias, los componentes principales de estos sistemas son normalmente una fuente del gas (por lo general se usa aire), dispositivos de alimentación de polvo y tuberías por donde fluye el material. Altas presiones, bajas o negativas pueden ser usadas para el transporte de materiales dependiendo las configuraciones y requerimientos a cumplir. [7]

Modos de transporte.

Se tiene dos sistemas o modos de transporte neumático dependiendo de su relación masa de material a transportar y aire, si el material transportado es suspensión en el aire a través de la tubería se lo conoce como fase diluida, si el material es transportado a baja velocidad en un modo de no suspensión se solo conoce como fase densa.

Fase Diluida.

Es el transporte de material en suspensión, debido a que las partículas se mantienen en suspensión en el aire a medida que son sopladas o aspirado a través de la tubería. Se requiere una velocidad relativamente

altas [7], la Figura 34 muestra un esquema del sistema de transporte neumático den fase diluida, la velocidad del flujo de aire varía entre 15 m/s a 25 m/s.

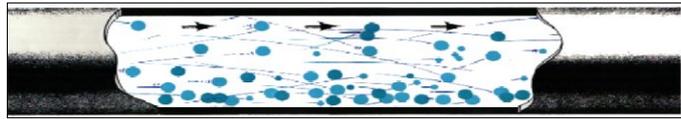


FIGURA 34. TRANSPORTE NEUMÁTICO EN FASE DILUIDA.

Fase Densa.

Este sistema de transporte se caracteriza por tener dos tipos de flujo de material al interior de la tubería, uno es el flujo tipo lecho o cama donde el material fluye como dunas, el tipo de material tiene un tamaño entre 40 a 70 μm [7], en el segundo tipo de flujo el material fluye como bloques a través de la tubería separados por espacios de aire el tipo de material que fluye de esta forma tiene un mayor tamaño de partícula. Las velocidades de transporte varían entre 2 m/s a 9 m/s.

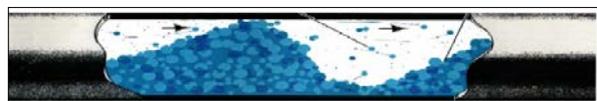


FIGURA 35. TRANSPORTE NEUMÁTICO EN FASE DENSA.

El sistema de transporte neumático que reingresa el polvo fino detergente a la torre de secado está compuesto por una tolva de alimentación donde es depositado el polvo de los transportadores ubicados debajo de los filtro de mangas, esta tolva dirige el polvo fino hasta la entrada de un venturi, donde un ventilador centrífugo proporciona el aire para que el polvo fluya hasta la torre de secado. La Figura 36 muestra un diagrama del proceso de transporte neumático de polvo fino.

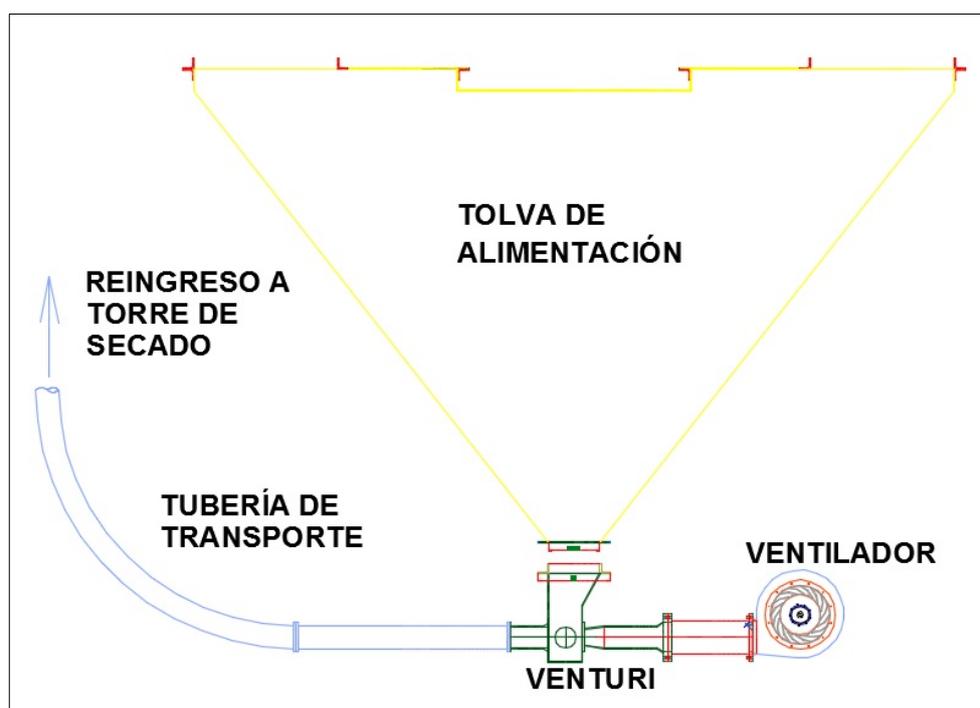


FIGURA 36. SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO POLVO FINO DETERGENTE.

3.4.1. Tolva de almacenamiento.

Las consideraciones de diseño para esta tolva son las mismas que las tolvas de los descargadores, las dimensiones de la tolva presentadas se rigen al espacio físico disponible entre los transportadores y el venturi del sistema de transporte neumático, las dimensiones de la tolva se muestran en la Figura 37.

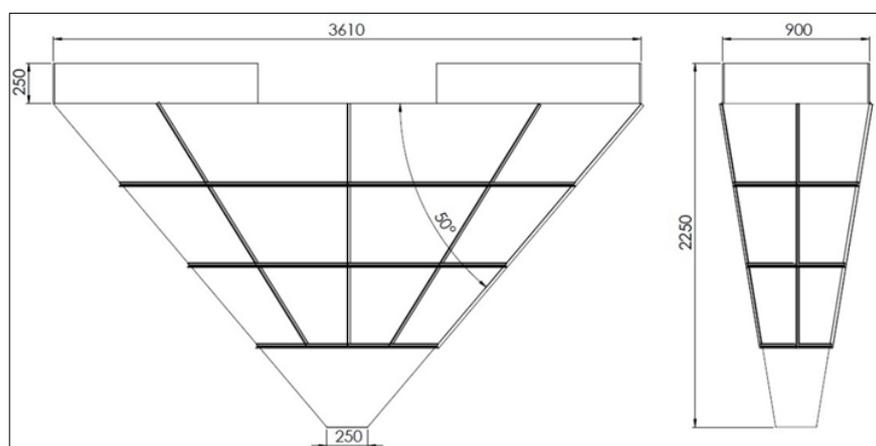


FIGURA 37. DIMENSIONES DE TOLVA DE ALIMENTACIÓN EN MILÍMETROS.

El volumen de almacenamiento de la tolva es de 3.0 m³, con una capacidad de polvo fino de 1500 kg, para brindar mayor rigidez a la tolva se sueldan ángulos de 20x20x3 mm en la periferia. Para diseñar el espesor de pared se toman las mismas consideraciones que las tolvas descargadoras. Mediante la ecuación (3.4), se calcula el espesor mínimo de la tolva, teniendo una presión de 1396.11 Pa, área de tolva

10.54 m², perímetro de tolva 8.94 m, factor de seguridad 2, esfuerzo de fluencia del acero inoxidable AISI 304 de 276 MPa. Se calcula un espesor mínimo de 0.045 mm, al no existir ese espesor en el mercado local se usará un espesor de 2 mm. Las transiciones de la tolva hacia la entrada del Venturi deben ser de un material flexible en este caso lona manufacturada en forma de ducto.

3.4.2. Dimensionamiento de ventilador.

El dimensionamiento del ventilador depende de la presión de suministro requerida y el caudal de aire entregado por el ventilador. El proceso de selección del ventilador abarca los siguientes parámetros.

- Características del material a transportar.
- Velocidad mínima de transporte.
- Capacidad de transporte, geometría y recorrido de líneas de transporte.
- Velocidad mínima de transporte a la entrada del sistema.
- Perdidas de presión del sistema.
- Masa y volumen de aire requeridos.
- Diámetro de garganta de venturi.

El tipo de fase para el transporte neumático será en fase diluida ya que se requiere que el polvo fino se diluya y se mezcle fácilmente con el polvo detergente que está siendo secado en la torre.

La geometría del polvo fino detergente será asumida como esférica con un diámetro de 250 μm y una densidad de 500 kg/m^3 . La velocidad mínima para que una partícula de polvo fino pueda estar suspendida en el aire se determina mediante la siguiente ecuación (3.19) [8].

$$V_f = \sqrt{\frac{4 g d_p (\rho_p - \rho_a)}{3 C_d \rho_a}} \quad (3.19)$$

Donde:

d_p = Diámetro de la partícula: 0.00025 m.

ρ_p = Densidad del polvo fino; 500 kg/m^3 .

ρ_a = Densidad del aire a 1 atm 25°C = 1.225 kg/m^3 .

C_d = Coeficiente de descarga para una esfera; 0.47 [9]

Se realiza el cálculo de la velocidad mínima de transporte para el polvo fino $V_f = 1.68 \text{ m/s}$.

La capacidad de transporte de diseño será de 1500 kg/h , se selecciona para el transporte del polvo tubería de PVC de 6 in de diámetro por sus facilidades para el manejo almacenamiento, transporte y adquisición de

estas tuberías además de presentar una rugosidad relativa baja en comparación a tuberías de hierro o acero. La unión de los tramos de tubería se realiza mediante bridas cada 6 metros de tubería. El diámetro nominal de la tubería es 153 mm. La Figura 38 muestra el recorrido de la tubería desde el sistema de descarga de polvo fino hasta su ingreso a la torre de secado.

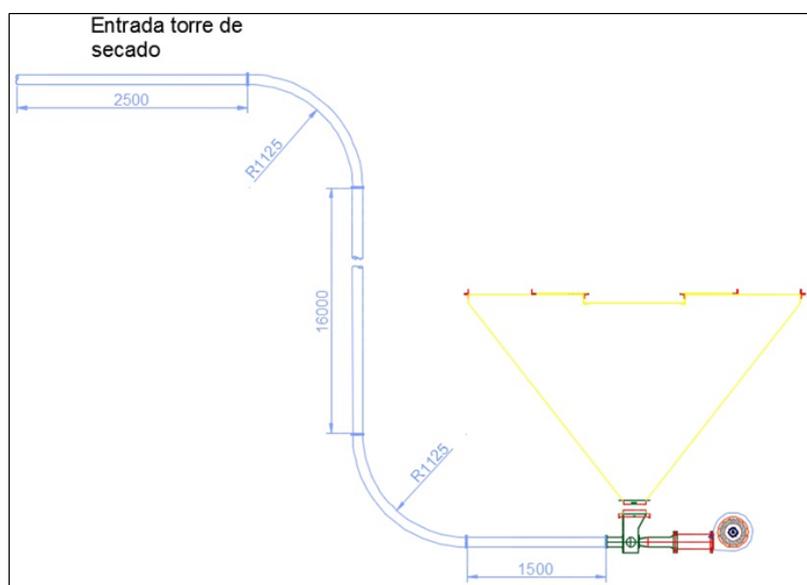


FIGURA 38. DIMENSIONES (MM) Y RECORRIDO DE TUBERÍA DE POLVO FINO.

Para mantener el material en suspensión o fase diluida en la tubería es necesario un valor mínimo de velocidad C_{min} , del aire de entrada de línea que, para la mayoría de los materiales es del orden 13m/s-15 m/s, la bibliografía recomienda tomar estos valores referenciales y multiplicarlos por un factor de 20% [7] para determinar la velocidad de entrada de aire V_a .

$$V_a = 1.2 C_{min} \quad (3.20)$$

Se determina la velocidad $V_a = 18$ m/s.

Las pérdidas de presión del sistema comprende la sumatoria de todas las caídas de presión que proporcionan los tramos del recorrido del sistema de transporte neumático. [8]

$$\Delta P = \Delta P_{ac} + \Delta P_V + \Delta P_H + \Delta P_{cd} \quad (3.21)$$

Donde:

ΔP_{ac} = Pérdida de carga por aceleración de partículas.

ΔP_V = Pérdida de carga tramos verticales del recorrido.

ΔP_H = Pérdida de carga por tramos horizontales de recorrido.

ΔP_{cd} = Pérdida de carga por accesorios.

La pérdida de carga por aceleración de define como la carga que se pierde al acelerar las partículas de polvo fino hasta alcanzar la velocidad de transporte, se determina mediante la ecuación (3.22). [8]

$$\Delta P_{ac} = \gamma_a \frac{V_a^2}{2g} \left(1 + 2\mu_c \frac{V_s}{V_a} \right) \quad (3.22)$$

Donde:

γ_a = Peso específico del aire; 12.01 N/m³

V_a = Velocidad del aire de entrada; 18 m/s.

V_s = Velocidad de partículas; m/s.

μ_c = Concentración de partículas.

g = Aceleración de la gravedad; 9.81 m/s²

Se calcula la concentración de partículas de partículas con la ecuación (3.23). [8]

$$\mu_c = \frac{G_s}{G_a} \quad (3.23)$$

Donde:

G_s = Flujo de material a transportar; 0.420 kg/s.

G_a = Flujo de aire de transporte. Kg/s.

El flujo másico de aire se obtiene mediante:

$$G_a = \rho_a Q$$

$$G_a = \rho_a V_a \frac{\pi D_t^2}{4} \quad (3.24)$$

Donde:

D_t = Diámetro de la tubería 153.2 mm.

Siendo $G_a = 0.406$ kg/s, reemplazando los términos en (3.23) se tiene que $\mu_c = 1.033$

La velocidad de la partícula se calcula mediante (3.25) [8]

$$V_s = V_a(1 - 0.008 d_p^{0.3} \gamma_p^{0.5}) \quad (3.25)$$

Donde:

d_p = diámetro de partícula; 0.25 mm

Se calcula la velocidad de la partícula $V_s = 11.35$ m/s.

Una vez obtenidos los datos anteriores se calcula la pérdida de carga por aceleración de las partículas de polvo fino $\Delta P_{ac} = 456.97$ Pa.

El cálculo de pérdidas para la tubería vertical ΔP_v se obtiene mediante la ecuación (3.6) [8], donde L_v es la longitud de tramo vertical 16 m.

$$\Delta P_v = \mu_c \rho_a g L_v \frac{V_a}{V_s} \quad (3.26)$$

Se tiene que $\Delta P_v = 3092.05$ Pa

La pérdida de carga en los tramos horizontales ΔP_H se calcula con la siguiente ecuación (3.26). [8]

$$\Delta P_H = \gamma_a \frac{V_a^2 L_H}{2g D_t} (f_a + \mu_c f_p) \quad (3.27)$$

Donde:

L_H = Longitud de tramos horizontales; 4 m.

D_t = Diámetro de tubería; 153 mm

f_a = Factor de fricción del aire.

f_p = Factor de fricción de polvo fino.

Se determina el factor de fricción de aire f_a .

$$f_a = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3.7 D_t} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (3.28)$$

El número de Reynolds se lo obtiene mediante la siguiente ecuación donde ν_a es la viscosidad cinemática del aire a 298 °K; 1.56×10^{-5} m²/s, y D_t el diámetro de la tubería y ϵ la rugosidad relativa del PVC 0.0015 mm.

$$Re = \frac{V_a D_t}{\nu_a} \quad (3.29)$$

Siendo el número de Reynolds 176769.23, se procede a calcular el factor de fricción del aire con la ecuación (3.28), teniendo el valor de $f_a = 0.0381$

Para determinar el factor de fricción de las partículas de polvo fino se utiliza la siguiente correlación (3.30). [8]

$$f_p = 2.1 F_{rp}^{0.25} \frac{\left(D_t/d_p\right)^{0.1}}{\mu_c^{0.3} F_{ra}} \quad (3.30)$$

Donde F_{ra} y F_{rp} son los números de Froude para el aire y las partículas de polvo fino respectivamente, el número de Froude es un numero adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.

Número de Froude para partículas de polvo fino:

$$F_{rp} = \frac{V_f^2}{g d_p} \quad (3.31)$$

Donde $V_f = 1.68$ m/s, $d_p = 250$ μm , se tiene el número de Froude $F_{rp} = 1155.1$

El número de Froude para el aire se obtiene mediante la ecuación (3.32).

$$F_{ra} = \frac{V_a^2}{g D_t} \quad (3.32)$$

Donde $V_a = 18\text{m/s}$ el diámetro de la tubería $D_t = 0.1532\text{ m}$ se calcula el número de Froude para el aire $F_{ra} = 215.6$

Se calcula el factor de fricción $f_p = 0.107$, con los factores de fricción conocidos se calcula la pérdida de carga por los tramos horizontales reemplazando en la ecuación (3.27) se tiene que $\Delta P_H = 769.61\text{ Pa}$

La pérdida de carga por los codos se calcula mediante la ecuación (3.33) [8]

$$\Delta P_{cd} = N k_{cd} (1 + \mu_c) \gamma_a \frac{V_a^2}{2g} \quad (3.33)$$

Donde:

N = Numero de codos; 2.

Kcd = Coeficiente de pérdida del codo (Ver Tabla)

TABLA 27.
COEFICIENTE DE PÉRDIDA DEL CODO. (RADIO CODO /
DIÁMETRO TUBERIA.)

Coeficiente de pérdida.	
Rc / Dc	Kcd
2	1.5
4	0.75
>=6	0.5

Seleccionando $K_{cd} = 0.5$, se calcula la pérdida de carga por codos $\Delta P_{cd} = 403.51$ Pa. La caída de presión del sistema se obtiene sumando las pérdidas de carga del sistema, siendo $\Delta P = 4722.14$ Pa

Masa y volumen de aire requeridos.

Se debe determinar la masa y el volumen de aire requerido para el dimensionamiento del ventilador, asumiendo el aire como un gas ideal, se encuentra la masa de aire con la ley de gases ideales.

$$\begin{aligned}
 P_1 \dot{V} &= \dot{m}_a RT \\
 \dot{m}_a &= \frac{P V_a A}{RT} \\
 \dot{m}_a &= \frac{P V_a \pi D_t^2}{4 R T} \\
 V_a &= \frac{4 \dot{m}_a RT}{\pi D_t^2 P_1} \\
 \dot{m}_a &= \frac{2.736 p_1 V_a D_t^2}{T} \tag{3.34}
 \end{aligned}$$

Donde:

P_1 = Presión absoluta; $P_{amt} + \Delta P$ kN/m²

V_a = Velocidad de aire de entrada; 18 m/s

D_t = Diámetro de la tubería; 0.1532 m

T : Temperatura absoluta; $25^\circ\text{C} + 273 = 298^\circ\text{K}$

Siendo el flujo másico de aire requerido por el sistema. $\dot{m}_a = 0.411$ kg/s.

Teniendo el flujo másico de aire se calcula el flujo volumétrico de aire necesario que debe ser proporcionado por el ventilador.

$$\dot{V}_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho_a} \quad (3.35)$$

Se tiene que el flujo volumétrico de aire requerido es $\dot{V}_a = 0.34$ Kg/s, la Tabla 28 resume las características que debe cumplir el ventilador centrífugo.

TABLA 28.
PRESIÓN Y FLUJO VOLUMÉTRICO REQUERIDOS.

Presión requerida	4722.14 Pa
Flujo Volumétrico	0.34 m ³ /s

Mediante una herramienta informática se selecciona el ventilador centrífugo SODECA modelo CAST 50 2T la Figura 39 muestra su punto de operación.

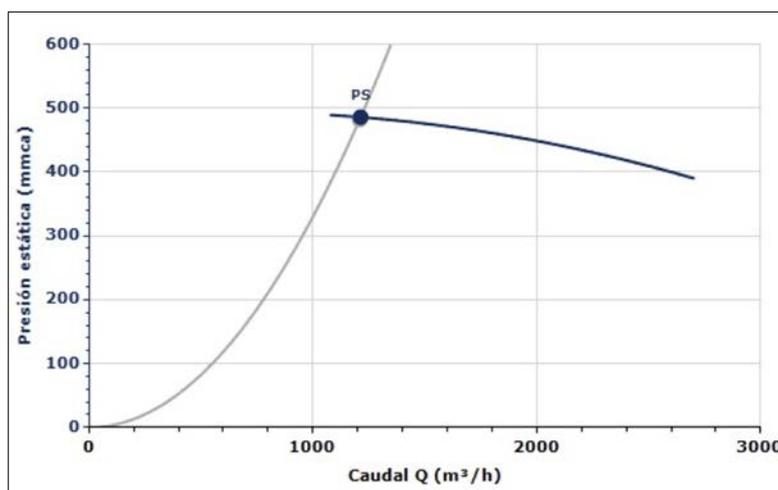


FIGURA 39. PUNTO DE DISEÑO DE VENTILADOR CENTRÍFUGO.

Fuente: Sodeca QuickFan ®

La Tabla 29 muestra los valores del punto de servicio del ventilador.

**TABLA 29.
DATOS VENTILADOR CENTRÍFUGO.**

Caudal	1213.02 m ³ /h
Presión Estática	486.01 mmH ₂ O
Presión Dinámica	13.13 mmH ₂ O
Velocidad	2855 RPM.
Máxima Temperatura	120 °C
Potencia Motor	5 HP

Fuente: Sodeca QuickFan ®

Diámetro de garganta venturi.

Un sistema de transporte tipo venturi consiste básicamente en una reducción controlada en la sección transversal de la tubería en la región donde el material se alimenta desde la tolva de descarga, son altamente utilizados en sistema de transporte de baja presión pues no requieren partes en movimiento. [7]

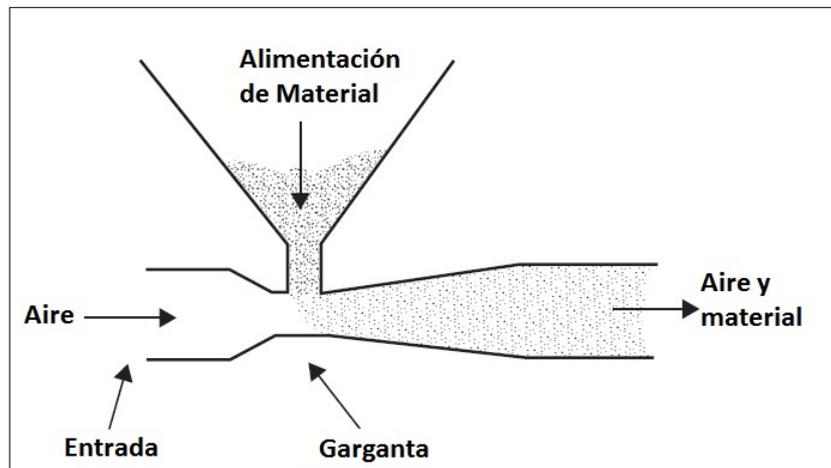


FIGURA 40. SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO TIPO VENTURI.

Fuente: Mills, Pneumatic Conveying Design Guide.

El diámetro de la garganta se obtiene mediante la siguiente ecuación (3.36) [7], derivada de la ecuación de la energía flujo estable.

$$C_g = \left(2 C_p T \left[1 - \frac{P_{atm}}{P_i} \right]^{\frac{\gamma_a - 1}{\gamma_a}} + V_a^2 \right)^{0.5} \quad (3.36)$$

Donde:

C_p = Calor específico del aire 1025 J/kg °k

T = Temperatura absoluta; 298°K

P = Presión requerida absoluta 106.2 KPa.

Se tiene que la velocidad en la garganta $C_g = 72.74$ m/s, se calcula el diámetro de la garganta.

$$D_g = \left(\frac{V_a}{C_g} \left(\frac{P_{atm}}{P} \right)^{-\frac{1}{\gamma_a}} \right)^{0.5} D_t \quad (3.37)$$

Se tiene el diámetro de la garganta $D_t = 77.64$ mm.

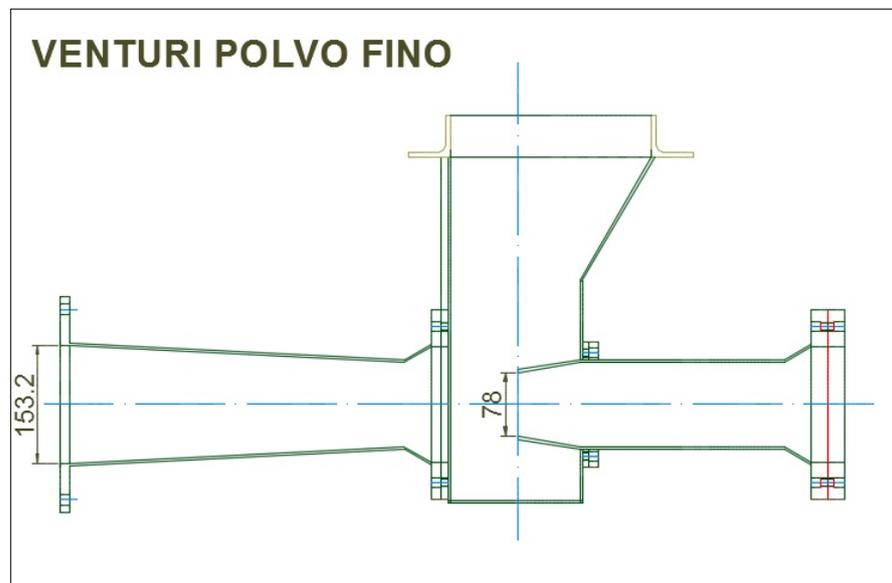


FIGURA 41. VENTURI DE SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO PARA POLVO FINO DETERGENTE.

Plataforma de operación y mantenimiento.

Los transportadores de polvo fino y la tolva de descarga van montados en una plataforma la cual estará anexada a la estructura principal del edificio y contara con una escalera de acceso, la geometría de la plataforma se presenta en la Figura 42, el detalle de las dimensiones y acople a la estructura del edificio se muestran en el plano 11.

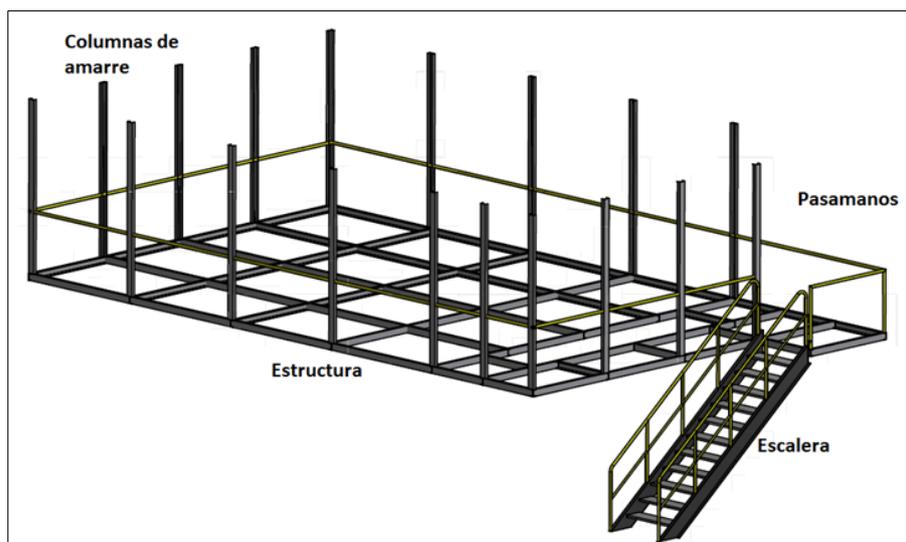


FIGURA 42.PLATAFORMA SISTEMA POLVO FINO.

El peso de los transportadores y de la tolva de alimentación a toda carga promedia 4500 Kgf razón por la cual se diseñará la plataforma para soportar un peso de 5000 Kgf. Los perfiles seleccionados para el diseño

son vigas UNP 100, mediante SAP2000 se comprobara si el perfil seleccionado para la estructura soportara las cargas de los transportadores y la tolva de alimentación del sistema de transporte neumático

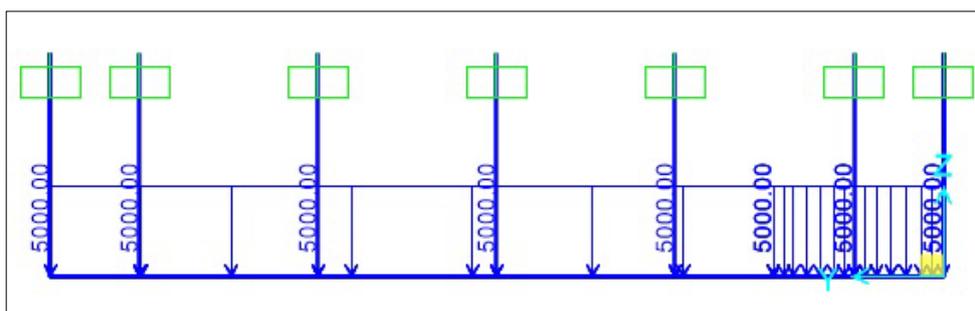


FIGURA 43.CARGAS SOBRE PLATAFORMA DE SISTEMA POLVO FINO.

SAP2000 determina el coeficiente de Suficiencia (C.S) de cada uno de los elementos (Correas, Vigas, Arriostramientos y Columnas) que pertenecen a la estructura. El Coeficiente de Suficiencia expresa la relación crítica de Demanda/Capacidad en la Interacción de la fuerza axial y los momentos actuando simultáneamente, este coeficiente de suficiencia en cualquier caso debe ser igual o menor a 1.00, la Figura 44 muestra los resultados obtenido de un prueba de la estructura sometida a 5000 Kfg, teniendo un coeficiente de suficiencia de 0.5 menor a uno, se puede concluir que la estructura soportara la carga aplicada.

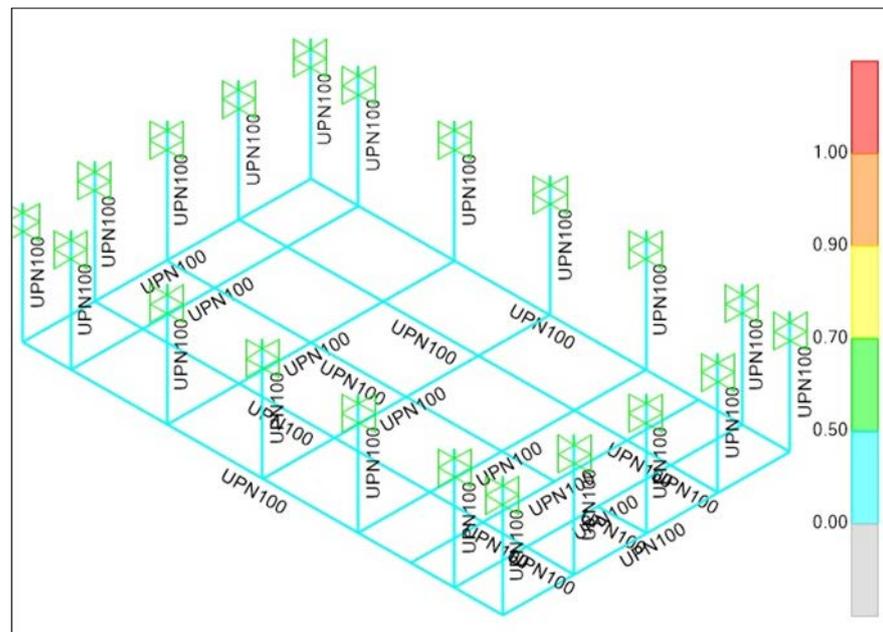


FIGURA 44. COEFICIENTE SE SUFICIENCIA DE ESTRUCTURA.

CAPÍTULO 4.

4. ANÁLISIS DE COSTOS.

Este capítulo presenta los costos de los equipos, materiales, mano de obra de montajes, se realizara un análisis de tiempo de retorno de inversión del proyecto para evaluar su factibilidad, además de un cronograma de implementación del proyecto recalcando que se tuvo un tiempo de parada de planta de ocho días donde se realizó el montaje de los equipos del sistema de recuperación de polvo fino.

4.1. Costo de equipos.

**TABLA 30.
COSTO DE EQUIPOS.**

Equipo	Unidad	Precio unitario	Sub Total
Tolva Filtro de mangas	6	\$ 1,250.00	\$ 7,500.00
Válvula descargadora Vortex	12	\$ 1,715.00	\$ 20,580.00
Motor eléctrico 1 HP	2	\$ 475.00	\$ 950.00
Reductor de velocidad sin fin corona	2	\$ 744.00	\$ 1,488.00
Transportador polvo fino	2	\$ 6,500.00	\$ 13,000.00
Tolva transporte neumático	1	\$ 2,300.00	\$ 2,300.00
Ventilador centrífugo	1	\$ 3,867.50	\$ 3,867.50
Venturi polvo fino Acero Inoxidable	1	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
		Total	\$ 43,685.50

4.2. Costo de materiales.

**TABLA 31.
COSTO DE MATERIALES**

Material	Unidad	Precio unitario	Sub Total
UPN 100 6m	40	\$ 91.30	\$ 3,652.00
Angulo Acero Inoxidable 304 25x3mm 6m	15	\$ 36.50	\$ 547.50
Angulo Acero 3/4x1/8" 6m	12	\$ 6.40	\$ 76.80
Plancha Aluminio Antideslizante 1220x2440x1.8mm	20	\$ 99.98	\$ 1,999.65
Tubo Galvanizado 1 1/2" 6m	15	\$ 17.02	\$ 255.36
Perfil especial C 250x50x2mm	2	\$ 67.20	\$ 134.40
Accesorios Válvulas Vortex	12	\$ 356.00	\$ 4,272.00
Clamps	24	\$ 112.00	\$ 2,688.00
Fungibles	-	\$ -	\$ 1,500.00
		Total	\$11,473.71

4.3. Costos de mano de obra.

**TABLA 32.
COSTO DE DESMONTAJE**

Costo Desmontajes						
DESCRIPCION	CANTIDAD	DIAS	H-h/ día	H-h Total	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Supervisor de Obra (Seguridad)	1	3	12	36	\$ 8.25	\$ 297.00
Montador - Mecánico	4	3	12	144	\$ 6.48	\$ 933.12
Soldador-Argonero	0	3	12	0	\$ 8.90	\$ -
Tubero Montador	0	3	12	0	\$ 6.63	\$ -
Ayudante Practico	1	3	12	36	\$ 5.50	\$ 198.00
Total						\$ 1,428.12

**TABLA 33.
COSTO DE MONTAJE DE TOLVAS DE FILTRO DE MANGAS.**

Costo Montaje Tolvas Filtro de mangas						
DESCRIPCION	CANTIDAD	DIAS	H-h/ día	H-h Total	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Supervisor de Obra (Seguridad)	1	5	12	60	\$ 8.25	\$ 495.00
Montador - Mecánico	3	5	12	180	\$ 6.48	\$ 1,166.40
Soldador-Argonero	3	5	12	180	\$ 8.90	\$ 1,602.00
Tubero Montador	0	5	12	0	\$ 6.63	\$ -
Ayudante Practico	3	5	12	180	\$ 5.50	\$ 990.00
Total						\$ 4,253.40

**TABLA 34.
COSTO DE MONTAJE PLATAFORMA Y ESCALERA.**

Costo Montaje Plataforma y Escalera						
DESCRIPCION	CANTIDAD	DIAS	H-h/ dia	H-h Total	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Supervisor de Obra (Seguridad)	1	4	12	48	\$ 8.25	\$ 396.00
Montador - Mecánico	3	4	12	144	\$ 6.48	\$ 933.12
Soldador-Argonero	0	4	12	0	\$ 8.90	\$ -
Tubero Montador	0	4	12	0	\$ 6.63	\$ -
Ayudante Practico	3	4	12	144	\$ 5.50	\$ 792.00
Total						\$ 2,121.12

**TABLA 35.
COSTO MONTAJE TRANSPORTADORES A Y B VÁLVULAS
TOLVA Y VENTURI**

Costo Montaje Transportadores A y B Válvulas Tolva y Venturi						
DESCRIPCION	CANTIDAD	DIAS	H-h/ dia	H-h Total	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Supervisor de Obra (Seguridad)	1	3	12	36	\$ 8.25	\$ 297.00
Montador - Mecánico	3	3	12	108	\$ 6.48	\$ 699.84
Soldador-Argonero	2	3	12	72	\$ 8.90	\$ 640.80
Tubero Montador	0	3	12	0	\$ 6.63	\$ -
Ayudante Practico	3	3	12	108	\$ 5.50	\$ 594.00
Total						\$ 2,231.64

**TABLA 36.
COSTO TUBERÍA PVC PRUEBAS DE EQUIPOS**

Costo Tubería PVC Pruebas de Equipos.						
DESCRIPCION	CANTIDAD	DIAS	H-h/ día	H-h Total	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Supervisor de Obra (Seguridad)	1	3	12	36	\$ 8.25	\$ 297.00
Montador - Mecánico	3	3	12	108	\$ 6.48	\$ 699.84
Soldador-Argonero	0	3	12	0	\$ 8.90	\$ -
Tubero Montador	0	3	12	0	\$ 6.63	\$ -
Ayudante Practico	2	3	12	72	\$ 5.50	\$ 396.00
Costo Aislamiento Térmico						\$ 1,800.00
					Total	\$ 3,192.84

El costo global del proyecto se resume en la Tabla 4.7

**TABLA 37.
COSTO TOTAL DEL PROYECTO.**

DESCRIPCION	
Costo de Equipos	\$ 43,685.50
Costo de Materiales	\$ 11,473.71
Costo Desmontajes	\$ 1,428.12
Costo Montaje Tolvas Filtro de mangas	\$ 4,253.40
Costo Montaje Plataforma y Escalera	\$ 2,121.12
Costo Montaje Transportadores A y B Válvulas Tolva y Venturi	\$ 2,231.64
Costo Tubería PVC Pruebas de Equipos.	\$ 3,192.84
Total	\$ 68,386.33

Se realiza un análisis del tiempo de retorno de la inversión en años teniendo los siguientes costos:

**TABLA 38.
COSTOS DE MANTENIMIENTO.**

Costo de Mantenimiento	UM	
Mantenimiento Correctivo de tolvas	Usd	\$ 4500.00
Cambio de aislamiento	Usd	\$ 1800.00
Total		\$ 6300.00

**TABLA 39.
COSTOS POR PARADAS.**

Costo por Parada	UM	
Horas por semana	Hr	8
Semanas del mes	#	4
Meses del año	#	12
Total horas extras anuales	Hr	384
Costo de personal extra por hora	Usd/Hr	\$ 120.00
Costo de energía extra por hora	Usd/Hr	\$ 0.10
Total		\$ 46,118.40

**TABLA 40.
COSTOS POR PERSONAL EXTRA**

Costo de Personal Extra	UM	
Personas contratadas	#	6
Costo de personal extra por mes	Usd	\$ 4,000.00
Costo de personal extra Anual	Usd	\$ 48,000.00
Total		\$ 48,000.00

TABLA 41.
FLUJO DE CAJA PROYECTO POLVO FINO.

Proyecto "Polvo Fino"

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	-69										
Ahorro	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Costo de Mantenimiento		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Costo por paradas		46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Costo de personal extra		48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
Ahorro	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Depreciación		-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Flujo de caja Final	-69	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
Flujo de caja acumulada	-69	-9	45	95	140	180	218	251	282	310	335
Periodo de Retorno (Años)		1.14									

Se tiene un retorno de inversión de 1.14 años ó 14 meses aproximadamente.

4.4. Gantt de Implementación del proyecto.

El Anexo 2 muestra el diagrama de Gantt del proyecto.

CAPÍTULO 5.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones

- Con la puesta en marcha del proyecto se logró un arranque óptimo del proceso de secado, el polvo fino capturado por los filtros de mangas fluye con mayor facilidad por el sistema de descarga, reingresando el polvo fino a la torre de secado con mayor facilidad.
- El nuevo diseño de las tolvas y válvulas elimina la acumulación de material evitando los bloqueos de los filtros de mangas, además de evitar la contratación de personal extra para las tareas de mantenimiento correctivo.

- Las dimensiones de las tolvas y los equipos de transporte de polvo pueden manejar hasta un 20% de incremento de capacidad de producción de polvo fino.
- Los equipos y la plataforma fueron montados durante 8 días de parada anual de la planta por mantenimiento, para lo cual se tuvo una buena planificación en la compra, importación y construcción de los equipos para no afectar el arranque de la planta.
- El uso de software libre de uso comercial como Sodeca QuickFan®, para la selección de ventiladores centrífugos facilita las funciones del proyectista para el dimensionamiento de equipos.
- El tiempo de retorno de la inversión del proyecto es de 1 año y 4 meses, razón por la cual se convirtió en un proyecto muy factible.

5.2.Recomendaciones

- Se recomienda la integración de los transportadores dentro del sistema de adquisición de datos y control del proceso de secado por atomización, ya que solo está integrado el motor del ventilador centrífugo.
- Verificar el balanceo dinámico del ventilador centrífugo para evitar exceso de vibraciones y desgaste prematuro de los componentes del ventilador.
- Introducir los transportadores de polvo fino detergente a los planes de mantenimiento semestrales y anuales, así como a los procedimientos de parada y arranque de planta y al procedimiento de inspección diaria de los operadores del proceso de secado por atomización.

ANEXOS

Anexo 2. Características banda de PVC.

TECHNICAL DATA SHEET



Validation date: 19/08/2011

ISO 9001


STANDARD RANGE
3TG100AS/LW
CONVEYOR BELT PVC WHITE
 Complies with FDA and EU regulations for conveying of foodstuff

CONSTRUCTION

S	3-ply polyester fabric
T	PVC
G	Fat resistant, colour : white
100	Top cover thickness : 1,00 mm
AS	Antistatic top cover
L	125Nmm fabric, rigid in wet
W	Impregnated backside

MAIN TECHNICAL DATA

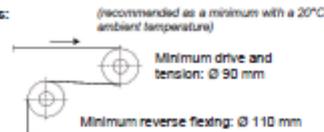
Top cover:	hardness: 74 Sh.A	surface: mat, smooth
Total thickness:	4,20 mm \pm 0,1 mm per ply	
Weight per m ² :	5 000 g \pm 10%	
Friction Coefficient on steel slider bed:	0,20 \pm 20%	
Manufacturing width:	3 000 mm	
Temperatures:		
* Product temperature:	-5°C to +80°C	
* Ambient temperature:	0°C to +60°C	
Type of support:	Slider bed	

MECHANICAL DATA

Tolerances: +20% -10%

Breaking load:	300 N/mm
Load for 1% extension:	14 N/mm
Maximum working tension:	30 N/mm

Pulley diameters:



These values are not linked to the requested \varnothing to pull the belt to rotation.

Ambient temperature: from 0°C to +8°C: add +50%

ENDLESS JOINTINGS

Top heating plate:	175°C \pm 10°C
Bottom heating plate:	175°C \pm 10°C
Time:	5 mn \pm 1 mn
Pressure:	2,0 bar \pm 0,5 bar
Additional material (powder or film):	none

These recommendations may vary according to the equipment used and press heating system.

Splicing methods to be used:

DS (finger joint)



PE step overlap



DS/DEC (double finger joint)



Fasteners:

Gémini - Sécura 03 - Airport

Accessories that may be fitted on this belt:

Except for some cases, this belt can be fitted out with : guiding profiles, cleats, sidewalls

These data are subject to modification. Please make sure of their validity.
 REVEYRON S.A. should not be held responsible when the data sheet used is not valid anymore.

reveyron S.A.

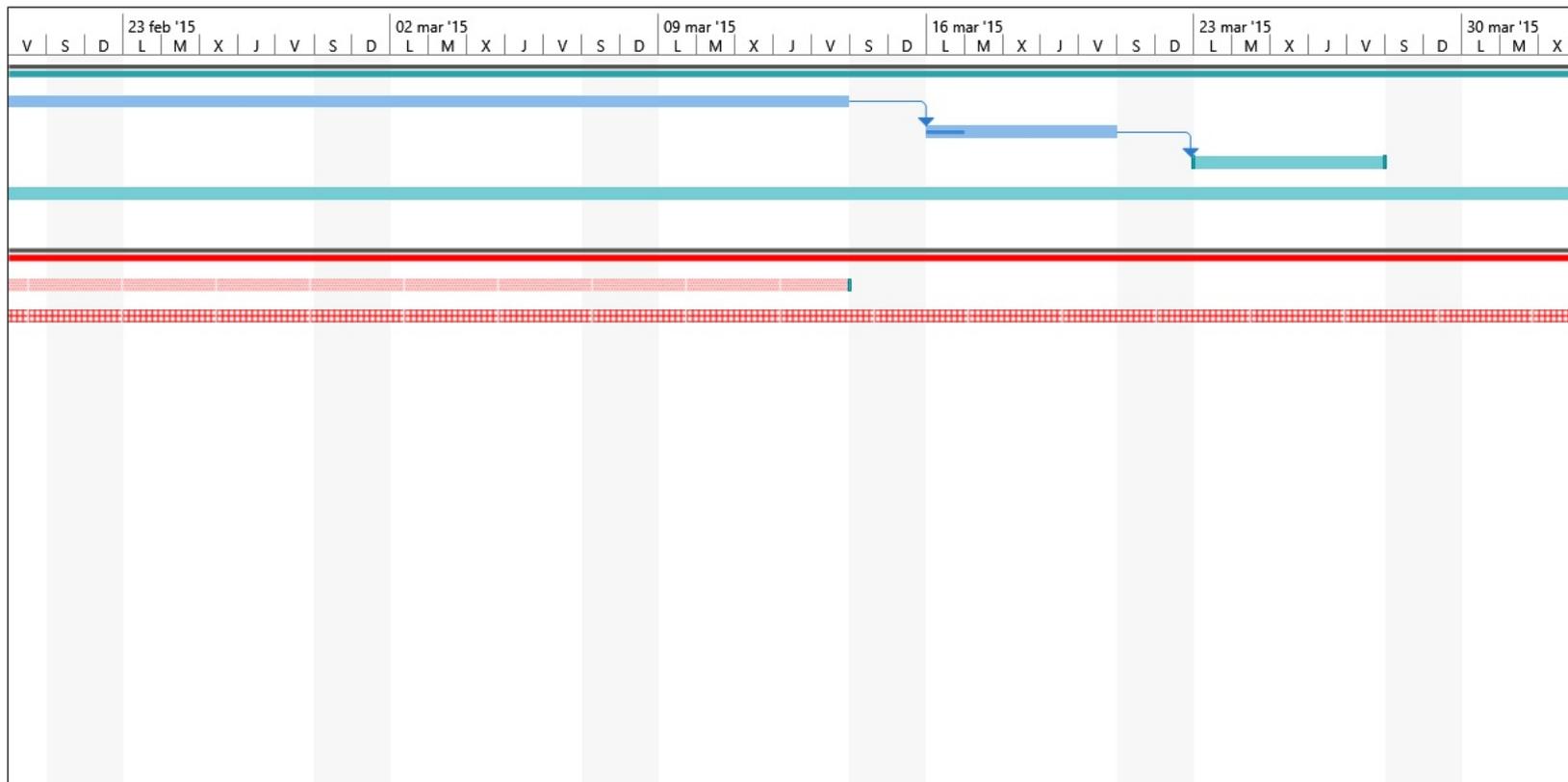
247, route du Mes Rillier, Les Echets - 01700 MIRIBEL - France

Tel.: +33 (0)4 78 91 81 01

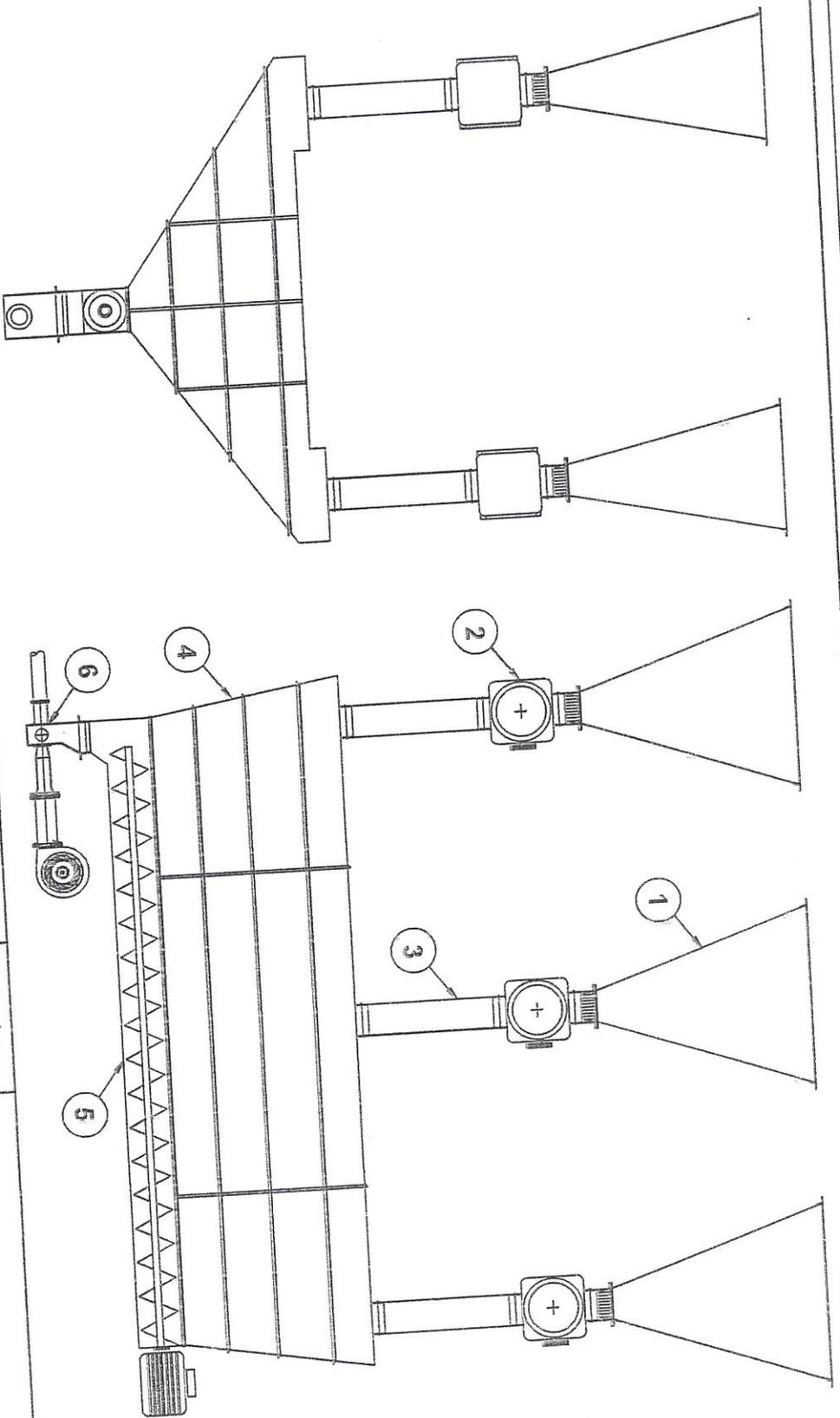
Fax: +33 (0)4 78 91 05 09

www.reveyron.com

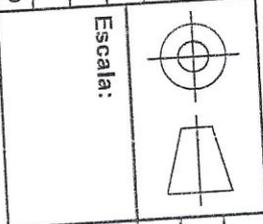
E.mail: info@reveyron.fr



PLANOS



No.	Descripción
1	Tolvas de filtro de mangas
2	Válvulas rotativas
3	Ductos de descarga
4	Tolva de recepción
5	Tornillo sin fin
6	Sistema transporte neumático



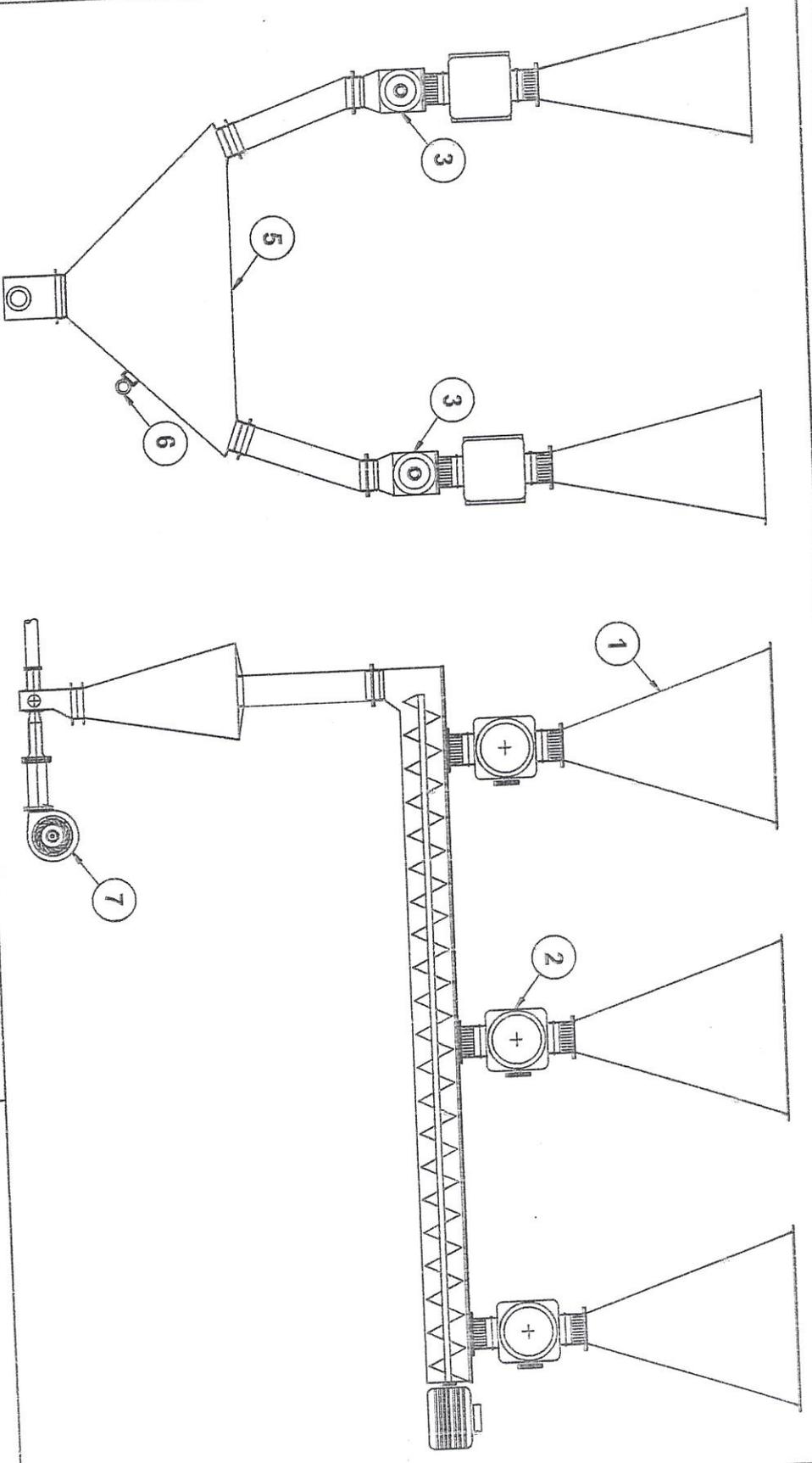
Dibujado por:	Nombre:	Fecha:
Aprobado por:		

Paul Uribe V.
 16-Feb-15
 Ing. Ernesto Martínez
 19-Feb-15

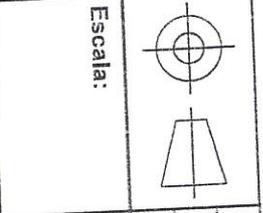
FIMCP-ESPOL

No. **01**

ALTERNATIVA NO. 1 SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO



No.	Descripción
1	Tolvas de filtro de mangas
2	Válvulas rotativas
3	Tornillos sin fin
4	Ducos de descarga
5	Tolva recepción
6	Moto Vibrador
7	Sistema de transporte neumático

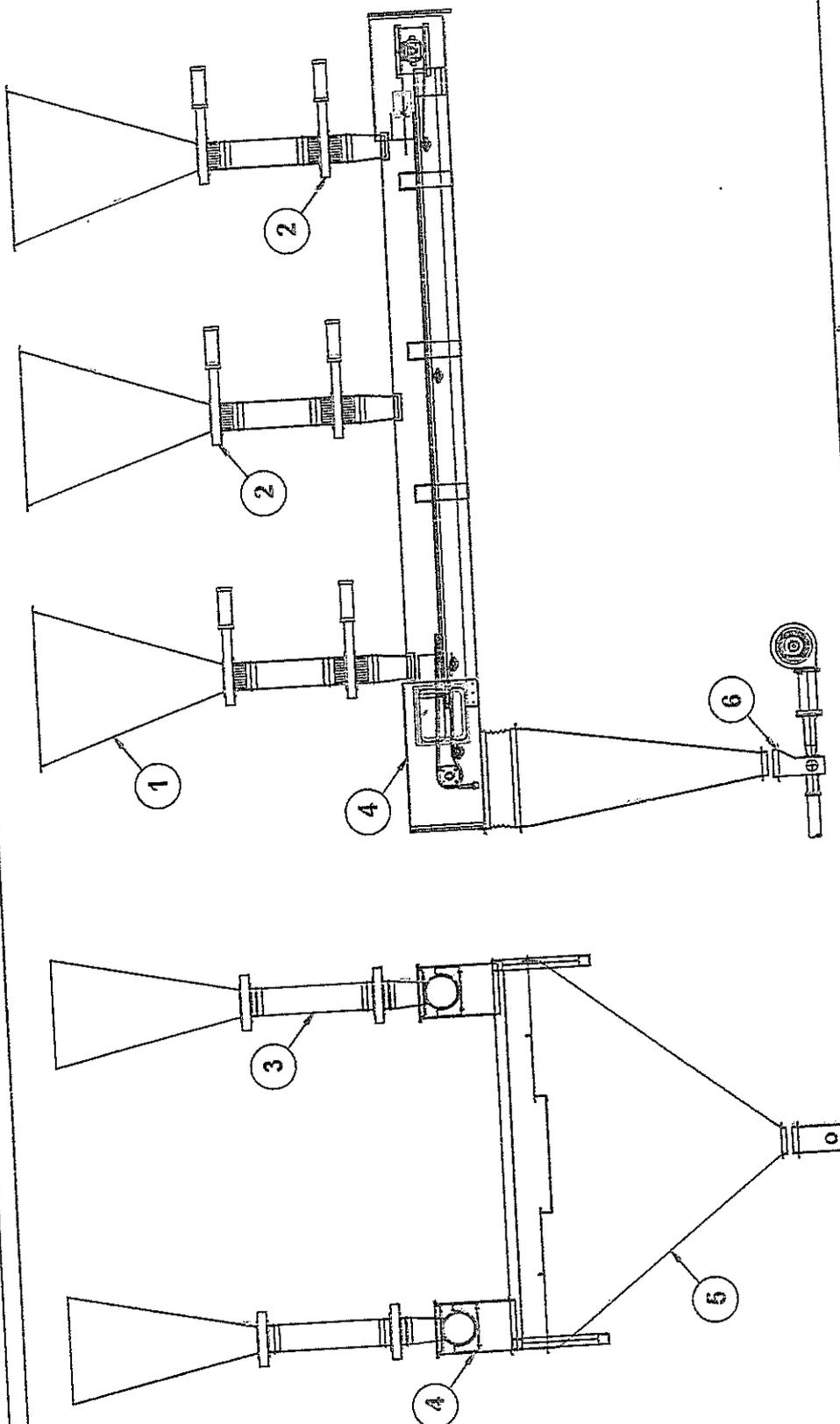


Dibujado por:	Nombre:	Fecha:
Aprobado por:	Paul Urjilez V.	16-Feb-15
	Ing. Ernesto Martínez	19-Feb-15

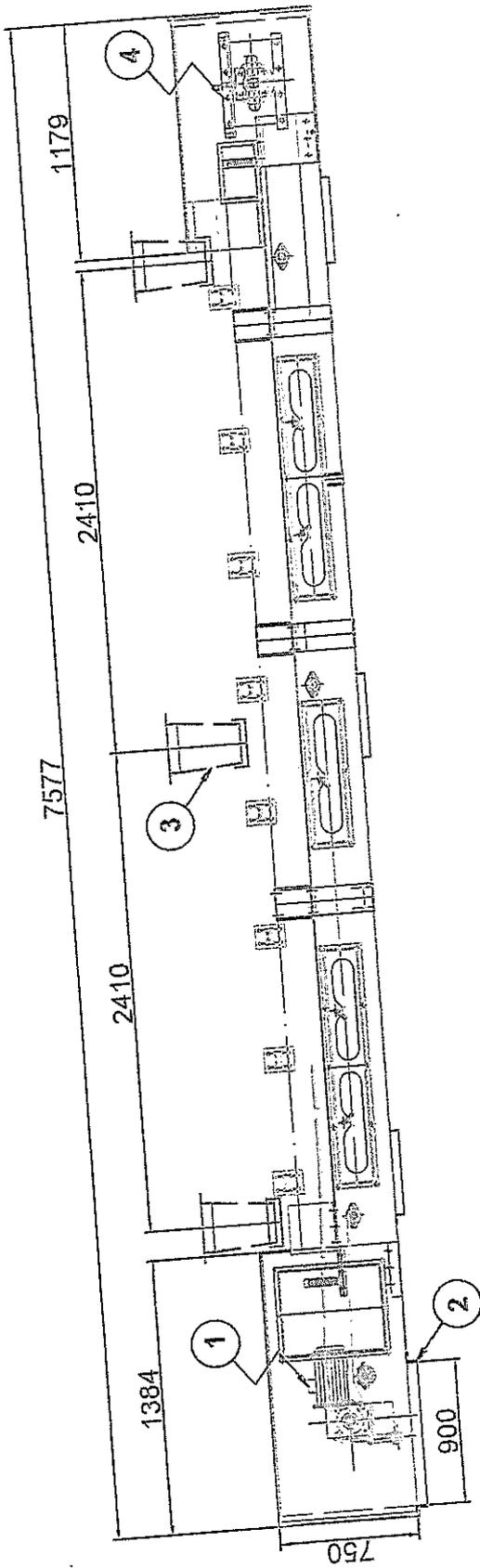
FIMCP-ESPOL

ALTERNATIVA NO. 2 SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO

No. **02**



FIMCP-ESPOL-		No. 03	
ALTERNATIVA No. 3 SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO		No.	
Descripción	Fecha:	Nombre:	Dibuñado por:
1 Tolvas de filtro de mangas	16-Feb-15	Paul Ujilez V.	19-Feb-15
2 Válvulas compuerta deslizante	Aprobado por:		
3 Ductos de descargas	Ing. Ernesto Martínez		
4 Transportadores de polvo fino	ESCALA:		
5 Tolva de recepción			
6 Sistema transporte neumático			



FIMCP-ESPOL

Fecha:

16-Feb-15

Nombre:

Paul Urjilez V.

Dibujado por:

Ing. Ernesto Martinez

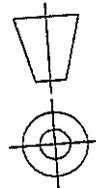
Aprobado por:

19-Feb-15

No.

04

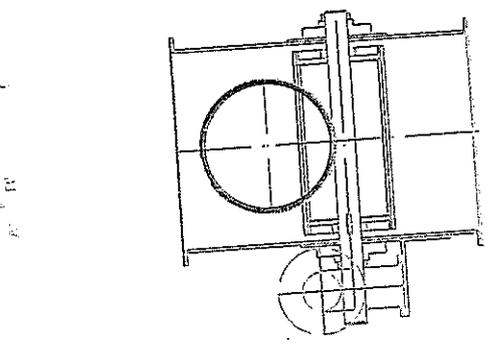
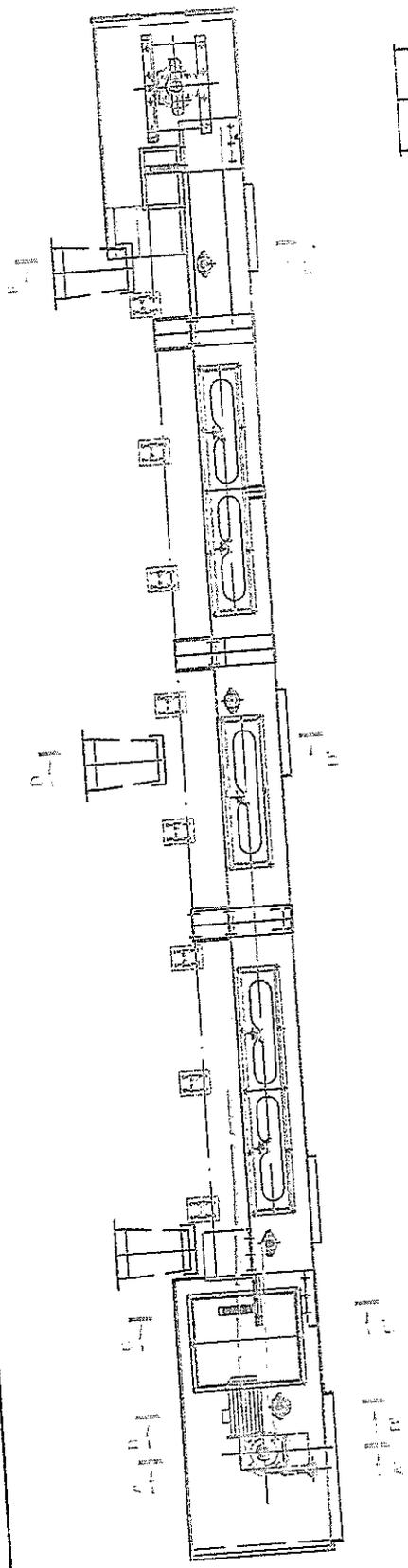
**TRANSPORTADOR DE POLVO FINO
DETERGENTE**



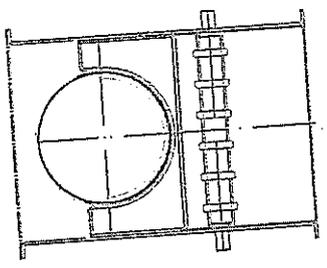
Escala:

1:20

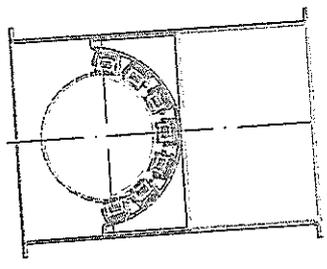
No.	Descripción
1	Motor Reductor
2	Ducto de descarga
3	Ducto de carga
4	Mecanismo templador de banda



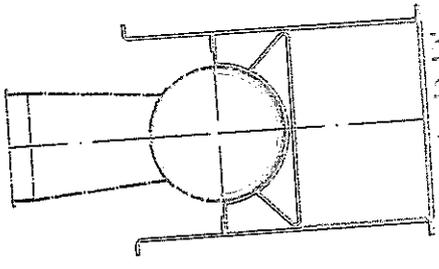
Corte A-A'



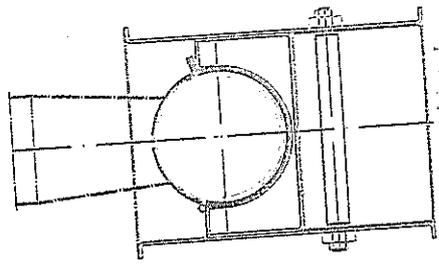
Corte B-B'



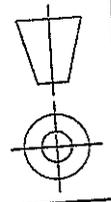
Corte C-C'



Corte D-D'



Corte E-E'



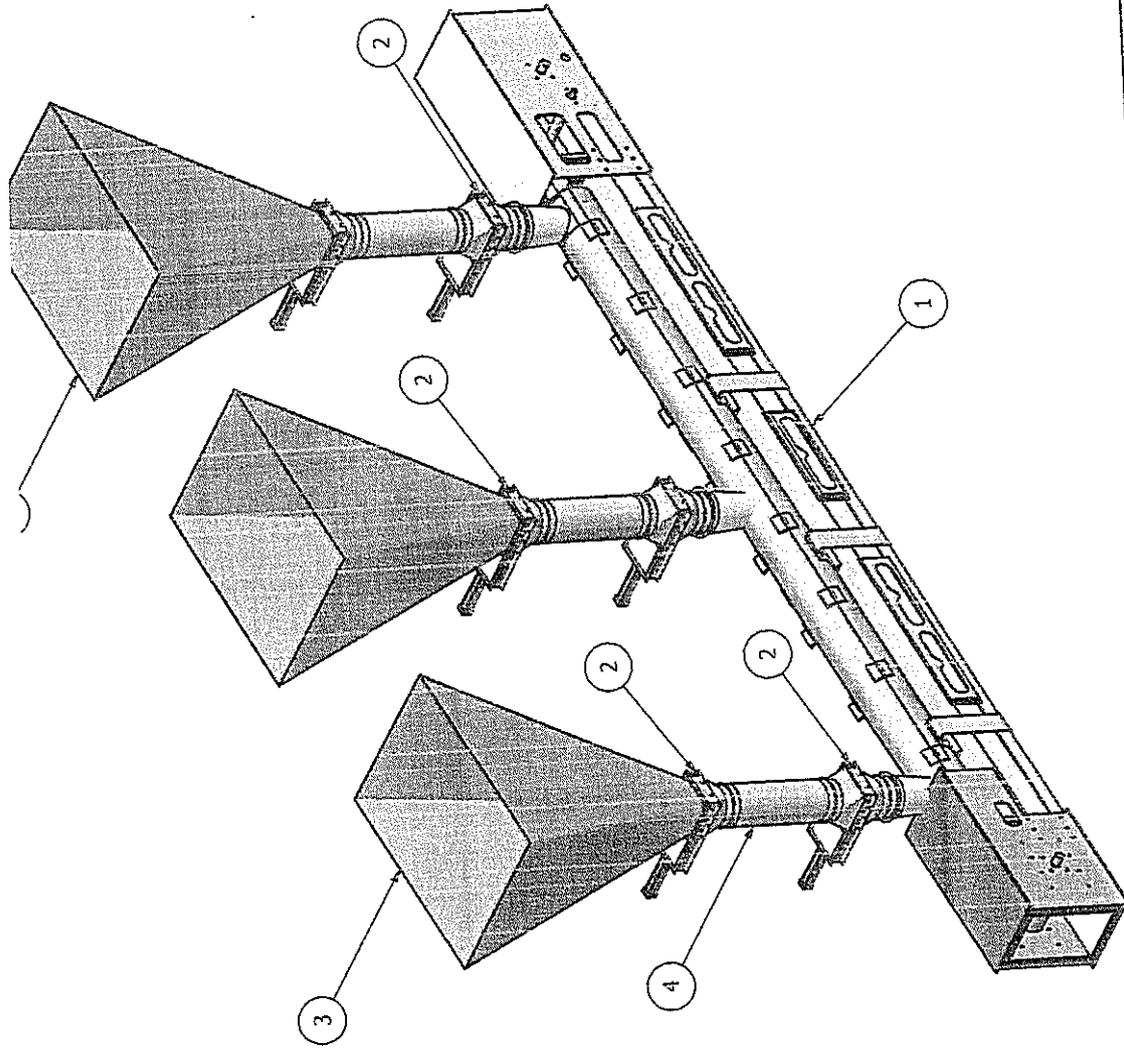
Escala:
1:20

FIMCP-ESPOL

**VISTAS EN CORTE TRANSPORTADOR DE
POLVO FINO DETERGENTE**

No. **05**

Dibujado por:	Nombre:	Fecha:
Aprobado por:		
Ing. Ernesto Martinez	Paul Urijilez V.	16-Feb-15
		19-Feb-15

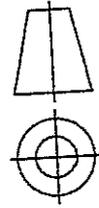


Nombre: Paul Urjilez V.
 Fecha: 16-Feb-15
 Dibujado por: Ing. Ernesto Martinez
 Aprobado por: 19-Feb-15

FIMCP-ESPOL

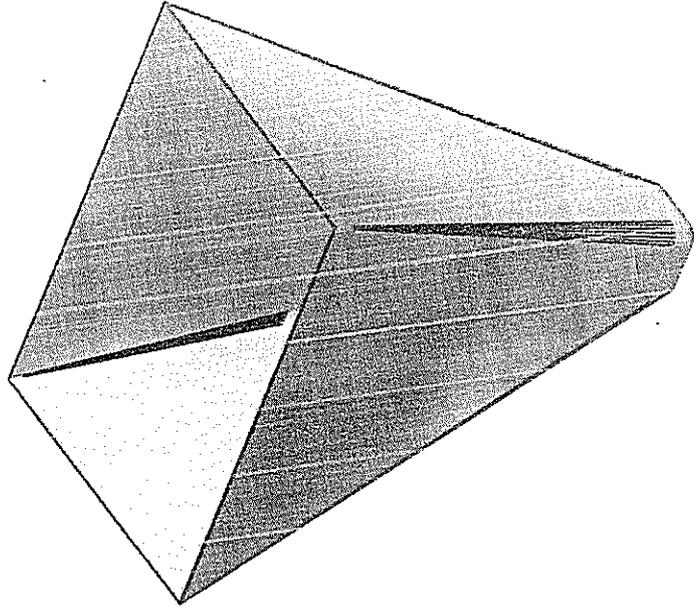
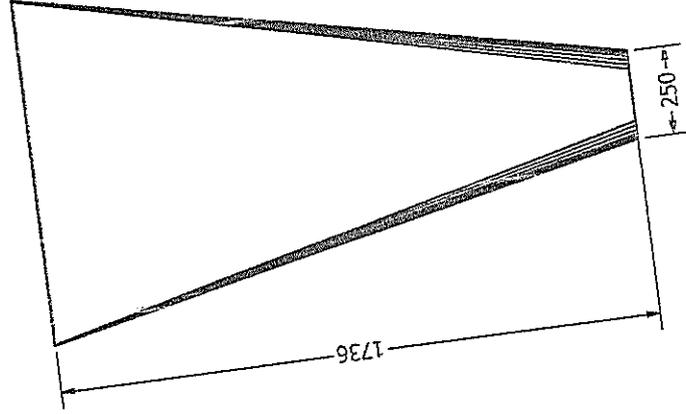
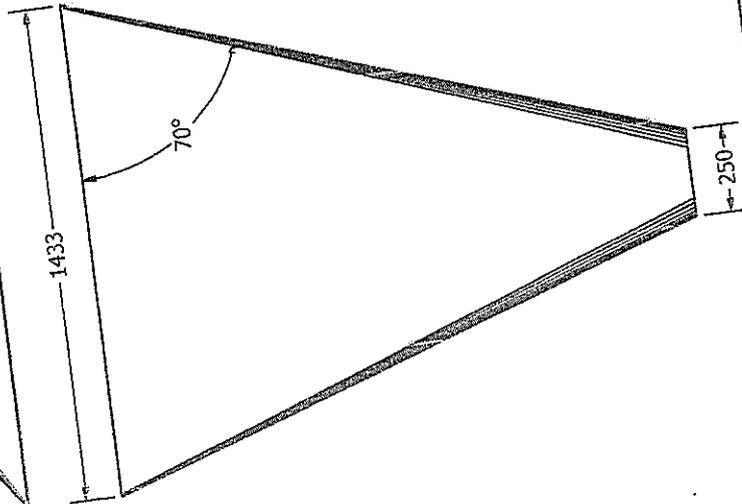
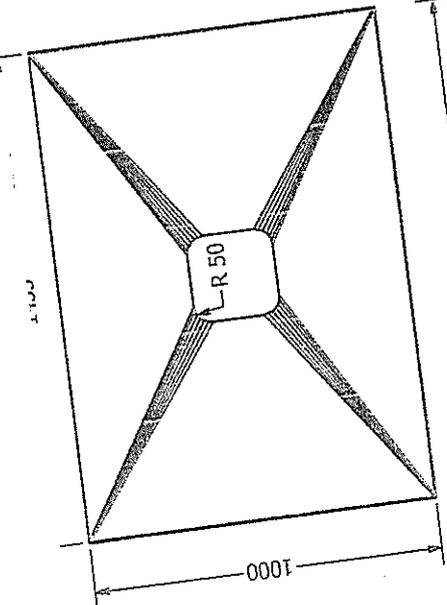
No. 06

VISTA 3D CONJUNTO TRANSPORTADOR Y TOLVAS DE POLVO FINO DETERGENTE



Escala: 1:30

No.	Descripción
1	Transportador de polvo fino detergente
2	Valvula de compuerta desizante
3	Tolva de filtro de mangas
4	Bueto-de-descarga



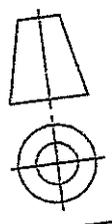
Material	AISI 304
Espesor	2 mm

FIMCP-ESPOL

Fecha:	16-Feb-15
Fecha:	19-Feb-15

Nombre:
Paul Urjilez V.
Ing. Ernesto Martinez

Dibujado por:
Aprobado por:

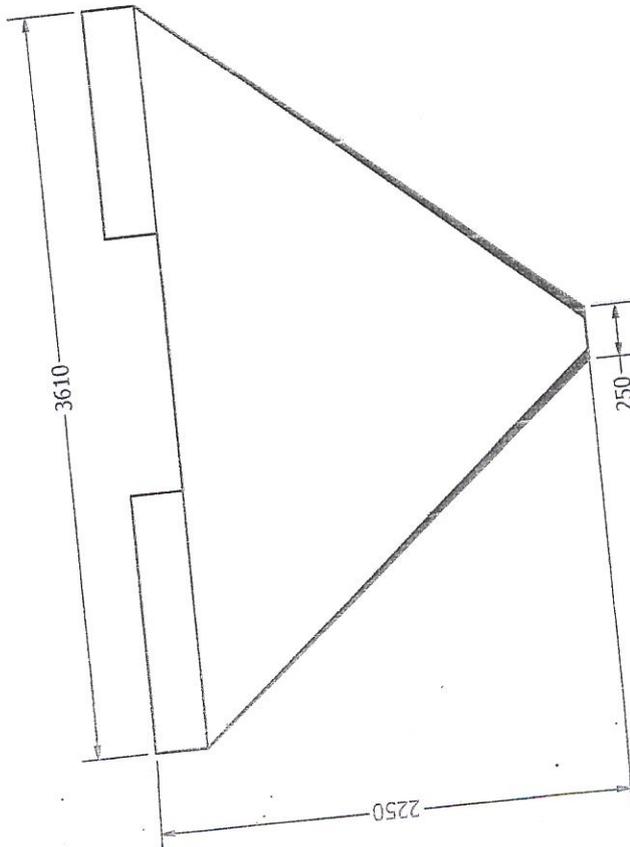
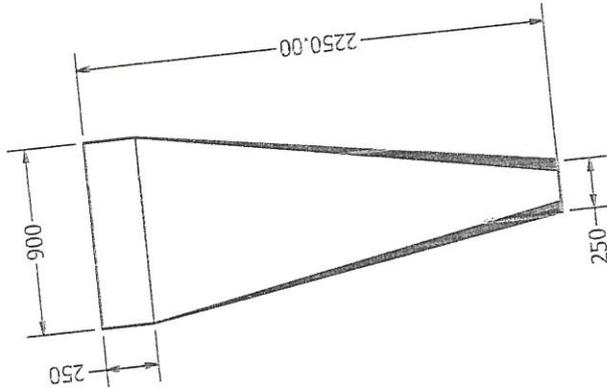
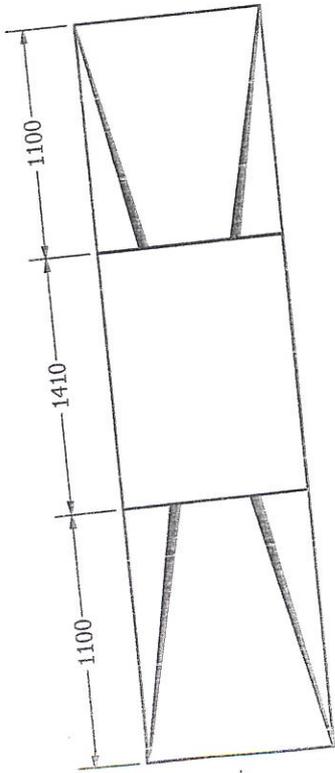
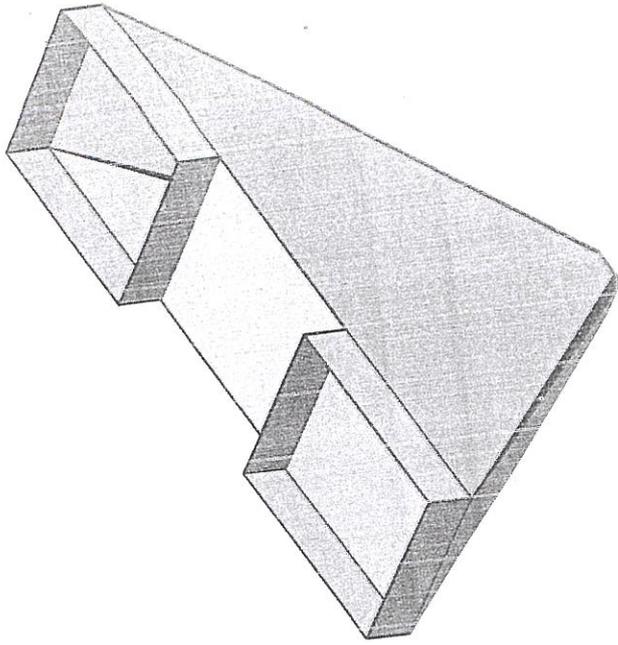


Escala:

1:15

**TOLVA DE FILTRO DE MANGAS DE POLVO FINO
DETERGENTE**

No. **07**



Material	AISI 304
Espesor	2 mm

FIMCP-ESPOL

Fecha:
16-Feb-15

Nombre:
Paul Urjilez V.

19-Feb-15

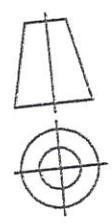
Dibujado por:
Ing. Ernesto Martínez

Aprobado por:

No.

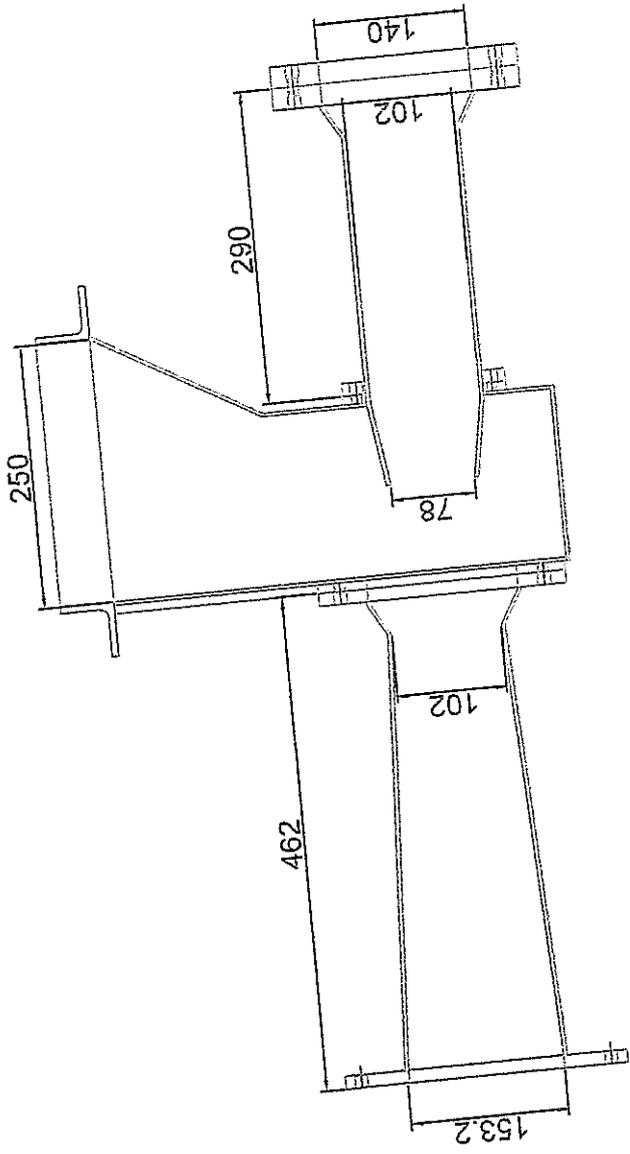
0

**TOLVA DE RECEPCIÓN DE POLVO FINO
DETERGENTE**



Escala:

1:25



FIMCP-ESPOL

Fecha:

16-Feb-15

Nombre:

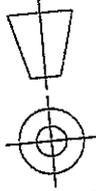
Paul Urjilez V.

Dibujado por:

Ing. Ernesto Martínez

Aprobado por:

Ing. Ernesto Martínez



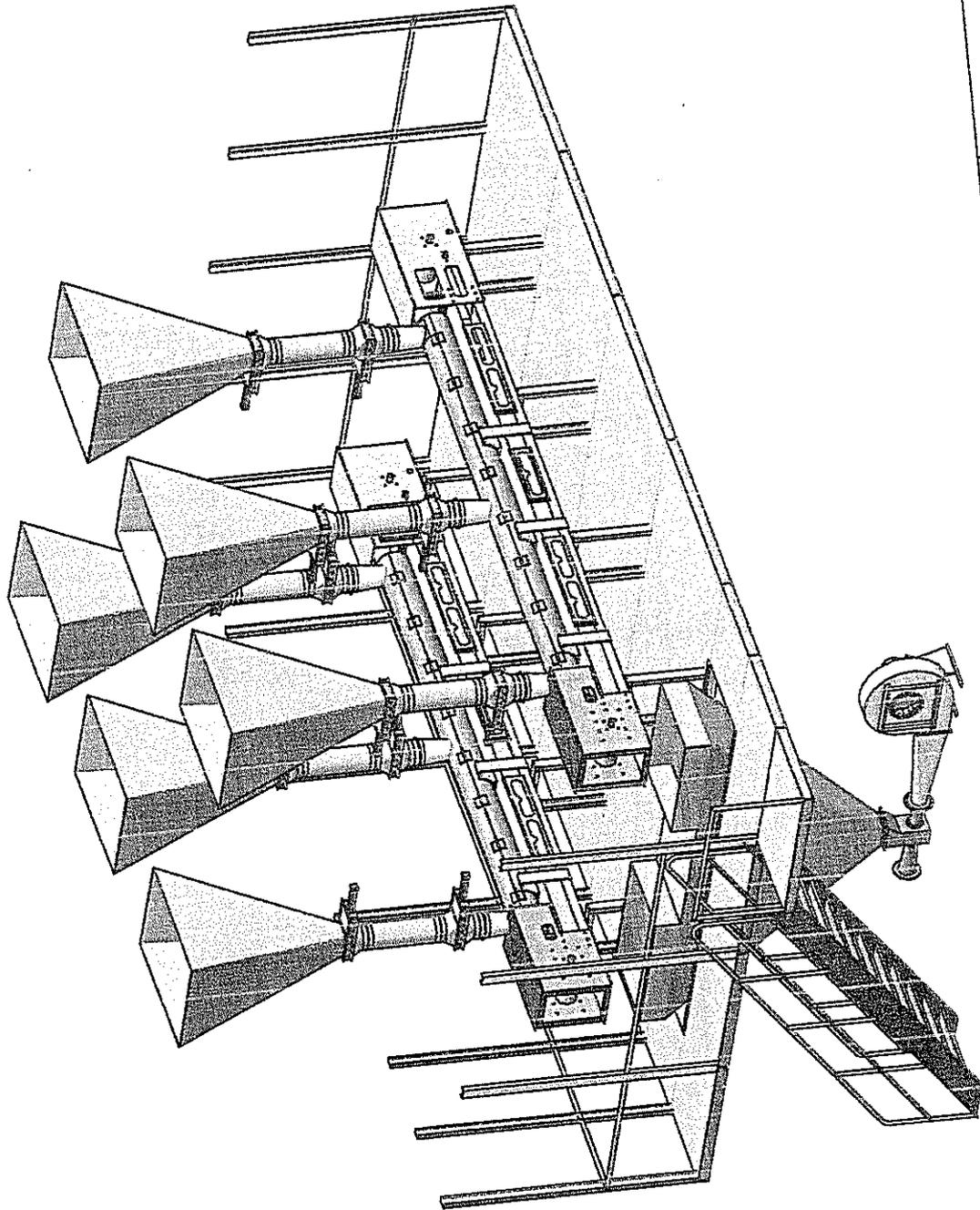
Escala:

1:4

No.

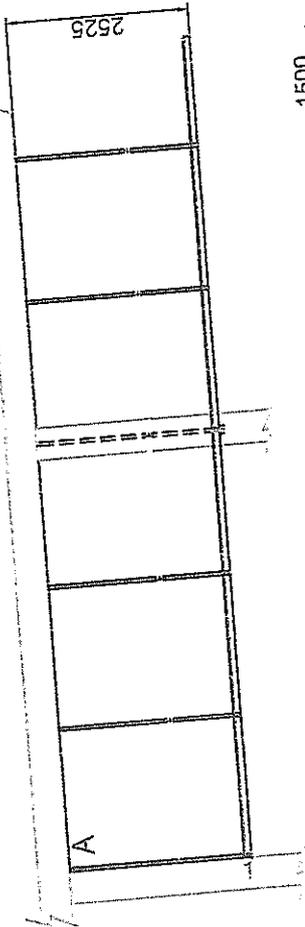
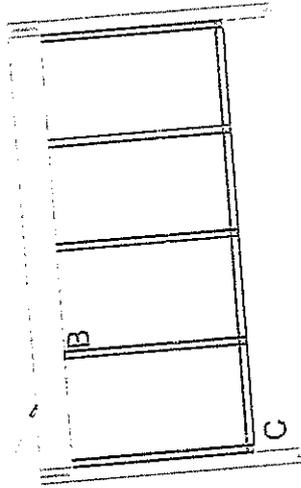
09

VENTURI DE POLVO FINO DETERGENTE



FIMCP-ESPOL		Fecha: 16-Feb-15	No. 10
		Nombre: Paul Urjilez V. Ing. Ernesto Martinez	
SISTEMA DE DESCARGA POLVO FINO		10	
DETERGENTE		10	
Escala: 1:45			

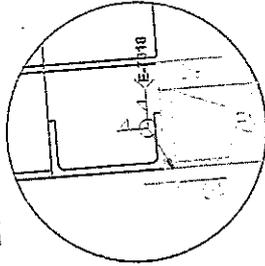
Estructura del
Echibido



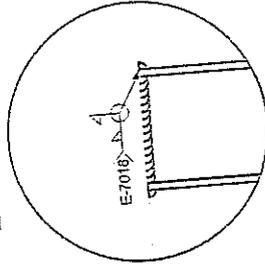
PERFIL UNP 100



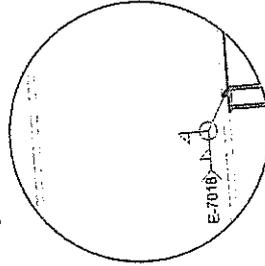
DETALLE C



DETALLE B

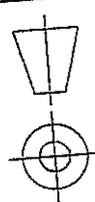


DETALLE A



FIMCP-ESPOL

Nombre:	Paul Urjilez V.	Fecha:	16-Feb-15
Dibujado por:	Ing. Ernesto Martínez	Aprobado por:	19-Feb-15

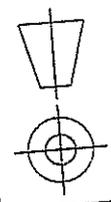


Escala:
1:75

No.
11

PLATAFORMA DE INSPECCIÓN



	Escala:	
	VALVULA DE COMPUERTA DESLIZANTE VORTEX	
Dibujado por: Paul Urjilez V.	Nombre: Paul Urjilez V.	Fecha: 16-Feb-15
Aprobado por: Ing. Ernesto Martinez	FIMCP-ESPOL	
No. 12		No.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Silos. Teoría, Investigación, Construcción - Juan Ravenet Catalán, Técnicos Asociados, 2008.
- [2] BORBOR H. ANELL, CRESPO O. ALEX, “Diseño de una Línea de Producción de Fertilizantes Pulverizados usando Molino de Pines” (Tesis Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2012).
- [3] Belt Conveyor Design Dunlop TECHNIQUE DESIGN AND CALCULATION Pág. 36.
- [4] Belt Conveyors for Bulk Materials Calculations by CEMA 5th Edition.

- [5] HINOJOSA R. HEBER, “Software para Diseño de Transportadores de Banda” (Tesis Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2002).
- [6] PABLO HERNANDO SANZ, “Software para el Diseño de una Banda Transportadora y Creación del Modelo de Elementos Finitos asociado” Universidad Carlos III de Madrid Departamento de Mecánica, (2008).
- [7] MILLS D., Pneumatic Conveying Design Guide, Second Edition, Great Britain, 2004.
- [8] GONZALES P. SEABRA, Sistema de Transporte Neumático para Quinoa, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2005.
- [9] FRANK M. WHITE, Mecánica de Fluidos Sexta Edición, Editorial Mc Graw Hill, 2008.
- [10] <http://www.sodeca.com>, Consultado; Febrero de 2015

[11] [http://www.sodeca.com /software.aspx](http://www.sodeca.com/software.aspx), Consultado; Febrero de 2015

[12] Gear Products Baldor 900 Series Single Reduction, Obtenido en Línea y Disponible en: [http://www.baldor.com/ support/ Literature/ Load.ashx/BR1600 ? LitNumber=BR1600](http://www.baldor.com/support/Literature/Load.ashx/BR1600?LitNumber=BR1600) , Consultado en: Febrero 2015.