



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DEFINICIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO Y MONTAJE MECÁNICO DEL SISTEMA DE DESPOLVE
PARA EL ÁREA DE HORNOS CON BASE A LA METODOLOGÍA GESTIÓN DE PROYECTOS
(PROJECT MANAGEMENT APPROACH), EN PLANTA LA PEDRERA, CEMENTOS PROGRESO, S.A.**

Jerzon Guillermo Juárez Recinos

Asesorado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DEFINICIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO Y MONTAJE MECÁNICO DEL SISTEMA DE DESPOLVE
PARA EL ÁREA DE HORNOS CON BASE A LA METODOLOGÍA GESTIÓN DE PROYECTOS
(PROJECT MANAGEMENT APPROACH), EN PLANTA LA PEDRERA, CEMENTOS PROGRESO, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JERZON GUILLERMO JUÁREZ RECINOS
ASESORADO POR LA INGA. SIGRID ALITZA CALDERÓN DE LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
EXAMINADORA	Inga. Norma Ileana Sarmientos Zeceña
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DEFINICIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO Y MONTAJE MECÁNICO DEL SISTEMA DE DESPOLVE
PARA EL ÁREA DE HORNOS CON BASE A LA METODOLOGÍA GESTIÓN DE PROYECTOS
(PROYECT MANAGEMENT APPROACH), EN PLANTA LA PEDRERA, CEMENTOS PROGRESO, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 12 de julio de 2010.

Jerzon Guillermo Juárez Recinos



Guatemala, 09 de mayo de 2012.
REF.EPS.DOC.692.05.12.

Ingeniera
Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Inga. Sarmiento Zeceña.

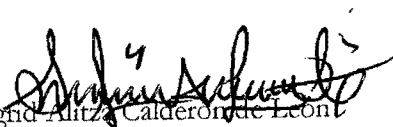
Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **Jerzon Guillermo Juárez Recinos**, Carné No. **200516157** procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DEFINICIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO Y MONTAJE MECÁNICO DEL SISTEMA DE DESPOLVE PARA EL ÁREA DE HORNO, CON BASE A LA METODOLOGÍA GESTIÓN DE PROYECTOS /PROJECT MANAGEMENT APPROACH), EN PLANTA LA PEDRERA, CEMENTOS PROGRESO, S.A.”.**

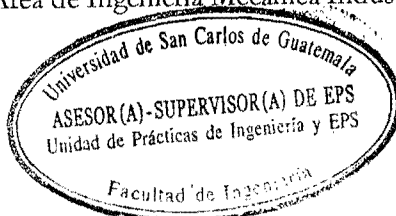
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Sigrid Alitz Calderón de León
Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



SACdL/ra



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 09 de mayo de 2012.
REF.EPS.D.492.05.12

Ingeniero
César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

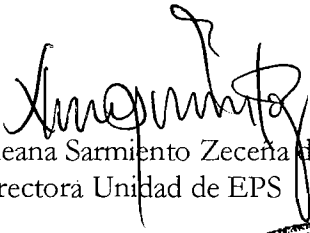
Estimado Ing. Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **“DEFINICIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO Y MONTAJE MECÁNICO DEL SISTEMA DE DESPOLVE PARA EL ÁREA DE HORNOS, CON BASE A LA METODOLOGÍA GESTION DE PROYECTOS /PROYECT MANAGEMENT APPROACH), EN PLANTA LA PEDRERA, CEMENTOS PROGRESO, S.A.”** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Jerzon Guillermo Juárez Recinos** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León.

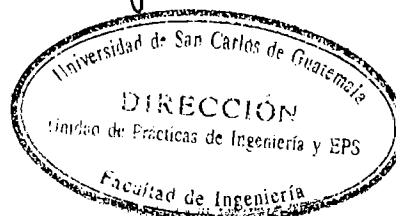
Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora y Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
“Id y Enseñad a Todos”


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zecena de Serrano
Directora Unidad de EPS

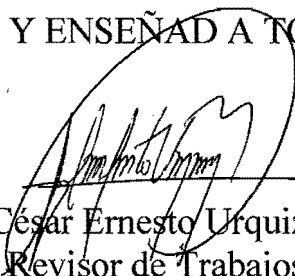
NISZ/ra





Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DEFINICIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO Y MONTAJE MECÁNICO DEL SISTEMA DE DESPOLVE PARA EL ÁREA DE HORNOS CON BASE A LA METODOLOGÍA GESTIÓN DE PROYECTOS (PROYECT MANAGEMENT APPROACH), EN PLANTA LA PEDRERA, CEMENTOS PROGRESO, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Jerzon Guillermo Juárez Recinos**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



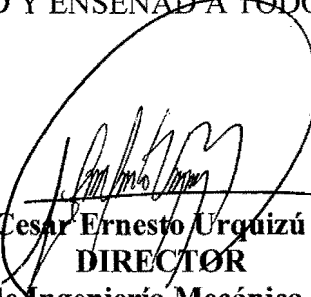
Guatemala, mayo de 2012.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DEFINICIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO Y MONTAJE MECÁNICO DEL SISTEMA DE DESPOLVE PARA EL ÁREA DE HORNOS CON BASE A LA METODOLOGÍA GESTIÓN DE PROYECTOS (PROYECT MANAGEMENT APPROACH), EN PLANTA LA PEDRERA, CEMENTOS PROGRESO, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Jerzon Guillermo Juárez Recinos**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rojas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, septiembre de 2012.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DEFINICIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO Y MONTAJE MECÁNICO DEL SISTEMA DE DESPOLVE PARA EL ÁREA DE HORNO CON BASE A LA METODOLOGÍA GESTIÓN DE PROYECTOS (PROJECT MANAGEMENT APPROACH), EN PLANTA LA PEDRERA, CEMENTOS PROGRESO, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Jerson Guillermo Juárez Recinos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, Septiembre de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi creador	Por bendecirme con este triunfo, dándome sabiduría, tiempo y fuerzas para la realización de este trabajo.
Mis padres	Abel Antonio Juárez Gutiérrez, mi guía y cabeza terrenal. María Alicia Recinos de Juárez, mi intercesora, gracias a Dios por poder honrar a los padres que tú me diste.
Mis hermanos	Abel Alejandro y Hebert Ivan Juárez Gutiérrez les amo y gracias por todo su apoyo incondicional.
Mis familiares	Por todo su apoyo.
Cementos Progreso, Proyectos Nuevos	Por apoyarme en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Historia de Cementos Progreso, S.A.	1
1.2. Departamento de Proyectos Nuevos	2
1.2.1. Visión	2
1.2.2. Misión	3
1.2.3. Valores	4
1.2.4. Organigrama.....	5
1.2.5. Descripción de áreas y funciones	8
1.2.5.1. Área de Ingeniería	8
1.2.5.2. Área de Obra Civil.....	9
1.2.5.3. Área Mecánica	10
1.2.5.4. Área Eléctrica.....	11
1.2.5.5. Área Administrativa.....	12
1.3. Metodología Project Management Approach	13
1.3.1. Definición del proyecto	14
1.3.2. Planificación del proyecto	16
1.3.3. Ejecución del proyecto.....	18

2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....	21
2.1.	Diagnóstico de la situación actual del sistema de despolve área de hornos.	21
2.1.1.	Toma de datos para el diagnóstico	21
2.1.2.	Análisis de las entrevistas por áreas del departamento	24
2.2.	Propuesta de la definición del montaje mecánico del sistema de despolve, según la Metodología Gestión de Proyectos.....	27
2.2.1.	Visita al área de hornos.....	27
2.2.1.1.	Aplicación V.O.S.O. mecánico.....	27
2.2.1.2.	Aplicación V.O.S.O. eléctrico.....	29
2.2.1.3.	Aplicación V.O.S.O. instrumentista.....	30
2.2.2.	Análisis de inspección V.O.S.O.....	31
2.2.2.1.	Determinación de hitos SMART	32
2.2.3.	Definición de tareas según Metodología Gestión de Proyectos	35
2.2.3.1.	Diagrama Pert	47
2.3.	Propuesta de rutinas de mantenimiento preventivo.....	56
2.3.1.	Rutina de mantenimiento preventivo mecánico.....	57
2.3.2.	Rutina de mantenimiento preventivo instrumentista	61
2.4.	Planificación del montaje de equipos.....	66
2.4.1.	Montaje del filtro	67
2.4.1.1.	Instrucciones de seguridad propuestas.....	67
2.4.1.2.	Listado de equipos e instrumentación del filtro	71
2.4.1.3.	Guía de pasos del montaje del filtro ...	73
2.4.2.	Montaje de la válvula rotativa	81

	2.4.2.1.	Instrucciones de seguridad	81
	2.4.2.2.	Listado de equipos e instrumentación de la válvula rotativa	83
	2.4.2.3.	Guía de pasos del montaje de la válvula rotativa	85
2.5.		Control del funcionamiento operativo de los filtros a instalarse.....	88
2.6.		Planificación del diseño del sistema de despolve	94
	2.6.1.	Verificación de ductos del sistema de despolve	94
		2.6.1.1. Cálculo de caudales.....	94
		2.6.1.2. Verificación de ángulos.....	99
		2.6.1.3. Cálculo de diámetros	100
		2.6.1.4. Cálculo de codos y accesorios	114
	2.6.2.	Verificación de estructuras mecánicas	122
		2.6.2.1. Cálculo de dimensiones de campanas	123
		2.6.2.2. Cálculos de dimensiones de transiciones.....	132
		2.6.2.3. Revisión de dimensiones de autolimpiantes.....	135
2.7.		Cálculo del peso muerto de materiales de estructuras.	139
	2.7.1.	Estimación de costos de materiales para licitar	140
3.		FASE DE INVESTIGACIÓN.....	143
	3.1.	Antecedentes de desastres dentro de la planta La Pedrera ..	143
	3.2.	Tipos de desastres a los que está expuesta la planta	143
		3.2.1. Por ubicación de la empresa	144
		3.2.2. Por actividades de la empresa.....	145

3.3.	Diseño de la mejora del plan de contingencia ante desastres	146
3.3.1.	Rediseño y actualización de la información del plan de contingencia actual	146
3.3.2.	Mejora de plan de contingencia en caso de evacuación	147
3.3.3.	Mejora de plan de contingencia en caso de terremoto	148
3.3.4.	Mejora de plan de contingencia en caso de incendio	150
3.4.	Elaboración de matriz de riesgo en el área del montaje del nuevo sistema de despolve	152
4.	FASE DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE	157
4.1.	Diagnóstico de la necesidad de capacitación del personal....	157
4.2.	Capacitación de la metodología PMA.....	161
4.3.	Talleres de motivación.....	161
4.4.	Elaboración de una matriz de riesgos guía para realización de proyectos	162
	CONCLUSIONES.....	169
	RECOMENDACIONES.....	171
	BIBLIOGRAFÍA.....	173
	APÉNDICES.....	175
	ANEXO.....	187

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama del departamento	7
2.	Gráfico de determinación de causas.....	24
3.	Diagrama Ishikawa	26
4.	Diagrama Pareto de la inspección V.O.S.O.....	33
5.	Análisis de la respuesta 1	39
6.	Análisis de la respuesta 2	40
7.	Análisis de la respuesta 3	41
8.	Análisis de la respuesta 4	42
9.	Análisis de la respuesta 5	44
10.	Análisis de la respuesta 6	45
11.	Cronograma de las tareas del proyecto.....	46
12.	Diagrama Gantt de las actividades del proyecto.....	48
13.	Ruta crítica de las actividades del proyecto	56
14.	Ubicación de los equipos por nivel	66
15.	Puntos de riesgo del filtro	68
16.	Válvula de seguridad	69
17.	Caperuza protectora de polvo.....	70
18.	Diagrama de equipos y accesorios del filtro	72
19.	Sellamiento de piezas de unión de la chapa.....	74
20.	Estructura base de una y doble fila.....	75
21.	Tolva colectora de polvo	77
22.	Tornillo transportador de polvo	77
23.	Guía de la manga	78

24.	Cuerpo de las mangas	79
25.	Fijación de las chapas de retención de las mangas	80
26.	Distancia X entre partes de caída de entrada	82
27.	Diagrama de accesorios de la válvula rotativa	85
28.	Especificaciones del montaje del embrague	87
29.	Secuencia típica de limpieza <i>versus</i> secuencia recomendada.....	89
30.	Medidor de presión para el control de limpieza de las bolsas	90
31.	Diagrama de bloques del control de operación del filtro.....	92
32.	Diseño de ingeniería del sistema de despolve	95
33.	Verificación de puntos de despolve	100
34.	Punto 1 de despolve.....	103
35.	Punto 2 de despolve.....	104
36.	Punto 3 de despolve.....	105
37.	Punto de despolve 4.....	106
38.	Punto de despolve 5.....	107
39.	Punto de despolve 6.....	108
40.	Punto 7 de despolve.....	109
41.	Tramo de succión del filtro y ventilador	110
42.	Especificaciones codo 0° a 15°	115
43.	Cálculo trigonométrico.....	115
44.	Especificaciones codo 16° a 45°	117
45.	Dimensión de codo de 46° a 90°	119
46.	Dimensiones de la caperuza de venteo.....	123
47.	Campana de succión del filtro	127
48.	Dimensiones de las estructuras receptoras de la posición 32 y 98 ...	129
49.	Dimensiones de transición 1 del ramal.....	133
50.	Dimensiones de transición 2 ramales.....	134
51.	Dimensiones de autolimpiante	136
52.	Cambio de dirección del río Las Vacas, por deslizamientos	144

53.	Puntos de reunión propuestos	147
54.	Triángulo de vida	149

TABLAS

I.	Formato de entrevista al personal del Departamento Proyectos	
	Nuevos	23
II.	Conclusiones del diagrama Ishikawa	26
III.	V.O.S.O. mecánicos	28
IV.	V.O.S.O. eléctricos	29
V.	V.O.S.O. instrumentistas	30
VI.	V.O.S.O. resumen	31
VII.	Ponderación de factores.....	32
VIII.	Análisis Pareto.....	34
IX.	Respuesta a pregunta 1 de la encuesta	39
X.	Respuesta a pregunta 2 de la encuesta	40
XI.	Respuesta a pregunta 3 de la encuesta	41
XII.	Respuesta a pregunta 4 de la encuesta	42
XIII.	Respuesta a pregunta 5 de la encuesta	43
XIV.	Respuesta a pregunta 6 de la encuesta	44
XV.	Eventos del proyecto	47
XVI.	Cálculo de t_e y $\sigma^2 t_e$	50
XVII.	Cálculo TE y $\sigma^2 TE$	52
XVIII.	Cálculo TL y holgura.....	54
XIX.	Selección de eventos	55
XX.	Rutina preventiva mecánica del colector de polvo.....	58
XXI.	Rutina preventiva mecánica de válvula rotativa.....	59
XXII.	Rutina preventiva mecánica del ventilador de filtro	60
XXIII.	Rutina preventiva instrumentista del colector de polvo.....	62

XXIV.	Rutina preventiva instrumentista de la válvula rotativa	63
XXV.	Rutina preventiva instrumentista del ventilador del filtro	64
XXVI.	Listado de partes de desgaste	71
XXVII.	Listado de partes de desgaste 2	72
XXVIII.	Listado de piezas de desgaste.....	84
XXIX.	Listado de piezas de repuesto	84
XXX.	Dimensiones del montaje del embrague	88
XXXI.	Resumen de caudal de equipos.....	97
XXXII.	Caudal de aire.....	101
XXXIII.	Resumen de puntos de despolve.....	111
XXXIV.	Resumen del área lateral de ductos.....	113
XXXV.	Resumen del área lateral de los codos	120
XXXVI.	Resumen del área lateral de las válvulas.....	122
XXXVII.	Resumen del área lateral de caperuzas de venteo	128
XXXVIII.	Resumen del área lateral de las estructuras receptoras	131
XXXIX.	Resumen del área lateral de transiciones	135
XL.	Resumen del área lateral de autolimpiantes	138
XLI.	Cálculo de pesos.....	139
XLII.	Costo de equipos y estructuras mecánicas.....	141
XLIII.	Evaluación y mantenimiento de extintores.....	151
XLIV.	Matriz de riesgo en el área del montaje	153
XLV.	Análisis FODA.....	158
XLVI.	Matriz FODA	160
XLVII.	Medición de riesgo según grado de severidad.....	163
XLVIII.	Medición de riesgo según nivel de probabilidad.....	165
XLIX.	Matriz de riesgo estándar.....	166
L.	Toma de decisión.....	167

GLOSARIO

After Action Review a	Es una revisión estructurada o proceso, con el fin de analizar lo que pasó, por qué pasó y cómo se puede mejorar, por los participantes y los responsables del proyecto o evento.
Bastidor	Estructura que sirve de soporte a otros elementos.
Buje	Elemento de una máquina donde se apoya y gira un eje. Elemento de una máquina donde se apoya y gira un eje.
Caliza	Roca sedimentaria compuesta mayormente por carbonato de calcio y materia prima para la producción de cal.
Caperuza	Estructura mecánica receptora de caudales de despolve. Llamada también como campana.
Chifle	Estructura mecánica receptora de material.
Chumacera	Pieza mecánica en la cual gira el eje de un rodo.
Damper	Es un sistema de amortiguamiento en los equipos.

Galga	Elemento que se utiliza para la verificación de las cotas con tolerancias estrechas cuando se trata de piezas en serie.
Lechada de hormigón	Es básicamente la mezcla de cemento con agua, permite ser utilizado para rellenar cavidades y juntas entre materiales adyacentes.
Manifold	Parte del sistema de tuberías de cargue y descargue de caudales, en el cual confluyen varios tubos y válvulas, por lo que también se le conoce como múltiple de cargue.
Ratch	Dispositivo mecánico formado por una rueda dentada o cremallera, que permite que el movimiento sea en una sola dirección.
Válvula selenoide	Dispositivo operado eléctricamente utilizado para controlar el flujo de caudal en posiciones completamente abiertas o cerradas.
V.O.S.O	Inspección previa al mantenimiento preventivo, el cual no entra en contacto directo con los equipos y sus siglas significan: Ver, Oír, Sentir y Olfatear.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación desarrollado a través del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), tiene como finalidad, la definición y planificación del diseño y montaje del sistema de despolve para el área de hornos, en planta La Pedrera.

A través del diagnóstico de la situación actual del sistema de despolve se determinó el mejoramiento del mismo para optimizar su funcionamiento, con base a entrevistas y transferencias de conocimientos de proyectos similares. Se definieron las actividades del proyecto por medio de inspecciones mecánicas en el área de hornos y las duraciones con base a la realización de encuestas en el Departamento de Proyectos Nuevos. La planificación está conformada por una guía de pasos a seguir para el montaje de los equipos y estructuras metálicas, la verificación del funcionamiento del nuevo filtro a instalarse y cálculos de las dimensiones de estructuras mecánicas y accesorios.

Los resultados con los que concluyó el presente trabajo, fue definir y planificar el proyecto para evitar gastos no planificados en el montaje, evitar errores ya cometidos en proyectos similares y también llevarlo a cabo en un tiempo preestablecido. Por medio de la verificación y cálculos de ángulos, caudales, diámetros, puntos de despolve y dimensiones del diseño del sistema de despolve, se logró optimizar el caudal de despolve requerido en el sistema y estimar los costos de los equipos y estructuras metálicas para la licitación del montaje. Al reducir el caudal, se eliminó el filtro cotizado de 11 600 metros cúbicos por hora por uno de 9 500 metros cúbicos por hora lo cual representó un ahorro en el presupuesto del proyecto de \$10 770.

OBJETIVOS

General

Definir y planificar el diseño y montaje mecánico del sistema de despolve para el área de hornos, con base a la Metodología Gestión de Proyectos.

Específicos

1. Diagnosticar la situación actual del sistema de despolve del área de hornos.
2. Describir las actividades del montaje del nuevo sistema de despolve mediante el control y estimación de tareas en la realización del proyecto.
3. Elaborar una rutina de mantenimiento preventivo para los filtros nuevos a instalarse.
4. Crear un control del funcionamiento operativo del nuevo sistema de despolve.
5. Elaborar una guía de pasos para el montaje del nuevo sistema de despolve.
6. Verificar el diseño de ingeniería mediante cálculos técnicos mecánicos y así, establecer el presupuesto del montaje del sistema de despolve para área de hornos.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación desarrollado a través de EPS, define y planifica el diseño y montaje mecánico del sistema de despolve para el área de hornos. Consta de 4 capítulos descritos de la siguiente manera:

Capítulo 1: antecedentes generales. En él se muestra la historia de la empresa, la descripción específica de las áreas y funciones del departamento de Proyectos Nuevos y la metodología Gestión de Proyectos, la cual es la base para la definición del proyecto.

Capítulo 2: fase de servicio técnico profesional. Es el cuerpo principal del trabajo de graduación. Consta de 3 temas principales; definición del proyecto, planificación del montaje y planificación del diseño del sistema de despolve.

Se realizaron inspecciones de diagnóstico a los equipos, con las cuales se definieron las actividades primordiales del montaje y sus duraciones por medio de encuestas y cálculos de la ruta crítica de las mismas.

Se crearon rutinas de mantenimiento preventivo para los equipos a instalarse, una guía de pasos, listado de verificación de equipos e instrumentos e instrucciones de seguridad para el montaje.

La planificación del diseño del sistema de despolve, se llevó a cabo por medio de cálculos de caudales, ángulos, diámetros, codos, dimensiones de estructuras mecánicas y accesorios de la ductería del sistema, con el fin de calcular el peso de los ductos y estructuras mecánicas, para así estimar los costos de materiales para la licitación del montaje.

Capítulo 3: fase de investigación. Se mejoró el plan de contingencia ante desastre actual de planta La Pedrera, por medio de rediseños y actualizaciones. Se recopiló información de los antecedentes y tipos de desastres a los que está expuesta planta La Pedrera. Se creó una matriz de riesgo específica para el montaje de sistema de despolve.

Capítulo 4: fase de enseñanza aprendizaje. Radica en la necesidad de capacitar al personal involucrado en el proyecto. Se brindó un taller de una duración de 3 días, los temas fueron liderazgo, trabajo en equipo y motivación. Se capacitó a los supervisores contratistas de las fases planificación y ejecución de la Metodología Gestión de Proyectos. Se creó una matriz de riesgos estándar para ser aplicada en proyectos futuros.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Historia de Cementos Progreso, S.A.

Carlos Federico Novela Kleé fundador de Cementos Progreso, nació en la ciudad de Guatemala en 1871. Hijo de don Giovanni Carlo Girolamo Gaetano Novela Damerio, inmigrante italiano y de doña María Dolores Catalina Kleé y Ubico, guatemalteca, hija de inmigrante alemán. En 1892 se graduó de Ingeniero Civil de la Universidad de Lovaina en Bruselas, Bélgica. En Bélgica era productor de cemento Portland. Regresó a Guatemala en 1896, con deseos de hacer realidad el sueño de fundar una empresa cementera.

Fue con mucha visión y con la idea de fundar una de las primeras fábricas de cemento en Latinoamérica, que un 18 de octubre de 1899, don Carlos Federico Novela Kleé creó la empresa Carlos F. Novela y Cia. Don Carlos se aventuró a invertir en una cementera, ejerciendo, desde ese momento, un liderazgo transformador, ya que en ese tiempo el cemento no era el material que en Guatemala se utilizaba para la construcción. En 1901 se inició la comercialización de cemento producido en la Finca La Pedrera. A raíz del terremoto de 1917, se inició la verdadera demanda del cemento, ya que casi todas aquellas construcciones hechas con cemento soportaron las inclemencias de tal fenómeno natural.

La creciente demanda en el mercado creó la necesidad de incrementar la producción. En 1971 se inició la construcción de la primera línea en la planta San Miguel, 7 años después, en 1978, se construyó la segunda línea y se legalizó el nombre de Cementos Progreso, S.A. En 1996 principió la construcción de la tercera línea que arrancó en 1998.

1.2. Departamento de Proyectos Nuevos

El Departamento de Proyectos Nuevos trabaja con un código de valores, ética y conducta llamado COVEC. Este constituye el principal punto de referencia para el trabajo cotidiano del departamento. Tanto las estrategias, proyectos y campañas como la actividad misma de cada día deben estar acorde con su contenido. El COVEC aplica para toda persona que desempeña una labor dentro del departamento. Son considerados colaboradores del departamento los que se esfuerzan de distinta manera por hacerla crecer; desde los miembros de Gerencia hasta quienes ejecutan trabajos operativos. Todos están llamados a ser cada día mejores trabajadores, mejores ciudadanos y mejores líderes.

1.2.1. Visión

“Compartimos Sueños Construimos Realidades”¹

El término o frase de la visión se originó desde el día que el fundador de la empresa Ing. Carlos Federico Novela Kleé regresó de Bélgica. Él trajo un sueño, el cual era de montar una planta productora de cemento, aún cuando en Centroamérica el cemento no era muy utilizado.

¹ Departamento Proyectos Nuevos, planta La Pedrera Cementos Progreso, S.A.

Y así como él llevo a la realidad su sueño, la frase transmite que los colaboradores y clientes de Cementos Progreso también lo pueden realizar.

1.2.2. Misión

“Producimos y comercializamos cemento y otros materiales para la construcción acompañados de servicios de alta calidad”².

La misión se propone a:

- Dar a su personal la oportunidad de desarrollarse integralmente y reconocer su desempeño.
- Impulsar con sus proveedores una relación de confianza, cooperación y beneficio mutuo.
- Contribuir al desarrollo de la comunidad, además de proteger y mejorar el ambiente.
- Abastecer con eficiencia el mercado y cultivar con sus clientes una relación duradera para su mejor opción.
- Garantizar a sus accionistas una rentabilidad satisfactoria y sostenible.

² Departamento Proyectos Nuevos, planta La Pedrera Cementos Progreso, S.A.

1.2.3. Valores

La filosofía de Proyectos Nuevos cuenta con una gama de valores definidos, pero son únicamente cuatro los que son los pilares fundamentales de los colaboradores del departamento, los cuales son:

- Comportamiento ético: consiste en el esfuerzo constante por vivir cada día de acuerdo con los más altos valores morales. El criterio para medir ese esfuerzo es el mayor o menor respeto a la dignidad de la persona. Es ético todo aquello que va de acuerdo con la dignidad de la persona y no es ético todo aquello que denigra o rebaja a la persona. Proyectos Nuevos promueve el comportamiento ético a través de:
 - Lealtad: proteger los intereses de las personas o instituciones con quienes se establecen compromisos.
 - Responsabilidad: es la capacidad de reconocer y aceptar las consecuencias de los actos que ejecutan los colaboradores y sus decisiones.
 - Justicia: es la constancia en dar a las personas e instituciones con las que se tiene relación lo que les corresponde.
 - Transparencia: es decir la verdad a quien es debido en el momento debido.

- Liderazgo genuino: implica reconocer que todos los colaboradores pueden ser líderes en el entorno. El líder genuino visualiza: es proactivo, se anticipa a los cambios y resuelve problemas. Ejecuta: cumple y exige que se cumplan los compromisos adquiridos, reconoce el cumplimiento y amonesta el incumplimiento. Desarrolla: establece y mantiene relaciones de confianza y respeto. Modela: da el ejemplo con su propio comportamiento, refuerza los comportamientos deseados y amonesta los no deseados.
- Solidaridad: es acudir con prontitud y eficacia, en la medida de las responsabilidades de las actividades del departamento y capacidades de la misma, para satisfacer las necesidades humanas de aquellas personas o comunidades con las que se tiene relaciones profesionales, industriales, comerciales o de convivencia.
- Compromiso con la sostenibilidad del departamento: todo proyecto donde opera Proyectos Nuevos es pieza clave para el desarrollo de Cementos Progreso. El compromiso con la sostenibilidad, significa que se debe operar de modo eficiente, rentable y responsable con el entorno de la empresa, aprovechando al máximo los recursos y evaluando las inversiones futuras.

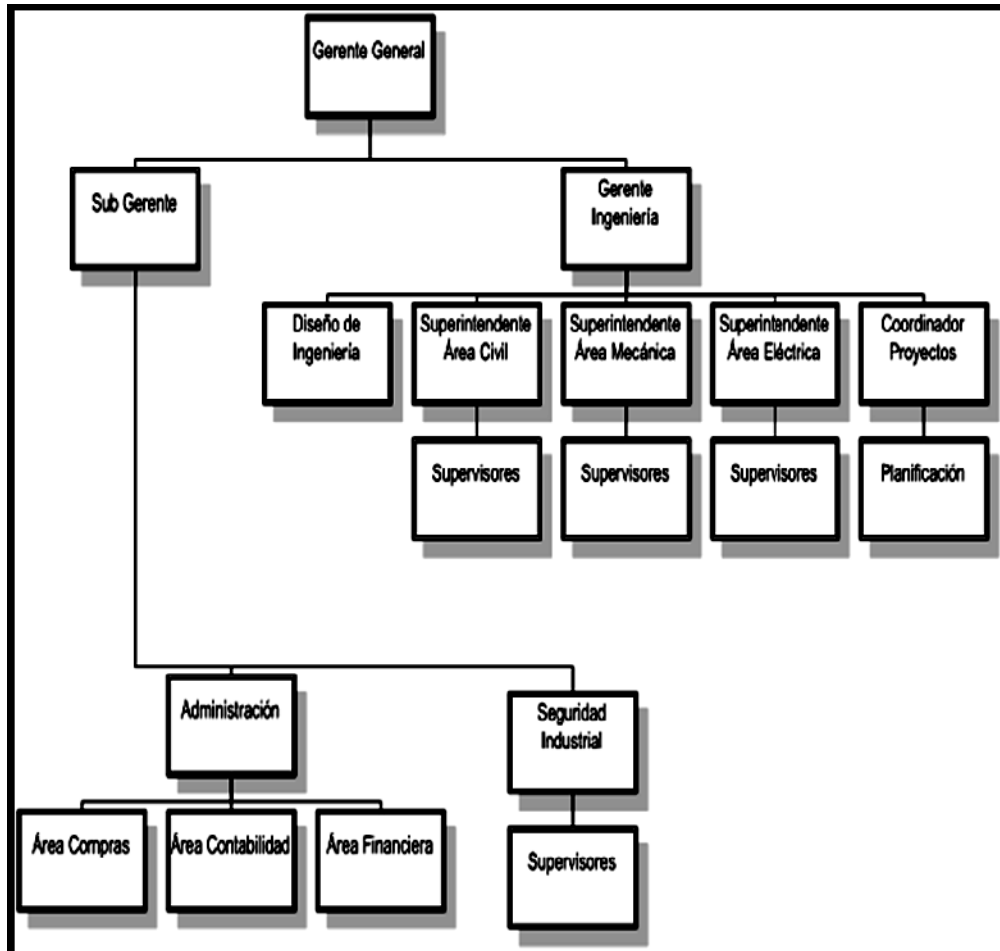
1.2.4. Organigrama

El organigrama del Departamento Proyectos Nuevos es de tipo vertical, donde la línea de autoridad se ejerce desde arriba hacia abajo, encabezados por el gerente general.

Posee una estructura funcional, la cual usa tanto gerentes funcionales como gerentes de proyecto para gerenciar a los mismos recursos, de forma que existen N proyectos en curso en la organización, existen N gerentes de proyecto que coordinan N equipos compuestos por recursos provenientes de las áreas funcionales. El resto de los recursos permanece en su área funcional de la organización, bajo la coordinación del gerente funcional. Al armar un equipo de proyecto existe un proceso de negociación entre el gerente del proyecto y los gerentes funcionales para asignar los recursos al proyecto. Una vez que estos recursos fueron asignados al proyecto, generalmente reportan al gerente del proyecto durante el período del proyecto y dejan de reportar a su gerente funcional.

En el Departamento de Proyectos Nuevos, el jefe de función es el gerente general del departamento y el jefe de proyectos es el gerente de ingeniería.

Figura 1. Organigrama del departamento



Fuente: elaboración propia.

1.2.5. Descripción de áreas y funciones

Proyectos Nuevos es un departamento que se divide en tres áreas principales: Área de Ingeniería donde se realiza toda la planificación del proyecto, Área Técnica la cual se encarga de aspectos civiles, mecánicos y eléctricos y el Área Administrativa.

1.2.5.1. Área de Ingeniería

Es el Área *Staff*, no está dentro de la planilla de la empresa, representada como un área de *outsourcing*. Sus principales funciones son:

- Brindar servicios
- Ofrecer consultorías y asesorías
- Monitorear
- Revisar la ingeniería preliminar
- Revisar la ingeniería a detalle

Esta área presta servicios y recomienda, pero no puede tomar decisiones finales. No puede obligar a los demás órganos a que acepten sus servicios y recomendaciones. Los asesores *staff* son técnicos e ingenieros con preparación profesional, especializados en su área. El Área de Ingeniería diseña y revisa ingeniería de los proveedores. Al ser aprobada la ingeniería preliminar y detalle, la responsabilidad ya no radica en el proveedor. Es por ello, que los asesores del Área de Ingeniería deben tener gran experiencia en el tema y por lo general han trabajado en varias plantas del extranjero.

1.2.5.2. Área de Obra Civil

Una vez revisados los planos y la ingeniería preliminar y detalle, el área de obra civil procede a realizar estudios de suelos y de impacto ambiental, visitas a campo, mediciones, etcétera. Se estima el costo del proyecto y si este está dentro del rango del presupuesto, se inician los procedimientos administrativos para iniciar con el proyecto.

Si la obra civil ya está definida se tramitan las licencias de construcción. Los supervisores son los encargados de coordinar y monitorear el trabajo del contratista, para que este se entregue con la mayor calidad posible y en el tiempo previsto. Sus principales funciones son:

- Supervisión de movimiento de tierras
- Verificación del nivel de suelo
- Supervisión de cimentaciones y fundiciones
- Supervisión de trabajos como: drenajes, canaletas, muros perimetrales, sillares, pedestales, montaje de columnas, vigas, costaneras, estructuras metálicas, templetes, tensores, monitores, etcétera.
- Monitoreo de avances de la obra
- Programación de planes de trabajo
- Supervisar los permisos de trabajo

1.2.5.3. Área Mecánica

Al estar revisados los planos, la ingeniería preliminar y detalle, se realizan visitas a campo. No sólo los costos de los equipos mecánicos a instalarse se estiman, también el peso del material mecánico a utilizarse, diámetros de tubería, caudales, longitudes de tubería, estructuras mecánicas, etcétera. Ya estimado el costo del montaje y si este se encuentra dentro del rango del presupuesto, se inician los procedimientos administrativos para empezar con el montaje.

Las principales funciones del supervisor mecánico son:

- Verificar el estado de los equipos mecánicos
- Revisar las piezas de repuesto
- Supervisar la cimentación y anclaje del equipo
- Supervisar el montaje de equipos
- Verificar fabricación de estructuras mecánicas
- Supervisar el montaje de estructuras mecánicas
- Verificar trabajos y condiciones como; fugas, ángulos, dimensiones, esfuerzos, pesos, presiones, caudales, áreas, etcétera.

1.2.5.4. Área Eléctrica

Por lo general, el trabajo eléctrico empieza al finalizar el mecánico. Con la revisión de los planos y la ingeniería preliminar y detalle, el Área Eléctrica estima el costo de la instalación y si está dentro del rango del presupuesto, se inician los procedimientos administrativos para proceder con la instalación.

El trabajo eléctrico es el más peligroso, es por ello, que sólo personal capacitado debe participar en las instalaciones eléctricas y las pruebas de arranque.

Las principales funciones del supervisor eléctrico son:

- Supervisión de aislamientos
- Supervisión de instalaciones eléctricas
- Programación de PLC
- Visualizaciones y automatizaciones
- Instalaciones de cableado
- Instalaciones de conexiones

1.2.5.5. Área Administrativa

El Área Administrativa es la encargada de los procesos legales, financieros y de costos. Se divide en tres subáreas que son las siguientes:

- Subárea financiera: por medio de la licitación de ingeniería, se pueden estimar los costos del proyecto, con base en el peso de los materiales, descripción del proyecto, cotizaciones de equipos, contratistas seleccionados, etcétera, con ello se crea la aprobación de solicitud de pedido. Este documento pronostica el tiempo de duración del proyecto, costos aproximados, cantidad de material a utilizarse y todas aquellas tareas que detallen profundamente el proyecto.

Al estar firmado por el encargado del proyecto, la aprobación de solicitud de pedido, se crea el documento CAPEX, que por medio de análisis y estudios de las cotizaciones define el presupuesto del proyecto. Con el CAPEX se preparan las órdenes Co., este es un documento, en el cual el cliente aprueba el proyecto, que generalmente es la Gerencia de Cementos Progreso.

- Subárea de compras: al recibir las ofertas de las cotizaciones, el área de compras selecciona los contratistas que participarán en el proyecto. Al estar ya definidos los contratistas comienza el proceso del contrato. Paralelamente se libera la aprobación de orden de compra, con el cual se puede empezar a comprar lo previsto en el CAPEX.
- Subárea de contabilidad: es el área que controla los gastos del departamento y la encargada de facilitar las entregas de los anticipos para los contratistas.

1.3. Metodología Project Management Approach

El objetivo del PMA consiste en la creación de un lenguaje común, que brinde al departamento de Proyectos Nuevos una metodología lógica y práctica en el área de gestión de proyectos. La integración explícita tanto de la búsqueda de conocimientos disponibles al inicio del proyecto, como la transferencia del conocimiento adquirido al final del mismo, contribuyen a que el departamento sea una organización que aprende más rápidamente (Faster Learning Organisation).

La aplicación consistente del PMA da como resultado beneficios considerables tanto para el proyecto en curso como para los futuros, como por ejemplo:

- Todas aquellas partes afectadas por el proyecto son explícitamente involucradas.
- El producto o servicio a entregarse en el proyecto es definido precisamente y aceptado por el cliente.
- Se consideran los riesgos, oportunidades y medidas preventivas.
- El avance del proyecto es revisado regularmente para asegurar que el plan, el presupuesto y el producto o servicio a entregar permitan alcanzar los objetivos.
- La metodología se enfoca en el trabajo en equipo y en la comunicación interfuncional.

- Facilita la comunicación de los proyectos dentro del departamento.
- La transferencia del conocimiento adquirido en un proyecto a otros nuevos.

Las fases de la metodología PMA aplicadas a este proyecto son tres:

- Fase I: definición del proyecto
- Fase II: planificación del proyecto
- Fase III: ejecución del proyecto

1.3.1. Definición del proyecto

En esta fase, el objetivo radica en establecer una relación con el cliente y en comprender realmente sus metas. Asimismo, es también objetivo recoger información suficiente con el fin de garantizar que el proyecto sea definido apropiadamente, que sea viable y aceptable para el equipo del proyecto.

Durante esta fase, es clave ser explícitamente claro con el cliente y con el equipo del proyecto que estará incluido en la definición del proyecto, así como lo que no será realizado durante el mismo. Con el fin de ofrecer la mejor solución posible, es necesario abordar los supuestos expresados tanto por el cliente como por el equipo del proyecto. Se podrán mantener varias reuniones sobre la definición del proyecto (dependiendo de la magnitud del proyecto), tanto internas (dentro del equipo de proyecto) como con el cliente, para acordar y llegar a un entendimiento común sobre todos los detalles necesarios para el proyecto.

- **Análisis de la situación inicial:** se busca alcanzar un entendimiento común de la definición del proyecto, dando una explicación estructurada a la situación inicial del cliente. Esto ayudará a obtener una imagen clara de las razones del cliente para iniciar el proyecto. El análisis de la situación inicial garantiza que los motivos reales del cliente para iniciar el proyecto, sean totalmente transparentes y comprensibles para el equipo a cargo del proyecto.
- **Búsqueda de las lecciones aprendidas:** el presente paso es garantizar que se tengan en cuenta las lecciones aprendidas de proyectos similares. Utilizando las lecciones aprendidas para tomar decisiones acerca del contenido o de la gestión del proyecto, ayudará a mejorar el proyecto en tiempo, costo y calidad. La identificación explícita de las fuentes y de las lecciones que pueden ser aplicadas en el proyecto, ayudan a ofrecer al cliente, soluciones adecuadas a través de la integración de experiencias previas.
- **Definición del producto o servicio:** consiste en definir el producto o servicio derivado de los objetivos del proyecto, por medio de análisis o investigaciones. Una vez definido el proyecto será más fácil de controlar el proyecto en las fases posteriores.
- **Calendario de hitos:** definir los hitos que deben alcanzarse con el fin de entregar el producto o servicio acordado. Una vez que el producto o servicio ha sido definido, el calendario de hitos muestra cómo será realizado. La identificación de resultados intermedios ayuda a monitorear el progreso del proyecto.

Los hitos SMART (**e**Specificos, **M**edibles, **A**lcanzables, **R**elevantes, a **T**iempo) hacen más fácil controlar el proyecto en cualquier fase. La definición de los hitos permite realizar una primera estimación de los recursos necesarios para el proyecto. La definición de los hitos permite el establecer más adelante tanto el plan detallado del proyecto, como el listado de actividades.

- Estimación de los costes del proyecto: consiste en elaborar una estimación de los costes para compararla con las restricciones de coste del cliente. La estimación otorga una primera impresión de la factibilidad del proyecto considerando tanto los costes como los beneficios del mismo (Licitación). Los costes de las fases II y III son considerados separadamente pues es importante conocer cuánto dinero será gastado en la fase de definición del proyecto. Si el proyecto no es aprobado, este dinero será perdido.
- Acuerdo con el cliente: consiste en obtener la aprobación formal del cliente para lanzar el proyecto. La aprobación se basa en todos los aspectos de la definición del proyecto. La firma del cliente debería garantizar el compromiso total del mismo con la definición realizada. El acuerdo contribuye a evitar malentendidos (entre el equipo del proyecto y el cliente) sobre los contenidos del proyecto.

1.3.2. Planificación del proyecto

El objetivo en esta fase es detallar el proyecto de acuerdo con lo acordado durante la fase de definición, en términos de tareas que deben planificarse y los costes que implican. Asimismo, se debe establecer un plan de comunicación.

El propósito de todos estos pasos es elaborar una descripción lo más completa posible del método de trabajo durante las fases siguientes del proyecto.

Al final de esta fase el equipo del proyecto deberá estar en condiciones de comenzar a trabajar en el producto o el servicio definido, motivo por el cual, todos los implicados deben entender el proyecto a la perfección y estar absolutamente comprometidos con el mismo.

Todos deben comprender cómo se llevarán a cabo la comunicación y las revisiones, dónde se almacenarán los documentos y cuáles serán las tareas a finalizar con el fin de alcanzar los hitos, así como de qué manera las diferentes tareas están interconectadas. Si fuera necesario, el equipo del proyecto deberá ser capacitado antes de involucrarse en el proyecto.

- Plan detallado del proyecto: consiste en detallar el calendario de hitos acordado, describiendo las tareas necesarias para alcanzar los hitos definidos. Con el plan detallado del proyecto, el equipo dispone de una herramienta de control que no sólo muestra las tareas a realizar sino también sus interdependencias. Se debe entender cuáles son las tareas que se encuentran en la ruta crítica. Esto permite hacer un control más preciso del proyecto durante la fase de realización y en consecuencia el cumplimiento de la fecha acordada de finalización del proyecto.
- Presupuesto del proyecto: consiste en planificar en detalle los costes en los que se incurrirá durante el proyecto, así como el momento en que ocurrirán. Con el presupuesto, el equipo del proyecto estará en condiciones de comparar los costes actuales con los previstos y podrá adoptar medidas si fuera necesario.

- Reunión de arranque: consiste en finalizar la fase de planificación y garantizar que todos los aspectos han sido debidamente considerados, con el fin de comenzar la fase de ejecución. La reunión de inicio contribuye a la consolidación del equipo y a maximizar el impulso para comenzar la realización del proyecto con un compromiso común. Es especialmente importante que el equipo esté comprometido y con un entendimiento común del proyecto para abordar los problemas que puedan surgir durante la realización.

1.3.3. Ejecución del proyecto

El objetivo radica en garantizar la entrega del producto o servicio definido de acuerdo con la definición del proyecto (fase I). Para ello, serán necesarias revisiones periódicas del proyecto tanto dentro del equipo del proyecto como con el cliente, con el fin de controlar adecuadamente los costes, la calidad y el tiempo. Evaluar con el cliente y el equipo del proyecto la manera de trabajar durante el proyecto. Debe garantizarse que todas las lecciones aprendidas sean resumidas. Finalmente, se deberán definir acciones que permitan transferir las lecciones aprendidas a las personas adecuadas para permitir mejoras en el futuro.

Con el fin de entregar el producto o el servicio, se deben discutir ciertos temas abiertamente en las reuniones de revisión dentro del equipo y con el equipo de dirección. Debe quedar absolutamente claro que, luego de la finalización del proyecto, el cliente y su organización es totalmente responsable de sustentar y mantener el producto o servicio entregado por el equipo del proyecto. Cualquier acción pendiente dentro de la responsabilidad del equipo del proyecto, será explícitamente documentada y acordada en una lista de entrega.

- Listado de actividades: consiste en establecer la secuencia de actividades necesarias para completar las tareas definidas, en el plan detallado del proyecto dentro de un período de tiempo determinado. Una definición detallada de las actividades, así como una clara asignación a las personas responsables garantizarán coordinación y control adecuados. El listado de actividades es una herramienta de gestión de tiempo para el proyecto.
- Revisión del proyecto: consiste en revisar dentro del equipo todas las actividades con el fin de controlar proactivamente el progreso del proyecto e identificar y abordar cualquier tema que haya surgido. Esto requiere un entendimiento común de los logros alcanzados en términos de los costes, el tiempo empleado y la calidad de los resultados. Los temas deberán ser resueltos efectuando una decisión o definiendo una acción. Esto resultará en un estilo de gestión más proactivo que reactivo. La revisión del proyecto es además el principal sistema de control del que disponen el jefe de proyecto y el equipo.
- Recopilación de conocimientos: consiste en recopilar el conocimiento a medida que vaya surgiendo. Los conocimientos pueden ser capturados luego de evaluar el avance del proyecto en términos de costo, tiempo y calidad. Con la recopilación del conocimiento poco después de que se produzca el aprendizaje se garantiza que todos los elementos importantes del conocimiento sean entendidos. Asimismo, facilita la transferencia de conocimientos más eficaz. Aprendiendo de los demás, el conocimiento disponible puede aplicarse repetidamente.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Diagnóstico de la situación actual del sistema de despolve área de hornos

El diagnóstico de la situación actual del sistema de despolve, se basó en la toma de datos de un historial de un proyecto similar y por medio de la realización de una entrevista estructurada en el Departamento de Proyectos Nuevos.

2.1.1. Toma de datos para el diagnóstico


El proyecto más reciente y similar al del sistema de despolve para el área de hornos, fue el montaje de la nueva línea de cal, planta San Miguel. En este proyecto se montó un sistema de despolve para el horno de la piedra caliza. De este proyecto se analizaron los conocimientos de transferencia (After Action Review), tanto aspectos técnicos como de gestión de proyectos. Se recopilaron las lecciones aprendidas del montaje de la línea de cal, para ser consideradas y evitarse en la planificación del montaje del sistema de despolve. Algunos de los puntos a tomarse en cuenta son los siguientes:

- Suspensión de personal por no seguir al pie de la letra las normas de seguridad: se propone en las páginas 65 a 81 instrucciones de seguridad y guías de pasos del montaje de equipos.

- Deficiencia en la comunicación del contratista con el equipo de proyectos nuevos: se realizaron capacitaciones y talleres para la retroalimentación de contratistas.
- Revisar la ingeniería a detalle para evitar correcciones en el campo: se muestran los cálculos y verificaciones de dimensiones de estructuras mecánicas, para su revisión previa al montaje.
- Verificar si las piezas de repuesto están en su totalidad: se propuso un listado de equipos e instrumentos de los equipos principales a montarse.

Los involucrados para la realización del sistema de despolve en el área de hornos son: el Departamento de Proyectos Nuevos y el cliente (gerente de planta La Pedrera), determinados como factores internos. Ambiente, los proveedores y los terceristas, determinados como factores externos. A continuación se muestran las entrevistas realizadas a los jefes encargados del proyecto, administrativo y seguridad e higiene.

Tabla I. **Formato de entrevista al personal del Departamento
Proyectos Nuevos**

	Departamento:
	Área:
	No:
Nombre:	
Puesto:	
Enfoque de la entrevista:	
<p>Las respuestas de los entrevistados deben estar con base en los factores internos y externos: factores internos: Departamento Proyectos Nuevos y el Cliente. Factores externos: ambiente, proveedores y terceristas.</p>	
Preguntas	
<ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Qué debe mejorar para la realización del proyecto? 2. ¿Qué afecta al proyecto directamente? 3. ¿Qué afecta al proyecto indirectamente? 4. ¿Qué exigencias y compromisos existen? 5. ¿Qué deficiencias pueden presentarse para la definición de este proyecto? 6. ¿Qué deficiencias pueden presentarse para la planificación de este proyecto? 	

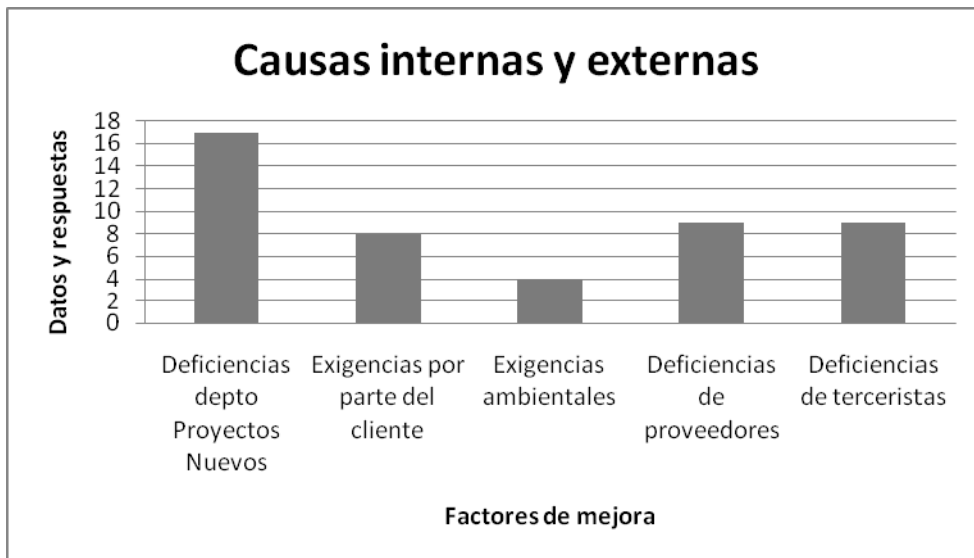
Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Análisis de las entrevistas por áreas del departamento

Con base a las lecciones aprendidas en el proyecto similar y a las entrevistas efectuadas a los jefes inmediatos del proyecto, mostrados en los literales anteriores, se filtraron las respuestas de la lluvia de ideas recopilada en la entrevista y se definieron las causas que afectan al Departamento de Proyectos Nuevos, en la realización del montaje del sistema de despolve.

- Causa raíz: deficiencia mecánica y contaminación al ambiente en el sistema de despolve del área de hornos.

Figura 2. Gráfico de determinación de causas



Fuente: elaboración propia.

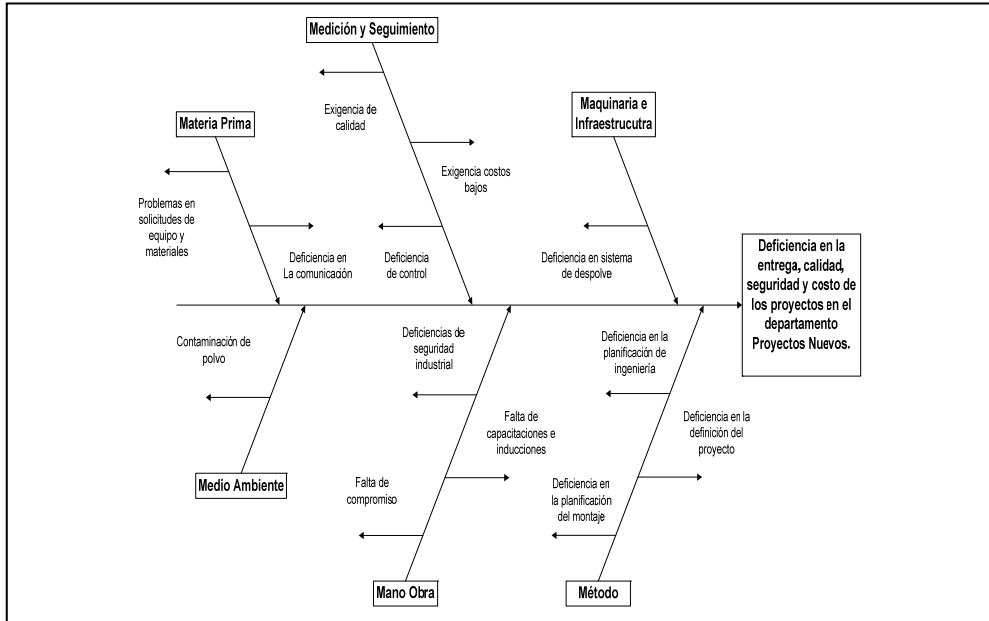
- Causas internas del departamento
 - Factor Departamento Proyectos Nuevos: deficiencia en la planificación de Ingeniería, falta de planificación del montaje, deficiencia del control y de análisis de la definición del proyecto.
 - Factor cliente: exigencias de calidad, de entrega a tiempo y de costos bajos.

- Causas externas del departamento
 - Factor ambiente: cumplimiento de las Normas Ambientales, deficiencias en el sistema de despolvo.
 - Factor proveedores: falta de comunicación, problemas en la solicitud de materiales y equipo.
 - Factor terceristas: falta de seguridad industrial y compromiso, deficiencia en las capacitaciones e inducciones.

- Efecto

Todas estas causas conllevan a la necesidad inmediata de la realización del proyecto: definición y planificación del diseño y montaje mecánico del sistema de despolvo para el área de hornos, con base en la Metodología Gestión de Proyectos (Project Management Approach).

Figura 3. Diagrama Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

A continuación se muestran las conclusiones del diagrama Ishikawa, enfocadas en las causas internas y externas del departamento.

Tabla II. Conclusiones del diagrama Ishikawa

<p>Se realizará el proyecto de la mejora mecánica del sistema de despolvo del área de hornos, el cual ejecutará el Departamento de Proyectos Nuevos.</p>
<p>Para atacar las causas internas y externas mostradas en el diagrama ishikawa, se planificará y definirá el diseño y montaje del sistema de despolvo con base en la Metodología Gestión de Proyectos, para garantizar que en la ejecución del proyecto no hayan deficiencias en la entrega del proyecto, en lo qe corresponde a: tiempo, costo, calidad y seguridad industrial.</p>

Fuente: elaboración propia.

2.2. Propuesta de la definición del montaje mecánico del sistema de despolve, según la Metodología Gestión de Proyectos

Consistió en definir la necesidad de la realización de un nuevo sistema de despolve para el área de hornos, derivado de las causas del análisis de la situación actual del área. Se inspeccionaron los equipos involucrados en el sistema de despolve actual y se definieron las tareas específicamente del montaje a través del análisis V.O.S.O. Posteriormente se definieron todas las tareas del proyecto y la duración del mismo.

2.2.1. Visita al área de hornos

Se visitó el área de hornos, en planta La Pedrera. Para determinar los problemas técnicos de los equipos involucrados en el sistema, se realizó la inspección V.O.S.O. Los equipos a aplicar su inspección V.O.S.O. fueron los principales del sistema de despolve y ductos de mayor desgaste: un gusano que recibe la cal viva del elevador, el filtro actual de 5 000 metros cúbicos por hora, el ventilador de succión del filtro, la válvula rotativa de descarga del filtro y el sistema de ductos actual, que se pueden apreciar en el anexo 3.

2.2.1.1. Aplicación V.O.S.O. mecánico

La inspección V.O.S.O., consta de una serie de preguntas de revisión que se le aplican a los equipos e instrumentos, las cuales se muestran en la tabla II. Se realiza antes del mantenimiento preventivo y este determina superficialmente el estado de los equipos e instrumentos, la mayoría de veces aún cuando están en funcionamiento. Sus siglas significan: Ver, Oír, Sentir y Olfatear. Las preguntas para la inspección se muestran en la tabla III.

Tabla III. V.O.S.O. mecánicos

Preguntas de revisión: filtro actual	No	Si
¿Está colocada la guarda de las chumaceras y en buen estado?		x
¿Hay temperatura en chumaceras?		x
a) Lado transmisión		x
b) Lado impulsor	x	
¿Hay vibración anormal en el equipo?	x	
¿Hay ruido anormal en el equipo?	x	
¿Hay entradas de aire falso por los registros?		x
¿Es correcta la posición del damper?		x
¿Está sacando partículas de polvo al ambiente?		x
¿Están rotas las juntas de expansión del ducto de succión?		x
Preguntas de revisión: válvula rotativa de descarga	No	Si
¿Hay vibración anormal en el equipo?		
¿Hay ruido anormal?	x	
¿Está limpio el respiradero?	x	
¿Hay temperatura anormal en reductor?	x	
a) ¿En el eje de entrada?	x	
b) ¿En la caja de reductor?	x	
a) ¿En el eje de salida?	x	
a) ¿En el motor-reductor?	x	
¿Hay temperatura anormal en chumaceras?		x
¿Está colocada y en buen estado la guarda del acople?		x
¿Está en buen estado el brazo de la base del reductor (pin de soporte)?		x
¿Se encuentran tornillos flojos en el anclaje del reductor?		x
¿Hay fuga de aceite en los sellos o registros del reductor?		x
Preguntas de revisión: gusano de descarga	No	Si
¿Hay temperatura anormal en la chumacera lado libre?		x
¿Hay ruido y vibración anormal en la chumacera lado libre?		x
¿Hay tornillos flojos en la carcasa del gusano?		x
¿Hay ruido anormal en el motor-reductor?	x	
¿Hay temperatura anormal en el motor-reductor?	x	
a) ¿En el eje de entrada del motor-reductor?	x	
b) ¿En caja de motor-reductor?	x	
¿Hay fugas de aceite por sellos del motor- reductor?		x
Preguntas de revisión: ductos del sistema	No	Si
¿Hay grietas en los ductos?		x
¿La temperatura es mayor que 50° ?		x
¿Hay fuga de material en los ductos?		x

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.2. Aplicación V.O.S.O. eléctrico

La inspección eléctrica se realizó después de la mecánica y esta se efectuó con suma precaución debido a los riesgos eléctricos que los equipos poseen y es por ello, que para la inspección se tuvo que visitar el área, en un día de paro programado por planta. Se aplicó básicamente a motores, conexiones y botoneras. Las preguntas a revisión de los equipos se muestran en la tabla IV.

Tabla IV. V.O.S.O. eléctricos

¿Están apretados los tornillos de anclaje del motor?		x
¿Hay vibración anormal en el motor?	x	
¿Hay algún ruido anormal en el motor?	x	
¿Hay algún daño en la caja de conexiones del motor?	x	
¿Falta visera de protección en la botonera?	x	
¿Está mal sujetado el sensor?	x	
¿Hay algún daño en la tubería, cableado y sensor de movimiento?	x	
¿Hay algún daño en la unidad de mantenimiento?	x	
¿Está la presión del manómetro a menos de 80 psi?		x
¿Hay algún daño en la electroválvula del diafragma?	x	
Preguntas de revisión: gusano de descarga	NO	SI
¿Cuál es la temperatura del motor?		
a) Lado libre: recomendada 36 °C		41 °C
b) En el cuerpo del motor: recomendada 45 °C		48 °C
c) Lado carga: recomendada 50 °C		55 °C
¿Está en buen estado el motor?		x
¿Tiene daño el ventilador de enfriamiento y su guarda?		x
¿Están apretados los tornillos de anclaje del motor?		x
¿Hay vibración anormal en el motor?	x	
¿Hay algún ruido anormal en el motor?	x	
¿Hay algún daño en la caja de conexiones del motor?	x	
¿Falta visera de protección en la botonera?	x	

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.3. Aplicación V.O.S.O. instrumentista

Es la última inspección a realizarse, el mal estado de los instrumentos tales como medidores de presión, sensores de temperatura, velocidad, etcétera, pueden determinar un mal funcionamiento en los equipos, inclusive cuando estos operen de una manera satisfactoria. Es por ello, que hay que cerciorarse del buen estado y posición de los instrumentos, antes de la toma de lectura de los mismos. Las preguntas de revisión se muestran en la tabla V.

Tabla V. V.O.S.O. instrumentistas

Preguntas de revisión: filtro actual	No	Si
¿Es la presión de los manómetros menor a 70 psi?		x
¿Hay algún daño en las tuberías, instrumentos y panel de diferencial?		x
¿Está en buen estado los tableros de control y asegurados sus soportes?	x	
¿Está variando la indicación del diferencial de presión?		x
¿Están mal sujetados ñps sensores de presión?		x
¿Hay daño en la tubería o cableado en sensor de temperatura del ducto de entrada?		x
Preguntas de revisión: ventilador del filtro	No	Si
¿Está en mal la tubería y cableado del panel de accesorios del motor?	x	
¿Está en mal estado el cableado y sensor de temperatura?		x
¿Está en mal estado el cableado y sensor de vibración?	x	
¿Están conectados los cables de tierra?		x
¿Estan en mal estado el cableado y los sensores de temperatura?	x	
¿Están ambos brazos del damper en diferente posición?		x
¿Está el cableado, tubería eléctrica del actuador en mal estado?		x
¿Está el selector auto/manual en posición auto?		x
Preguntas de revisión: válvula rotativa de descarga	No	Si
¿Está mal sujetdo el sensor?	x	
¿Hay algún daño en las tuberías, cableado y sensor de movimiento?		x
¿Hay algún daño en la unidad de mantenimiento?	x	
¿Hay algún daño en la electroválvula del diafragma?		x
Preguntas de revisión: gusano de descarga	No	Si
¿Está la tubería y cableado del sensor de movimiento en mal estado?	x	
¿Está floja la base del sensor de movimiento?	x	
¿Es la distancia del sensor de movimiento con la pieza metálica mayor de 10 mm?	x	

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Análisis de inspección V.O.S.O.

Las preguntas de revisión (tablas III, IV y V) de las inspecciones mecánicas, eléctricas e instrumentista hicieron un total de 105. Se clasificaron las preguntas según el sentido (factores) utilizado en la inspección; Ver, Oír, Sentir u Olfatear. Los factores se determinaron en: estado óptimo y estado no óptimo. El resumen que interpreta los factores se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. V.O.S.O. resumen

Factores	Estado óptimo	Estado no óptimo	Total
Ver	43	25	57
Oír	9	4	14
Sentir	14	9	32
Olfatear	0	1	2
Total	60	45	105
Porcentaje (%)	62,85	37,15	100

Fuente: elaboración propia.

La inspección V.O.S.O. acepta hasta un 25% de estados no óptimos, para que se aplique el mantenimiento preventivo de pasar el máximo tolerable de estados no óptimos se deberá aplicar un mantenimiento correctivo o bien la sustitución de equipos. El análisis de las inspecciones muestra que el estado no óptimo de los equipos representa un 37,15%. La necesidad de la sustitución de equipos y un rediseño en el sistema de despolve se ve aceptada con el análisis V.O.S.O.

2.2.2.1. Determinación de hitos SMART

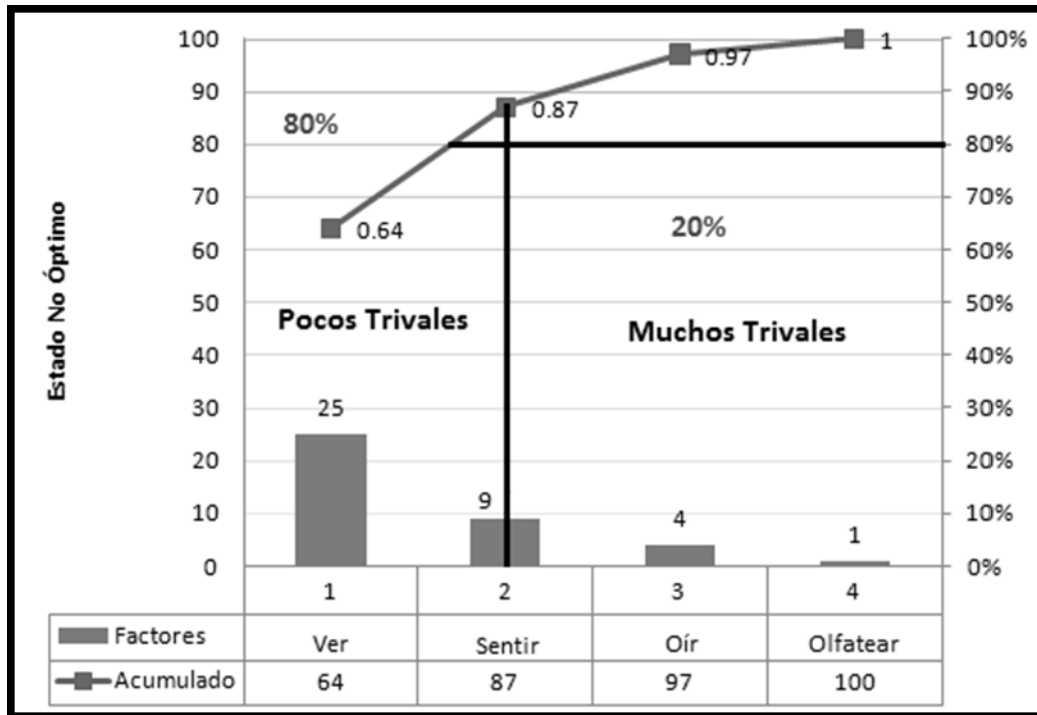
Los hitos SMARTS son el producto o servicio a realizarse en el proyecto. Se tomaron en cuenta únicamente los factores no óptimos de las inspecciones V.O.S.O., para la aplicación del diagrama de Pareto. Por medio de una ponderación de peso otorgada a los factores de las inspecciones V.O.S.O. y el análisis del diagrama Pareto, se definió cuáles eran los factores de mayor importancia y las medidas a tomar para los factores. A continuación se muestra la ponderación de los factores y el diagrama Pareto.

Tabla VII. Ponderación de factores

Factor	Número de estados no óptimos	% del total	% acumulado del total
Ver	25	64	64
Sentir	9	23	87
Oír	4	10	97
Olfatear	1	3	100
Total	39	100	100

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Diagrama Pareto de la inspección V.O.S.O.



Fuente: elaboración propia.

El diagrama Pareto se divide en dos grupos, que califican la importancia en la contribución de los factores.

- Pocos vitales: son los factores muy importantes en su contribución y representan el 80% de la ponderación para tomar medidas de acción.
- Muchos triviales: son los factores con menor importancia en su contribución y representan el 20% de la ponderación para tomar medidas de acción.

Tabla VIII. **Análisis Pareto**

Factores poco triviales	Descripción
Ver	Grietas, hoyos en ductos, derramamiento de material en sistema de ductos de cadena de arrastre, elevadores, el gusano de descarga y la banda transportadora.
Sentir	Temperatura anormal en los motor-reductores de la válvula rotativa, en el cuerpo del filtro, poleas y chumacera del ventilador.

Fuente: elaboración propia.

Los factores poco triviales mostraron ineficiencia de despolve en la mayor parte del sistema de ductos y altas temperaturas en los equipos principales del sistema de despolve, a consecuencias de desgastes mecánicos. La mejora de estos factores se logrará con los siguientes hitos.

- Verificación de la operación del funcionamiento de los filtros a instalarse.
- Rediseño del sistema de despolve.
- Instalación de nuevos ductos de despolve para elevadores transportadores para envasadora y otros equipos.
- Instalación de nuevos ductos de despolve para la cadena de arrastre.
- Instalación de nuevos ductos de despolve del gusano de descarga.

- Instalación de nuevos ductos de despolve para la banda transportadora.
- Cálculo de caudal requerido para los filtros a instalarse.
- Diseño de estructuras y accesorios mecánicos.

2.2.3. Definición de tareas según Metodología Gestión de Proyectos

El proyecto está compuesto de 5 fases: definición del proyecto: en esta fase se diagnostica la necesidad de la realización del proyecto y en ella se definen las medidas a tomar por medio de los hitos SMART. Planificación del proyecto: es la fase más importante del proyecto, en ella se realiza la ingeniería detallada de los diseños del producto o servicio y con base en la ingeniería se estiman los costos del proyecto.

Procesos administrativos: en esta fase se aprueban los costos estimados de la fase anterior y se generan las solicitudes de compra de: equipos y servicios de supervisión y la ejecución del producto. Seguridad industrial: en esta fase se vela por la seguridad personal de todo el equipo involucrado en el proyecto y también se busca minimizar los riesgos de incidentes por medio de matrices de riesgo y chequeos de equipos. Ejecución del proyecto: es la realización del producto o servicio

A continuación se muestran las tareas principales del proyecto, la duración se estimó mediante la realización de una encuesta mostrada en los anexos.

- Definición del proyecto
 - Situación actual del área del montaje
 - Hitos SMART
 - Acuerdo con el cliente

- Planificación del proyecto
 - Ingeniería preliminar
 - Diseño y revisión de Ingeniería
 - Invitación a licitación
 - Recepción de ofertas
 - Selección de ofertas

- Procesos administrativos
 - Aprobación CAPEX
 - Creación órdenes Co
 - Aprobación de solicitud
 - Contrato
 - Aprobación de compra
 - Entrega anticipo

- Seguridad industrial
 - Elaboración de matriz de riesgo
 - Inducción y capacitación
 - Chequeo de equipo

- Ejecución del proyecto
 - Inicio
 - Medición de avances
 - Fin

Para la estimación de la duración de las tareas, se proporcionó una encuesta al personal del Departamento de Proyectos Nuevos, involucrada en el proyecto del montaje del sistema de despolve para áreas de hornos, planta La Pedrera. El personal encuestado se desglosa de la siguiente manera:

- Área mecánica: 12 personas
- Área eléctrica: 6 personas
- Área administrativa: 12 personas

Haciendo una población de 32 personas. Para la realización de las encuestas se determinó la muestra, que es el número de encuestas, con la siguiente fórmula:

$$n = (Z^2pqN) / (Ne^2 + Z^2pq)$$

El nivel de confianza que se utilizó fue del 90% y un grado de error de 10%.

- Cálculo de la muestra:

$$n = ((1,65^2)*0,5*0,5*32) / (32*(1,65^2) + (1,65^2)*0,5*0,5)$$

$$n = 21,7664 \approx 22$$

En la parte superior de la encuesta, véase anexo 1, hay 3 preguntas que sirvieron para rechazar 10 encuestas. Las preguntas son: ¿Área a la que pertenece?, ¿Puesto que desempeña? y ¿Tiempo de laborar en Proyectos Nuevos? Se consideró no tomar en cuenta aquellos encuestados, que no juegan un papel fundamental en el montaje y los que tienen una trayectoria laboral menor a 5 años, en el Departamento de Proyectos Nuevos. Las encuestas rechazadas son:

- Área mecánica: 3
- Área eléctrica: 2
- Área administrativa: 5

La encuesta consta de 9 preguntas; 3 preguntas mencionadas en el párrafo anterior y 6 preguntas con las cuales se definió la duración de las tareas principales del proyecto. Los encuestados contestaron únicamente aquellas preguntas relacionadas con su área de trabajo.

- Análisis de las preguntas de la encuesta

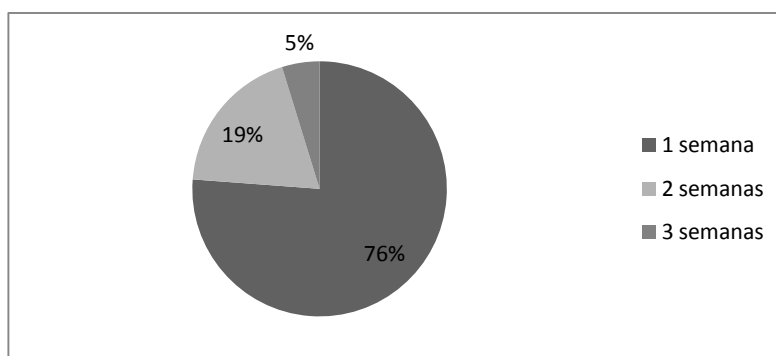
Se consideró tomar la respuesta de mayor porcentaje contestado, para la definición de la duración de las tareas del proyecto.

Tabla IX. **Respuesta a pregunta 1 de la encuesta**

	Respuestas	Porcentaje
1 semana	16	76%
2 semanas	4	19%
3 semanas	1	5%
Total	21	100%

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Análisis de la respuesta 1**



Fuente: elaboración propia.

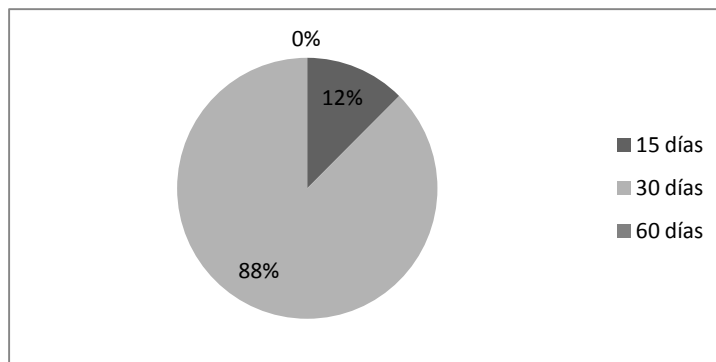
El 76% de los encuestados respondieron que una vez presentados los hitos SMART se tarda una semana en establecerse el acuerdo con el cliente.

Tabla X. **Respuesta a pregunta 2 de la encuesta**

Días	Respuestas
15	2
30	14
60	0
Total	16

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Análisis de la respuesta 2**



Fuente: elaboración propia.

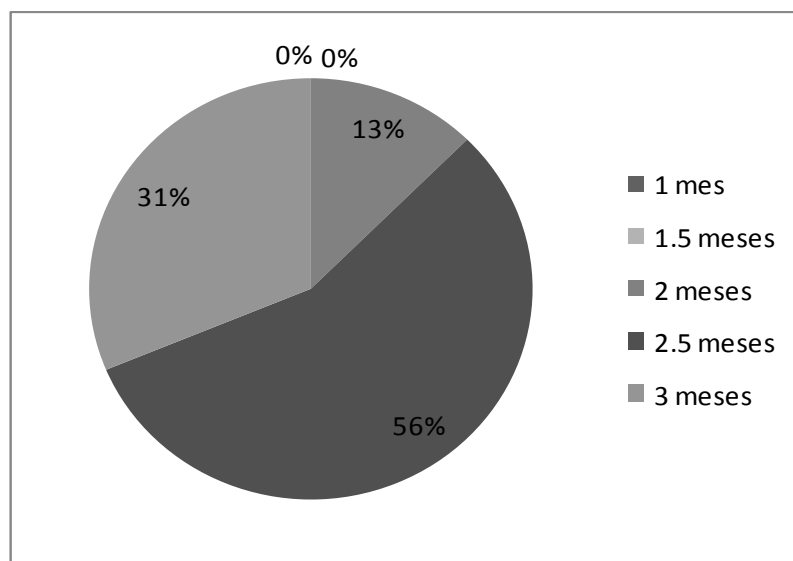
El 88% de los encuestados expuso que la duración del diseño preliminar del proyecto sería de 30 días.

Tabla XI. **Respuesta a pregunta 3 de la encuesta**

Mes/meses	Respuestas
1	0
1,5	0
2	2
2,5	9
3	5
Total	16

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Análisis de la respuesta 3**



Fuente: elaboración propia.

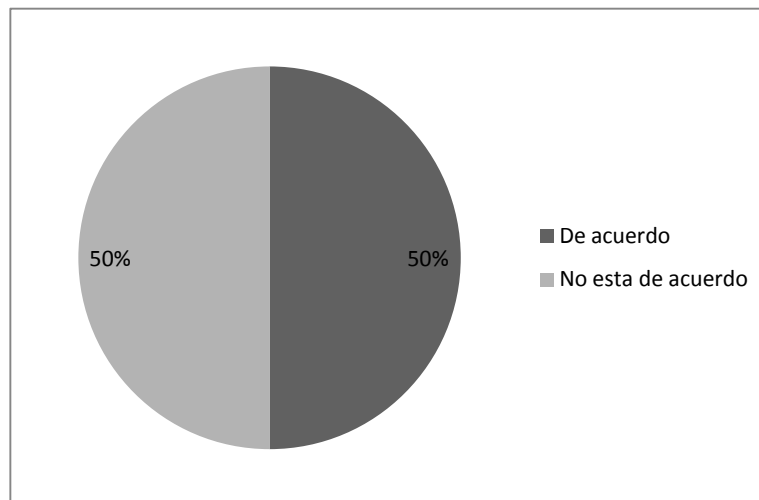
En este análisis estadístico la mayor parte de respuestas fueron que el diseño y revisión del proyecto duraría entre 2,5 meses, lo cual es un equivalente aproximado de 74 días.

Tabla XII. **Respuesta a pregunta 4 de la encuesta**

	Respuestas
De acuerdo	3
No está de acuerdo	3
Total	6

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Análisis de la respuesta 4**



Fuente: elaboración propia.

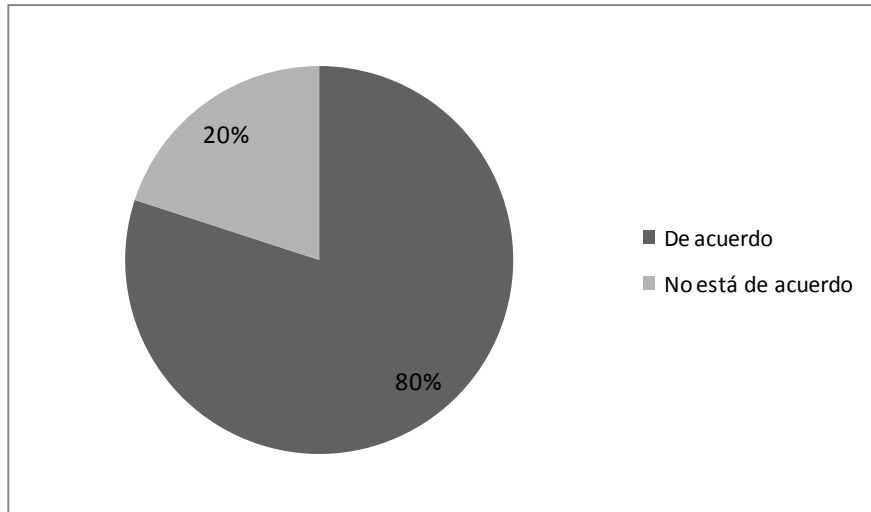
En esta pregunta las respuestas obtuvieron la misma ponderación con un 50%. Para la toma de decisión tuvieron mayor factor de peso aquellos encuestados que tienen mayor tiempo de laborar en el Departamento de Proyectos Nuevos. Se escogieron las respuestas No estoy de acuerdo y las correcciones de los encuestados tuvieron en común lo siguiente: 2 días para la creación de órdenes Co y 2 semanas para la entrega del anticipo.

Tabla XIII. **Respuesta a pregunta 5 de la encuesta**

	Respuestas
De acuerdo	12
No está de acuerdo	3
Total	15

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Análisis de la respuesta 5**



Fuente: elaboración propia.

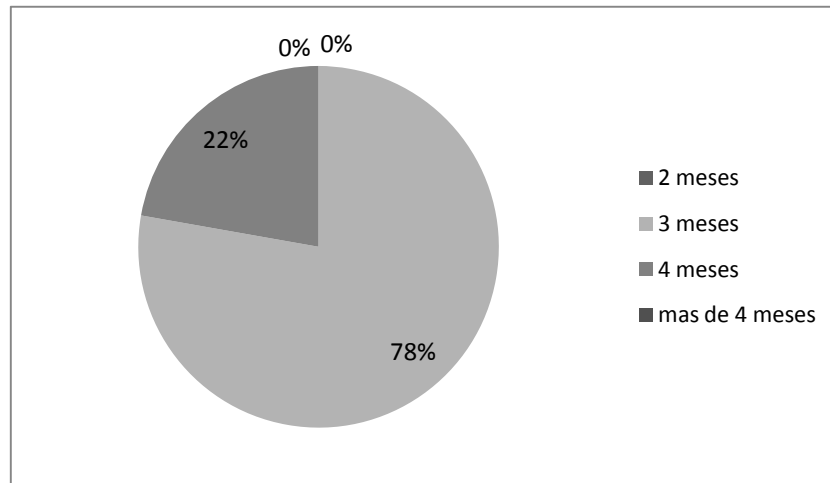
El 80% estuvo de acuerdo con el planteamiento de la pregunta, un resultado confiable para establecer la secuencia de planificación del proyecto.

Tabla XIV. **Respuesta a pregunta 6 de la encuesta**

Mes/meses	Respuestas
2	0
3	7
4	2
Más de 4	0
Total	9

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Análisis de la respuesta 6**



Fuente: elaboración propia.

El 78% escogió con base en su experiencia que este tipo de proyecto, según su montaje mecánico duraría aproximadamente 3 meses.

- Interpretación de los resultados

Para establecer la duración de la fase: definición del proyecto, se basó según los resultados obtenidos de la pregunta # 1 de la encuesta realizada. Con una duración de 27 días.

La fase: planificación del proyecto, se basó en los resultados de las preguntas # 1, 2 y 5, con una duración de 163 días.

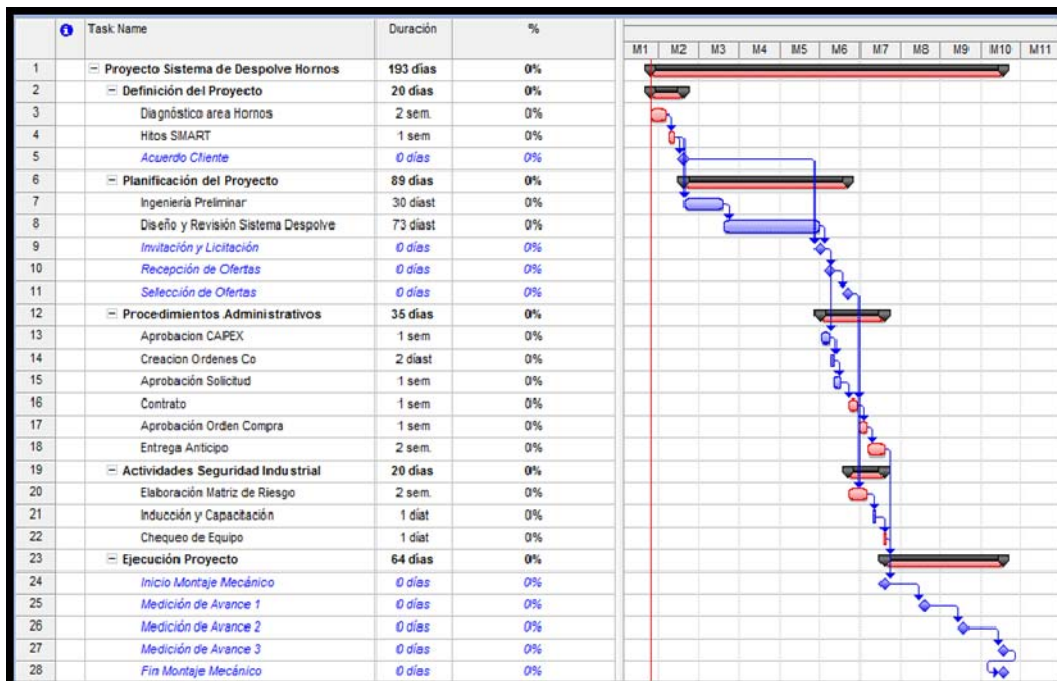
La fase: procesos administrativos con base en la afirmación de la pregunta # 4, con una duración de 47 días.

La fase: actividades de seguridad industrial no requerían de un análisis estadístico, pues la duración de estas es estándar de un aproximado de 26 días.

Por último la fase: ejecución del proyecto conforme al resultado de la pregunta # 6, se definió una duración de 3 meses.

Las tareas y duraciones de todo el proyecto se muestran en la siguiente figura:

Figura 11. Cronograma de las tareas del proyecto



Fuente: elaboración propia.

2.2.3.1. Diagrama Pert

Una vez ya definidas las tareas y establecidas sus duraciones, se ordenan y enumeran como eventos, para facilitar y definir las rutas del proyecto. Los eventos se muestran en la siguiente tabla:

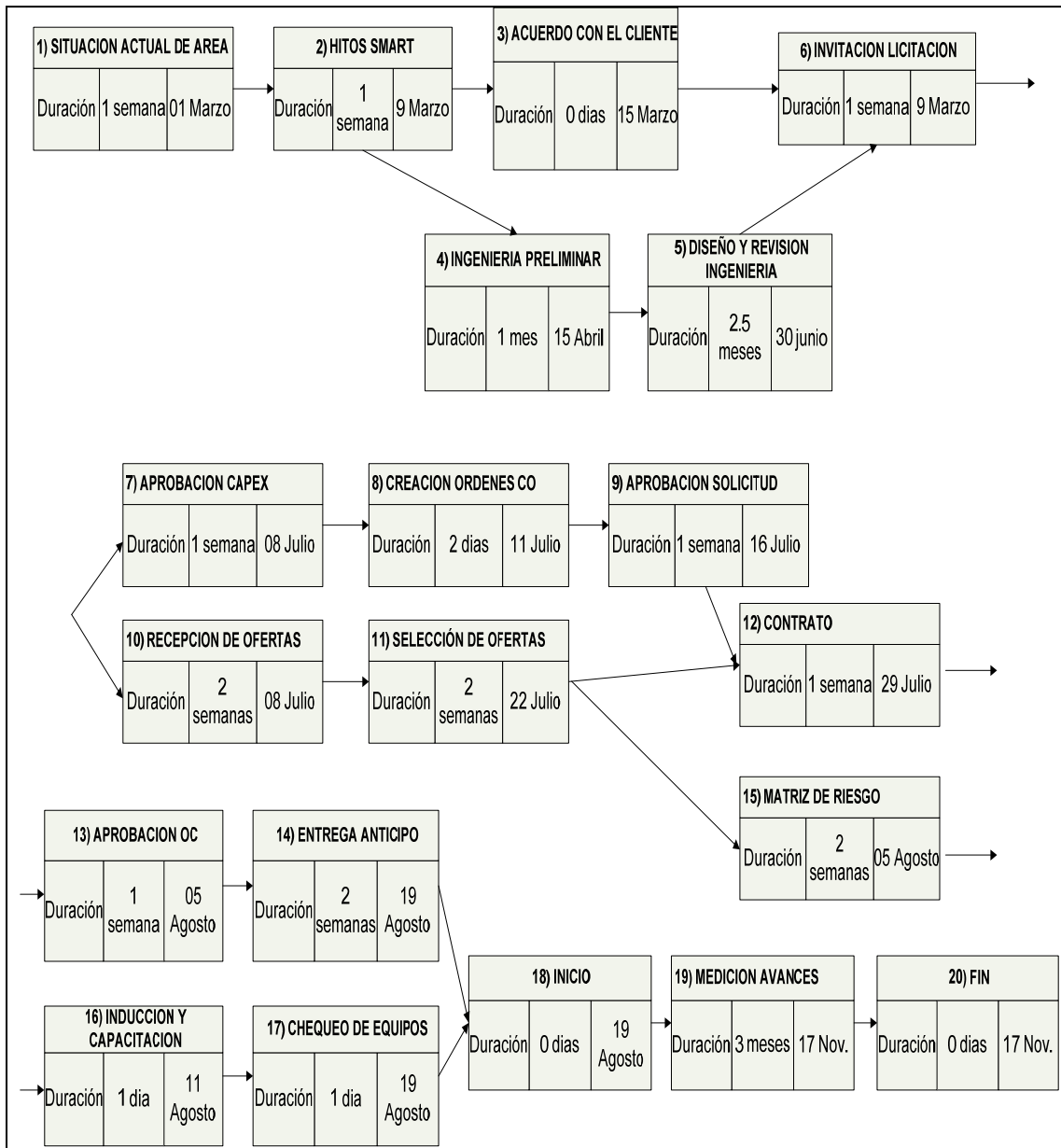
Tabla XV. **Eventos del proyecto**

Número del evento	Nombre del evento	Fase
1	Situación actual del área	Definición proyecto
2	Hitos SMART	Definición proyecto
3	Acuerdo con cliente	Definición proyecto
4	Ingeniería preliminar	Planificación proyecto
5	Diseño y revisión Ingeniería	Planificación proyecto
6	Invitación licitación	Planificación proyecto
7	Aprobación CAPEX	Procesos admón.
8	Creación orden Co	Procesos admón.
9	Aprobación solicitud	Procesos admón.
10	Recepción ofertas	Planificación proyecto
11	Selección ofertas	Planificación proyecto
12	Contrato	Procesos admón.
13	Aprobación orden compra	Procesos admón.
14	Entrega anticipo	Procesos admón.
15	Matriz de riesgo	Seguridad industrial
16	Inducción y capacitación	Seguridad industrial
17	Chequeo de equipo	Seguridad industrial
18	Inicio montaje	Ejecución proyecto
19	Mediciones de avance	Ejecución proyecto
20	Fin montaje	Ejecución proyecto

Fuente: elaboración propia.

Los eventos se organizan y se muestran el inicio y fin de las actividades con sus correspondientes duraciones, mediante el siguiente diagrama de Pert:

Figura 12. Diagrama Gantt de las actividades del proyecto



Fuente: elaboración propia.

Las posibles rutas de los eventos son los siguientes:

- 1,2,3,6,7,8,9,12,13,14,18,19 y 20
- 1,2,3,6,10,11,12,13,14,18,19 y 20
- 1,2,3,6,10,11,15,16,17,18,19 y 20
- 1,2,4,5,6,7,8,9,12,13,14,18,19 y 20
- 1,2,4,5,6,10,11,12,13,14,18,19 y 20
- 1,2,4,5,6,10,11,15,16,17,18,19 y 20

- Cálculo de la ruta crítica

Una vez establecidas las posibles rutas de los eventos, se procede a calcular la ruta crítica del proyecto. Para el cálculo de la ruta crítica de los eventos se realizaron 4 pasos.

Paso # 1: cálculo de t_e y $\sigma^2 t_e$:

$$t_e = (t_o + 4 t_m + t_p) / 6 \quad \sigma^2 t_e = [(t_p - t_o) / 6]^2$$

- El tiempo optimista, t_o = es el mínimo período de tiempo posible necesario para realizar la actividad. Se le otorgó un factor del 10% en base al t_m .

- El tiempo más probable, t_m = es la mejor estimación del período de tiempo necesario para llevar a cabo la actividad. Es el resultado del análisis de la encuesta (las duraciones mostradas en el diagrama Pert).

- El tiempo pesimista, t_p = es el máximo período de tiempo que podría tardarse en realizar la actividad. Se le otorgó un factor del 20% en base al t_m .

Ejemplo del cálculo de t_e y $\sigma^2 t_e$ de los eventos 1 y 2:

$$t_{m\ 1,2}: 7 \text{ días}$$

$$t_{o\ 1,2} = t_{m\ 1,2} / 1,10 = 6,36 \text{ días}$$

$$t_{p\ 1,2} = t_{m\ 1,2} \times 1,20 = 8,4 \text{ días}$$

Entonces

$$t_e = (t_o + 4 t_m + t_p) / 6 = (6,36 + 4(7) + 8,4) / 6 = 7,13 \text{ días}$$

$$\sigma^2 t_e = [(t_p - t_o) / 6]^2 = [(8,4 - 6,36) / 6]^2 = 0,12$$

Los resultados de todos los eventos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla XVI. Cálculo de t_e y $\sigma^2 t_e$

Actividad	t_o (días)	t_m (días)	t_p (días)	t_e (días)	$\sigma^2 t_e$
1;2	6,36	7	8,4	7,13	0,12
2;3	12,73	14	16,8	14,25	0,46
3;6	0	0	0	0	0
2;4	27,27	30	36	30,55	2,12
4;5	66,36	73	87,6	74,33	12,53
5;6	0,91	1	1,2	1,02	0
6;7	6,36	7	8,4	7,13	0,12
7;8	1,82	2	2,4	2,04	0,01
8;9	6,36	7	8,4	7,13	0,12
9;12	6,36	7	8,4	7,13	0,12
6;10	6,36	7	8,4	7,13	0,12
10;11	12,73	14	16,8	14,25	0,46
11;12	6,36	7	8,4	7,13	0,12
11;15	12,73	14	16,8	14,25	0,46
12;13	6,36	7	8,4	7,13	0,12
13;14	6,36	7	8,4	7,13	0,12
14;18	12,73	14	16,8	14,25	0,46
15;16	0,91	1	1,2	1,02	0
16;17	0,91	1	1,2	1,02	0
17;18	0	0	0	0	0
18;19	81,82	90	108	91,64	19,04
19;20	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Paso # 2: cálculo de TE y σ^2TE

El valor σ^2TE indica el nivel de incertidumbre asociado a la estimación del tiempo TE. Los valores TE y σ^2TE de un evento N se calculan de la siguiente manera:

- Se empezó con el primer evento (TE y σ^2TE son iguales a cero) considerando luego, sus directos sucesores, hasta llegar al último evento del proyecto. El valor TE del último evento es el acumulado de días y representa el tiempo mínimo esperado para finalizar el proyecto.
- Se identificaron todos los eventos que preceden directamente al evento N.
- Para cada evento N, se añadió al TE del evento N-1 (predecesor) la duración esperada t_e de la actividad que le conecta con el evento N.
- Se elige entre los resultados el mayor, es decir, el valor máximo. Este es el único TE del evento N. Los demás valores obtenidos son irrelevantes y no se consideran.
- Se le sumó al valor σ^2TE del evento predecesor resultante, la varianza σ^2t_e de la actividad que le conecta con el evento N. El valor σ^2TE del último evento es el acumulado de desviación de días y representa el tiempo de desviación máxima para finalizar el proyecto.

Ejemplo del cálculo de TE y σ^2 TE de los eventos 2 y 3:

$$TE_{2,3}: TE_{1,2} + t_{e_{2,3}} = 7,13 + 14,25 = 21,38 \text{ días}$$

$$\sigma^2 TE_{2,3}: \sigma^2 TE_{1,2} + \sigma^2 t_{e_{2,3}} = 0,12 + 0,46 = 0,58 \text{ días}$$

Los cálculos de todos los eventos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XVII. **Cálculo de TE y σ^2 TE**

Evento	Camino	Cálculo TE	Cálculo σ^2 TE	TE	σ^2 TE
1	/	/	/	0	0
2	1;2	0+7,13	0+0,12	7,13	0,12
3	2;3	7,13+14,25	0,12+0,46	21,38	0,58
4	2;4	7,13+30,55	0,12+2,12	37,68	2,24
5	4;5	37,68+74,33	2,24+12,53	112,01	14,77
6	3;6	21,38+0	0,58+0	-	-
	5;6	112,01+1,02	14,77+0	113,03	14,77
7	6;7	113,03+7,13	14,77+0,12	120,16	14,89
8	7;8	120,16+2,04	14,89+0,01	122,2	14,9
9	8;9	122,2+7,13	14,9+0,12	129,33	15,02
10	6;10	113,03+7,13	14,77+0,12	120,16	14,89
11	10;11	120,16+14,25	14,89+0,46	134,41	15,35
12	9;12	129,33+7,33	15,02+0,12	-	-
	11;12	134,41+7,13	15,35+0,12	141,54	15,47
13	12;13	141,54+7,13	15,47+0,12	148,67	15,59
14	13;14	148,67+7,13	15,59+0,12	155,8	15,75
16	15;16	148,66+1,02	15,81+0	149,68	15,81
17	16;17	149,68+1,02	15,81+0	150,7	15,81
18	14;18	155,8+14,25	15,71+0,46	170,05	16,17
	17;18	150,7+0	15,81+0	-	-
19	18;19	170,05+91,64	16,17+19,04	261,69	35,21
20	19;20	261,69+0	35,21+0	261,69	35,21

Fuente: elaboración propia.

El TL de un evento representa el tiempo máximo en que debe alcanzarse, siendo el TL del último evento el tiempo establecido para finalizar el proyecto. El valor TL de un evento N se calcula de la siguiente manera:

- Se empezó con el último evento (fin del proyecto), operando en sentido inverso hasta el primero. Para cada evento N, se identifican todos los eventos sucesores inmediatos del mismo.
- Se resta del TL del evento sucesor al evento N la duración esperada de la actividad que le conecta con el evento N.
- Se eligen entre los resultados así obtenidos el menor. Este será el único TL del evento N. Los demás valores obtenidos son irrelevantes.

La holgura de un evento es la diferencia entre el tiempo máximo permisible y el tiempo esperado (tiempo mínimo posible) para alcanzarlo. La holgura de un evento puede ser positiva, igual a cero o negativa.

Ejemplo del cálculo de TL y la holgura de los eventos 19 y 20:

$$TL_{19,20} = TE_{20} - t_{e,19,20} = 261,69 - 0 = 261,69 \text{ días}$$

$$H_{19,20} = TL_{19,20} - TE_{19,20} = 261,69 - 261,69 = 0$$

Los cálculos de todos los eventos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XVIII. Cálculo de TL y holgura

Evento	Camino	t_e	TE	TE- t_e =TL	TL- TE=Holgura
1	1;2	7,13	0	0	0
2	2;3	14,25	7,13	98,78	91,65
	2;4	30,55	7,13	7,13	0
3	3;6	0	21,38	113,03	91,65
4	4;5	74,33	37,68	37,68	0
5	5;6	1,02	112,01	112,01	0
6	6;7	7,13	113,03	118,11	5,08
	6;10	7,13	113,03	113,03	0
7	7;8	2,04	120,16	125,24	5,08
8	8;9	7,13	122,2	127,28	5,08
9	9;12	7,13	129,33	134,41	5,08
10	10;11	14,25	120,16	120,16	0
11	11;15	14,25	134,41	153,76	19,35
17	17;18	0	150,70	170,05	19,35
18	18;19	91,64	170,05	170,05	0
19	19;20	0	261,69	261,69	0
20	-	-	261,69	-	-

Fuente: elaboración propia.

Paso # 4: se seleccionaron los caminos con menor holgura. Los eventos con menor holgura definieron la ruta crítica del proyecto y se muestran en la siguiente tabla:

Tabla XIX. Selección de eventos

Evento	Camino	Holgura menor
1	1;2	0
2	2;4	0
4	4;5	0
5	5;6	0
6	6;10	0
10	10;11	0
11	11;12	0
12	12;13	0
13	13;14	0
14	14;18	0
18	18;19	0
19	19;20	0
20	-	-

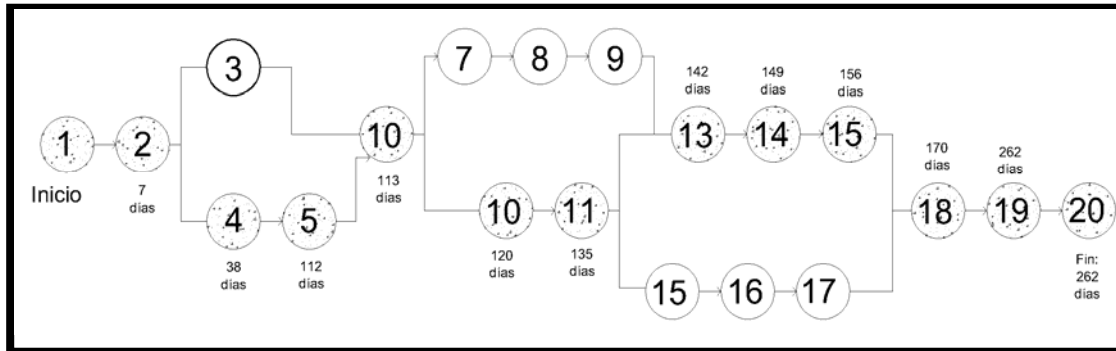
Fuente: elaboración propia.

- Ruta crítica del proyecto

Los elementos con menor holgura representan la ruta crítica del proyecto mostrados en la viñeta 5 y en la figura 13.

- 1,2,3,6,7,8,9,12,13,14,18,19 y 20
- 1,2,3,6,10,11,12,13,14,18,19 y 20
- 1,2,3,6,10,11,15,16,17,18,19 y 20
- 1,2,4,5,6,7,8,9,12,13,14,18,19 y 20
- 1,2,4,5,6,10,11,12,13,14,18,19 y 20 = Ruta crítica
- 1,2,4,5,6,10,11,15,16,17,18,19 y 20

Figura 13. Ruta crítica de las actividades del proyecto



Fuente: elaboración propia.

El proyecto del montaje del sistema de despolve tiene un tiempo estimado de una duración de 9 meses \approx 262 días.

2.3. Propuesta de rutinas de mantenimiento preventivo


Las rutinas de mantenimiento preventivo o sus siglas en inglés PMR (Preventive Maintenance Routine) se realizaron en el área del horno, de la línea 3 de cal en la planta San Miguel. Dado que es una línea recién montada y con un sistema de despolve muy similar al de planta La Pedrera, las PMR servirán como transferencia de conocimientos, a la hora de aplicar mantenimientos preventivos a los equipos del sistema de despolve en planta La Pedrera, en un futuro. A cada equipo le corresponde una rutina. Las rutinas describen: mano de obra requerida, tiempo de realización y frecuencia del mantenimiento a aplicarse al equipo, un listado de herramientas y materiales a utilizarse durante el mantenimiento, actividades o pasos del mantenimiento.

2.3.1. Rutina de mantenimiento preventivo mecánico

Las rutinas de mantenimiento preventivo mecánicas representan las revisiones a las partes de desgaste de equipos, tales como: corazas, tolvas, colectores, engranajes, rodos, aletas, fajas, poleas, etcétera. Y también partes de cambio como: empaques, tuercas, tornillos, bujes, sellos, etcétera.

A los equipos a los cuales se les realizó el mantenimiento preventivo fueron: un colector de polvo, una válvula rotativa y un ventilador del filtro. Las rutinas de dichos equipos son las siguientes:

Tabla XX. Rutina preventiva mecánica del colector de polvo

	Rutina de mantenimiento		Área : hornos, línea 3 cal																					
	Inspección trimestral mecánica		Codificación equipo: 22-463-FT																					
	Cementos Progreso S.A., Planta San Miguel		Fecha revisión																					
	Descripción de equipo		No. revisión																					
	Colector de polvo		Fecha emisión																					
		Página																						
Mano de obra	2 operadores																							
Tiempo estimado	2 horas																							
Frecuencia	Trimestral																							
Listado de herramientas y materiales del colector de polvo																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Cantidad</th> <th style="width: 80%;">Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Extensión con foco</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 15/16".</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 3/4"</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Llave cola corona de 7/16"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Destornillador plano grande</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Martillo 2 libras</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Cepillo de alambre</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Brocha de 3"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Bote de "aflojalotodo"</td> </tr> </tbody> </table>					Cantidad	Descripción	1	Extensión con foco	1	Llave cola corona de 15/16".	1	Llave cola corona de 3/4"		Llave cola corona de 7/16"	1	Destornillador plano grande	1	Martillo 2 libras	1	Cepillo de alambre	1	Brocha de 3"	1	Bote de "aflojalotodo"
Cantidad	Descripción																							
1	Extensión con foco																							
1	Llave cola corona de 15/16".																							
1	Llave cola corona de 3/4"																							
	Llave cola corona de 7/16"																							
1	Destornillador plano grande																							
1	Martillo 2 libras																							
1	Cepillo de alambre																							
1	Brocha de 3"																							
1	Bote de "aflojalotodo"																							
Actividades a realizar :																								
<ol style="list-style-type: none"> 1. Abrir el registro 2. Verificar el desgaste de las paletas. 3. Verificar el ajuste entre las paletas y carcasa (8 mm máx.) Para verificar el ajuste se realiza midiendo con galgas entre las paletas y la carcasa en 2 puntos a lo largo de las paletas (de la orillas hacia el centro). Manualmente en el acople entre motor y reductor se gira y se posiciona en la siguiente paleta para verificar el ajuste nuevamente como se especifica en el punto anterior. 4. Verificar el desgaste de las corazas en el chifle de descarga. 5. Verificar que no estén dañados los empaques de las compuertas de inspección. 6. Con la llave cola corona 7/16" quitar el cobertor del acople entre motor-reductor y verificar el desgaste entre dientes, asegurarse que los pernos del acople están apretados para ello, se utiliza un destornillador de cabeza plana. 7. Con la llave 15/16" verificar el apriete de los tornillos que sujetan los discos de apriete en la unión del reductor y el eje de la rotativa. 8. Asegurarse que los bujes de soporte de la base del motor y reductor no tienen desgaste y verifique los pasadores. 																								


Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Rutina preventiva mecánica de válvula rotativa

	Rutina de mantenimiento	Área : hornos, línea 3 cal.																			
	Inspección semestral mecánica	Codificación equipo: 22-463-VA																			
	Cementos Progreso S.A., Planta San Miguel	Fecha revisión																			
	Descripción de equipo	No. revisión																			
	Válvula rotativa	Fecha emisión																			
		Página																			
Mano de obra	2 operadores																				
Tiempo estimado	8 horas																				
Frecuencia	Semestral																				
Listado de herramientas y materiales válvula rotativa																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Cantidad</th> <th style="width: 70%;">Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Extensión con foco</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 9/16"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 3/4"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Destornillador plano grande</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave estilson de 18"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Cepillo de alambre</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Brocha de 3"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Bote de "aflojalotodo"</td> </tr> </tbody> </table>				Cantidad	Descripción	1	Extensión con foco	1	Llave cola corona de 9/16"	1	Llave cola corona de 3/4"	1	Destornillador plano grande	1	Llave estilson de 18"	1	Cepillo de alambre	1	Brocha de 3"	1	Bote de "aflojalotodo"
Cantidad	Descripción																				
1	Extensión con foco																				
1	Llave cola corona de 9/16"																				
1	Llave cola corona de 3/4"																				
1	Destornillador plano grande																				
1	Llave estilson de 18"																				
1	Cepillo de alambre																				
1	Brocha de 3"																				
1	Bote de "aflojalotodo"																				
Actividades a realizar :																					
<ol style="list-style-type: none"> 1. Abrir registro de inspección y revisar que esté en buenas condiciones el empaque del mismo. 2. Revisar en el interior del colector, que no haya polvo o corrosión en las paredes del colector. 3. Verificar el desgaste de los orificios de las flautas, estos deben de ser redondos y limpiar el material pegado en los orificios. 4. Revisar que las conexiones de las flautas no estén flojas y verificar que los orificios de las mismas estén en posición vertical hacia abajo (orientadas al centro de la canastilla). 5. Cerrar registro y asegurar que quede bien cerrado. <p>Actividades a realizar en la tolva:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Abrir registro de inspección de la tolva y verificar que el empaque esté en buenas condiciones. 2. Verificar que no haya terrones en las paredes de la tolva y el estado de los deflectores de aire. 3. Cerrar el registro y asegurar que quede bien cerrado. 																					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Rutina preventiva mecánica del ventilador de filtro

	Rutina de mantenimiento	Área : hornos, línea 3 cal.																											
	Inspección semestral mecánica	Codificación equipo: 22-463-VE																											
	Cementos Progreso S.A., Planta San Miguel	Fecha revisión																											
	Descripción de equipo	No. revisión																											
	Ventilador del filtro	Fecha emisión																											
		Página																											
Mano de obra	4 operadores																												
Tiempo estimado	5 horas																												
Frecuencia	Semestral																												
Listado de herramientas y materiales del ventilador del filtro																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Cantidad</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Copa de 7/16" raíz de 1/2"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 7/16"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Ratch raíz de 1/2"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Destornillador de castigadera</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Martillo de 2 libras.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Cepillo de alambre</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Brocha de 3"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Cinta métrica</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Cinzel</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Lámpara de mano</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td>Libras de retazo de tela</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Bote de aflojalotodo</td> </tr> </tbody> </table>				Cantidad	Descripción	1	Copa de 7/16" raíz de 1/2"	1	Llave cola corona de 7/16"	1	Ratch raíz de 1/2"	1	Destornillador de castigadera	1	Martillo de 2 libras.	1	Cepillo de alambre	1	Brocha de 3"	1	Cinta métrica	1	Cinzel	1	Lámpara de mano	2	Libras de retazo de tela	1	Bote de aflojalotodo
Cantidad	Descripción																												
1	Copa de 7/16" raíz de 1/2"																												
1	Llave cola corona de 7/16"																												
1	Ratch raíz de 1/2"																												
1	Destornillador de castigadera																												
1	Martillo de 2 libras.																												
1	Cepillo de alambre																												
1	Brocha de 3"																												
1	Cinta métrica																												
1	Cinzel																												
1	Lámpara de mano																												
2	Libras de retazo de tela																												
1	Bote de aflojalotodo																												
Actividades a realizar :																													
<ol style="list-style-type: none"> 1. Abrir registro y revisar que el empaque esté en buenas condiciones. 2. Realizar limpieza de las aletas y verificar el desgaste de las mismas y demás componentes del impulsor. 3. Verificar desgaste en corazas del casco: revisar el acorazado con una linterna de mano, visualmente se buscan los puntos desgastados. 4. Revisar apriete de tornillos de la base y tapaderas de las chumaceras. 5. Quitar cobertor de fajas con llaves de 7/16". 6. Verificar el estado de las fajas, que no estén flojas ni agrietadas. 7. Verificar el estado de las poleas, que no exista desgaste o daño en los canales. 8. Verificar el alineamiento entre poleas y tensión de las fajas. 9. Cerrar el registro y asegurar que quede bien sellado. 																													


Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Rutina de mantenimiento preventivo instrumentista

Es el mantenimiento preventivo realizado a todos los instrumentos de los equipos mecánicos, tales como: medidores de presión, temperatura, velocidad, vibración, etcétera.

A los equipos a los cuales se les realizó el mantenimiento preventivo fueron: un colector de polvo, una válvula rotativa y un ventilador del filtro. Las rutinas de dichos equipos son las siguientes:

Tabla XXIII. Rutina preventiva instrumentista del colector de polvo

	Rutina de mantenimiento	Área : hornos, línea 3 cal.	
	Inspección anual instrumentista	Codificación equipo: 22-463-VA	
	Cementos Progreso S.A., Planta San Miguel	Fecha revisión	
	Descripción de equipo	No. revisión	
	Colector de polvo	Fecha emisión	
		Página	
Mano de obra	1 persona		
Tiempo estimado	4 horas		
Frecuencia	Anual		
Listado de herramientas y materiales del colector de polvo			
	Cantidad	Descripción	
	1	Multímetro digital	
	1	Llave cola corona de 9 mm	
	1	Llave cola corona de 10 mm	
	1	Llave cola corona de 13 mm	
	1	Juego destornilladores de castigadera	
	1	Destornillador Phillips grande	
	1	Llave de cadena # 14	
	1	Cepillo de alambre	
	1	Brocha de 3"	
	1	Bote de "aflojalotodo"	
Actividades a realizar :			
Medidores			
1. Utilizando la llave de cadena desarmar, revisar y limpiar el mecanismo de autolimpieza en trampa de agua.			
2. Revisar cableado y conexiones en bornera de la caja de electroválvulas.			
3. Desacoplar los conectores de la toma de presión con la llave 9/16" para verificar limpieza interna de la tubería del diferencial de presión, luego acoplar los conectores.			
4. Verificar conexiones de la tubería hacia el transmisor de presión diferencial. Desde la tarjeta del transmisor de presión diferencial, verificar si la manguera HIGH va hacia la toma inferior en el filtro y la manguera LOW va hacia la toma superior del filtro.			
5. Apretar tornillos hexagonales de las válvulas utilizando la llave de 10 mm y 13 mm para la tubería de cobre.			
6. Abrir la llave de paso de aire hacia el <i>manifold</i> .			
7. Quitar la tapa de protección del tornillo de ajuste del regulador y con la llave de 1/4" (especial para regulador) variar la presión de aire para verificar el buen funcionamiento y ajustarlo a 80 psi.			
Panel de control			
1. Cambiar de posición selectores OFF/ON y Auto/Manual. Con un multímetro, medir continuidad en ambas posiciones.			
2. Revisar cableado y apretar conexiones en bornera de la tarjeta electrónica.			
3. Al terminar de realizar pruebas dejar en automático el selector.			
4. Quitar el bloqueo en el <i>flipon</i> principal en cuarto eléctrico.			


Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Rutina preventiva instrumentista de la válvula rotativa

	Rutina de mantenimiento	Área : hornos, línea 3 cal.																			
	Inspección anual instrumentista	Codificación equipo: 22-463-VA																			
	Cementos Progreso S.A, Planta San Miguel	Fecha revisión																			
	Descripción de equipo	No. revisión																			
	Válvula rotativa	Fecha emisión																			
		Página																			
Mano de obra	1 persona																				
Tiempo estimado	3 horas																				
Frecuencia	Anual																				
Listado de herramientas y materiales de válvula rotativa																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Cantidad</th> <th style="width: 80%;">Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Destornillador de castigadera de 1/4"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llaves cola corona de 36 mm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave de cadena # 14</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 9/16"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 1/2"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 3/4"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 10 mm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Brocha de 3"</td> </tr> </tbody> </table>				Cantidad	Descripción	1	Destornillador de castigadera de 1/4"	1	Llaves cola corona de 36 mm	1	Llave de cadena # 14	1	Llave cola corona de 9/16"	1	Llave cola corona de 1/2"	1	Llave cola corona de 3/4"	1	Llave cola corona de 10 mm	1	Brocha de 3"
Cantidad	Descripción																				
1	Destornillador de castigadera de 1/4"																				
1	Llaves cola corona de 36 mm																				
1	Llave de cadena # 14																				
1	Llave cola corona de 9/16"																				
1	Llave cola corona de 1/2"																				
1	Llave cola corona de 3/4"																				
1	Llave cola corona de 10 mm																				
1	Brocha de 3"																				
Actividades a realizar :																					
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con la llave 9/16" desmontar la guarda y revisar apriete de pieza metálica del sensor. 2. Verificar que la distancia del sensor de movimiento a la pieza metálica este entre 5 a 8 mm y que la pieza metálica se encuentre en buen estado y equidistante al sensor. 3. Utilizando la llave de cadena desarmar, revisar y limpiar el mecanismo de autolimpieza en trampa de agua-conectores. 4. Revisar cableado, conexiones del sensor y energizar electroválvula para comprobar funcionamiento. 5. Con el tornillo de ajuste del regulador variar la presión de aire para verificar el buen funcionamiento y ajustarlo a 80 psi. 6. Arrancar equipo y comprobar la señal del sensor hacia Input en PLC. 7. Desbloquear y asegurar que el equipo está disponible en control central. 																					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Rutina preventiva instrumentista del ventilador del filtro

	Rutina de mantenimiento	Área : hornos, línea 3 cal																			
	Inspección anual instrumentista	Codificación equipo: 22-463-VE																			
	Cementos Progreso S.A, Planta San Miguel	Fecha revisión																			
	Descripción de equipo	No. revisión																			
	Ventilador del filtro	Fecha emisión																			
		Página																			
Mano de obra	1 persona																				
Tiempo estimado	6 horas																				
Frecuencia	Anual																				
Listado de herramientas y materiales del ventilador del filtro																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Cantidad</th> <th style="width: 80%;">Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Destornillador de castigadera de 1/4".</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llaves cola corona de 36 mm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave de cadena # 14</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 9/16"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 1/2"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 3/4"</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Llave cola corona de 10 mm</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Brocha de 3"</td> </tr> </tbody> </table>				Cantidad	Descripción	1	Destornillador de castigadera de 1/4".	1	Llaves cola corona de 36 mm	1	Llave de cadena # 14	1	Llave cola corona de 9/16"	1	Llave cola corona de 1/2"	1	Llave cola corona de 3/4"	1	Llave cola corona de 10 mm	1	Brocha de 3"
Cantidad	Descripción																				
1	Destornillador de castigadera de 1/4".																				
1	Llaves cola corona de 36 mm																				
1	Llave de cadena # 14																				
1	Llave cola corona de 9/16"																				
1	Llave cola corona de 1/2"																				
1	Llave cola corona de 3/4"																				
1	Llave cola corona de 10 mm																				
1	Brocha de 3"																				
Actividades a realizar :																					
<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilizando la llave cola corona de 1 1/16", revisar apriete de los sensores de vibración en las chumaceras del ventilador y uno en el motor, lado de carga. 2. Quitar tapaderas, limpiar, revisar cableado y conexiones en las dos cajas de control de los sensores de vibración. 3. Medir con el multímetro; entre tierra física y línea neutra, no debe haber voltaje más si continuidad. 4. Verificar en display la lectura de vibración, la cual debe estar lo más cercano a cero. 5. Verificar parámetros y comprobar señal hacia control central. 6. Limpiar y revisar sensor de velocidad en el lado libre del ventilador. Si es necesario ajustar utilice las dos llaves cola corona de 36 mm y revisar el apriete de la base utilizando la llave cola corona de 3/4". 7. Revisar cableado, conexiones y comprobar señales hacia control central. 																					

Fuente: elaboración propia.

- Ubicación del mantenimiento propuesto

Los equipos a los cuales se les aplicará el mantenimiento preventivo se encuentran en el área de hornos, sobre el silo de cal. La ruta del mantenimiento se realizará de lo más alto a los más bajos, dado que es más fácil visualizar conexiones, paneles de control, instrumentos, etcétera. Y de lo más lejano a lo más cercano, esto es para detectar la continuidad y el orden del sistema de conexión de los equipos.

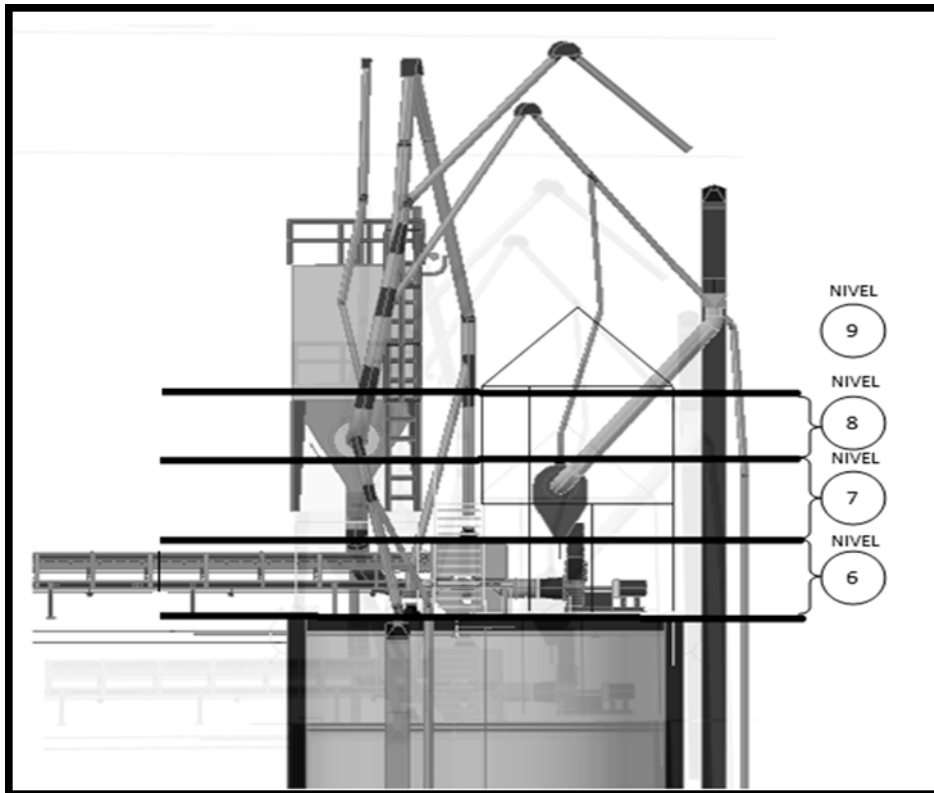
El silo del horno tiene 9 niveles. La ruta del mantenimiento desciende desde el nivel 9 hasta el nivel 6.

Aplicación del mantenimiento por niveles:

- Nivel 9: filtro parte superior, mantenimiento preventivo instrumentista.
- Nivel 8: filtro parte inferior, mantenimiento preventivo mecánico.
- Nivel 7: válvula rotativa, mantenimiento preventivo mecánico e instrumentista.
- Nivel 6: ventilador del filtro, mantenimiento preventivo mecánico e instrumentista.

La figura 14, muestra los niveles en los cuales están ubicados los equipos,

Figura 14. **Ubicación de los equipos por nivel**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 5.

2.4. **Planificación del montaje de equipos**

Los equipos a montarse son: un filtro, una válvula rotativa y un ventilador. El filtro y la válvula rotativa serán montados por una empresa contratista, pero bajo la responsabilidad del Departamento de Proyectos Nuevos, mientras que el ventilador en su contrato está incluido el montaje del mismo.

Se creó una serie de pasos, instrucciones de seguridad y listados de equipos e instrumentos del filtro y la válvula rotativa.

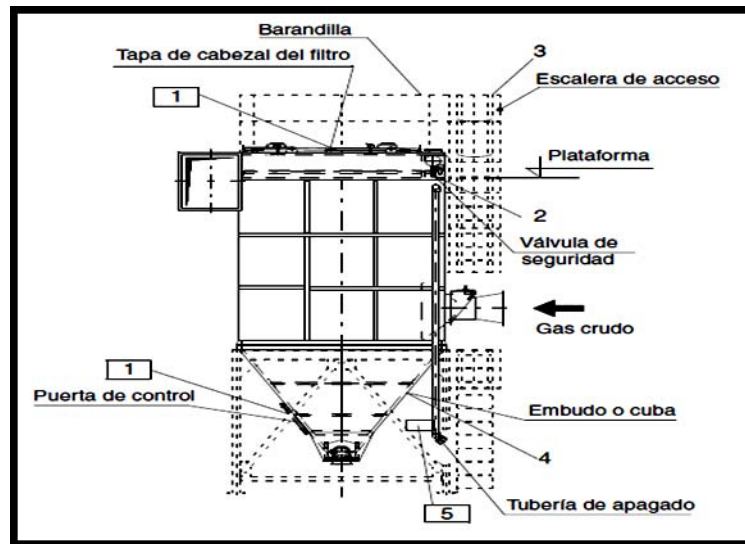
2.4.1. Montaje del filtro

Se creó una guía de pasos que detallan las actividades del montaje de la estructura, el cuerpo y accesorios del filtro. Se identificaron los puntos de alto riesgo durante el montaje del filtro y se creó un listado de piezas y accesorios del filtro para facilitar la identificación de los mismos en el campo.

2.4.1.1. Instrucciones de seguridad propuestas

El montaje del filtro presenta un alto riesgo de accidentabilidad, debido a su ubicación y a la complicación del ensamble de las partes del mismo. Además al finalizar el montaje se realizan pruebas en vacío, que diagnostica el estado inicial del filtro y pruebas con material, que verifican el funcionamiento de operación del filtro. En estas pruebas los equipos están en operación, puede haber fallas, cualquier tipo de incidente que pone en riesgo la seguridad del personal. A continuación se muestran los puntos de riesgo, a las cuales se estará expuesto en el montaje del filtro.

Figura 15. Puntos de riesgo del filtro



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolvo. p. 5.

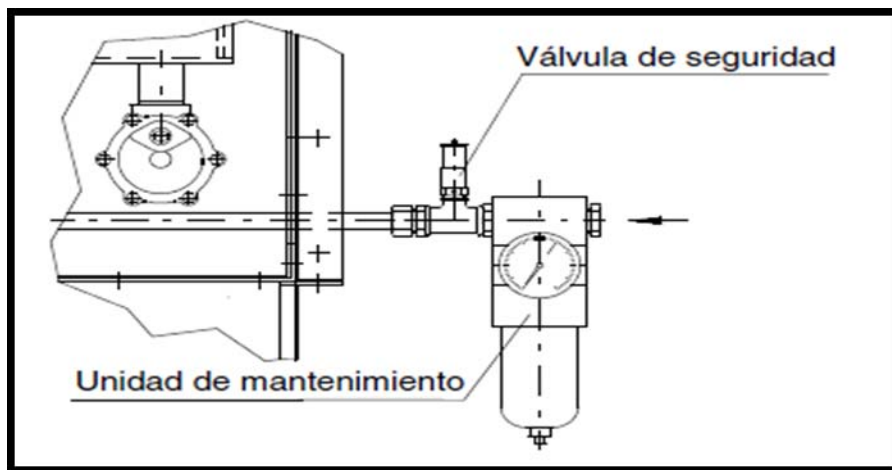
- Punto de riesgo 1

Puertas de control: al montarse el filtro, sólo se podrán abrir las tapas del cabezal, las puertas de control y de mantenimiento estando el equipo detenido. En la instalación de la tolva de descarga y el gusano, el espacio de trabajo es muy reducido. A la hora de aplicar soldadura el personal de instalación portará mascarillas apropiadas para ese tipo de trabajo. El soldador realizará pausas en su trabajo, para salir a tomar aire fresco, de lo contrario podrá asfixiarse por los gases emitidos de la soldadura.

- Punto de riesgo 2

La válvula de seguridad sólo podrá utilizarse en estado precintado. Valor de ajuste de la válvula: 6,5 barios de sobrepresión. Los taladros para precintos están previstos para aplicar los precintos después de una modificación de ajustes que se haya efectuado posteriormente.

Figura 16. **Válvula de seguridad**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 5.

- Punto de riesgo 3

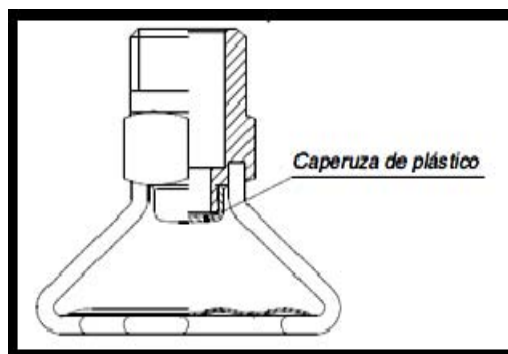
No se debe almacenar polvo en el embudo o la cuba. (Peligro de incendio, peligro de explosión, reacciones químicas, peligro de derrumbamiento debido a sobrecarga).

Con medidas apropiadas (medidor de nivel de llenado) se debe garantizar que el nivel de llenado no sea superior a un 1/3 de la altura del embudo o de la cuba. Si se acuerda una cantidad de llenado superior, también hay que asegurarse de no sobrepasar dicha cantidad.

- Punto de riesgo 4

La conexión para la tubería de apagado deberá poseer un rótulo indicador empalme de manguera de manera perfectamente visible. Durante el funcionamiento no se debe inundar el conducto de agua. Las toberas de extinción montadas están equipadas solamente con una caperuza de protección contra el polvo. En cuanto la tobera admite agua, se desprende la caperuza y el agua se reparte en el filtro. Después de cada admisión de agua se deben renovar las toberas para que sean de nuevo herméticas al polvo

Figura 17. **Caperuza protectora de polvo**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 6.

2.4.1.2. Listado de equipos e instrumentación del filtro

Se creó un listado de equipos e instrumentos de repuesto y desgaste del filtro. Al arribar el filtro y sus accesorios a planta La Pedrera se debe verificar si las partes de repuestos, equipos e instrumentación del filtro estén completos y que sean los adecuados, pues si en el transporte o montaje del filtro se rompiera o dañara un equipo o instrumento, este podrá ser sustituido por el listado de repuestos. El listado de equipos muestra a los equipos e instrumentos enumerados y con su correspondiente posición:

Tabla XXVI. Listado de partes de desgaste

Posición	Descripción	Peso (Kg)
1	Caja de válvula	3,00
1.1	Bobina para la válvula electromagnética	0,20
1.2	Juego de reparación	0,50
1.3	Elemento calefactor con termostato	0,40
1.4	Amortiguador	
2	Convertidor de presión diferencial	0,20
3	Válvula de membrana	1,05
3.2	Resorte para válvula de membrana	0,002
3.4	Válvula piloto	
5	Unidad de mantenimiento con manómetro	4,00
6	Válvula de seguridad	0,300
7	Junta de la tapa del cabezal del filtro	1,00
10	Cesto de apoyo	1,20
11	Cesto de apoyo	1,20
12	Interruptor pulsador	0,30
13	Junta para elemento de puerta	0,25
14	Anillo de conexión	0,20
15	Disco de reventamiento	5,00
21	Motor reductor	
22	Caja cojinete	3,50
28	Cojinete central	5,00
29	Interruptor de aproximación	0,10
51	Unidad de control	1,50
51.1	Platina para unidad de control	0,20
51.2	Convertidor	0,20
52	Unidad de mando en la carcasa	1,20
52	Unidad de mando en el armario de distribución	1,20
52.1	Convertidor CA/CC	0,20
52.1	Convertidor CC/CC	0,20
53	Unidad de control	1,00
53	Unidad de control	1,00
54	Módulo de potencia	1,00
55	Caja de conexión del filtro	1,70
55.1	Convertidor	0,20
55.1	Convertidor	0,20

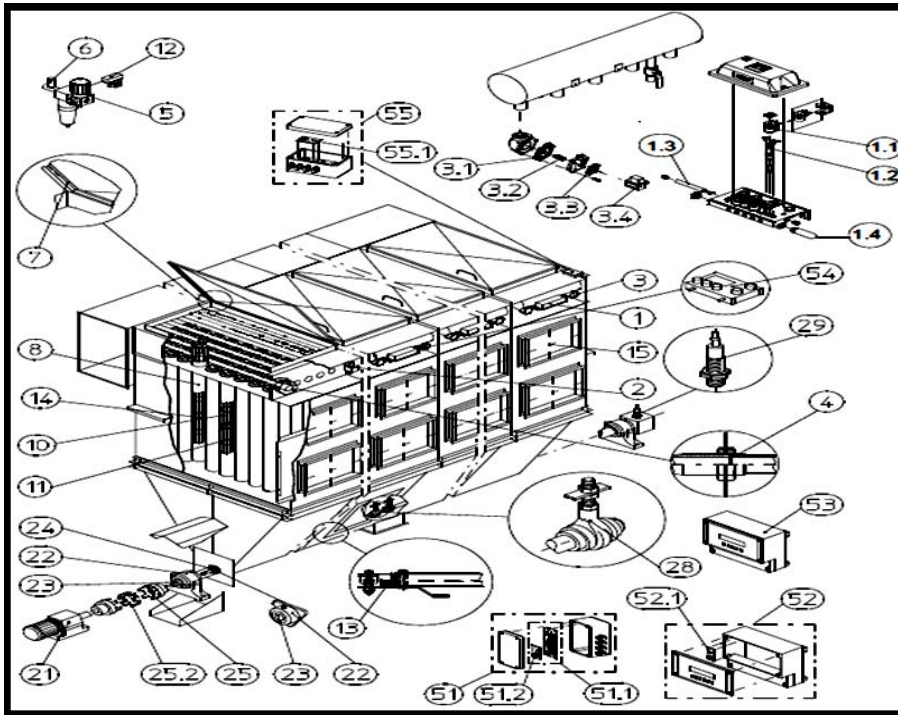
Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 6.

Tabla XXVII. Listado de partes de desgaste 2

Posición	Denominación	Peso/kg
3.1	Membrana	0,2
3.4	Membrana auxiliar	0,1
4	Junta tórica	0,01
8	Manguera del filtro	0,4
23	Cojinete	0,8
24	Empaquetadura	0,1
25	Semiacoplamiento lado sin fin	2,5
25.1	Semiacoplamiento lado del motor	2,1
25.2	Corona dentada para acoplamiento	0,11

Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolvo. p. 6.

Figura 18. Diagrama de equipos y accesorios del filtro



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolvo. p. 6.

2.4.1.3. Guía de pasos del montaje del filtro

Primer paso: ensamblaje de la carcasa

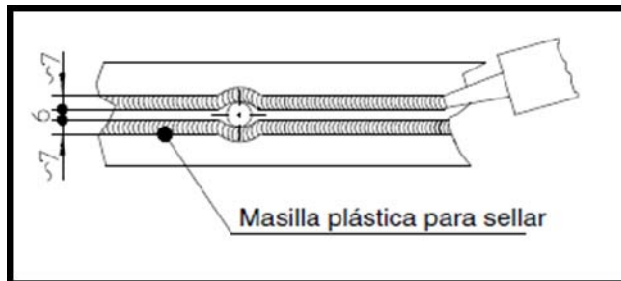
Durante el montaje se utilizará un andamio que según el progreso del montaje, se va construyendo cada vez más alto. Deben tenerse en cuenta las condiciones de suministro, almacenamiento y montaje relativas del filtro. El filtro es una construcción atornillada compuesta de elementos de chapa. Los elementos se atornillan entre sí.

Al ensamblar la carcasa, esta debe tener una hermetización perfecta de los distintos elementos de chapa. La masilla de sellar debe aplicarse en dos cordones a ambos lados de los orificios roscados, ver figura 12 (los elementos de chapa deben estar libres de grasa y polvo).

Todos los componentes se unen primero sin ajustarlos. Sólo después de estar montado el filtro completo se aprietan firmemente los tornillos. Tras el montaje de las piezas de chapa hay que sellar los puntos de unión.

En el filtro de gas caliente, que posee temperaturas de servicio superiores a 80 grados Centígrados, debe utilizarse una pasta de sellar resistente al calor (a base de silicona). Para ello, deben apretarse el mismo día los tornillos de los paneles sellados, dado que la pasta de silicona endurece al cabo de unas pocas horas.

Figura 19. **Sellamiento de piezas de unión de la chapa**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 6.

Segundo paso: montaje del soporte del filtro

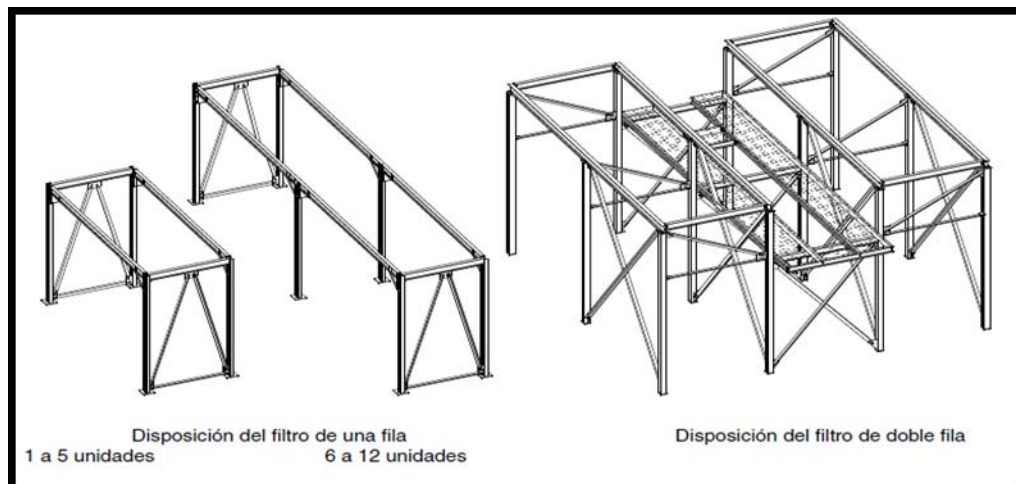
El soporte del filtro puede ser de dos formas; de una fila o de doble fila, como se muestra en la figura 20. Debido a que no hay mucha disponibilidad de espacio arriba del silo, donde será montado el filtro, se debe montar soporte de una fila.

Pasos del montaje del soporte:

- Montaje previo de los ejes.
- Comenzando en una esquina, se colocan los puntales sobre una superficie plana a la distancia correcta entre ejes.
- Los diámetros y longitudes de tornillos necesarios para ello deberán consultarse en los planos correspondientes. Al atornillar, deben colocarse arandelas para construcción metálica del lado de las tuercas.
- En los demás ejes se emplea el mismo procedimiento.

- Ahora se pueden colocar los pares de puntales premontados sobre los cimientos preparados, con ayuda de una grúa. Después se enganchan los tornillos de anclaje y se retiran hacia abajo los puntales.
- De este modo se montan también los puntales en los otros ejes.
- Después de erigir la construcción metálica, deberá controlarse nuevamente si las distancias entre ejes y las diagonales coinciden exactamente. De ser necesario, se procederá a alinear.
- Luego se fijan los tornillos de anclaje.

Figura 20. **Estructura base de una y doble fila**



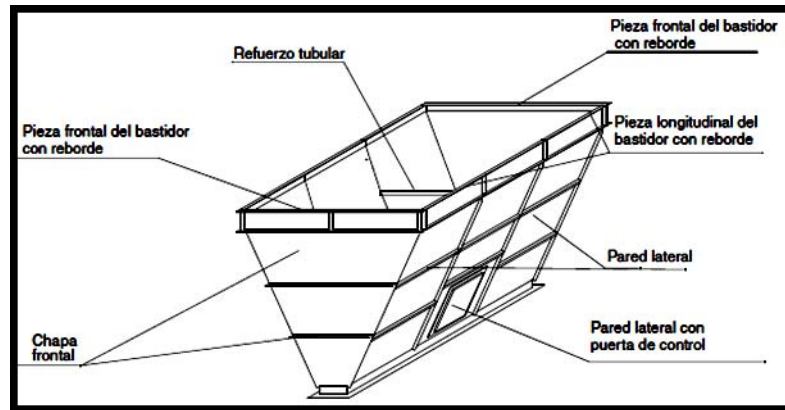
Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 9.

Tercer paso: ensamblaje de la cubeta colectora de polvo

Los paneles, las chapas frontales, las piezas frontal y lateral del bastidor con reborde y los refuerzos se suministran como piezas sueltas.

- La cubeta se atornilla previamente y después se eleva a la construcción del soporte.
- Atornillar las chapas frontales con la pieza frontal del bastidor con reborde comenzando por el lado del motor.
- Luego se ensamblan las paredes laterales con las piezas longitudinales del bastidor con reborde.
- Después se atornillan los refuerzos tubulares o los paneles intermedios con las paredes laterales.
- Los bastidores de la cubeta o del embudo se sueldan en los puntos de apoyo en el soporte.

Figura 21. Tolva colectora de polvo

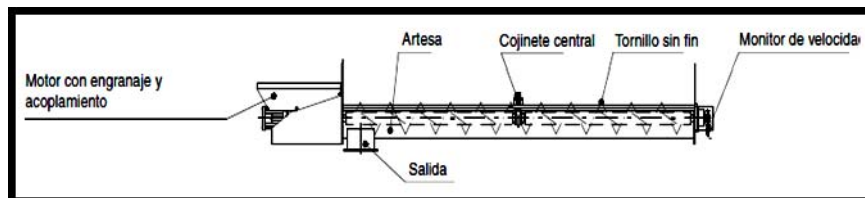


Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 13.

Cuarto paso: ensamblaje del tornillo sin fin

Se suministra completamente montado y, después de introducir la cuba en la construcción metálica, se levanta desde abajo con un dispositivo de elevación y se atornilla con la cubeta.

Figura 22. Tornillo transportador de polvo

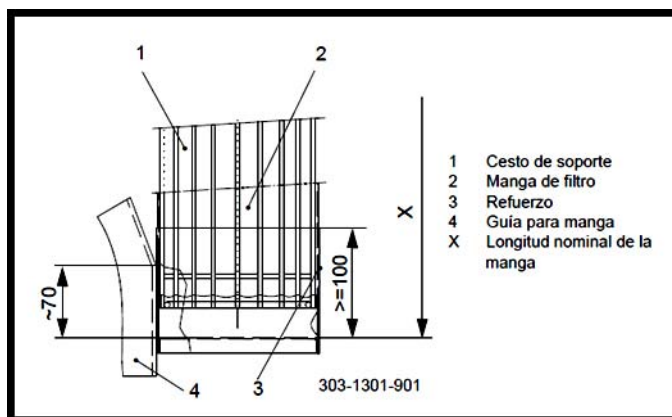


Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 15.

Quinto paso: montaje de las mangas

Para mangas de filtro especialmente sensibles, como las mangas de membrana, se incorpora una guía para manga. En el extremo inferior, la manga de filtro lleva un refuerzo. Este refuerzo topa con la guía, impidiéndose de ese modo que la manga de filtro roce partes de la carcasa en otros puntos. En caso de que en los planos de carcasa esté representada esta guía para manga, debe tenerse en cuenta especialmente la altura de montaje de la misma. Una altura de montaje errónea ocasiona daños en la manga. Un ejemplo de la guía de la manga se muestra en la figura 23.

Figura 23. **Guía de la manga**

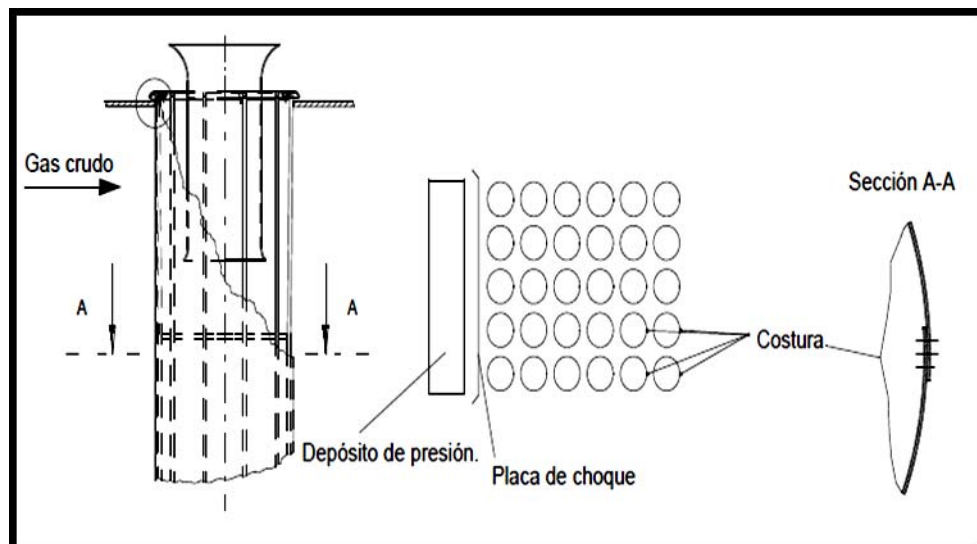


Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 18.

- Antes del montaje de las mangas de filtro debe asegurarse que la cámara de gas puro esté totalmente libre de polvo.

- Enganchar la manga de filtro en el orificio del fondo de la manga. Al hacerlo, deberá prestarse atención que la manga no resulte dañada, para no acortar su vida útil y no sobrepasar el valor exigido de contenido de polvo en el gas puro.
- Verificar el asiento del reborde de obturación en mangas con el anillo de alambre o el anillo de resorte en el fondo de la manga.
- Las costuras longitudinales de las mangas de filtro deben alinearse en una dirección conocida, siempre del lado encarado a la entrada de gas puro.
- En caso de que el cabezal de la manga tenga una costura longitudinal propia, se deberá alinear dicha costura.

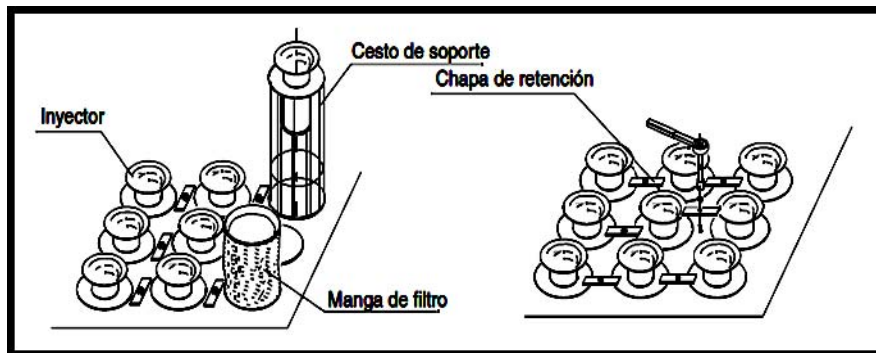
Figura 24. **Cuerpo de las mangas**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolvo. p. 19.

- Después de haber enganchado correctamente todas las mangas de filtro en una unidad, pueden introducirse ahora las cestas de soporte con los inyectores montados en las mangas de filtro, de modo que la manga no entre en contacto por el lado de gas bruto con las otras mangas de filtro o refuerzos.
- Después de enganchar los cestos de soporte, dichos inyectores se fijan con chapas de retención, como se muestra en la figura.

Figura 25. **Fijación de las chapas de retención de las mangas**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolvo. p. 19.

Sexto paso: montaje del cuerpo del filtro

La carcasa con el conducto de gas bruto y el cabezal con el conducto de gas puro, la plataforma y la barandilla o el alojamiento del cabezal del filtro, pueden ensamblarse previamente en el lugar de montaje y elevarse luego con una grúa para colocarlos sobre el soporte del filtro. Las mangas de filtro y las toberas pueden estar ya instaladas. Ambos grupos constructivos se atornillan al bastidor con reborde.

- La construcción metálica y el embudo o cubeta se elevan a continuación con una grúa para colocarlos en su lugar de emplazamiento.
- Luego se monta la escalera, los peldaños, las plataformas y las barandillas.
- Después se instalan los empalmes de gas bruto y gas puro.
- Sellar exteriormente los puntos de unión del filtro después del montaje.
- Establecer las conexiones de aire comprimido.
- Realizar la instalación eléctrica según especificaciones e instrucciones para filtros de mangas por impulsos y unidad de control.

2.4.2. Montaje de la válvula rotativa

Se creó una guía de pasos que detallan las actividades del montaje del motor, el reductor y el embrague de la válvula rotativa y se creó un listado de piezas y accesorios del filtro para facilitar la identificación de los mismos en el campo e instrucciones de seguridad para su montaje y puesta en marcha.

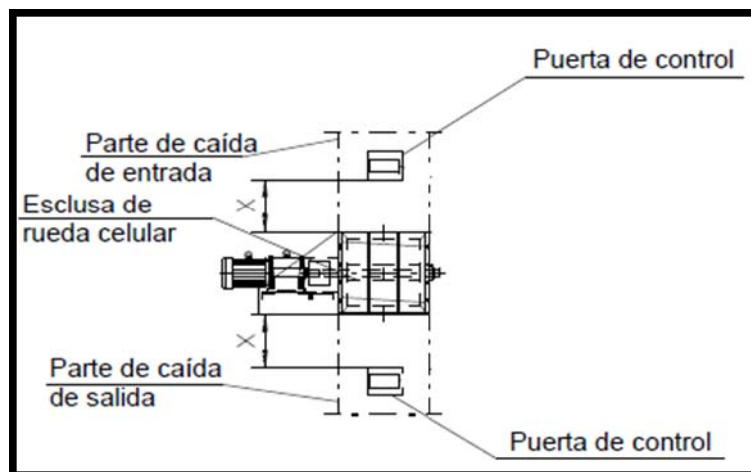
2.4.2.1. Instrucciones de seguridad

Las esclusas de rueda celular contienen componentes en rotación y puntos de cizallamiento, las cuales son consideradas como zona de peligro. A continuación se muestran una serie de riesgos durante el montaje.

- No mover el rotor, hay peligro de lesiones.

- Antes de la puesta en servicio de la esclusa de rueda celular hay que prestar atención a que estén aplicados y cerrados correctamente todos los dispositivos de protección y aberturas.
- Las aberturas y los dispositivos de protección que se encuentren en la zona de peligro (que es la zona en que resulte posible entrar en contacto con partes en movimiento) de la esclusa de rueda celular, deben ser protegidas de tal forma, que no sea posible abrirlos o desmontarlos sin la ayuda de herramientas.
- Si en la parte de caída de entrada o la de caída de salida existen aberturas por las cuales pueda ser pasado un brazo, deben disponerse estas a una distancia X tal que resulte imposible alcanzar partes en rotación (véase la figura 26).

Figura 26. **Distancia X entre partes de caída de entrada**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolvo. p. 22.

- Cuando se realicen pruebas en la esclusa de rueda celular, hay que proteger a esta de una puesta en marcha no intencionada. (Rótulo de aviso en el armario de distribución, desconexión de emergencia mediante llave).

2.4.2.2. Listado de equipos e instrumentación de la válvula rotativa

Se creó un listado de equipos e instrumentos de repuesto y desgaste de la válvula rotativa. Al arribar la válvula y sus accesorios a planta La Pedrera se debe verificar si las partes de repuestos, equipos e instrumentación de la misma estén completos y que sean los adecuados, pues si en el transporte o montaje de la válvula se romperá o dañará un equipo o instrumento, este podrá ser sustituido por el listado de repuestos. El listado de equipos muestra a los equipos e instrumentos enumerados y con su correspondiente posición:

Tabla XXVIII. **Listado de piezas de desgaste**

Posición	Designación	Peso (kg)
1	Lote de reparación junta: labio de estanqueidad	0,2
2	Lote de reparación listón de acero de muelles: listón de acero de muelles	0,5
3	Caja de rodamientos con brida	7,3
4	Junta anular del árbol	0,3
5	Embrague completo	15
5.1	Corona dentada	7,6
5.2	Medio embrague (lado motor)	3,7
5.3	Medio embrague (lado de la esclusa)	3,7

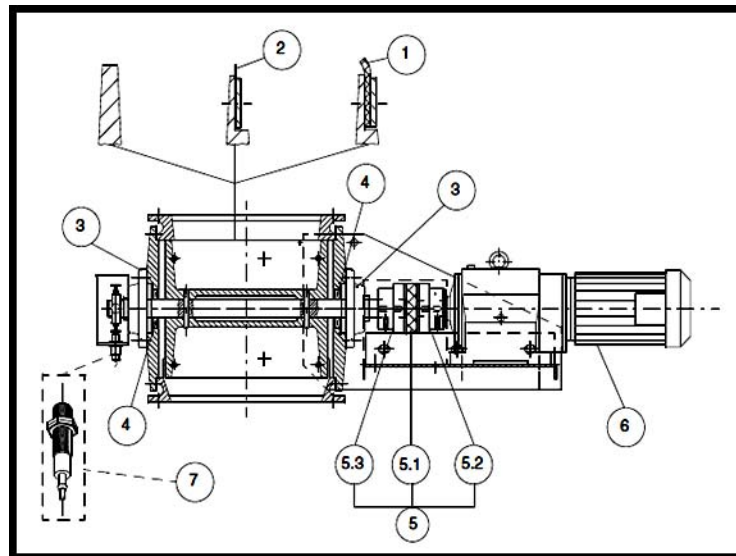
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Listado de piezas de repuesto**

Posición	Designación	Peso (kg)
6	Motorreductor	15,0
7	Interruptor de inducción	1,0

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Diagrama de accesorios de la válvula rotativa**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolvo. p. 24.

2.4.2.3. Guía de pasos del montaje de la válvula rotativa

Primer paso: ensamblaje del motor-reductor

Se debe verificar si los datos de placa del motor-reductor coinciden con los de la fuente de alimentación.

Revisar que el accionamiento no presente daños causados por el transporte o el almacenamiento. Los ejes de salida y las superficies de las bridas deben limpiarse completamente de productos anticorrosivos, impurezas o similares. No permitir que el disolvente entre en contacto con los bordes de cierre de los retenes, ya que podría dañarse el material.

Segundo paso: instalación del reductor

La estructura de soporte debe presentar las siguientes características:

- Nivelada
- Capaz de amortiguar vibraciones
- Rígida a la torsión

No se deben tensar las fijaciones de las patas y las bridas de montaje unas contra otras y respetar las cargas radiales y axiales admisibles.

Los tapones de nivel, vaciado y salida de gases deben estar accesibles. En este momento del montaje, se debe comprobar si el nivel de llenado de aceite es el previsto para esta posición de montaje de fábrica, los reductores se suministran con el nivel de aceite requerido.

En función de la posición de montaje, es posible que se den ligeras desviaciones en el tapón de control del nivel de aceite, que son admisibles dentro de las tolerancias de fabricación establecidas.

Ajustar las cantidades de llenado de lubricante y la posición del tapón de salida de gases al cambiar la posición de montaje. Si el tapón de salida de gases no está activado, debe retirar el seguro de transporte del tapón de salida de gases antes de la puesta en marcha del reductor. Si se va a pintar por encima el accionamiento completo o de modo parcial, se deben cubrir previamente con tiras adhesivas el tapón de salida de gases y los retenes. Al acabar de pintar, retirar las tiras adhesivas.

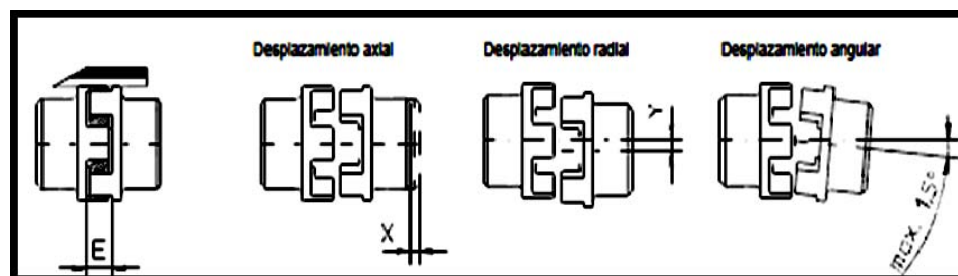
Tercer paso: montaje del embrague

- Montar ambos semiacoplamientos y la corona dentada.
- Ajustar el motorreductor. Este ajuste se realiza desplazando el motorreductor y la placa del motor.
- Los desplazamientos radial y angular se controlan colocando una regla paralela al eje del árbol. La separación indicada E ha de considerarse como la medida mínima y por tanto debe alcanzarse.

Los desplazamientos axial, radial, angular y la separación E pueden apreciarse en la figura 28.

- Ambos semiacoplamientos deben asegurarse contra el desplazamiento axial mediante tornillos prisioneros.

Figura 28. **Especificaciones del montaje del embrague**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolvo. p. 25.

La separación E y el desplazamiento radial y axial dependen del tamaño del embrague a instalarse. La tabla siguiente muestra las separaciones y desplazamientos adecuados que debe poseer la instalación con base en el tamaño del embrague.

Tabla XXX. **Dimensiones del montaje del embrague**

Tamaño de Embrague (mm)	38	42	48	55	65	75
Separación E (mm)	24	26	28	30	35	40
Desplazamiento X (mm)	1,8	2,0	2,1	2,2	2,6	3,0
Desplazamiento Y (mm)	± 1,0	± 1,0	± 1,4	± 1,4	± 1,4	± 1,8

Fuente: elaboración propia.

2.5. Control del funcionamiento operativo de los filtros a instalarse

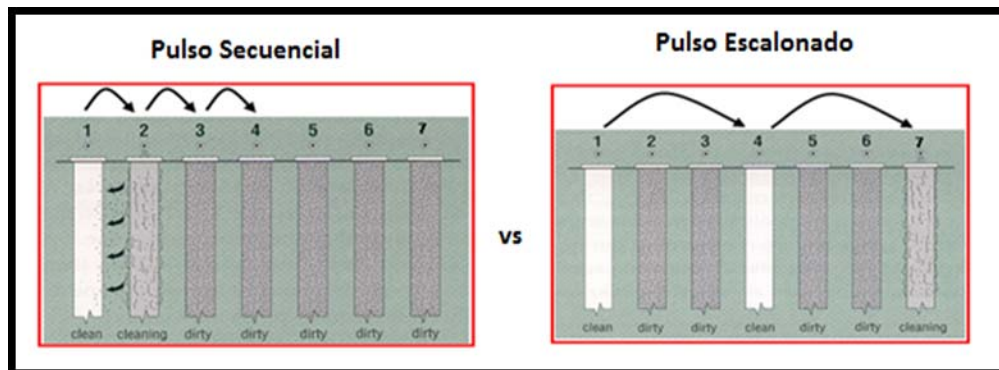
En los colectores de chorro pulsante, la función de limpieza no sólo elimina el polvo recogido, también reorganiza la estructura del polvo acumulado que queda en la bolsa, lo que da por resultado un cambio en el diferencial de presión. En una unidad con altas velocidades (velocidad del ducto), se puede producir la separación mecánica del polvo fino, creando una estructura de capa de polvo muy densa. Una densa capa de polvo crearía una resistencia al flujo de aire y un aumento del diferencial de presión. Para evitar lo anterior se debe aplicar aire seco comprimido.

Funcionamiento del pulso de limpieza:

La secuencia de pulsos puede desempeñar un papel importante en la disminución del rearrastrado de material. Pulsando una fila al lado de otra fila (orden secuencial) puede causar una mayor capa de material, para migrar a la fila de limpieza. Con el orden secuencial, el polvo o material removido en la fila siguiente, puede ser transferido a la fila anterior ya limpiada.

Es por ello, que para mejorar la optimización de filtración se debe programar pulsos escalonados, como se muestra en la figura 22. El pulso escalonado evitará la transferencia de polvo o material de una fila sucia hacia una ya limpia.

Figura 29. **Secuencia típica de limpieza *versus* secuencia recomendada**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 27.

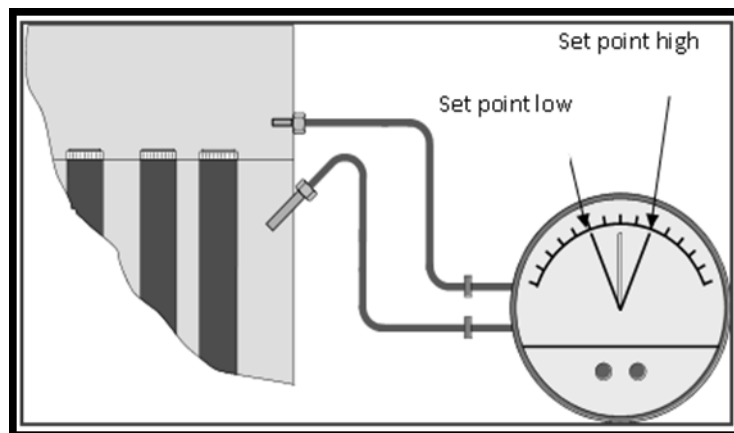
Funcionamiento del pulso de ciclo:

El ciclo de limpieza para los colectores de chorro de pulso debe ser diseñado, de modo que la duración del pulso produzca un pulso corto, quebradizo, con el fin de crear una onda de choque efectivo en la bolsa. Esta duración es generalmente de 0,10 a 0,15 segundos.

La frecuencia de limpieza es también vital para una retención apropiada de la capa de polvo. Esta frecuencia puede variar de 7 a 30 segundos o más y se ajusta por medio de un potenciómetro en el panel del temporizador. La frecuencia debe estar ajustada a través del colector, de tal manera que el rango del diferencial de presión sea de 75 a 150 milímetros columna de agua.

Para garantizar la adecuada frecuencia de limpieza, se instala un sistema de control de limpieza, utilizando un interruptor medidor de presión como se puede apreciar en la figura 30.

Figura 30. **Medidor de presión para el control de limpieza de las bolsas**



Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje de equipo de despolve. p. 28.

En los colectores de chorro de pulso, la frecuencia del pulso puede ser aumentada. Hasta que la presión del aire comprimido se recupere, se debe programar el siguiente pulso y de esa forma la misma fuerza de pulso es obtenida por cada fila ya limpiada. La recuperación de la presión del aire depende de la capacidad de aire comprimido en el sistema, atado a las bolsas y el diámetro de la tubería de aire comprimido.

Funcionamiento de la válvula diafragma y solenoide:

Las válvulas de diafragma y solenoides trabajan juntas para una operación más eficiente del sistema de limpieza de las bolsas. Si bien no funcionan correctamente, todo el sistema puede verse afectado.

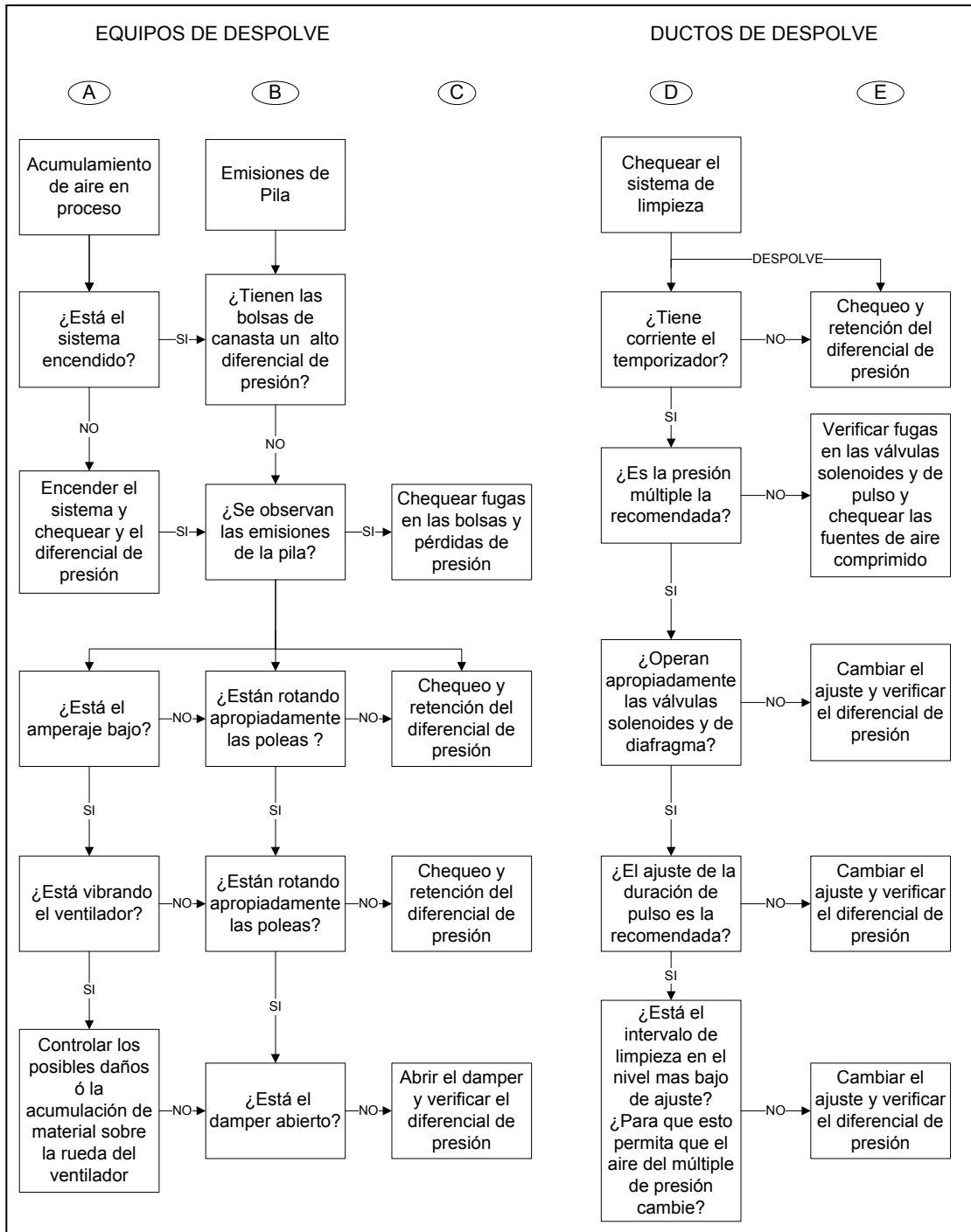
Funcionamiento de la válvula de purga:

Las válvulas de purga están diseñadas para eliminar la acumulación de humedad producida por el aire comprimido antes de entrar en la unidad, con el fin de evitar la corrosión y el polvo apelmazado en la parte superior de las bolsas. Esta válvula de accionamiento manual normalmente se encuentra en la tubería del aire comprimido. Cuando se enciende la válvula del pulso, la válvula abre un puerto de descarga, eliminando la humedad excesiva.

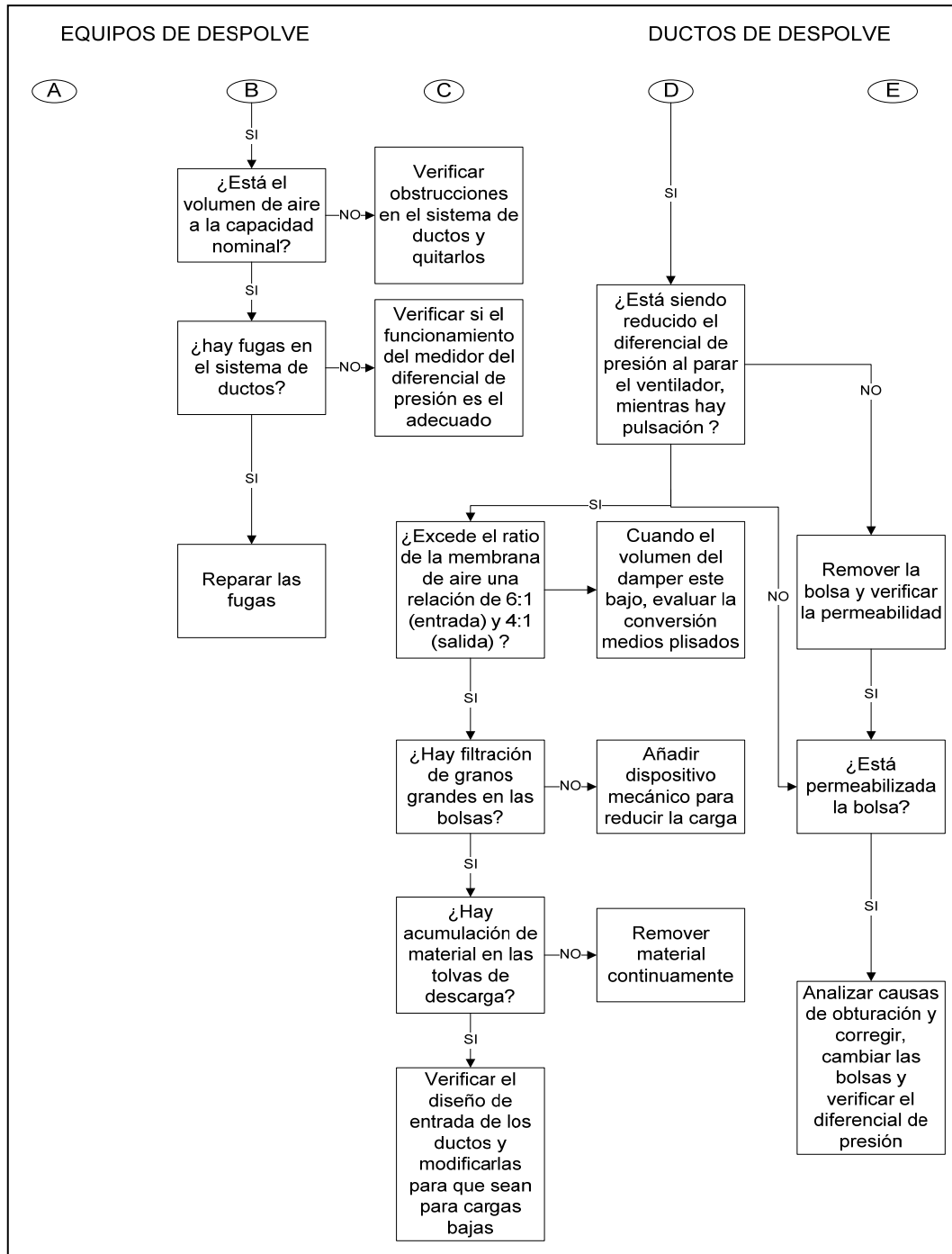
Control de operación preventivo del filtro:

Para la verificación del filtro se creó un diagrama de actividades para facilitar el control del funcionamiento del mismo y así detectar fallas o inconvenientes. El diagrama de control se divide en la operación del sistema de ductos del ventilador y en el despolve del colector de polvo. El diagrama es el siguiente:

Figura 31. Diagrama de bloques del control de operación del filtro



Continuación de la figura 31.



Fuente: elaboración propia.

2.6. Planificación del diseño del sistema de despolve

Se basa en la verificación del sistema de ductos y en las estructuras mecánicas del sistema de despolve, en aspectos tales como la verificación o cálculo de caudales, ángulos, dimensiones de estructuras mecánicas y accesorios.

2.6.1. Verificación de ductos del sistema de despolve

Los ductos del sistema son todos aquellos por los cuales se logra desempolvar todos los equipos: para verificar el despolve de los equipos, deben realizar tres cálculos; cálculo de caudales, cálculo de ángulos y cálculo de diámetros.

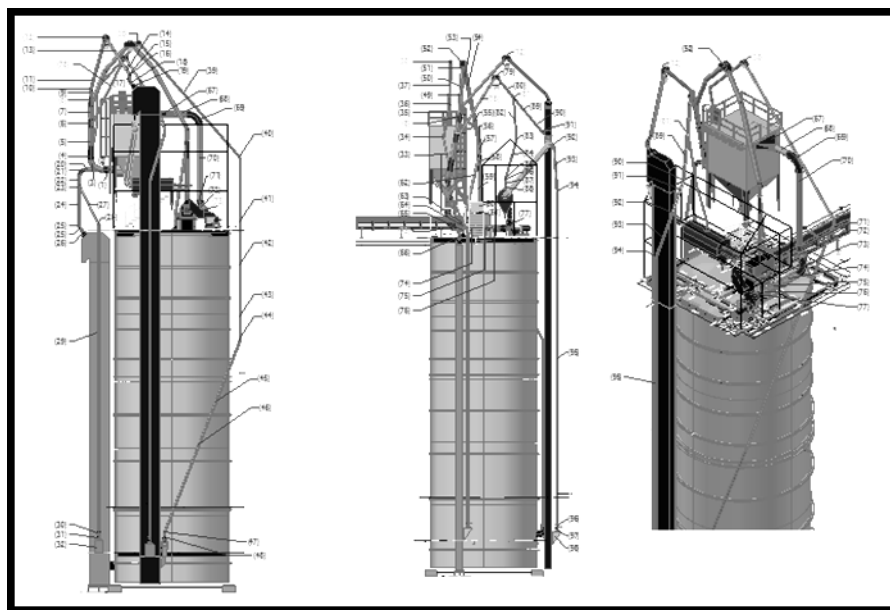
2.6.1.1. Cálculo de caudales

En el área de hornos los equipos a desempolvar son los siguientes: un silo contenedor de materia prima cal, una cadena de arrastre que distribuye la cal hacia un elevador, un elevador transportador, un elevador que transporta la cal para la envasadora, un gusano que transporta la cal del elevador y por último una banda transportadora que recibe la cal viva del gusano.

Todos los equipos mencionados anteriormente son para el funcionamiento de transporte de cal y se muestran en la figura 35. En sus datos de placa poseen un caudal de polvo, que generan estos equipos al operar, ya considerando un factor de seguridad del 20%.

Se asume que para todos los equipos la velocidad del polvo es constante a 16 metros por segundo. Entonces siendo la velocidad constante, calculando la sumatoria del caudal de todos los equipos, dará como resultado el caudal requerido en la entrada del filtro.

Figura 32. **Diseño de ingeniería del sistema de despolve**



Fuente: elaboración propia.

Caudal de polvo de los equipos

- Silo de almacenamiento

Almacena la cal viva proveniente del horno. Este descarga la cal hacia la cadena de arrastre. Su capacidad de despolve es de 1 075 metros cúbicos por hora.

- Cadena de arrastre

Diseñadas con inclinación hasta 16 grados, para que no se regrese el material de arrastre, esta transporta la cal hacia un elevador. El caudal de polvo producido por este equipo es de 1 075 metros cúbicos por hora.

- Elevador transportador para despacho

Este elevador transporta la cal hacia un gusano sinfín. El elevador tiene dos salidas de desempolvo. El primero se encuentra en la parte superior del elevador, en la descarga de material (el cabezal). Y el otro se encuentra en la parte inferior del elevador, en la recepción de material (pie del elevador). Para el cabezal del elevador el caudal de polvo es de 1 880 metros cúbicos por hora y para el pie del elevador es de 1 075 metros cúbicos por hora.

- Elevador transportador a otros equipos

Opera de la misma manera que el elevador transportador para la envasadora. Para el cabezal del elevador el caudal de polvo es de 1 880 metros cúbicos por hora y para el pie del elevador es de 1 075 metros cúbicos por hora.

- Gusano transportador para la banda

Comprende de un cuerpo tubular que transporta el material por medio de un tornillo sinfín. Por sus cualidades de hermetismo hacen más fácil de transportar el material y no se producen derramamientos. El caudal producido de polvo es de 560 metros cúbicos por hora.

- Banda transportadora para la envasadora

Una banda transportadora es un sistema de transporte continuo formado básicamente por una cinta o faja continua que se mueve entre dos tambores (rodos). Debido al movimiento de la banda el material depositado sobre la banda es transportado hacia el tambor de accionamiento donde la banda gira y da la vuelta en sentido contrario. En esta zona el material depositado sobre la banda es vertido fuera de la misma debido a la acción de la gravedad. El caudal de despolve de este equipo es de 2 370 metros cúbicos por hora.

Tabla XXXI. **Resumen de caudal de equipos**

Equipo de despolve	Caudal de polvo (m³/h)
Silo de almacenamiento	1 860
Cadena de arrastre	1 050
Elevador transportador para la envasadora (parte cabezal)	1 860
Elevador transportador para la envasadora (parte pie)	1 050
Elevador transportador para otros equipos (parte cabezal)	1 050
Elevador transportador para otros equipos (parte pie)	1 860
Gusano transportador para la banda	500
Banda transportadora para la envasadora	2 370
Caudal total	11 600

Fuente: elaboración propia.

La sumatoria de los equipos involucrados en el sistema de despolve en el área de hornos es de 11 600 metros cúbicos por hora. Lo cual equivale aproximadamente a un diámetro de entrada de 20 pulgadas. Según se muestra en la tabla XXXII.

El filtro solicitado para el presupuesto del montaje del sistema de despolve es de 9 456 metros cúbicos por hora de capacidad. Según tabla XXXII, con un caudal de 9 456 metros cúbicos por hora se obtiene un diámetro de 0,457 metros (18 pulgadas). Entonces, si se opera el sistema con un caudal mayor y manteniendo el mismo diámetro en la entrada del filtro, se obtiene un aumento de velocidad, como se muestra en el cálculo siguiente:

$$V_{\text{requerida}} = 946 \text{ m}^3/\text{h} / \pi (0,457\text{m})^2 = 16,01 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{requerida}} = 11\,600 \text{ m}^3/\text{h} / \pi (0,457\text{m})^2 = 19,64 \text{ m/s}$$

Con base a la tabla XXXII, cuando se opera con un caudal de 11 600 metros cúbicos por hora se debe tener un diámetro de 0,505 metros aproximadamente. Pero como el filtro posee un orificio de entrada de 0,457 metros, se tendría que hacer una reducción del área en el último tramo de ducto del sistema de despolve, para que se ajustase con el diámetro requerido de entrada.

Al poseer una velocidad mayor, ocasionaría una disminución de la presión bruscamente en el último tramo y por ende variaciones en el diferencial de presión del filtro. Esta pérdida de presión ocasionaría una disminución del rendimiento de operación del filtro.

Para mantener el mismo diámetro de entrada y evitar lo mencionado anteriormente, se tuvo que reducir diámetros de tubería en los puntos de despolve del sistema, para lograr un caudal de entrada del filtro de 9 456 metros cúbicos por hora. Más adelante se mostrarán los cálculos y la verificación de las reducciones de diámetros.

2.6.1.2. Verificación de ángulos

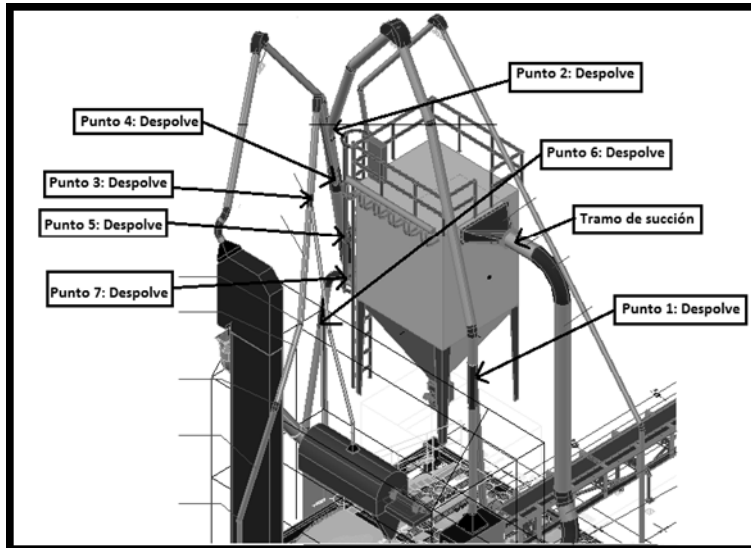
Se denomina punto de despolve cuando hay unión de dos o más ductos y por ende un aumento de diámetro en el ducto resultante. El número de puntos de despolve se debe limitar. Mientras más puntos se tenga en un sistema de despolve, mayor la probabilidad de que se creen ángulos menores de 60 grados. El conducto tiene que poseer un ángulo de inclinación mayor a 60 grados, para que no se acumule material de despolve en el sistema.

El problema se presenta cuando los codos, autolimpiantes y transiciones poseen ángulos no adecuados. La acumulación, dificulta el flujo de aire y provoca un desgaste acelerado.

Se verificó que en los autolimpiantes el rango del ángulo α , formado entre los dos ductos de despolve fuera de: $60^\circ < \alpha < 100^\circ$. Si es menor de 60° habrá acumulación de material en el autolimpiante y si es mayor a 100° en los ductos. (Según lo establecido en el manual de sistema de ductos de despolve, Cementos Progreso, Grupo Holcim).

Se debe evitar trayectorias horizontales, en las uniones de ductos, codos y transiciones.

Figura 33. Verificación de puntos de despolve



Fuente: elaboración propia.

2.6.1.3. Cálculo de diámetros

Para la verificación de cálculos de los diámetros, se basó en la tabla XXXII, la cual determina el diámetro requerido dado por el caudal de trabajo. Esta considera una velocidad de trabajo constante de 16 metros por segundo y está estandarizada para un caudal específico de polvo de piedra caliza.

Tabla XXXII. **Caudal de aire**

Diámetro del tubo (pulgada)	Diámetro del tubo (mm)	Velocidad de aire (m/s)	Caudal de aire (m³/h)
6	152,40	16,00	1 051
7	177,80	16,00	1 430
8	203,20	16,00	1 868
9	228,60	16,00	2 364
10	254,00	16,00	2 919
11	279,40	16,00	3 531
12	304,80	16,00	4 203
13	330,20	16,00	4 932
14	355,60	16,00	5 720
15	381,00	16,00	6 567
16	406,40	16,00	7 471
17	431,80	16,00	8 435
18	457,20	16,00	9 456
19	482,60	16,00	10 536
20	508,00	16,00	11 674
21	533,40	16,00	12 871
22	558,80	16,00	14 126
23	584,20	16,00	15 439
24	609,60	16,00	16 811
25	635,00	16,00	18 241
26	660,40	16,00	19 729
27	685,80	16,00	21 276
28	711,20	16,00	22 881
29	736,60	16,00	24 545
30	762,00	16,00	26 267

Fuente: Cementos Progreso S.A. Manual sistema de despolve. p. 5.

El sistema de ductos del filtro presenta siete puntos de despolve más un tramo de succión del ventilador. Se evitó tener una entrada de caudal de despolve violento, reduciendo los diámetros del sistema equitativamente en los siete puntos de despolve. Al no tener una única reducción de diámetro, en la entrada del filtro, se logró disminuir la velocidad del flujo de entrada.

Si se mantiene la misma longitud de la transición, se puede variar el diámetro resultante en un 20%, según (manual de sistema de ductos de despolve, Cementos Progreso, Grupo Holcim). La transición no debe variar su longitud para no sufrir de variaciones en los ángulos del sistema ya verificados.

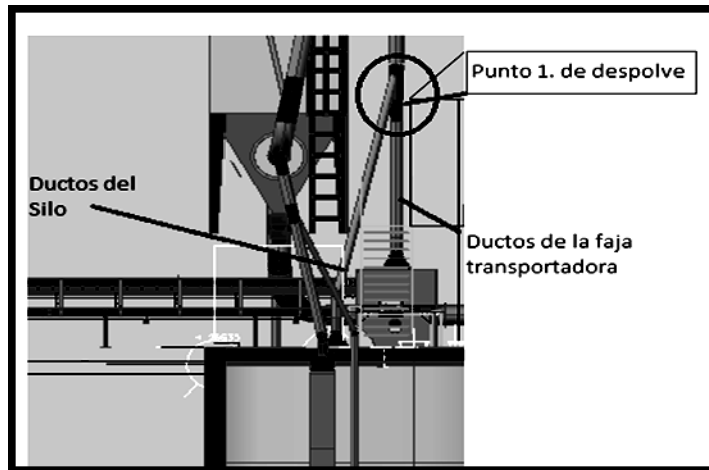
- Punto 1

Son los ductos que vienen del silo y de la banda transportadora. El caudal del silo es de 1 860 metros cúbicos por hora y el de la faja transportadora de 2 370 metros cúbicos por hora, siendo un caudal total requerido de 4 230 metros cúbicos por hora. Según tabla XXXII.

4 203	→	304,8 mm
4 230	→	X
4 932	→	330,20 mm

El diametro requerido teórico es de 305,77 milímetros para este punto, los datos de la tabla XXXII. Se redujo el diámetro resultante a 279 milímetros. El caudal aproximado según el diámetro resultante reducido es de 3 531 metros cúbicos por hora.

Figura 34. Punto 1 de despolve



Fuente: elaboración propia.

- Punto 2

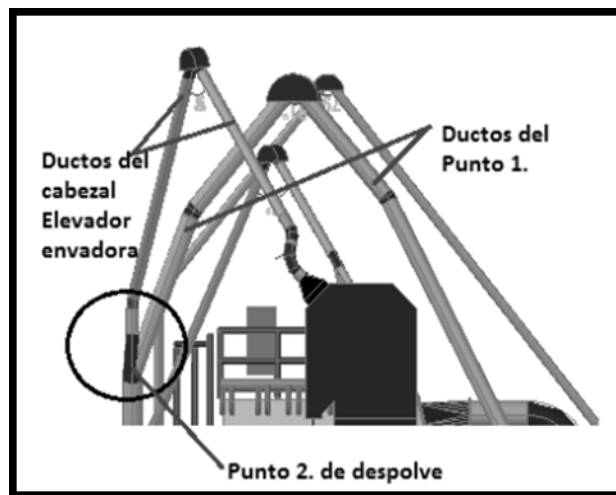
Son los ductos que vienen del punto 1 y del cabezal del elevador transportador para otros equipos.

El caudal del punto 1 real es de 3 531 metros cúbicos por hora y el teórico de 4 230 metros cúbicos por hora. El caudal del cabezal del elevador es de 1 860 metros cúbicos por hora. El total de caudal requerido real es de 5 391 metros cúbicos por hora y el teórico de 6 090 metros cúbicos por hora.

5 720	→	355,60 mm
6 090	→	X
6 567	→	381,00 mm

El diámetro teórico es de 366,70 milímetros según este punto, interpolando según los datos de la tabla XXXII. Se redujo el diámetro resultante a 330,20 milímetros. El caudal aproximado según el diámetro real es de 4 932 metros cúbicos por hora.

Figura 35. **Punto 2 de despolve**



Fuente: elaboración propia.

- Punto 3

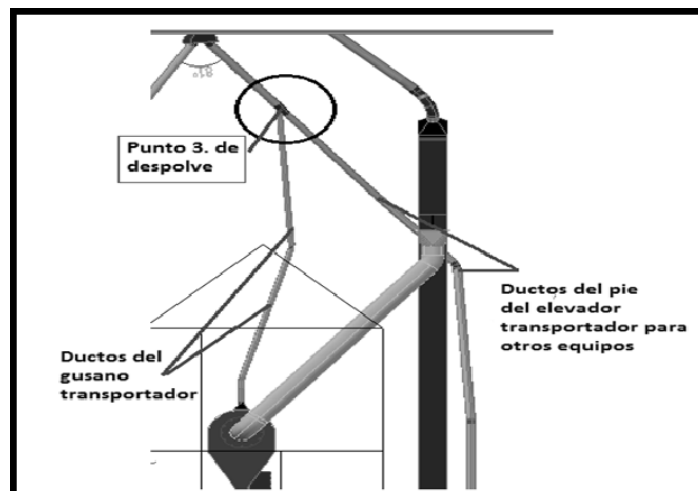
Los ductos que vienen del pie del elevador transportador para otros equipos y del gusano transportador.

El pie del elevador tiene un caudal de 1 050 metros cúbicos por hora y el gusano de 500 metros cúbicos por hora. El caudal total requerido es de 1 550 metros cúbicos por hora.

1 430	→	177,80 mm
1 550	→	X
1868	→	203,20 mm

El diámetro teórico es de 184,76 milímetros para este punto, interpolando según los datos de la tabla XXXII. Se redujo el diámetro resultante a 177,80 milímetros. El caudal aproximado según el diámetro real es de 1 430 metros cúbicos por hora.

Figura 36. **Punto 3 de despolve**



Fuente: elaboración propia.

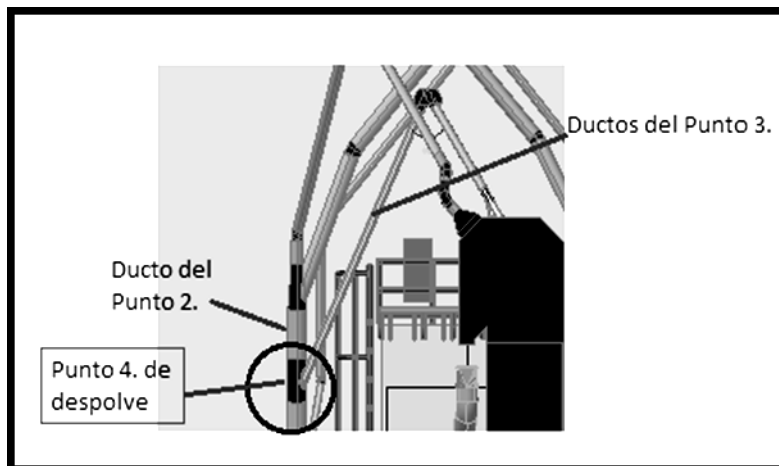
- Punto 4

Son el ducto que viene del punto 2 y los ductos del punto 3. El caudal teórico del punto 2 es de 6 090 metros cúbicos por hora. El caudal del punto 3 es de 1 550 metros cúbicos por hora. El caudal teórico requerido es de 7 640 metros cúbicos por hora y el real de 5 720 metros cúbicos por hora.

7 471	→	406,40 mm
7 640	→	X
8 435	→	431,80 mm

El diámetro teórico 410,85 milímetros según este punto, interpolando según los datos de la tabla XXXII. El diámetro real a instalarse es de 355,60 milímetros.

Figura 37. **Punto de despolve 4**



Fuente: elaboración propia.

- **Punto 5**

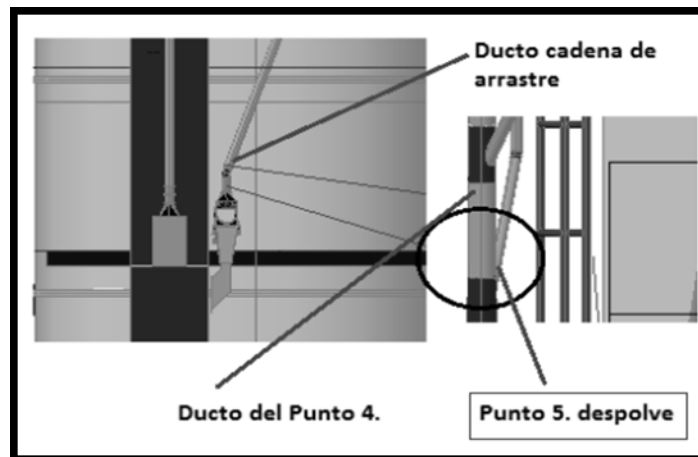
Son el ducto que vienen del punto 4 y los de la cadena de arrastre. El caudal teórico del punto 4 es de 7 640 metros cúbicos por hora. El caudal de la cadena de arrastre es de 1 050 metros cúbicos por hora. El caudal total teórico requerido es de 8 690 metros cúbicos por hora.

8 430	→	431,80 mm
8 690	→	X
9 456	→	457,20 mm

El diámetro teórico es de 438,23 milímetros según este punto, interpolando según tabla XXXII. Para lograr obtener un caudal exacto total requerido de 9 456 metros cúbicos por hora en la entrada del filtro, se ajustó el diámetro a 395,75 milímetros en este punto.

El tramo de tubería en este punto de despolve es corto y es por ello, que aunque no sea un diámetro de tubería comercial, se puede mandar a fabricar y los costos no representan gran repercusión en el presupuesto.

Figura 38. **Punto de despolve 5**



Fuente: elaboración propia.

- Punto 6

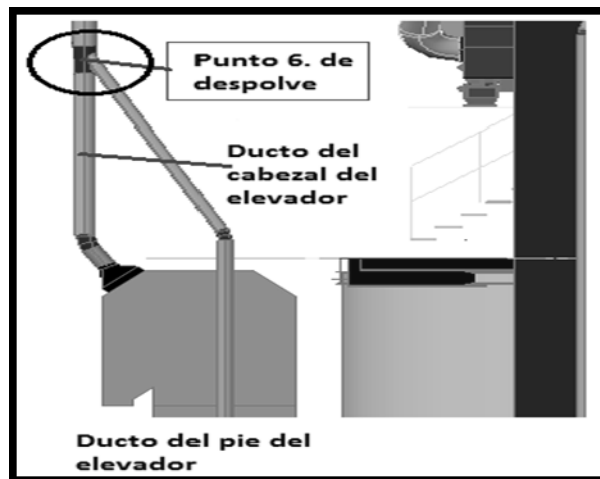
Son los ductos que vienen del pie del elevador transportador para la envasadora y del cabezal del mismo elevador.

El caudal teórico del pie del elevador es de 1 050 metros cúbicos por hora. El cabezal del elevador es de 1 860 metros cúbicos por hora. El caudal total teórico requerido es de 2 910 metros cúbicos por hora.

2 364	→	228,60 mm
2 910	→	X
2 919	→	254,00 mm

El diámetro teórico es de 254 milímetros en este punto, interpolando según tabla XXXII. El diámetro real a instalarse es de 236,4 milímetros. El caudal según el diámetro real es de 2 364 metros cúbicos por hora.

Figura 39. Punto de despolve 6



Fuente: elaboración propia.

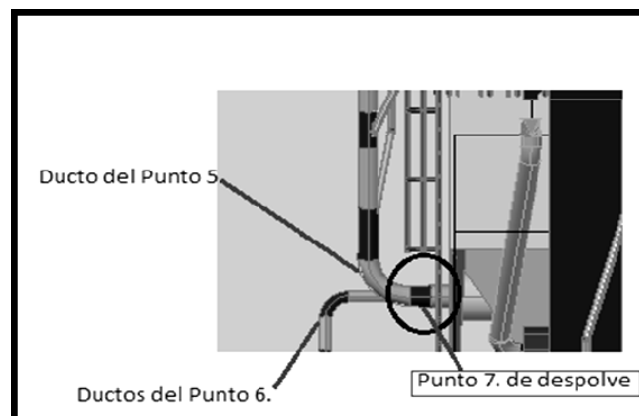
- Punto 7

Son el ducto que viene del punto 5 y los del punto 6. El caudal teórico del punto 5 es de 8 690 metros cúbicos por hora y el real de 7 092 metros cúbicos por hora. El caudal teórico del punto 6 es de 2 910 metros cúbicos por hora y el real de 2 364 metros cúbicos por hora. El caudal teórico requerido total es de 11 600 metros cúbicos por hora y el real de 9 456 metros cúbicos por hora.

10 536	→	482,60 mm
11 600	→	X
11 674	→	508,00 mm

El diámetro teórico de entrada al filtro sería de 506,35 milímetros en este punto, interpolando según tabla XXXII. Por medio de las reducciones equitativas en los siete puntos de despolve se logró obtener el caudal total de entrada de 9 456 metros cúbicos por hora, con un diámetro de 457,20 milímetros según tabla XXXII.

Figura 40. **Punto 7 de despolve**

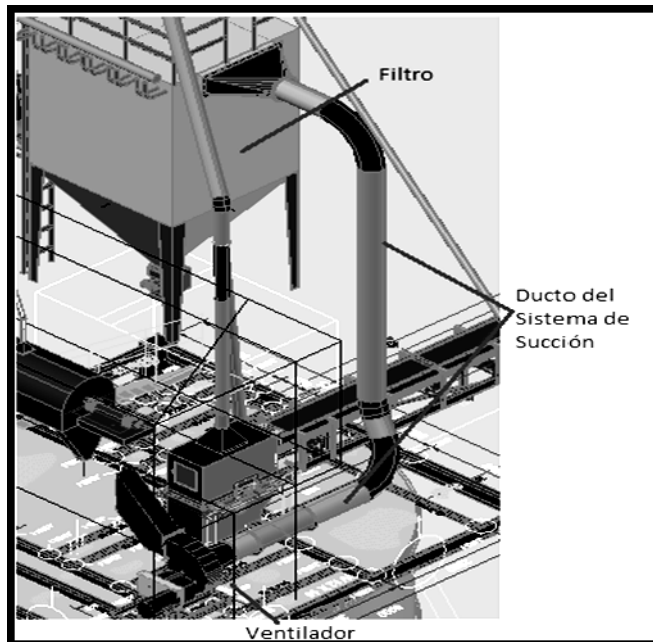


Fuente: elaboración propia.

- Tramo de succión

Son los ductos que salen del ventilador hacia el filtro. El diámetro del tramo de succión del ventilador es de 0,457 milímetros, debe ser igual al de entrada al filtro.

Figura 41. **Tramo de succión del filtro y ventilador**



Fuente: elaboración propia.

En resumen los diámetros teóricos y los reales a instalarse se muestran en la tabla XXXIII.

Tabla XXXIII. Resumen de puntos de despolve

Sección analizada	Diámetro teórico (mm)	Diámetro real (mm)	Diámetro teórico (m ³ /h)	Diámetro real (m ³ /h)	Rango de reducción (+/- 20%)
Punto de despolve 1	305,77	279	4 230	3 531	254 < x = 279 < 305,77
Punto de despolve 2	366,70	330	6 090	4 932	305 < x = 330 < 366,70
Punto de despolve 3	184,76	175	1 550	1 430	154 < x = 175 < 184,76
Punto de despolve 4	410,85	355,6	7 640	5 720	343 < x = 355,60 < 410,85
Punto de despolve 5	438,23	400	8 690	7 092	365 < x = 400 < 438,23
Punto de despolve 6	254,00	230	2 910	2 364	212 < x = 230 < 254,00
Punto de despolve 7	506,35	457,2	11 600	9 456	421 < x = 457,20 < 506,35
Tramo de succión	506,35	457,2	11 600	9 456	

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo del área lateral de los ductos

Se consideró el área de los ductos igual a la de un cilindro. El área lateral de los ductos se calculó con la siguiente fórmula:

$$A_L = \pi \times D \times L$$

Donde

D= diámetro del ducto

L= longitud de ducto

Ejemplo del cálculo del área lateral ducto posición # 1:

$$D = 0,457 \text{ m}$$

$$L = 0,50 \text{ m}$$

$$A_{L;1} : \pi \times (0,457) \times (0,50) = 0,72 \text{ m}^2$$

La posición de los ductos se aprecia en la figura 25. Diseño de ingeniería del sistema de despolve, en la siguiente tabla se muestra el resumen de los cálculos de los ductos del sistema.

Tabla XXXIV. Resumen del área lateral de ductos

Posición	Diámetro Ø (mm)	Longitud L (mm)	Área lateral (m ²)
1	457	500	0,72
5	350	1 292	1,42
7	330	863	0,89
9	200	418	0,26
11	200	4 765	2,99
13	200	3 590	2,26
16	200	75	0,05
18	200	125	0,07
20	230	660	0,48
22	230	7 050	5,09
24	200	2 673	1,68
27	150	3 459	1,63
29	150	23 137	10,90
33	150	2 230	1,05
35	150	2 532	1,19
37	150	4 040	1,90
39	150	10 795	5,09
41	150	8 032	3,78
42	150	5 000	2,35
43	150	5 350	2,52
45	150	5 000	2,35
46	150	7 685	3,62
48	150	7 685	3,62
49	279	2 768	2,43
51	279	2 060	1,80
53	279	1 850	1,62
55	279	5 050	4,42
57	279	812	0,71
59	230	2 763	2,00
62	200	5 537	3,48
64	200	500	0,31
68	457	1 000	1,43
70	457	5 580	8,01
72	457	385	0,55
74	457	1 211	1,74
76	457	500	0,72
78	175	6 184	3,40
80	175	2 000	1,11
82	100	3 520	1,10
84	100	3 240	1,02
86	100	230	0,07
89	150	2 850	1,34
91	150	1 965	0,93
93	150	3 798	1,79
95	150	26 785	12,62
Área total		187 544	108,51

Fuente: elaboración propia.

2.6.1.4. Cálculo de codos y accesorios

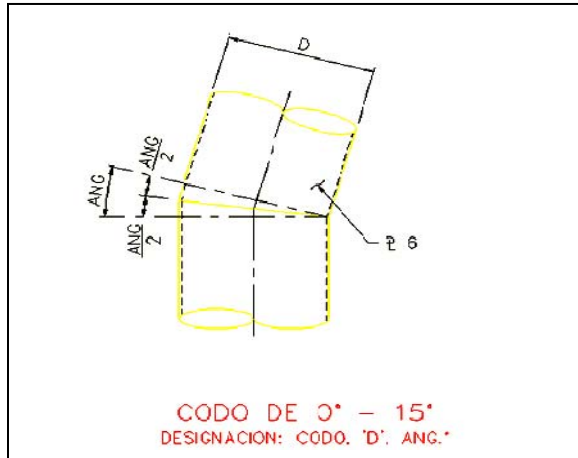
En el sistema de despolve, la mayoría de los codos a instalarse son de dimensión recta y algunos curvos. Los codos curvos por dentro poseen un área superficial uniforme, mientras que los rectos al ser soldados poseen secciones soldadas, en las cuales puede haber acumulación de material, lo cual aumenta la temperatura en esos puntos y reduce el área de paso del flujo. Por otra parte, aunque los codos curvos representen una ventaja al no tener secciones soldadas, el precio y su comercialización dificultan la adquisición de los mismos. Como el sistema de despolve trabajará con ductos de diámetros y trayectorias grandes, no hay ningún inconveniente en la selección de codos rectos.

Para la operación de desempolve se deben omitir codos con ángulos mayores a 90 grados, para evitar perder la velocidad de succión del sistema. Los codos a montarse se dividen en tres categorías: los de 0 a 15 grados, los de 16 a 45 y los de 46 a 90.

- Dimensión de codo de 0° a 15°

Se debe saber el ángulo de inclinación del codo. El codo se divide en dos secciones iguales y sus áreas son la de un triángulo recto. El ángulo de cada sección, en el punto de contacto de los dos ductos, es la mitad del ángulo del codo, como se puede observar en la siguiente figura:

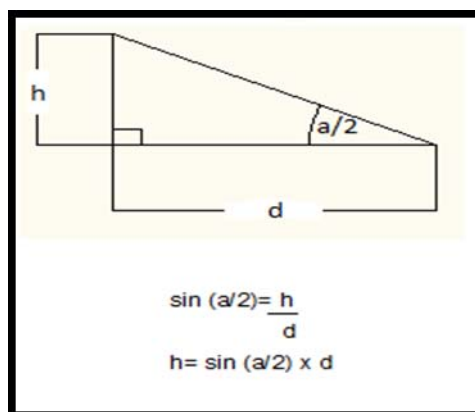
Figura 42. **Especificaciones codo 0° a 15°**



Fuente: Cementos Progreso, S.A. Manual sistema de despolve. p. 15.

La altura de una sección determina la longitud del codo. Entonces por trigonometría se puede calcular la altura, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 43. **Cálculo trigonométrico**



Fuente: Cementos Progreso, S.A. Manual sistema de despolve. p. 16.

Cálculo del área lateral codo 0° a 15°

Se divide en dos secciones de triángulos rectos iguales, la suma del área de estos equivale a la de un rectángulo. Siendo la altura de un triángulo la misma que la del rectángulo y la base el diámetro respectivamente. La fórmula es la siguiente:

$$A_L = \pi \times H \times D$$

Donde

H= altura de los triángulos rectos

D= diámetro del codo

Ejemplo cálculo del área lateral codo posición # 54:

$$H_{54} = \sin (\alpha/2_{54}) \times D_{54}$$

$$H_{54} = \sin (13/2) \times 0,279$$

$$H_{54} = 0,031 \text{ m}$$

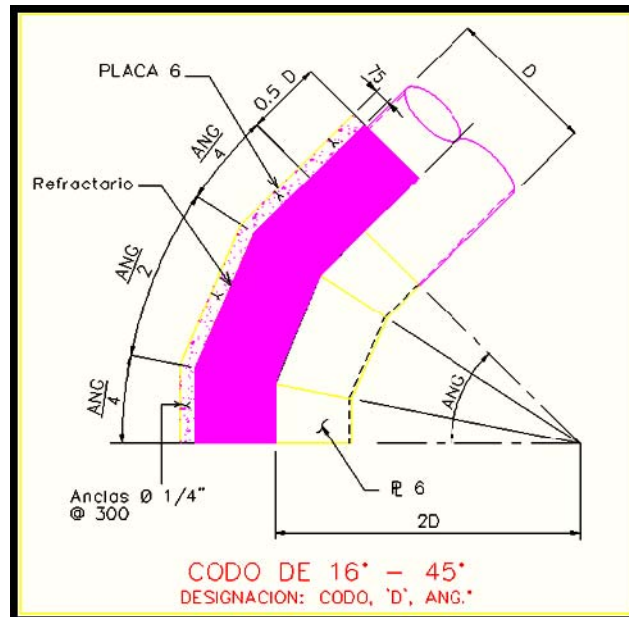
$$A_{L 54} = \pi \times H_{54} \times D_{54}$$

$$A_{L 54} = \pi \times 0,031 \times 0,79 = 0,09 \text{ m}^3$$

- Dimensión del codo de 16° a 45°

Posee tres secciones en forma triangular y una rectangular, la sumatoria de las alturas de las secciones triangulares y la altura del rectángulo darán como resultado la longitud del codo. Las especificaciones de la dimensión del codo de esta categoría se muestran en la siguiente figura:

Figura 44. Especificaciones codo 16° a 45°



Fuente: Cementos Progreso, S.A. Manual sistema de despolvo. p. 16.

Para determinar la longitud del codo, se calcularon las alturas de cuatro tramos del codo y la suma de estas representan la longitud total de codo. Se puede apreciar en la figura 1 del apéndice, un ejemplo del cálculo de la altura del codo de la posición #10.

Cálculo del área lateral de 16° a 45°

El área lateral del codo se calculó de la misma manera que la de los ductos, sólo que la altura se dividió en tres secciones trapezoidales y una rectangular. La fórmula es la siguiente:

$$A_L = \pi \times D \times H$$

Donde

D = diámetro del codo

H = $\sum (h_1+h_2+h_3+h_4)$; altura del codo

Para determinar la longitud del codo, se calcularon las alturas de cuatro tramos del codo y la suma de estas representan la longitud total de codo. Se puede apreciar en la figura 1 del apéndice, un ejemplo del cálculo de la altura del codo posición #10.

Continuación del ejemplo del codo de posición # 10:

$$A_{L10} = \pi \times D_{10} \times H_{10}$$

Donde

$$H_{10} = \sum (h_1; h_4)$$

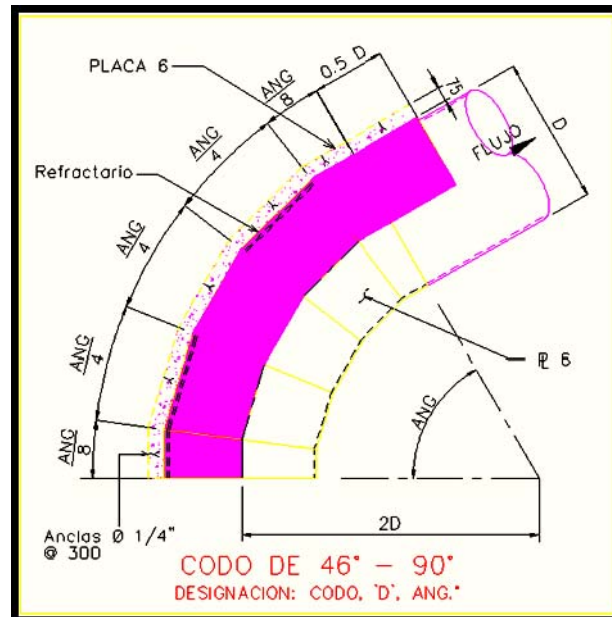
$$H_{10} = 83,5 \text{ mm} + 165,38 \text{ mm} + 83,5 \text{ mm} + 100 \text{ mm} = 432 \text{ mm}$$

$$A_{L10} = \pi \times (0,2) \times (0,432) = 0,27 \text{ m}^2$$

- Dimensión del codo de 46° a 90°

Posee cuatro secciones en forma triangular y una rectangular, la sumatoria de las alturas de las secciones triangulares y la altura del rectángulo darán como resultado la longitud del codo. Las especificaciones de la dimensión del codo de esta categoría se muestran en la siguiente figura:

Figura 45. **Dimensión de codo de 46° a 90°**



Fuente: Cementos Progreso, S.A. Manual sistema de despolve. p. 17.

Los pasos para la altura de este codo, son los mismos que los cálculos del codo de 16° a 45°, sólo que en vez de ser cuatro secciones, son cinco y los ángulos a trabajar son $\alpha/8$ y $\alpha/4$.

Cálculo del área lateral de 46° a 90°

Es el mismo que el codo de 16° a 45° sólo que en vez de tener tres secciones trapecoidales posee cuatro, como se puede apreciar en la fórmula siguiente:

$$A_L = \pi \times D \times H$$

Donde

D= diámetro del codo

H= $\sum (h_1+h_2+h_3+h_4+h_5)$; altura del codo

La tabla siguiente muestra los ángulos de los codos a instalarse y el resumen del área lateral de los mismos:

Tabla XXXV. **Resumen del área lateral de los codos**

Posición	Diámetro (mm)	Ángulo 0° - 15°	Ángulo 16° - 45°	Ángulo 46° - 90°	Longitud (mm)	Área lateral (m ²)
3	400			90	1 586,5	1,99
10	200		32		432,38	0,27
15	200		42		533,73	0,34
17	200			69	635,82	0,40
21	230			90	912,32	0,66
25	200		32		432,38	0,27
28	150		32		324,29	0,15
34	150		23		254,72	0,12
36	150		41		392,73	0,19
40	150		39		377,61	0,18
44	150		31		316,60	0,15
47	150		18		216,01	0,10
50	279		19		301,23	0,26
54	279	13			31,58	0,03
56	279		29		560,33	0,49
63	200	15			26,11	0,02
69	457			90	1 812,80	2,60
71	457		29		917,84	1,32
73	457			86	1 744,90	2,51
83	100		24		175,09	0,06
85	100	15			13,05	0
90	150	15			19,58	0,01
92	150		44		415,29	0,20
94	150		16		200,43	0,09
Área total					12 633,32	12,41

Fuente: elaboración propia.

- Válvulas guillotinas y mariposa

Las válvulas guillotinas sirven para darle mantenimiento al sistema de despolve y su única delimitación es que la longitud de la válvula debe ser mayor que su diámetro, mientras que la válvula de mariposa debe tener una longitud mayor que el doble de su diámetro. Las longitudes y el área lateral de las válvulas se muestran en la siguiente tabla:

Cálculo del área lateral:

$$A_L = \pi \times D \times L$$

Donde

D= diámetro de las válvulas guillotina y mariposa

L= longitud de las válvulas guillotina y mariposa

Ejemplo del cálculo de la estructura receptora de la posición # 65:

$$A_{L65}: \pi \times D_{65} \times L_{65}$$

$$A_{L65}: \pi \times (0,2 \text{ m}) \times (0,5 \text{ m})$$

$$A_{L65}: 0,32 \text{ m}^2$$

Tabla XXXVI. **Resumen del área lateral de las válvulas**

Posición	Descripción	Diámetro Ø (mm)	Longitud L (mm)	Área lateral (m²)
14	Guillotina	200	300	0,19
30	Guillotina	150	325	0,15
47	Guillotina	150	340	0,16
60	Guillotina	230	300	0,22
65	Guillotina	200	500	0,32
87	Guillotina	100	300	0,09
96	Guillotina	150	325	0,15
75	Mariposa	457	1200	1,73
	Área total			3,02

Fuente: elaboración propia.

2.6.2. Verificación de estructuras mecánicas

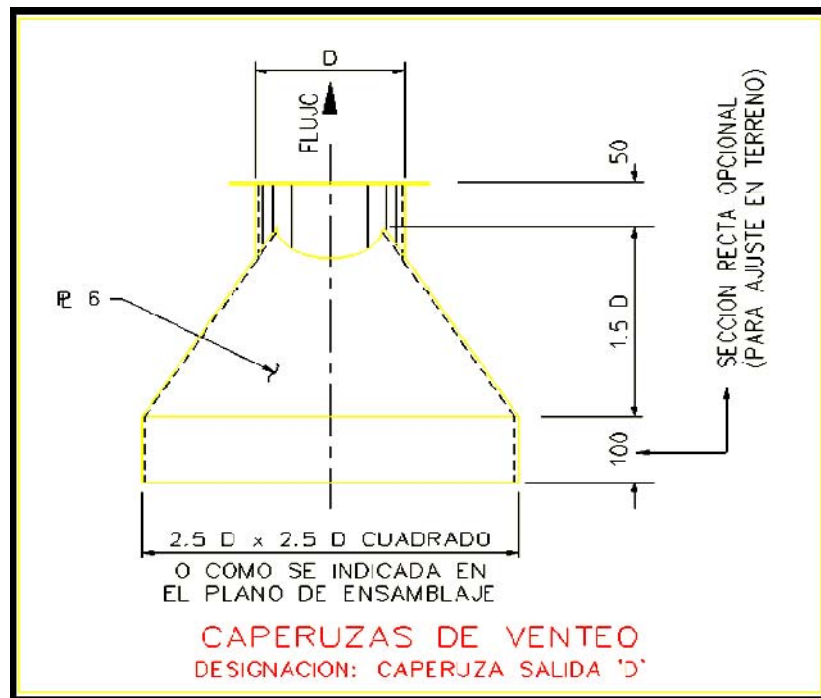
Son estructuras que se fabrican con base en la definición de la dirección y ángulos de los ductos. Estas estructuras se adaptan al diseño de los equipos. El grosor de las estructuras es mayor al de los ductos y codos, debido que estas sufren mayor desgaste. Las estructuras receptoras y campanas de venteo reciben el caudal de despolve directo, las transiciones reciben caudales de diferentes magnitudes y los autolimpiantes cambian la dirección del flujo drásticamente.

La verificación consistió en el cálculo del área lateral de estructuras receptoras, campanas de venteo, transiciones y autolimpiantes.

2.6.2.1. Cálculo de dimensiones de campanas

La caperuza de venteo, es aquella estructura que recibe directamente el flujo de polvo de los equipos mecánicos. Para el sistema de despolve, se instalarán campanas, en forma trapezoidal, teniendo la base inferior de la campana una relación de 5/2 del diámetro del ducto y la base superior la misma dimensión del ducto. La altura mínima de la campana debe tener una relación de 3/2 del diámetro del ducto. En la figura siguiente se muestran las dimensiones de la campana:

Figura 46. Dimensiones de la caperuza de venteo



Fuente: Cementos Progreso, S.A. Manual sistema de despolve. p. 25.

Cálculo del área lateral:

Área lateral trapezoidal

$$A_L = 0,5 \times 4(B + b) \times H$$

Donde

B= 2,5D, base de la campana

b= D, diámetro del ducto

H= 1,5D, altura de la campana

Entonces

$$A_{L \text{ trapezoidal}} = 2(D + 2,5 D) \times 1,5 D$$

$$A_{L \text{ trapezoidal}} = 10,5 D^2$$

Área lateral cuadrada

$$A_{L \text{ cuadrada}} = 4 \times 2,5 D \times H$$

$$A_{L \text{ cuadrada}} = 10 D \times H$$

Donde

D= diámetro del ducto

H= altura de la base cuadrada

Ejemplo del cálculo de la campana de la posición # 19:

$$A_{L \text{ campana; 19}} = A_{L \text{ trapezoidal; 19}} + A_{L \text{ cuadrada; 19}}$$

$$A_{L \text{ trapezoidal; 19}} = 10,5 (0,2^2) = 0,42 \text{ m}^2$$

$$A_{L \text{ cuadrada; 19}} = 10(0,2 \times 0,1) = 0,2 \text{ m}^2$$

$$A_{L \text{ campana; 19}} = 0,42\text{m}^2 + 0,2\text{m}^2 = 0,62 \text{ m}^2$$

Ejemplo del cálculo de la campana especial, succión del filtro, de la posición # 67:

Área lateral especial:

$$A_L = A_{L \text{ trapezoidal lateral}} + A_{L \text{ trapezoidal frontal}} + A_{L \text{ base}} + A_{L \text{ sujeción}}$$

Área lateral y frontal:

$$A_{L \text{ trapezoidal}} = 2(0,5 \times (B + b) \times L$$

$$A_{L \text{ trapezoidal}} = (B + b) \times L$$

Donde

B= base con el filtro, (la base no es cuadrada)

b= diámetro del ducto

L= longitud de la campana

$$A_{L \text{ trapezoidal lateral; 67}} = (B_{\text{lateral; 67}} + b_{\text{lateral; 67}}) \times L_{67}$$

$$A_{L \text{ trapezoidal lateral; 67}} = (0,540 + 0,457) \times 0,895 = 0,89 \text{ m}^2$$

$$A_{L \text{ trapezoidal frontal; 67}} = (B_{\text{frontal; 67}} + b_{\text{frontal; 67}}) \times L_{67}$$

$$A_{L \text{ trapezoidal frontal; 67}} = (1,760 + 0,457) \times 0,895 = 1,98 \text{ m}^2$$

Área de la base:

$$A_{L \text{ base}} = (W \times L_s) - (w \times l_s)$$

Donde

W= ancho de la pieza de sujeción

L_s= largo de la pieza de sujeción

w= ancho de la campana

l_s= largo de la campana

$$A_{L \text{ base}; 67} = (W_{67} \times L_s) - (w \times l_s)$$

$$A_{L \text{ base}; 67} = (0,540 \times 1,760) - (0,380 \times 1,60)$$

$$A_{L \text{ base}; 67} = 0,34 \text{ m}^2$$

Área de la sujeción del ducto:

$$A_{L \text{ sujeción}} = 0,25 \times \pi ((D_1)^2 - (D_2)^2)$$

Donde

D₁= diámetro de la pieza de sujeción

D₂= diámetro del ducto

$$A_{L \text{ sujeción}; 67} = 0,25 \times \pi ((D_{1;67})^2 - (D_{2;67})^2)$$

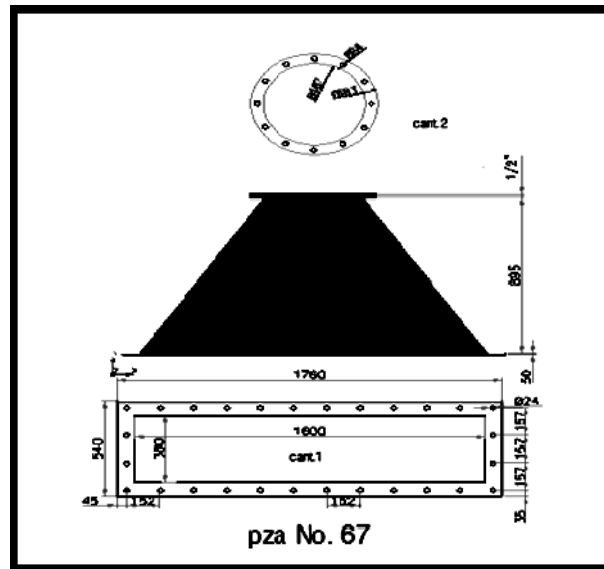
$$A_{L \text{ sujeción}; 67} = 0,25 \times \pi ((0,587)^2 - (0,457)^2)$$

$$A_{L \text{ sujeción}; 67} = 0,11 \text{ m}^2$$

$$A_{L; 67} = A_{L \text{ trapezoidal lateral}; 67} + A_{L \text{ trapezoidal frontal}; 67} + A_{L \text{ base}; 67} + A_{L \text{ sujeción}; 67}$$

$$A_{L; 67} = (0,89 + 1,98 + 0,34 + 0,11) \text{ m}^2 = 3,32 \text{ m}^2$$

Figura 47. Campana de succión del filtro



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. Resumen del área lateral de caperuzas de venteo

Posición	Diámetro (mm)	Base (mm)	Altura (mm)	Área lateral (m ²)
19	200	500	300	0,42
19		500		0,2
Base	-		100	
26	200	500	300	0,42
26				0,2
Base cuadrada	-	500	100	
31	150	375	225	0,24
61	230	575	345	0,55
61				0,23
Base cuadrada	-	575	100	
66	230	575	345	0,55
66				0,23
Base cuadrada	-	575	100	
88	100	250	150	0,11
88				0,1
Base cuadrada	-	250	100	
97	150	375	225	0,24
Campana especial 67				
Sección trapezoidal frontal	B (mm)	b (mm)	L (mm)	Área (m ²)
	1 760	457	895	1,98
Sección trapezoidal lateral	B (mm)	b (mm)	L (mm)	Área (m ²)
	540	457	895	0,89
Pieza sujeción base	W	w (mm)	L _s	l _s (mm)
	540	380	1 760	1 600
Pieza sujeción ducto	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)		
	587	457		0,11
99	150	375	225	0,34
Área total				6,11

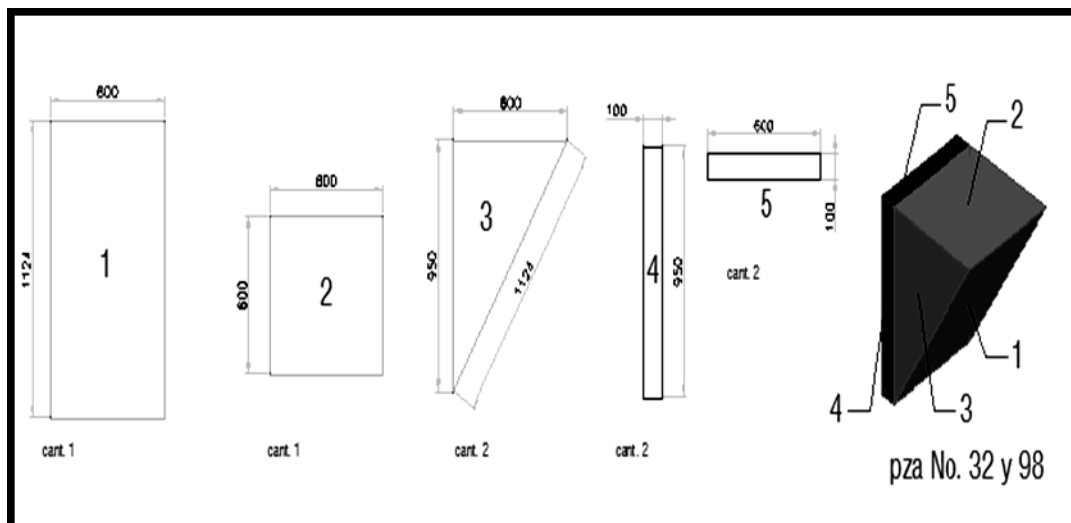
Fuente: elaboración propia.

- Estructuras receptoras

Por el diseño de la salida de desempolvo del pie de los elevadores, es necesario montar estructuras receptoras, que hacen que la caperuza quede lo más vertical posible, para evitar codos mayores de 90° de unión de la campana con los ductos.

La estructura receptora está dividida en dos secciones, una rectangular y la otra un prisma triangular. Las dimensiones de las estructuras receptoras se muestran en la siguiente figura:

Figura 48. **Dimensiones de las estructuras receptoras de la posición 32 y 98**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo del área lateral

Algunas estructuras receptoras se conformaban de dos secciones, una rectangular sin ambas caras, otro prisma triangular sin una cara y una base. El resto de las estructuras receptoras sólo constaban de un prisma triangular sin una cara y una base.

Para el cálculo de la sección rectangular se tienen:

$$A_L = 2H \times b + 2b \times L$$

$$A_L = 2b(H + L)$$

Donde

H= altura de la estructura receptora

b= base del rectángulo receptor

L= longitud de la estructura receptora

Para el cálculo de la sección prisma triangular se tiene:

$$A_L = B \times H + (L \times L_T)$$

$$L_T = \sqrt{(H^2 + L^2)}$$

$$A_L = B \times H + L (\sqrt{(H^2 + L^2)})$$

Donde

B = base de la estructura receptora

H = altura de la estructura receptora

L = longitud de la estructura receptora

L_T = longitud transversal del prisma triangular

Ejemplo del cálculo de la estructura receptora de la posición # 32

$$A_{L32}: A_{L \text{ rectángulo}} + A_{L \text{ prisma}}$$

$$A_{L \text{ rectángulo}} = 2b (H_{32} + L_{32})$$

$$A_{L \text{ rectángulo}} = 2(0,1)(0,950 + 0,6) = 0,31 \text{ m}^2$$

$$A_{L \text{ prisma}} = B_{32} \times H_{32} + L_{32} (\sqrt{H_{32}^2 + L_{32}^2})$$

$$A_{L \text{ prisma}} = 0,6 \times 0,95 + 0,6 (\sqrt{0,95^2 + 0,6}) = 1,24 \text{ m}^2$$

$$A_{L32}: 0,31 \text{ m}^2 + 1,24 \text{ m}^2 = 1,55 \text{ m}^2$$

Tabla XXXVIII. **Resumen del área lateral de las estructuras receptoras**

Posición	B (mm)	b (mm)	L _T (mm)	L (mm)	H (mm)	Área lateral (m ²)
32 Rectángulo		100		600	950	0,31
32 Prisma triángulo	600	-	1 124	600	950	1,24
98 Rectángulo		100		600	950	0,31
98 Prisma triángulo	600	-	1 124	600	950	1,24
97 Prisma triángulo	600	-	1 124	600	950	1,24
Área total						4,34

Fuente: elaboración propia.

2.6.2.2. Cálculos de dimensiones de transiciones

Las transiciones son estructuras mecánicas, que unen uno o más ramales de ductos. Se denomina transición de 1 ramal, cuando se tiene un diámetro de entrada (D2) y en la salida un aumento de diámetro (D1) y de 2 ramales, cuando se unen dos ductos con diámetros (D2 y D3) para obtener en la salida un aumento de diámetro (D1).

- Transiciones de 1 ramal

Cálculo del área lateral como truncado

$$A_L = \pi (D1+D2) \times L$$

Donde

D1= diámetro mayor

D2= diámetro menor

L = longitud del codo de transición

Las dimensiones $L_{min} = ((D1-D2) \times 5)$ de la longitud de transición (L) es la medida mínima permitida.

Ejemplo del cálculo de la transición # 2

$$A_{L;2} = \pi (D1_{;2} + D2_{;2}) \times L_{;2}$$

$$A_{L;2} = \pi (0,457 + 0,4) \times 0,5$$

$$A_{L;2} = 1,35 \text{ m}^2$$

Figura 49. Dimensiones de transición 1 del ramal



Fuente: Cementos Progreso, S.A. Manual sistema de despolve. p. 27.

- Transiciones de 2 ramales

Cálculo del área lateral de 2 ramales

$$A_L = A_{L \text{ cono}} + A_{L \text{ ducto}}$$

El cálculo del área del cono truncado es la misma que la de la transición de 1 ramal. Cálculo del área lateral del ducto:

$$A_L = \pi \times D_3 \times L$$

$$L = 1,5 \times D_3$$

$$A_L = \pi \times 1,5 (D_3)^2$$

Donde

D3= diámetro del ducto del segundo ramal

L = longitud de la sección tubular

Ejemplo del cálculo de la transición # 4

$$A_{L4} = A_{L \text{ cono}; 4} + A_{L \text{ ducto}; 4}$$

$$A_{L \text{ cono}; 4} = \pi (D1; 4 + D2; 4) \times L; 4$$

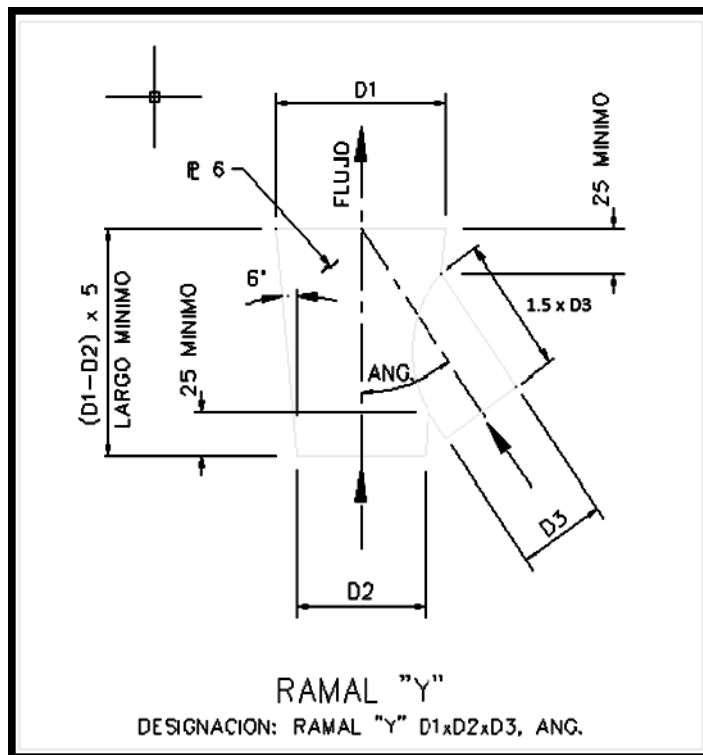
$$A_{L \text{ cono}; 4} = \pi (0,4 + 0,355) \times 1,1 = 2,61 \text{ m}^2$$

$$A_{L \text{ ducto}; 4} = \pi \times 1,5 (D3; 4)^2$$

$$A_{L \text{ ducto}; 4} = \pi \times 1,5 (0,15)^2 = 0,11 \text{ m}^2$$

$$A_{L4} = 2,61 \text{ m}^2 + 0,11 \text{ m}^2 = 2,72 \text{ m}^2$$

Figura 50. Dimensiones de transición 2 ramales



Fuente: Cementos Progreso, S.A. Manual Sistema de Despolve. p. 28.

Tabla XXXIX. **Resumen del área lateral de transiciones**

Posición	Ramales	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	Longitud (mm)	Área lateral (m ²)
2	1	457	400		500	1,35
4	2	400	355	150	1 100	3,61
4	Sección tubular			150	225	0,11
6	2	355	330	175	774	1,66
6	Sección tubular			175	262	0,14
8	2	330	200	279	800	1,33
8	Sección tubular			279	418	0,37
23	2	230	200	150	450	0,61
23	Sección tubular			150	225	0,11
58	2	279	230	200	1 355	2,17
58	Sección tubular			279	418	0,37
77	1	560	457	100	516	1,65
81	2	175	150	100	350	0,36
81	Sección tubular			100	150	0,05
Total						12,71

Fuente: elaboración propia.

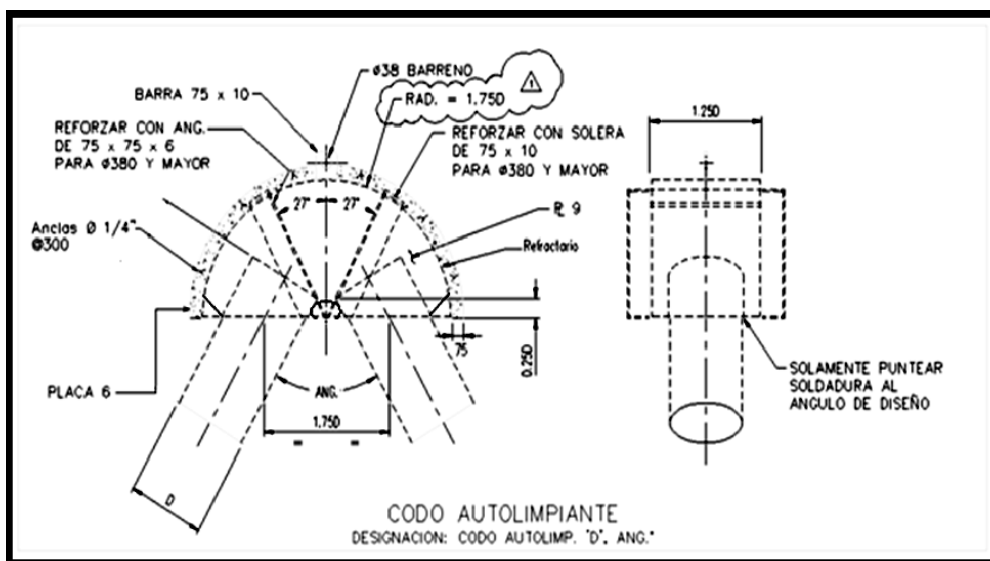
2.6.2.3. Revisión de dimensiones de autolimpiantes

La unión autolimpiante, es un codo que cambia la dirección de los ductos. Estos codos son mayores a 90° y están diseñados mecánicamente, para que ellos no acumulen material en la circulación de flujo de polvo.

El ducto de entrada posee el mismo grado de inclinación y diámetro que el de salida, de forma que adentro del autolimpiante el polvo circula en dirección al ducto de salida.

Para verificar las dimensiones del autolimpiante, se tiene el cálculo de la distancia entre ejes de los diámetros de entrada y salida, la altura de deslizamiento del polvo y el ancho del autolimpiante. Las especificaciones de las dimensiones se muestran en la siguiente figura:

Figura 51. Dimensiones de autolimpiante



Fuente: Cementos Progreso, S.A. Manual Sistema de Despolve. p. 33.

Cálculo del área lateral de la sección superior:

$$A_L = 0,5 \times \pi \times 2 R \times W$$

$$A_L = \pi \times R \times W$$

$$R = 1,75 D$$

$$W = 1,25 D$$

$$A_L = \pi \times (2,19 D^2)$$

Donde

R= radio del autolimpiante

W= ancho del autolimpiante

D= diámetro de ducto

Cálculo del área lateral de las caras:

$$A_L = 0,5 \times 2(\pi \times R^2)$$

$$R = 1,75 D$$

$$A_L = 0,5 \times \pi \times 2(1,75 D)^2$$

$$A_L = \pi \times 3,06 D^2$$

Donde

R= radio del autolimpiante

D= diámetro del ducto

Cálculo del área lateral de la sección inferior:

$$A_L = W \times 2 R$$

$$W = 1,25 D$$

$$R = 1,75 D$$

$$A_L = 1,25 D \times 2(1,75 D)$$

$$A_L = 4,38 D^2$$

Donde

W= ancho del autolimpiante

R= radio del autolimpiante

D= diámetro del ducto

Ejemplo cálculo autolimpiante posición # 12

$$A_{L; 12} = A_{L \text{ superior}; 12} + A_{L \text{ caras}, 12} + A_{L \text{ inferior}; 12}$$

$$A_{L \text{ superior}; 12} = \pi \times 2,19 (D_{; 12})^2$$

$$A_{L \text{ superior}; 12} = \pi \times 2,19 (0.2)^2 = 0,27 \text{ m}^2$$

$$A_{L \text{ caras}, 12} = \pi \times 3,06 (D_{; 12})^2$$

$$A_{L \text{ caras}, 12} = \pi \times 3,06 (0.2)^2 = 0,38 \text{ m}^2$$

$$A_{L \text{ inferior}; 12} = 4,38 (D_{; 12})^2$$

$$A_{L \text{ inferior}; 12} = 4,38 (0.2)^2 = 0,18 \text{ m}^2$$

$$A_{L; 12} = (0,27 \text{ m}^2 + 0,38 \text{ m}^2 + 0,18 \text{ m}^2) = 0,83 \text{ m}^2$$

Tabla XL. **Resumen del área lateral de autolimpiantes**

Posición	Diámetro ductos (mm)	Radio codo (mm)	Ancho codo (mm)	Altura curvatura interna (mm)	Área lateral (m ²)
12	200	350,00	250,00	50,00	0,83
38	150	262,50	187,50	37,50	0,47
52	279	488,25	348,75	69,75	1,62
79	175	306,25	218,75	43,75	0,64
Total					3,56

Fuente: elaboración propia.

2.7. Cálculo del peso muerto de materiales de estructuras

Con el área lateral total de las estructuras mecánicas, se calculó su peso en kilogramo. Como resultado se obtuvo un peso bruto de materiales a utilizarse y con el grosor de la pieza de chapa, se pudo estimar el costo de las estructuras mecánicas. El peso de las estructuras se calculó de la siguiente manera:

$$P = A_L \times E$$

Donde

P = peso (kg)

A_L = área lateral (m^2)

E = grosor de chapa (kg/m^2)

Tabla XLI. Cálculo de pesos

Ductos del sistema	108,51	3/16"	38,25	4 150,51
Codos	12,41	3/16"	38,25	474,68
Caperuzas de venteo	6,11	1/4"	50,48	308,43
Válvulas mariposa y guillotina	3,02	1/4"	50,48	152,45
Codos de transición	12,71	1/4"	50,48	641,6
Estructura receptora	4,34	5/16"	62,32	270,47
Autolimpiantes	3,56	3/18"	74,94	266,79
Total	150,16			6 264,93

Fuente: elaboración propia.

Para solicitar el trabajo de las estructuras mecánicas, se debe determinar el peso total de las mismas. Para mayor seguridad se multiplica el peso total estimado por un factor del 5%.

Total peso estructuras mecánicas:

$$6\,264,93 \text{ kg} \times 1,05 = 6\,578,18 \text{ kg}$$

2.7.1. Estimación de costos de materiales para licitar

El valor del hierro de chapa hasta una 1 pulgada, es de \$4,0/kilogramo. En el valor del kilogramo incluye manufacturación y transporte. Entonces:

Costo del peso:

$$6\,578,18 \text{ kg} \times \$4,0/\text{kg} = \$26\,312,72$$

Dentro de los costos de materiales para la licitación, también se incluye el valor de los equipos cotizados. Los costos de los equipos y estructuras mecánicas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XLII. **Costo de equipos y estructuras mecánicas**

Descripción	Precio (\$)
Colector de polvo	41 800,00
Bolsas filtrantes	2 500,00
Canastillas	800
Timer y PLC	3 000,00
Válvula rotativa	5 790,00
Ventilador	14 630,00
Válvula de doble clampeta	4 850,00
Estructura de soporte	3 400,00
Pasillo de servicio	700,00
Escalera	350,00
Estructuras mecánicas	26 312,72
Total	\$104 132,72

Fuente: elaboración propia.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN

3.1. Antecedentes de desastres dentro de la planta La Pedrera

El único desastre el cual sufrió planta La Pedrera en los últimos 10 años, fue el de dos deslizamientos no relevantes, durante los huracanes Mitch y Stan.

Huracán Mitch (28 de noviembre de 1998). Deslave en un área explotada de la cantera, lo cual no representó ningún riesgo para la planta, pues no existe ya ningún tipo de actividad en el área afectada.

Huracán Stan (4 de octubre de 2005). En la parte sur-oeste de la planta, camino hacia unas casas abandonadas existe un puente, que fue inundado por las fuertes lluvias de este fenómeno natural, la principal causa, por la cual se inundó el puente, fue por falta de mantenimiento de limpieza del arroyo.

3.2. Tipos de desastres a los que está expuesta la planta

Se realizó una investigación de los desastres a los cuales la planta está expuesta según la ubicación y las actividades de la empresa. Se visitaron instituciones, tales como CONRED, el INSIVUME y el Ministerio de Ambiente. A continuación se muestran los riesgos y los antecedentes ya ocurridos en las cercanías de la planta.

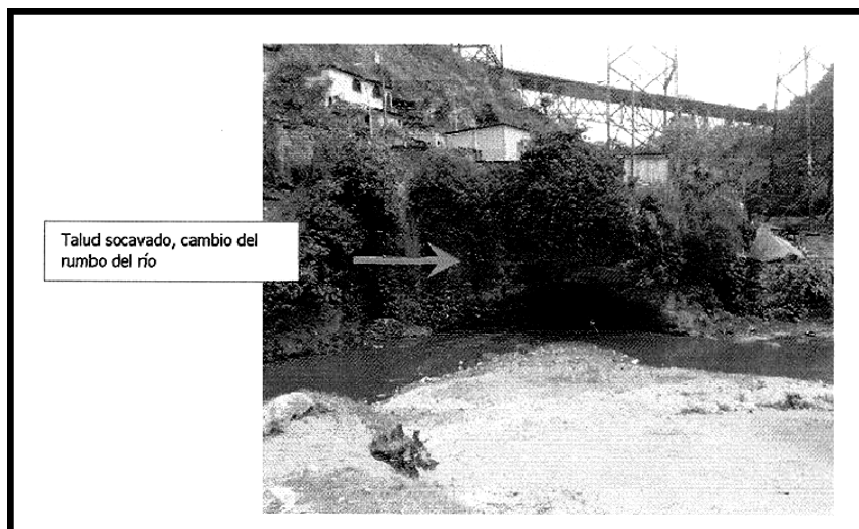
3.2.1. Por ubicación de la empresa

La empresa por su ubicación está expuesta mayormente a dos desastres naturales, los cuales son: deslizamientos y hundimientos.

- Antecedentes de deslizamientos

De acuerdo con la información proporcionada por la Región 1 de SE-CONRED, el día 5 de agosto de 2008 se registró un incidente al producirse un deslizamiento de talud a inmediaciones del Puente Belice, donde se encuentran las viviendas afectadas y dejó como saldo 5 personas heridas, 10 viviendas en riesgo y una vivienda destruida. El cauce del río Las Vacas causó socavamiento que pone en peligro a varias viviendas, ya que como resultado del mismo puede colapsar la parte superior del talud.

Figura 52. Cambio de dirección del río Las Vacas, por deslizamientos



Fuente: <www.conred.gob.gt>. [Consulta: marzo de 2010].

- Antecedentes de hundimientos

El hundimiento tiene una forma aproximadamente cilíndrica, cuyas dimensiones son: ~25 metros de diámetro superficial, incrementándose en profundidad hasta ~35 metros y tiene una profundidad de ~60 metros. Se localiza en la intersección de la 24 avenida y 6ª calle del Barrio San Antonio, zona 6, Guatemala. En el fondo, el diámetro está ligeramente elongado en dirección de la salida de aguas servidas de los colectores. El sitio de hundimiento coincide con la localización de un pozo, donde confluyen los colectores Oriente y poniente (EMPAGUA) de la Ciudad Capital de Guatemala.

3.2.2. Por actividades de la empresa

En la producción de cemento y cal, se manejan varios tipos de combustibles, tales como: diésel, bunker, carbón, combustibles sólidos, etcétera. Es por ello, que el desastre al cual esta mayormente expuesta la empresa, según sus actividades, es el de incendios.

- Riesgo de incendio

Es una ocurrencia de fuego no controlada que puede abrasar algo que no está destinado a quemarse. Puede afectar a estructuras y a seres vivos. La exposición a un incendio puede producir la muerte, generalmente por inhalación de humo o por desvanecimiento producido por la intoxicación y posteriormente quemaduras graves. Para que se inicie un fuego es necesario que se den conjuntamente estos tres factores: combustible, oxígeno y calor o energía de activación.

3.3. Diseño de la mejora del plan de contingencia ante desastres

Se agregaron apartados al plan de contingencia ante desastres actual de planta La Pedrera. Se fortalecieron los aspectos en caso de incendio e inundación. Además se rediseñó el plan de evacuación por medio de la señalización de dos nuevas áreas. También se modificó a detalle el plan de simulacros y se determinó la ruta de comunicación a utilizarse durante el mismo.

3.3.1. Rediseño y actualización de la información del plan de contingencia actual

Actualmente, se está trasladando personal administrativo, de las oficinas Las Margaritas de Cementos Progreso, hacia la parte Sur de la planta La Pedrera. Como laborará nuevo personal y se crearán nuevas oficinas en la planta, es de suma importancia un rediseño y actualización del plan de contingencia actual.

- Simulacro

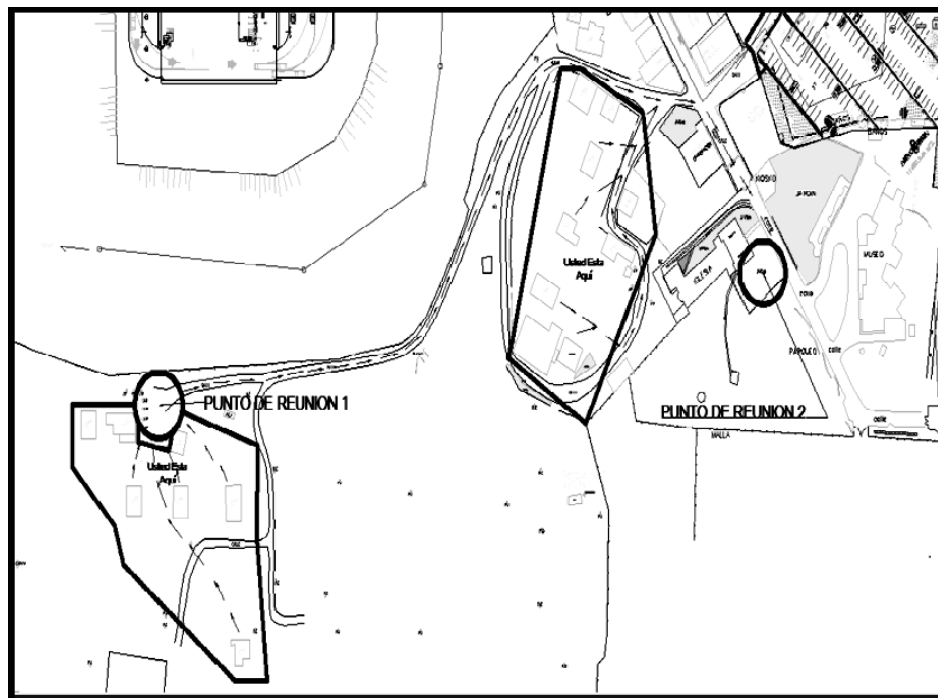
Para la actualización del plan de contingencia actual, se modificó el plan de simulacros, para ser aplicados en las nuevas oficinas planta La Pedrera. La mejora del simulacro consistió en la creación de un formulario detallado. Este es más específico, transfiere experiencias ocurridas en el mismo y brinda una evaluación de los resultados. Las modificaciones al plan de emergencia se pueden apreciar más adelante.

3.3.2. Mejora de plan de contingencia en caso de evacuación

- Señalización

Existen dos áreas de planta La Pedrera, las cuales no poseen señalización industrial, ni puntos de evacuación. La primer área: caserío donde reside el personal de seguridad de toda la finca, ubicada a 900 metros Sureste de planta La Pedrera. La segunda área: oficinas nuevas, en las cuales se está trasladando actualmente personal administrativo. Para ambas áreas se diseñó la ruta de evacuación en caso de emergencia y sus puntos de reunión.

Figura 53. Puntos de reunión propuestos



Fuente: elaboración propia.

Los rótulos indicadores de la ruta de evacuación, se diseñaron para colocarse en las paredes dentro de las nuevas oficinas y el caserío, a 1,90 metros sobre el nivel del piso. Para mostrar el punto de reunión de cada área, se diseñaron dos rótulos, que tendrán como base un tubo de 1 pulgada de diámetro y 145 centímetros de alto. La ubicación de estos puntos se puede apreciar en la figura 46.

Las especificaciones de los rótulos de ruta de evacuación, tales como el tipo de señal, color de rótulo, tipo de material, dimensiones del área del rótulo, dimensiones de las flechas guías, dimensiones de la letra y dimensiones de los márgenes, se pueden apreciar en apéndice 3.

3.3.3. Mejora de plan de contingencia en caso de terremoto

Se propuso adjuntar al plan de contingencia en caso de terremoto actual, la teoría del Triángulo de Vida y sus recomendaciones o pasos.

El Triángulo de Vida consiste en: no salir corriendo durante un terremoto, sino refugiarse a la par de un objeto en posición fetal, como se aprecia en la figura 54.

Cuando un edificio colapsa, el peso del techo cae sobre los objetos o muebles aplastándolos. Pero, siempre queda un espacio vacío justo al lado de ellos. Este espacio es lo que se conoce como el Triángulo de Vida. Cuando más grande, pesado y fuerte sea el objeto menos se compactará, mayor será el espacio vacío al lado del mismo y mayor es la posibilidad de que la persona que esté en el vacío no sea lastimada en lo absoluto.

Figura 54. **Triángulo de Vida**



Fuente: <www.redsismica.uprm.edu/Spanish/informacion/triangulovida.phpt>. [Consulta: mayo de 2010].

Las recomendaciones del Triángulo de Vida, son los siguientes:

- Colocarse en posición fetal, en el espacio vacío.
- Si la persona está en su cama durante el terremoto, simplemente que ruede hacia el suelo. Un espacio vacío existe alrededor de la cama.
- No buscar espacios vacíos cerca de: ventanales, puertas de vidrio, televisores y objetos que al colapsarse generen un alto riesgo de peligro.

- No quedarse debajo de marcos de puertas.
- No salir por escaleras o ascensores durante el terremoto.
- Si la persona está dentro de un vehículo durante el terremoto, salir del mismo y buscar el espacio vacío a la par del vehículo.

3.3.4. Mejora de plan de contingencia en caso de incendio

Las nuevas oficinas en planta La Pedrera deben poseer extintores tipo B y C contra incendio. Es por ello, que una propuesta de mejora para el plan de contingencia actual en caso de incendio, fue crear un formato de inspección y evaluación para el chequeo y mantenimiento de los extintores asignados a esta área.

A continuación se muestra el documento de la inspección y evaluación de los extintores del área:

Tabla XLIII. Evaluación y mantenimiento de extintores

Fecha revisión:			
Área de revisión:			
Nombre o identificación del personal que realizó la revisión:			
1. Clasificación de extintores			
Distancia según la siguiente tabla:			
Riesgo de Incendio	Distancia máxima al extintor (metros)		
	Clases A, C y D	Clase B	Clase K
	Ordinario	23	15
Alto	23	10	10
¿Está el extintor a una altura mayor a 1.50 metros?			
¿Está en un lugar visible, de fácil acceso y libre de obstáculos?			
Observaciones:			
c) ¿Se encuentran señalizados, de conformidad con lo que establece la NOM-026-STPS-2008, o las que las sustituyan?		Si	No
Observación:			
d) ¿Los extintores cuentan con el sello o fleje de garantía sin violar?		Si	No
Observación:			
3. Verificaciones de mantenimiento:			
a) Que la aguja del manómetro indique la presión en la zona verde (operable), en el caso de extintores cuyo recipiente esté presurizado permanentemente y que contengan como agente extintor agua, agua con aditivos, espuma, polvo químico seco, halones, agentes limpios o químicos húmedos.		Observación:	
b) Que mantengan la capacidad nominal indicada por el fabricante en la etiqueta, en el caso de extintores con bióxido de carbono como agente extintor.		Observación:	
c) Que no hayan sido activados, de acuerdo con el dispositivo que el fabricante incluya en el extintor para detectar su activación, en el caso de extintores que contengan como agente extintor polvo químico seco y que se presurizan al momento de operarlos, por medio de gas proveniente de cártuchos o cápsulas, internas o externas.		Observación:	
d) Que no existan daños físicos evidentes, tales como corrosión, escape de presión, obstrucción, golpes o deformaciones.		Observación:	
e) Que no existan daños físicos, tales como roturas, desprendimientos, protuberancias o perforaciones, en mangueras, boquillas o palanca de accionamiento, que puedan propiciar su mal funcionamiento. El extintor deberá ser puesto fuera de servicio, cuando presente daño que afecte su operación, o dicho daño no pueda ser reparado, en cuyo caso deberá ser sustituido por otro de las mismas características y condiciones de operación.		Observación:	
f) Que la etiqueta, placa o grabado se encuentren legibles y sin alteraciones		Observación:	
g) Que la etiqueta cuente con la siguiente información vigente, después de cada mantenimiento:			
- El nombre, denominación o razón social, domicilio y teléfono del prestador de servicios.		Si	No
- La capacidad nominal en kilogramos o litros y el agente extintor.		Si	No
- Las instrucciones de operación, breves y de fácil comprensión, apoyadas mediante figuras o símbolos.		Si	No
- La clase de fuego a que está destinado el equipo.		Si	No
- Las contraindicaciones de uso, cuando aplique.		Si	No
- El mes y año del último servicio de mantenimiento realizado.		Si	No
4. Resultados			
a) Resultados de la revisión mensual a los extintores:			
b) Anomalías identificadas.			
c) Seguimiento de las anomalías identificadas.			

Fuente: elaboración propia.

3.4. Elaboración de matriz de riesgo en el área del montaje del nuevo sistema de despolve

La mayor parte del montaje mecánico se realizará en altura, debido a que el filtro se instalará encima del silo de cal viva, aproximadamente a 20 metros del suelo. En el montaje se realizarán trabajos en altura; como soldaduras, cortes, ensamblajes de ductos por medio del uso de grúas. También se trabajará en espacios confinados, durante el montaje habrá situaciones de riesgo de quemaduras, golpes, cortes, caída de objetos, etcétera.

Se creó la siguiente matriz de riesgos, específicamente para el área del montaje del sistema de despolve. La matriz muestra en su columna principal la probabilidad de ocurrencia de un incidente y en su fila principal la severidad del daño ocurrido. La probabilidad de ocurrencia se dividió en: nivel alto, medio y bajo. La severidad se dividió en; ligeramente dañino, dañino y extremadamente dañino. Se entiende que es ligeramente dañino cuando: se requiere únicamente de primeros auxilios y no procede suspensión. Cuando es dañino: procede a suspensión. Cuando es extremadamente dañino: procede hospitalización o inclusive fatalidad.

Es de saber que aún cuando el riesgo sea bajo o medio, este puede convertirse en extremadamente dañino. Es por ello, que para evitar incidentes o accidentes se debe tener cero tolerancias.

Tabla XLIV. **Matriz de riesgo en el área del montaje**

		Severidad		
		Ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente dañino
Probabilidad de ocurrencia	Alta (80%)	Ruidos	Tropezones	Golpes
	Media (19%)	Asfixias	Quemaduras	Cortes
	Baja (1%)	Caída de objetos	Caída libre	Fatalidad

Fuente: elaboración propia.

A continuación se describen los riesgos que pueden suceder durante el montaje y las acciones a tomar:

- Ruido

Son los ruidos mayores a los 80 decibeles. Al cortar secciones de los ductos y sus accesorios, limpiar los ductos con aire comprimido, etcétera. Acciones a tomar: la utilización obligatoria de tapones.

- Tropezones

Es el más frecuente y pasa la mayoría de veces, por no tener la mente en la tarea. Tropezones con gradas, cables de máquinas, objetos tirados, etcétera. Acciones a tomar: uso de botas industriales, fijarse en cada paso que se da y no andar con prisa.

- Golpes

En el montaje del sistema ductos y equipos mecánicos está involucrado el trabajo de martillar, cargar, enderezar, enroscar, apretar, doblar, taladrar, cortar, soldar, etcétera, trabajos en los cuales golpearse la mano, un dedo o la cabeza son muy probables. Acciones a tomar: uso de guantes y casco industrial.

- Asfixias

Son más tolerables al trabajar en espacios confinados. Cuando se aplica soldadura adentro del filtro o para juntar dos ductos los gases pueden causar asfixia. Acciones a tomar: uso obligatorio de mascarilla. Si se produce un incendio, jamás utilizar el extinguidor en el espacio confinado, ya que este sofoca el oxígeno y puede causar asfixia.

- Quemaduras

Producidas generalmente en la soldadura, al tocar máquinas cortadoras, manejo de lazos, etcétera. Acciones a tomar: uso obligatorio de guantes industriales y para la soldadura; gabacha, careta y guates de cuero.

- Cortes

Puede ser provocado por cualquier objeto punzante y lo más peligroso por máquinas cortadoras. Acciones a tomar: uso obligatorio de guantes y mente en la tarea en este tipo de trabajo.

- Caída de objetos

El filtro y el sistema de ductos serán montados arriba del silo, los cuales están a más de 20 metros de altura. Cualquier objeto que caiga de esta altura representa un alto riesgo para los trabajadores. Acciones a tomar: señalización del uso de grúa, *telehandle* y *winch*.

- Caída libre

Los trabajos en altura en andamios y guindolas. Ellos están expuestos a caídas y aunque tengan el arnés puesto, pueden sufrir golpes graves por el péndulo producido por la caída. Acciones a tomar: uso obligatorio del arnés, a alturas mayores de 1,80 metros.

- Fatalidad

Es la muerte o lesiones graves.

4. FASE DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE

Como primer paso se clasificó al personal involucrado en el montaje del sistema de despolve. El personal exterior a Proyectos Nuevos son: contratistas de montaje, proveedores de equipos e instrumentos y servicios profesionales. El personal interno de Proyectos Nuevos son: personal administrativo, supervisores de construcción y de seguridad industrial y el encargado del proyecto.

4.1. Diagnóstico de la necesidad de capacitación del personal

Las metas básicas de cualquier proyecto en el Departamento de Proyectos Nuevos son: entregar el proyecto con la máxima calidad, finalizar el proyecto con 0 accidentes y salir en tiempo con el proyecto.

Para diagnosticar la necesidad de capacitación del personal involucrado en el montaje se realizó un análisis FODA. Se tuvo una reunión con los representantes involucrados del personal interno y externo. Se plantearon las siguientes preguntas para alimentar el análisis FODA.

- ¿Cómo mejorar la calidad, seguridad y la entrega a tiempo del montaje?
- ¿Qué se tiene para lograr la calidad máxima, entrega a tiempo y 0 accidentes en los proyectos?

- ¿Qué factores pueden afectar la calidad, la seguridad y la entrega a tiempo de un proyecto?
- ¿Qué debilidades presenta el Departamento de Proyectos Nuevos?

A continuación se muestran los factores internos y externos del FODA.

Tabla XLV. **Análisis FODA**

Análisis interno	Análisis externo
Debilidades: D1) Procesos administrativos muy lentos. D2) Falta de involucramiento para la planificación de las Fase II y III de la metodología PMA. D3) Liderazgo y motivación.	Amenazas: A1) Falta de capacitación de Seguridad Industrial del contratista. A2) Falta de trabajo en equipo del contratista. A3) El contratista trabaja bajo presión.
Fortalezas: F1) Planificación eficaz con la metodología PMA. F2) Meta de 0 accidentes. F3) Alta calidad de servicios.	Oportunidades: O1) Alinear la Gestión de Proyectos a contratistas y proveedores. O2) Supervisiones profesionales de técnicos extranjeros.

Fuente: elaboración propia.

Estrategias del FODA

Fortaleza-Oportunidades: brindar capacitaciones de la metodología PMA al personal contratista y *outsourcing*.

Debilidades-Oportunidades: evitar la falta de planificación administrativos, para no atrasar el trabajar de los proveedores y contratistas.

Fortalezas-Amenazas: capacitar al personal involucrado en la ejecución de proyectos de las Normas de Seguridad de Cementos Progreso y así llegar a la meta: 0 accidentes y crear una matriz preventiva de riesgos estándar, para la ejecución de proyectos.

Debilidades-Amenazas: no forzar al contratista a trabajar bajo presión, por atrasos administrativos.

Tabla XLVII. **Matriz FODA**

	<p>Fortalezas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Planificación eficaz con la metodología PMA. 2) Meta de 0 accidentes. 3) Alta calidad de servicios. 	<p>Debilidades:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Procesos administrativos muy lentos. 2) Falta de involucramiento para la planificación de las Fase II y III de la metodología PMA. 3) Liderazgo y motivación.
<p>Oportunidades:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Alinear la Gestión de Proyectos a contratistas y proveedores. 2) Supervisiones profesionales de técnicos extranjeros. 	<p>Estrategias FO:</p> <p>Brindar capacitaciones de la metodología PMA al personal contratista y <i>outsourcing</i> (F1,O1).</p>	<p>Estrategias DO:</p> <p>Gestionar la planificación administrativa, para no atrasar el trabajo de los proveedores y contratistas (D2,O1).</p>
<p>Amenazas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Falta de capacitación de Seguridad Industrial. 2) Falta de trabajo en equipo. 	<p>Estrategias FA:</p> <p>Capacitar al personal involucrado en la ejecución de proyectos de las, normas de Seguridad de Cementos Progreso y así llegar a la meta: 0 Accidentes y crear una matriz preventiva de riesgos estándar, para la ejecución de proyectos (F2,A1).</p>	<p>Estrategias DA:</p> <p>No forzar al contratista a trabajar bajo presión, por atrasos administrativos (D1, A3).</p>

Fuente: elaboración propia.

4.2. Capacitación de la metodología PMA

Las capacitaciones brindadas a los contratistas supervisores, se realizaron todos los martes, con una duración de 20 minutos, iniciaron el mes de marzo y finalizaron en el mes de mayo, enfocadas únicamente en las fases del PMA en las cuales ellos están involucrados, fase de planificación y fase de ejecución. Se platicaron puntos importantes tales como:

- ¿Qué es la gestión de proyectos?
- Aprendizaje del uso del programa *Proyect*
- Definir la constitución del equipo de proyecto
- Plan detallado del proyecto (Ruta crítica)
- Plan de comunicación
- Facilitar información para avances de trabajo

4.3. Talleres de motivación

Se brindó un taller de una duración de 3 días, el cual empezó a principios de junio. Se impartió un tema por día. Los temas fueron: liderazgo, trabajo en equipo y motivación.

Para el tema de liderazgo se trataron los siguientes tipos de liderazgos: líder autócrata, líder participativo, líder liberal, líder dictador, también la diferencia entre jefe y líder y se mostró un video del liderazgo empresarial.

Para el tema de trabajo en equipo, se basó en el proverbio japonés Ninguno de nosotros es tan inteligente como todos nosotros. Se obtuvo la participación de todo el personal involucrado, por medio de dinámicas, juegos y aplicaciones del trabajo en equipo.

Para el tema de la motivación se brindaron las siguientes teorías; necesidades, equidad, expectativa y de las metas, también las diferencias entre la motivación y satisfacción. Al final de la conferencia se mostraron videos verídicos de motivación.

4.4. Elaboración de una matriz de riesgos guía para realización de proyectos

Como parte de la capacitación a los contratistas, se elaboró una matriz de riesgo estándar para cualquier tipo de proyecto. Los tipos de riesgo a los cuales se está mayormente expuesto, en la ejecución de proyectos son: mecánicos, eléctricos, físicos, químico, fisicoquímicos, en sitio y ergonómicos. El aprendizaje consta de medir los riesgos, formar una matriz de riesgo y con base en el resultado de la misma, tomar una decisión en el proyecto.

- Medición de riesgos

Los riesgos son medidos según la severidad y su probabilidad de ocurrencia.

Severidad: indica el daño que se puede producir al colaborador o a las instalaciones si el riesgo se materializa. Para determinar el potencial de severidad del daño, debe considerarse:

- Partes del cuerpo que se verán afectadas.
- Naturaleza del daño, graduándolo desde: ligeramente dañino a extremadamente dañino.

A continuación se muestra el método de evaluar los riesgos según su grado de severidad:

Tabla XLVII. **Medición de riesgo según grado de severidad**

Grado de severidad		Descripción
Levemente dañino (LD)	A la seguridad	Lesiones menores sin incapacidad tales como: Cortes y magulladuras pequeñas, irritación de los ojos por polvo.
	A la salud	Incapacidad, ni secuelas se limitan a molestias e irritación, por ejemplo: dolor de cabeza, disconfort.
	A las instalaciones	Genera pérdidas económicas imperceptibles o no interfiere en ninguna actividad del proceso productivo.
Dañino (D)	A la seguridad	Causa lesiones con incapacidad temporal, sin secuelas, sin invalidez tales como: laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores.
	A la salud	Causa efectos agudos o crónicos en la salud, con incapacidad temporal, sin secuelas, sin invalidez tales como: dermatitis, afecciones reapiatorias, trastornos músculo-esqueléticos.
	A las instalaciones	Genera pérdidas económicas o pueden interferir temporalmente en una o más actividades del proceso productivo.
Extremadamente dañino	A la seguridad	Puede generar muerte o incapacidad permanente con secuelas o invalidez tales como: amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, lesiones fatales y muerte.
	A la salud	Sospechoso o confirmados efectos cancerígenos, mutagénicos, generador de muerte o secuelas (efectos crónicos) e incapacidad permanente con o sin invalidez.
	A las instalaciones	Generador de grandes pérdidas económicas o puede comprometerse el funcionamiento del proceso productivo.

Fuente: elaboración propia.

Probabilidades: indica si es fácil o no que el riesgo se materialice en las condiciones existentes. Al establecer la probabilidad, se debe considerar:

- Si las medidas de control ya implantadas son adecuadas.
- Buenas prácticas para medidas específicas de control.
- Frecuencia de exposición al peligro.
- Fallos en los componentes de las instalaciones y de las máquinas, así como en los dispositivos de protección.
- Actos inseguros de las personas (errores no intencionados y violaciones intencionadas de los procedimientos).

A continuación se muestra el método de evaluar los riesgos según su nivel de probabilidad de ocurrencia:

Tabla XLVIII. **Medición de riesgo según nivel de probabilidad**

Nivel de Probabilidad		Descripción
Baja (B)	A la seguridad e instalaciones	El riesgo es ocasional, no se repite a diario u ocurre pocas veces a la semana. Nunca ha sucedido, sería una coincidencia que se diera.
	A la salud	La evaluación del peligro está en menos de un 90% del TLV (Valores límite umbral) existente.
Media (M)	A la seguridad	El riesgo se presenta frecuentemente. Es completamente posible, ya se ha materializado en el lugar o en condiciones similares de peligro.
	A la salud	La evaluación del peligro se encuentra entre 90 y 100% del TLV (Valores límite umbral) existente.
Alta (A)	A la seguridad	El riesgo se presenta permanentemente. Su ocurrencia es el resultado más probable y esperado. Es evidente y detectable.
	A la salud	La evaluación del peligro supera el TLV (Valores límite umbral) existente.

Fuente: elaboración propia.

- Matriz de riesgo

Con la tabla de severidad *versus* probabilidad se establece el nivel de riesgos mediante una matriz de tres por tres. El cuadro siguiente da un método simple para estimar los niveles de riesgo de acuerdo con su probabilidad estimada y a su severidad esperada.

Los niveles de riesgos establecidos forman la base para decidir si se requiere mejorar los controles existentes o implantar unos nuevos, así como la temporización de las acciones.

Tabla XLIX. **Matriz de riesgo estándar**

		Severidad		
		Ligeramente dañino LD	Dañino D	Extremadamente dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

Fuente: elaboración propia.

- Toma de decisión del análisis de la matriz de riesgos

Una vez analizado la matriz de riesgos procede a tomar la decisión de acción para interferir con el riesgo. La acción y la prioridad del riesgo se toma según la siguiente tabla:

Tabla L. **Toma de decisión**

Criterio para la toma de decisión	
Nivel de riesgos	Acción y prioridad
Riesgo trivial T	No se requiere acción específica.
Riesgo tolerable TO	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
Riesgo moderado MO	Se deben hacer esfuerzos para reducir riesgos, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
Riesgo importante I	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
Riesgo intolerable IN	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se diagnosticó la necesidad de mejorar la planificación de la ingeniería y montaje, definición de actividades y duraciones apropiadas del sistema de despolve en área de hornos. Realizando entrevistas al personal del departamento y recopilación de información, de los conocimientos de transferencia de un proyecto similar: montaje de la línea 3 de cal, planta San Miguel.
2. A través de la inspección V.O.S.O en la visita al área, se realizó un diagrama de Pareto, con el cual se analizaron los factores a corregir y se determinaron las actividades del proyecto. Se estimó una duración de 262 días para el proyecto y se definió la ruta crítica del mismo.
3. La rutina de mantenimiento preventivo describe las herramientas y actividades a realizarse. Determina la frecuencia, horas hombre y duración de mantenimiento. Las PMR se aplicaron a los equipos de la línea 3 de cal, área del horno, pues los equipos son muy similares a los que se montarán en planta La Pedrera.
4. Se creó un diagrama de pasos a seguir para el control del funcionamiento del filtro. El orden de la limpieza debe ser de forma escalonada, evitando así ensuciar las filas vecinas cuando se limpie una. La duración del pulso debe ser corta y la frecuencia estar controlada entre el rango del diferencial, para garantizar una retención apropiada de la capa de polvo.

5. Al verificar los equipos e instrumentos se garantizará que a la hora de cualquier anomalía, daño o pérdida se pueda reemplazar correctamente la pieza por una de repuesto. Para la seguridad del montaje se establecieron puntos de riesgo y zonas peligrosas. Se describieron los pasos a seguir para el montaje de los equipos. Esta guía de actividades facilitará la ejecución del plan de trabajo del montaje y las creaciones de las matrices de riesgo e inspecciones de equipo por parte del contratista.

6. En el diseño de ingeniería del sistema de despolve se verificó, que la sumatoria de caudales de los equipos coincidiera con la capacidad de la succión del filtro. Se calcularon las áreas superficiales de los ductos, codos, estructuras receptoras, válvulas de guillotina, mariposas, campanas, transiciones y autolimpiantes, para poder obtener el peso total de los mismos. Con el peso y el grosor correspondiente se estimó el costo de las estructuras metálicas del sistema.

Al efectuarse los cálculos y reducciones de diámetros en el sistema de ductos, se verificó que si se puede desempolvar el sistema con un filtro de 95 000 metros cúbicos por hora de capacidad. Al no utilizarse el filtro de 11 600 metros cúbicos por hora (\$52 570,00) de capacidad teórica requerida por el sistema, se ahorraron \$10 770,00 en el presupuesto del proyecto.

RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento a las capacitaciones de las fases del PMA, también incluir los temas: presupuestos y costos de inversión de los proyectos asociados a la gestión de proyectos.
2. Documentar y archivar las rutinas de mantenimiento preventivo de los equipos de la línea 3 de cal, guía de pasos del montaje y seguridad de los equipos, listado de piezas de repuesto y desgaste, diagrama del funcionamiento de operación del filtro, cálculos de caudales y estructuras mecánicas. También mantener la encuesta proporcionada para este proyecto, para que sirva de guía para la realización de las estimaciones de las actividades y ruta crítica de otros proyectos.
3. Una buena práctica es que el interruptor de control de limpieza se coloque en el punto de inserción baja, alrededor de 10 milibares y el punto de inserción alta en 12,5 milibares. Con este tipo de sistema se podrá automáticamente pasar a través de un ciclo de limpieza a otro, que se inicia cuando el diferencial de presión alcanza el punto máximo y se detiene cuando se limpia abajo, en el punto mínimo del diferencial de presión. Esto ahorrará el uso del aire comprimido en el sistema.

4. Al montarse el reductor, se deben instalar distanciadores de plástico de 2 a 3 milímetros de espesor y el uso obligatorio de guantes industriales, pues podría existir riesgo de corrosión electroquímica entre el reductor y la máquina accionada. Se puede presentar corrosión electroquímica entre metales diferentes, como por ejemplo, hierro fundido y acero fino.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cementos Progreso. *Manual sistema de despolve*. Suiza: Grupo Holcim, 1995. 225 p.
2. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). [en línea]. <<http://www.conred.gob.gt>>. [Consulta: 15 de marzo de 2010].
3. CORTÉS DÍAZ, José María. *Técnicas de prevención de riesgos laborales: seguridad e higiene del trabajo*. 9a ed. Madrid: TEBAR, 2007. 842 p. ISBN 9788473602723.
4. NORTON, Robert L. *Diseño de maquinaria*. México: McGraw-Hill, 2000. 878 p. ISBN 9701026551.
5. SCHEUSCH. *Manual de montaje equipo de despolve*. Alemania: Grupo Maerz, 2008. 125 p.
6. *Triángulo de Vida*. [en línea]. <www.redsismica.uprm.edu/Spanish/informacion/triangulovida.php>. [Consulta: 23 de mayo de 2010].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Modelo de encuesta**

Encuesta realizada al personal del departamento

Instrucciones: a continuación se mostrarán una serie de preguntas, las cuales responderá según el área que pertenece del Departamento de Proyectos Nuevos. Por favor marque con una "X" la respuesta según su criterio.

Si pertenece al área Mecánica conteste únicamente las preguntas 1, 2, 3,5 y 6.

Si pertenece al área Eléctrica conteste únicamente las preguntas 1,2 y 3.

Si pertenece al área Administrativa conteste únicamente las preguntas 1, 4 y 5.

¿Área al que pertenece?

Mecánica_____ Eléctrica_____ Administrativa_____

¿Puesto que desempeña?

¿Tiempo de elaborar en Proyectos Nuevos?

5 años_____ más de 5 años_____

Pregunta # 1

¿En cuánto tiempo se establece el acuerdo con el cliente una vez presentado los Hitos SMART?

1 día_____ 1 semana_____ 2 semanas_____ 3 semanas_____

Pregunta # 2

Según su experiencia: ¿Cuánto tiempo duraría la ingeniería preliminar del proyecto?

15 días _____ 30 días _____ 60 días _____

Pregunta # 3

Según su experiencia: ¿Cuánto tiempo duraría el diseño y revisión del proyecto?

1 mes _____ 1.5 meses _____ 2 meses _____ 2.5 meses _____ 3 meses _____

Pregunta # 4

Por el tipo de proyecto: ¿Es correcto la siguiente estimación de tiempos para la secuencia de procedimientos administrativos? Si su respuesta es “No estoy de acuerdo” corrija en el espacio de los paréntesis.

- 1) Aprobación CAPEX: 1 semana ()
- 2) Creación Ordenes Co: 1 semana ()
- 3) Contrato: 1 semana ()
- 4) Aprobación Orden C.: 1 semana ()
- 5) Entrega Anticipo: 1 semana ()

De acuerdo _____ No estoy de acuerdo _____

Pregunta # 5

Por el tipo de proyecto: ¿Es correcto la siguiente estimación de tiempos para la secuencia de planificación del proyecto? Si su respuesta es “No” corrija en el espacio de los paréntesis.

- 1) Invitación Licitación: 1 semana ()
- 2) Recepción de Ofertas: 2 semanas ()
- 3) Selección de Ofertas: 1 día ()

De acuerdo_____ No estoy de acuerdo_____

Pregunta # 6

Según su experiencia: ¿Cuánto duraría el montaje mecánico del proyecto?

2 meses_____ 3 meses_____ 4 meses_____ más de 4
meses_____

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Especificaciones de los rótulos de ruta de evacuación

Figura 1. Señalización ruta de evacuación



Señal: Ruta Evacuación

Color del rótulo: fondo verde y letras color blancas

Tipo de material: plástico

Dimensiones del área del rótulo: 8" de ancho x 16" de largo

Dimensiones de la flecha guía: 2" de ancho x 13" de largo

Dimensiones de la letra: 1,5" de ancho x 1,5" de largo

Dimensiones de los márgenes: 1" de ancho x 1,5" de largo

Fuente: planta La Pedrera, zona 6, Guatemala.

Figura 2. **Señalización de indicación de salida**



Señal: Salida

Color del rótulo: fondo verde y letras color blancas

Tipo de material: plástico

Dimensiones del área del rótulo: 8" de ancho x 16" de largo

Dimensiones de la letra: 3,5" de ancho x 2,5" de largo

Dimensiones de los márgenes: 2,5" de ancho x 0,5" de largo

Fuente: planta La Pedrera, zona 6, Guatemala.

Figura 3. **Señalización punto de reunión**



Señal: Punto de Reunión

Color del rótulo: fondo verde y letras color blancas

Tipo de material: metal aluminio

Dimensiones del área del rótulo: 31,5" de ancho x 31,5" de largo

Dimensiones de las flechas guías: 6" de ancho x 9,5" de largo

Dimensiones de la letra: 3,5" de ancho x 1,5" de largo

Dimensiones de los márgenes: 1" de ancho x 2,5" de largo

Fuente: planta La Pedrera, zona 6, Guatemala.

Figura 4. **Sistema de ductos actual**



Fuente: planta La Pedrera, zona 6, Guatemala.

Figura 5. **Gusano transportador actual**



Fuente: planta La Pedrera, zona 6, Guatemala.

Figura 6. **Filtro de despolve actual**



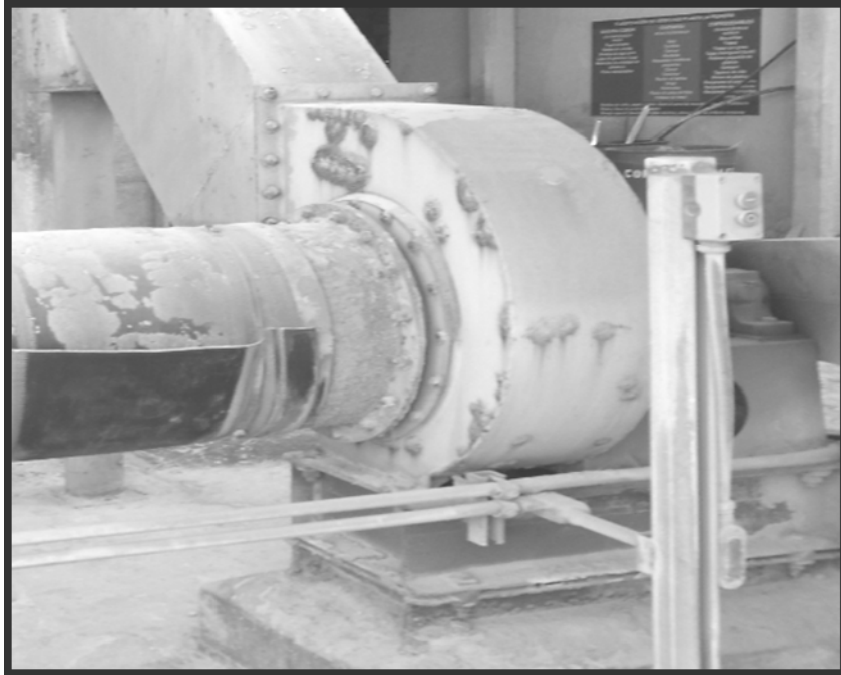
Fuente: planta La Pedrera, zona 6, Guatemala.

Figura 7. **Válvula rotativa del filtro actual**



Fuente: planta La Pedrera, zona 6, Guatemala.

Figura 8. **Ventilador del filtro actual**



Fuente: planta La Pedrera, zona 6, Guatemala.

ANEXO

Anexo 1. Cálculo de las alturas de los codos 16° a 45°

A continuación se muestra cómo se calcularon las alturas de los tramos de los codos, el ejemplo es de los codos posición 10 y 25.

Cálculo de h_{1,3} :

Datos conocidos:
 $\alpha = 32^\circ$ entonces $\alpha/2 = 16^\circ$ y $\alpha/4 = 8^\circ$
 $d = 200 \text{ mm}$

a) Por trigonometría:

$$\text{SIN}\left(\frac{\alpha}{4}\right) = \frac{b}{2 \cdot d}$$

$$b = 400 \cdot \text{SIN}(8)$$

$$b = 55.67 \text{ mm}$$

b) Por Relación de triángulos:

$$\frac{h}{3 \cdot d} = \frac{b}{2 \cdot d}$$

$$h = \frac{3}{2} \cdot b$$

$$h_{1,3} = 83.50 \text{ mm}$$

Cálculo de h₂:

a) Por trigonometría:

$$\text{SIN}(16) = \frac{b}{2 \cdot d}$$

$$b = 400 \cdot \text{SIN}(16)$$

$$b = 110.25$$

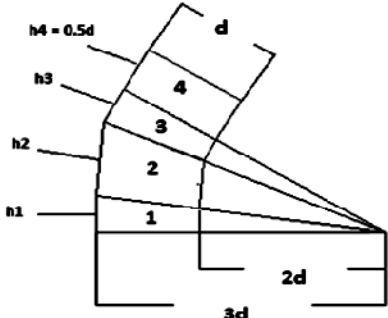
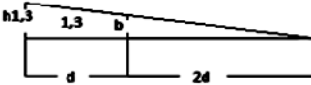
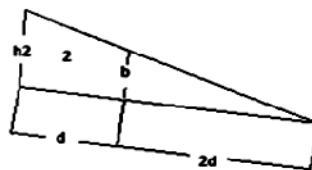
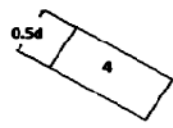
b) Por Relación de triángulos:

$$\frac{h}{3 \cdot d} = \frac{b}{2 \cdot d}$$

$$h = \frac{3}{2} \cdot b$$

$$h_2 = 165.38 \text{ mm}$$

Cálculo de h₄
 La altura h₄ esta dado por:
 $h_4 = 0.5d$
 $h_4 = 100 \text{ mm}$

Fuente: SCHEUSCH S.A. Manual de montaje equipo de despolve. p. 95.

