

DISEÑO DE UN SECADOR ROTATIVO PARA 30 TON/H DE ARENA, PARA LA
EMPRESA ECOMINESA S.A

JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.019

DISEÑO DE UN SECADOR ROTATIVO PARA 30 TON/H DE ARENA, PARA LA
EMPRESA ECOMINESA S.A

JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2.019

Nota de Aceptación:

Jurado 1
Ing. Daniel Eduardo Villalobos

Jurado 2
Ing. Edgar Arturo Chalá

Bogotá D.C., agosto de 2.019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza M

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Este proyecto está dedicado primeramente a Dios, por ser mi camino, motivación e inspiración, a mi Padre, Miguel Ángel Rodríguez, por ser mi ejemplo, mi compañero y amigo, por el apoyo incondicional que me ha brindado y el constante deseo de verme realizado como ingeniero mecánico, a mi madre, Alexandra Sánchez, por el amor, cariño, comprensión y finalmente su apoyo permanente en el desarrollo de mi proyecto de vida, a mi bis abuela, Rosaura Correa, por ser mi gran amor, la persona que me motiva y me llena de fuerzas en cualquier tipo de situación, a mi hermana, Juana Rodríguez, por estar junto a mí en los momentos que más la necesite, a mi compañero Mateo Arias por su respaldo en situaciones de incertidumbre ,y a todas aquellas personas que me acompañaron en el proceso educativo en la universidad de américa.

Agradezco personalmente al ingeniero Álvaro Romero, por su gran apoyo en el constante proceso que conlleva el desarrollo del trabajo de grado, al Ingeniero Miguel Rodríguez, por permitirme desarrollar el tema de tesis de la mano con su empresa ECONMINESA S.A. y con el apoyo de la misma.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES	22
1.1 MISIÓN DE LA EMPRESA	26
1.2 VISIÓN DE LA EMPRESA	26
1.3 VALORES DE LA EMPRESA	26
1.4 POLITICAS EMPRESARIALES	27
1.5 SECADO	28
1.5.1 Condiciones externas	30
1.5.2 Condiciones internas	30
1.5.3 Secadores rotatorios	31
1.5.4 Características del secado rotativo	32
1.5.5 Ventajas del secado rotativo	32
1.6 COMPONENTES DEL SECADOR ROTATIVO	33
1.6.1 Cámara de secado	33
1.6.2 Sistema de transmisión de movimiento	34
1.6.3 Sistema de generación de calor	36
1.6.4 Sistema estructural	36
2. PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	37
2.1 PARÁMETROS	37
2.1.1 Cantidad de materia prima a procesar	37
2.1.2 Humedad en la materia prima	37
2.1.3 Tiempo de secado	37
2.2 REQUERIMIENTOS	38
2.2.1 Bajo costo de producción y mantenimiento	38
2.2.2 Protección al operario	38
2.2.3 Capacidad máxima 30 Ton/h	39
2.2.4 Sistema de control	39
2.2.5 Sistema de alimentación y descarga de material	39
3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	41
3.1 ALTERNATIVA N° 1. ROTACIÓN POR CADENA	41
3.1.1 Ventajas y desventajas	41
3.2 ALTERNATIVA N° 2. ROTACIÓN POR ENGRANAJES	42
3.2.1 Ventajas y desventajas	43
3.3 ALTERNATIVA N° 3. ROTACIÓN POR CORREA	43
3.3.1 Ventajas y desventajas	44
3.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVA	44
4. DISEÑO DETALLADO	47
4.1 CONCEPTUALIZACIÓN SECADOR ROTATIVO	48

4.1.1 Grado de llenado	52
4.2 CALCULOS PRELIMINARES	53
4.2.1 Humedad	53
4.2.2 Humedad en base húmeda del material	53
4.2.3 Humedad en base seca del material	53
4.2.4 Tipos de humedad	55
4.2.5 Periodos de secado	56
4.2.6 Periodo de velocidad constante	58
4.2.7 Periodo de velocidad decreciente	58
4.2.8 Cálculos de la cantidad de agua evaporada	58
4.2.9 Calculo masa arena seca	59
4.3 SISTEMA CAMARA DE SECADO	60
4.3.1 Calculo del diámetro de la cámara de secado	65
4.3.2 Calculo de la longitud del secador	65
4.3.3 Pendiente del secador	74
4.3.4 Tiempo de retención de las partículas	75
4.3.5 Deflexión cámara de secado	76
4.3.6 Dispositivos elevadores	81
4.4 SISTEMA GENERADOR DE AIRE CALIENTE	85
4.4.1 Combustibles	85
4.4.2 Selección del quemador	87
4.4.3 Selección ventilador	92
4.4.4 Diámetro de la cámara de generación de aire caliente	97
4.4.5 Espesor del aislamiento	97
4.5 SISTEMA TRANSMISION DE POTENCIA	102
4.5.1 Rodillos soporte del secador	102
4.5.2 Selección de las chumaceras para los rodillos	115
4.5.3 Pernos para chumaceras	117
4.5.2 Calculo del peso de la cámara de secado y los elevadores	120
4.5.3 Calculo de potencia	121
4.5.4 Calculo para la selección del motor	121
4.5.5 Cálculo y selección de la transmisión de potencia	123
4.6 DISEÑO ESTRUCTURAL	125
4.6.1 Elementos críticos del diseño estructural	126
4.6.2 Calculo de viga	126
4.6.3 Calculo de columnas	134
4.6.5 Calculo de soldaduras	144
4.6.6 Calculo de pernos	150
4.6.7 Anclaje de la estructura	153
5. ANALISIS POR EL MEF DE LA ESTRUCTURA DE APOYO	155
6. IMPACTO AMBIENTAL DEL SECADOR	161
6.1 ANALISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL SECADOR ROTATIVO	162

7. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	166
7.1 MANUAL DE MANTENIMIENTO	166
7.1.1 Políticas y objetivos del manual de mantenimiento	166
7.1.2 Organización del mantenimiento	168
7.1.3 Planeación y control del mantenimiento	169
7.1.4 Actividades de mantenimiento preventivo	171
7.2 MANUAL DE OPERACIÓN DEL SECADOR ROTATIVO	176
7.2.1 Accionamiento del secador rotativo	181
7.3 SISTEMA DE CONTROL DE VARIABLES	185
7.3.1 Control de temperatura	185
7.3.2 Válvula electromecánica proporcional de control para gas	186
7.3.3 Elementos de protección para el sistema de control	188
7.4 SEGURIDAD INDUSTRIAL	188
7.5 NORMAS O REGLAS PARA LA INTERACCION CON EL SECADOR	190
8. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	198
8.1 INVERSIÓN	198
8.1.1 Costos de ingeniería	198
8.1.2 Costos de materiales de fabricación	199
8.1.3 Costo total de fabricación	200
8.2 ANALISIS FINANCIERO	200
9. CONCLUSIONES	204
10. RECOMENDACIONES	205
BIBLIOGRAFIA	206
ANEXOS	209

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Tipos de transmisión de movimiento	35
Cuadro 2. Ventajas y desventajas de la transmisión por cadena	42
Cuadro 3. Ventajas y desventajas de la transmisión por engranajes	43
Cuadro 4. Ventajas y desventajas de la transmisión por acoplamiento	44
Cuadro 5. Partes del secador	49
Cuadro 6. Pérdidas caloríficas	69
Cuadro 7. Poderes caloríficos del combustible	85
Cuadro 8. Combustibles industriales	86
Cuadro 9. Clasificación según la alimentación del quemador	88
Cuadro 10. Características del quemador PI 100	92
Cuadro 11. Características ventilador	96
Cuadro 12. Momentos en los rodillos	112
Cuadro 13. Características cadena	124
Cuadro 14. Columna 1	134
Cuadro 15. Columna 2	139
Cuadro 16. Columna 3	143
Cuadro 17. Impacto ambiental	161
Cuadro 18. Ponderación impacto ambiental	163
Cuadro 19. Matriz de Leopold para el secador rotativo	164
Cuadro 20. Acciones de mitigación del impacto ambiental	165
Cuadro 21. Inspecciones y actividades preventivas	172
Cuadro 22. Inspecciones preventivas	173
Cuadro 23. Problemas y posibles soluciones para el secador	175
Cuadro 24. Aplicaciones controlador temperatura	186
Cuadro 25. Características controlador de temperatura	186
Cuadro 26. Principales riesgos en la planta	188
Cuadro 27. Protección oídos, rostros y ojos	193
Cuadro 28. Protección sistema respiratorio	194
Cuadro 29. Protección pies y piernas	194
Cuadro 30. Protección manos y brazos	195
Cuadro 31. Protección tronco	195
Cuadro 32. Costos de ingeniería	198
Cuadro 33. Costos de fabricación	199
Cuadro 34. Gastos directos de operación	200
Cuadro 35. Costos indirectos de operación	200
Cuadro 36. Ventas mensuales proyectadas	201
Cuadro 37. TIR secador rotativo	202

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Municipio de Agua de Dios – Cundinamarca	22
Imagen 2. Clasificación de los secadores	29
Imagen 3. Secador rotativo	31
Imagen 4. Secador flujo Co-corriente	31
Imagen 5. Secadores flujo Contracorriente	32
Imagen 6. Cámara de secado	33
Imagen 7. Dispositivos elevadores	34
Imagen 8. Sistema generación de calor	36
Imagen 9. Sistemas que integran el secador rotativo	40
Imagen 10. Transmisión por cadena	41
Imagen 11. Sistema de transmisión por correa	43
Imagen 12. Secador rotativo	48
Imagen 13. Esquema del secador rotativo y sus partes	50
Imagen 14. Proceso termodinámico del secador	61
Imagen 15. Diagrama de cuerpo libre cámara de secado	76
Imagen 16. Diagrama de momentos y esfuerzos cortantes	77
Imagen 17. Deflexión cámara de secado	80
Imagen 18. Von mises	80
Imagen 19. Geometría elevador	81
Imagen 20. Desplazamiento máximo	84
Imagen 21. Relación entre rendimiento y emisiones de la combustión	87
Imagen 22. Clasificación de los quemadores de gas	89
Imagen 23. Quemador radiante	89
Imagen 24. Quemador jet	90
Imagen 25. Ventilador	92
Imagen 26. Tabla propiedades del aire a 1 atm de presión	98
Imagen 27. Emisividad y constante de Stefan Boltzman	100
Imagen 28. Rodillo	102
Imagen 29. Diagrama cuerpo libre rodillo	103
Imagen 30. Posición rodillos	103
Imagen 31. Reacción en los apoyos	105
Imagen 32. Secciones rodillo	107
Imagen 33. Factor Kc	109
Imagen 34. Pieza de viga giratoria	111
Imagen 35. Momento alternante Ma	113
Imagen 36. Diagrama de momento y cortante	113
Imagen 37. Simulación rodillos	114
Imagen 38. Catalogo Weston chumaceras	116
Imagen 39. Chumacera UCP X18-56	117
Imagen 40. Cortante simple	118
Imagen 41. Esfuerzos cortantes máximos en pernos	118
Imagen 42. Tornillo M22	118

Imagen 43. Esfuerzo sobre los pernos	119
Imagen 44. Tornillos ordinarios de acero	119
Imagen 45. Cadena de rodillos	123
Imagen 46. Elementos críticos estructura general	126
Imagen 47. Diagrama de cuerpo libre viga	126
Imagen 48. Diagrama de cuerpo libre viga número 1	128
Imagen 49. Diagrama de cuerpo libre viga número 2	129
Imagen 50. Diagrama de cuerpo libre viga número 3	130
Imagen 51. Diagrama de cuerpo libre viga número 4	131
Imagen 52. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga	132
Imagen 53. Perfil H de alas anchas	133
Imagen 54. Columna 1	134
Imagen 55. Valores aproximados de la longitud efectiva K	134
Imagen 56. Columna 2	137
Imagen 57. Valores aproximados de la longitud efectiva K	139
Imagen 58. Columna 3	141
Imagen 59. Valores aproximados de la longitud efectiva K	142
Imagen 60. Soldadura estructura general	145
Imagen 61. Soldadura elevadores	147
Imagen 62. Pernos zona de carga	150
Imagen 63. Pernos generador aire caliente	152
Imagen 64. Anclaje de la estructura de apoyo	154
Imagen 65. Estructura de apoyo	155
Imagen 66. Estructura de apoyo fijación	155
Imagen 67. Cargas aplicadas en la estructura	156
Imagen 68. Detalle cargas y fijación	156
Imagen 69. Esfuerzo Von Mises columnas sección 1	157
Imagen 70. Esfuerzo Von Mises columnas sección 2	158
Imagen 71. Esfuerzo Von Mises estructura general	158
Imagen 72. Deformación estructura general	159
Imagen 73. Deformación sección 1	159
Imagen 74. Organización área de mantenimiento	168
Imagen 75. Panel de control	181
Imagen 76. Interruptor on-off	182
Imagen 77. Pulsador verde secador rotativo	182
Imagen 78. Pulsador verde quemador	183
Imagen 79. Pulsador verde ventilador centrifugo	183
Imagen 80. Ventilador corriente de aire	184
Imagen 81. Botón parada de emergencia	184
Imagen 82. Controlador de temperatura	185
Imagen 83. Electroválvula	187
Imagen 84. Casco de seguridad	190
Imagen 85. Botas punta de acero	191
Imagen 86. Protector auditivo	191
Imagen 87. Gafas de seguridad	192

Imagen 88. Respirador con protección	192
Imagen 89. Botiquín primeros auxilios	196
Imagen 90. Extintor	196
Imagen 91. Rutas de evacuación	197

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1. Temperatura promedio	24
Grafica 2. Temperatura de gases y material	51
Grafica 3. Tipos de humedad	55
Grafica 4. Etapas de secado en contracorriente	56
Grafica 5. Periodos de evaporación	57
Grafica 6. Gradientes de temperatura en un secador a contracorriente continúa	66
Grafica 7. Relación temperatura-humedad	67
Grafica 8. Factor de redondeo	112

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Parámetros diseño secador rotativo	38
Tabla 2. Criterios para la evaluación de las alternativas	44
Tabla 3. Asignación de ponderación	45
Tabla 4. Calificación de alternativas	45
Tabla 5. Datos municipio Agua de Dios	47
Tabla 6. Subdivisión ventiladores axiales	93
Tabla 7. Subdivisión ventiladores centrífugos	94
Tabla 8. Valores coeficiente fricción estática	106
Tabla 9. Valores a y b	109
Tabla 10. Factor Kb	109
Tabla 11. Factor Kd	110
Tabla 12. Factor de confiabilidad	111
Tabla 13. Margen compensatorio	122
Tabla 14. Características electrodos	146
Tabla 15. Esfuerzos permisibles del Código AISC para metal de aporte	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de control secador rotativo	pág. 39
Figura 2. Llenado del cilindro	52

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A . Carta Psicrometrica	210
Anexo B. Lamina anti desgaste	212
Anexo C. Propiedades del combustible gas natural	217
Anexo D. Quemador pirotec burners	219
Anexo E. Ventilador chicago blower	223
Anexo F. Diámetros normalizados para ductos de aire	226
Anexo G. Diagrama determinación del espesor de aislamiento y características de la lanada de vidrio	228
Anexo H. Coeficiente parcial de seguridad del acero estructural para uniones	232
Anexo I. Motor sew eurodrive	234
Anexo J. Cadena y piñones manual intermec	236
Anexo K. Acero estructural a 572 gr 50	241
Anexo L. Tablas vigas por superposición	244
Anexo M. Normas y definiciones de los tornillos	246
Anexo N. Hilti profis anchor 2.8.1	249
Anexo O. Matriz impacto ambiental	252
Anexo P. Controlador de temperatura y electroválvula	254
Anexo Q. Cotizaciones del secador rotativo	256
Anexo R. Planos	259

RESUMEN

Se reconoció que la empresa ECOMINESA S.A no cuenta con un sistema de secado o reducción de humedad para los grandes volúmenes de arena que manipulan, debido a esto han perdido la oportunidad de comercializar su producto a clientes que requieren material para diferentes aplicaciones como vidrio, morteros para construcción, piezas de fundición, etc. Ya identificada la situación se procedió a plantear diferentes alternativas para la solución del problema y se optó por el diseño más adecuado según las grandes cantidades de materia prima a procesar, basados en la información recolectada de varias fuentes como libros, tesis, artículos y páginas web.

Ya seleccionada la mejor alternativa para la solución del problema, se procedió a simularlo mediante un modelo de elementos finitos (MEF). Se realizaron los planos de fabricación, ensamble y montaje. Luego se establecieron los manuales que requiere la maquina como lo son el de operación, instalación y mantenimiento, seguido del impacto ambiental que conlleva el desarrollo o fabricación de una máquina de este tipo y para finalizar se realizó la evaluación financiera para determinar la rentabilidad del proyecto.

PALABRAS CLAVES: Diseño, Secador, Arena.

INTRODUCCIÓN

Al reducir el grado de humedad en la arena se amplía y diversifica el campo de acción de la misma, obteniendo un incremento tanto económico como de participación en el mercado, es aquí donde radica la *importancia* de esta máquina siendo su principal objetivo disminuir el contenido de agua presente en grandes volúmenes de materia prima.

El *origen* de este trabajo se presenta en la empresa ECOMINESA S.A. al obtener solicitudes de nuevos clientes que requieren grandes cantidades de material con un grado de humedad menor al que presenta su materia prima, debido a esto la empresa se ha visto en la necesidad de aplicar un proceso de secado posterior a la extracción de dicho material.

El *objetivo* de este proyecto es el “Diseño de un secador rotativo para 30 ton/h de arena, para la empresa ECOMINESA S.A”. Para el desarrollo del mismo, se deben tener en cuenta los siguientes objetivos específicos;

- ✓ Evaluar la situación actual de los procesos de secado de arena
- ✓ Establecer los parámetros básicos y requerimientos funcionales
- ✓ Plantear alternativas del subsistema motriz del secador
- ✓ Desarrollar el diseño detallado
- ✓ Simular mediante el MEF la estructura de apoyo
- ✓ Elaborar planos de ubicación, fabricación, ensamble y montaje
- ✓ Elaborar manuales de operación y mantenimiento
- ✓ Evaluar impacto ambiental en la fabricación de la máquina
- ✓ Evaluar financieramente el proyecto

El *alcance* de este proyecto contempla únicamente el desarrollo del diseño del secador rotativo, el cual aumentará el campo de acción de la materia prima utilizada por la empresa, no se fabricará la máquina ni un prototipo de la misma.

Las *limitaciones* de este proyecto definen que el contenido de humedad a la entrada debe estar en un rango de 7-9 % (como un porcentaje por peso húmedo) y como humedad final se obtendrá un rango de 2-3 %, teniendo en cuenta, que el único material a secar es arena para una producción de 30 toneladas/h.

El *significado* que tiene este proyecto es reducir la humedad del material sólido (arena) para aumentar el número de aplicaciones industriales logrando su máximo aprovechamiento.

La *aplicación* de este proyecto está dirigida a la empresa ECOMINESA S.A. la cual se dedica a la explotación, trituración y comercialización de minerales, en la cual se manipulan grandes volúmenes de material.

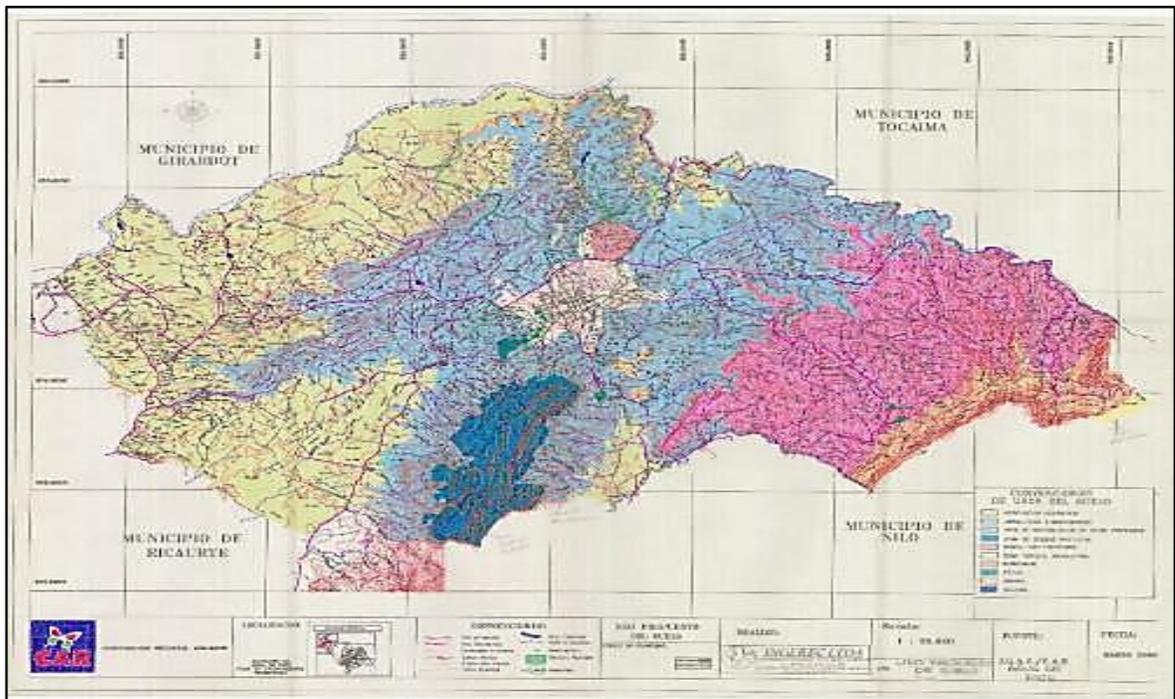
1. GENERALIDADES

ECOMINESA S.A. fue fundada en el año 2.015, "es una empresa minera que se dedica a la explotación, aprovechamiento y beneficio de la materia prima extraída de una mina cielo abierto ubicada en la zona geográfica del proyecto, aprovechando el uso de dicha materia prima para el desarrollo social y de infraestructura en la zona", se encuentra situada en el municipio de Agua de Dios, Cundinamarca.

El municipio de Agua de Dios (Ver imagen 1) está ubicado a 120 kilómetros al sur-occidente de Bogotá en el Departamento de Cundinamarca, entre los municipios de Tocaima, Girardot, Nilo y Ricaurte, con fácil acceso para un placentero viaje a través de excelentes carreteras.

El área del municipio, se ubica en un tren montañoso que presenta una dirección predominante NE-SW, afectada por fallas y pliegues, en general por una gran actividad tectónica. Allí afloran materiales pertenecientes al Cretáceo, Terciario y Depósitos Cuaternarios. Cuenta con 83,76 kilómetros cuadrados que se encuentran en piso térmico cálido seco cuya temperatura promedio todo el año es de aproximadamente 28 grados centígrados con una precipitación pluviométrica de solo 1.000 mm promedio anual.

Imagen 1. Municipio de Agua de Dios – Cundinamarca



Fuente: IGAC. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, Bogotá, Colombia. [Citado 22 de octubre del 2018].

La ubicación geográfica del área de establecimiento de la planta y centro de acopio de materiales de construcción, permite acceder a esta desde varios puntos, ubicados en el municipio, se parte en dirección Nor – Oriental por la vía que de Agua de Dios conduce al municipio de Tocaima, en el Km. 1 luego de encontrar la desviación a mano derecha de la vía que conduce hacia la vereda de Ibáñez desde el barrio Galán, y que se encuentra destapada por la vía que conduce a los internados de Santa Helena, a una distancia de cinco (5) Km, en el sector oeste, de la vereda Ibáñez.

El centro de acopio de materiales de construcción y planta de clasificación de arena silíceas se encuentra ubicado en los límites del barrio Galán con la vereda Ibáñez, límite del casco urbano de Agua de Dios.

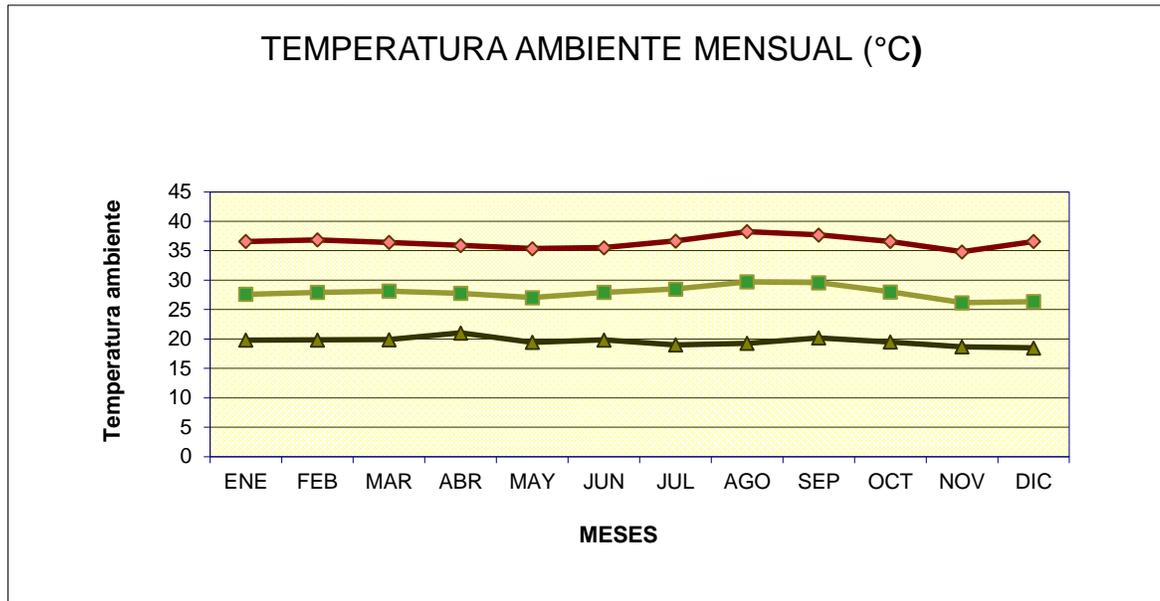
En sus alrededores se encuentran 3 viviendas establecidas, la más cercana está al centro de acopio es conocida como el club social bonanza, esta se encuentra desocupada y en condiciones de deterioro generando una amenaza de riesgo.

- ✓ Aspectos atmosféricos. Para la definición de los aspectos atmosféricos, en el área de influencia del proyecto se utilizó la formación existente de la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca), IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) e INGEOMINAS (Instituto Nacional de Investigaciones, Geociencias, Químicas y Mineras).
- ✓ Temperatura. La temperatura está íntimamente ligada con la altitud, hora del día y época del año. El área de estudio se encuentra localizada entre las altitudes de 400 y 500 m.s.n.m. aproximadamente, característico de un clima cálido con temperatura media de 27°C aproximadamente, correspondiente a una provincia semiárida o muy seca. Valores obtenidos de la estación La Argelia No 2120644. Contrariando la influencia normal del relieve, el municipio de Ricaurte y zonas aledañas, presentan grandes oscilaciones de la temperatura durante el día y la noche, aunque la temperatura media se mantenga sensiblemente constante durante todo el año.

En esta región transcurren días con temperaturas superiores a 38°C, que tienen como complemento noches frías con temperaturas de 19°C y menos. Está marcada oscilación se debe a corrientes aéreas que bajan de la cordillera y que enfrían la atmósfera con relativa rapidez, en tal forma que las tierras se refrescan en cuanto desaparece la acción solar.

Los datos meteorológicos fueron suministrados por la CAR de la estación Argelia, durante los años 1.992 – 1.997, cabe aclarar que estos datos se presentan con el fin de comprender el comportamiento climatológico de la zona sin embargo en los cálculos se utilizan datos del año actual.

Grafica 1. Temperatura promedio



Fuente: CAR, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL, Bogotá, Colombia. [Citado 22 de octubre del 2018]

- ✓ Precipitación. Según los datos de las estaciones pluviométricas La Argelia y Tatambo, analizados por la C.A.R; se concluyó que el comportamiento pluviométrico de la región muestra un régimen de tipo bimodal, con un precipitado promedio normal de 887,5 mm.

Históricamente las precipitaciones muestran que: La primera parte de año (enero, febrero y marzo) es de lluvias aisladas, ocasionalmente intensas, con humedad relativa muy baja y abundante insolación. Sigue el primer período de invierno, que se inicia a mediados de marzo interrumpiéndose a mediados de junio.

Entra el segundo periodo seco que abarca hasta mediados de septiembre, presentándose numerosos días de mal tiempo con temperaturas bajas, vientos muy fuertes que soplan del sudoeste y numerosas lloviznas.

El segundo período de lluvias (último del año) cubre desde la mitad de septiembre hasta la primera quincena de diciembre, siendo la parte final de diciembre seca, empatando con el primer periodo de verano.

Las máximas precipitaciones ocurren en los meses de mayo, octubre y noviembre. Los períodos de mínima precipitación se presentan en los meses de julio y agosto, constituyéndose que enero y agosto son los meses más secos del año.

- ✓ Geología. Se toma como base la información suministrada por INGEOMINAS, la cual está plasmada en la Plancha Geológica 245 de Girardot¹. La plancha se encuentra localizada en el límite del valle medio y valle superior del Magdalena y comprende las coordenadas planas con origen en el Observatorio Astronómico Nacional de Bogotá. X1=960.000 X2=1'000.000 Y1=880.000 Y2=940.000.

El área total de la plancha es de 2.400 km² y abarca la parte suroriente del Departamento de Cundinamarca y la parte nororiente del Departamento del Tolima y sus principales poblaciones son Girardot, Tocaima, Alvarado, Flandes, Ricaurte, Piedras, Guataqui, Jerusalén, Nariño, Gualanday, Doima, Coello, Payandé, Nilo y Agua de Dios.

La zona que corresponde al municipio de Ricaurte está clasificada en el Grupo Honda (Ngh), nombre introducido por Hettner (1982) derivado de la población de Honda, en el departamento del Tolima, para designar una arenita típica, gris verdosa. Su localidad tipo fue establecida en la Cordillera de San Antonio, al este de la población de Honda (De Porta, 1966). En el área de estudio, el Grupo Honda aflora al noreste de Girardot (G8), en el sector sur de Tocaima (D12) y en las inmediaciones de Agua de Dios y Ricaurte (E11) y hace parte del valle del río Bogotá, el cual se encuentra cubierto por depósitos cuaternarios.

- ✓ Descripción litológica. En el sector de Ricaurte, carretable Girardot – Agua de Dios se observaron dos niveles de la unidad, los cuales se describen a continuación;

El inferior consta de capas gruesas de arenitas conglomeráticas, verdes amarillas, feldespáticas y líticas, con cantos de andesita y rocas metamórficas con mucha mica, a veces calcáreas, con alto contenido de minerales pesados; intercaladas ocurren capas delgadas a medias de lodolitas rojas abigarradas, las cuales forman pequeños valles.

El nivel superior se encuentra representado por una sucesión alternante, más marcada, de arenitas cuarzo feldespático, de grano medio a conglomeráticas, verde, amarillo, micáceo, algo calcáreo, con cantos de andesitas, en capas gruesas, con estratificación cruzada tangencial de bajo ángulo, intercalados con capas gruesas de arcillolitas fósiles, abigarradas. En este nivel es común encontrar niveles de concreciones de arenita bastante calcárea.

¹ INGEOMINAS. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, Bogotá, Colombia. Memoria explicativa, Plancha 245 Girardot. Esc.1:100.000. [Citado 22 de octubre del 2018].

- ✓ Hidrogeología. La red hidrográfica del área se encuentra representada por patrones de tipo dendrítico y angular, consecuente y obsecuente, donde la topografía del terreno es prominente y de tipo radial al occidente de la región en donde la misma está levemente inclinada hacia el oriente.

Estas redes hidrográficas terminan en las principales fuentes hídricas de la región, representadas por los ríos Magdalena, Coello, Bogotá, Sumapaz, entre los principales.

El valle del río Magdalena se ha identificado como una de las áreas con mejores condiciones geológicas e hidrológicas para el almacenamiento y la obtención de aguas subterráneas, especialmente por la porosidad primaria y la permeabilidad alta a moderada que presentan las unidades geológicas que la conforman. Sin embargo la zona de Agua de Dios y Ricaurte, difiere de la descripción anterior por cuanto se encuentra en una zona más alta y no de influencia directa del río Magdalena.

1.1 MISIÓN DE LA EMPRESA

“ECOMINESA S.A., es una empresa constituida para explorar, explotar y comercializar recursos minerales, que genera beneficios a sus accionistas, a sus asociados y a la comunidad, que trabaja con excelencia, responsabilidad social y con los más altos estándares de seguridad y cuidado del ambiente, logrando alta rentabilidad, crecimiento sostenido, seguridad industrial, y salud ocupacional”.

1.2 VISIÓN DE LA EMPRESA

“En el 2024, la empresa ECOMINESA S.A., será destacada y reconocida, nacional e internacionalmente, por sus actividades de exploración, explotación y comercialización de minerales, destacando sus buenas prácticas mineras, operacionales, de manejo ambiental y de responsabilidad social”.

1.3 VALORES DE LA EMPRESA

ECOMINESA S.A. adopta para su operación los valores, que dan un sentido de dirección común y establecen las directrices que guían el comportamiento diario de cada uno de los colaboradores que forman parte de la empresa:

Responsabilidad: “Cuidando el medio ambiente, trabajando con altos estándares de seguridad y salud, y respetando a las comunidades”.

Crecimiento personal: “Reconocer el esfuerzo y el logro de manera justa y sincera”
“Preocuparse por el crecimiento y el bienestar de las personas”

Calidad y excelencia: “Dando lo mejor de nosotros en nuestro trabajo y nuestro hogar, y transmitiéndolo a nuestro entorno social, haciendo las cosas cada vez mejor”.

Trabajo en equipo: “Trabajando siempre en equipo por un objetivo común, facilitando la unión de esfuerzos para alcanzar una meta común”.

Integridad: “Hablando siempre con la verdad, siendo coherentes entre lo que pensamos, decimos y hacemos, de acuerdo al código de ética de la empresa”

1.4 POLITICAS EMPRESARIALES

ECOMINESA S.A. lleva adelante su trabajo sobre la base de la “Política de Seguridad, Salud Ocupacional, Medio Ambiente y Relaciones Comunitarias” a través del cumplimiento de los siguientes compromisos;

- ✓ Generar las condiciones necesarias para la existencia de un ambiente de trabajo seguro y saludable, con prevención de la contaminación y respeto a las comunidades, mediante la implementación adecuada de su sistema Integrado de gestión de riesgos, evitando pérdidas a las personas, equipos, procesos y medio ambiente
- ✓ Cumplir con la Legislación vigente y, de la misma forma, con las exigencias que la corporación suscribe, referidas a la seguridad, salud ocupacional, Medio ambiente y relaciones comunitarias
- ✓ Promover la mejora continua en toda actividad a través de su sistema de gestión, en concordancia con los requerimientos de las Normas Internacionales ISO 14001 y OHSAS 18001, incorporando las mejores prácticas mundiales y los avances tecnológicos
- ✓ Prevenir y controlar cualquier acción que pudiera afectar la seguridad, salud ocupacional, medio ambiente y relaciones comunitarias. Asimismo, proponer soluciones para que no se repitan las acciones que las hubiesen afectado
- ✓ Ejecutar programas de capacitación y comunicación en seguridad, salud ocupacional, medio ambiente y relaciones comunitarias, a fin de concientizar, sensibilizar, mejorar y consolidar la cultura de responsabilidad social en todos los colaboradores

1.5 SECADO

Actualmente el secado de arena se realiza por medio de la exposición del material al sol y consiste en expandir la arena manualmente en una superficie amplia y uniforme para que la energía en forma de calor transferida por el sol evapore el exceso de humedad presente, este proceso puede durar varias horas y depende directamente del comportamiento climatológico de la zona.

Debido a esto se han desarrollado diferentes tipos de secadores para llevar a cabo el proceso de disminución de humedad², estos se pueden clasificar según su modo de operación;

- ✓ Secadores continuos, la operación como su nombre lo indica es continua y sin interrupciones, en tanto se suministre el material húmedo, esto quiere decir en el momento que se alimente el secador.
- ✓ Secadores discontinuos o por lotes, Están diseñados para operar con un tamaño específico de lote de materia prima, para ciclos de tiempo establecidos.

Dentro de la clasificación de secadores continuos o discontinuos se encuentra una subdivisión que hace referencia a la forma en la que el secador transfiere calor al material a procesar;

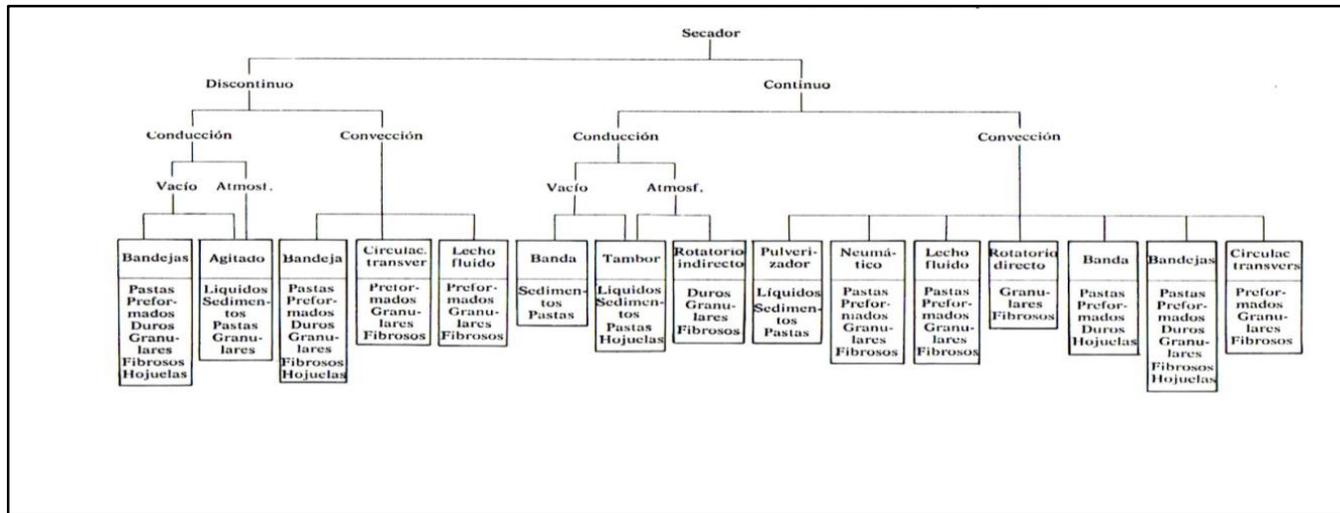
- ✓ Calentamiento por conducción o indirectos, Se caracterizan porque en ellos la transmisión de calor hasta el material húmedo tiene lugar por conducción a través de una pared, generalmente metálica. Al igual que los secadores directos, estos pueden funcionar en régimen continuo o intermitente
- ✓ Calentamiento por convección o directos, Se caracterizan por utilizar gases calientes que entran en contacto directo con el sólido húmedo al que transmiten calor por convección
- ✓ Calentamiento por radiación (IR), no es un método muy común, los secadores por infrarrojos se diseñan en la actualidad para utilizar el calor radiante como fuente primaria de energía
- ✓ Calentamiento dieléctrico, este término es aplicado a todas las frecuencias electromagnéticas superiores o iguales al espectro de infrarrojos, generalmente se dice que el calentamiento dieléctrico se realiza a frecuencias entre 1 y 100 MHz

² RAT, José. Introducción al secado de alimentos por aire caliente, P. 19[En línea] 14 de enero del 2.001 [Citado 7 de mayo del 2018], Disponible en >https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true<

En el mercado de equipos para la industria química hay muchos tipos de secadores, cada uno diseñado con su propia especialidad y algunos lo suficientemente versátiles como para secar más de un tipo de material húmedo.

Con respecto a los grandes volúmenes de arena manipulados por la empresa Ecominsa s.a. el secador a diseñar es de tipo continuo y transfiere el calor al sólido húmedo por medio de convección o contacto directo siendo así un secador de tipo rotativo.

Imagen 2. Clasificación de los secadores



Fuente: G. NONHEBEL. El secado de sólidos en la industria química p.54 [Citado 22 de octubre del 2018]

El secado³³ se describe como un proceso de eliminación de sustancias volátiles (humedad) para generar un producto sólido y seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido, es decir, en la microestructura del mismo.

Cuando las partículas húmedas del sólido son expuestas a una corriente de aire caliente dos procesos ocurrirán simultáneamente

- ✓ Habrá un proceso de transferencia de calor entre la corriente de aire caliente y la humedad presente en la superficie de las partículas de materia prima (proceso1).
- ✓ La humedad contenida en el interior de las partículas se desplazará hacia la superficie de las mismas, efecto de la transferencia de calor (proceso2).

Con base en la velocidad de desarrollo de los dos procesos mencionados anteriormente se define un parámetro fundamental en el proceso, el cual es la velocidad de secado de la materia prima. La transferencia de energía, en forma de calor, a la que será sometido el sólido se puede presentar por medio de convección, conducción y/o radiación y en algunos casos una combinación de estos efectos.

1.5.1 Condiciones externas. Se refiere al proceso 1, generado por la transferencia de calor dentro del secador, donde se vinculan condiciones externas tales como, temperatura, humedad, flujo del aire, área de la superficie expuesta y presión, esto con el fin de evaporar la humedad superficial del material a procesar. En algunos casos particulares se puede presentar problemas de encogimiento, excesiva evaporación en la superficie, después de que la humedad inicial ha sido removida dando lugar a altos gradientes de humedad del interior de la superficie. Este fenómeno es causado por el sobre secado y consecuentemente las altas tensiones dentro del material, dando como resultado agrietamiento.

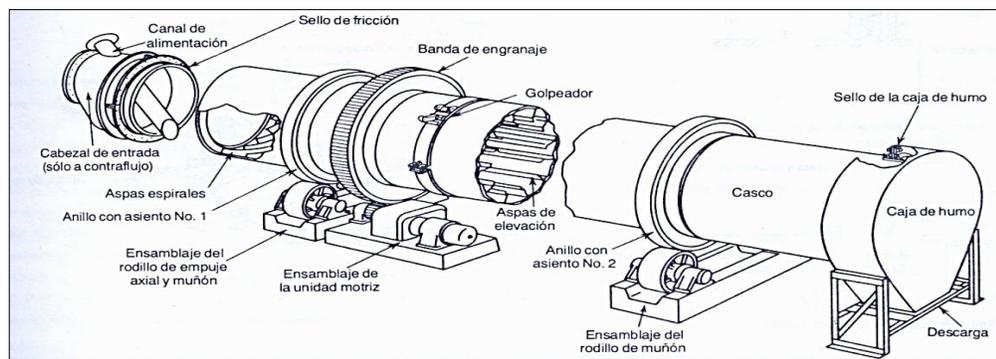
1.5.2 Condiciones internas. El desplazamiento del agua contenida al interior de las partículas a procesar se debe a la naturaleza física del sólido, vinculando el efecto que tiene la temperatura y humedad en el comportamiento del mismo.

Durante el proceso de secado se genera una diferencia de temperatura en el sólido mientras la humedad superficial es removida, fenómeno denominado como evaporación. La exposición del material a una corriente de aire caliente genera un desplazamiento de humedad desde el interior del sólido hacia la superficie del mismo, lo cual ocurre a través de uno o más mecanismos, normalmente, difusión, flujo capilar, presión interna causada por el encogimiento durante el secado.

³ CATARINA. Proceso de secado, Capítulo V, P 1[En línea] 23 de febrero del 2.013 [Citado 7 de mayo del 2018], Disponible en >
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/capitulo5.pdf<

1.5.3 Secadores rotatorios. Es una máquina que tiene como objetivo reducir el contenido de agua en materiales solidos granulares, dicho material es continuamente elevado con respecto al giro del secador y con la ayuda de unos dispositivos denominados elevadores ubicados en el interior del mismo, dejando caer continuamente el material en forma de cascada exponiéndolo a una corriente de aire caliente encargada de realizar el proceso de transferencia de calor. Este se compone principalmente de un cuerpo cilíndrico hueco como se muestra en la imagen 3, inclinado ligeramente hacia la salida del material y con flujo en contracorriente o a favor de la corriente dependiendo del tipo de material y sus características.

Imagen 3. Secador rotativo



Fuente: PASTOR, José. Secador rotativo, [En línea] 30 de diciembre del 2.017, [Citado el 29 de mayo del 2018], Disponible en < www.gea.com>

Los secadores rotativos con configuración a favor de la corriente o co-corriente, son los indicados para procesar materiales solidos granulares con alto contenido de humedad y que tiene como característica una alta sensibilidad al calor.

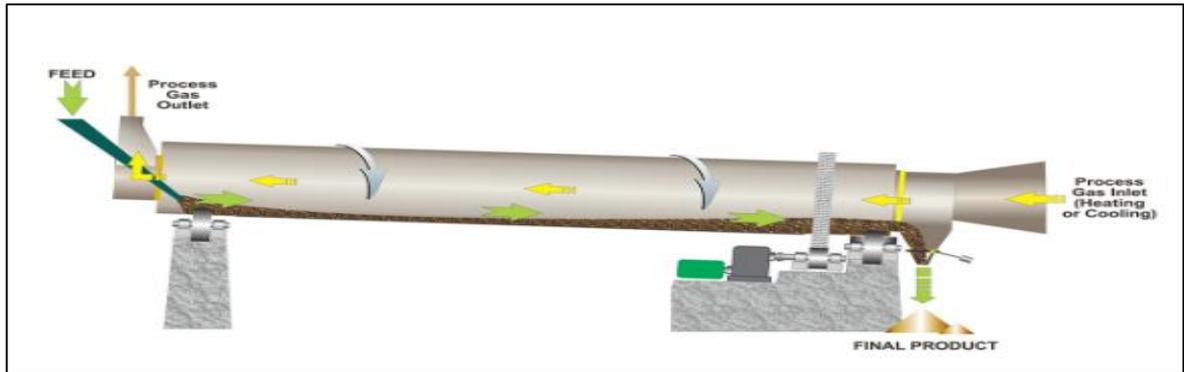
Imagen 4. Secador flujo Co-corriente



Fuente: GEA. Secador flujo Co-corriente, [En línea] 11 de febrero del 2.009, [Citado el 29 de Agosto del 2018], Disponible en < www.gea.com>

Los secadores rotativos que trabajan con configuración contracorriente se utilizan principalmente para procesar materiales que requieren disminuir hasta niveles muy bajos su porcentaje de humedad o en casos particulares para materiales que requieren una alta temperatura al finalizar el proceso de secado.

Imagen 5. Secadores flujo Contracorriente



Fuente: GEA. Secadores rotativos, [En línea] 11 de febrero del 2.009, [Citado el 29 de agosto del 2018], Disponible en < www.gea.com>

La eficiencia del secador⁴ va directamente ligada con la diferencia de las temperaturas de entrada y salida del fluido (aire) durante el proceso de secado, y a su vez la transferencia de calor que se presenta allí estará relacionada por el diseño de los dispositivos elevadores y la velocidad de rotación del cuerpo cilindro del secador. Para concluir el proceso de disminución del contenido de humedad se debe contemplar el tiempo de residencia de las partículas dentro del secador el cual, se determina con base a la velocidad de evaporación del agua contenida en las partículas del sólido.

1.5.4 Características del secado rotativo, los principales son;

- ✓ Diseño sólido con varias opciones de elevador.
- ✓ Puede ser en co-corriente o contracorriente.
- ✓ Permite el uso de temperaturas de secado más altas.
- ✓ Tiempo de residencia relativamente largo.
- ✓ El tambor dispersa el material conforme se transporta a lo largo de su longitud.

1.5.5 Ventajas del secado rotativo;

- ✓ Combina flexibilidad con fiabilidad, lo que alarga la vida útil del secador.+

⁴ GEA. Secadores rotativos. [En línea] 15 de marzo del 2.008 [Citado 23 de mayo del 2018], Disponible en > https://www.gea.com/es/products/rotary_dryer.jsp<

El secado rotativo también es adecuado para una amplia gama de materiales y tamaños de partícula, y puede adaptarse más fácilmente a las condiciones de proceso contracorriente 'difíciles'.

- ✓ El secado en co-corriente es apropiado para materiales con un porcentaje de humedad relativamente elevado y ofrece una evaporación rápida sin sobrecalentar el producto.
- ✓ El secado contracorriente tiene el máximo gradiente térmico y permite obtener productos con un porcentaje de humedad bajo.
- ✓ Reduce el tamaño del equipo, así como la inversión y los gastos de funcionamiento asociados.
- ✓ Energía de ventilador y altura libre relativamente bajas.
- ✓ Permite el ahorro de energía y la integración de sistemas.

1.6 COMPONENTES DEL SECADOR ROTATIVO

Los secadores rotativos industriales se constituyen de 3 partes fundamentales las cuales son, la cámara de secado, el sistema de transmisión de movimiento y el sistema de generación de calor.

1.6.1 Cámara de secado. Es el componente principal de un horno rotativo, consiste en un cuerpo cilíndrico de acero (Imagen 6) apoyado sobre rodillos que le facilitan girar libremente por la acción de un motor.

Imagen 6. Cámara de secado

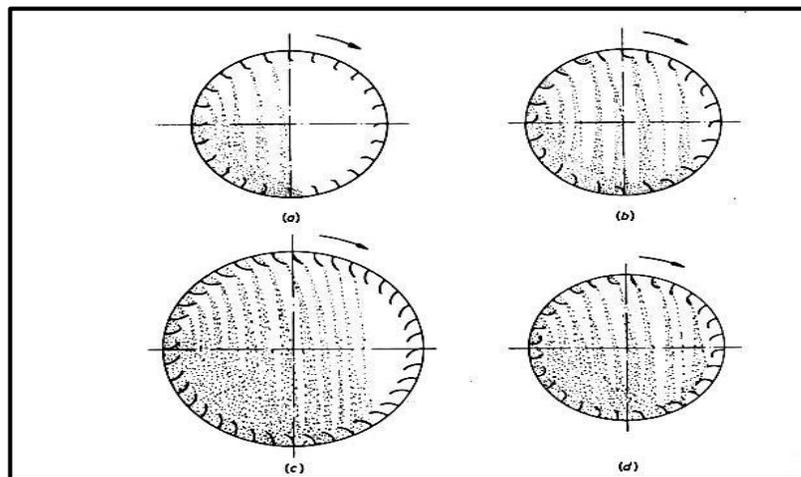


Fuente: DIRECT INDUSTRY, Secador rotativo [en línea] 14 de marzo del 2011, [Citado 23 de mayo del 2018], Disponible en <<http://www.directindustry-china.cn/prod/arcen-engenharia-s-a/product-56888-1667658.html>>

Dentro de la cámara de secado ocurre la transferencia⁵ de calor que permite reducir la humedad contenida dentro de la materia prima, en este caso arena, este procedimiento se realiza utilizando un quemador, el cual transmite energía en forma calor a las partículas de arena por medio de una corriente de gases.

La cámara de secado contienen en su interior unos dispositivos denominados elevadores, estos tienen como función principal generar una caída de material en forma de cortina en el sentido de giro del cilindro rotativo con el fin de conseguir un contacto repetitivo e íntimo con los gases secadores que transitan en su interior, la cantidad de arena se determina por el grado de llenado y a su vez este depende de la configuración geométrica del elevador, como se observa en la imagen 7 se tienen cuatro configuraciones óptimas para estos dispositivos, la configuración del ítem d es la más adecuada debido a que permite el máximo grado llenado de material para el secador, el cual corresponde a un rango del 12% al 15% de su volumen total.

Imagen 7. Dispositivos elevadores



Fuente: G. NONHEBEL. El secado de sólidos en la industria química p.54 [Citado 22 de octubre del 2018]

1.6.2 Sistema de transmisión de movimiento. Hace referencia al sistema que conecta el motor con la cámara de secado como se observa en el cuadro 1, esto permite que la cámara de secado gire sobre unos rodillos y de esta manera genere el movimiento del material dentro de la misma, mejorando el secado de la arena. Existen varios sistemas de transmisión de potencia utilizada en los secadores rotativos como lo son, sistema de transmisión por poleas, por cadena con piñones, directa y por engranes.

⁵ GEA. Secadores rotativos. [En línea] 25 enero del 2.010, [Citado 23 de mayo del 2018], Disponible en > https://www.gea.com/es/products/rotary_dryer.jsp<

Cuadro 1. Tipos de transmisión de movimiento

Sistema	Imagen
Banda con poleas	
Cadena con piñones	
Directa	
Engranajes	

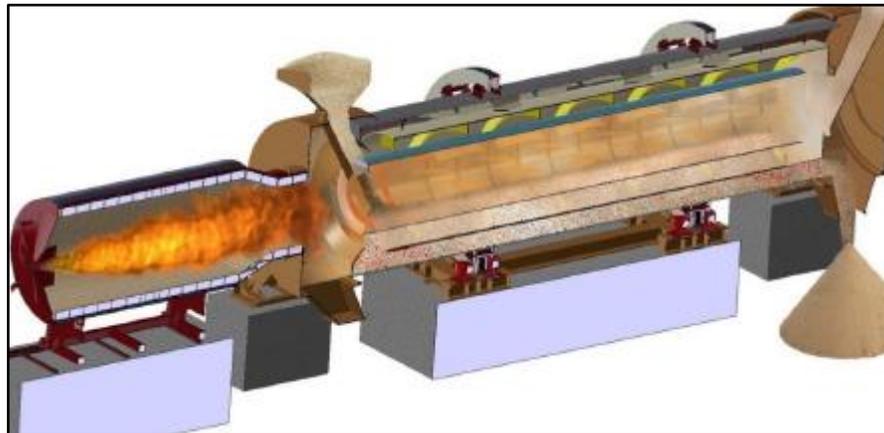
Fuente: elaboración propia

La selección del sistema de transmisión de potencia o movimiento se realiza en el capítulo 3, evaluando las diferentes posibles alternativas para realizar el movimiento de giro pertinente a la cámara de secado del secador rotativo a diseñar.

1.6.3 Sistema de generación de calor. Este sistema es el encargado de generar la energía en forma de calor necesaria para el proceso de secado, esto hacer referencia a la temperatura de trabajo del secador; dicha temperatura está condicionada al tipo de material y a las características físicas del mismo.

Este sistema de generación de calor integra un quemador, el cual tiene como objetivo proveer de calor al horno como se puede observar en la imagen 8.

Imagen 8. Sistema generación de calor



Fuente: GALICIA, María. Procesos de separación [en línea] agosto del 2.009, [citado el 25 de mayo del 2.018], disponible en <http://depa.fquim.unam.mx/procesos/secado/marcoteorico8.html>

1.6.4 Sistema estructural. Es el encargado de soportar el peso de la maquina teniendo en cuenta la materia prima que transita en el interior del cilindro, este compone tanto de vigas como de columnas y componentes de fijación y realiza la tarea de unión de los otros sistemas que integran al secador en su totalidad como lo son, la cámara de secado, el sistema de transmisión de movimiento y el sistema de generación de calor (Ver sección 4.6).

2. PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

La definición de los parámetros y requerimientos permite guiar el diseño, de manera que este satisfaga las necesidades establecidas por la empresa y con la certeza de que no falle ante las diferentes eventualidades que se presenten durante el proceso, llegando a cumplir con su objetivo de una forma óptima sin sobrepasar las cantidades establecidas para su diseño.

2.1 PARÁMETROS

Los parámetros para el diseño del secador rotativo están delimitados por las diferentes variables críticas que puedan llegar a afectar de manera considerable el proceso de secado, para ello, se deben contemplar variables como; Cantidad de materia prima a procesar, humedad a la entrada y salida del proceso, y tiempo de secado.

2.1.1 Cantidad de materia prima a procesar. Fue determinada por la empresa según los pedidos o nuevas solicitudes a cumplir, En este caso es de 30 Ton/h se tuvieron en cuenta diseños previos de secadores rotativos para un flujo permitido similar al establecido por la empresa para obtener un funcionamiento óptimo del mismo.

2.1.2 Humedad en la materia prima. Existen varios métodos para determinar el porcentaje de humedad presente en un material sólido, en este caso se aplicó una fórmula que relaciona el peso húmedo y peso seco de nuestro material con el fin de obtener el porcentaje de humedad absoluto en el sólido La arena a procesar debe ingresar con una humedad entre un rango del 7-9 %, esto lo asegura la empresa sometiendo la materia prima a un pre-secado realizado en cámaras que retienen el calor transferido por el sol al material, proceso rudimentario en el cual se logra evaporar una cantidad mínima de agua contenida al interior de las partículas del material; Al finalizar el proceso de secado realizado en la maquina se obtendrá un contenido de humedad entre un rango del 2-3%, este material es extraído de una mina a cielo abierto ubicada en el municipio de Agua de Dios, Departamento de Cundinamarca, posee un alto contenido de sílice., un tamaño de partícula de 200×10^{-6} m, una densidad de 1900 Kg/m^3 y un temperatura igual a la del medio ambiente, la cual posee un valor de 28 C° , todo esto determinado según estudios de laboratorio realizados por ECOMINESA S.A.

2.1.3 Tiempo de secado. El tiempo de residencia de las partículas dentro de la cámara de secado dependen de la velocidad de rotación de la misma, el diámetro del secador a diseñar, de su pendiente, de su longitud y de la velocidad del aire encargado de realizar la transferencia de calor vinculada a la partícula de arena, este tiempo de residencia será determinado más adelante, donde se realizaran los cálculos pertinentes.

Tabla 1. Parámetros diseño secador rotativo

variable	cantidad	unidad	origen o procedencia
Flujo másico de materia prima	30	Ton/h	Establecido por la empresa
Humedad a la entrada	7-9 %	Porcentaje humedad	Depende del terreno
Humedad a la salida	2-3 %	Porcentaje humedad	Depende del terreno
Inclinación	1% ò 5%	Metros	Porcentaje de inclinación según la longitud

Fuente: elaboración propia

2.2 REQUERIMIENTOS

Los requerimientos para el diseño de este secador rotativo fueron definidos por la empresa encargada de establecer las necesidades ECOMINESA S.A. la cual se enfocó primordialmente en el espacio disponible para la implementación del diseño, sin dejar a un lado los recursos económicos disponibles por la empresa y teniendo en cuenta que cumpla de manera óptima su función. Los requerimientos presentados por la empresa son bajo costo de producción y mantenimiento, secado homogéneo, protección al operario, tamaño de la máquina y capacidad máxima 30 toneladas/hora.

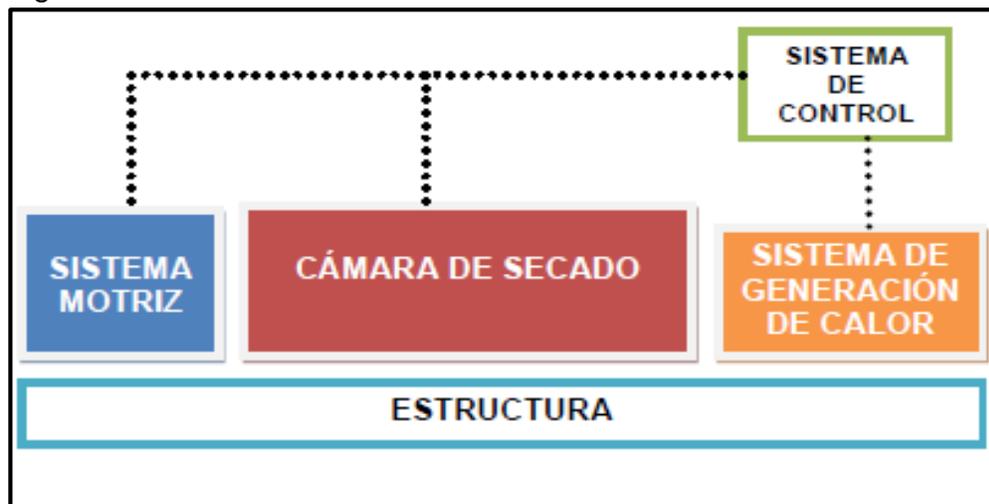
2.2.1 Bajo costo de producción y mantenimiento. La empresa ECOMINESA S.A. planteo para el diseño de esta máquina un enfoque de gran importancia para su economía el cual corresponde al bajo costo de producción y mantenimiento con el fin de mejorar, de reducir gastos y no tener tiempos muertos debido a mantenimientos de gran calibre, teniendo un destino económico mejor ya que los ingresos de la empresa aumentan radicalmente debido a que con el diseño establecido para el secador rotativo podrán contar con un factor importante el cual relación la confianza en la maquina con respecto a las fallas y el costo de su producto desde que se extrae hasta que se procesa y entrega.

2.2.2 Protección al operario. Como parte primordial ECOMINESA S.A busca reducir riesgos y afectaciones en su ámbito laboral, esto quiere decir que sus trabajadores estén exentos de cualquier peligro durante los diversos procesos presentes en el secado de arena, por lo que el requerimiento de la empresa es diseñar un secador de arena que evite al máximo lesiones, afectaciones o cualquier tipo de riesgo presente para sus operarios, como evitar quemaduras o algún tipo de corte en el proceso.

2.2.3 Capacidad máxima 30 Ton/h. ECOMINESA S.A como requerimiento presenta el flujo másico permisible para el diseño de su máquina, lo determinaron según la capacidad de material disponible, sus nuevos clientes y el potencial económico que en este momento poseen con el fin de poder cumplir con los nuevos contratos sin tener algún riesgo o inconformidad con sus pedidos, mejorando con ello su credibilidad y confianza, aumentando su impacto debido a su cumplimiento y creando un ambiente agradable en el proceso de producción dentro de su empresa.

2.2.4 Sistema de control. Como su nombre lo indica controla de manera secuencial el funcionamiento de la máquina y sus diferentes componentes, con el único objetivo de llevar a cabo el proceso de secado de la materia prima.

Figura 1. Sistema de control secador rotativo



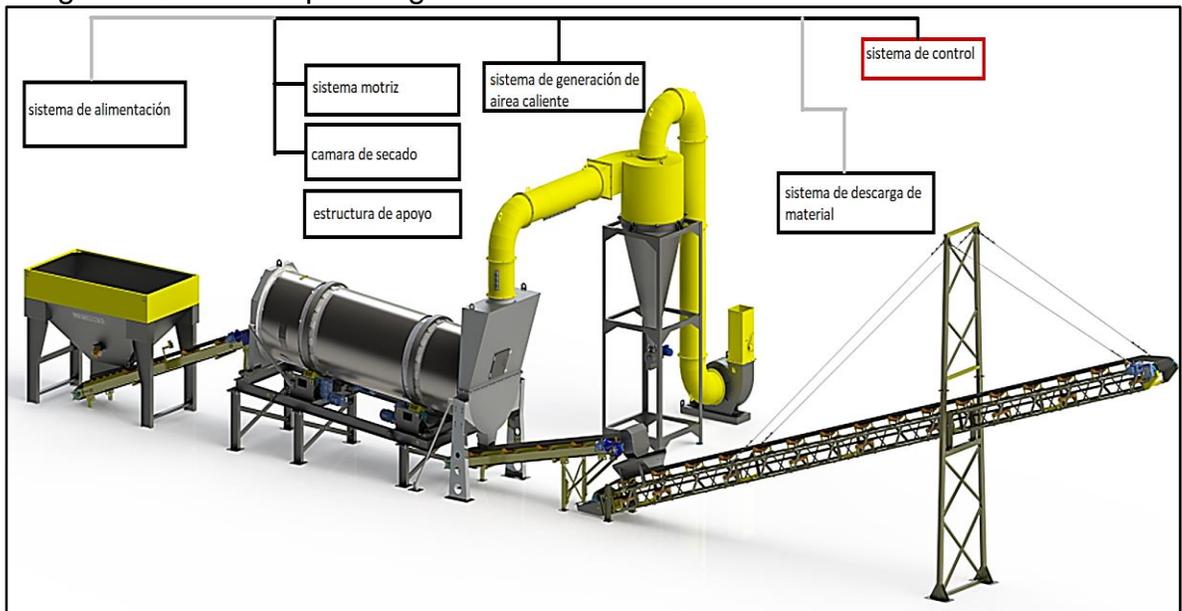
Fuente: ROMERO. Juan. Diseño y construcción de un horno secador de arena para la producción de mortero p. 48 [En línea] 5 de abril del 2016. [Citado el 4 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/11869>>

2.2.5 Sistema de alimentación y descarga de material. La alimentación del material es un factor importante en el proceso es por esto que el sistema encargado de cumplir esta función debe ser diseñado por aparte, con el objetivo de llenar de material el cilindro con el 15% de su volumen total, para llevar a cabo el diseño de ese sistema de alimentación se recomienda incluir una tolva donde se almacene el material a procesar, una boquilla que dispense el material directamente a una banda transportadora y una serie de sensores de peso para asegurar que el material dentro de la cámara de secado no exceda el 15% de su volumen como se mencionó anteriormente.

El sistema de descarga de material es el encargado de llevar el material a la zona de almacenamiento bajo cubierta luego de ser procesado, esto se realiza por medio de una banda transportadora direccionada hacia la bodega o cubierta mencionada anteriormente, esto garantiza que el material no va a sufrir cambios luego del proceso debido al comportamiento climatológico de la zona.

Estos dos sistemas se vinculan directamente al secador rotativo a diseñar con el fin de cumplir el objetivo de procesar la cantidad establecida en los parámetros de funcionamiento.

Imagen 9. Sistemas que integran el secador rotativo



Fuente: elaboración propia con base en COWDIN. Secadores rotativos, Disponible en < <https://www.cowdinsa.com/productos/roadbuilding-2/secadoresrotatorios/filtracion-recuperacion-los-finos/>>

En la imagen 9, expuesta anteriormente se integran los sistemas de alimentación y descarga al sistema de control por medio de líneas grises, ya que deben ser diseñados con diferentes parámetros para poder asegurar el correcto funcionamiento del secador rotativo.

3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

En las alternativas presentes para el subsistema motriz se tiene en cuenta el flujo másico máximo permitido de materia prima evaluando principalmente aspectos como fiabilidad, mantenimiento, deslizamiento, ruido, rendimiento, precio, peso y velocidad.

Se plantearon tres alternativas para el subsistema motriz y los elementos del mismo, encargados del movimiento del túnel de secado con el fin de cumplir con las necesidades de los clientes;

- ✓ Sistema de transmisión por cadena
- ✓ Sistema de transmisión por engranajes
- ✓ Sistema de transmisión por correa

3.1 ALTERNATIVA N^o 1. ROTACIÓN POR CADENA

Utiliza un motor y un reductor para generar el movimiento de giro, el cual, se transmite por medio de un piñón doble y cadenas a las ruedas, estas a su vez poseen un eje en el que se ubican los piñones conducidos generando así el movimiento de rotación de la cámara de secado.

Imagen 10. Transmisión por cadena



Fuente: elaboración propia

3.1.1 Ventajas y desventajas. A continuación, se ilustrará en forma de cuadro las principales ventajas y desventajas que presenta el sistema de transmisión de potencia por medio de piñón-cadena.

Cuadro 2. Ventajas y desventajas de la transmisión por cadena

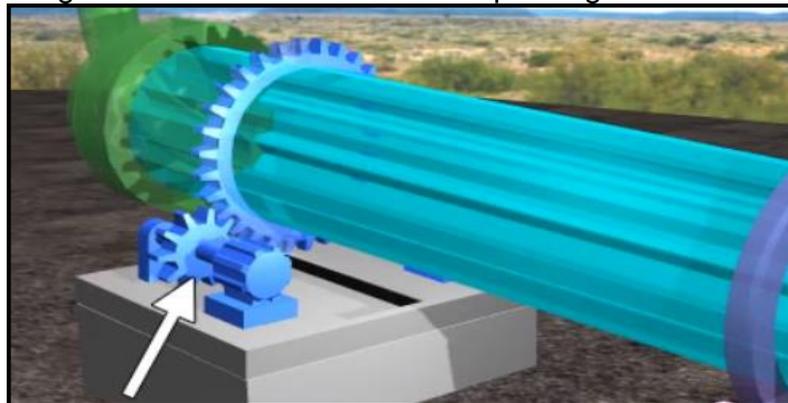
No.	Ventajas	Desventajas
1	No presenta deslizamiento de la transmisión	Sistema pesado y ruidoso
2	Gran capacidad de transmisión de potencia	Velocidad máxima inferior a alcanzada por correas
3	La posibilidad de ruptura es mínima	Mejor condiciones de lubricación a altas velocidades
4	Alta eficiencia	Sistema con fuente de vibraciones
5	Posibilidad de transmitir la potencia a varias ruedas	Costo elevado (< transmisión de engranajes)

Fuente: CARVAJAL, Diego. Banco de pruebas de sistemas de transmisión de potencia. p 38 [En línea]. [En línea] Septiembre del 2.010 [Citado el 29 de agosto del 2018]. Disponible en <
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1095/digital_19134.pdf?sequence=1>

3.2 ALTERNATIVA N° 2. ROTACIÓN POR ENGRANAJES

Sistema mecánico basado en piñones que sirve para transmitir⁶ el movimiento de rotación de un eje a otro, invirtiendo eventualmente su sentido o modificando su velocidad angular.

Imagen 6. Sistema de transmisión por engranes



Fuente: MIRANDA, Arturo. Secador rotativo. [En línea] 6 de junio del 2014, [Citado el 29 de agosto del 2018], Disponible en <
<https://www.youtube.com/watch?v=fLlxdanQu0E>>

⁶ CARVAJAL, Diego. Banco de pruebas de sistemas de transmisión de potencia, P 22 [En línea] 22 de marzo del 2.010 [Citado 29 agosto del 2018], Disponible en >
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1095/digital_19134.pdf?sequence=1<

3.2.1 Ventajas y desventajas. Se ilustra a continuación en forma de cuadro algunas de las ventajas y desventajas más representativas identificadas en la transmisión de potencia por medio de engranajes.

Cuadro 3. Ventajas y desventajas de la transmisión por engranajes

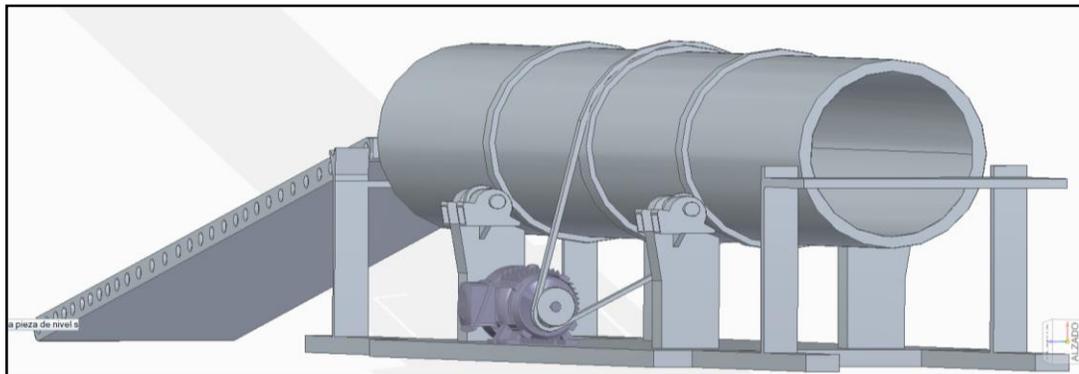
No.	Ventajas	Desventajas
1	No presenta deslizamiento en la transmisión	Costo elevado (> transmisión por cadena)
2	Gran capacidad de transmisión de potencia	Necesita lubricación (engrase) adecuada para reducir desgaste en sus dientes
3	Su funcionamiento puede ser silencioso	No pueden transmitir potencia entre grandes distancias entre ejes
4	Alta eficiencia	No pueden transmitir potencia entre ejes no paralelos
5	Relación de transmisión constante y estable	Desgaste abrasivo en la superficie de sus dientes

Fuente: CARVAJAL, Diego. Banco de pruebas de sistemas de transmisión de potencia. p 38 [En línea]. [En línea] Septiembre del 2.010 [Citado el 29 de agosto del 2018]. Disponible en <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1095/digital_19134.pdf?sequence=1>

3.3 ALTERNATIVA N^o 3. ROTACIÓN POR CORREA

Este sistema consiste en la aplicación de una polea conductora la cual transmite el movimiento de giro a una polea conducida por medio de una correa, se caracteriza por ser un sistema de poco mantenimiento, fácil montaje y relativamente económico.

Imagen 11. Sistema de transmisión por correa



Fuente: elaboración propia

3.3.1 Ventajas y desventajas. En forma de cuadro se muestra algunas de las ventajas y desventajas principales del sistema de transmisión de potencia por acoplamiento.

Cuadro 4. Ventajas y desventajas de la transmisión por acoplamiento

No.	Ventajas	Desventajas
1	Mecanismo sencillo de transmisión de potencia	Fácil ruptura, y en algunos casos requiere elementos especiales de tensión
2	Mucho más económico frente a otros mecanismos de transmisión	Se produce deslizamiento en el funcionamiento de la transmisión
3	La marcha o funcionamiento es silencioso	La longitud de la correa puede variar por efectos de la temperatura y la humedad

Fuente: RUIZ, Cesar. Elementos de máquinas. Transmisión por correas. [En línea] 20 de septiembre del 2012, [Citado el 29 de agosto del 2018], Disponible en <<http://files.cesar Ruiz.webnode.com.co/200000095-1e5b7204f2/TransmisionPorCorreas.pdf>>

3.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Según las alternativas expuestas anteriormente para el sistema motriz del secador y con el fin de seleccionar la mejor de ellas, se establecieron algunos parámetros que contemplan en conjunto las características principales y más importantes para la pertinente evaluación, estos parámetros tendrán una puntuación o porcentaje referente a su desempeño con respecto al sistema motriz del secador.

Tabla 2. Criterios para la evaluación de las alternativas

Nº	Criterios principales	Porcentaje o puntuación
1	Menor valor de la transmisión de potencia	40%
2	Menor costo del mantenimiento	30%
3	Menos consumo de energía	30%
TOTAL		100%

Fuente: elaboración propia

Los parámetros para la selección de la mejor alternativa para el sistema motriz del secador serán calificados en una escala de 0 a 5, cada valor tendrá su asignación mediante el impacto que genere en la evaluación para la selección de la mejor alternativa, ver tabla 3.

Tabla 3. Asignación de ponderación

Calificación de criterios	
Asignación	Calificación
0	Muy alto
1	Alto
2	Medio
3	Poco bajo
4	Bajo
5	Muy bajo

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Calificación de alternativas

Atributos	Ponderación	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
Establecidos para el diseño	Porcentaje %	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje
Menor valor de la transmisión	40	4	1,6	3	1,2	4	2,0
Menor costo de mantenimiento	30	4	1,2	3	0,9	3	0,6
Menos consumo de energía	30	3	0,9	3	0,9	3	0,3
TOTAL			3,7		3		3,4

Fuente: elaboración propia

El desarrollo de la selección del sistema motriz para el secador rotativo se basa en la determinación del conjunto de ventajas y desventajas que presenta cada una de las alternativas propuestas en el diseño, teniendo en cuenta algunos parámetros de selección con el fin de aplicar la alternativa más viable.

Realizando el análisis con base en la tabla 4, se evidencia de manera concreta que las diferentes alternativas para el sistema de transmisión de potencia poseen un puntaje y calificación correspondiente a lo mencionado anteriormente, esto quiere decir a sus ventajas y desventajas de aplicación en el diseño del secador

Como parámetros para la evaluación del componente motriz se tienen como variables o parámetros el menor valor de la transmisión, menor costo de mantenimiento y menor consumo energía.

Con base en los requisitos establecidos por el cliente, los parámetros funcionales del secador a diseñar, la calificación de las alternativas expuestas anteriormente por medio del método scoring, el puntaje según los criterios de evaluación de los diferentes tipos de transmisión de potencia y las ventajas y desventajas de los mismos, se seleccionó el sistema de transmisión de potencia por cadena como la alternativa más viables para llevar a cabo el desarrollo del diseño de la máquina.

Cabe aclarar que con un pre dimensionamiento breve se podría descartar la alternativa de engranajes, ya que es difícil realizar su manufactura y por ende frente a algún tipo de falla su accesibilidad es algo compleja, es necesario mandar a fabricar la pieza y esto conlleva a un tiempo mayor de parada y pérdida económica para la empresa ECOMINESA S.A.

4. DISEÑO DETALLADO

En este capítulo se realizarán los cálculos pertinentes para el diseño del secador rotativo partiendo de un punto principal el cual corresponde al flujo másico establecido anteriormente (30 Ton/h), con el fin de definir la dimensión del cilindro rotativo, la potencia del motor, temperatura y otras variables que deben ser controladas durante el proceso de secado.

El secador a diseñar consta de 4 sistemas que lo integran en su totalidad, los cálculos se realizaran con respecto a cada uno de estos sistema y los elementos que componen al mismo, estos sistemas son, sistema de transmisión de movimiento con sus respectivos elementos, sistema cámara de secado, el cual cuenta con unos dispositivos denominados elevadores, sistema de generación de aire caliente, integrando tanto el quemador como el ventilador encargado de generar la corriente de aire y por último el sistema estructura, este tiene como función soportar la máquina y las cargas presentes allí.

La manera más segura de realizar el diseño⁷ de un secador rotativo es haciendo una prueba piloto en alguna planta ya existente, con el fin de conocer datos reales de gran importancia en el proceso de secado de la materia prima, por lo cual, tener una prueba preliminar o piloto a una escala menor confiere mayor seguridad al ingeniero en el momento de realizar el diseño a escala real para la implementación del mismo en una planta industrial.

Tabla 5. Datos municipio Agua de Dios

condiciones geográficas y ambientales

Presión atmosférica a nivel del mar = 760mmHg = 1 atm

Presión atmosférica a nivel Agua de Dios = 763,03 mmHg = 1 atm

Altitud = 400 metros sobre el nivel del mar

Temperatura promedio = la temperatura promedio es de 28 C°

Humedad relativa = Tiene un valor del 77%

Fuente: elaboración propia

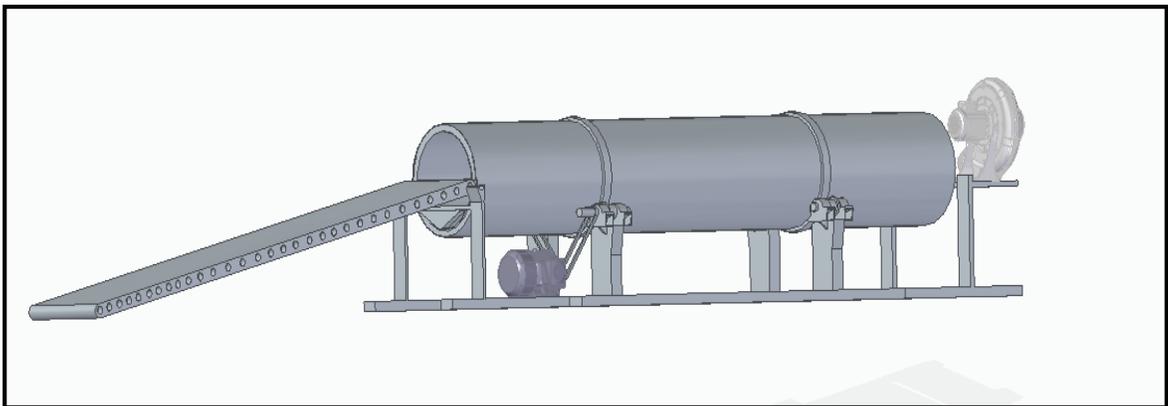
⁷ BERNAL, José. Diseño de una Planta Deshidratadora de Banano usando Secador Rotatorio, P 87 [En línea] 12 de mayo del 2.009, [Citado 2 de octubre del 2018], Disponible en ><https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11016/3/SPER%20BERNAL%20JOSE%20RICARDO%2c%20TORRES%20CORDOVA%20IVAN%20XAVIER.pdf><

4.1 CONCEPTUALIZACIÓN SECADOR ROTATIVO

El proceso de secado comienza con el almacenamiento de materia prima (arena) en una tolva encargada de suministrar el material a procesar a la cámara de secado, dicha alimentación se realiza por medio de una banda transportadora la cual ubica uno de sus extremos en la descarga de material de la tolva de alimentación y lo transporta hasta su otro extremo el cual se encuentra ubicado en la zona de entrada de material a la cámara o túnel de secado, este es un cilindro⁸ rotativo horizontal (Imagen 12) y ligeramente inclinado hacia la salida o descarga del producto, dicha inclinación cumple con la función de hacer transitar el material desde la entrada o alimentación del secador hasta la salida o descarga del mismo. El túnel o cámara de secado consta con una configuración de dispositivos denominados elevadores en su interior, los cuales se ubican allí por medio de puntos de soldadura en sus extremos facilitando así el proceso de reemplazo en el momento de realizar algún tipo de mantenimiento, estas aletas tienen como función levantar el material, manteniendo la materia prima en constante movimiento y generando una caída en el sentido de rotación del cilindro para secar de forma homogénea las partículas de arena.

El flujo de aire caliente producido por el quemador entra por el extremo de descarga o salida de material de la cámara de secado y sale cargado de humedad por el otro extremo, esto se debe a que la configuración del secador a diseñar es en contraflujo, su función es reducir el contenido de agua presente en la arena por medio de transferencia de calor por conducción, convección y radiación, la descarga de la materia prima se realiza por medio de una banda transportadora que se encuentran ubicada en el extremo de salida del producto con la única función de movilizar el material hasta el sitio o tolva de almacenamiento final.

Imagen 12. Secador rotativo



Fuente: elaboración propia

⁸ CASTELLANOS. Diseño y simulación de una máquina secadora de forrajes, P 51 [En línea] 4 de junio de 2012. [Citado 2 de octubre del 2018], Disponible en <<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5365?show=full>>

Cuadro 5. Partes del secador

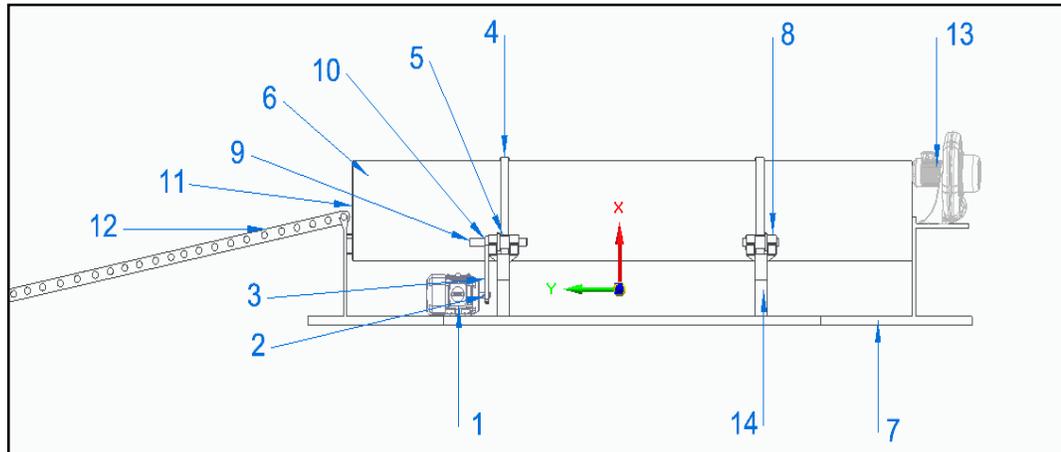
No.	componentes o partes
1	Moto-reductor: Encargado de generar el movimiento de rotación
2	Piñón conductor: Rueda dentada que obtiene la fuerza del motor y la transmite al piñón conducido
3	Cadena: Elemento encargado de transmitir la fuerza generada por el piñón conductor al piñón conducido
4	Anillos rotativos: Se acoplan con el cilindro rotativo de secado para que este no se desgaste con el transcurso del tiempo
5	Ruedas o rodillos: Son los apoyos donde el cilindro rotativo reposa por medio de los anillos rotativos
6	Cámara o túnel de secado: Elemento por el cual transita la arena húmeda durante el proceso de secado
7	Base estructural: Estructura encargada de soportar el peso de toda la máquina
8	Cojinete: Es una pieza o conjunto de piezas que soportan el giro del eje de una máquina
9	Eje: Barra cilíndrica que atraviesa un cuerpo giratorio y le sirve como centro para girar
10	Piñón conducido: Rueda dentada que recibe la fuerza transmitida por el piñón conductor
11	Entrada del producto: extremo del cilindro por donde ingresa el material
12	Banda transportadora de alimentación: mecanismo encargado de llevar el material dentro del cilindro
13	Quemador: Encargado de elevar la temperatura del aire para el proceso de secado
14	Apoyo estructural para las ruedas: Parte estructural donde descansan las ruedas y soporta el peso del secador

Fuente: BETANCOURT, Carlos. Diseño y simulación de una máquina secadora de forrajes. [En línea] 11 de mayo del 2012, [Citado el 9 de septiembre del 2018], Disponible en <<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5365?show=full>>

El secador rotativo se compone de varias partes y/o elementos para cumplir con su función (ver cuadro 5), estos realizan su trabajo de manera integrada generando un alto grado de confiabilidad durante el desarrollo del proceso.

En la siguiente imagen y con referencia al cuadro 5 expuesto anteriormente, se identifican por medio de numeros cada uno de los principales componentes del sistema de secado y su respectiva función.

Imagen 13. Esquema del secador rotativo y sus partes



Fuente: elaboración propia

El secador⁹ a diseñar funciona de forma continua y con contacto directo, esto quiere decir que la energía en forma de calor necesaria para la evaporación del agua la suministra una corriente de aire caliente que al entrar en contacto con los granos de la materia prima realiza el proceso de secado, variando a través del tiempo las condiciones del aire y del sólido a procesar.

La operación de transferencia de calor ocurrida al interior del secador se comporta de manera adiabática esto quiere decir que durante el proceso el sistema no intercambia calor con sus alrededores, entonces se entiende que el gas o aire caliente perderá calor sensible y se enfriará mientras la humedad a evaporar absorbe calor latente de evaporación, como se evidencia en la gráfica 2.

En los secadores rotativos el proceso se divide en tres zonas, las cuales serán descritas más adelante, teniendo en cuenta esto cabe resaltar que para el análisis del secador la zona con mayor importancia y donde ocurre el proceso de evaporación del agua contenida al interior de las partículas del sólido es la zona de secado a velocidad constante.

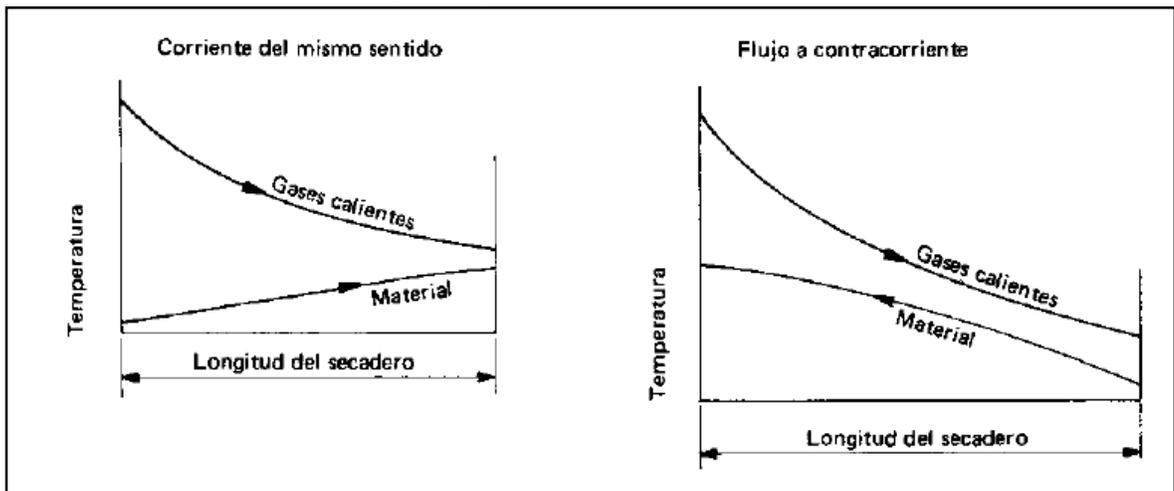
⁹ TOJO, Gabriel. Problemas de ingeniería química operaciones básicas, tomo II. Pág. 240 Febrero de 1970 [Citado 22 de octubre del 2018].

La máquina denominada secador rotativo, en principio, es un cilindro¹⁰ con espesores de 10-20 mm según el tamaño del secadero. La longitud del cilindro alcanza 50 m para diámetros de hasta 5 m. Este cilindro giratorio se apoya en dos pares de rodadura (anillo/rodillo), cuya relación más favorable para L/D (longitud-diámetro) está situada entre 8 y 10.

Estos se instalan con una pendiente de 1° a 6°. Los grandes secaderos exigen una menor pendiente. La velocidad angular es de 2-5 vueltas/minuto, para velocidad periférica de unos 0.30 m/seg.

4.1.2 Intercambio térmico, Se realiza por medio del contacto directo de los granos de material sólido con una corriente de gases o aire caliente haciendo que la transferencia de calor en el proceso se dé por convección.

Gráfica 2. Temperatura de gases y material



Fuente: Fuente: DUDA, Walter. Manual tecnológico del cemento. [En línea] 20 de febrero del 2013, [Citado el 29 de agosto del 2018], Disponible en <<https://es.scribd.com/doc/126328906/MANUAL-TECNOLOGICO-DEL-CEMENTO>>

La conducción y la radiación desempeñan solo un papel secundario en la transferencia de calor presente en el proceso de secado dentro del cilindro rotativo, por este motivo prácticamente se pueden despreciar. La aplicación de los dispositivos elevadores permite alcanzar el nivel máximo de transferencia de calor, esto se logra exponiendo constantemente las partículas de materia prima a la corriente de aire caliente durante el tiempo que se demore transitando este dentro del cilindro rotativo o cámara de secado.

¹⁰ DUDA, Walter. Manual tecnológico del cemento Barcelona 1.977. Pag.51 [Citado 22 de octubre del 2.018].

Los factores que influyen en el proceso de transferencia de calor o intercambio térmico entre el material y los gases en un secador rotativo son;

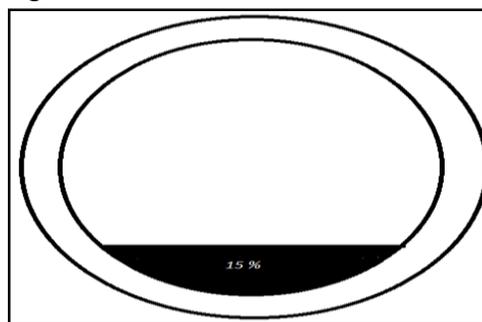
- ✓ Numero de vueltas del cilindro
- ✓ Temperatura de los gases a la entrada
- ✓ Tipo y cuantía de los dispositivos instalados en su interior
- ✓ Velocidad de los gases en el tambor

La eficiencia del secado está directamente relacionada con la exposición del material, entre mayor sea la exposición de la partícula con el fluido caliente mayor será la transferencia de calor durante el proceso. En general, el secado se lleva hasta una humedad residual de, aproximadamente, un 1%, pues la eliminación total de la humedad exige una exagerada transferencia de calor.

La velocidad de la corriente de aire caliente¹¹ es de gran importancia dentro del secador estableciendo un correcto proceso de transferencia de calor, con el fin evitar un excesivo arrastre de polvo, la velocidad de los gases a la salida del cilindro debe alcanzar unos 2-3 m/seg.

4.1.1 Grado de llenado, Corresponde al volumen máximo permitido de materia prima dentro del secador a diseñar, según el texto El secado de sólidos en la industria química, este se determina según el diseño de los dispositivos elevadores. También es importante que las cascadas o cortinas de material que cae, deban ser llevadas a través de todo el cilindro con el objeto de lograr el desplazamiento del material hasta la zona de descarga del mismo. El grado de llenado es usualmente con dispositivos elevadores de un 12% a un 15% del volumen del cilindro

Figura 2.Llenado del cilindro



Fuente: elaboración propia

¹¹ DUDA, Walter. Manual tecnológico del cemento Barcelona 1.977. Pág. 54 [Citado 22 de octubre del 2.018].

4.2 CALCULOS PRELIMINARES

Los cálculos preliminares son el punto de partida para realizar el balance de energía y masa correspondiente al diseño del secador rotativo.

Se debe tener en cuenta que los datos usados para el desarrollo del diseño del secador rotativo se obtuvieron de análisis previos realizados por la empresa, de datos encontrados en internet y de una prueba piloto realizada en una planta a escala menor ubicada en Ricaurte, Cundinamarca.

4.2.1 Humedad, Puede expresarse en base seca o base humedad. En los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad a base seca, debido a que esta permanece constante a lo largo del proceso. Por tanto, a no ser que se indique lo contrario, entenderemos por humedad¹² de un sólido el peso de agua que acompaña la unidad de peso de solido seco.

4.2.2 Humedad en base húmeda del material, El contenido de humedad de un sólido o solución generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad, es decir como $(\text{Kg humedad} / \text{Kg solido húmedo}) * 100$. Estos datos son suministrados por la empresa;

$$Hbh_{inicial} = 7 - 9\%$$

$$Hbh_{final} = 2 - 3\%$$

Donde;

Hbh inicial = humedad inicial del material (base húmeda)

Hbh final = humedad final del material (base húmeda)

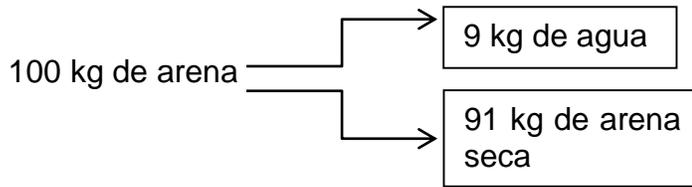
4.2.3 Humedad en base seca del material (X), El contenido de humedad en base seca¹³ se expresa como Kg de humedad/Kg de solido seco. Estas humedades pueden determinarse de forma directa por medio de ensayos, o mediante el siguiente análisis;

Se tienen a la entrada 100 kg de arena a 9% de humedad en base húmeda, entonces podemos realizar el siguiente análisis;

Arena seca = 100 kg (0,91)= 91 kg de producto seco (arena)

¹² TOJO, Gabriel. Problemas de ingeniería química operaciones básicas, tomo II. Pág. 216 Febrero de 1970 [Citado 22 de octubre del 2018].

¹³ TGEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ª Edición México, Mc Graw Hill, 2.007., P626 [Citado 22 de octubre del 2018].



La humedad en base seca (H_{bs}), "compara" la masa que contiene un material solido con su masa seca y se calcula aplicando la siguiente formula;

$$H_{bs} = \frac{ma}{ms} * 100\%$$

Donde;

H_{bs} = humedad en base seca

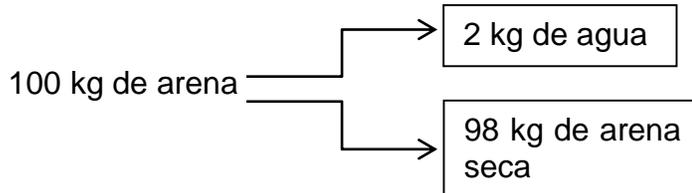
ma = masa de agua

ms = masa de arena seca

$$H_{bs} = \frac{9 \text{ kg de agua}}{91 \text{ kg de arena seca}} * 100\%$$

$$H_{bs} = 9,89 \% = X_1$$

El mismo procedimiento se realiza para la salida del producto, donde la materia prima tiene 2% de humedad en base húmeda, se descompone de la siguiente forma;



La humedad en base seca a la salida se encuentra entonces de la siguiente manera;

$$H_{bs} = \frac{2 \text{ kg de agua}}{98 \text{ kg de arena seca}} * 100\%$$

$$H_{bs} = 2,04 \% = X_2$$

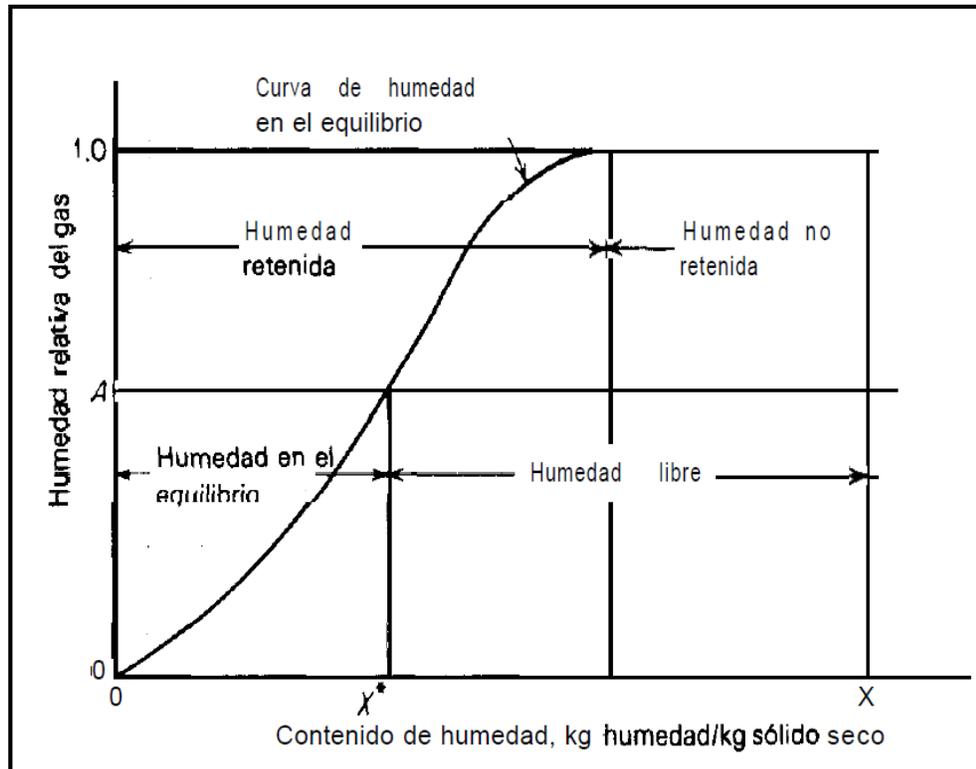
Donde;

X_1 = Humedad de entrada del material (base seca)

X_2 = Humedad de salida del material (base seca)

4.2.4 Tipos de humedad; en los materiales solidos se dan 4 tipos de humedad¹⁴ estas actúan en conjunto durante el proceso con el objetivo de lograr obtener el resultado establecido para el material al finalizar el secado.

Grafica 3. Tipos de humedad



Fuente: TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa, 2da edición. Febrero de 1970 [Citado 22 de octubre del 2018]

- ✓ Humedad de equilibrio, Es el contenido de humedad de una sustancia que está en el equilibrio con una presión parcial dada al vapor (X^*).
- ✓ Humedad ligada o agua ligada, Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor que la del líquido puro a la misma temperatura o bien es la humedad mínima del sólido necesario para que este deje de comportarse como higroscópico.
- ✓ Humedad no ligada o agua desligada, Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura, Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada.

¹⁴ TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa, 2da edición. Pág. 728 [Citado 22 de octubre del 2018].

Humedad libre, Es la humedad¹⁵ que puede ser extraída de un sólido por medio de los diferentes tipos de mecanismos para desarrollar el proceso de secado, en este caso por medio de la exposición del sólido a un flujo de aire caliente, dependiendo tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del fluido utilizado en la transferencia de calor.

$$F = X - X^*$$

Donde;

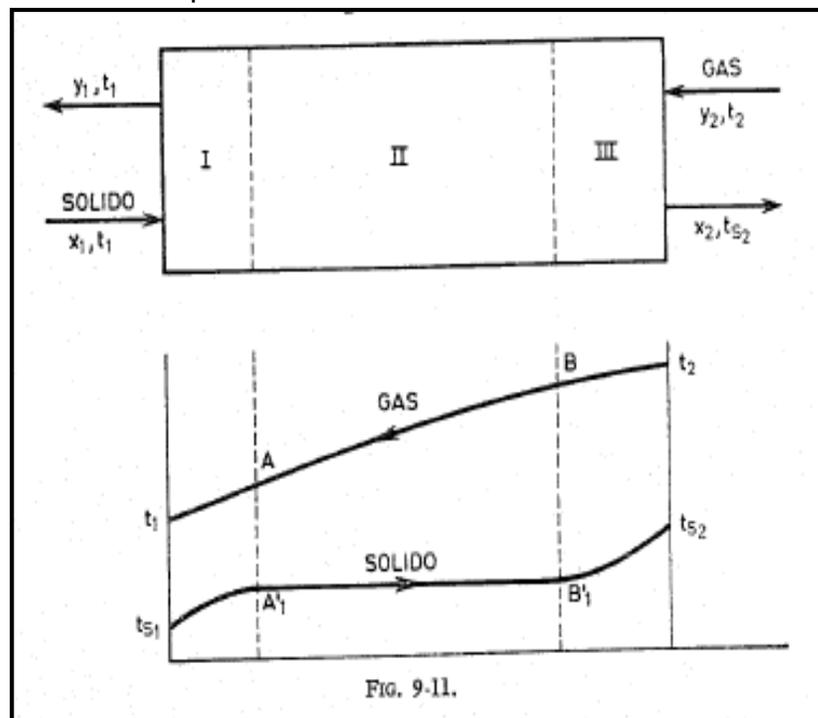
F = Humedad libre

X = Humedad del sólido

X^* = Humedad de equilibrio

4.2.5 Periodos de secado. El proceso de evaporación del agua residual se desarrolla en tres etapas o zonas dentro del secador rotativo, definidas en la gráfica 4 a continuación;

Gráfica 4. Etapas de secado en contracorriente

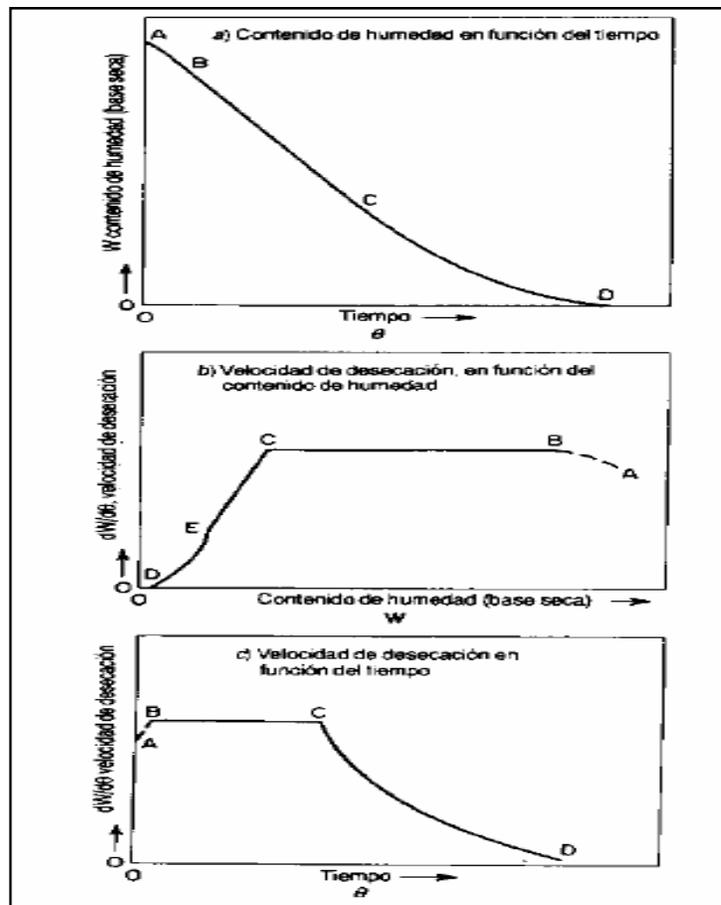


Fuente: TOJO, Gabriel. Problemas de ingeniería química operaciones básicas, tomo II. Febrero de 1970 [Citado 22 de octubre del 2018].

¹⁵ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa, 2da edición. Pág. 728 [Citado 22 de octubre del 2018].

- ✓ Etapa I o etapa de precalentamiento¹⁶ como se puede observar en la gráfica 4, El sólido se calienta hasta la temperatura de bulbo húmedo.
- ✓ Etapa II o de velocidad constante como se identifica en la gráfica 4, En esta etapa se evapora toda la humedad del material o sólido a una temperatura constante igual a la temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada
- ✓ Etapa III o de velocidad decreciente presente en la gráfica 4, En esta etapa es cuando la humedad del sólido alcanza un valor crítico, a partir del cual la velocidad de secado disminuye, anulándose cuando la humedad del sólido alcanza el valor de equilibrio con el aire

Grafica 5. Periodos de evaporación



Fuente: PERRY, Robert. Manual del Ingeniero Químico tomo v, 6ta edición [Citado 22 de octubre del 2018].

¹⁶ PERRY, Robert. Manual del ingeniero químico, tomo v, 6ta edición. Pág. 20-10 [Citado 22 de octubre del 2018].

La sección¹⁷ AB de cada curva representa un periodo de calentamiento de los sólidos. La sección BC de cada curva representa el periodo de velocidad constante. El punto C, en donde concluye la velocidad constante y comienza a descender el índice de evaporación, se conoce como el contenido crítico de humedad. La porción curvada CD de la gráfica 3a se denomina periodo de velocidad decreciente y, se señala en la gráfica 3b y c, se caracteriza por una velocidad constante a lo largo del resto del ciclo de evaporación. El punto E (gráfica 3b) representa el punto en que toda la superficie expuesta se hace completamente insaturada y marca el principio de la porción del ciclo de secado durante el cual la velocidad del movimiento de la humedad interna controla la velocidad de secado. La porción CE de la gráfica 3b se define usualmente como el primer periodo de evaporación con velocidad decreciente, y la porción DE como el segundo periodo de velocidad decreciente.

4.2.6 Periodo de velocidad constante El movimiento de las partículas durante el secado a velocidad constante es bastante rápido debido a que se debe mantener la condición de saturación en la parte superficial de la partícula, y a su vez establecer un control de la velocidad de evaporación por medio de la transferencia de calor. El secado se desarrolla por difusión de vapor desde la superficie saturada del material. La velocidad de transferencia de masa se equilibra con la velocidad de transmisión de calor, y la temperatura de la superficie saturada permanece constante.

4.2.7 Periodo de velocidad decreciente. Los periodos de velocidad decreciente principian en el contenido crítico de humedad al concluir los periodos de velocidad constante. Cuando el contenido decreciente de humedad es superior al contenido crítico, todo el proceso de evaporación se desarrollara en condiciones de velocidad constante. Por otro lado, si el contenido inicial de humedad es inferior al crítico, todo el proceso de evaporación se desarrollara en el periodo de velocidad decreciente. Por lo común, este periodo se divide en dos zonas ,1.) La de la evaporación de superficie no saturada, 2.) Aquella en que el movimiento interno de la humedad es el que ejerce el control

4.2.8 Cálculos de la cantidad de agua evaporada. Con base en estudios realizados previamente de la materia prima a procesar en este caso arena, se determinó que esta presenta un porcentaje de humedad al ser extraída del 7-9 % esto varía según el comportamiento climatológico de la zona en la que se encuentra ubicada la cantera (Agua De Dios, Cundinamarca), En este caso se utilizara el máximo porcentaje de humedad registrado en la materia prima de la zona , el cual corresponde al 9% , con esto se contempla cualquier irregularidad durante el proceso de secador en la máquina.

¹⁷ PERRY, Robert. Manual del ingeniero químico, tomo v, 6ta edición. Pág. 20-10 [Citado 22 de Octubre del 2018].

La disminución del porcentaje de humedad (ΔH) en la arena sirve para determinar qué cantidad de agua será evaporada durante el proceso;

$$\Delta H = H_{bh\text{inicial}} - H_{bh\text{final}}$$

$$\Delta H = 9\% - 2\%$$

$$\Delta H = 7\%$$

Donde;

$\Delta H =$ Disminución requerida de humedad

4.2.9 Calculo masa arena seca, para determinar la cantidad de arena seca a la salida se debe tener en cuenta la cantidad o masa de agua que por medio del proceso de secado se va a evaporar;

$$S_s = mh(1 - (X_1 - X_2))$$

Donde;

$S_s =$ Masa de arena seca

$mh =$ masa de arena humeda a ingresar

$$S_s = 30.000\text{kg}/h(1 - (0,09890 - 0,0204))$$

$$S_s = 27.645\text{Kg}/\text{hr} = 7,6791\text{Kg}/\text{s}$$

Al finalizar el proceso de secado se obtienen 27,645 Kilogramos por hora de material seco.

Con base en la cantidad de material seco al finalizar el proceso, se puede calcular la rapidez¹⁸ de secado del mismo durante el proceso;

$$R = S_s * (X_1 - X_2)$$

Donde;

$R =$ Rapidez de secado

$$R = 27.645\text{kg}/h * (0,09890 - 0,0204)$$

$$R = 2.170\text{Kg}/h \text{ De agua evaporada}$$

¹⁸ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa.2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.773. [Citado 22 de Octubre del 2018].

4.3 SISTEMA CAMARA DE SECADO

Para calcular las dimensiones de la cámara de secado, como son diámetro y longitud, se realiza un balance de materia y energía¹⁹. Dicho balance de energía para el proceso tiene como delimitación la coraza cilíndrica fija del secador. El calor que pierde el aire durante el proceso de secado se utiliza para;

- ✓ Evaporar el agua contenida en la arena
- ✓ Calentar el vapor de agua
- ✓ Elevar la temperatura de la arena
- ✓ Perdidas de calor por convección y radiación

En la imagen 14, se expone un diagrama del proceso termodinámico para un secador que funciona en contracorriente. El sólido¹⁹ entra con un flujo S_s (masa solido seco/ tiempo (área)), se seca de X_1 a X_2 (masa húmeda/ masa solido seco) y sufre un cambio de humedad de Y_2 a Y_1 (masa humedad/ masa gas seco) y un cambio de temperatura de t_{s1} a t_{s2} . El gas fluye con una rapidez G_s y sufre un cambio de humedad de Y_2 a Y_1 y un cambio de temperatura de t_{g2} a t_{g1} .

En este sistema según los parámetros funcionales establecidos para el diseño del secador ocurre el proceso de evaporación del agua contenida dentro de las partículas de la materia prima, en este caso arena la cual se extrae de una mina a cielo abierto ubicada en el municipio de Agua de Dios, Cundinamarca, está presenta propiedades características del terreno de ubicación de la mina mencionada anteriormente. Es necesaria la disminución de la humedad en la arena para poder diversificar su campo de acción en la industria.

Condiciones dadas para el funcionamiento del secador de arena;

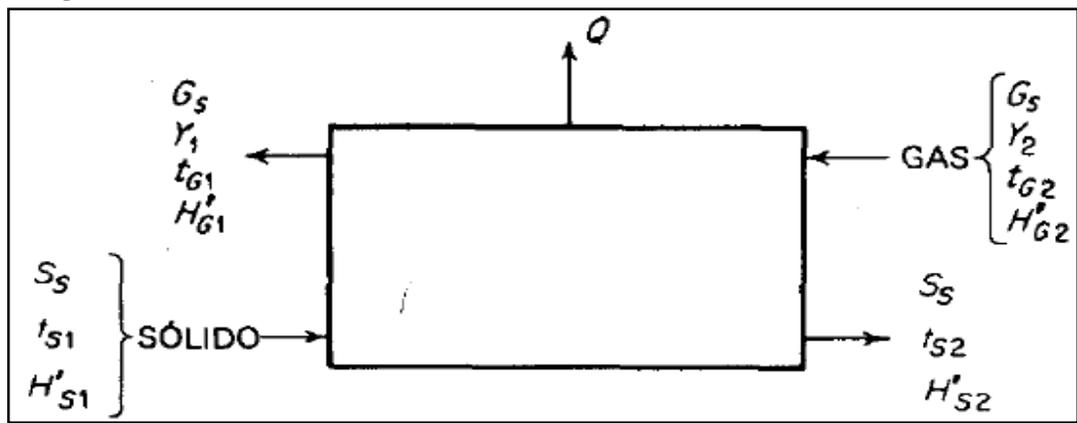
- ✓ Capacidad de secado: 30 Ton/h
- ✓ Humedad inicial: 9%
- ✓ Humedad final: 2%
- ✓ Temperatura de entrada del material: 28 C°
- ✓ Temperatura de salida del material seco: 150 C°

¹⁹ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.773. [Citado 22 de Octubre del 2018].

- ✓ Calor específico de la arena: 795 J / Kg C°
- ✓ Densidad de la arena: 1990 Kg / m³
- ✓ Temperatura de entrada de la corriente gaseosa : 300 C°
- ✓ Diámetro de la partícula de arena : 200 x 10⁻⁶ m

El diagrama del proceso termodinámico presente en la cámara de secado (Imagen 14) ilustra de manera sencilla el proceso al cual estará sometido el secador rotativo a diseñar.

Imagen 14. Proceso termodinámico del secador



Fuente: TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa, 2da edición [Citado 22 de octubre del 2018].

El balance de materia²⁰ correspondiente al secador está definido por;

$$S_s X_1 + G_s Y_2 = S_s X_2 + G_s Y_1$$

$$S_s (X_1 - X_2) = G_s (Y_1 - Y_2)$$

Donde;

G_s = Rapidez de la corriente de aire seco (masa/tiempo)

Y = humedad aire (masa húmeda / masa de aire seco)

Por medio de la tabla psicrométrica (Anexo A) se determina el valor de Y_2 con respecto a los datos del aire a temperatura ambiente y humedad relativa (Temperatura y humedad con respecto a la zona geográfica de ubicación del proyecto, Municipio de Agua de Dios, Cundinamarca).

El dato obtenido es el siguiente;

²⁰ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.773. [Citado 22 de Octubre del 2018].

$$Y_2 = 0,0152$$

Por lo tanto se tiene lo siguiente;

$$(27.645 \text{ Kg / h}) * (0,09890 - 0,0204) = G_S(Y_1 - 0,0152)$$

$$2170,133 \text{ Kg / h} = G_S Y_1 - 0,0152 G_S$$

Para las operaciones de secado es necesario realizar un balance global de energía, el cual se reduce a un balance entalpico del cual se determina por medio de la siguiente ecuación;

$$S_S H_{S1} + G_S H_{g2} = S_S H_{S2} + G_S H_{g1} + Q$$

Donde;

$H_S =$ Entalpia de la materia prima

$H_g =$ Entalpia del aire

$Q =$ Perdidas de energia en forma de calor

Los valores de las variables que se presentan en el balance global de energía se determinan de la siguiente manera;

✓ Entalpia del aire a la entrada del secador²¹

$$H_{g2} = (1,005 + 1,884 Y_2) * t_{g2} + 2.502,3 Y_2$$

Donde;

$t_{g2} =$ Temperatura de entrada de la corriente gaseosa 300 C°

$$H_{g2} = (1,005 + 1,884(0,0152)) * 300 \text{ C}^\circ + 2.502,3(0,0152)$$

$$H_{g2} = 348,126 \text{ KJ / Kg}$$

✓ Entalpia del aire a la salida del secador

$$H_{g1} = (1,005 + 1,884 Y_2) * t_{g1} + 2.502,3 Y_1$$

Donde;

$t_{g1} =$ Temperatura de salida de la corriente gaseosa

Se supone que la temperatura del gas a la salida del secador es la misma que la del material seco, entonces tenemos que t_{g1} es igual a 150 C° la cual corresponde a la temperatura de salida de la arena seca.

²¹ GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ª Edición México, Mc Graw Hill, 2.007., P626 [Citado 22 de octubre del 2018].

$$H_{g1} = (1,005 + 1,884(0,0152)) * 150 C + 2.502,3Y_1$$

$$H_{g1} = 155,045 + 2502,3Y_1$$

✓ Entalpia del solido a la entrada del secador

$$H_{S1} = C_S(T_S - T_O) + X_1 * C_A(T_S - T_O) + \Delta_H$$

Donde;

$$C_S = \text{Calor especifico de la arena seca} = 795 J / Kg C$$

$$C_a = \text{Calor especifico del agua} = 4.187 J / Kg C$$

Δ_H = Calor integral de humidificacion es despreciable debido a la falta de información mas adecuada²²

$$\Delta_H = 0$$

T_S = Temperatura de la arena a la entrada

T_{S2} = Temperatura de la arena a la salida

T_O = Temperatura de referencia, para este caso se utiliza un valor de 0 C, de forma que las entalpias del solido y gas sean uniformes

Entonces se tiene;

$$H_{S1} = 795 J / Kg C(28 - 0) + 0,09890 * 4.187 J / Kg C(28 - 0) + 0$$

$$H_{S1} = 33.854,6 J / Kg$$

$$H_{S1} = 33,8546 KJ / Kg$$

✓ Entalpia del solido a la salida del secador

$$H_{S2} = C_S(T_{S2} - T_O) + X_2 * C_A(T_{S2} - T_O) + \Delta_H$$

$$H_{S2} = 795 J / Kg C(150 - 0) + 0,0204 * 4.187 J / Kg C(150 - 0) + 0$$

$$H_{S2} = 132.062,22 J/Kg$$

$$H_{S2} = 132,06 KJ/Kg$$

✓ Perdidas de energía²², se asumen pérdidas del 15 % del calor del aire a la entrada del secador

$$Q = 0,15 * H_{g2} * G_s$$

²² TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.773. [Citado 22 de Octubre del 2018].

$$Q = 0,15 * 348,126 \text{ KJ} / \text{Kg} * G_s$$

$$Q = 52,218 G_s$$

Los valores calculados anteriormente son reemplazados en la ecuación de la página 51, entonces se obtiene;

$$\begin{aligned} (27.645 \text{ Kg} / \text{h})(33,85 \text{ KJ/Kg}) + (348,126 \text{ KJ/Kg}) * G_s = \\ (27.645 \text{ Kg/h})(132,06 \text{ KJ/Kg}) + \\ G_s * (155,045 + 2.502,3Y_1) + 52,218G_s \end{aligned}$$

Resolviendo obtenemos;

$$140,86G_s - 2502,3G_sY_1 = 2.714.583,592$$

Se tienen las ecuaciones de la página 50 y de la página 53 las cuales presentan de forma individual una incógnita, para resolver las ecuaciones se realiza una matriz con el fin de eliminar incógnitas y así poder obtener el valor de una variable, entonces en este caso se tiene;

$$-0,0152G_s + G_sY_1 = 2170,133 \text{ Kg} / \text{h}$$

$$140,86G_s - 2502,3G_sY_1 = 2.714.583,592$$

Esta matriz de dos ecuaciones nos permite cancelar incógnitas con el fin de establecer el valor de una variable, para resolver este sistema o matriz de ecuaciones multiplicamos la primera ecuación por 2502,3 y se suma con la ecuación 2 de la siguiente forma;

$$-038,034G_s + 2.502,3G_sY_1 = 5.430.323,806$$

$$140,86G_s - 2.502,3G_sY_1 = 2.714.583,592$$

$$102,825G_s = 8.144.907,398$$

$$G_s = \frac{8.144.907,398}{102,825} = 79.211,3532 \text{ Kg} / \text{h}$$

Para encontrar el valor de Y_1 , se reemplaza en la ecuación de la página 50 el valor encontrado anteriormente de la siguiente forma;

$$(27.645 \text{ Kg} / \text{h}) * (0,09890 - 0,0204) = 79.211,3532 \text{ Kg/h}(Y_1 - 0,0152)$$

$$Y_1 = 0,04259 \text{ Kg de agua} / \text{Kg de gas seco}$$

Ya teniendo todos los datos correspondientes se puede establecer el valor de las pérdidas calóricas, sustituyendo dichos valores en la ecuación de la página 53 y resolviendo la misma;

$$Q = 0,15 * H_{g2} * G_s$$

$$Q = 0,15 * 348,126 \text{ KJ / Kg} * 79211,3532 \text{ Kg/h}$$

$$Q = 4136330,73 \text{ KJ/h}$$

4.3.1 Calculo del diámetro de la cámara de secado, se obtiene de la resolución de la siguiente formula²³;

$$D = \sqrt{\frac{4 * G_s}{(1 - F) * \pi * G}}$$

Donde;

$G_s = \text{Flujo de aire}$

$G = \text{Velocidad de flujo del aire humedo}$

$F = \text{factor de llenado en este caso 15\%}$

$$G = G_s(1 + Y_1)$$

$$G = 79.211,3532(1 + 0,04259) = 82.584,96 \text{ Kg/h}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación se obtiene lo siguiente;

$$D = \sqrt{\frac{4 * 79.211,3532}{(1 - 0,15) * \pi * 82.584,96}}$$

$$D = 1,1648 \text{ m} = 1,2 \text{ m}$$

Para el dimensionamiento de la cámara de secado tenemos como primer dato el diámetro, el cual es de 1,2m, esto se determinó por medio de un balance de masa y energía, teniendo en cuenta las pérdidas de calor que se estimaron alrededor del 15% según el libro operaciones de transferencia de masa de Robert E. Treybal.

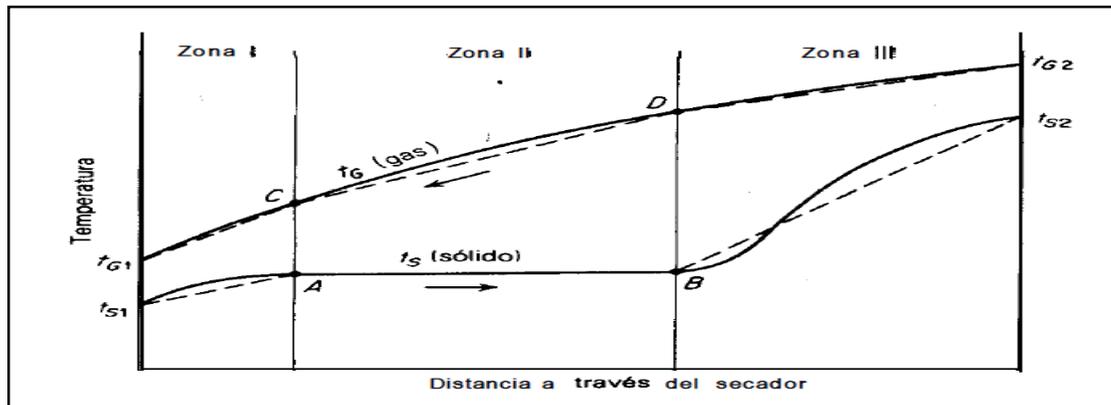
4.3.2 Calculo de la longitud del secador. La variación total de la humedad se divide en un número de etapas o zonas, dividiendo al secador de la forma más conveniente posible.

²³ NONHEBEL.G El secado de sólidos en la industria química Editorial Reverte s.a. Bogotá P 235 [Citado 22 de octubre del 2018].

En estas etapas se lleva a cabo el proceso de secado de materia prima, cada etapa representa las condiciones a las que estará sometido el sólido con sus respectivas características, con esto se genera un gradiente tanto de temperatura como de humedad entre el sólido y el fluido en este caso aire caliente.

Cada zona posee una longitud que al ser sumadas constituyen la longitud total de la cámara de secado.

Grafica 6. Gradientes de temperatura en un secador a contracorriente continúa



Fuente: TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa, 2da edición [Citado 22 de octubre del 2018].

La zona I, corresponde a la etapa²⁴ de precalentamiento, en esta el sólido como su nombre lo indica es calentado haciendo uso de un fluido (aire), este proceso se lleva a cabo hasta el punto de equilibrio de la rapidez de transferencia de calor al sólido. El proceso de secado de la materia prima a procesar en esta etapa es realmente mínimo. La zona II corresponde a la etapa de secado a velocidad constante, en esta la temperatura y rapidez de secado se encuentran en relativo equilibrio, durante esta etapa se evaporan la humedad superficial y no ligada. La zona III hace referencia a la etapa de secado a velocidad decreciente, ocurren el secado de la superficie no saturada y la evaporación de la humedad ligada. Asumiendo que los coeficientes de transferencia de calor se comportan de manera constante en el proceso, el material a procesar experimenta un aumento de temperatura, resaltando que el sólido a la salida del proceso tiene aproximadamente la misma temperatura de la corriente de aire al entrar al sistema de secado.

Al realizarse el proceso de eliminación de la humedad superficial y no ligada en la zona II de la cámara de secado, está representada una parte fundamental en los secadores rotativos.

²⁴ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.773. [Citado 22 de Octubre del 2018].

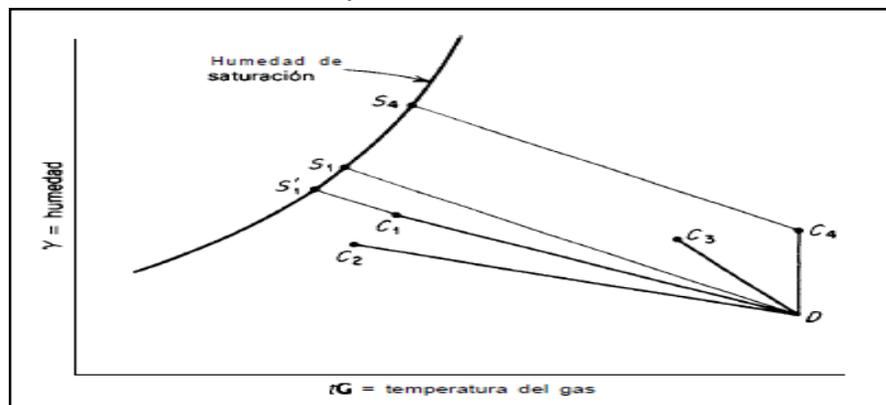
En la carta psicrometrica (Grafica 7), el punto D representa las condiciones del gas en el punto correspondiente D en la gráfica 6. Si el secado²⁵ es adiabático, o sea, sin adición o pérdida de calor en el secador, la línea de saturación adiabática DC, representara la variación de la humedad y la temperatura del gas cuando pasa a través de esta sección del secador; las condiciones del gas que sale de esta zona (punto C, grafica 6) se muestran en C₁, en la gráfica 7.

La temperatura superficial del sólido, que puede calcularse mediante los métodos antes descritos para el secado por lotes, variará de aquella en S₁, (correspondiente al punto B de la gráfica 6) hasta S₁' , (correspondiente al punto A). Si se pueden despreciar la radiación y la conducción a través del sólido, éstas son las temperaturas de bulbo húmedo correspondientes a D y C₁, respectivamente.

Para el sistema aire-agua, cuyas temperaturas de bulbo húmedo y de saturación adiabática son iguales, las dos estarán dadas por una prolongación de la línea de saturación adiabática DC, hasta la curva de humedad a saturación.

Las pérdidas caloríficas pueden hacer que el gas siga una trayectoria como DC₂. Por otra parte, si en esta sección se le proporciona calor al gas, la trayectoria estará representada por una línea como DC₃; si el gas se mantiene a temperatura constante, por la línea DC₄. En este último caso, la temperatura superficial del sólido variara desde S₁ hasta S₄. Para cualquier secador específico, las temperaturas y humedades pueden calcularse mediante los balances de humedad y entalpía [Ecuaciones páginas 59 y 60], los cuales se aplican a cada sección por separado.

Grafica 7. Relación temperatura-humedad



Fuente: ROBERT E. TREYBAL Operaciones de transferencia de masa, 2da edición [Citado 22 de octubre del 2018].

²⁵ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.773. [Citado 22 de Octubre del 2018].

En el proceso de transferencia de calor que experimenta el material al ingresar al secador es despreciada la transferencia de energía que se da de manera indirecta. La pérdida de energía en forma de calor que experimenta el material puede igualarse a la suma entre la energía que se transfiere al sólido y las pérdidas de calor al ambiente. Para la longitud diferencial del secador dZ , se define lo siguiente;

$$dq_G = dq + dQ$$

Reordenando;

$$dq = dq_G - dQ = U * dS(tg - ts) = Ua(tg - ts)dZ$$

Donde;

U= Coeficiente global de transferencia de calor
 $tg - ts$ = Diferencia de temperatura para la transferencia de calor
 S= Superficie interfacial / sección transversal del secador
 A= Superficie interfacial / volumen del secador

Entonces;

$$dq = Gs Cs dt'_G = Ua(tg - ts)dZ$$

En donde dt'_G es la caída de temperatura experimentada por el gas, sin tener en cuenta las pérdidas de calor presentes en el proceso.

$$dN_{tOG} = \frac{dt'_G}{t_G - t_S} = \frac{Ua * dZ}{Gs * Cs}$$

Ya que el coeficiente²⁶ de transferencia de calor se comporta de manera constante;

$$N_{tOG} = \frac{\Delta t'_G}{\Delta t_m} = \frac{Z}{H_{tOG}} \quad H_{tOG} = \frac{Gs * Cs}{Ua}$$

Donde;

N_{tOG} =Número de unidades de transferencia de calor
 H_{tOG} =Longitud de la unidad de transferencia de calor
 $\Delta t'_G$ = Cambio de temperatura del gas
 Δt_m = Diferencia de temperatura promedio adecuada entre el gas y el solido

²⁶ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa.2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.778. [Citado 22 de Octubre del 2018].

Si los perfiles de temperatura²⁷ en el secador pueden idealizarse como líneas rectas, como las líneas punteadas de la gráfica 6, entonces, cada zona tomada por separado Δt_m es el promedio logarítmico de las diferencias de temperatura terminales y N_{TOG} el número de unidades de transferencia correspondiente a cada zona.

Suponiendo que la relación psicrométrica del gas es la misma que la del aire, su temperatura de bulbo húmedo para la zona II se estima aproximadamente de 37 C°, (Anexo A) entonces se calcula la entalpía en el punto A y B

$$H_{s_A} = C_s(ts - t_o) + X_1 * C_a(ts - t_o)$$

$$H_{s_A} = 795 \text{ J / Kg C} * (37 - 0) + 0,09890 * 4187 \text{ J / Kg C} * (37 - 0)$$

$$H_{s_A} = 44.736,49 \text{ J / Kg}$$

$$H_{s_A} = 44,73 \text{ KJ / Kg}$$

Y la entalpía del sólido a 37 C°, en el punto B es:

$$H_{s_B} = C_s(ts - t_o) + X_2 * C_a(ts - t_o)$$

$$H_{s_B} = 795 \text{ J / Kg C} * (37 - 0) + 0,0204 * 4187 \text{ J / Kg C} * (37 - 0)$$

$$H_{s_B} = 32575,34 \text{ J / Kg}$$

$$H_{s_B} = 32,58 \text{ KJ / Kg}$$

- ✓ Zonas de la cámara de secado. Para el cálculo correspondiente a las zonas en las que se divide la cámara de secado durante el proceso se supone que las pérdidas caloríficas son proporcionales al número de unidades de transferencia en cada una de estas zonas y la diferencia de temperatura promedio entre el gas y el aire que lo rodea, las pérdidas se asumen según el libro Operaciones de transferencia de masa de Robert E. Treybal de la siguiente manera;

Cuadro 6. Pérdidas caloríficas

Zona	Pérdidas asumidas (%)
I	14
II	65
III	21

Fuente: ROBERT E. TREYBAL Operaciones de transferencia de masa, 2da edición [Citado 22 de octubre del 2018].

²⁷ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.778. [Citado 22 de Octubre del 2018].

Calculo Zona III, la determinación de esta zona se basa en el cálculo del calor húmedo del fluido entrante (Cs).

$$C_s = 1,005 + 1,884 * Y_2$$

$$C_s = 1,005 + 1,884 * (0,0152)$$

$$C_s = 1,0336 \text{ KJ / Kg C}$$

Ahora se realiza un balance de energía con el fin de obtener la temperatura del gas en el punto D;

$$G_s * C_s * (\Delta T) = S_s * (H_{s_2} - H_{s_B}) + 0,21Q$$

Donde;

$\Delta T =$ Diferencial de temperatura entre el punto D y tg_2
 $0,21 =$ pérdidas caloríficas asumidas para la zona III

$$(79.211,3532 \text{ Kg / h}) * (1,033 \text{ KJ / Kg C}) * (300 - tg_D)$$

$$= (27.645 \text{ Kg/h}) * (132,06 - 32,58) + 0,21(4136330,73 \text{ KJ/h})$$

$$tg_D = 255,77 \text{ C}$$

El cambio en la temperatura del gas, exclusivamente causado por las pérdidas caloríficas es;

$$\Delta t_g = \frac{S_s * \Delta H}{G_s * C_s}$$

$$\Delta t_g = \frac{27.645 * (132,06 - 32,58)}{79.211,3532 * 1,033} = 33,60 \text{ C}$$

Gradiente de temperatura²⁸ promedio entre el aire y el sólido (arena), Δt_m

$$\Delta t_m = \frac{(300 - 150) + (255,77 - 37)}{2} = 184,38 \text{ C} = 184,38 \text{ C}$$

El número de unidades de transferencia de calor para esta zona se define como;

$$Nt_{OG} = 33,60 \text{ C} / 184,38 \text{ C} = 0,1822$$

²⁸ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.780. [Citado 22 de Octubre del 2018].

- ✓ Cálculos para la zona I, Se determina el calor húmedo del aire a la salida (C_g);

$$C_g = 1,005 + 1,884 * Y_1$$

$$C_g = 1,005 + 1,884 * (0,04259)$$

$$C_g = 1,085 = 1,09 \text{ KJ} / \text{Kg C}$$

Para encontrar la temperatura del gas en el punto C, es necesario realizar un balance de calor o energía en esta zona;

$$G_s * C_g * (\Delta T) = S_s * (H_{s_A} - H_{s_1}) + 0,14Q$$

$$\begin{aligned} & (79.211,3532 \text{ Kg} / \text{h}) * (1,09 \text{ KJ} / \text{Kg C}) * (t_{g_C} - 150) \\ & = (27.645 \text{ Kg/h}) * (44,73 - 33,8546) + 0,14(4136330,73 \text{ KJ/h}) \end{aligned}$$

$$t_{g_C} = 160,19 \text{ C}$$

El cambio en la temperatura del gas, exclusivamente causado por las pérdidas caloríficas es;

$$\Delta t_g = \frac{27.645 * (44,73 - 33,8546)}{79.211,3532 * 1,09}$$

$$\Delta t_g = 3,48 \text{ C}$$

Gradiente de temperatura promedio entre el aire y el sólido (Arena) Δt_m ;

$$\Delta t_m = \frac{(160,19 - 37) + (150 - 28)}{2}$$

$$\Delta t_m = 122,595 \text{ C}$$

El número de unidades de transferencia de calor para esta zona se define como;

$$N_{t_{OG}} = 3,48 \text{ C} / 122,595 \text{ C}$$

$$N_{t_{OG}} = 0,028$$

- ✓ Cálculos para la zona II, Calor húmedo del fluido(aire) promedio (C_s promedio);

$$C_s \text{ prom} = C_s + C_g / 2$$

$$C_s \text{ prom} = (1,033 + 1,09) / 2 == 1,061 \text{ KJ} / \text{Kg C}$$

Cambio real en la temperatura²⁹ del gas (Trg);

$$\begin{aligned}Trg &= tg_D - tg_C \\Trg &= 255,77 \text{ C} - 160,19 \text{ C} \\Trg &= 95,58 \text{ C}\end{aligned}$$

Cambio en la temperatura como resultado de las pérdidas caloríficas (C_Q);

$$\begin{aligned}C_Q &= (0,65 * Q) / (Gs * Cs_{prom}) \\C_Q &= (0,65 * Q) / (79.211,3532 * 1,061) \\C_Q &= 31,49 \text{ C}\end{aligned}$$

Gradiente desarrollado por la transferencia de calor al sólido (arena) Δt_G ;

$$\begin{aligned}\Delta t_G &= Trg - C_Q \\ \Delta t_G &= 95,58 \text{ C} - 31,49 \text{ C} = 64,09 \text{ C}\end{aligned}$$

Gradiente de temperatura promedio entre el aire y el sólido (Arena) Δt_m ;

$$\Delta T_m = \frac{(tg_D - t_{Bh}) - (tg_C - T_{Bh})}{\ln[(tg_D - T_{Bh}) / (tg_C - T_{Bh})]}$$

Donde;

T_{Bh} = Temperatura de bulbo húmedo 37 C°

$$\Delta T_m = \frac{(255,77 - 37) - (160,19 - 37)}{\ln[(255,77 - 37) / (160,19 - 37)]} = 166,45 \text{ C}$$

El número de unidades de transferencia de calor para esta zona se define como;

$$\begin{aligned}N_{t_{OG}} &= 64,09 \text{ C} / 166,45 \text{ C} \\ N_{t_{OG}} &= 0,39\end{aligned}$$

✓ Número total de unidades de transferencia de calor

$$N_{t_{OG} \text{ total}} = 0,1822 + 0,39 + 0,02 = 0,6$$

²⁹ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.780. [Citado 22 de Octubre del 2018].

Dimensiones del secador

Área transversal del secador (A);

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$A = (\pi * D^2)/4 = 1,13 \text{ m}^2$$

Expresando los flujos como Kg de sustancia seca/m²*s (Gss) y (Sss);

$$G_{ss} = G_s / A$$

$$G_s = (79.211,3532 \text{ Kg/h})(1\text{h}/3600\text{s})$$

$$G_s = 22,003 \text{ Kg/s}$$

Entonces se tiene lo siguiente;

$$G_{ss} = \frac{22,003 \text{ Kg/S}}{1,13\text{m}^2}$$

$$G_{ss} = 19,47 \text{ Kg/m}^2\text{s}$$

Ya obtenido el valor de Gss, por formula utilizando el área transversal del cilindro rotativo se puede encontrar el valor de Sss de la siguiente manera;

$$S_{ss} = S_s/A$$

$$S_{ss} = 7,6791 \text{ Kg/s}/1,13 \text{ m}^2$$

$$S_{ss} = 6,79 \text{ Kg/m}^2\text{s}$$

Posteriormente se calcula la velocidad másica de la siguiente forma;

$$G = G_{ss}(1 + ((Y_1 + Y_2)/2))$$

$$G = 19,47 \text{ Kg/m}^2\text{s}(1 + ((0,04259 + 0,0152)/2)) = 20,03 \text{ Kg/m}^2\text{s}$$

Por falta de información más específica, se utiliza la siguiente ecuación para encontrar el valor del coeficiente global de transferencia de calor³⁰ entre el gas y el sólido (Ua);

$$U_a = \frac{237 * G^{0,67}}{D}$$

³⁰ TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa.2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.781. [Citado 22 de Octubre del 2018].

$$U_a = \frac{237 * (20,03)^{0,67}}{1,2} = 1.471,273 \text{ W/m}^3\text{K}$$

Para conocer la longitud total del secador, se determina la longitud de la unidad de transferencia de calor por medio de la ecuación de la página 57;

$$H_{tOG} = \frac{(20,03 \text{ Kg/m}^2\text{s}) * (1.061 \text{ J / Kg K})}{1.471,273 \text{ W/m}^3\text{K}} = 15,86 \text{ m}$$

✓ Longitud total de cilindro

$$Z = N t_{OG} * H_{tOG}$$

$$Z = 15,839 * 0,6 = 9,6 \text{ m} = 10 \text{ m}$$

4.3.3 Pendiente del secador. Se basa en la selección de la velocidad periférica³¹ del cilindro la cual, oscila entre 0,3 y 0,5 m/s, en el diseño del proyecto se utiliza una velocidad periférica con un valor igual a 0,4 m/s.

Teniendo el valor de la velocidad periférica se determina el valor de la velocidad angular de la cámara de secado de la siguiente manera;

$$N = Vp / (\pi * D)$$

$$N = 0,40 \text{ m/s} / (\pi * 1,2 \text{ m})$$

$$N = 0,1061 \text{ S}^{-1} = 6,36 \text{ rpm}$$

La pendiente³² del secador se determina haciendo uso de la siguiente formula;

$$S = \frac{0,3344 * Ss}{\emptyset_{DO} \delta s N^{0,9} D}$$

Donde;

S=Pendiente
 \emptyset_{DO} = Retención sin flujo de gas
 δs =Densidad del solido
D= Diámetro de la cámara de secado

³¹ NONHEBEL.G El secado de sólidos en la industria química Editorial Reverte s.a. Bogotá P 211 [Citado 22 de octubre del 2018].

³² TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa.2ª Edición. México: Mc Graw Hill., p.780. [Citado 22 de Octubre del 2018].

El valor de ϕ_{DO} se determina por medio de la siguiente ecuación;

$$\phi_{DO} = \phi_{DO} \pm KG$$

Donde;

ϕ_{DO} =Retención (Rango de 0,05 a 0,15)

$$K = \frac{0,6085}{\delta s d_p^{1/2}}, \quad d_p = \text{diámetro de la partícula} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Por lo cual se tiene;

$$K = \frac{0,6085}{(1990 \text{ Kg/m}^3)(200 \cdot 10^{-6} \text{ m})^{1/2}}$$

$$K = 0,02162$$

$$\phi_{DO} = 0,15 + (0,022162 \cdot 20,03)$$

$$\phi_{DO} = 0,5830$$

Como paso final para determinar el valor de la pendiente de la cámara de secado se reemplazan los valores determinados anteriormente en la ecuación de la página 72;

$$S = \frac{0,3344 \cdot 6,79}{(0,5830)(1.990)(0,1061)^{0,9}(1,2)}$$

$$S = 0,01228 \text{ m/m}$$

$$S = 10 \text{ m} \cdot 0,01228 = 12,28 \text{ cm} = 1,228\%$$

4.3.4 Tiempo de retención de las partículas θ ;

$$\theta = \frac{Z \cdot \phi_{DO} \cdot \delta s}{S_{SS}}$$

$$\theta = \frac{10 \cdot 0,15 \cdot 1.990}{6,79}$$

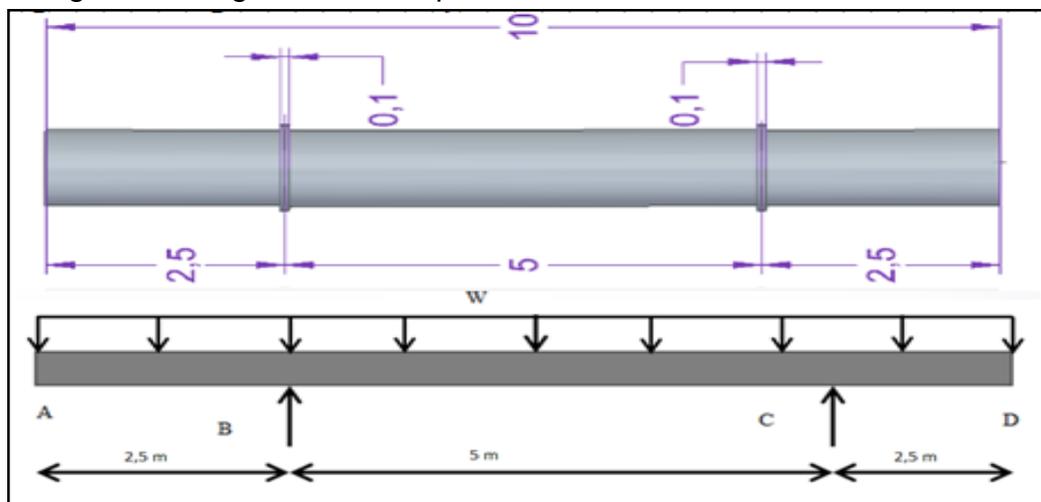
$$\theta = 439,617 \text{ s}$$

$$\theta = 7,3 \text{ min}$$

4.3.5 Deflexión cámara de secado, Para la cámara de secado se utilizó un acero estructural A 258 grado c con un espesor³³ de 10 mm según las recomendaciones del texto el manual tecnológico del cemento, es sometida a cargas debido al peso del material que transita en su interior, para el análisis de estas cargas la cámara de secado se evaluara a manera de viga sobre apoyos fijos, con el fin de obtener las reacciones presentes en los rodillos.

Las cargas a las que será sometido el cilindro o cámara de secado se ilustran a manera de carga distribuida debido a que el material ejerce una fuerza a lo largo de todo el cilindro, dicha carga distribuida compete tanto al peso del material como al peso total del cilindro y sus respectivos componentes.

Imagen 15. Diagrama de cuerpo libre cámara de secado



Fuente: elaboración propia

Donde;

A= Extremo inicial cámara de secado

B= Reacción apoyo rodillo 1

C= Reacción apoyo rodillo 2

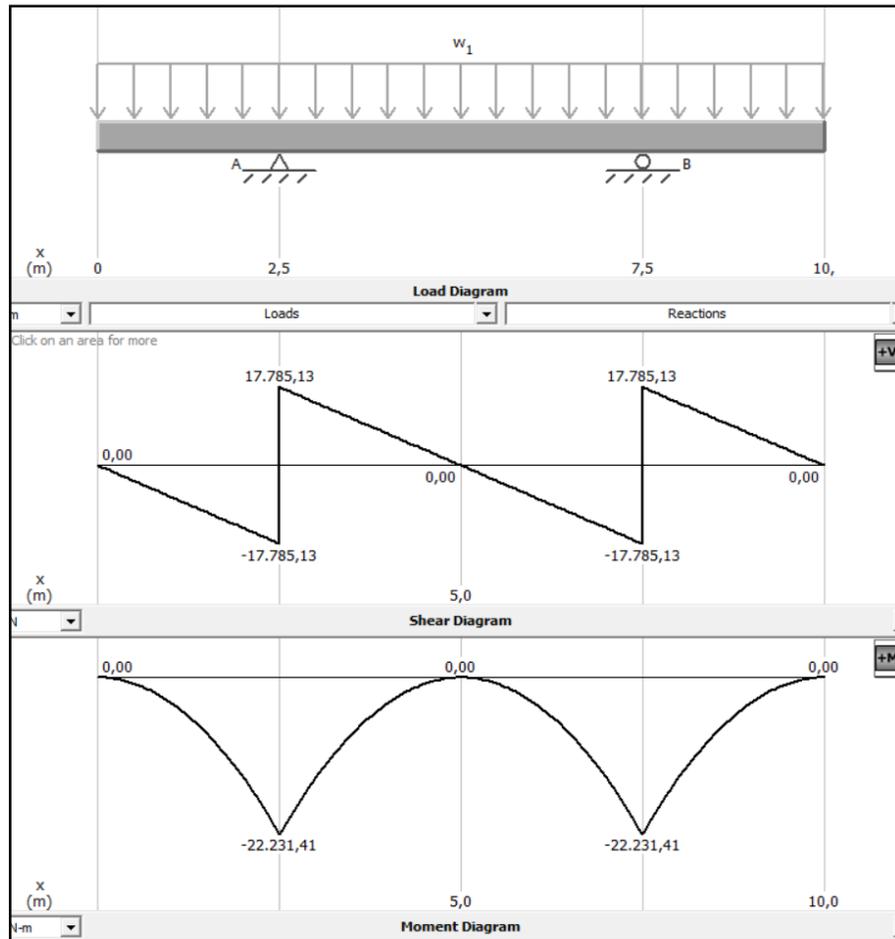
D= Extremo final cámara de secado

W= Peso total cámara de secado

Con el fin de determinar las ecuaciones de cargas o reacciones en los apoyos se realizó el diagrama de cuerpo libre de la cámara de secado (ver imagen 14), además la imagen 15 muestra los momentos y esfuerzos cortantes a los que estará sometido el elemento;

³³ DUDA.Walter. Manual tecnológico del cemento p.51 Marzo de 1977. [Citado el 13 de febrero del 2019].

Imagen 16. Diagrama de momentos y esfuerzos cortantes



Fuente: elaboración propia con base en Software Mdsolids 4.0

Para establecer el valor de la carga distribuida que actúa sobre los rodillos o apoyos fijos es necesario calcular la masa total del secador a diseñar y para esto se debe hacer uso de su volumen por medio de la siguiente formula;

$$m = \delta \cdot V$$

Donde;

m=masa de la cámara o cilindro de secado

δ = Densidad del acero estructural

V= Volumen cilindro

El volumen del cilindro rotativo se determina de la siguiente manera;

$$V_{int} = \left(\frac{1,2m}{2}\right)^2 * \pi * 10m = 11,309 m^3$$

$$V_{ext} = \left(\frac{1,22m}{2}\right)^2 * \pi * 10m = 11,689 m^3$$

$$V_{total} = V_{ext} - V_{int} = 11,689 - 11,309$$

$$V_{total} = 0,3808 m^3$$

La densidad³⁴ del acero es de 7850 Kg/m³, por lo que determinamos su masa por medio de la siguiente ecuación;

$$m_{cilindro} = 7850 Kg/m^3 \cdot 0,3808m^3 = 2989,28 kg$$

A esta masa se le suma la masa de los anillos de rodadura que se determina de la misma manera;

$$V_{anillo\ int} = \left(\frac{1,22m}{2}\right)^2 * \pi * 0,1m = 0,1168 m^3$$

$$V_{anillo\ ext} = \left(\frac{1,372m}{2}\right)^2 * \pi * 0,1m = 0,1479 m^3$$

$$V_{total} = V_{anillo\ ext} - V_{anillo\ int} = 0,1479 - 0,1168$$

$$V_{total} = 0,0310 m^3$$

$$m_{anillos} = 7850Kg/m^3 * 0,0310m^3 * 2 = 486,72 Kg$$

Para determinar la carga completa que soporta la cámara de secado se debe determinar el peso de la arena que se encuentra en su interior, dicho material ocupa el 15% de su volumen total y tiene una densidad de 1990 Kg/m³, la cual transita continuamente por su interior, este peso se calculó de la forma expuesta a continuación;

$$m_{arena} = \delta_{arena} \cdot V_{int}$$

$$m_{arena} = 1990 \frac{Kg}{m^3} \cdot 11,309m^3 = 3375,836 kg$$

Al sumar la masa de todos los componentes de la cámara de secado se tiene la masa total de la misma;

³⁴ SHACKELFORD, James. Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros p. 414 [En línea] 12 de febrero del 2019. [Citado el 14 de febrero del 2019]. Disponible en <<https://es.scribd.com/doc/211800967/Introduccion-a-la-ciencia-de-materiales-para-ingenieros-6ta-Edicion-James-F-Shackelford>>

$$m_T = m_{cilindro} + m_{anillos} + m_{arena}$$

$$m_T = 2989,28Kg + 486,72Kg + 3375,836Kg = 7251,836 Kg$$

$$Carga\ total = 7251,836 Kg * 9,81m/s$$

$$carga\ total = 71140,511 N$$

Con el peso total de la cámara de secado y el diagrama de cuerpo libre podemos determinar las ecuaciones pertinentes a las reacciones en los rodillos o apoyos fijos;

$$\sum F_Y = 0$$

$$F_{YB} + F_{YC} - (W * L) = 0$$

$$F_{YB} + F_{YC} = (W * L)$$

$$F_{YB} = (W * L) - F_{YC}$$

$$F_{YB} = \left(\frac{71140,511N}{10m} \right) * 10m - F_{YC}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$(F_{YB} * 2,5 m) + (F_{YC} * 7,5m) - (5m * w * l) = 0$$

$$(F_{YB} * 2,5 m) + (F_{YC} * 7,5m) = (5m * w * l)$$

$$(71140,511N - F_{YC}) * 2,5m + (F_{YC} * 7,5m) = (5m * w * l)$$

$$(177851,277N - 2,5F_{YC}) + (7,5F_{YC}) = \left(5m * \left(\frac{71140,511N}{10m} \right) * 10m \right)$$

$$7,5F_{YC} - 2,5F_{YC} = (355702,55N) - 177851,277N$$

$$5F_{YC} = 177851,273N$$

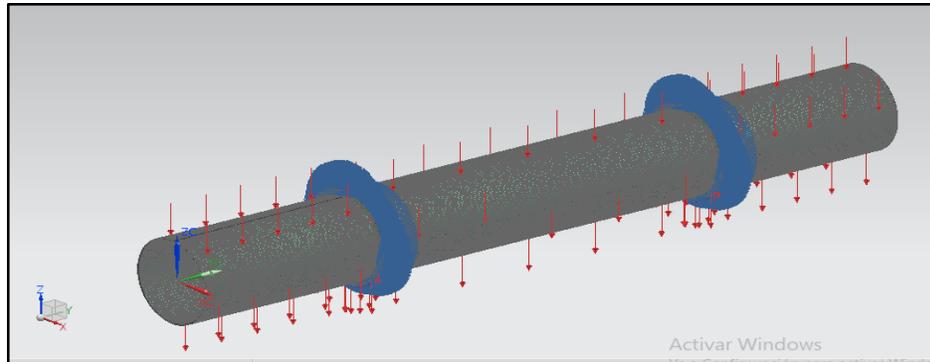
$$F_{YC} = \frac{177851,273N}{5}$$

$$F_{YC} = 35570,254N$$

$$F_{YB} = \left(\frac{71140,51N}{10m} \right) * 10m - 35570,254 = 35570,254N$$

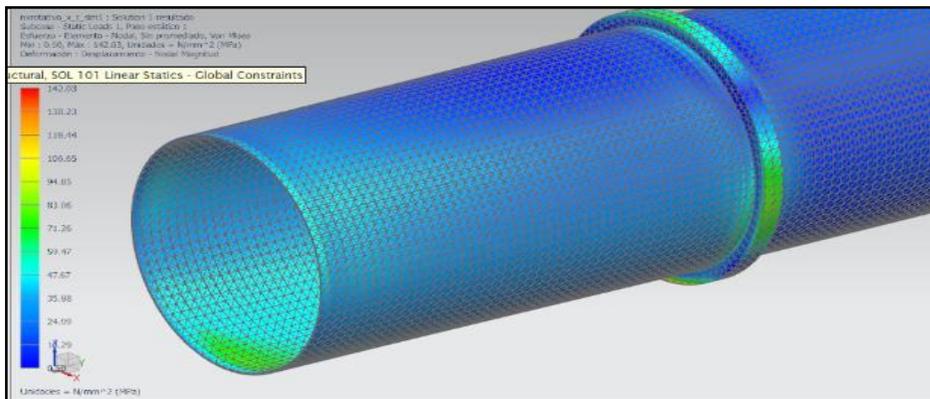
La deflexión de la cámara de secado se determinó por medio de un software de simulación en el cual se incluyeron los datos calculados anteriormente como se puede observar en la imagen 16 y 17;

Imagen 17. Deflexión cámara de secado



Fuente: elaboración propia

Imagen 18. Von mises



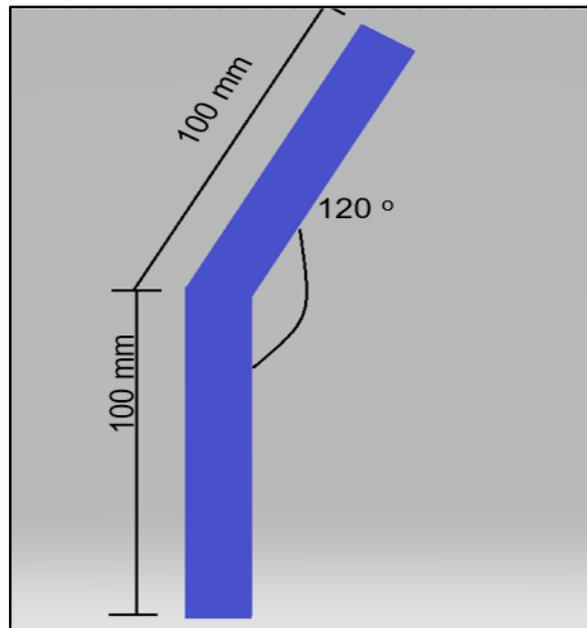
Fuente: elaboración propia

La cámara de secado se analizó por medio de un software de elementos finitos denominado NX de la empresa Siemens , teniendo en cuenta el peso de la misma, el peso de la materia prima que transita en su interior y por ultimo pero no menos importante el peso de los dispositivos elevadores ubicados en su interior. Para el análisis se utilizó una malla de 15 mm, las cargas fueron aplicadas tanto en los apoyos como en la cara interna de la cámara de secado, y como resultado se obtuvo una deflexión máxima con un valor de 3mm aproximadamente, se concluye que esta deflexión no es crítica ya que el esfuerzo de Von Mises que soporta la cámara de secado está por debajo del esfuerzo de fluencia del material seleccionado.

4.3.6 Dispositivos elevadores. Se debe tener en cuenta que el material que transita dentro del secador tiene a dar vueltas sobre sí mismo, generando problemas en el proceso de secado, por este motivo se hace necesaria la implementación de dispositivos denominados elevadores que tienen como función arrastrar el material generando una caída del mismo en forma de cortina con el fin de exponer dicho material a una corriente de aire caliente para realizar el proceso de evaporación del agua que contiene en su interior y transportándolo a su vez durante todo el cilindro hasta la zona de descarga.

El diseño particular de los elevadores (Ver imagen 19) permite obtener la máxima retención de sólidos dentro de la cámara de secado alcanzando un 15% del volumen total del mismo, los elevadores se extienden en toda la longitud de la cámara de secado y forman una espiral con el fin de asegurar la continuidad en el transporte del material.

Imagen 19. Geometría elevador



Fuente: elaboración propia

Para determinar el número de elevadores³⁵ ubicados en el interior de la cámara de secado se tiene lo siguiente;

Número mínimo de elevadores= $15 * 1,2 = 18$ elevadores con una separación de 20 grados

³⁵ NONHEBEL.G El secado de sólidos en la industria química Editorial Reverte s.a. Bogotá P 245 [Citado 22 de octubre del 2018].

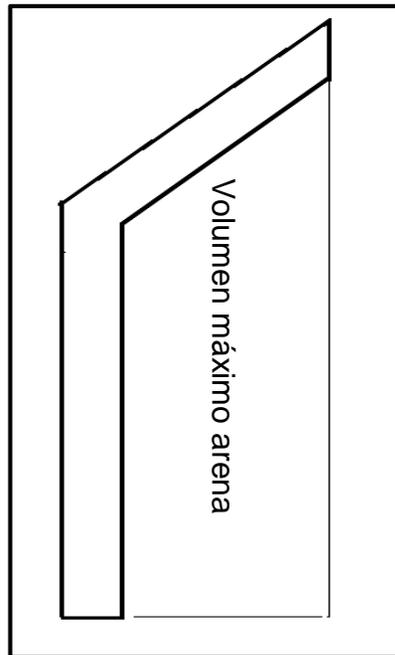
Número máximo de elevadores= $30 * 1,2 = 36$ elevadores con una separación de 10 grado

Se toma un valor intermedio entre el número mínimo y el número máximo haciendo referencia con esto a 27 elevadores con una separación de 13,3 grados para su instalación dentro de la cámara de secado.

Para la fabricación de los elevadores ubicados dentro de la cámara de secado se utilizará una lámina anti-desgaste maxdur 450 (Ver anexo B) debido a que es un acero resistente al desgaste para condiciones extremas en el sector de la minería y otras industrias, posee una alta resistencia ante las abolladuras, grietas y sobre todo el desgaste. Por su estructura homogénea, permite ser fácilmente soldado, cortado y plegado.

Los elevadores tienen una longitud igual a 37 cm y un espesor de lamina de 3/16", con estos datos se puede determinar el volumen máximo de arena (Ver ilustración 1) que podría llegar a encontrarse en cada elevador con el fin de identificar por medio de un software de elementos finitos si los elevadores con el material correspondiente soportan la carga transmitida por el peso de la arena.

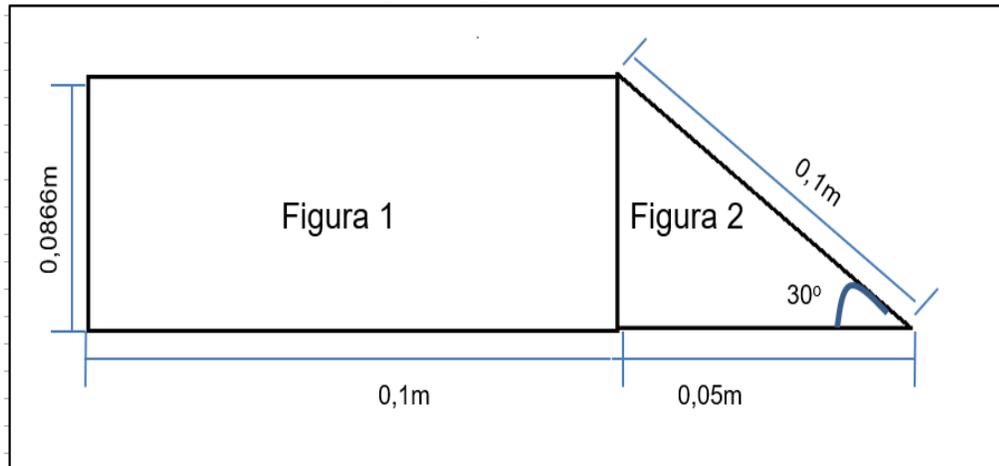
Ilustración 1. Volumen arena



Fuente: elaboración propia

Para definir el volumen máximo de arena contenida en los elevadores es necesario determinar el área de dos figuras diferentes como se puede observar en la ilustración 2, a continuación;

Ilustración 2. Volúmenes figura 1 y 2



Fuente: elaboración propia

El área de la figura 1 se determina de la siguiente manera;

$$A_1 = b * h$$

Donde;

A1= Área figura 1

b= Base

h= Altura

$$A_1 = 0,1m * 0,0866m = 8,66 * 10^{-3}m^2$$

El área de la figura 2 se determina de la siguiente manera;

$$A_2 = \frac{b * h}{2} = \frac{0,05m * 0,0866m}{2} = 2,165 * 10^{-3}m^2$$

Se suman las áreas de las figuras 1 y 2 para encontrar el área total y con esto el volumen máximo de arena.

$$A_{total} = A_1 + A_2 = 8,66 * 10^{-3}m^2 + 2,165 * 10^{-3}m^2$$

$$A_{total} = 0,010825 m^2$$

Para determinar el volumen máximo de arena presente en el elevador se multiplica el área total por la longitud del mismo;

$$V_{maximo} = A_{total} * Longitud$$

$$V_{maximo} = 0,010825 \text{ m}^2 * 0,37 \text{ m}$$

Con el valor del volumen máximo y la densidad de la arena se puede calcular la masa de arena para este volumen de la siguiente manera;

$$masa = V_{maximo} * \delta_{arena}$$

Donde;

$$\delta_{arena} = \text{Densidad de la arena, es de } 1990 \text{ Kg/m}^3$$

$$masa = 4,005 * 10^{-3} \text{ m}^3 * 1990 \text{ Kg/m}^3$$

$$masa = 7,969 \text{ Kg} = 8 \text{ Kg}$$

La fuerza ejercida por la arena es igual a;

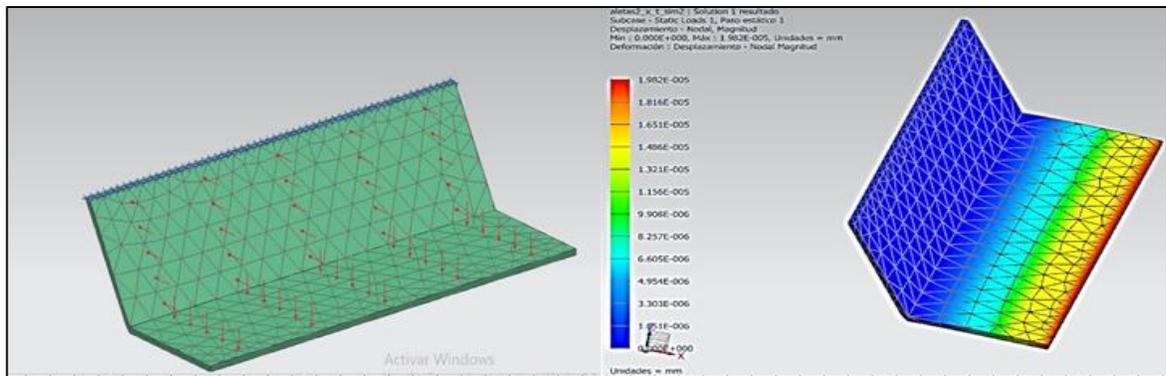
$$Fuerza = masa * gravedad$$

$$Fuerza = 8 \text{ Kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 78,48 \text{ N}$$

Para determinar la carga distribuida a lo largo del elevador se divide la fuerza sobre la longitud del elevador, como se muestra a continuación;

$$Fuerza \text{ distribuida} = 78,48 \text{ N} / 0,37 \text{ m} = 212,1081 \text{ N/m}$$

Imagen 20. Desplazamiento máximo



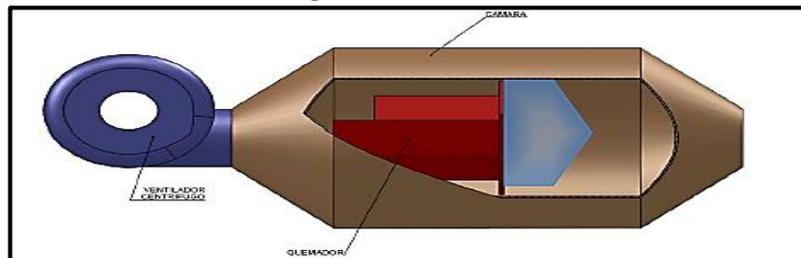
Fuente: elaboración propia

La deformación que presentan los dispositivos elevadores debido a las cargas transmitidas por el volumen de arena que almacenan es mínima como se observa en la imagen 20, Estos dispositivos no presentaran fallas durante la operación o una deflexión crítica, ya que el esfuerzo de Von Mises determinado por el análisis es mayor al esfuerzo de fluencia del material seleccionado.

4.4 SISTEMA GENERADOR DE AIRE CALIENTE

El sistema de generación de aire caliente mostrado en la ilustración 3, es el encargado de cumplir con el objetivo principal del secador, el cual es reducir la humedad contenida dentro de la materia prima a procesar (arena), para el desarrollo de este objetivo el sistema cuenta con un quemador posicionado en la parte interna de una cámara, con un ventilador ubicado en la parte trasera que se encarga de direccionar el aire caliente producido por la combustión para obtener un flujo en contracorriente.

Ilustración 3. Sistema generación de aire caliente



Fuente: DELGADO, Javier. Diseño de secador de arena para la producción de mortero seco, [citado el 12 de noviembre del 2.018].

El quemador es el dispositivo que permite realizar la reacción química encargada de suministra la energía en forma de calor al proceso de manera controlada y regulable, este desprendimiento de energía se manifiesta a manera de llama. Los quemadores se clasifican según el combustible utilizado, quemadores de gas, de combustibles líquidos y de combustibles sólidos.

La propiedad principal de los combustibles es su poder calorífico (Ver cuadro 7), es decir, la cantidad de calor que se desarrolla durante la reacción química denominada combustión.

Cuadro 7. Poderes caloríficos del combustible

Combustible	Unidad	Hi	Hs
Gas natural	(kWh/kg)	13,05	14,43
Propano comercial	(kWh/kg)	12,82	13,92
Butano comercial	(kWh/kg)	12,69	13,74
Gasóleo C	(kWh/kg)	11,56	12,23

Fuente: GARRIDO, Pablo. Guía básica. Calderas industriales eficientes, [citado el 12 de noviembre del 2.018].

4.4.1 Combustibles. Son aquellas sustancias que tiene la capacidad de liberar energía a manera de calor y se clasifican según sea el estado físico de las mismas como se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Combustibles industriales

Sólidos	Naturales	Madera y residuos	Turbas Lignitos Hullas Antracita
	Artificiales	Carbón	
Líquidos	Alcoholes	Naturales (fermentación e hidrólisis).	Artificiales
	Residuales	Por ejemplo, legías negras.	
	Derivados del petróleo	Gasóleos	
		Fuelóleos	
Gaseosos	Residuales	Fuel-gas	Diferentes familias
	Gas natural		
	Gases líquidos del petróleo (GLP)	Propano y butanos	
	Artificiales o elaborados	Gas de horno alto	
		Gas de coquería	
		Gas pobre	
Gas de agua			
	GNS		
	Gases de gasógeno		
	Gas ciudad		
	Biogas		

Fuente: DELGADO, Javier. Diseño de secador de arena para la producción de mortero seco, [citado el 12 de noviembre del 2.018].

4.4.1.1 Combustibles sólidos. Son aquellas sustancias³⁶ en las que las moléculas presentan una gran cohesión entre sí, estos combustibles tiene una calidad la cual es que poseen una forma y tamaño definido. El carbón, la leña, los residuos sólidos, etc., son representantes típicos de combustibles sólidos.

Aunque el carbón desempeño en su día el papel primordial entre todos los combustibles sólidos hoy en día ha sido desplazado por combustibles de tipo líquido y gaseoso.

4.4.1.3 Combustibles gaseosos. Son aquellas sustancias en las que sus moléculas se distancian ocupando todo el espacio disponible; Si no se contienen en un espacio cerrado se difunden en la atmosfera. Tienen la habilidad de adaptar la forma del recipiente en donde se encuentran almacenadas, esto quiere decir que no poseen una forma definida como en el caso de los combustibles sólidos.

4.4.1.2 Combustibles líquidos. Las fuerzas resultantes de los movimientos moleculares en este tipo de combustibles son lo suficientemente elevadas frente a las fuerzas de atracción para permitir el movimiento de las moléculas entre sí, permitiendo fluir y adaptarse a la forma del recipiente que los contiene.

³⁶ GARRIDO, Pablo. Guía básica calderas industriales eficientes, P 34-44 [En línea] 14 de enero del 2.013, [citado el 12 de noviembre del 2.018], Disponible en < <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>>

De igual manera los diferentes tipos de combustibles se destacan por tener una serie de propiedades o características que facilitan la selección del mismo para diferentes aplicaciones en la industria, destacando como propiedad principal el poder calorífico del mismo y siendo un parámetro principal de selección en procesos donde se requiere adición de energía en forma de calor.

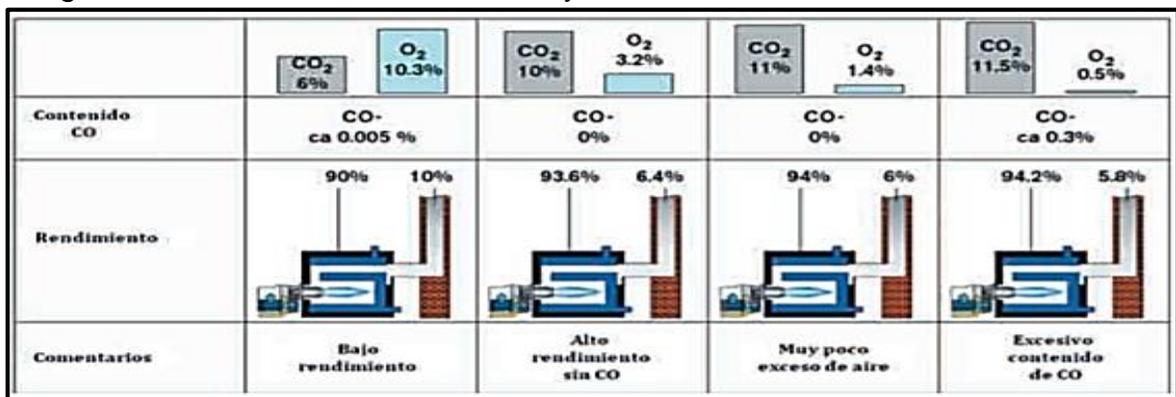
Otra propiedad importante de los combustibles líquidos es la viscosidad, ya que de ella depende la facilidad de transporte por tubería y la de pulverización necesaria para la combustión.

4.4.2 Selección del quemador. Con base en las características de los combustibles y principalmente en el valor del poder calorífico de los más importantes utilizados en la industria, para el proyecto se utilizara un quemador a gas natural con el fin cumplir con la tarea de brindar la energía en forma de calor necesaria para el proceso de secado.

Este quemador genera un desprendimiento de energía procedente de la quema del combustible, el cual, se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

Durante el proceso de quema existe algo denominado combustión crítica y hacer referencia a la relación combustible-oxígeno (aire). Si esta relación es muy pequeña, el combustible será muy pobre para quemarse y si es excesivamente grande, la mezcla será excesivamente rica para arder (Imagen 21). El límite de la relación combustible-oxígeno se llama límite de inflamabilidad.

Imagen 21. Relación entre rendimiento y emisiones de la combustión



Fuente: GARRIDO, Pablo. Guía básica. Calderas industriales eficientes, [citado el 12 de noviembre del 2.018].

Al ser el porcentaje de aire muy grande o muy pequeño el proceso de la quema del combustible se entorpece generando problemas en el desempeño del secado de la materia prima que se llevara a cabo en la maquina a diseñar, problemas de índole económica y de calidad.

Dicho lo anterior se recomienda generar una combustión adecuada y controlada basándose en la determinación del punto de equilibrio entre el porcentaje de combustible y oxígeno que reaccionan durante el proceso de quema, dando como resultado un correcto control sobre la energía en forma de calor vinculada al proceso del secador rotativo.

Durante el proceso se puede identificar³⁷ de manera visual una combustión incompleta ya que esta genera humos y un menor rendimiento del combustible utilizado en el proceso.

Para el secador rotativo a diseñar se va a utilizar un quemador de gas natural como se mencionó anteriormente, debido a que el poder calorífico de este (12800 Kcal /kg) es superior al del ACPM (10200 Kcal/kg), y además genera menores costos que el ACPM. Los quemadores de gas se clasifican según el modo de alimentación del gas y del aire como se observa en el cuadro 9 y en la imagen 22, a continuación;

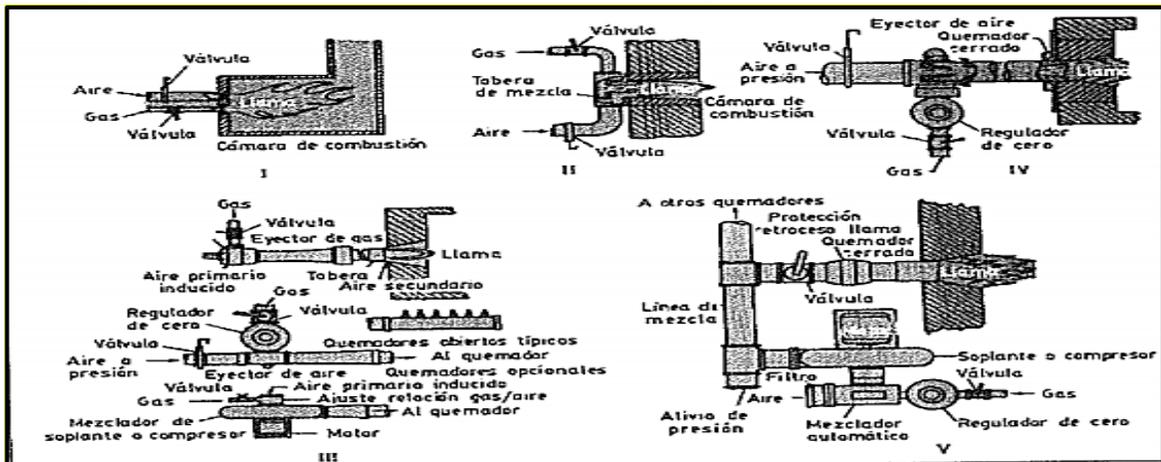
Cuadro 9. Clasificación según la alimentación del quemador

Sistema	Definición	Forma de mezclado	Método de control	Tipo de quemador	Aplicación típica
I	Alimentación aire gas separadas	No hay mezclado. Ambos llegan a presión.	Manual: dos válvulas Automático ▪ Presiones equilibradas ▪ Acoplamiento mecánico	—	Hornos de vidrio Hornos de caliza Grandes instalaciones
II	Mezcla en boca	En el punto de combustión ambos llegan a presión	Como en I	De mezcla en boca con bloque de refractario	Calefactores de aire. Hornos de tratamiento Hornos de forja Calderas
III	Premezcla parcial (requiere aire secundario)	Eyector de gas y aire atmosférico. Eyector de aire y gas a presión cero. Mezclado mecánico (ambos a presión cero)	Manual o automático	Quemadores abiertos: — Toberas — Inyectores — Lineales — Rampa	Aplicaciones en las que se acepta exceso de aire. Calentamiento
IV	Premezcla total por inducción	Eyector de gas y aire atmosférico Eyector de aire y gas a presión cero	Manual (variable) o automático (fijado)	Quemadores tunel cerrados Quemadores abiertos	Hornos de calentamiento Hornos de fusión Generadores Calderas
V	Premezcla total con mezclador mecánico	Soplantes, compresor, bombas ambos fluidos presión cero	Ajustable o fijo. Manual o automático	Como en IV	Como en IV si se requieren condiciones variables
VI	Combinación de tipos I a V	En función de cada caso			Procesos especiales

Fuente: KOHAN, Anthony. Manual de calderas [En línea], [Citado 22 de octubre del 2.018], Disponible en <<https://es.scribd.com/document/226908691/Manual-de-Calderas-2>>

³⁷ KOHAN, Anthony. Manual de calderas, volumen II, capítulo 11, P 410. [En línea] 5 de mayo del 2.010. [Citado 22 de octubre del 2.018], Disponible en <<https://es.scribd.com/document/226908691/Manual-de-Calderas-2>>

Imagen 22. Clasificación de los quemadores de gas

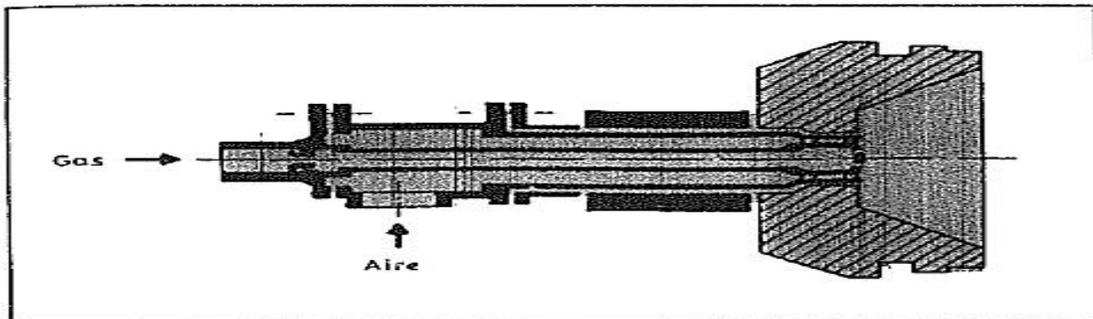


Fuente: MARQUEZ, Manuel. Combustión y quemadores [En línea], [Citado 22 de octubre del 2.018], Disponible en < <https://es.scribd.com/document/358381690/Combustion-y-Quemadores> >

Existen quemadores especiales³⁸, algunos de ellos son;

Quemadores radiantes, se denominan así cuando una parte importante de la transferencia de calor se realiza por radiación por medio, en general, de una superficie refractaria, ver imagen 23.

Imagen 23. Quemador radiante



Fuente: Fuente: MARQUEZ, Manuel. Combustión y quemadores [En línea], [Citado 22 de octubre del 2.018], Disponible en < <https://es.scribd.com/document/358381690/Combustion-y-Quemadores> >

Quemadores jet, Lanzan a gran velocidad (≥ 100 m/s) los productos de una combustión completa o casi. El chorro se lanza sobre el producto a caldear o sobre la atmosfera provocando su recirculación.

³⁸ MARQUEZ, Manuel. Combustión y quemadores P 122 [En línea], [Citado 22 de octubre del 2.018], Disponible en < <https://es.scribd.com/document/358381690/Combustion-y-Quemadores> >

Imagen 24. Quemador jet



Fuente: TERMALTEC S.A. Quemadores pirojet[En línea] Julio 2.013, [Citado 22 de octubre del 2.018], Disponible en < <https://es.scribd.com/document/358381690/Combustion-y-Quemadores>>.

La selección del quemador se basa en la energía que este debe producir para llevar a cabo el proceso, esta se determina por medio de la siguiente fórmula³⁹;

$$Q_{quemador} = U_a * V * \Delta T$$

Donde;

U_a = Coeficiente global de energía $1.471,273 \text{ W/m}^3\text{K}$

ΔT = Diferencia de temperatura entre el gas y el sólido $166,45 \text{ C}$

V = Volumen del secador a diseñar

$$V = 1,13 \text{ m}^2 * 10\text{m} = 11,3\text{m}^3$$

Entonces la cantidad de energía que debe producir el quemador es igual a;

$$Q_{quemador} = 1.471,273 \text{ W/m}^3\text{K} * 11,3\text{m}^3 * 166,45 \text{ C}$$

$$Q_{quemador} = 2.767,295 \text{ KW} = 9.442.403,4959 \text{ Btu/hr}$$

Las pérdidas de calor durante el proceso de secado se pueden clasificar de forma general en tres grupos, el primer grupo hace referencia a las pérdidas relacionadas directamente con el proceso de combustión, el segundo grupo hace referencia a las pérdidas relacionadas con el calor perdido por los humos afluentes de la cámara, y por último tenemos las pérdidas por radiación las cuales hacen referencia a las fugas de calor que se presentan a través de las paredes, más las pérdidas en la entrada y salida de la cámara de secado.

³⁹ INCROPEA. Frank, Manual. Fundamentos de transferencia de calor y masa, 4ta edición, P 588. [Citado 22 de octubre del 2.018].

Con el fin de determinar la cantidad real de combustible que necesita el quemador, es necesario considerar las pérdidas de calor que para efectos de diseño bastara con asumir un valor aproximado. Para el quemador seleccionado se asumirá un valor del 5% para las pérdidas⁴⁰ enunciada anteriormente.

El calor total requerido;

$$C_T = \frac{Q_T}{(1 - \text{Perdidas})}$$

Entonces;

$$C_T = \frac{2.767,295 \text{ KW}}{(1 - 0,05)}$$

$$C_T = 2912,94 \text{ KW}$$

$$C_T = 2504677,59 \text{ Kcal/h} = 9939364,9 \text{ Btu/h}$$

El consumo de combustible Cc, se calcula de la siguiente manera;

$$C_c = C_t / P_c$$

Donde;

Pc= Poder calorífico del combustible (gas)

El poder calorífico del combustible se obtiene del promedio de los valores mostrados en el anexo C, en este caso es igual a 41282,92 KJ/m³.

Entonces reemplazando estos valores en la ecuación se obtiene;

$$C_c = \frac{2912,94 \text{ KW}}{41282,92 \text{ KJ/m}^3}$$

$$C_c = 0,07056 \text{ m}^3/\text{s} = 254,017 \text{ m}^3/\text{h} = 8970,53 \text{ ft}^3/\text{h}$$

Según las variables determinadas anteriormente, se seleccionó un quemador marca PIROTEC BURNERS serie Piro Jet, modelo PI 100, con las características de funcionamiento expuestas en el cuadro 10, a continuación (Ver anexo D).

⁴⁰ NONHEBEL.G El secado de sólidos en la industria química Editorial Reverte s.a. Bogotá P 211. [Citado 22 de octubre del 2.018].

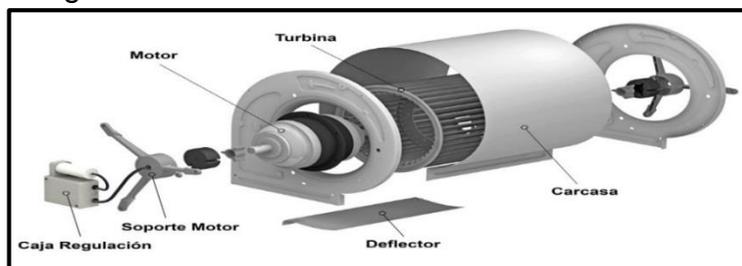
Cuadro 10. Características del quemador PI 100

características	modelo pi 100
Capacidad	10.000.000 Btu/h
Caudal de aire CFH	120.000
Capacidad mínima	1.000.000 Btu/h
Encendido	Directo con piloto automático
Combustible	Gas natural

Fuente: elaboración propia

4.4.3 Selección ventilador. Un ventilador⁴¹ es un conjunto de motor y álabes que tiene como función principal desplazar un gas (normalmente aire) de un lugar a otro. El ventilador (Imagen 25) es una máquina hidráulica que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas, comunicándole un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad puede despreciarse⁴².

Imagen 25. Ventilador



Fuente: Airtecnicos [En línea], [Citado el 15 de marzo del 2.019], Disponible en <<https://www.airtecnicos.com/es/tecnologia/ventiladores-generalidades>>

Los ventiladores se clasifican según la diferencia de presión estática y según la dirección de flujo.

Por la diferencia de alta presión se tienen;

- ✓ Ventiladores de alta presión, entre 180 y 300 mm c.a
- ✓ Ventiladores de media presión, entre 90 y 180 mm c.a
- ✓ Ventiladores de baja presión, menores de 90 mm c.a

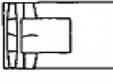
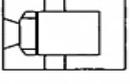
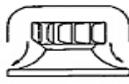
⁴¹ AIRTECNICS. Ventiladores generalidades. [En línea]. [Citado 15 de noviembre del 2.018], Disponible en ><https://www.airtecnicos.com/es/tecnologia/ventiladores-generalidades><

⁴² MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª Edición México_ Harla, 1982., p. 424. [Citado 15 de noviembre del 2.018].

Según la dirección de flujo;

- ✓ Ventiladores axiales. Son aquellos en los cuales el flujo de aire sigue la dirección del eje del mismo. Se suelen llamar helicoidales, pues el flujo a la salida tiene una trayectoria con esa forma. En líneas generales son aptos para mover grandes caudales a bajas presiones. Con velocidades periféricas medianamente altas son en general ruidosos (ver tabla 6).

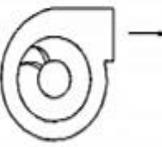
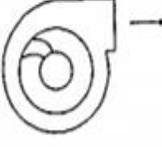
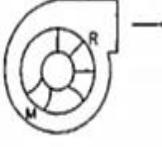
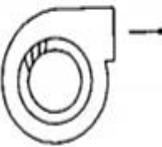
Tabla 6. Subdivisión ventiladores axiales

TIPO		DISEÑO DEL RODETE	DISEÑO DE LA CARCASA	
VENTILADORES AXIALES	HELICOIDAL	 <p>El rendimiento es pequeño. Los ventiladores helicoidales generalmente son de construcción barata y limitados a aplicaciones de baja presión. La hélice tiene 2 o más palas de espesor uniforme en la mayoría de casos unidas a un cubo de pequeño diámetro. La transferencia de energía se produce mayoritariamente en forma de presión dinámica.</p>	 <p>El diseño se basa en un simple anillo, placa perforada o venturi. El diseño afecta de forma sustancial al rendimiento, un diseño óptimo tiende a disminuir la holgura entre la carcasa y el extremo de las palas y tiene forma de estrechamiento gradual para dirigir el aire hacia la hélice.</p>	
	TUBULAR	 <p>Tiene un rendimiento algo superior al de un ventilador helicoidal y es capaz de desarrollar una presión estática mayor. Tiene entre 4 y 8 palas sobre un cubo que suele ser inferior al 50 % del diámetro externo de la hélice. Las palas pueden tener un diseño de ala portante o ser chapas de espesor uniforme.</p>	 <p>Tubo cilíndrico con poca holgura entre el diámetro interior y el extremo de las palas. El resultado es una mejora significativa del rendimiento con respecto a los ventiladores helicoidales.</p>	
	TUBULAR CON DIRECTRICES	 <p>Con un buen diseño de las palas se consiguen desarrollar presiones estáticas medias y altas con un buen rendimiento. Los ventiladores de este tipo de mejor rendimiento tienen palas de perfil aerodinámico. Las palas pueden ser fijas o con el ángulo de ataque ajustable, en general el diámetro del cubo es mayor que el 50 % del diámetro externo de la hélice.</p>	 <p>Tubo cilíndrico con poca holgura entre el diámetro interior y el extremo de las palas y dotado de un conjunto de aletas directrices. Tanto si están situadas antes o después de la hélice, las directrices transforman la energía de rotación que la hélice comunica al aire en energía de presión mejorando el rendimiento.</p>	
DISEÑOS ESPECIALES	TUBULAR	CENTRÍFUGO	 <p>Este ventilador tiene un rodete similar al de palas de ala portante, palas inclinadas o palas curvadas hacia atrás descrito antes. (Sin embargo este diseño de rodete tiene un rendimiento más bajo en este tipo de ventilador.) En ocasiones se utilizan hélices en las que el flujo de aire es de tipo mixto.</p>	 <p>Carcasa cilíndrica similar a la de los ventiladores tubulares, exceptuando la holgura entre la carcasa y el rodete que es mayor. El aire abandona el rodete en sentido radial, y debe cambiar la dirección dando un giro de 90° para circular a través de las aletas directrices.</p>
	EXTRACTORES DE TECHO	CENTRÍFUGO	 <p>Muchos modelos utilizan palas de ala portante o inclinadas hacia atrás. El diseño es una modificación de los mencionados antes para conseguir una característica de alto caudal a baja presión. También se utilizan otros tipos de rodete de diseño especial, incluyendo los de flujo mixto.</p>	 <p>No utiliza una carcasa en el sentido normal del término ya que el aire se descarga en sentido radial en todas direcciones y generalmente no tiene una envolvente para recuperar la presión dinámica.</p>
		AXIAL	 <p>Se emplea una gran variedad de diseños de hélice siempre con el objetivo de obtener una característica de alto caudal a baja presión.</p>	 <p>En esencia consiste en un ventilador helicoidal montado sobre una estructura que dispone de una cubierta de protección frente a la lluvia y por motivos de seguridad. El aire se descarga a través del espacio anular entre el ventilador y la cubierta de protección.</p>

Fuente: GOBERNA, Ricardo. Ventilación industrial. Clasificación ventiladores [En línea], [Citado el 15 de marzo del 2018], Disponible en <file:///C:/Users/Admin/Downloads/VENTILACION_INDUSTRIAL.pdf>

- ✓ Ventiladores centrífugos⁴³. Son aquellos en los cuales el flujo de aire cambia su dirección, en un ángulo de 90°, entre la entrada y salida. Se suelen subclasificarse, según la forma de las palas o álabes del rotor, de la siguiente manera (ver tabla 7).

Tabla 7. Subdivisión ventiladores centrífugos

TIPO		DISEÑO DEL RODETE	DISEÑO DE LA CARCASA
VENTILADORES CENTRÍFUGOS	PALAS DE ALA PORTANTE	 <p>Es el tipo de ventilador centrífugo de mayor rendimiento. Dispone de 9 a 16 álabes de perfil aerodinámico curvados hacia atrás con respecto a la dirección de giro. El aire sale del rodetes a una velocidad inferior a la velocidad lineal de la periferia del mismo y el diseño de las palas posibilita una expansión del aire con pocas pérdidas al circular entre ellas. Para una función dada, es el diseño de ventilador centrífugo que puede girar a mayor velocidad.</p>	 <p>La carcasa tiene forma de voluta diseñada para convertir la presión dinámica en presión estática con pocas pérdidas y por tanto con alto rendimiento del ventilador; para que el rendimiento sea el mayor posible, es importante que la holgura entre el rodetes y el cono de entrada sea pequeña. En ocasiones la carcasa es circular y concéntrica con el rodetes tal como en algunos modelos de extractores de techo ya que la conversión a presión en el rodetes es suficiente.</p>
	PALAS INCLINADAS HACIA ATRÁS PALAS CURVADAS HACIA ATRÁS	 <p>El rendimiento es un poco menor que el de los ventiladores con palas de ala portante. Las palas curvadas o inclinadas hacia atrás con respecto a la dirección de giro son de espesor constante, se montan de 9 a 16 palas. El rendimiento es alto por las mismas razones que las del ventilador con palas de ala portante ya indicadas arriba.</p>	 <p>Se utiliza el mismo diseño de carcasa que para los de ala portante.</p>
	RADIAL	 <p>Es el más sencillo y el de menor rendimiento entre todos los ventiladores centrífugos. Es muy resistente mecánicamente, y el rodetes puede ser reparado con facilidad. Para una función dada requiere una velocidad de giro intermedia. Se montan entre 6 y 10 palas en disposición exactamente radial (R), o modificada (M).</p>	 <p>En forma de voluta, generalmente es el diseño más estrecho de todos los ventiladores centrífugos descritos aquí debido a la alta velocidad de descarga que precisa. Las exigencias dimensionales de esta carcasa son más críticas que en el caso de los ventiladores de palas de ala portante o inclinadas hacia atrás.</p>
	PALAS CURVADAS HACIA ADELANTE	 <p>El rendimiento es menor que el de los ventiladores de palas de ala portante o inclinadas hacia atrás. La construcción ligera y de bajo coste es la utilizada generalmente para este tipo de ventilador. Tiene entre 24 y 64 palas cortas con los bordes interior y exterior curvados hacia adelante. El aire sale del rodetes a una velocidad mayor que la periférica. La energía primaria comunicada al aire se debe a la alta velocidad de giro del rodetes. Para un trabajo dado, el tamaño del rodetes y la velocidad de giro son los menores entre todos los ventiladores centrífugos.</p>	 <p>La voluta es de diseño similar a los otros ventiladores centrífugos. El ajuste entre el rodetes y la entrada no es tan crítico como en los ventiladores con palas de ala portante o inclinadas hacia atrás. La chapa sobrepuesta en la carcasa es de gran tamaño.</p>

Fuente: GOBERNA, Ricardo. Ventilación industrial. Clasificación ventiladores [En línea], [Citado el 15 de marzo del 2018], Disponible en <file:///C:/Users/Admin/Downloads/VENTILACION_INDUSTRIAL.pdf>

⁴³ CHIBLOSA. Clasificación ventiladores. [Citado 15 de noviembre del 2.018], Disponible en <http://www.chiblosa.com.ar/spanish/herramientas/teoria_de_los_ventiladores.htm<

Con el fin de determinar el ventilador óptimo para el de secado de la arena se deben calcular los pies cúbicos por minuto del mismo. La velocidad⁴⁴ del aire tiene un valor de 1,5 m/s, este es el parámetro inicial para realizar el cálculo del caudal necesario para el proceso, el cual va a transitar por el secador de arena.

Para determinar el caudal⁴⁵ necesario se tiene la siguiente ecuación;

$$Q = A * V$$

Donde;

A= Área transversal de ventilación

V= Velocidad del aire

Entonces se tiene lo siguiente;

$$Q = (\pi * (1,2m)^2)/4 * 1,5 m/s$$

$$Q = 1,6964 m^3/s = 1,7 m^3/s = 3594.47 CFM$$

El comportamiento del ventilador está ligado directamente con el cambio de densidad del aire que manipula, debido a esto se hace la corrección de la presión estática debido a la altura de la zona geográfica.

El factor de corrección se determina de la siguiente manera;

$$Fc = \delta_R/\delta_S$$

Donde;

δ_R =Densidad del aire a condiciones reales

δ_S = Densidad del aire a condiciones estándar

Las condiciones de operación del ventilador hacen referencia a la altitud, la cual corresponde a 400 m.s.n.m y a una temperatura ambiente de 28 C°. Con base en estas condiciones se calcula la densidad del aire que será impulsado por el ventilador. La presión atmosférica en Agua De Dios, Cundinamarca es de 1 atm, lo que equivale a 29,9213 InHg; y la temperatura ambiente de 28 C es igual a 542,07 R.

⁴⁴ NONHEBEL.G El secado de sólidos en la industria química Editorial Reverte s.a. Bogotá P 211 [Citado 22 de octubre del 2.018].

⁴⁵ VENTILACION INDUSTRIAL. Ventiladores, P 1-3 [En línea] Septiembre de 2.012. [Citado el 22 de octubre del 2.018]. Disponible en <file:///C:/Users/Admin/Downloads/VENTILACION_INDUSTRIAL.pdf>

La densidad del aire a condiciones⁴⁶ reales se determina de la siguiente manera;

$$\delta_R = \frac{Pb}{R * T} = \frac{Pb}{1,314 * T}$$

Donde;

Pb= Presión barométrica (inHg)

T= Temperatura del aire (Rankine)

$$\delta_R = 1,327 * \frac{29,92}{542,07} = 0,073 \text{ lb}/ft^3$$

La densidad del aire a condiciones estándar según la zona geográfica es igual a $0,072 \text{ lb}/ft^3$, con respecto a esto el valor del factor de corrección es igual a;

$$FC = 0,073/0,072 = 1,013$$

Según lo anterior la presión estática corregida es igual a;

$$Pe_c = FC * Pe$$

$$Pe_c = 1,013 * (1 \text{ pulg agua}) = 1,013 \text{ Pulg agua}$$

Según lo anterior, se seleccionó un ventilador centrífugo marca CHICAGO BLOWER modelo SIZE 11 LS (Ver cuadro 11) con rotor de palas planas debido a que es ideal para polvos. Se caracteriza por su gran rendimiento, su capacidad de mantener una potencia estable y su bajo nivel de ruido en operación. Se hizo uso del catálogo de ventiladores marca CHICAGO BLOWER para la selección del ventilador (Ver anexo E):

Cuadro 11. Características ventilador

ventilador modelo size 11 ls	
Diámetro de entrada	11 in
Diámetro de salida	0,2795m
CFM	3696
ASPAS	4
RPM	1964
BHP	6,56
FCM	5600

Fuente: elaboración propia

⁴⁶ MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª Edición México_ Harla, P 424. [Citado 22 de octubre del 2018].

4.4.4 Diámetro de la cámara de generación de aire caliente. Para llevar a cabo los cálculos correspondientes al diámetro de la cámara de generación de calor se deben tener en cuenta las características del ventilador seleccionado (ver cuadro 11).

Se calcula el área⁴⁷ del ducto con el fin de seleccionar un diámetro normalizado para ductos circulares de aire, este valor se selecciona según los datos expuestos en el anexo F.

La siguiente ecuación se utiliza para determinar el área del ducto nombrado anteriormente;

$$A = \text{Caudal} / \text{velocidad salida}$$

FCM (pie por minuto) hace referencia a la velocidad de salida del ventilador, con un valor de 5600, datos extraídos de las características del ventilador seleccionado expuestas en el cuadro 11, para el caudal se tiene un valor de 3696 CFM.

Entonces reemplazando se obtiene lo siguiente;

$$A = 3696 \text{ CFM} / 5600 \text{ FCM} = 0,66 \text{ ft}^2$$

Para este valor y con base en el anexo F nombrado anteriormente, se determina un diámetro de ducto normalizado igual a 250 mm, con una longitud de la cámara de secado igual a 2 metros.

Se utilizará como material para la fabricación de la cámara de generación de aire caliente lamina HR con un espesor⁴⁸ mayor o igual a 2 mm, comercialmente la lámina de acero HR que más se aproxima a este espesor es la de 1/8".

4.4.5 Espesor del aislamiento. Para reducir el paso de energía en forma de calor de la cámara de generación de aire caliente hacia el medio ambiente es necesario utilizar un aislamiento térmico, con el fin de aprovechar al máximo la transferencia de calor ocasionada entre la corriente de aire caliente y las partículas de arena expuestas a esta, dicho material a utilizar en este caso para el aislamiento térmico es lana de vidrio debido a su gran capacidad para evitar el paso del calor hacia el medio ambiente que lo rodea. Teniendo en cuenta que esta máquina está en contacto con vidas humanas se maneja una temperatura superficial igual a 30 C°, con el fin de evitar posibles accidentes laborales por contacto superficial.

⁴⁷ ROMERO. Juan. Diseño y construcción de un horno secador de arena para la producción de mortero p. 54 [En línea] 5 de abril del 2016. [Citado el 4 de febrero del 2.019]. Disponible en <<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/11869>>

⁴⁸ MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO, sección II, P 22. [Citado el 4 de febrero del 2.019].

Para determinar el espesor del aislamiento térmico en este caso el espesor de lana de vidrio es necesario determinar el número de Reynolds, con el fin de identificar en que régimen se comporta el fluido dentro de la cámara de generación de aire caliente.

Para determinar el número de Reynolds⁴⁹ se utiliza la siguiente ecuación;

$$Re = \frac{Vf * d}{\nu}$$

Donde;

Re= Numero de Reynolds

Vf= Velocidad del fluido

V= Viscosidad cinemática del fluido

La viscosidad cinemática del fluido en este caso aire a 1 atm de presión y con una temperatura de 300 C°, se determina mediante la imagen 26, la cual hace referencia a la tabla de las propiedades del aire según el autor Cengel, donde se identifica que el valor de dicha viscosidad es igual a 4,765 x 10⁻⁵ m/s.

Imagen 26. Tabla propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. T, °C	Densidad ρ, kg/m³	Calor específico c _p , kJ/kg · K	Conductividad térmica k, W/m · K	Difusividad térmica α, m²/s	Viscosidad dinámica μ, kg/m · s	Viscosidad cinemática ν, m²/s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158 × 10 ⁻⁶	8.636 × 10 ⁻⁶	3.013 × 10 ⁻⁵	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036 × 10 ⁻⁶	1.189 × 10 ⁻⁵	5.837 × 10 ⁻⁶	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252 × 10 ⁻⁵	1.474 × 10 ⁻⁵	9.319 × 10 ⁻⁶	0.7449
-40	1.541	1002	0.02057	1.356 × 10 ⁻⁵	1.527 × 10 ⁻⁵	1.008 × 10 ⁻⁵	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465 × 10 ⁻⁵	1.579 × 10 ⁻⁵	1.087 × 10 ⁻⁵	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578 × 10 ⁻⁵	1.630 × 10 ⁻⁵	1.169 × 10 ⁻⁵	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696 × 10 ⁻⁵	1.680 × 10 ⁻⁵	1.252 × 10 ⁻⁵	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818 × 10 ⁻⁵	1.729 × 10 ⁻⁵	1.338 × 10 ⁻⁵	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880 × 10 ⁻⁵	1.754 × 10 ⁻⁵	1.382 × 10 ⁻⁵	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944 × 10 ⁻⁵	1.778 × 10 ⁻⁵	1.426 × 10 ⁻⁵	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009 × 10 ⁻⁵	1.802 × 10 ⁻⁵	1.470 × 10 ⁻⁵	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074 × 10 ⁻⁵	1.825 × 10 ⁻⁵	1.516 × 10 ⁻⁵	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141 × 10 ⁻⁵	1.849 × 10 ⁻⁵	1.562 × 10 ⁻⁵	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208 × 10 ⁻⁵	1.872 × 10 ⁻⁵	1.608 × 10 ⁻⁵	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277 × 10 ⁻⁵	1.895 × 10 ⁻⁵	1.655 × 10 ⁻⁵	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346 × 10 ⁻⁵	1.918 × 10 ⁻⁵	1.702 × 10 ⁻⁵	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416 × 10 ⁻⁵	1.941 × 10 ⁻⁵	1.750 × 10 ⁻⁵	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487 × 10 ⁻⁵	1.963 × 10 ⁻⁵	1.798 × 10 ⁻⁵	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632 × 10 ⁻⁵	2.008 × 10 ⁻⁵	1.896 × 10 ⁻⁵	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780 × 10 ⁻⁵	2.052 × 10 ⁻⁵	1.995 × 10 ⁻⁵	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931 × 10 ⁻⁵	2.096 × 10 ⁻⁵	2.097 × 10 ⁻⁵	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086 × 10 ⁻⁵	2.139 × 10 ⁻⁵	2.201 × 10 ⁻⁵	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243 × 10 ⁻⁵	2.181 × 10 ⁻⁵	2.306 × 10 ⁻⁵	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565 × 10 ⁻⁵	2.264 × 10 ⁻⁵	2.522 × 10 ⁻⁵	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898 × 10 ⁻⁵	2.345 × 10 ⁻⁵	2.745 × 10 ⁻⁵	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241 × 10 ⁻⁵	2.420 × 10 ⁻⁵	2.975 × 10 ⁻⁵	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593 × 10 ⁻⁵	2.504 × 10 ⁻⁵	3.212 × 10 ⁻⁵	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954 × 10 ⁻⁵	2.577 × 10 ⁻⁵	3.455 × 10 ⁻⁵	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890 × 10 ⁻⁵	2.760 × 10 ⁻⁵	4.091 × 10 ⁻⁵	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871 × 10 ⁻⁵	2.934 × 10 ⁻⁵	4.765 × 10 ⁻⁵	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892 × 10 ⁻⁵	3.101 × 10 ⁻⁵	5.475 × 10 ⁻⁵	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951 × 10 ⁻⁵	3.261 × 10 ⁻⁵	6.219 × 10 ⁻⁵	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004 × 10 ⁻⁴	3.415 × 10 ⁻⁵	6.997 × 10 ⁻⁵	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117 × 10 ⁻⁴	3.563 × 10 ⁻⁵	7.806 × 10 ⁻⁵	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352 × 10 ⁻⁴	3.846 × 10 ⁻⁵	9.515 × 10 ⁻⁵	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598 × 10 ⁻⁴	4.111 × 10 ⁻⁵	1.133 × 10 ⁻⁴	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855 × 10 ⁻⁴	4.362 × 10 ⁻⁵	1.326 × 10 ⁻⁴	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122 × 10 ⁻⁴	4.600 × 10 ⁻⁵	1.529 × 10 ⁻⁴	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398 × 10 ⁻⁴	4.826 × 10 ⁻⁵	1.741 × 10 ⁻⁴	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908 × 10 ⁻⁴	5.817 × 10 ⁻⁵	2.922 × 10 ⁻⁴	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664 × 10 ⁻⁴	6.630 × 10 ⁻⁵	4.270 × 10 ⁻⁴	0.7639

Nota: Para gases ideales, c_p, k, μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ, ν y α a una presión P' distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de ρ a la temperatura dada por P' (en atm) y cuando se dividen ν y α entre P' (en atm).
Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1980; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, y P. Hestermann, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Fuente: CENGEL, Yunus. Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones. [En línea], [Citado el 6 de febrero del 2.019], Disponible en <<https://studylib.es/doc/4865437/anexo-1--tablas-de-las-%20propiedades-del-aire-a-1-atm-de-pr...>>

⁴⁹ MOTT, Robert. Mecánica de fluidos, sexta edición, P 230 [En línea]. [Citado el 6 de febrero del 2.019]. Disponible en <<https://deymerg.files.wordpress.com/2013/07/mecanica-de-fluidos-robert-mott-6ta-edicion.pdf>>

Reemplazando este valor se tiene;

$$Re = \frac{1,5 \text{ m/s} * 0,25\text{m}}{4,765 * 10^{-5}\text{m/s}} = 7869$$

Según el número de Reynolds determinado anteriormente el fluido se comporta de manera turbulenta.

Ahora se calcula la transmisión superficial del calor con el medio que lo rodea, donde se mezclan las formas de transferencia de calor conectivas y radioactivas, especialmente cuando el fluido con el que se trabaja es aire.

El coeficiente de transmisión de calor h , se define como la cantidad de flujo de calor que pasa a través de una superficie en estado estacionario, dividida por la diferencia de temperatura entre dicha superficie y su entorno.

En general, el coeficiente⁵⁰ superficial de transmisión de calor viene dado por lo siguiente;

$$h = h_r + h_{cv} \text{ (W/m}^2\text{.K)}$$

Donde;

h_r = parte radioactiva del coeficiente superficial de transmisión de calor

h_{cv} =parte convectiva del coeficiente superficial de transmisión de calor

El coeficiente superficial debido a la transferencia de calor por radiación está dado por;

$$h_r = a_r * C_r$$

a_r es el factor temperatura y viene definido por lo siguiente;

$$a_r = \frac{T1^4 - T2^4}{T1 - T2} = \frac{303,15^4 - 301,15^4}{303,15 - 301,15} = 110,339 * 10^6 \text{ K}^3$$

C_r es el coeficiente de radiación de la superficie, se define por;

$$C_r = \varepsilon * \sigma$$

⁵⁰ ISOVER. Manual de aislamiento en la industria p. 20. [Citado el 10 de marzo del 2019]. Disponible en <<https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/la-guia-isover-soluciones-aislamiento-2018.pdf>>

Donde;

ε =Emisividad del material

σ =Constante de Stefan Boltzman (Imagen 27)

Imagen 27. Emisividad y constante de Stefan Boltzman

Superficie	ε	σ W/(m ² · K ⁴)
aluminio brillante	0,05	0,28 · 10 ⁻⁸
aluminio oxidado	0,13	0,74 · 10 ⁻⁸
chapa de metal galvanizado, limpio	0,26	1,47 · 10 ⁻⁸
chapa de metal galvanizado, sucio	0,44	2,49 · 10 ⁻⁸
acero austenítico	0,15	0,85 · 10 ⁻⁸
plancha de aluminio-zinc	0,18	1,02 · 10 ⁻⁸
superficies no metálicas	0,94	5,33 · 10 ⁻⁸

Fuente: ISOVER. Manual de aislamiento en la industria p. 20[En línea]. Disponible en <<https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/la-guia-isover-soluciones-aislamiento-2018.pdf>>

Reemplazando los valores para el acero se tiene lo siguiente;

$$C_r = 0,15 * 0,85 * 10^{-8} W/m^2 * K^4$$

$$C_r = 1,275 * 10^{-8} W/m^2 * K^4$$

Entonces;

$$h_r = a_r * C_r$$

$$h_r = (110,339 * 10^6 K^3) * 1,275 * 10^{-8} W/m^2 * K^4$$

$$h_r = 0,1406 W/m^2 * K$$

El coeficiente superficial de transferencia de calor por convección⁵¹ para tuberías al aire abierto y con régimen turbulento está dado por la siguiente ecuación;

$$h_{cv} = 8,9 \frac{Vf^{0,9}}{De^{0,1}}$$

⁵¹ ISOVER. Manual de aislamiento en la industria P 20.[En línea]5 de marzo del 2.008 [Citado el 11 de marzo del 2019]. Disponible en <<https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/la-guia-isover-soluciones-aislamiento-2018.pdf>>

Donde;

De= Diámetro exterior del ducto

$$h_{cv} = 8,9 \frac{\left(1,5 \frac{m}{s}\right)^{0,9}}{(0,25m)^{0,1}}$$

$$h_{cv} = 14,725W/m^2 * K$$

Entonces la transmisión superficial de calor es igual a;

$$h = 0,1406 W/m^2 * K + 14,725W/m^2 * K$$

$$h = 14,8656 W/m^2 * K$$

Teniendo la transmisión superficial de calor se calcula el factor C, con el fin de determinar el espesor⁵² del aislamiento en mm;

$$C = \frac{2 * \lambda}{h} * \left[\left(\frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_{se} - \theta_a} \right) - 1 \right]$$

Donde;

λ =Conductividad térmica lana de vidrio (0,032 w/m*k)

θ_i =Temperatura interior

θ_a =Temperatura exterior

θ_{se} =Temperatura superficial estimada

h= Transmisión superficial de calor

$$C = \frac{2 * 0,032 w/m * k}{14,8656 W/m^2 * K} * \left[\left(\frac{573,15 K - 301,15K}{303,15K - 301,15K} \right) - 1 \right]$$

$$C = 0,05812$$

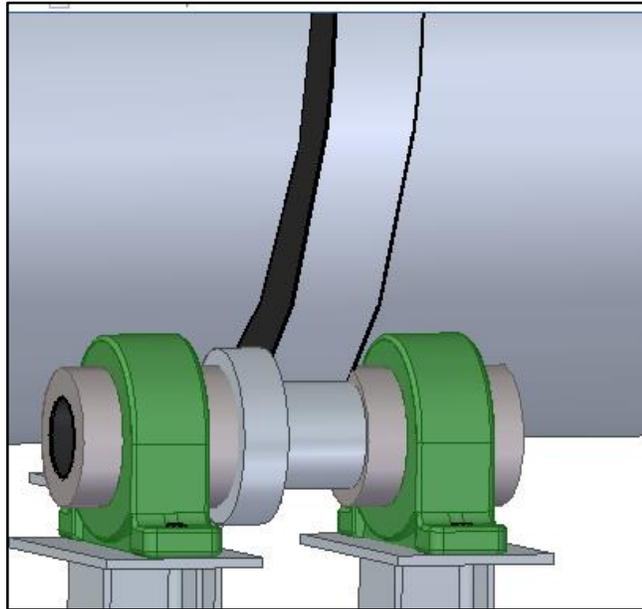
Con las anteriores expresiones y en función del diámetro sin aislamiento de la tubería en mm se obtiene el valor del espesor del aislamiento de lana de vidrio en mm el cual es igual a 35 mm según el anexo G, se selecciona el espesor comercial más cercano a este valor el cual es de 1 ¼”.

⁵² ISOVER. Manual de aislamiento en la industria P 20.[En línea]5 de marzo del 2.008 [Citado el 11 de marzo del 2019].Disponible en <<https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/la-guia-isover-soluciones-aislamiento-2018.pdf>>

4.5 SISTEMA TRANSMISION DE POTENCIA

4.5.1 Rodillos soporte del secador. Los rodillos (ver imagen 28) cumplen con la función de soportar la carga transmitida por el peso de la cámara de secado y a su vez generar la rotación de la misma, debido a esto dentro del análisis de cargas estáticas tienen un papel muy importante al ser el elemento más crítico del sistema.

Imagen 28. Rodillo



Fuente: elaboración propia

Estos rodillos hacen contacto con los anillos de rodadura ubicados en la parte exterior del cilindro rotativo, con el fin de guiar y mantener en línea la rotación del mismo, transmitiendo este movimiento al material ubicado en la parte interior de la cámara de secado y a su vez generando una caída en forma de cortina del material con el objetivo de poner en contacto las partículas de arena con el aire caliente.

Para determinar las ecuaciones de las reacciones en las chumaceras (apoyos) los rodillos se analizarán a manera de una viga sobre apoyos fijos, realizando el diagrama de cuerpo libre correspondiente a los rodillos como se muestra en la imagen 29.

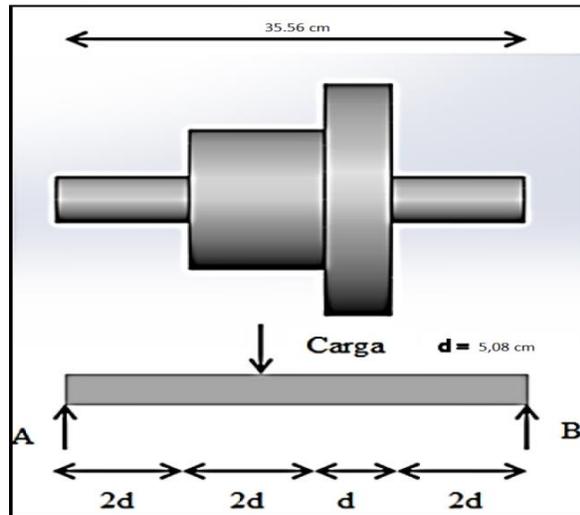
Donde;

A= Reacción 1

B= Reacción 2

Carga= Peso cámara de secado

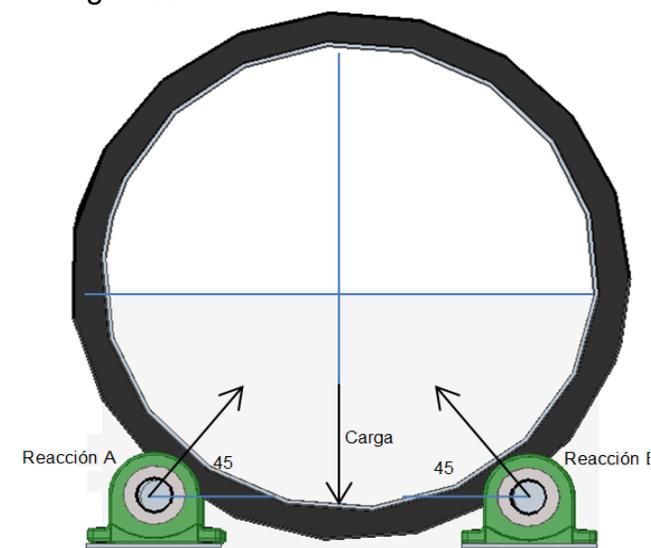
Imagen 29. Diagrama cuerpo libre rodillo



Fuente: elaboración propia

La carga transmitida a los rodillos corresponde al peso de la cámara de secado, sus componentes y la materia prima depositada en su interior, esta carga se divide en 2 debido a que existen dos rodillos para cada sección del secador a diseñar. La reacción de la fuerza en el eje Y, está relacionada directamente con la carga mencionada anteriormente, la cual se debe multiplicar por el seno de su ángulo, en este caso se tiene un ángulo de 45° , en este proyecto se desprecia el efecto de rozamiento en el análisis estático debido a que las chumaceras lo reducen considerablemente. La ubicación de los rodillos que soportan la cámara de secado se muestra en la imagen 30, a continuación;

Imagen 30. Posición rodillos



Fuente: elaboración propia

Para los cálculos de las reacciones en los apoyos o rodillos se utilizara la fuerza determinada por el diagrama de cuerpo libre de la cámara de secado, la cual tiene un valor de 35570,254N.

Las siguientes ecuaciones se determinaron mediante el diagrama de cuerpo libre de los rodillos (Imagen 29), involucrando las fuerzas que actúan en ellos y las reacciones de los mismos;

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A + R_B - carga = 0$$

$$R_A + R_B = carga$$

$$R_A + R_B = (\text{sen } 45) \left(\frac{35570,254N}{2} \right)$$

$$\sum M_B = 0$$

$$7d * R_A = 4d * carga$$

$$7(5,08) * R_A = 4(5,08) * \text{sen}(45) * \left(\frac{35570,254N}{2} \right)$$

$$35,36 * R_A = 255543,993N$$

$$R_A = 361393,78/35,36 = 7226,922N$$

$$R_B = (\text{sen } 45) \left(\frac{35570,254N}{2} \right) - R_A$$

$$R_B = 12575,983N - 7226,922N = 5349,0601N$$

Para identificar si existe o no deslizamiento entre los elementos de rodadura del secador, este debe cumplir con una desigualdad⁵³ estipulada experimentalmente, la cual vincula el coeficiente de fricción estática y la normal, que es la magnitud de la fuerza que ejerce una superficie sobre la otra;

$$f_s \leq \mu_s * N$$

⁵³ SERWAY, Raymond. Física para ciencias e ingeniería. Volumen 1, séptima edición. p. 120 [En línea] 2008. [Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://fis.ucv.cl/docs/FIS-131/textos/Serway-septima-edicion-castellano.pdf>>

Donde;

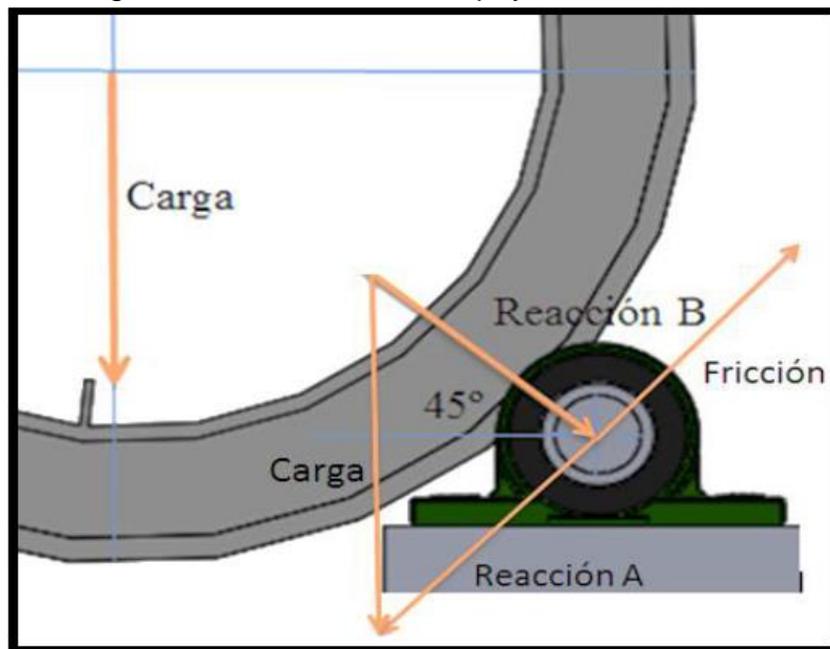
f_s = Fuerza de fricción estática

μ_s = Coeficiente de fricción estática

N = Fuerza normal

La magnitud de la fuerza de fricción estática es igual a la magnitud de la fuerza aplicada en este caso corresponde al peso total de la cámara de secado lo cual hace referencia a la reacción A en los rodillos, esto se evidencia en la imagen 31 expuesta a continuación;

Imagen 31. Reacción en los apoyos



Fuente: DELGADO, Javier. Diseño de secador de arena para la producción de mortero seco, [citado el 20 de marzo del 2.019].

Entonces;

$$f_s = R_A$$

$$R_A = 7226,922N$$

El coeficiente de fricción estática como se mencionó anteriormente varía según la naturaleza de la superficie de los materiales que están en contacto. Los intervalos de los valores típicos fluctúan de 0,03 a 1,0. La tabla 8 indica algunos valores reportados.

Tabla 8. Valores coeficiente fricción estática

Coeficientes de fricción		
	μ_s	μ_k
Hule sobre concreto	1.0	0.8
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Vidrio sobre vidrio	0.94	0.4
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Madera sobre madera	0.25–0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Madera encerada sobre nieve seca	—	0.04
Metal sobre metal (lubricado)	0.15	0.06
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Hielo sobre hielo	0.1	0.03
Articulación sinovial en humanos	0.01	0.003

Nota: Todos los valores son aproximados. En algunos casos el coeficiente de fricción puede superar 1.0.

Fuente: SARWEY. Física para ciencias e ingeniería, Volumen 1, Séptima edición. [Citado el 20 de marzo del 2.019]. Disponible en <<http://fis.ucv.cl/docs/FIS-131/textos/Serway-septima-edicion-castellano.pdf>>

Las superficies en contacto de los elementos en rodadura corresponden a acero por lo que según la tabla expuesta anteriormente el coeficiente de fricción estática para este caso tiene un valor de 0,74.

$$7226,922N \leq 0,74 * (\text{sen } 45)(35570,254N/2)$$

$$7226,922N \leq 9306,228N$$

La desigualdad se cumple cuando las superficies no presentan deslizamiento, en este caso las superficies de rodadura de la cámara de secado giran al mismo tiempo sin presentar deslizamiento.

La selección del material adecuado es el primer paso para el diseño de los rodillos⁵⁴, para este caso en específico se consideró la selección del acero AISI 4340 (Aleación de CrNiMo6) el cual presenta una buena resistencia y una alta tenacidad, siendo de esta manera un acero bonificado para maquinaria, una de sus aplicaciones más comunes está en la fabricación de ejes.

Para mejorar las propiedades del material seleccionado este será sometido a tratamientos térmicos, esto con la finalidad de aumentar la resistencia y por consiguiente su vida útil, La resistencia a la tensión del material seleccionado es;

$$s_{ut} = 745 \text{ MPa}$$

$$s_y = 470 \text{ MPa}$$

⁵⁴ ROMERO, Juan. Diseño y construcción de un horno secador de arena para la producción de mortero p. 54 [En línea] 5 de abril del 2016. [Citado el 4 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/11869>>

Debido a que los rodillos son analizados como ejes de sección variable, estos presentan concentraciones de esfuerzos en los cambios de sección del mismo, aumentando la posibilidad de falla en estas zonas críticas, por este motivo es necesario realizar un análisis de falla de los rodillos el cual, puede realizarse según varias teorías como la teoría de Gerber, ASME elíptica, Soderberg y la utilizada para el análisis de este caso, la teoría de falla de Goodman modificada al ser la más conservadora.

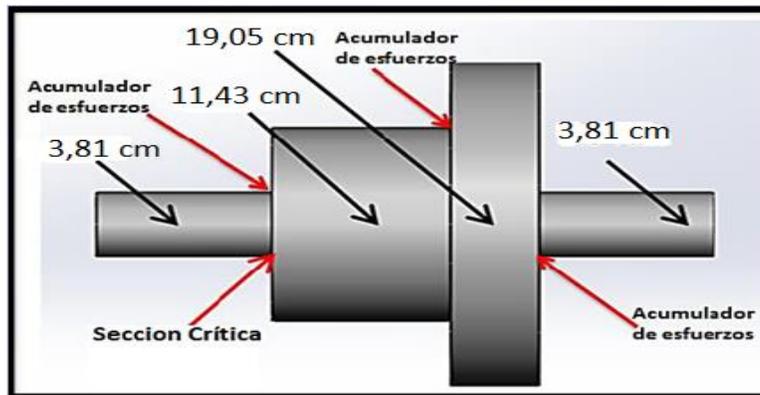
No es necesario evaluar los esfuerzos en todos los puntos de un eje; hacerlo en unas cuantas partes posiblemente críticas es suficiente. Por lo general, estas ubicaciones se localizan en la superficie exterior, en ubicaciones axiales donde el momento flexionante es grande, donde el par de torsión está presente y donde existen concentraciones de esfuerzos, en este caso en los cambios de sección presentes en el rodillo a diseñar.

La teoría de dimensionamiento de Goodman⁵⁵ modificada, el diámetro mínimo de los elementos giratorios (rodillos) posee la siguiente ecuación;

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left(\frac{1}{S_e} (4(k_t M_a)^2 + 3(k_{ts} T_a)^2) \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} (4(k_t M_m)^2 + 3(k_{ts} T_m)^2) \right)^{\frac{1}{3}}$$

Debido a que el eje presenta cambios de sección y con ello lugares críticos con una mayor posibilidad de falla por concentraciones de esfuerzos (Imagen 32), se realizan redondeos con el fin de disminuir los efectos generados por estos cambios de sección. Para el desarrollo del diseño de los rodillos se utilizara un redondeo con un radio de 5mm en los cambios de sección.

Imagen 32. Secciones rodillo



Fuente: elaboración propia

⁵⁵ BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 352 [En línea]. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

En la actualidad existen diferentes métodos y teorías para estimar los límites de resistencia a la fatiga. Debido a que las estimaciones que se obtuvieron a partir de las cantidades de datos provenientes de muchas fuentes poseen una desviación significativa con respecto a los ensayos realizados en laboratorios, debe existir una compensación mediante la aplicación de factores de diseño que cumplen con un objetivo el cual es modificar el límite de resistencia a la fatiga.

Debido a que el límite de resistencia a la fatiga se ve afectado por diferentes aspectos, los cuales son, material (composición), manufactura (método, tratamiento térmico, corrosión, acabado superficial), entorno(temperatura, estado de esfuerzos) y diseño (tamaño, forma, vida, concentración de esfuerzos, velocidad, rozamiento); no es posible esperar que el límite de resistencia a la fatiga en un elemento mecánico o estructural iguale los valores que se determinan mediante una prueba de laboratorio.

Marín identifico estos aspectos responsables de modificar el límite de resistencia a la fatiga por lo que resolvió el problema ajustándolo por medio de correcciones sustractivas o multiplicativas, determinando finalmente lo que sería denominada la ecuación de Marín con el fin de determinar el límite de resistencia a la fatiga contemplando los factores que la modifican.

La ecuación de Marín⁵⁶ se escribe de la siguiente manera;

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Donde;

Ka= Factor de modificación por la condición superficial

Kb= Factor de modificación por el tamaño

Kc= Factor de modificación por la carga

Kd= Factor de modificación por la temperatura

Ke= Factor de confiabilidad

Kf= Factor de confiabilidad

S´e= Limite de resistencia a la fatiga en viga giratoria

Se= Limite de resistencia a la fatiga en la ubicación critica de una parte de maquina en la geometría y condición de uso

4.5.1.1 Factor de superficie Ka. Este factor depende de la calidad del acabado de la superficie del material y de la resistencia a la tensión del mismo; para la fabricación de los rodillos se utilizara un torno y se realizara el maquinado en frio, con esta información se determinan los valores a y b según la tabla 9.

⁵⁶ BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 273 [En línea].Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

Tabla 9. Valores a y b

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: BUDYNAS. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, P 273. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/diseño-en-ingeniería-mecánica-shigley.html>>

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

$$a = 4,51 \text{ Mpa}$$

$$b = -0,265$$

$$K_a = a * S_{ut}^b = 4,51(745)^{-0,265} = 0,7817$$

4.5.1.2 Factor de tamaño K_b . Depende de la dimensión del rodillo analizado en este caso como un eje, los resultados de múltiples ensayos para flexión y torsión se expresan como se muestra en la tabla 10;

Tabla 10. Factor K_b

$k_b =$	$(d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107}$	$0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg}$
	$0.91d^{-0.157}$	$2 < d \leq 10 \text{ pulg}$
	$(d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107}$	$2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$
	$1.51d^{-0.157}$	$51 < d \leq 254 \text{ mm}$

Fuente: BUDYNAS. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, P 273. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/diseño-en-ingeniería-mecánica-shigley.html>>

Según las dimensiones del rodillo a diseñar el valor de K_b está determinado por;

$$k_b = (d/0,3)^{-0,107} = (1,5/0,3)^{-0,107} = 0,8418$$

4.5.1.3 Factor de carga K_c . Está relacionado con el tipo de carga a la que será sometido el elemento a diseñar como se indica en la imagen 33, a continuación;

Imagen 33. Factor K_c

$k_c =$	1	flexión
	0.85	axial
	0.59	torsión ¹⁷

Fuente: BUDYNAS. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, P 273. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/diseño-en-ingeniería-mecánica-shigley.html>>

Según el tipo de carga al que serán sometidos los rodillos se determina el valor de K_c , en este caso tiene un valor de;

$$k_c = 1$$

4.5.1.4 Factor de temperatura K_d . Este factor corrige las modificaciones causadas en la resistencia a la fatiga de los rodillos a diseñar provocadas por la temperatura de operación durante el desempeño de su actividad como elemento de crítico de rodadura, según esto el valor del parámetro K_d se define en la tabla 11;

Tabla 11. Factor K_d

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Fuente: BUDYNAS. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, P 273. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/diseño-en-ingeniería-mecánica-shigley.html>

El valor del factor K_d es equivalente a S_T/S_{RT} , Según esto para una temperatura equivalente a 50 °C, la cual se estima debido a la cercanía de los rodillos con la cámara de secado, el valor del factor es;

$$k_d = 1,01$$

4.5.1.5 Factor de confiabilidad K_e . En la tabla se proporcionan los factores de confiabilidad de algunas confiabilidades estándar especificadas;

Tabla 12. Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: BUDYNAS. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, P 273. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

Se elige un factor de confiabilidad con un porcentaje del 99%, entonces;

$$k_e = 0,814$$

4.5.1.6 El límite de resistencia a la fatiga. Para acero se estimara con base en la imagen 34, teniendo en cuenta que es una pieza giratoria;

Imagen 34. Pieza de viga giratoria

$$S'_e = \begin{cases} 0.506\bar{S}_{ur} \text{LN}(1, 0.138) \text{ kpsi o MPa} & \bar{S}_{ur} \leq 212 \text{ kpsi (1 460 MPa)} \\ 107\text{LN}(1, 0.139) \text{ kpsi} & \bar{S}_{ur} > 212 \text{ kpsi} \\ 740\text{LN}(1, 0.139) \text{ MPa} & \bar{S}_{ur} > 1 460 \text{ MPa} \end{cases}$$

Fuente: BUDYNAS. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, P 273. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

Entonces;

$$S'_e = 0,506 * 745 \text{ MPa} = 376,97 \text{ MPa}$$

Ya obtenidos los datos de los factores de corrección de la resistencia a la fatiga, el paso a seguir es reemplazar los mismos en la ecuación de Marín de la siguiente forma;

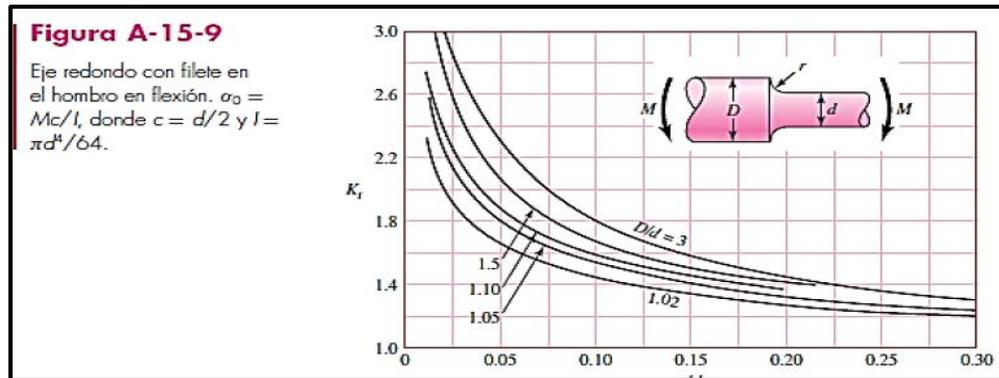
$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

$$S_e = (0,7817) * (0,8418) * (1) * (1,010) * (0,814) * (376,97)$$

$$S_e = 203,93 \text{ MPa}$$

4.5.1.7 Factor de redondeo K_t . Para el redondeo en los cambios de sección se utiliza la relación entre los diámetros del rodillo con el fin de evitar la falla, como se muestra en el grafica 8, a continuación;

Grafica 8. Factor de redondeo



Fuente: BUDYNAS. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, P 273. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

$$\frac{D}{d} = \frac{11,46}{3,81} = 3$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0,5}{3,81} = 0,1312$$

$$k_t = 1,62$$

4.5.1.8 Momentos en el rodillo. Mediante un software de simulación se obtuvo los datos de los diferentes momentos existentes en el rodillo haciendo uso de un análisis estático, estos datos se muestran en el cuadro 12;

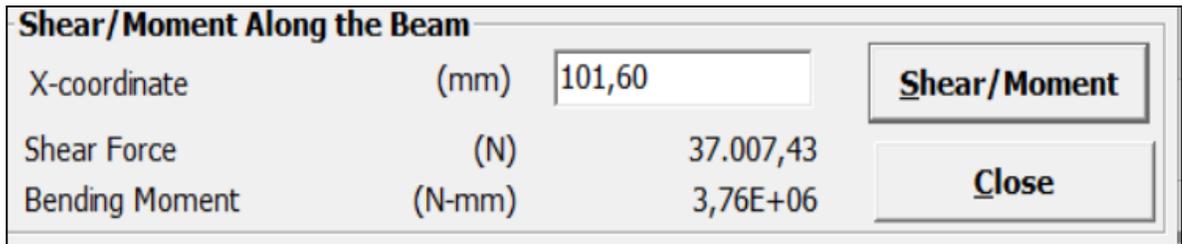
Cuadro 12. Momentos en los rodillos

Momento alternante M_a	Momento medio M_m	Torsión alternante T_a	Torsión medio T_m
3760 Nm	0	0	0

Fuente: elaboración propia con base en Software MDsolids 4.0

El momento alternante M_a , se determinó mediante un análisis estático del rodillo en el punto crítico ubicado en la zona de cambio de sección donde se presenta una concentración de esfuerzos, el valor del momento alternante M_a se evidencia en la imagen 35.

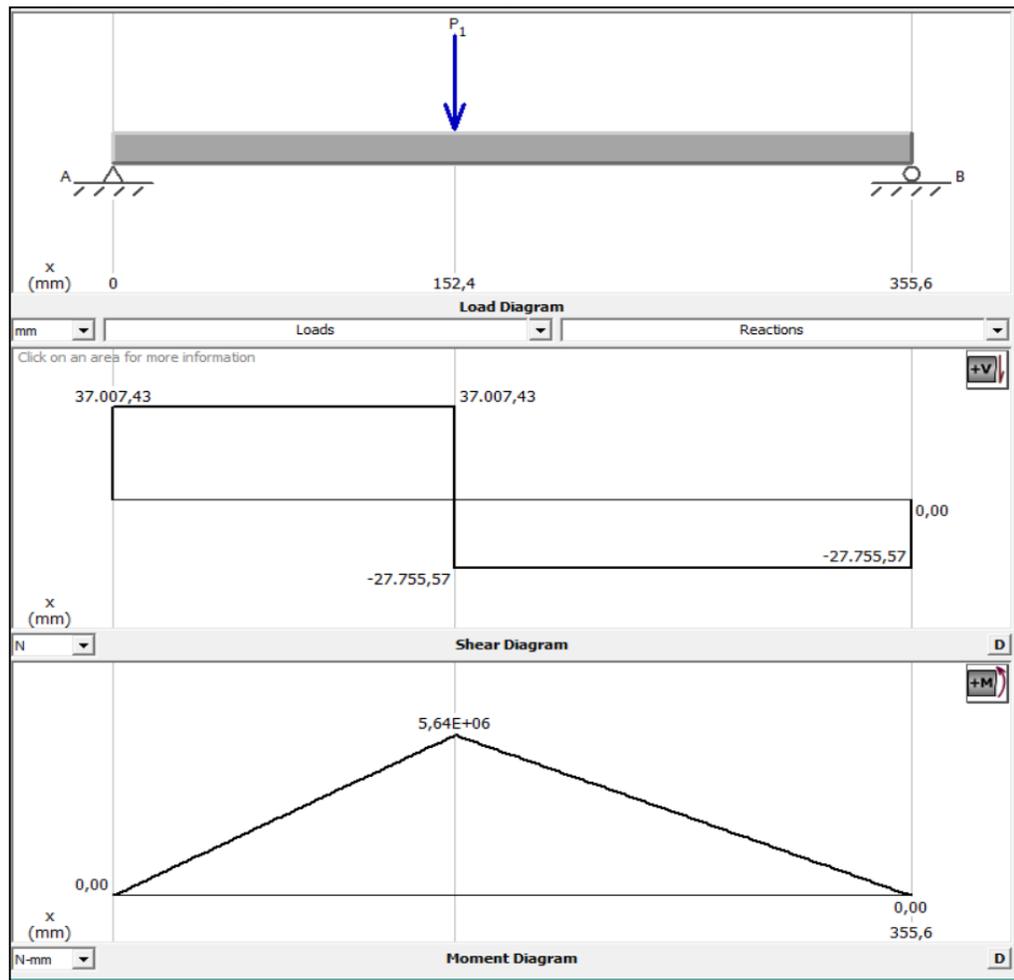
Imagen 35. Momento alternativo Ma



Fuente: Elaboración propia con base en Software MDsolids 4.0

El objetivo de realizar un análisis estático para determinar los momentos en el rodillo es identificar el diámetro mínimo de acuerdo con la teoría de Ed Goodman, los datos obtenidos en el análisis pueden observarse de una mejor manera en el diagrama de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flexionante expuesto en la imagen 36.

Imagen 36. Diagrama de momento y cortante



Fuente: Elaboración propia con base en Software MDsolids 4.0

Finalmente para determinar el diámetro mínimo mediante la teoría de Ed Goodman es necesario seleccionar un factor de seguridad⁵⁷, para el secador a diseñar se utilizara un factor de seguridad n=2.

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left(\frac{1}{s_e} (4(k_t M_a)^2 + 3(k_{ts} T_a)^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{s_{ut}} (4(k_t M_m)^2 + 3(k_{ts} T_m)^2)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)$$

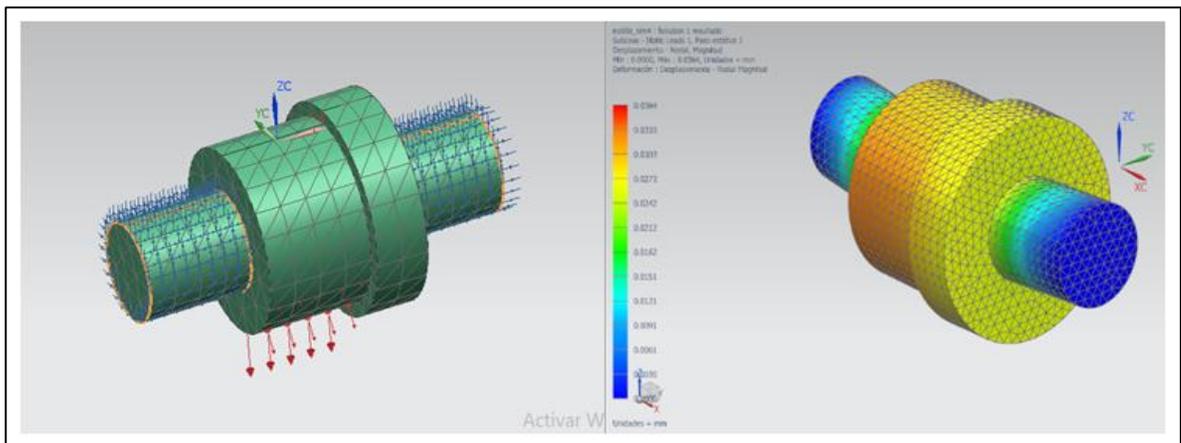
$$d = \left(\frac{16 * 2}{\pi} \left(\frac{1}{203,9 * 10^6} (4(1,62 * 3760Nm)^2)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$d = 8,474 \text{ cm}$$

Mediante la teoría de falla de Ed Goodman se determinó el diámetro mínimo requerido para el diseño de los rodillos, el cual tiene un valor de 8,507 cm, según esta información para la construcción de los mismo es necesario elegir un valor adecuado mediante una estandarización de las chumaceras, ya que estas son comercializadas en su mayoría en pulgadas, por esto para el desarrollo del diseño de los rodillos se usara un diámetro de 3,5 in (8,89 cm) con esto por convección se escogen chumaceras de 3,5 in las cuales son utilizadas comúnmente para soportar cargas elevadas.

Con el fin de simular el desempeño de los rodillos, elementos críticos en este caso, se utilizó un software en el cual son sometidos a las cargas transmitidas por el peso de la cámara de secado (Imagen 37).

Imagen 37. Simulación rodillos



Fuente: elaboración propia

⁵⁷ BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 353 [En línea]. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

Para los rodillos encargados de soportar el peso de la cámara de secado, se tiene una deflexión máxima de 0,0364 mm, la cual no es crítica para el diseño de los mismos, esta deflexión se presenta en la zona de contacto con los anillos de rodadura.

La simulación de los rodillos determino que estos soportan las cargas a las que serán sometidos, ya que el esfuerzo de Von Mises determinado según lo anterior es inferior al esfuerzo de fluencia del material seleccionado para el desarrollo de los rodillos, por ende no deben presentar ningún tipo de falla en operación.

Con el diámetro normalizado según la selección de las chumaceras los factores de Marín serán modificados determinando así un nuevo factor de seguridad.

$$D/d = 11,43/8,89 = 1,285$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0,5}{2,54} = 0,2$$

$$k_t = 1,4$$

$$k_a = 0,7817$$

$$k_b = 0,91(8,89)^{-0,157} = 0,6457$$

$$k_c = 1$$

$$k_e = 0,814$$

$$S_e = (0,7817) * (0,6457) * (1) * (1,010) * (0,814) * (372,5)$$

$$S_e = 154,5763 \text{ MPa}$$

$$8,89 = \left(\frac{16 * n}{\pi} \left(\frac{1}{154,57 * 10^6} (4(1,62 * 3760Nm)^2)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$n = 2,41$$

4.5.2 Selección de las chumaceras para los rodillos. Es una combinación de un rodamiento⁵⁸ radial de bolas, sello, y un alojamiento de hierro fundido de alto grado o de acero prensado, suministrado de varias formas. La superficie exterior del rodamiento y la superficie interior del alojamiento son esféricas, para que la unidad sea auto-alineable.

⁵⁸ NTN. Corporation. Chumaceras P 6 [En línea].Citado el 10 de febrero del 2019]. Disponible en <http://www.matichsa.com.ar/manuales/pdf_new/CATALOGO_AUTOCENTRANTES.pdf>

Los rodamientos ubicados en el interior de las chumaceras permiten a los rodillos girar libremente, reduciendo la fricción casi en su totalidad y disminuyendo así la fuerza necesaria para hacer girar la cámara de secado.

Para la selección de las chumaceras se deben tener 4 parámetros a manera general, los cuales son la carga a soportar, las revoluciones de giro, el mantenimiento y el costo del mismo.

Imagen 38. Catalogo Weston chumaceras

CHUMACERA NO.	DIÁMETRO DE EJE		DIMENSIONES (MM)/(PULGADA)											PERNO	NO. REPUJESTO	NO. CAJA	PESO (kg)		
	d PULGADAS	d MM	H	L	J	A	N	NI	HI	HD	S	B							
UCP X05-14	7/8																		
UCP X05-15	15/16		44.4	159	119	51	17	20	17	85	15.9	38.1	M14	UC X05-14					
UCP X05		25												UC X05	PX05				1.5
UCP X05-16	1													UC X05-16					
UCP X06-18	1-1/8		47.6	175	127	54	17	20	20	93	17.5	42.9	M14	UC X06-18		PX06			2.1
UCP X06		30												UC X06					
UCP X06-19	1-3/16													UC X06-19					
UCP X06-20	1-1/4		54	203	144	57	17	20	21	105	19	49.2	M14	UC X06-20		PX07			2.7
UCP X07-22	1-3/8													UC X07-22					
UCP X07		35	58.7	222	156	65	20	23	23	112	19	49.2	M16	UC X07		PX08			3.5
UCP X07-23	1-7/16													UC X07-23					
UCP X08-24	1-1/2		58.7	222	156	67	20	23	25	116	19	51.6	M16	UC X08-24		PX09			3.7
UCP X08		40												UC X08					
UCP X09-26	1-5/8													UC X09-26					
UCP X09-27	1-11/16		63.5	240	171	71	20	23	24	126	22.2	55.6	M16	UC X09-27		PX10			4.6
UCP X09-28	1-3/4													UC X09-28					
UCP X09		45												UC X09					
UCP X10-30	1-7/8		69.8	260	184	79	25	28	29	137	25.4	65.1	M20	UC X10-30		PX11			6.5
UCP X10-31	1-15/16													UC X10-31					
UCP X10		50												UC X10					
UCP X10-32	2		76.2	280	203	81	25	28	31	149	25.4	65.1	M20	UC X10-32		PX12			7.7
UCP X11-34	2-1/8													UC X11-34					
UCP X11		55	76.2	286	203	83	25	28	33	152	30.2	74.6	M20	UC X11		PX13			8.1
UCP X11-35	2-3/16													UC X11-35					
UCP X11-36	2-1/4		88.9	320	229	85	27	30	34	170	33.3	77.8	M22	UC X11-36		PX14			10.2
UCP X12		60												UC X12					
UCP X12-38	2-3/8		88.9	330	229	92	27	30	35	175	33.3	82.6	M22	UC X12-38		PX15			10.8
UCP X12-39	2-7/16													UC X12-39					
UCP X13-40	2-1/2		101.6	378	283	99	27	30	37	194	34.1	85.7	M22	UC X13-40		PX16			15.3
UCP X13		65	101.6	380	283	102	27	30	40	200	39.7	96	M22	UC X13		PX17			16.1
UCP X14-44	2-3/4													UC X14-44					
UCP X14		70	101.6	381	283	106	33	36	40	206	42.9	104	M22	UC X14		PX18			19.1
UCP X15		75												UC X15					
UCP X15-48	3													UC X15-48					
UCP X16		80												UC X16					
UCP X17-52	3-1/4		127	432	337	120	120	120	45	244	49.2	117.5	M27	UC X17-52		PX20			30.4
UCP X17		85												UC X17					
UCP X18-56	3-1/2													UC X18-56					
UCP X18		90												UC X18					
UCP X20		100												UC X20					
UCP X20-64	4													UC X20-64					

Fuente: WESTON. Catalogo chumaceras. [En línea]. [Citado el 25 de marzo del 2.019]. Disponible en <<http://fastertools.com.mx/wp-content/uploads/2017/06/weston-tools-web2016-09-Chumacera.pdf>>

Las chumaceras seleccionadas por catálogo (ver imagen 37) según el diámetro del eje, la carga y las revoluciones del giro para el secador a diseñar son UCP X18-56, las cuales presentan poco mantenimiento y soportan cargas hasta de 5 toneladas (imagen 39).

Imagen 39. Chumacera UCP X18-56



Fuente: WESTON. Chumaceras [Citado el 25 de marzo del 20.19]. Disponible en <<http://fastertools.com.mx/wpcontent/uploads/2017/06/weston-tools-web2016-09-Chumacera.pdf>>

4.5.3 Pernos para chumaceras. Se debe cumplir una condición⁵⁹ para realizar los cálculos de sujeción de las chumaceras con respecto al esfuerzo cortante en los pernos el cual será el responsable de provocar la falla, dicha condición es $f_{aplicada} \leq f_{calculada}$, que es la resistencia cortante de un tornillo.

Para determinar la $f_{calculada}$ se debe hacer uso de la siguiente ecuación;

$$f_{calculada} = n * 0,5 * F_{ub} * \frac{A}{\gamma_{m2}}$$

Donde;

n= número de planos de corte (Imagen 40)

Fu= Tensión ultima del acero de fabricación de los tornillos (Imagen 41)

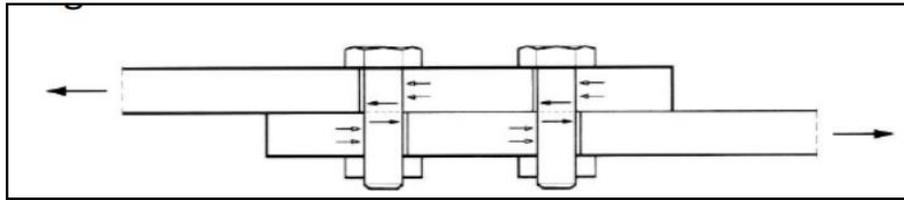
A= Área del tornillo (Imagen 44)

γ_{m2} = Coeficiente de minoración del acero estructural para uniones (Anexo H).

Los pernos adecuados para las chumaceras según catalogo son aquellos con denominación M22 (Imagen 40), con un diámetro nominal igual a 22mm y fabricados de acero ASTM-A706.

⁵⁹ VILLORIA. Arianna. Diseño y cálculo de uniones con tornillos no pretensados P 3. [En línea]. [Citado el 10 de febrero del 2019]. Disponible en <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16477/uniones%20atornilladas.pdf>>

Imagen 40. Cortante simple



Fuente: ESTRUCTURAS METALICAS. [En línea] Disponible en [http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/411/contenido público/recursos/tema07.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/411/contenido_p%C3%BAblico/recursos/tema07.pdf)

Imagen 41. Esfuerzos cortantes máximos en pernos

Grado	ASTM	f_y min (kg/cm ²)	f_y max (kg/cm ²)	f_u min (kg/cm ²)	f_u/f_y (min)
40	A 615	2,800	--	4,200	--
60	A 615	4,200	--	6,300	--
75	A 615	5,300	--	7,000	--
60	A 706	4,200	5,500	5,600	1.25

Fuente: ASTM, American Society of Testing Materials. [En línea] Disponible en <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/A706A706M-14-SP.htm>

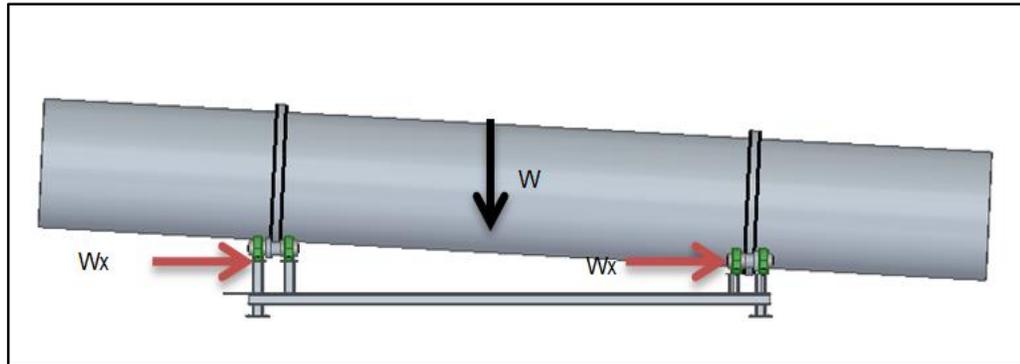
Imagen 42. Tornillo M22

TORNILLO HEXAGONAL ROSCA COMPLETA													DIN 933								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">GRADO DE RESISTENCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8.8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10.9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>12.9</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		GRADO DE RESISTENCIA		8.8		10.9		12.9											
GRADO DE RESISTENCIA																					
8.8																					
10.9																					
12.9																					
mm																					
Rosca	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30							
Paso	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2	2.5	2.5	2.5	3	3	3.5							
k	2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	8.8	10	11.5	12.5	14	15	17	18.7							
e	Grado A	7.66	8.79	11.05	14.38	18.9	21.1	24.49	26.75	30.14	35.72	35.98	45.2	50.85							
	Grado B	-	8.63	10.89	14.2	18.72	20.88	23.91	26.17	29.56	35.03	39.55	45.2	50.85							
S	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46							
L	8-40	8-40	8-50	12-60	16-60	20-80	25-80	30-100	30-100	40-100	50-100	50-100	60-100	70-100							

Fuente: GESTIÓN DE COMPRAS. Tornillos y pernos. Disponible en http://www.gestiondecompras.com/files/products/mechanical_components_hardware/pernos_tornilleria_tuercas_arandelas_varilla_roscada_din_933_934_7989_125_127_4034_975_555_iso.pdf

Para llevar a cabo el cálculo correspondiente, es necesario realizar el diagrama de cuerpo libre y descomponer las fuerzas con el fin de determinar el esfuerzo cortante al que los pernos estarán sometidos, ver imagen 42.

Imagen 43. Esfuerzo sobre los pernos



Fuente: elaboración propia

Imagen 44. Tornillos ordinarios de acero

Tipo	Diámetro de caña mm	Área de la sección		Solicitación de agotamiento	
		Espiga (A cm ²)	Resist. (A _r cm ²)	Simple cort. ¹⁾ (t)	Tracción ²⁾ (t)
T 10	10	0,78	0,580	1,216	1,113
T 12	12	1,13	0,843	1,763	1,618
T 16	16	2,01	1,57	3,135	3,014
T 20	20	3,14	2,75	4,898	5,280
T 22	22	3,80	3,03	5,928	5,817
T 24	24	4,52	3,53	7,051	6,777
T 27	27	5,72	4,56	8,923	8,755
T 30	30	7,06	5,61	11,013	10,771
T 33	33	8,55	6,94	13,338	13,324
T 36	36	10,17	8,17	15,865	15,686

Fuente: UNIONES POR TORNILLOS. Chumaceras [Citado el 25 de marzo del 20.19]. Disponible en <https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/ElementosConstruccionAnejo.PDF>

En el diagrama la fuerza W es igual a 71140,511 N, por este motivo la componente del peso para un ángulo de 2° es $Wx=71140,511 \cdot \sin(2) = 2482,757$, este es el valor de la fuerza en los pernos, para los cálculos este valor hace referencia a $f_{aplicada}$.

$$f_{calculada} = 1 * \frac{1}{2} * (56 * 10^6 \text{ kg/m}^2) * \frac{5,72 * 10^{-4} \text{ m}^2}{1,25} = 12812,8 \text{ N}$$

Con un factor de seguridad igual a;

$$n = \frac{f_{calculada}}{f_{aplicada}} = \frac{12812,8}{2482,757} = 5,1607$$

4.5.2 Cálculo del peso de la cámara de secado y los elevadores. La transmisión de potencia del secador a diseñar tiene un papel importante debido a que es la encargada de generar el movimiento de rotación de la cámara de secado, ocasionando la caída en forma de cortina del material y haciendo que este transite a lo largo del cilindro, esto con ayuda de los dispositivos elevadores.

Para generar el movimiento de rotación el secador posee un sistema motriz de tipo piñón-cadena, transmitiendo la potencia generada por el motoreductor a uno de los rodillos sobre los cuales se encuentra apoyada la cámara de secado.

El primer paso para determinar los componentes que integran el sistema motriz es calcular la potencia que requiere el motoreductor para realizar el movimiento de rotación de la cámara de secado, teniendo en cuenta la materia prima que transita en su interior, dicha potencia se calcula con base al peso de los componentes que requieren movimiento, en este caso el peso de la cámara de secado más el peso de los elevadores.

El peso total de la cámara de secado es;

$$\text{Peso camara de secado} = 7251,836 \text{ Kg}$$

El peso de los dispositivos elevadores está dado por;

$$\text{Peso elevadores} = m * \text{numero de elevadores}$$

$$\text{Peso elevadores} = 8 \text{ Kg} * 27 = 216 \text{ Kg}$$

El peso total del secador se determina mediante la suma del peso de la cámara de secado más el peso de los dispositivos elevadores, con esto se tiene que;

$$\text{Peso total secador} = 7251,836 \text{ Kg} + 216 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso total secador} = 7467,83$$

Para contemplar cualquier tipo de incertidumbre se asume un factor de seguridad sobre el peso total del secador rotativo del 30%, entonces con base en lo anterior se tiene que;

$$\text{Peso final} = \text{Peso total} + 30\%$$

$$\text{Peso final} = 7467,83 \text{ Kg} + 30\%$$

$$\text{Peso final} = 10.000 \text{ Kg}$$

4.5.3 Calculo de potencia. El aspecto mecánico más relevante es la estimación de la potencia requerida por el motor para hacer girar la carcasa o cámara de secado, esta potencia⁶⁰ se determina por medio de la siguiente ecuación;

$$Potencia (Kw) = 4,5x10^{-4} * W_t * V_p + 1,2x10^{-4} * B * D_s * f_r * n$$

Donde;

W_t = Peso final de la cámara de secado

V_p = Velocidad periférica de la cámara de secado en m/s

B = Contenido másico del solido en Kg

D_s = Diámetro del secador

f = Promedio del número de caídas del solido por revolución de la cámara de secado (un valor razonable está comprendido entre 1 y 2)

n = Velocidad de rotación de la cámara de secado en RPM

La velocidad de rotación de la cámara de secado y su velocidad periférica son 5 RPM y 0,314 m/s respectivamente.

Entonces reemplazando los valores se tiene;

$$Potencia(Kw) = 4,5x10^{-4} * 10.000Kg * 0,314 \frac{m}{s} + 1,2x10^{-4} * 3375,836 Kg * 1 * 1,2 m * 5 RPM$$

$$Potencia(Kw) = 3,3755 Kw = 4,5265 HP$$

4.5.4 Calculo para la selección del motor. Para la selección del motor se debe tener en cuenta las rpm a las que debe girar la cámara de secado, al ser tan bajas se recomienda la integración de una reducción.

El secador rotativo debe girar a 5 rpm, para que esto suceda se debe determinar la relación de velocidad entre la cámara de secado y el rodillo de apoyo.

Velocidad de giro del rodillo con respecto a la cámara de secado;

$$D_1 * n_1 = D_2 * n_2$$

Donde;

D_1 = Diámetro del anillo de rodadura

n_1 = Rpm del anillo de rodadura

⁶⁰ NONHEBEL.G El secado de sólidos en la industria química Editorial Reverte s.a., Bogotá P 229 [Citado 22 de octubre del 2018].

D2= Diámetro del rodillo
n2= Rpm del rodillo

Entonces reemplazando se tiene;

$$1,37m * 5 \text{ rpm} = 0,1143m * n_2$$

$$n_2 = \frac{1,37m * 5 \text{ rpm}}{0,1143m} = 60 \text{ rpm}$$

Para tener un margen compensatorio de seguridad en el diseño con respecto al tipo de variación de la carga dentro de la cámara de secado, esto quiere decir cuando no se presenta una carga de tipo uniforme durante el proceso, los caballos de fuerza que se van a transmitir se deben multiplicar por un valor pequeño mayor a 1 determinado según el tipo de carga y la clase de la fuente de potencia.

En la tabla 13, se presentan los diferentes valores multiplicadores recomendados por el catalogo Intermec con el fin de aumentar los caballos de potencia a transmitir, aumentando la seguridad en el diseño.

Tabla 13. Margen compensatorio

Factores para calcular el margen compensatorio de seguridad			
Clase de la fuente de potencia			
Tipo de carga	Motor de combustión interna con convertidor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con embrague o caja mecánica
Uniforme	1.0	1.0	1.2
Fluctuante	1.2	1.3	1.4
Muy fluctuante	1.4	1.5	1.7

Fuente: INTERMEC. Manual de piñones y cadenas. [Citado el 25 de marzo del 20.19].

Entonces el margen compensatorio está dado por lo siguiente;

$$Mc = (3,3755 \text{ Kw} * 1,5) = 5,063\text{Kw}$$

$$Mc = 6,789 \text{ HP} = 7 \text{ HP}$$

Según los datos determinados anteriormente se selecciona un motoreductor de la marca SEW EURODRIVE modelo R87 (E) DRN 13254 (Ver anexo I), con las siguientes características;

- ✓ Motor de 220 v, 4 polos, 1700 rpm y 60 Hz
- ✓ Potencia 5,5 KW
- ✓ Velocidad de salida 63 RPM
- ✓ Torque 1150 Nm
- ✓ Peso 110 Kg
- ✓ Factor de servicio 1,80
- ✓ Posición de trabajo Horizontal

4.5.5 Cálculo y selección de la transmisión de potencia. Para poder determinar la transmisión de potencia se debe tener en cuenta los rpm del piñón conductor y del piñón conducido, esto con el fin de determinar la relación de transmisión entre los mecanismos.

La relación de transmisión de potencia (K) está dada por;

$$k = n_{conductor}/n_{conducido}$$

Reemplazando los valores tanto del motor como del rodillo se tiene lo siguiente;

$$k = 63 \text{ rpm}/60 \text{ rpm} = 1,05$$

Como se mencionó en el capítulo 3, para la transmisión de potencia se utiliza cadena de rodillos, ya que esta presenta ventajas frente a los otros tipos de transmisión de potencia evaluados.

Según los datos determinados y con base en el catálogo de transmisión de potencia Intermec, se seleccionó una cadena de rodillos simple No. 100 con un paso de 1-1/4" y con una lubricación de tipo A, este tipo de lubricación es realizada a mano con aceitera o brocha (ver imagen 45).

Imagen 45. Cadena de rodillos



Fuente: INTERMEC. Manual de piñones y cadenas. [Citado el 25 de marzo del 20.19].

Las características y dimensiones de la cadena se muestran en el cuadro 13, a continuación;

Cuadro 13. Características cadena

CADENA NUMERO	DIMENSIONES							LIMITE DE ROTURA Lbs.	PESO Lbs. POR PIE 30.5 cms.
	PASO "P" mm	LARGO RODILLO "W" mm	DIAMETRO RODILLO "D" mm	DIAMETRO PASADOR "C" mm	GRUESO CHAPETA "F" mm	ANCHO CHAPETA "H" mm	M.		
25	1.4" * 6.35 mm	0.125	0.130	0.0905	0.030	0.234	0.188	0.875	0.09
35	3.8" * 9.52 mm	0.187	0.200	0.141	0.050	0.350	0.267	2.100	0.21
40	1/2" 12.7 mm	0.312	0.312	0.156	0.060	0.466	0.380	3.700	0.42
50	5/8" 15.87 mm	0.375	0.400	0.200	0.080	0.584	0.460	6.100	0.69
60	3/4" 19.05 mm	0.500	0.463	0.234	0.094	0.700	0.586	8.500	1.00
80	1" 25.4 mm	0.625	0.625	0.312	0.125	0.934	0.741	14.500	1.71
100	1 1/4" 31.75 mm	0.750	0.750	0.375	0.156	1.166	0.923	24.000	2.58
120	1 1/2" 38.10 mm	1.000	0.875	0.437	0.187	1.400	1.150	34.000	3.87
140	1 3/4" 44.45 mm	1.000	1.000	0.500	0.219	1.634	1.215	46.000	4.95
160	2" 50.80 mm	1.250	1.125	0.562	0.250	1.866	1.451	58.000	6.61
200	2 1/2" 63.50 mm	1.500	1.562	0.781	0.312	2.250	1.777	95.000	10.96
240	3" 76.20 mm	1.875	1.875	0.937	0.375	2.800	2.187	130.000	16.50

Fuente: INTERMEC. Manual de piñones y cadenas. [Citado el 25 de marzo del 20.19].

De acuerdo a las tablas de capacidad del catálogo Intermec y con base en la velocidad y potencia de trabajo, se selecciona el paso y el número de dientes del piñón conductor y del piñón conducido.

El piñón conductor seleccionado por medio de las tablas de capacidad y dimensiones según el catálogo Intermec es de referencia 100B22, posee 22 dientes, un paso de 1-1/4" y un diámetro de 239,8 mm (Ver anexo J).

Para determinar la referencia del piñón conducido es necesario definir el número de dientes del mismo de la siguiente manera;

$$\text{Dientes piñon conducido} = \text{Dientes piñon conductor} * K$$

$$\text{Dientes piñon conducido} = 22 * 1,05$$

$$\text{Dientes piñon conducido} = 23 \text{ dientes}$$

El piñón conducido seleccionado es de referencia 100B23 con un diámetro de 249,9 mm, un paso de 1-1/4" y 23 dientes.

4.6 DISEÑO ESTRUCTURAL

Los cálculos estructurales del secador a diseñar se basan principalmente en el análisis de 80,000 N, fuerza que ejerce todo el sistema a la estructura de apoyo, esto con el fin de seleccionar de forma óptima los elementos que componen el sistema estructural.

Los materiales para el diseño del secador y sus respectivos cálculos son acero⁶¹ A-572 grado 50, con límite de fluencia 345 MPa y resistencia a la tracción de 450 MPa, es utilizado en una variedad de aplicaciones estructurales incluyendo puentes, edificios, equipo de construcción, vagones de carga, maquinaria, piezas de camión y torres de transmisión, para el cálculo de los pasadores se utilizaran barras de acero AISI 1045 estirado en frío con una resistencia a la fluencia de $S_y=310$ MPa y resistencia a la tensión de $S_u=564$ MPa.

En el anexo K se encuentra mayor información sobre el material estructural seleccionado para la fabricación de la estructura.

Dentro del diseño se contempla la selección de perfiles estructurales para vigas y columnas, cálculo del diámetro de pernos y soldadura requeridos por la máquina. Con el fin de asegurar y garantizar que la selección del material estructural sea la adecuada, se integra dentro del diseño un factor de seguridad con el objetivo de abarcar cualquier tipo de incertidumbre, según el libro de Robert Mott, dicho factor de seguridad debe estar por encima de 1,5 para evitar la falla, para el diseño del secador rotativo se estableció un factor de seguridad igual a 2.

Según el libro de Robert Mott para determinar el esfuerzo permisible de los elementos se utiliza la siguiente fórmula teniendo en cuenta el factor de seguridad seleccionado anteriormente;

$$\sigma_{permisible} = \frac{\sigma_{fluencia}}{Fd}$$

Donde;

$\sigma_{Permisible}$ = Esfuerzo máximo que soporta el elemento

$\sigma_{Fluencia}$ = Esfuerzo de fluencia del material

Fd = Factor de seguridad de diseño

El esfuerzo permisible para el acero A 572 grado 50 entonces es;

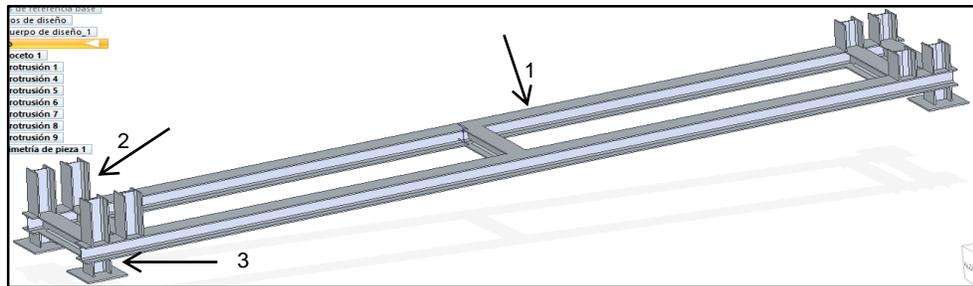
$$\sigma_{permisible} = \frac{345 \text{ MPa}}{2} = 172,5 \text{ MPa}$$

⁶¹ FERROCORTES. Ficha técnica lamina ASTM A572 GR 50 [en línea] [Citado 2 de octubre del 2018], Disponible en ><http://www.ferrocortes.com.co/category/lineas/laminas/astm-a572/>>

En base al esfuerzo permisible de 172,5 MPa determinado anteriormente se realizan los cálculos estructurales con el fin de seleccionar los perfiles y materiales adecuados para el diseño encargado de soportar las cargas ejercidas por el secador rotativo.

4.6.1 Elementos críticos del diseño estructural. Para realizar los cálculos pertinentes al diseño estructural es necesario determinar los elementos que mayor esfuerzo soportan debido a la carga transmitida por el secador rotativo. Para seleccionar los perfiles de vigas y columnas y, determinar las dimensiones de los mismos basándose en su área de sección transversal, es necesario identificar los puntos críticos (ver imagen 46) en la estructura de apoyo.

Imagen 46. Elementos críticos estructura general

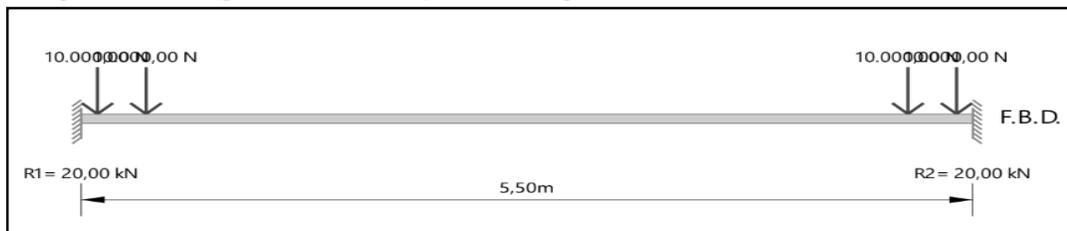


Fuente: elaboración propia

La estructura de apoyo se encuentra fija al piso por medio de pernos anclados al elemento 3 de la imagen 46.

4.6.2 Calculo de viga. Para llevar a cabo el cálculo de la viga es necesario hacer uso del método de superposición, debido a que esta se encuentra fija en ambos extremos, esto quiere decir que es un elemento estáticamente indeterminado.

Imagen 47. Diagrama de cuerpo libre viga



Fuente: elaboración propia con base en Software A-beam lite

Ya que el sistema se compone de dos vigas la fuerza transmitida por el peso del secador se divide entre 2, siendo la carga total para el análisis de la viga igual a 40,000 N, esta carga a su vez se divide entre 4, ya que es soportada por cuatro columnas que integra la viga, cada una de ellas soportando la misma carga, esto quiere decir que cada columna soporta una carga igual a 10,000N.

Haciendo uso del diagrama de cuerpo libre de la imagen 47, se determinan las reacciones en los apoyos de la viga, dichas reacciones son iguales debido a que es un elemento simétrico.

$$\sum Fy = 0$$

$$R_1 + R_2 = F_B + F_C + F_D + F_E$$

$$R_1 + R_2 = 40,000 N$$

Ahora se realiza una sumatoria de momentos en el punto A, donde el valor de la fuerza se cancela, con esto se determina la magnitud de la reacción R₂.

$$\sum M = 0$$

$$-(F_B * d1) - (F_C * d2) - (F_D * d3) - (F_E * d4) + (R_2 * d5) = 0$$

Donde;

F_B= Fuerza en el punto B

d₁=Distancia desde 0 hasta el punto B

F_C= Fuerza en el punto C

d₂=distancia desde 0 hasta el punto C

F_D= Fuerza en el punto D

d₃= Distancia desde 0 hasta el punto D

F_E= Fuerza en el punto E

d₄= Distancia desde 0 hasta el punto E

R₂= Reacción en el punto F

d₅= Distancia desde 0 hasta el punto F

R₁= Reacción en el punto A

$$-(10,000N * 0,04m) - (10,000N * 0,24m) - (10,000N * 5,26m) - (10,000N * 5,46m) + (R_2 * 5.5m) = 0$$

$$R_2 * 5.5m = 110,000N.m$$

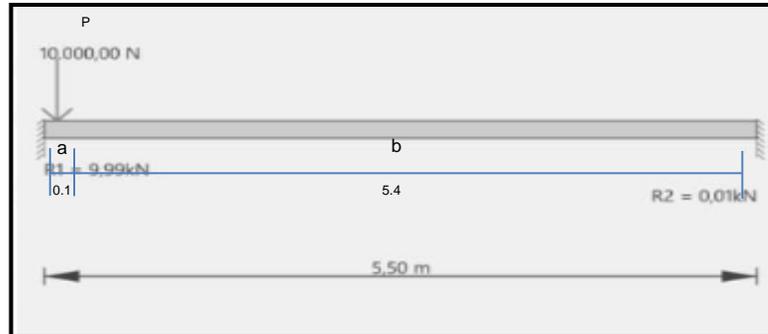
$$R_2 = \frac{110,000N.m}{5,5m} = 20,000N = 20KN$$

Reemplazando entonces se obtiene;

$$R_1 = 40,000 \text{ N} - R_2$$

Para desarrollar el método de superposición con el fin de analizar la viga estáticamente indeterminada, es necesario descomponer la viga en cuatro partes, realizando el diagrama de cuerpo libre de cada una de ellas.

Imagen 48. Diagrama de cuerpo libre viga número 1



Fuente: elaboración propia con base en Software A-beam lite

Con base en las tablas de vigas por el método de superposición (Ver anexo L) y haciendo uso de las ecuaciones estipuladas allí, determinamos el esfuerzo cortante y el momento flector correspondiente al diagrama de cuerpo libre de la viga número 1 (Imagen 48).

$$V_1 = P \left(\frac{b}{l} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{a}{l} \right)$$

$$V_2 = P \left(\frac{a}{l} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{b}{l} \right)$$

$$M_1 = - \frac{P \cdot a \cdot b^2}{l^2}$$

$$M_2 = - \frac{P \cdot b \cdot a^2}{l^2}$$

Donde;

P= Fuerza 10,000N

a= Distancia desde 0 hasta P

b= Distancia desde P hasta R₂

L=Longitud total de la viga

Entonces reemplazando tenemos

$$V_1 = 10.000N \left(\frac{5,4m}{5,5m} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{0,1m}{5,5m} \right) = 9.990,20N$$

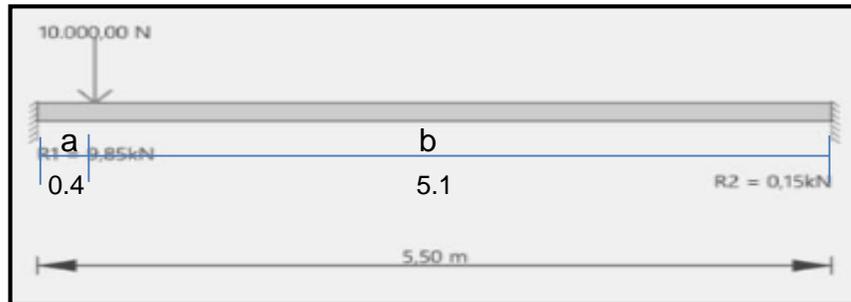
$$V_2 = 10.000N \left(\frac{0,1m}{5,5m} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{5,4m}{5,5m} \right) = -9,797N$$

$$M_1 = - \frac{10.000N \cdot 0,1m \cdot (5,4m)^2}{5,5m^2} = -963,96N \cdot m$$

$$M_2 = - \frac{10.000N \cdot 5,4m \cdot (0,1m)^2}{5,5m^2} = -17,85N \cdot m$$

El procedimiento es el mismo para la viga número 2 (Imagen 49), entonces se tiene lo siguiente;

Imagen 49. Diagrama de cuerpo libre viga número 2



Fuente: elaboración propia con base en Software A-beam lite

$$V_1 = 10.000N \left(\frac{5,1m}{5,5m} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{0,4m}{5,5m} \right) = 9.849,01N$$

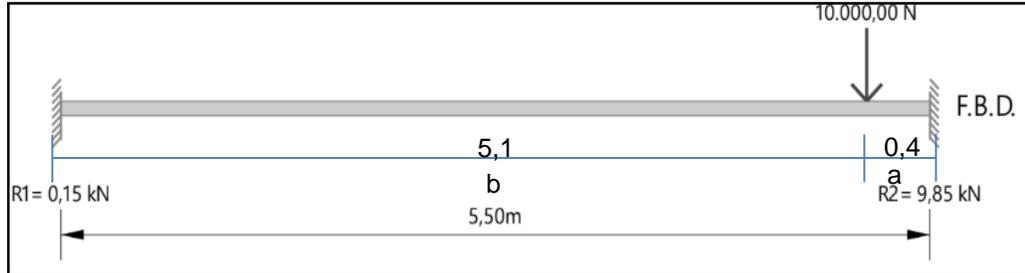
$$V_2 = 10.000N \left(\frac{0,4m}{5,5m} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{5,1m}{5,5m} \right) = -150,98N$$

$$M_1 = - \frac{10.000N \cdot 0,4m \cdot (5,1m)^2}{5,5m^2} = -3.439,33N \cdot m$$

$$M_2 = - \frac{10.000N \cdot 5,1m \cdot (0,4m)^2}{5,5m^2} = -269,75N \cdot m$$

Para determinar la viga 3 y 4, las ecuaciones y los valores de a y b se invierten de manera que cambian de posición como se expone a continuación (Imagen 50);

Imagen 50. Diagrama de cuerpo libre viga número 3



Fuente: elaboración propia con base en Software A-beam lite

Formulas para las vigas 3 y 4;

$$V_1 = P \left(\frac{a}{l} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{b}{l} \right)$$

$$V_2 = P \left(\frac{b}{l} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{a}{l} \right)$$

$$M_1 = - \frac{P \cdot b \cdot a^2}{l^2}$$

$$M_2 = - \frac{P \cdot a \cdot b^2}{l^2}$$

Reemplazando los valores se tiene lo siguiente;

$$V_1 = 10.000N \left(\frac{0,4m}{5,5m} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{5,1m}{5,5m} \right) = 150,98N$$

$$V_2 = 10.000N \left(\frac{5,1m}{5,5m} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{0,4m}{5,5m} \right) = -9.849,01N$$

$$V_2 = -9.849,01N$$

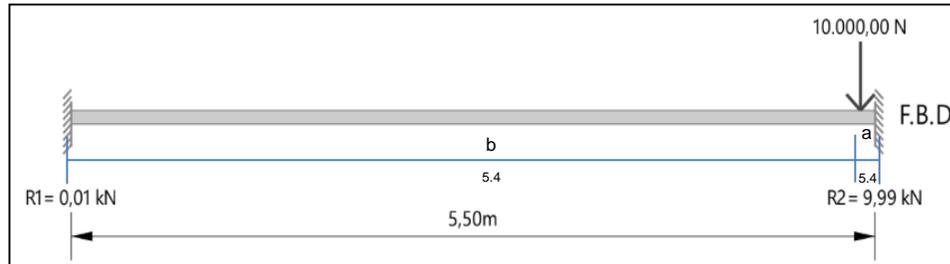
$$M_1 = - \frac{10.000N \cdot 5,1m \cdot (0,4m)^2}{5,5m^2} = -269,75N \cdot m$$

$$M_1 = -269,75N \cdot m$$

$$M_2 = - \frac{10.000N \cdot 0,4m \cdot (5,1m)^2}{5,5m^2} = -3.439,33N \cdot m$$

Para la viga numero 4 (Imagen 51), se realiza el mismo procedimiento reemplazando en las ecuaciones los valores definidos en el diagrama de cuerpo libre;

Imagen 51, Diagrama de cuerpo libre viga numero 4



Fuente: elaboración propia con base en Software A-beam lite

$$V_1 = 10.000N \left(\frac{0,1m}{5,5m} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{5,4m}{5,5m} \right) = 9,797N$$

$$V_2 = 10.000N \left(\frac{5,4m}{5,5m} \right)^2 \left(1 + 2 \frac{0,1m}{5,5m} \right) = -9.990,20N$$

$$M_1 = - \frac{10.000N \cdot 5,4m \cdot (0,1m)^2}{5,5m^2} = -17,851N \cdot m$$

$$M_2 = - \frac{10.000N \cdot 0,1m \cdot (5,4m)^2}{5,5m^2} = -963,966N \cdot m$$

Para determinar el momento y esfuerzo maximo al que estara sometido la viga, se suman los valores determinados en las ecuaciones anteriores referentes a la descomposicion de la viga en 4 partes.

$$V_1 \text{ total} = 9.990,20 + 9.849,01 + 150,98 + 9,797 = 19.999,98N$$

$$V_2 \text{ total} = -9.797 - 150,98 - 9,849,01 - 9,990,20 = -19.999,98N$$

$$M_1 \text{ total} = -963,96 - 3.439,33 - 269,75 - 17,851 = -4.690,891N \cdot m$$

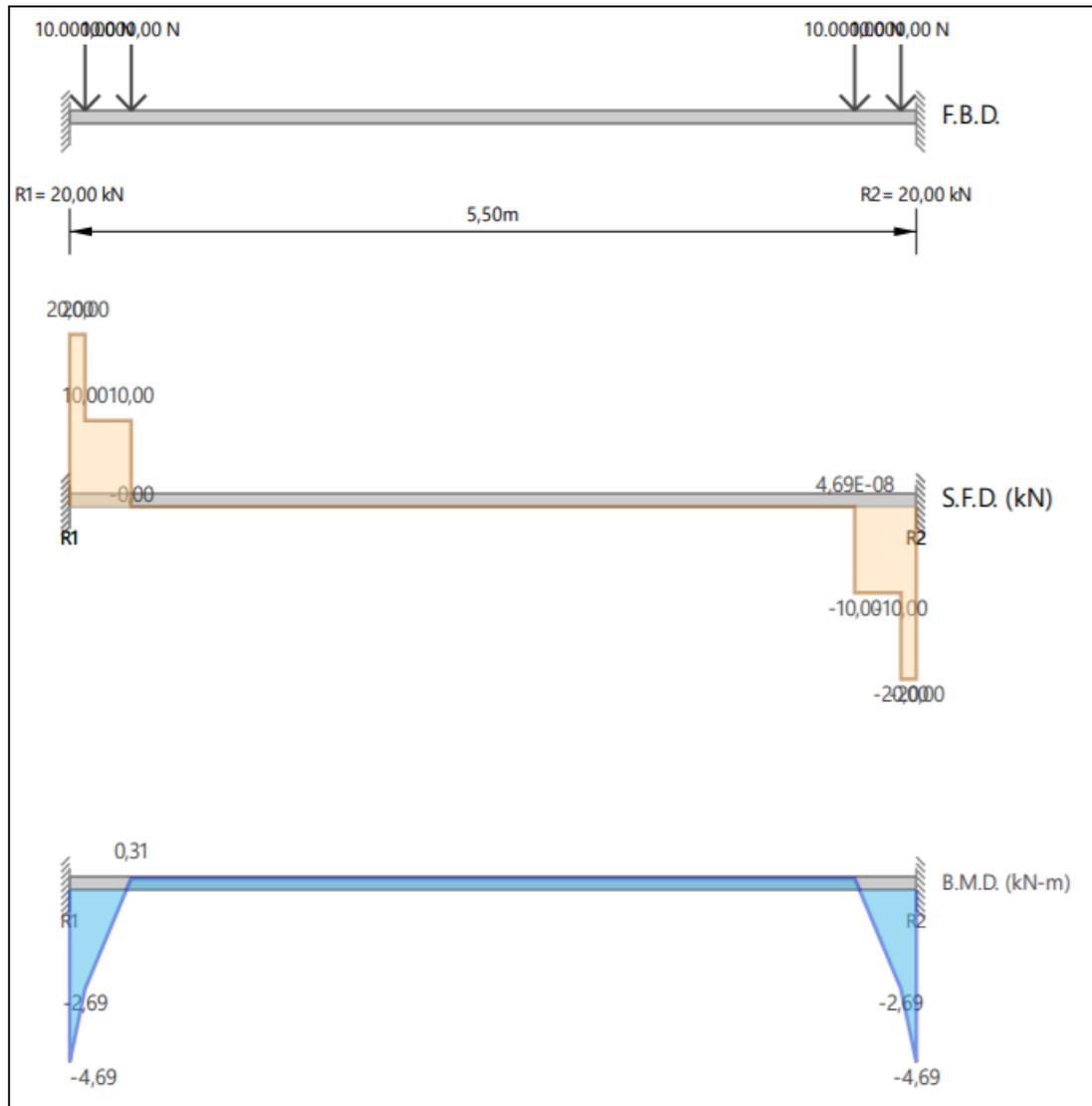
$$M_2 \text{ total} = -17,85 - 269,75 - 3.439,33 - 963,966 = -4.690,89N \cdot m$$

Con base en los calculos realizados previamente y simulando la viga mediante un software especializado, se determino el momento y esfuerzo maximo que presenta la viga como se puede observar en la imagen 52, expuesta a continuacion.

$$V_{max} = 19.999,98 N \cdot m$$

$$M_{max} = 4.690,89 N \cdot m$$

Imagen 52. Diagramas de fuerza cortante y momento flector de la viga



Fuente: elaboración propia con base en Software A-beam lite

El momento máximo (ver imagen 52) se presenta cuando $x=5,5m$ y posee una magnitud igual a $4.690,89 Nm$.

Para determinar el modulo de seccion (S) y por consiguiente el perfil que soporta las condiciones de trabajo es necesario conocer el valor del esfuerzo permisible (172,5 MPa) y el momento máximo de flexion que presenta la viga frente a las cargas a las que se encontrara sometida, calculando dicho modulo de la siguiente manera;

$$S_{requerido} = \frac{M_{max}}{\sigma_{permisible}}$$

Donde ;

Srequerido= S minimo requerido

Mmax= Momento maximo de flexion en la viga

σ permisible=Esfuerzo permisible

$$Srequerido = \frac{4.690,89 \text{ Nm}}{172.500.000 \text{ N/m}^2} = 2,719 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$2,719 * 10^{-5} \text{ m}^3 = \frac{(100 \text{ cm})^3}{(1\text{m})^3} = 27,193 \text{ cm}^3$$

Con el valor del Srequerido se procede a selección el tipo de perfil de viga al que mas se ajuste por medio de catalogos comerciales como se muestra en la siguiente imagen;

Imagen 53. Perfil H de alas anchas



Perfil: H europea de alas anchas

Normas: ASTM A36 Gr 42, S275JR, (A270ES)
ASTM A-572 G 50, (A345ESP), (S355JR)
(S152-3), (S5490)

Aceros: ASTM A6/A6M-07

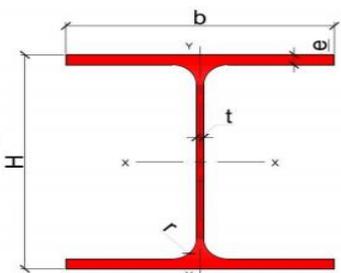
Dimensiones: ASTM A6/A6M-07

Tolerancias: ASTM A6/A6M-07

Estado superficial: ASTM A6/A6M-08

Largos: 12.000 y 12.200 [mm]

HEA



1 de 2

Denominación	Altura Exterior	Alto Interior	Ancho	Espesor Alma	Espesor Ala	Area	Momentos de Inercia			Módulos Resistente		Radio de Giro		Radio de Acuerdo	Superficie a pintar	
							I _x	I _y	W _x	W _y	i _x	i _y	A _L		A _G	
HEA HxPeso/m	H	h	b	t	e	A	I _x	I _y	W _x	W _y	i _x	i _y	r	A _L	A _G	
[Kg/m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm ³]	[mm]	[mm]	[mm]	[m ² /m]	[m ² /t]	
HEA 100 x 16,7	96	80	100	5	8	21,2	349	134	72,8	26,8	4,06	2,51	12	0,56	33,68	
HEA 120 x 19,9	114	98	120	5	8	25,3	606	231	106	38	4,89	3,02	12	0,68	34,06	
HEA 140 x 24,7	133	116	140	5,5	8,5	31,4	1.033	389	155	56	5,73	3,52	12	0,79	32,21	
HEA 160 x 30,4	152	134	160	6	9	38,8	1.673	616	220	77	6,57	3,98	15	0,91	29,78	
HEA 180 x 35,5	171	152	180	6	9,5	45,3	2.510	925	294	103	7,45	4,52	15	1,02	28,83	
HEA 200 x 42,3	190	170	200	6,5	10	53,8	3.692	1.336	389	134	8,28	4,98	18	1,14	26,89	
HEA 220 x 50,5	210	188	220	7	11	64,3	5.410	1.955	515	178	9,17	5,51	18	1,26	24,85	
HEA 240 x 60,3	230	206	240	7,5	12	76,8	7.763	2.769	675	231	10,1	6,00	21	1,37	22,70	
HEA 260 x 68,28	250	225	260	7,5	12,5	86,9	10.460	3.670	837	282	11,0	6,50	24	1,48	21,76	
HEA 280 x 76,4	270	244	280	8	13	97,3	13.673	4.763	1013	340	11,9	7,00	24	1,60	20,99	

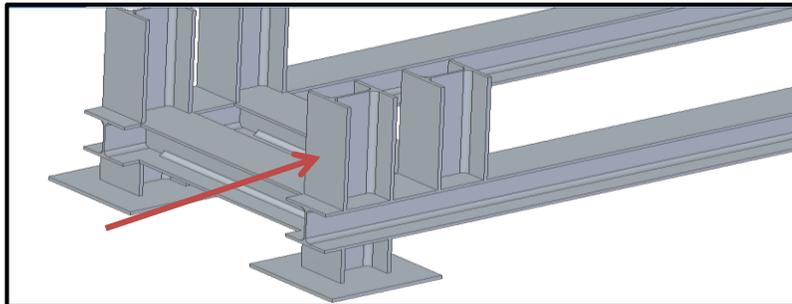
Fuente: PETRICO ACERO. Perfil para vigas y columnas HEA disponible en < www.fpetricio.cl>

El perfil seleccionado para la viga es un HEA 120 x 19,9, perfil europeo de alas anchas (Imagen 53), esta selección se realizó con base a los parámetros estructurales establecidos y a sus correspondientes cálculos.

4.6.3 Cálculo de columnas. Se realizan los cálculos correspondientes a las columnas críticas que componen en su totalidad la estructura encargada de soportar el peso transmitido por la máquina, para esto se hará uso de la relación de esbeltez y la resistencia de diseño, con base en el libro Diseño de estructuras de acero de Mc Cormac.

La columna número 1 (Imagen 54) se encuentra fija en uno de sus extremos como se muestra en la situación tipo e, expuesta en la imagen 54.

Imagen 54. Columna 1



Fuente: elaboración propia

Imagen 55. Valores aproximados de la longitud efectiva K

Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K .						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

FUENTE: MC CORMAC, Jack C. y CSERNAK, Stephen N. Diseño de Estructuras de Acero. 5 ed. México D.F.: Alfaomega, 2012. ISBN 978-607-707-559-2. p.143.

Cuadro 14. Columna 1

PROPIEDADES	
Perfil	HEA 120 x 19,9
Longitud	30 cm
Carga	10.000 N
Momento de inercia	231 cm ⁴
Área	25.3 cm ²

Fuente: elaboración propia

Para llevar a cabo los cálculos correspondientes a la columna uno se debe tener en cuentas las propiedades de la misma (Ver cuadro 14) que corresponden al tipo de perfil seleccionado, la carga y su longitud.

Se determina el radio de giro⁶² (r) correspondiente a la columna de la siguiente manera;

$$r = \sqrt{\frac{\text{Momento de inercia}}{\text{Area}}}$$

Reemplazando los valores del cuadro 14 se tiene;

$$r = \sqrt{\frac{231\text{cm}^4}{25,3\text{cm}^2}} = 3,02\text{cm}$$

Ahora se determina el esfuerzo de pandeo crítico elástico, Esta fórmula se escribe usualmente de un modo un poco diferente que implica la relación de esbeltez de la columna, el máximo valor de la relación de esbeltez para columnas permitido por el AISC es de 200. Ese valor se basaba en un criterio de ingeniería, en la economía práctica, y en el hecho de tener un cuidado especial para conservar la integridad de un miembro tan esbelto durante la fabricación, el flete y el montaje.

$$Re = \frac{KL}{r}$$

$$Fe = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

Donde;

Re= Relación de esbeltez

Fe = Esfuerzo de pandeo crítico elástico

E = Módulo de elasticidad del material⁶³

K = Factor de longitud efectiva (Imagen 53)

L = Longitud del elemento

r = radio de giro mínimo del elemento

⁶² MC. Corman. Diseño de estructuras de acero, 5 edición Alfaomega, México. Pag.143 [Citado 8 de abril del 2019].

⁶³ GERDAU, Corsa. Elección del tipo de acero p 7 [En línea].Citado el 8 de abril del 2019].Disponible en<<https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/eleccion-tipo-de-acero.pdf>>

$$Re = \frac{2,1 * 0,3m}{0.0302m} = 20,86$$

La relación de esbeltez es menor a 200, según lo dicho anteriormente si cumple la condición de ingeniería establecida por AISC, como paso a seguir se determina el esfuerzo⁶² de pandeo crítico elástico haciendo uso de la siguiente fórmula;

$$Fe = \frac{\pi^2(2 \times 10^{11} N/m^2)}{\left(\frac{2,10 \times 0.30m}{0.0302m}\right)^2}$$

$$Fe = 4535890148 N/m^2$$

Ahora determinamos la relación Fy/Fe , con el fin de definir si la viga es corta o larga;

$$\frac{Fy}{Fe} = \frac{3,45 \times 10^8 N/m^2}{4535890148 N/m^2} = 0.07606$$

Como la fracción Fy/Fe es menor que 2.25 se determina que es una columna corta y se aplica la siguiente ecuación correspondiente al esfuerzo de pandeo por flexión de una columna (Fcr);

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$$

$$Fcr = (0.658^{0.07606})(3,45 \times 10^8 N/m^2)$$

$$Fcr = 334189927,8 N/m^2$$

La resistencia de diseño⁶⁴ será;

$$Rd = \phi Ag Fcr$$

Donde;

Rd = Resistencia de diseño

ϕ = Resistencia a la compresión (0,9)

Ag = Área neta

Fcr = Esfuerzo de pandeo por flexión de una columna

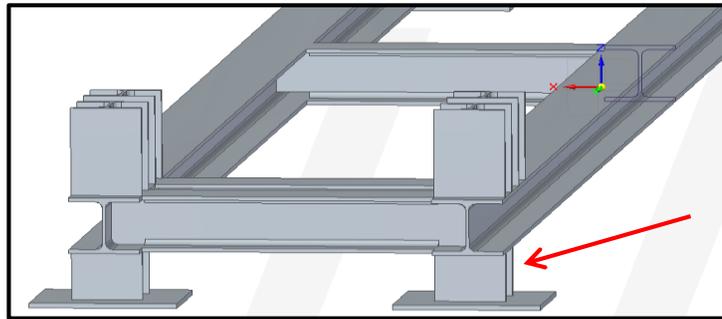
$$Rd = (0.9) (2,53 \times 10^{-3} m^2) (334189927,8 N/m^2) = 760.950,465 N$$

⁶⁴ MC. Corman. Diseño de estructuras de acero, 5 edición Alfaomega, México. Pag.149-150 [Citado 8 de abril del 2019].

La resistencia de diseño determinada mediante el método LRFD es 20 veces mayor a la carga aplicada en la columna, esto quiere decir que el elemento soporta la carga transmitida por el peso de la cámara de secado.

Para desarrollar los cálculos correspondientes a la columna número 2 (Imagen 56), es necesario conocer el peso de la estructura, el peso del cilindro o cámara de secado y el peso del material que se encuentra transitando en el interior del secador, esto con el fin de determinar la carga que soportara la columna como elemento estructural.

Imagen 56. Columna 2



Fuente: elaboración propia

El peso de la estructura se determina de la siguiente manera;

$$m = \delta \cdot V$$

Donde;

m =masa estructura

δ =densidad del material estructural

V = Volumen estructura

Con base en lo anterior, se determina la masa de cada uno de los elementos que componen la estructura de apoyo de la máquina.

Vigas largas;

- ✓ Longitud 550 cm
- ✓ Área 25,3 cm²
- ✓ Perfil HEA 120x19,9
- ✓ Numero de vigas 2

$$V = \text{Area} \cdot \text{Largo} \cdot \text{Numero de vigas}$$

$$V = (25,3 \text{ cm}^2)(550\text{cm})(2) = 0,02783 \text{ cm}^3$$

Vigas cortas;

- ✓ Longitud 96 cm
- ✓ Área 25,3 cm²
- ✓ Perfil HEA 120x19,9
- ✓ Numero de vigas

$$V = \text{Area} \cdot \text{Largo} \cdot \text{Numero de vigas}$$

$$V = (25,3 \text{ cm}^2)(96\text{cm})(5) = 4,55 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Columnas largas;

- ✓ Longitud 30 cm
- ✓ Área 25,3 cm²
- ✓ Perfil HEA 120x19,9
- ✓ Numero de vigas 4

$$V = \text{Area} \cdot \text{Largo} \cdot \text{Numero de vigas}$$

$$V = (25,3 \text{ cm}^2)(30\text{cm})(4) = 3,036 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Columnas cortas;

- ✓ Longitud 18 cm
- ✓ Área 25,3 cm²
- ✓ Perfil HEA 120x19,9
- ✓ Numero de vigas 4

$$V = \text{Area} \cdot \text{Largo} \cdot \text{Numero de vigas}$$

$$V = (25,3 \text{ cm}^2)(18\text{cm})(4) = 1,821 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Ahora se suman los volúmenes de los elementos que componen la estructura de apoyo del secador rotativo;

$$\text{Volumen total} = 0,02783\text{m}^3 + 4,55 \times 10^{-3} \text{ m}^3 + 3,036 \times 10^{-3} \text{ m}^3 + 1,821 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen total} = 0,03541 \text{ m}^3$$

Peso de la estructura de apoyo de la cámara de secado;

$$m_{\text{estructura}} = 7850 \text{ Kg/m}^3 * 0,03541\text{m}^3 = 277,968 \text{ Kg}$$

Para determinar la carga se debe incluir el valor de la masa de la cámara de secado y la materia prima que se encuentra en su interior;

$$m_{camara\ de\ secado} = 8154,9430\ Kg = 80.000\ N$$

$$m_{total} = m_{estructura} + m_{camara\ de\ secado} = 277,968\ Kg + 8154,9430\ Kg$$

$$m_{total} = 8432,911\ Kg = 82.726,85\ N$$

Imagen 57. Valores aproximados de la longitud efectiva K

Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K.						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

MC CORMAC, Jack C. y CSERNAK, Stephen N. Diseño de Estructuras de Acero. 5 ed. México D.F.: Alfaomega, 2012. ISBN 978-607-707-559-2. p.143.

Cuadro 15. Columna 2

PROPIEDADES	
Perfil	HEA 120 x 19,9
Longitud	10 Cm
Carga	82.726,85 N
Momento de inercia	231 Cm ⁴
Área	25.3 Cm ²

Fuente: elaboración propia

Se determina el radio de giro (r) correspondiente a la columna de la siguiente manera;

$$r = \sqrt{\frac{\text{Momento de inercia}}{\text{Area}}}$$

Reemplazando los valores del cuadro 15 se tiene;

$$r = \sqrt{\frac{231\text{cm}^4}{25,3\text{cm}^2}} = 3,02\text{cm}$$

Relación de esbeltez y esfuerzo de pandeo crítico elástico (Imagen 56);

$$Re = \frac{KL}{r} = \frac{0,5 * 0,951\text{m}}{0.0302\text{m}} = 15,745$$

La relación de esbeltez es menor a 200, Cumple con el criterio ingenieril.

$$Fe = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$Fe = \frac{\pi^2(2 \times 10^{11} \text{N/m}^2)}{\left(\frac{0,5 * 0,951\text{m}}{0.0302\text{m}}\right)^2}$$

$$Fe = 7,962 \times 10^9 \text{N/m}^2$$

Ahora determinamos la relación F_y/Fe , con el fin de definir si la viga es corta o larga;

$$\frac{F_y}{Fe} = \frac{3,45 \times 10^8 \text{N/m}^2}{7,962 \times 10^9 \text{N/m}^2} = 43,32 \times 10^{-3}$$

Como la fracción F_y/Fe es menor que 2.25 se determina que es una columna corta y se aplica la siguiente ecuación correspondiente al esfuerzo de pandeo por flexión de una columna (F_{cr});

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{Fe}}\right) F_y$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{43,32 \times 10^{-3}}\right) (3,45 \times 10^8 \text{N/m}^2) = 338799720,9 \text{N/m}^2$$

La resistencia de diseño será;

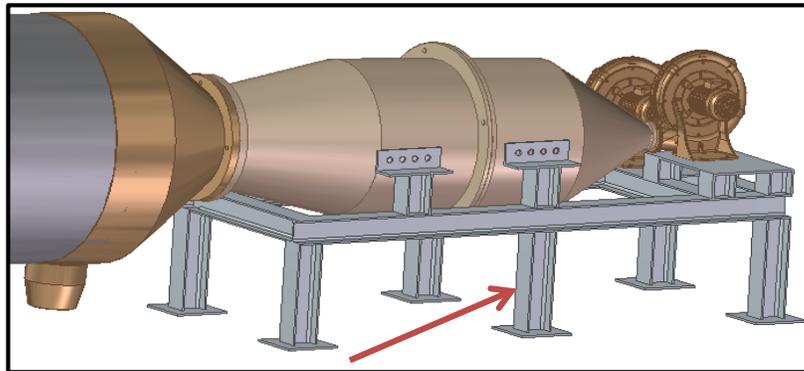
$$Rd = \phi Ag Fcr$$

$$Rd = (0.9) (2,53 \times 10^{-3} m^2) (338799720,9 N/m^2) = 771.446,96 N/m^2$$

Esta resistencia de diseño es aproximadamente mayor a lo que el elemento requiere.

Para la columna número 3 (Imagen 58) se debe conocer el peso de la cámara de generación de calor y sus componentes

Imagen 58. Columna 3



Fuente: elaboración propia

El peso de la cámara de generación se determina de la siguiente manera;

$$m = \delta \cdot V$$

Volumen cámara de secado cilindro 1;

$$V_{cilindro\ 1} = V_{exterior} - V_{interior}$$

$$V_{cilindro\ 1} = \pi \cdot R^2 \cdot h - \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Donde;

R= Radio exterior cilindro

r= Radio interior cilindro

h= Altura

$$V_{cilindro\ 1} = \pi \cdot (128mm)^2 \cdot 2000mm - \pi \cdot (125mm)^2 \cdot 2000mm$$

$$V_{cilindro\ 1} = 4,5768 \times 10^{-3} m^3$$

Volumen cámara de secado cilindro 2;

$$V_{cilindro\ 2} = V_{exterior} - V_{interior}$$

$$V_{cilindro\ 2} = \pi \cdot R^2 \cdot h - \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V_{cilindro\ 2} = \pi \cdot (166\text{mm})^2 \cdot 2000\text{mm} - \pi \cdot (163\text{mm})^2 \cdot 2000\text{mm} = 6,201 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

El volumen total de la cámara de secado es igual a la suma del volumen de los dos cilindros que la componen, como se muestra a continuación;

$$Volumen\ total = V_{cilindro\ 1} + V_{cilindro\ 2}$$

$$Volumen\ total = 4,5768 \times 10^{-3} \text{ m}^3 + 6,201 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,01096 \text{ m}^3$$

Entonces reemplazando los valores se obtiene el peso de la cámara de secado de la siguiente manera;

$$m = 7850 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,01096 \text{ m}^3 = 86,1066 \text{ Kg}$$

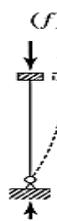
Para determinar la carga se debe incluir el valor de la masa del quemador y ventilador;

$$m_{quemador\ y\ ventilador} = 200 \text{ Kg} = 1.962 \text{ N}$$

$$m_{total} = m_{ventilador\ y\ quemador} + m_{camara\ de\ generacion\ de\ calor} = 200\text{Kg} + 86,1066\text{Kg}$$

$$m_{total} = 286,1066 \text{ Kg} = 2.806,7057 \text{ N}$$

Imagen 59. Valores aproximados de la longitud efectiva K

Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K.						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna						
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

MC CORMAC, Jack C. y CSERNAK, Stephen N. Diseño de Estructuras de Acero. 5 ed. México D.F.: Alfaomega, 2012. ISBN 978-607-707-559-2. p.143.

Cuadro 16. Columna 3

propiedades	
Perfil	HEA 120 x 19,9
Longitud	95,1 Cm
Carga	82.726,85 N
Momento de inercia	231 Cm ⁴
Área	25.3 Cm ²

Fuente: elaboración propia

Se determina el radio de giro (r) correspondiente a la columna de la siguiente manera;

$$r = \sqrt{\frac{\text{Momento de inercia}}{\text{Area}}}$$

Reemplazando los valores del cuadro 16 se tiene;

$$r = \sqrt{\frac{231\text{cm}^4}{25,3\text{cm}^2}} = 3,02\text{cm}$$

Relación de esbeltez y esfuerzo de pandeo crítico elástico (Imagen 58);

$$Re = \frac{KL}{r}$$

$$Re = \frac{0,5 * 0,1m}{0.0302m} = 1,6556$$

La relación de esbeltez es menor a 200, Cumple con el criterio ingenieril.

$$Fe = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$Fe = \frac{\pi^2(2 \times 10^{11} \text{N/m}^2)}{\left(\frac{0,5 * 0,1m}{0.0302m}\right)^2}$$

$$Fe = 7,2011 \times 10^{11} \text{N/m}^2$$

Ahora determinamos la relación F_y/F_e , con el fin de definir si la viga es corta o larga;

$$F_y/F_e = \frac{3,45 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{7,2011 * 10^{11} \text{ N/m}^2}$$

$$F_y/F_e = 4,79 \times 10^{-4}$$

Como la fracción F_y/F_e es menor que 2.25 se determina que es una columna corta y se aplica la siguiente ecuación correspondiente al esfuerzo de pandeo por flexión de una columna (F_{cr});

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$$

$$F_{cr} = (0.658^{4,79 \times 10^{-4}})(3,45 \times 10^8 \text{ N/m}^2)$$

$$F_{cr} = 339931829,2 \text{ N/m}^2$$

La resistencia de diseño será;

$$R_d = \phi A_g F_{cr}$$

$$R_d = (0.9) (2,53 \times 10^{-3} \text{ m}^2) (339931829,2 \text{ N/m}^2)$$

$$R_d = 7674.024,7751 \text{ N/m}^2$$

Esta resistencia de diseño es mayor a lo que el elemento requiere por este motivo la columna soporta la carga aplicada de manera correcta.

4.6.5 Cálculo de soldaduras. La soldadura⁶⁵ es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies a un estado plástico o fluido, permitiendo que las partes fluyan y se unan (con o sin la adición de otro metal fundido).

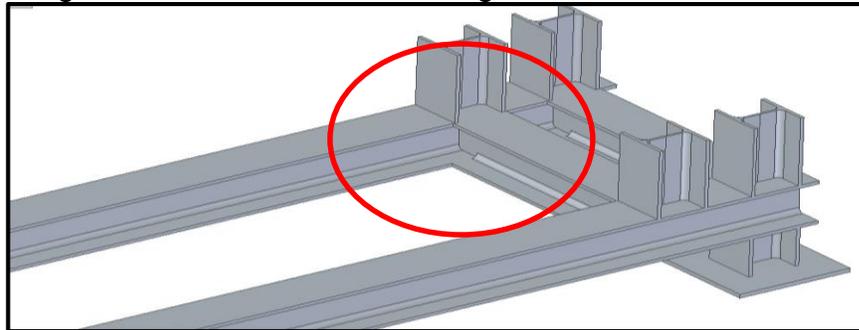
La selección del método y electrodo a utilizar en el proceso de soldadura es fundamental ya que afecta de manera importante las propiedades de la soldadura tales como resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión. En el secador se aplicará el método de soldadura SMAW con un electrodo E7014 de 3/16' de diámetro, debido a que es aplicable en una amplia variedad de metales, posiciones de soldadura y presenta un bajo costo, el electrodo tiene aplicaciones como marcos de máquinas, estructura, trabajos de ornamentación, etc.

⁶⁵ MC. Corman. Diseño de estructuras de acero, 5 edición Alfaomega, México. Pag.150 [Citado 8 de abril del 2019].

Para el cálculo de soldaduras de la máquina y sus diversos componentes se utiliza el método expuesto en el libro de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

4.6.5.1 Soldadura estructura general. En la estructura general (Imagen 60) se utilizó un perfil HEA 120x19, 9 para vigas y columnas, dicha estructura soporta una carga igual a 80.000N.

Imagen 60. Soldadura estructura general



Fuente: elaboración propia

La ecuación del esfuerzo cortante nominal en la garganta⁶⁶ está dada por;

$$\tau = \frac{1.414 M}{bdh}$$

Donde;

τ =Esfuerzo cortante nominal en la garganta de la soldadura
 M = Momento determinado del diagrama de cortantes y flector (viga critica)
 d = Distancia entre soldaduras según el perfil
 h = Altura de la garganta
 b = Longitud de la soldadura

La altura de la garganta de la soldadura (h) para la estructura general es de 5 mm y la longitud de la soldadura (b) es de 120 mm ya que es la altura del perfil seleccionado para la estructura.

Entonces se tiene;

$$\tau = \frac{1.414 (4.690N \cdot m)}{(0,12m)(0,114m)(0,05m)} = 96,95 MPa$$

⁶⁶ BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 459 [En línea].Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

Para la soldadura de la estructura general se escoge un electrodo E7014 Según el sistema de numeración del código de especificaciones de la American Welding Society (AWS) para electrodos.

El electrodo E70 tiene una resistencia a la tensión (S_{ut}) de 482 MPa y una resistencia a la fluencia (S_y) de 393 MPa como se muestran la tabla 14, a continuación;

Tabla 14. Características electrodos

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Fuente: BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

Los valores de los esfuerzos según el electrodo se comparan con los valores determinados mediante la tabla 15, con el fin de identificar si la soldadura con el tipo de electrodo seleccionado soporta satisfactoriamente las cargas existentes en la estructura general.

Tabla 15. Esfuerzos permisibles del Código AISC para metal de aporte

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n^*
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ut}^{\dagger}$	

Fuente: BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

Para determinar el esfuerzo permisible de la soldadura que soporta cargas a flexión se tiene la siguiente ecuación;

$$\sigma_{\text{permisible}} = 0,60 * S_y$$

Donde;

$\sigma_{\text{permisible}}$ = Esfuerzo permisible de la soldadura

S_y = Esfuerzo de fluencia del material de aporte

Entonces reemplazando se tiene;

$$\sigma_{\text{permisible}} = 0,60 * 393 \text{ MPa} = 259,38 \text{ MPa}$$

El esfuerzo permisible⁶⁷ debe ser mayor al esfuerzo cortante nominal en la garganta de soldadura para la estructura general, esto se determina de la siguiente manera;

$$\tau \leq \sigma_{\text{permisible}}$$

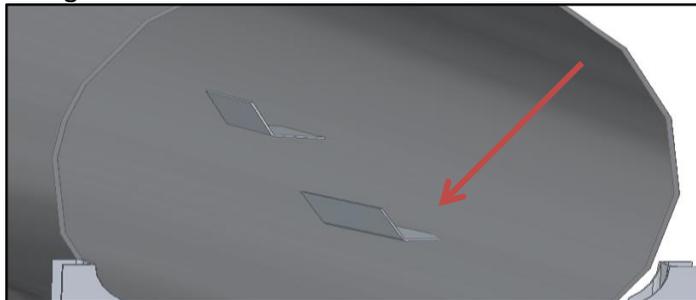
De esta manera se tiene;

$$96,95 \text{ MPa} \leq 259,38 \text{ MPa}$$

Con esto se determina que el electrodo seleccionado soporta de manera satisfactoria las cargas transmitidas por la maquina a la estructura general.

4.6.5.2 Soldadura de los dispositivos elevadores. En este caso se utiliza una ecuación que reemplaza el momento por la fuerza, debido a que esta soldadura soporta cargas a tensión y no a flexión como en la estructura general. La fuerza vinculada en la ecuación corresponde al peso del elevador y de la arena ubicada dentro del elevador.

Imagen 61. Soldadura elevadores



Fuente: elaboración propia

⁶⁷ BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 468 [En línea]. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/diseño-en-ingeniería-mecánica-shigley.html>>

Como en la soldadura de la estructura general la altura de la garganta h es igual a 5 mm y la longitud corresponde a la longitud del elevador, la cual es de 37 cm.

Peso de los elevadores;

$$\text{masa elevador} = 1,85 * 10^{-4} \text{ m}^3 * 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{masa elevador} = 1,5 \text{ Kg}$$

$$\text{Fuerza elevador} = 1,5 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s} = 14,2 \text{ N}$$

Entonces la fuerza total es igual a;

$$\text{Fuerza total} = \text{Fuerza arena} + \text{Fuerza elevador}$$

$$\text{Fuerza total} = 78,48 \text{ N} + 14,2 \text{ N}$$

$$\text{Fuerza total} = 92 \text{ N}$$

La ecuación para determinar el esfuerzo nominal de tensión⁶⁸ en la garganta de soldadura está dada por;

$$\tau \text{ tensión} = \frac{F}{0,707 * h * l}$$

$$\tau \text{ tensión} = \frac{92 \text{ N}}{0,707 * 0,005 \text{ m} * 0,37 \text{ m}}$$

$$\tau \text{ tensión} = 0,07033 \text{ MPa}$$

Para una soldadura con un tipo de carga a tensión la ecuación del esfuerzo permisible está definida por;

$$\sigma \text{ permisible} = 0,60 * S_y$$

En la soldadura de los dispositivos elevadores se utilizó un electrodo 309L-17, el cual es diseñado principalmente para la soldadura de aceros inoxidable, este posee una resistencia a la fluencia de 540 MPa según la ficha técnica del electrodo de la empresa ESAB.

⁶⁸ BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 459 [En línea]. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

Entonces reemplazando los valores se tiene lo siguiente;

$$\sigma \text{ permisible} = 0,60 \text{ MPa}$$

$$\sigma \text{ permisible} = 324 \text{ MPa}$$

Para que la soldadura seleccionada soporte las cargas de manera satisfactoria, se tiene lo siguiente;

$$\tau \text{ tensión} \leq \sigma \text{ permisible}$$

$$0,07033 \text{ Mpa} \leq 324 \text{ MPa}$$

El tipo de electrodo seleccionado para el proceso de la soldadura de los dispositivos elevadores ubicados dentro de la cámara de secado soporta satisfactoriamente las cargas existentes.

4.6.5.3 Soldadura la cámara de secado. La cámara de secado se analiza a manera de viga, con una longitud de 10 metros, un radio de 0,6 m, con una carga distribuida de 8.000 N/m y un momento igual a 22.231,41 N/m.

La altura de la garganta de soldadura h es de 5 mm y la longitud de la soldadura es de 10 metro, la cual corresponde a la longitud de la cámara de secado,

La ecuación⁶⁹ para determinar el esfuerzo en la cámara de secado y según su geometría viene dada por;

$$\tau = \frac{1,414 M}{\pi * h * r * L}$$

Reemplazando se tiene lo siguiente;

$$\tau = \frac{1,414 * 22.231,41 \text{ N/m}}{\pi * 0,005 \text{ m} * 0,6 \text{ m} * 10 \text{ m}} = 0,3335 \text{ MPa}$$

Para el proceso de soldadura de la cámara de secado se selecciona el mismo electrodo utilizado en los procesos anteriores, con esto se hace referencia al electrodo E 7014.

La soldadura para la cámara de secado soporta cargas a flexión, debido a esto se utiliza la siguiente ecuación;

⁶⁹ BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 463 [En línea]. Citado el 6 de febrero del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/disenio-en-ingenieria-mecanica-shigley.html>>

$$\sigma_{\text{permisible}} = 0,66 * 393 \text{ MPa} = 259,38 \text{ MPa}$$

Entonces se tiene lo siguiente;

$$\tau \leq \sigma_{\text{permisible}}$$

Reemplazando;

$$0,3335 \text{ MPa} \leq 259,38 \text{ MPa}$$

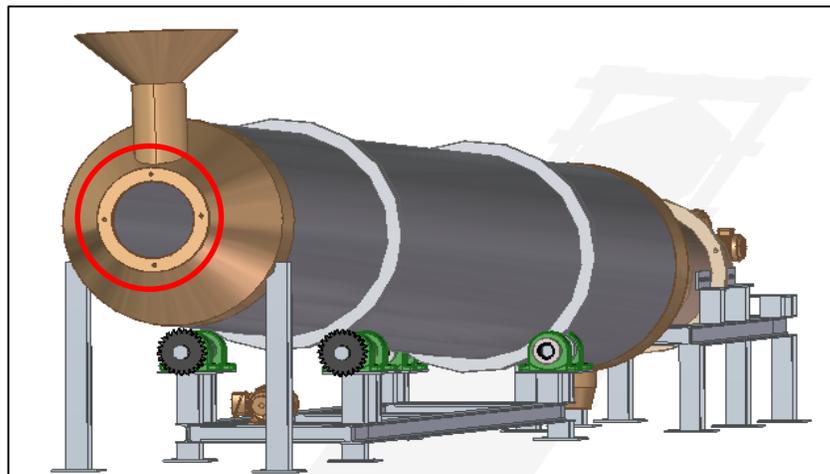
Según lo anterior el electrodo seleccionado para el proceso de soldadura de la cámara de secado soporta las cargas presentes de manera satisfactoria.

4.6.6 Calculo de pernos. Un perno es un elemento diseñado para unir dos o más partes, el secador a diseñar tiene diferentes componentes los cuales necesitan ser unidos por medio de un dispositivo de sujeción, en este caso pernos, estos pernos deben ser analizados con el fin de determinar si la unión resiste los esfuerzos a los que estará sometida.

Una de las grandes ventajas de este método de sujeción es que se puede desensamblar sin la necesidad de utilizar métodos destructivos, también es capaz de resistir cargas externas de tensión, cargas debido a momentos y cargas de cortante o una combinación de ellas.

4.6.6.1 Pernos zona de carga cámara de secado. Para el desarrollo de este cálculo se debe tener en cuenta que la zona de carga cuenta con dos soportes y cada soporte cuenta con 4 pernos de sujeción, los cuales tienen como función soportar el peso de la coraza de entrada y la zona de carga.

Imagen 62. Pernos zona de carga



Fuente: elaboración propia

El peso de la coraza de entrada y la zona de carga corresponde a 80 kg y 65 kg respectivamente, entonces la fuerza a la que será sometida la unión está dada por;

$$Peso\ total = 100Kg + 94 Kg = 194 Kg = 1.903,14 N$$

La fuerza en cada perno está definida por lo siguiente;

$$Fuerza = 1.903,14N / 8 = 237,8925N$$

Para determinar si el método de sujeción utilizado resiste las cargas a las que será sometido se debe calcular el esfuerzo⁷⁰ de carga por servicio;

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Donde;

τ = Esfuerzo de carga por servicio

F= Fuerza de tensión

A= Área de esfuerzo a la tensión (0,226 in², ver Anexo M)

Para la unión o sujeción de los componentes del secador a diseñar se seleccionó un perno de \varnothing 5/4" grado 2 de paso grueso.

Entonces reemplazando se tiene;

$$\tau = \frac{237,8925N}{1,458 * 10^{-4}m^2} = 1,6316 MPa$$

El valor del esfuerzo determinado anteriormente se compara con la resistencia de prueba mínima SAE del perno grado 2 (Ver anexo M).

El perno seleccionado presenta un esfuerzo de carga por servicio de 1,6316 MPa, realizando la comparación el valor de dicho esfuerzo es menor al valor de la resistencia de prueba mínima con un valor de 33 KPsi (227,53 MPa).

Como paso final se determina el factor de seguridad del perno, con el fin de comprobar los datos calculados anteriormente;

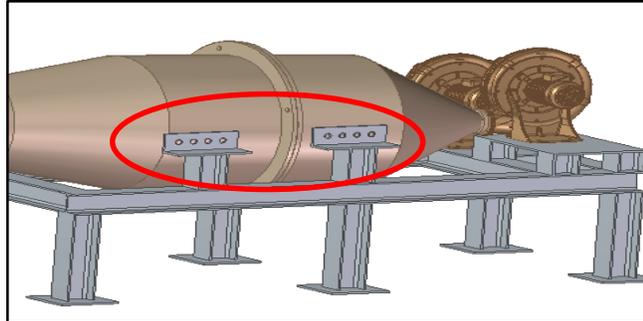
$$n = \frac{Resistencia\ de\ prueba\ minima}{Esfuerzo\ de\ carga\ por\ servicio} = \frac{227,53}{1,6316} = 139,45$$

⁷⁰ BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 432 [En línea]. Citado el 4 de mayo del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/diseño-en-ingeniería-mecánica-shigley.html>>

Con esto se comprueba que el perno $\varnothing 5/4''$ grado 2 de paso grueso soporta las cargas presentes en la unión de manera satisfactoria.

4.6.6.2 Calculo de los pernos para el soporte del generador de aire caliente. El generador de aire caliente se compone de varios elementos los cuales deben ser integrados por medio de un método de sujeción, en este caso uniones con pernos.

Imagen 63. Pernos generador aire caliente



Fuente: elaboración propia

El generador de aire caliente cuenta con 4 soportes que tienen como función soportar el peso del mismo, cada soporte cuenta con 4 tornillos encargados de realizar la sujeción de los componentes mencionados anteriormente. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se calcula el esfuerzo de carga por servicio del perno con el fin de comprobar si el método de sujeción resiste los esfuerzos a los que está sometido.

El peso total de los componentes que integran la cámara de generación de calor (quemador, ventilador y ducto con aislamiento térmico) es de 500 kg.

$$\text{Peso total} = 500 \text{ Kg} = 4905 \text{ N}$$

Debido a que se tienen 4 soportes y cada soporte cuenta con 4 tornillos, la fuerza ejercida por el peso total se divide entre 16, como se muestra a continuación;

$$\text{Fuerza} = 4905 \text{ N} / 16 = 306,5625 \text{ N}$$

Ahora se calcula el esfuerzo⁷¹ de carga por servicio en el perno de la siguiente manera;

$$\tau = \frac{F}{A}$$

⁷¹ BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 432 [En línea]. Citado el 4 de mayo del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/diseño-en-ingeniería-mecánica-shigley.html>>

Para la unión o sujeción de los componentes del secador a diseñar se seleccionó el mismo perno de \varnothing 5/4" grado 2 de paso grueso utilizado en la zona de carga de la cámara de secado.

$$\tau = \frac{306,5625 \text{ N}}{1,458 * 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau = 2,1026 \text{ MPa}$$

El valor del esfuerzo determinado anteriormente se compara con la resistencia de prueba mínima SAE del perno grado 2 (Ver anexo M).

El perno seleccionado presenta un esfuerzo de carga por servicio de 2,1026 MPa, realizando la comparación el valor de dicho esfuerzo es menor al valor de la resistencia de prueba mínima con un valor de 33 KPsi (227,53 MPa).

Como paso final se determina el factor de seguridad del perno, con el fin de comprobar los datos calculados anteriormente;

$$n = \frac{\text{Resistencia de prueba minima}}{\text{Esfuerzo de carga por servicio}} = \frac{227,53}{2,1026}$$

$$n = 108,2136$$

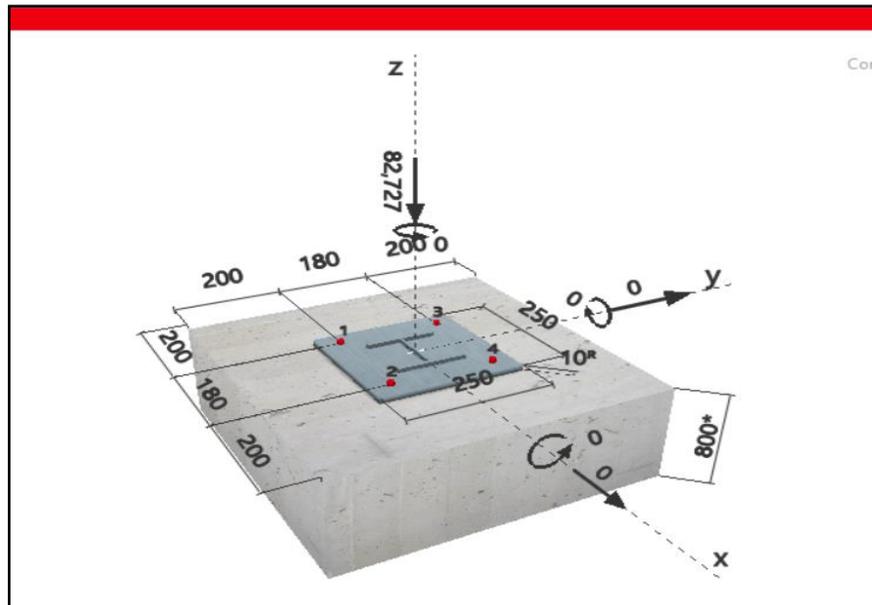
Con esto se comprueba que el perno \varnothing 5/4" grado 2 de paso grueso soporta las cargas presentes en la unión de manera satisfactoria.

4.6.7 Anclaje de la estructura. Para determinar el tipo de anclaje correcto de la estructura de apoyo del secador a diseñar se utilizó PROFIS Anchor 2.8.1, este es un software especializado en determinar el anclaje óptimo bajo unos parámetros establecidos por el diseñador.

El método de anclaje óptimo se determina según el tipo de material base, la geometría y dimensiones de la placa base, la configuración del anclaje, el tipo de perfil seleccionado para la estructura de apoyo y por último las cargas, en este caso el peso de la máquina y sus diversos componentes.

La carga que soporta el tipo de anclaje seleccionado tiene un valor de 82,727 KN, la cual hace referencia al peso de la máquina y los diversos componentes que la integran.

Imagen 64. Anclaje de la estructura de apoyo



Fuente: elaboración propia con base en Software PROFIS Anchor 2.8.1

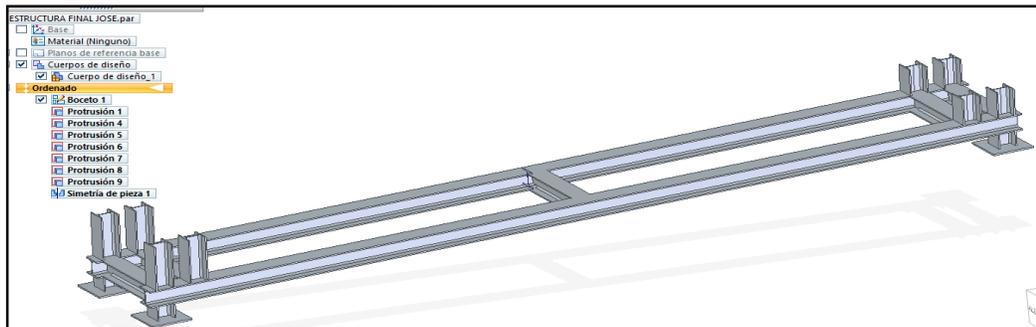
El tipo de anclaje óptimo basado en los parámetros establecidos y determinado por medio del software es de tipo HDA-PR M12x125/50 (ver imagen 64), las características y datos del tipo de anclaje seleccionado por el software están de manera más detallada en el anexo N.

5. ANALISIS POR EL MEF DE LA ESTRUCTURA DE APOYO

La estructura de apoyo de la maquina encargada de soportar el peso total de la misma, se analizó por medio de un software denominado NX de la empresa Siemens, especializado en el método de análisis por elementos finitos, con el fin de identificar si la estructura con el perfil de vigas y columnas determinado anteriormente soporta las cargas transmitidas por el peso de los componentes de la máquina y la materia prima que se encuentra transitando en su interior.

Mediante la aplicación del método de análisis por elementos finitos se determinó como la estructura de apoyo (Ver imagen 65) de la maquina reacciona ante las fuerzas a las que será sometida, determinando si esta estructura de apoyo se romperá, fallara o funcionara como fue diseñada.

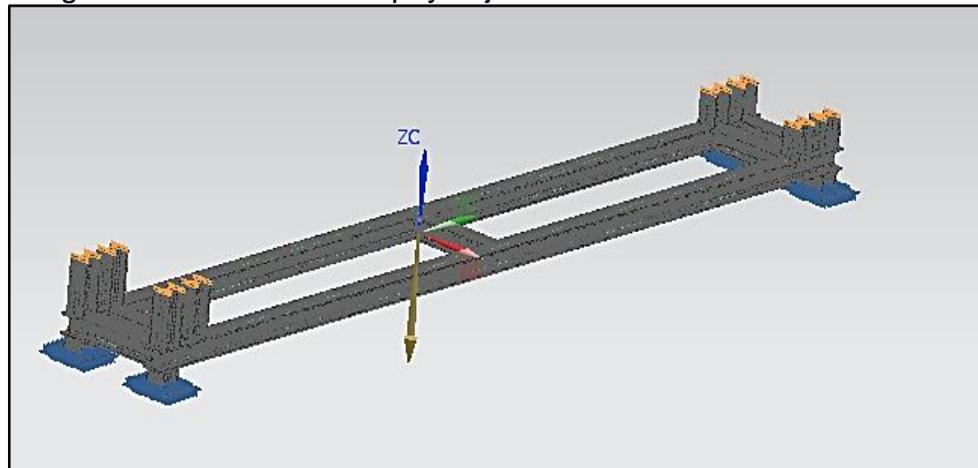
Imagen 65. Estructura de apoyo



Fuente: elaboración propia

La estructura tiene un perfil HEA 120 x 19,9 y cada columna soporta una carga igual a 10.000 N, calculada anteriormente

Imagen 66. Estructura de apoyo fijación

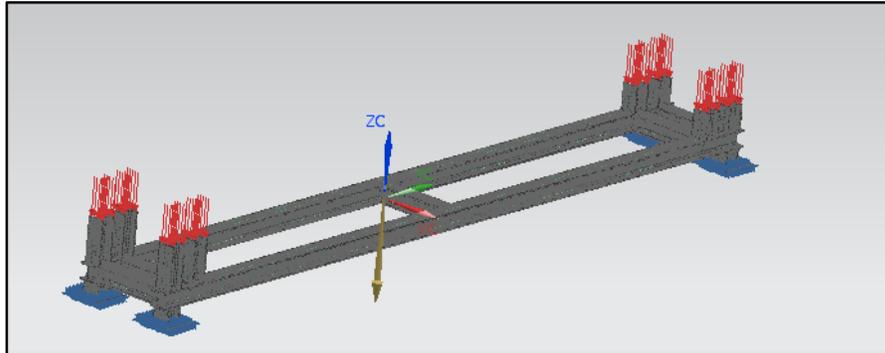


Fuente: elaboración propia

La estructura de apoyo se encuentra fija al piso, esto con el fin de evitar cualquier tipo de movimiento que pueda afectar de manera crucial el proceso de secado o a la maquina como tal, es por esto que en el análisis de elementos finitos realizado en este capítulo, se anclo la maquina al piso como se puede observar en la imagen 64 expuesta anteriormente.

Luego de realizar el anclaje de la estructura de apoyo, se aplicaron las fuerzas en los lugares donde incide el peso de la cámara de secado, la materia prima en su interior y los dispositivos elevadores, teniendo en cuenta también el peso de los anillos de rodadura y los diferentes componentes que integran la máquina como se puede observar en la imagen 67, estos lugares hacen referencia a las columnas en donde se apoya la cámara de secado, para realizar el análisis por elementos finitos se utilizó una malla de 15 mm, cabe señalar que entre más pequeña la malla más se asemeja a la realidad.

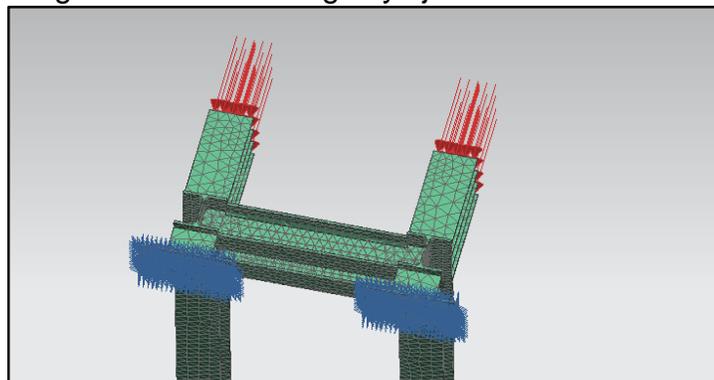
Imagen 67. Cargas aplicadas en la estructura



Fuente: elaboración propia

En la imagen 68, se muestra de manera más detallada lo mencionado anteriormente, se muestran las cargas aplicadas a la estructura causa del peso de la máquina y el anclaje o fijación de la estructura al piso.

Imagen 68. Detalle cargas y fijación

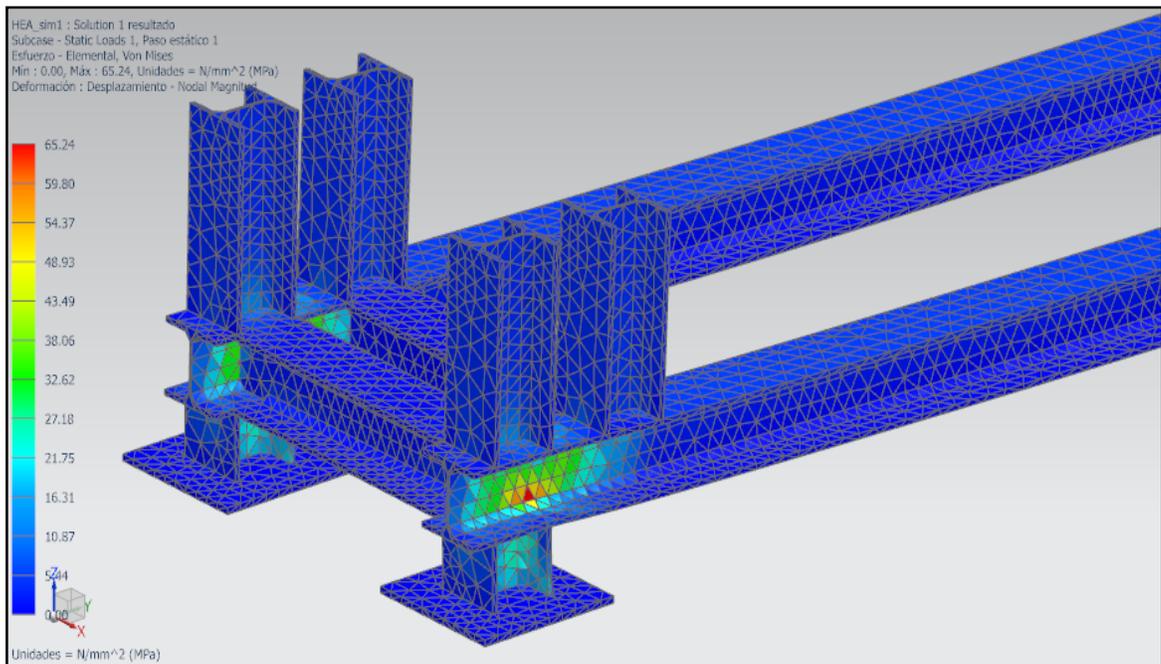


Fuente: elaboración propia

El análisis de elementos finitos según la empresa Siemens y con su programa especializado en elementos finitos NX, consta de un sistema de puntos, denominados "nodos", que dibujan la forma del diseño. Conectados a estos nodos se encuentran los propios elementos finitos, que conforman la malla de elementos finitos y que contienen las propiedades estructurales y de material del modelo que definen cómo responderá este ante determinadas condiciones. La densidad de la malla de elementos finitos puede variar a lo largo del material, en función del cambio anticipado en los niveles de tensión de un área determinada. Las regiones que experimentan cambios importantes en la tensión suelen requerir una densidad de malla más elevada que aquellas que experimentan pocas variaciones en la tensión o incluso ninguna. Entre los puntos de interés se encuentran los puntos de fractura de un material probado previamente, las curvas, las esquinas, los detalles complejos y las áreas de tensión elevada.

Según lo anterior se procede como paso final a analizar la estructura teniendo en cuenta que se utilizó una malla de 15 mm y un material ya mencionado anteriormente como datos principales en la simulación(imagen 69).

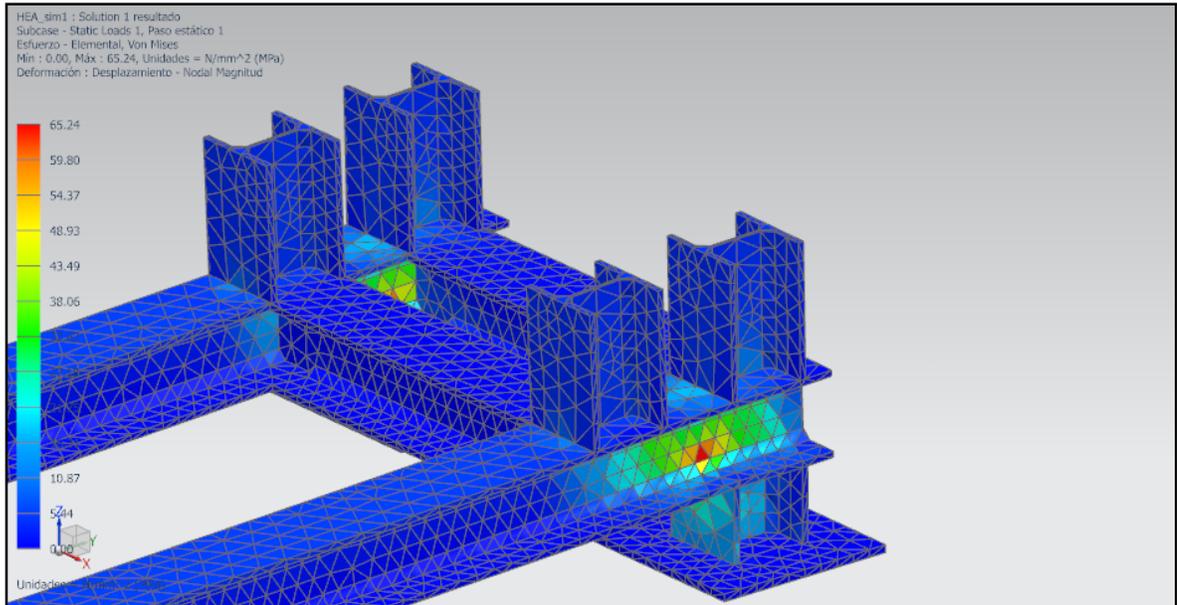
Imagen 69. Esfuerzo Von Mises columnas sección 1



Fuente: elaboración propia

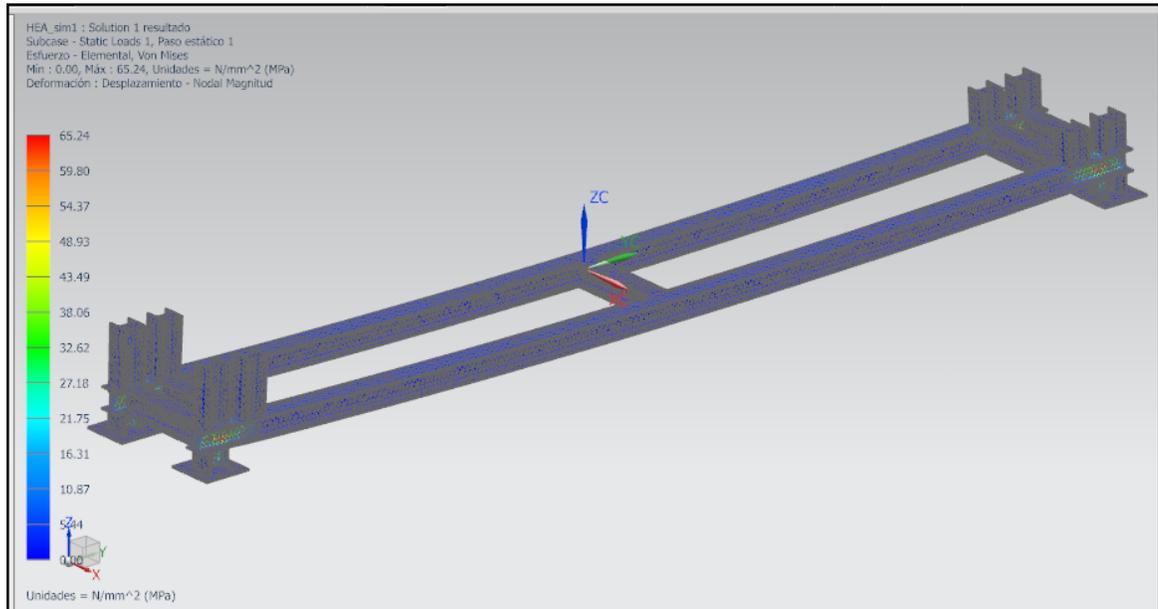
En la imagen 70 y 71, luego de realizar el análisis se determinó que el esfuerzo Von Mises de la estructura de apoyo es mucho menor al esfuerzo de fluencia del material seleccionado, teniendo como conclusión que la estructura no fallara y soportara satisfactoriamente las cargas a las que estará sometida.

Imagen 70. Esfuerzo Von Mises columnas sección 2



Fuente: elaboración propia

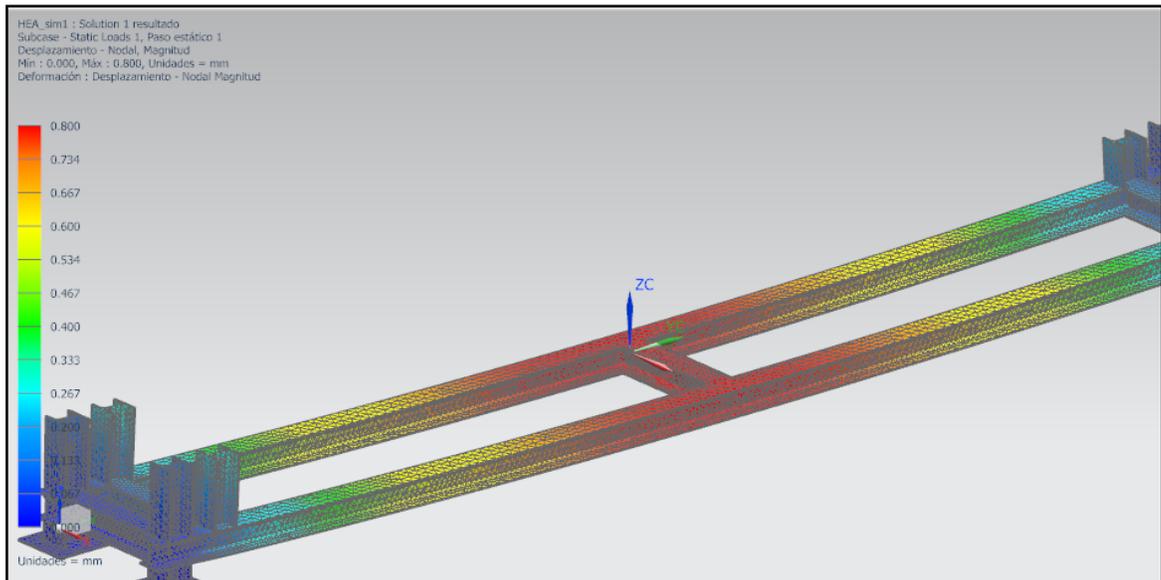
Imagen 71. Esfuerzo Von Mises estructura general



Fuente: elaboración propia

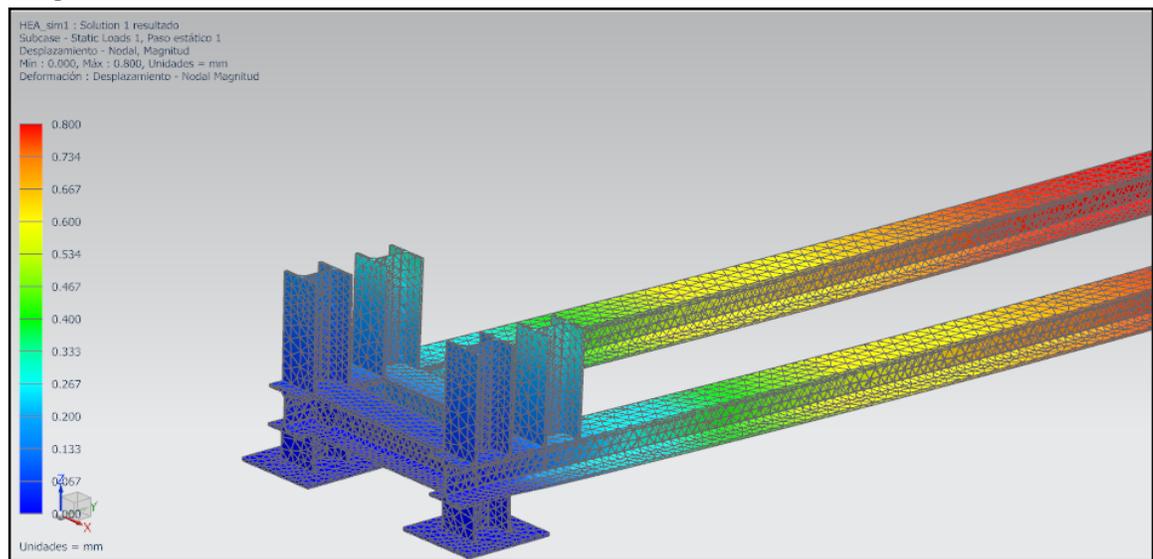
El esfuerzo elemental Von Mises que soporta la estructura general según el análisis de elementos finitos tiene un valor de 65,24 MPa, con esto se determina que no existe posibilidad de falla en la estructura ya que el esfuerzo Von Mises está por debajo del esfuerzo de fluencia del material seleccionado, el cual tiene un valor igual a 310 MPa, como se mencionó anteriormente.

Imagen 72. Deformación estructura general



Fuente: elaboración propia

Imagen 73. Deformación sección 1



Fuente: elaboración propia

El valor de la deflexión máxima está dado por;

$$Def_{max} \leq L/360$$

$$Def_{max} = 5,5m/360$$

$$Def_{max} = 15,277 \text{ mm}$$

Con base en el análisis de elementos finitos, la deformación máxima que sufrirá la estructura de apoyo de la maquina tiene un valor de 0,8 mm.

$$0,8mm \leq 15,277mm$$

El valor de la deformación según el análisis por el MEF es menor a la deformación máxima asegurando con esto que la estructura de apoyo soporta las cargas correctamente.

6. IMPACTO AMBIENTAL DEL SECADOR

En este capítulo la empresa ECOMINESA S.A comprometida con el medio ambiente, y teniendo en cuenta la situación actual respecto a la contaminación por industrias, realiza un análisis del impacto ambiental que lleva a cabo el accionamiento en planta del secador de arena, como se muestra en el cuadro 17;

Cuadro 17. Impacto ambiental

Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Solución
Alimentación y Descarga de Material	Motor unidad de transporte (Banda transportadora)	Genera ruido por la operación del motor, consumo de energía eléctrica	Sin mayor afectación ya que está dentro de los rangos de decibeles permisibles	No exceder los decibeles permitidos 75 dB(A) ⁷²
Secado	Quemador	Genera emisiones al entorno	Contaminación del entorno	Contar con programas de mantenimiento y control de emisiones para el equipo
Desechos de Producción	Residuos de producción	Genera contaminación al medio ambiente	Contaminación del suelo y entorno	Desarrollar planes de reciclaje para su reutilización de materia

Fuente: elaboración propia.

Como se evidenció en el anterior cuadro correspondiente al impacto ambiental el desarrollo de operaciones de la máquina genera mínimas afectaciones al medio ambiente, siempre y cuando se guie por los lineamientos sugeridos en la solución del mismo.

En el anexo O, se encuentra la matriz de impacto ambiental de manera más detallada, identificando en esta que los procesos que generan mayor impacto ambiental son el proceso de secado y soldadura de la máquina.

⁷² COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 627 (07, abril, 2006). Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. [En línea]. [Citado el 30 de septiembre del 2018]. Disponible en: < http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Resoluciones/res_0627_070406.pdf >

El impacto ambiental abarca las actividades que competen tanto a la fabricación, operación y el mantenimiento, esto para poder identificar las actividades que poseen mayor impacto al medio ambiente y así poder llevar a cabo el diseño de un plan de mitigación ambiental, reduciendo los daños de dichas actividades por medio de acciones correctivas o preventivas, contribuyendo de manera positiva al medio ambiente.

Estas actividades serán analizadas utilizando el método de Leopoldo, el cual consiste en una matriz donde se clasifican los factores de afectación según los medios puede ser medio biótico, abiótico y antrópico, estos medios son calificados y cuantificados en dicha matriz.

El medio biótico hace referencia a los organismos vivos que tienen influencia sobre un ecosistema específico. Ejemplos la flora, la fauna y sus interacciones.

El medio abiótico, son los factores del medio ambiente que no poseen vida pero que aun así conforman o hacen parte de un ecosistema. Ejemplo agua, aire y tierra.

El medio antrópico, hace referencia a la repercusión que tienen las actividades del hombre en el ecosistema como lo puede ser la presencia de residuos, ruido, aceites, gases, etc.

6.1 ANALISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL SECADOR ROTATIVO

Como ya se mencionó anteriormente las actividades realizadas en el desarrollo y operación del secador rotativo serán evaluadas por medio de una matriz, para llevar a cabo este proceso es necesaria la sustentación de las actividades que competen a la fabricación, montaje, mantenimiento y operación del secador, siendo descritas de manera breve, con el fin de contextualizar y conocer el porqué de su afectación al medio ambiente.

En la fabricación se presentan actividades como;

- ✓ Soldadura, unión de los componentes metálicos del secador a diseñar.
- ✓ Corte, se realiza en las piezas del secador y genera desprendimiento de material.
- ✓ Rolado, tiene como función darle la forma cilíndrica a la cámara de secado y a otros componentes del secador a diseñar.
- ✓ Pintura, acabados realizados a los componentes del secador.
- ✓ Pulido, mejora estética de los componentes metálicos.

En el montaje se presentan actividades como;

- ✓ Ensamble, es el proceso que tiene como función darle forma a la máquina.
- ✓ Ajuste, corresponde a la precisión en las uniones de los diferentes componentes del secador rotativo para posteriormente realizar los ensayos

En el proceso de operación se evidencias actividades como;

- ✓ Ensayos, pruebas del proceso de secado de la materia prima.
- ✓ Alimentación de materia prima, es el proceso de ingreso de la arena a la máquina para luego ser procesada.
- ✓ Proceso de secado, proceso de evaporación del agua contenida en las partículas de arena, llevado a cabo en el interior de la cámara de secado.
- ✓ Descarga de material, la arena sale del proceso con una humedad del 2% y es llevada a una zona de almacenamiento bajo cubierta.

Para el mantenimiento es necesario realizar lo siguiente;

- ✓ Lubricación, se realiza a las partes móviles del secador rotativo.
- ✓ Limpieza, esta función se debe realizar cuando no se encuentre operando.
- ✓ Inspección eléctrica y mecánica, se debe realizar para evitar cualquier tipo de emergencia en la máquina.
- ✓ Cambio de componentes, Se realiza en algunos componentes luego de que presenten un desgaste visible, como por ejemplo los rodillos.

Cada acción genera un impacto ambiental, este será calificado de 0 a 5, siendo cero ninguna afectación por parte de la actividad al ecosistema y cinco la máxima afectación que puede tener una actividad de las mencionadas anteriormente a la integridad del medio ambiente, esto se muestra a continuación en forma de cuadro;

Cuadro 18. Ponderación impacto ambiental

Calificación impacto ambiental	Nivel del impacto
0	Ninguno
1	Mínimo
2	Bajo
3	Medio
4	Alto
5	Máximo

Fuente: elaboración propia

Cuadro 19. Matriz de Leopold para el secador rotativo

		ACCIONES CON POSIBLES EFECTOS														TOTALES FACTORES AMBIENTALES			
		1. FABRICACIÓN SECADOR ROTATIVO					2. MONTAJE		3. OPERACIÓN			4. MANTENIMIENTO							
ACTIVIDADES	Calificación	SOLDADURA	CORTE	ROLADO	PINTURA	PULIDO	ENSAMBLE	AJUSTES	ENSAYOS	ALIMENTACION DE MATERIA PRIMA	PROCESO DE SECADO	DESCARGA DE MATERIAL	LUBRICACIÓN	LIMPIEZA	INSPECCION ELECTRICA	INSPECCION MECANICA	CAMBIO DE COMPONENTES		
		FACTORES AMBIENTALES	ANTROPICOS	1. Ruido	1 2	1 1	3 2	1 1	4 2	3 2	1 0	1 2	1 1	1 1	1 1	1 0	1 0		1 2
2. Basuras	1 3			1 3	1 1	1 2	2 2	2 2	1 0	1 1	1 2	1 1	1 2	1 4	1 3	1 0	1 1	1 0	18
3. Consumo de energía	3 3			3 3	1 1	1 2	3 3	1 1	1 0	1 2	1 1	4 4	1 1	1 1	1 1	1 2	1 2	1 1	25
ABIOTICOS	4. Tierra		1 2	1 1	0 0	1 2	2 2	1 2	1 0	1 1	1 3	1 1	1 2	1 1	1 3	1 0	1 1	1 0	17
	5. Agua		1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 1	1 1	1 0	1 0	1 0	16
	6. Aire		1 2	1 1	1 0	3 1	2 2	1 0	1 0	1 1	1 2	1 2	3 3	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	21
BIOTICOS	7. Humanos		4 3	3 2	3 2	1 4	3 3	3 3	1 2	1 2	1 1	1 1	1 1	1 2	1 1	1 2	1 2	1 1	27
	8. Animales		1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	16
	9. Plantas		1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	16
TOTALES ACTIVIDADES		15	11	6	12	12	10	2	9	10	10	10	9	9	6	7	2		

Fuente: elaboración propia

Por medio del análisis realizado en la matriz anterior (Ver cuadro 19), se identifican los procesos o actividades de mayor impacto ambiental como lo son la soldadura, corte, pintura y pulido en el proceso de fabricación de la máquina. También por otra parte se evidencia que el factor ambiental de mayor impacto es el recurso humano ya que están expuestos a las diferentes actividades que se llevan a cabo en el desarrollo del proyecto que en este caso es el secador rotativo.

La mitigación del impacto ambiental de las actividades que competen a la fabricación del secador consiste en una serie de acciones propuestas en forma de cuadro con el fin de evitar o reducir estos efectos negativos mencionados anteriormente, también cabe resaltar que la utilización de los elementos de protección por parte del recurso humano reduce el impacto negativo de las actividades que ya se mencionaron.

Las posibles soluciones a la afectación del impacto se muestran en el cuadro 20, este se realizó con base al medio biótico, abiótico y antrópico resaltando las actividades de mayor impacto, su fuente o motivo y la posible medida de atenuación de dicho impacto, todo esto basado en el desarrollo tanto de la fabricación, montaje, operación y el mantenimiento del secador rotativo.

Cuadro 20. Acciones de mitigación del impacto ambiental

ACTIVIDAD	IMPACTOS			Fuente o motivo	Medida de atenuación del impacto
	ABIOTICO	BIOTICO	ANTROPICO		
Corte	Humanos			Exposición a gases nocivos	Utilizar los elementos de protección
			Basuras	Generación de residuos sólidos en el proceso de corte de laminas	Después de cada jornada de trabajo , dejar limpia el área de trabajo
Soldadura	Humanos			Exposición a la radiación y emanación de gases tóxicos	Disponer de una excelente ventilación en el área de trabajo, además utilizar los elementos de protección
		Aire		Emanación de gases	
			Consumo de energía	Consumo elevado de corriente eléctrica	Revisar conexiones eléctricas y realizar mantenimiento periódico y preventivo
Pulido	Humanos			Exposición a ruido extremo y salto de chispas.	Usar los elementos de protección visual y auditiva siempre que se vaya a desarrollar esta labor. Además se debe utilizar ropa adecuada tal como overol de trabajo.
			Ruido	El pulido de superficies metálicas genera ruido extremo	
Pintura	Humanos			Emanación de gases	Debe existir un sitio especializado para realizar esta labor que cuente con un sistema de ventilación adecuado
		Aire			Se debe realizar un mantenimiento periódico de los equipos que se utilizan para esta actividad.

Fuente: DELGADO, Javier. Diseño de secador de arena para la producción de mortero seco, [citado el 20 de julio del 2.019].

7. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.1 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Como ya se mencionó anteriormente ECOMINESA es una empresa fundada en el año 2.015, ubicada en el municipio de Agua de Dios, Departamento de Cundinamarca y perteneciente al sector minero del país, la actividad principal de la empresa consiste en extraer material (arena) de una mina a cielo abierto ubicada en dicho municipio con el fin de comercializar su producto a clientes que lo requieren para diferentes aplicaciones, para poder diversificar su campo de acción la empresa tiene como plan de expansión o evolución la implementación de un sistema de secado continuo haciendo uso en este caso de un secador rotativo, esto con el fin de reducir el porcentaje de humedad contenido en su materia prima, el objetivo principal de la reducción de humedad en la arena es la utilización en procesos como la fabricación de vidrio, mortero, producción de silicato y cerámica, como aditivo en las mezclas para material de construcción, como arena de moldeo en las producciones metalúrgicas, etc.

El plan de expansión que para este caso es la implementación del secador rotativo posee una capacidad de 30 Ton/h, el proceso de secado se realizara según la información suministrada por la empresa en un turno de 5 horas, este proceso cuenta con 2 operarios para la maquina los cuales serán capacitados previamente por la empresa con el fin de contextualizar y evidenciar el correcto funcionamiento de la maquina teniendo en cuenta las posibles fallas y soluciones que puede presentar la misma durante su operación.

Con respecto a lo mencionado anteriormente en este manual se describen los procesos pertinentes al mantenimiento tanto preventivo como correctivo del secador rotativo, con el fin establecer una guía de inspecciones y posibles soluciones a problemas que se presenten en algún sistema y/o elemento que compone la máquina. El objetivo principal de este manual es asegurar la máxima disponibilidad de la máquina y los sistemas que la integran en su totalidad, con el fin de aumentar su rendimiento y a su vez generar un mínimo consumo por parte de los mismos.

7.1.1 Políticas y objetivos del manual de mantenimiento. Son las normas o reglas que se establecen para llevar a cabo el mantenimiento, esto quiere decir, cualquier acción o toma de decisiones que se realicen con el fin de conseguir los objetivos estipulados según el mantenimiento.

- ✓ Para realizar las actividades de mantenimiento el personal encargado debe utilizar los elementos de protección adecuados con el fin de evitar cualquier tipo de accidente laboral y para facilitar el desarrollo de las actividades correspondientes al mantenimiento estipulado en este manual.

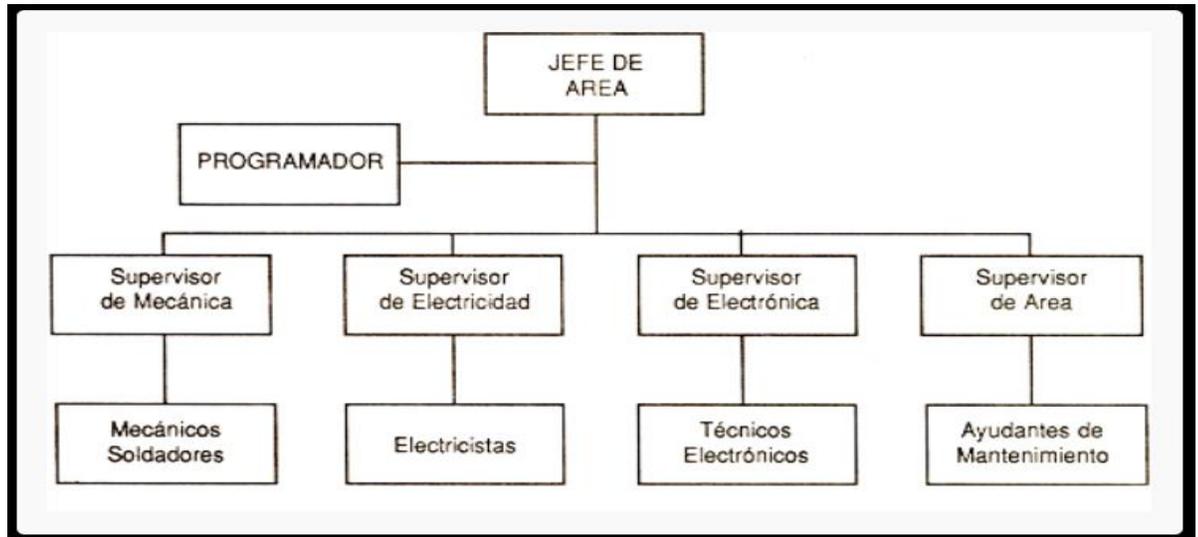
- ✓ El trato por parte del personal encargado de realizar el mantenimiento debe ser cordial, amable y con mucho respeto, con el fin de generar un ambiente laboral agradable tanto para el resto de persona como para con ellos mismos
- ✓ Se deberán realizar reportes con respecto al mantenimiento de la máquina y/ equipos desarrollado por el personal encargado para realizar un análisis de los datos estableciendo unos resultados y con base a esto unas soluciones o mejoras con respecto a los procesos de mantenimiento.
- ✓ Se debe señalar la zona de mantenimiento de manera previa a la intervención poniendo en contexto a las demás personas que interactúan en la misma zona o en sus alrededores
- ✓ Realizar inspecciones visuales de manera periódica con el fin de detectar cualquier tipo de falla que genere un mantenimiento sea correctivo o preventivo
- ✓ Las intervenciones se deben realizar de manera programada para evitar la interrupción del proceso de secado

Los objetivos que se plasman en el manual de mantenimiento son los encargados de conseguir el resultado esperado, generando compromiso y asignando responsabilidades al personal pertinente en general.

- ✓ Maximizar la disponibilidad del secador y los sistemas que lo integran generan un consumo mínimo por parte de los mismos
- ✓ Tener un alto grado de disponibilidad de los equipos, para asegurar el funcionamiento en cualquier momento del día
- ✓ Describir de manera específica los lineamientos y procesos que se realizaran con respecto al mantenimiento que se llevara a cabo por parte del personal al secador rotativo
- ✓ Contextualizar al personal de las inspecciones, posibles fallas y soluciones, procedimientos, intervenciones que se realizaran según lo establecido
- ✓ Minimizar costos de operación mediante una correcta practica de mantenimiento
- ✓ Lograr con el mínimo costo posible el funcionamiento de las maquinas en este caso el secador rotativo con el máximo rendimiento posible
- ✓ Mantener en buen estado la máquina , minimizando el deterioro por medio de prácticas de mantenimiento programadas

7.1.2 Organización del mantenimiento. Hace referencia a la distribución tanto de responsabilidades como de procesos que se llevarán a cabo en la práctica de mantenimiento, actividades que para asegurar la máxima disponibilidad de la máquina, operarios con sus respectivas responsabilidades, capacitaciones, sistemas de comunicación entre muchos más aspectos.

Imagen 74. Organización área de mantenimiento



Fuente: SIERRA. Gabriel. Programa de mantenimiento preventivo. Disponible en <<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2004/112490.pdf>>

La imagen 72, muestra a manera de organigrama la distribución que puede tener una empresa con respecto al área de mantenimiento, esto es expresado en el manual de mantenimiento establecido por la institución educativa SENA, esta organización permite tener de manera controlada tanto las inspecciones con su frecuencia establecida, los procesos de intervención, costos, fallas o problemas inminentes, persona y responsabilidades.

Las áreas de mantenimiento con sus respectivos talleres se establecen cerca a sus respectivas zonas de trabajo o intervención con la intención de reducir tiempo, costos y con esto aumentar la disponibilidad de la máquina, descentralizando el área de mantenimiento en la empresa.

Para diseñar la organización del departamento de mantenimiento se debe;

- ✓ Establecer actores, responsabilidades y actividades a desarrollar en el área con respecto al personal o autoridad involucrado en el mantenimiento de la maquina
- ✓ Establecerlas relaciones verticales y horizontales entre el personal encargado de desarrollar el mantenimiento

- ✓ Asegurar que el objetivo de mantenimiento ha sido interpretado y entendido por todos
- ✓ Determinar canales de comunicación efectivos entre las personas encargadas de desarrollar actividades correspondientes al mantenimiento

El mantenimiento establecido para la maquina consta de un supervisor de área, encargado de desarrollar tareas determinadas por el manual, el operario que cumple con algunas funciones o inspecciones de manera periódica para poder llevar a cabo el desarrollo de la operación de secado dentro de la máquina, ECOMINESA S.A es la encargada de determinar la cantidad de operarios o personal que intervendrá en el mantenimiento teniendo en cuenta las características o especificaciones plasmadas en este manual, destacando los aspectos más importantes a tener en cuenta para llevar a cabo dicho mantenimiento.

7.1.3 Planeación y control del mantenimiento. Es el área encargada de supervisar el desarrollo de las tareas para evidenciar que lo que se estipulo para el mantenimiento se esté llevando a cabo, en caso de que exista algún tipo de irregularidad en el desarrollo de los procesos reportar y de manera inmediata realizar las acciones correctivas necesarias para el caso.

Desde este punto de vista el mantenimiento y su respectivo control se inicia desde la planeación del mismo, esto quiere decir el punto donde se dictan los parámetros o procesos de control, algunos parámetros de control son, el tiempo, la calidad, cantidad, costo, etc.

El control realizado en este proyecto consta de los siguientes pasos;

- ✓ Medición
- ✓ Comparación
- ✓ Análisis
- ✓ Corrección

La medición se realiza con parámetros pertinentes al mantenimiento, esto quiere decir con ítems referentes a las paradas programadas, el porcentaje de cumplimiento del mantenimiento, el costo del mismo, el número de intervenciones, la disponibilidad de la máquina, etc.

Estos datos deben ser recolectados por la empresa durante la operación de la maquina con el fin de corregir cualquier problema que se presente con respecto al mantenimiento establecido por el manual y sus respectivos parámetros de evaluación, esto se realiza con el fin de mejorar y optimizar el funcionamiento de la máquina para tener un excelente proceso de secado.

La comparación, los resultados obtenidos con respecto al mantenimiento pertinente a la maquina se comparan con los parámetros de evaluación determinados en el manual y mencionados anteriormente, esto se realiza con el objetivo de establecer desviaciones durante el proceso, destacando las más importantes para ser corregidas posteriormente y mantener de manera estable el proceso de intervención referente al mantenimiento.

El análisis de los datos determinados durante el proceso de mantenimiento se realiza con el fin de encontrar el porqué de las desviaciones durante el proceso, teniendo como punto de referencia los parámetros ideales establecidos para el proceso de funcionamiento de la máquina, este análisis implica o relación cambios durante los respectivos procesos de mantenimiento, esto quiere decir inspecciones, intervenciones, métodos, frecuencia, personal a cargo, responsabilidades, tiempo de paradas programadas, costo, etc.

Por último se debe realizar la corrección de las desviaciones determinadas en los ítems anteriores para poder asegurar la disponibilidad de la máquina, en este caso del secador rotativo, este diagnóstico del mantenimiento tiene como finalidad realizar un plan de corrección y ataque a dichas desviaciones o errores durante los procesos pertinentes al mantenimiento. Algunas herramientas que se pueden utilizar para detectar las desviaciones que se presentan durante el proceso de mantenimiento son los gráficos de producción mensual, estudios estadísticos con respecto a la máquina, análisis financiero y elementos de la investigación de operaciones (PERT y CPM).

LAS FUENTES DE INFORMACION juegan un papel importante dentro del proceso de mantenimiento, ya que brindan la información necesaria para poder corregir y estabilizar el proceso de intervención por parte de los operarios a la máquina, datos que competen a los equipos y/o sistemas que integran el secador en su totalidad, para esto se debe tener claro que se utilizaran tanto mantenimiento preventivo como mantenimiento correctivo con sus respectivas características y procedimientos.

Algunas fuentes de información importantes durante el proceso de mantenimiento del secador rotativo son las siguientes;

- ✓ Características constructivas de los equipos y/o sistemas que integran el secador a diseñar en su totalidad
- ✓ Posibles problemas que pueden surgir durante la operación del secador rotativo
- ✓ Posibles soluciones a los posibles problemas generados durante la operación de la maquina
- ✓ Repuestos que serán utilizados en el mantenimiento de la maquina

- ✓ Programación del mantenimiento preventivo pertinente al secador rotativo que se diseñara en el proyecto
- ✓ Establecer la frecuencia de las inspecciones realizadas a la maquina
- ✓ Mantenimiento de emergencia que puede llegar a practicarse durante la operación

Esta recolección de información por parte de la empresa satisface procesos de mantenimiento relevantes con el fin de establecer si el mantenimiento realizado cumple con su objetivo o no. Datos relativos a la gestión del mantenimiento, a las averías y a las intervenciones son los que se extraen de la recolección de información de la maquina durante su operación y su reposo.

8.1.4 Actividades de mantenimiento preventivo. Para evitar que se confunda este mantenimiento con una combinación del periódico y el programado, se debe hacer énfasis en que la esencia de este son las revisiones e inspecciones programadas que pueden o no tener como consecuencia una tarea correctiva o de cambio.

Este mantenimiento se basa en el hecho de que las piezas o elementos que componen un sistema se desgastan con respecto a su funcionamiento y por esto es necesario realizar una serie de inspecciones con su respectiva frecuencia para evitar que ocurra una falla y estas sean intervenidas o reemplazadas antes de, un ejemplo práctico de una actividad preventiva son las inspecciones de cualquier tipo como visual y la lubricación que es necesaria en algunas piezas de la máquina.

El éxito de este mantenimiento radica en el cumplimiento de las actividades según su frecuencia plasmada en el manual de mantenimiento, esto se realiza por medio de un control establecido por la empresa, en este caso, Ecominesa s.a.

Para el secador rotativo a diseñar se establecen una serie de inspecciones con respecto a cada sistema que integra la maquina en su totalidad, destacando todo lo que se mencionó anteriormente y con el fin de llevar una práctica de manera correcta, evitando posibles fallas durante la operación de la máquina y con esto pérdidas económicas debido a paradas de operación no programadas dentro del cronograma de intervenciones al secador.

El cuadro 21, expone las diferentes actividades que competen al mantenimiento preventivo con referencia a lo anterior, estas poseen una frecuencia, esto quiere decir un determinada programación para ser realizadas y el encargado de esto puede en algunos casos ser el operario y en otros el personal de mantenimiento, las practicas se deben llevar bajo control y con previo aviso, ya que tienen como función generar la máxima disponibilidad a la máquina que en este caso es el secador rotativo a diseñar.

Cuadro 21. Inspecciones y actividades preventivas

ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA			
	DIARIA	SEMANAL	MENSUAL	TRIMESTRAL
Inspeccion del anclaje del secador en general(estructura, motorreductor)		X		
Verificacion de las instalaciones electricas			X	
Desmontar ventiladores y hacer limpieza				X
Realizar la lubricacion de las partes moviles (cadena, piñones,rodamientos)		X		
Inspeccion de las tuberios de combustible	X			
Verificacion de los instrumentos de medicion	X			
identificar si el sistema de transmisión de potencia se encuentra en optimo estado y no presenta objetos extraños	X			
Medir el nivel de aceite del motoreductor		X		
Verificar el funcionamiento del quemador			X	
Verificar el funcionamiento de los ventiladores			X	
Verificar el funcionamiento del motoreductor			X	
Inspeccionar el estado general de las estructuras				X
Revisar todas las uniones soldadas			X	
Hacer una limpieza dentro de la camara de secado				X
Identificar el estado de los elevadores				X
Inspeccion y ajuste de las uniones roscadas del secador			X	

Fuente: elaboración propia

Con base en un proyecto similar en el cual se realiza el diseño de un secador para la producción de mortero se establecieron algunas otras posibles actividades con respecto al mantenimiento preventivo de la máquina, generando con esto un plan integral de inspecciones y/o intervenciones con una periodicidad programada, este plan o programa de mantenimiento está diseñado con respecto a los manuales de algunos de los componentes principales de los sistemas que integran el secador a diseñar.

El objetivo es reunir o recolectar información para poder generar un plan de mantenimiento muy completo y seguro dando un grado de confiabilidad alto con respecto a la disponibilidad de la maquina al momento de ser requerida con el fin de realizar un trabajo, es por esto se plantean una serie de actividades con base a diferentes fuentes de información.

Cuadro 22. Inspecciones preventivas

Frecuencia	Actividad
Diario	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisar tuberías de gas, para detectar fugas de combustible. ➤ Revisar funcionamiento de los diferentes instrumentos de medición. ➤ Verificar que en la zona de movilidad del secador, no hayan objetos extraños que obstruyan o paren el movimiento normal del mismo. ➤ Comprobar que el amperaje de los motores no supere el amperaje nominal. ➤ Retirar desechos que impidan el desarrollo de las actividades de los sistemas de la máquina. ➤ Detectar ruidos anormales en los motores de los ventiladores.
Semanal	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisión del estado general de los ventiladores. ➤ Realizar limpieza general de la máquina, ejecutada por el personal de mantenimiento. ➤ Revisar nivel de aceite en el motoreductor ➤ Revisar todas las conexiones de la tubería de gas del sistema generador de aire caliente.
Mensual	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisar el estado general de los motores eléctricos. ➤ Revisar que la cadena del sistema de transmisión de potencia, se encuentre en buenas condiciones. ➤ Verificar el estado de las uniones roscadas de la tubería de conducción de gas natural. ➤ Establecer el correcto alineamiento de la transmisión de potencia (engranajes). ➤ Lubricar con grasa la cadena de la transmisión
Semestralmente	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Revisar el estado de las laminas de acero que conforman la cámara de secado ➤ Revisar estado general de la estructura ➤ Revisar todas las uniones soldadas ➤ Revisar el circuito eléctrico del tablero de control ➤ Hacer inspección del estado de los rodamientos de los ventiladores, por medio de análisis de vibraciones o ultrasonido. ➤ Desmontar ventiladores y limpiar las aspas. ➤ Realizar cambio de aceite del motorreductor. ➤ Realizar limpieza interna de la cámara de secado, ejecutada por el personal de mantenimiento. ➤ Revisar el estado de los elevadores ➤ Revisar todas las uniones atornilladas y ajustarlas según sea el caso.

Fuente: DELGADO, Javier. Diseño de secador de arena para la producción de mortero seco, [citado el 20 de julio del 2.019].

7.1.5 Actividades de mantenimiento correctivo. Está enfocado en corregir cualquier tipo de incertidumbre que se presente en el secador rotativo en un momento determinado. Este tiene como función poner en marcha el secador de manera rápido y con el menor costo posible, teniendo en cuenta la correcta practica de intervención durante el mantenimiento, también se destaca que este debe ser realizado en el menor tiempo posible.

Para llevar a cabo cualquier tipo de intervención que contemple el mantenimiento correctivo en el secador a diseñar se deben llevar a cabo los siguientes aspectos;

- ✓ Identificar el problema y por ende sus causas también
- ✓ Estudiar las posibles soluciones al problema identificado en la máquina y en el menor tiempo posible
- ✓ Analizar las ventajas de las posibles soluciones con respecto al problema que se generó en la máquina, en este caso secador
- ✓ Realizar el proceso de intervención el cual se debe socializar previamente con el personal de mantenimiento
- ✓ Supervisar el desarrollo de las intervenciones realizadas en la práctica del mantenimiento
- ✓ Recolectar la información derivada tanto de la falla, como de la solución que se le dio al problema, generando una ficha técnica del proceso de mantenimiento

Este tipo de mantenimiento se debe reducir al máximo ya que presenta una serie de inconvenientes de gran impacto tanto para la empresa como para la maquina en general, vinculando factores negativos en la parte del personal, de la máquina y los sistemas que la componen, en el inventario (ya que puede darse el caso en que la maquina falle y el repuesto requerido no se encuentre dentro del inventario de la empresa), en la seguridad (ya que se trabaja bajo riesgo, tanto para el personal como para la maquina) y por último factor y no menos importante la calidad del producto, esta se verá afectada de manera importante, consecuencia del problema de los equipos y de la falla que no se trató o evito de manera preventiva y que ocasiono una situación de riesgo.

Los componentes del secador rotativo pueden presentar una serie de fallas que afectarían de manera directa el funcionamiento de la máquina y con esto el proceso de secado de la materia prima, con el fin de dar solución a estas afectaciones se establecen algunos posibles lineamientos o sugerencias, expuestas en el cuadro 20, a continuación.

Se recomienda tomar las medidas de seguridad necesarias al momento de realizar cualquier tipo de intervención a la maquina sea de manera preventiva y correctiva, y también desarrollar una base de datos de los errores y soluciones que se dieron con el fin de tener una recolección de datos de los problemas que se han generado durante el desarrollo de las operaciones de la máquina.

Cuadro 23. Problemas y posibles soluciones para el secador

SISTEMA	COMPONENTES	PROBLEMAS	POSIBLES SOLUCIONES
CÁMARA DE SECADO	CILINDRO ROTATIVO	Desalineación del cilindro	Realizar el debido ajuste del cilindro con respecto a los apoyos (rodillos)
		Desgaste en las uniones por medio de soldadura	Realizar la reparación necesaria para la union por medio de soldadura, limpiar de manera periódica las uniones soldadas.
	DISPOSITIVOS ELEVADORES	Desgaste por abrasión, consecuencia del movimiento de la materia prima	Limpiar la zona de contacto de los elevadores, en caso de que se genere un daño grave se debe realizar el cambio de los elevadores ubicados dentro de la cámara de secado.
TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO	MOTOREDUCTOR	Falla en el funcionamiento del mecanismo	Revisar el nivel de aceite del reductor y si es necesario reponerlo, revisar si existen fugas de aceite, realizar un ajuste o alineación del grupo motor-reductor, verificar la instalación eléctrica del motor.
	CADENA	Ruido excesivo, desgaste de la cadena.	Limpiar la cadena de manera periódica preferiblemente retirándola para tener una mejor profundidad de limpieza, Lubricar la cadena logrando con esto reducir el ruido y alargar la vida útil de la misma.
	RODILLOS	Desgaste por fricción con los anillos de rodadura, desajuste de la concentricidad	Rectificar la planitud de la zona de contacto, realizar el debido ajuste de alineación con respecto al cilindro rotativo, si es necesario reemplazar el componente.
GENERACION DE AIRE CALIENTE	QUEMADOR	El quemador no enciende	Inspeccionar la electroválvula de gas y si es necesario reemplazarla, verificar que no exista ningún tipo de fuga del combustible, identificar si existe algún problema con las conexiones del circuito eléctrico del sistema.
	VENTILADOR CENTRIFUGO	Vibración y ruido excesivo	Ajustar las respectivas uniones del ventilador, realizar la debida lubricación, limpieza y ajuste del cojinete o rodamiento, si es necesario cambiar el rodamiento del ventilador.
ESTRUCTURAL	ESTRUCTURA DE APOYO	Fallas en la estructura	Revisar todas las uniones soldadas, inspeccionar el estado general de la estructura, realizar el ajuste de las uniones roscadas para el anclaje de la estructura.
	ESTRUCTURA CAMARA DE GENERACION DE CALOR	Fallas en la estructura	Revisar todas las uniones soldadas, inspeccionar el estado general de la estructura, realizar el ajuste de las uniones roscadas para el anclaje de la estructura.

Fuente: elaboración propia

7.2 MANUAL DE OPERACIÓN DEL SECADOR ROTATIVO

Este manual es el encargado de poner en contexto al operario sobre cómo llevar a cabo el correcto funcionamiento de la, este comprende tanto elementos de protección que deben ser utilizados al tener cualquier tipo de interacción con la máquina (estos se encuentran al final del manual y deben ser aplicados obligatoriamente), parámetros que deben ser controlados para llevar a cabo el proceso, pasos a seguir y algunas prácticas que se pueden generar en caso de algún tipo de emergencia en la planta.

El secador rotativo contempla una serie de requisitos para poder operar de manera correcta, esto quiere decir características de funcionamiento que se deben tener en cuenta para su puesta en marcha, algunas de estas son;

- ✓ La velocidad de rotación de la cámara de secado no debe superar los 5 rpm, esta se desarrolla por medio del sistema de transmisión de potencia y se debe rectificar antes de ingresar el material al proceso.
- ✓ La humedad de entrada del material debe estar en un rango de 7-9% este dato lo asegura la empresa realizando un pre-secado en cámaras de almacenamiento de material construidas con un material que retiene el calor transferido por el sol y evapora de manera manual un porcentaje mínimo de agua contenida dentro de las partículas del material
- ✓ El secador se debe llenar con un 15% de su volumen total como contenido máximo de arena asegurándolo por medio de un sistema de encargado de proporcionar esta cantidad de material al proceso de manera que se cumpla con el requisito mediante una tolva de alimentación con un sistema de dosificación partiendo del parámetro mencionado anteriormente y una banda transportadora que dirige el material hacia la parte interna del cilindro rotativo
- ✓ La temperatura de operación que para este caso corresponde a 300 C, esto se consigue accionando el sistema de generación de calor de manera previa con el motivo de estabilizar la temperatura y poder realizar el ingreso del material al proceso
- ✓ Arena es el único material a procesar en el secador rotativo, ya que se diseñó con las propiedades de dicho material, es por esto que se debe resaltar este dato

Para el correcto desarrollo de las operaciones del secador rotativo por parte del OPERARIO se hace de manera necesaria la lectura de este manual, teniendo en cuenta las especificaciones de la maquina bajo cualquier tipo de condición o circunstancia, implementando las normas que regulan el funcionamiento de la misma.

EQUIPO Y SUS PARTES

Para poder llevar a cabo cualquier intervención, El operario debe identificar los diferentes sistemas que componen la maquina en su totalidad, esto con el fin de evitar cualquier error antes, durante y después de realizar el proceso de secado, por este motivo se mencionan y describen en este manual los principales sistemas mencionados anteriormente y sus respectivas funciones, capacitando al operario y por ende desarrollando el conocimiento necesario para afrontar el proceso llevado a cabo en la maquina a diseñar;

- ✓ Sistema de transmisión de potencia. Se encarga de transmitir el movimiento de rotación tanto a la cámara de secado como al material que se encuentra transitando dentro de la misma. Este sistema está compuesto por un motoreductor eléctrico y una transmisión de tipo piñón- cadena
- ✓ Sistema de control. Este sistema es el encargado de hacer que la maquina funcione de forma correcta, llevando a cabo el proceso de secado con los parámetros establecidos. Se compone de un panel de control y el cableado general.
- ✓ Sistema de generación de aire caliente. Tiene como función generar la corriente de aire caliente con su respectiva temperatura de operación, la cual entrara en contacto con las partículas de arena produciendo una transferencia de calor y con esto reduciendo la humedad de la misma.
- ✓ Sistema estructural. El objetivo de este sistema es soportar el peso transmitido por el secador rotativo y la materia prima contenida dentro del mismo.
- ✓ Sistema de alimentación y descarga. El sistema de alimentación es el encargado de suministrar el material a procesar llenando el cilindro rotativo, y el sistema de descarga como su nombre lo indica tiene como objetivo transportar el material procesado a un sitio de almacenamiento.

RECOMENDACIONES

Principales e importantes recomendaciones antes de poner en marcha la maquina;

- ✓ Verifique que las conexiones eléctricas se encuentren en correcto estado, evitando con esto algún corto circuito
- ✓ Asegúrese que el interruptor principal de la máquina, ubicado en el panel de control se encuentre activo
- ✓ Inspeccione e identifique si el sistema de transmisión de potencia se encuentra en optimo estado y no presenta objetos extraños

- ✓ La temperatura correcta de operación tiene un valor de 300 C, verifique que dicha temperatura sea la presente en la cámara de secado mediante el panel de control
- ✓ Verifique que no exista ningún tipo de fuga de combustible, en este caso gas
- ✓ Inspeccione el sistema motriz, verificando que este bien acoplado el piñón y la cadena encargada de transmitir la potencia

PRECAUCIONES

Para operar de manera segura el secador rotativo se deben seguir algunos lineamientos, con el fin de evitar cualquier tipo de accidente laboral teniendo en cuenta que la manipulación de la maquina la debe hacer personal capacitado previamente.

- ✓ Para operar la maquina no se deben utilizar accesorios de ningún tipo como por ejemplo, cadenas, anillos, aretes, pulseras, etc., debido a que pueden enredarse en la máquina y generar un accidente laboral afectando la vida humana
- ✓ No introducir objetos y/o ninguna parte del cuerpo dentro de la transmisión de potencia, esto quiere decir evitar el contacto con la cadena o piñón mientras esta se encuentre en funcionamiento
- ✓ Inspeccionar la línea del combustible con el fin de identificar si existe algún tipo de fuga, si esto llegase a ocurrir tomar las acciones correctivas necesarias antes de accionar la máquina.
- ✓ Usar los elementos adecuados para operar la maquina como los son el casco, overol, gafas de seguridad, botas punta de acero, etc.
- ✓ La ropa de trabajo debe ser bien ajustada , las mangas deben llevarse ceñidas a la muñeca
- ✓ No accionar la maquina involuntariamente, este es uno de los principales motivos de accidentes laborales
- ✓ Evitar llevar el cabello largo y/o suelto al momento de manipular la máquina, para esto debe usarse una malla o gorro con el fin de evitar un accidente, de igual manera para la barba
- ✓ Mantener la zona de trabajo limpia y libre de obstáculos y manchas de aceite. Los objetos que se encuentren generando algún tipo de obstáculo pueden ser causantes de algún accidente laboral durante la operación de secado.

- ✓ En caso de que se presente algún tipo de falla eléctrica desconecte de inmediato la máquina, para solucionar este problema se debe acudir únicamente a un electricista profesional.
- ✓ Manipular la máquina de manera segura, esto quiere decir que el operario no debe presentar ningún tipo de distracción

INSTRUCCIONES DEL SECADOR ROTATIVO

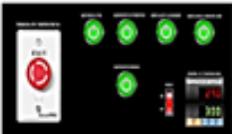
Para el funcionamiento del secador rotativo se deben cumplir una serie de ítems los cuales son expuestos a continuación a manera de cuadro, siendo descritos de manera textual y grafica para aumentar la comprensión por parte del lector en este caso del operario de la máquina.

Cuadro 24. Ítems para el funcionamiento del secador rotativo

No	Item	Descripción	Ilustración
1	CAPACITACION PREVIA	Se debe realizar una previa capacitación con el fin de contextualizar al operario y brindarle el conocimiento, aptitudes y habilidades necesarias para poder desempeñar sus actividades con respecto al funcionamiento de la máquina y su proceso de secado	
2	PRECAUCIONES, INSPECCIONES Y RECOMENDACIONES	Leer previamente el manual de operación y mantenimiento, con el fin de tener en cuenta las precauciones, inspecciones y recomendaciones que se deben tener en cuenta para poner en marcha la máquina y con esto evitar cualquier tipo de falla o emergencia	
3	IMPLEMENTACION DE ELEMENTOS DE PROTECCION	Antes de llevar cualquier tipo de acción con la máquina, se deben cumplir ciertas normas, entre ellas la utilización de los diferentes elementos de protección, aumentando la seguridad de la vida humana dentro de la planta protegiendo a los operarios de los diferentes riesgos en el desarrollo del trabajo	
4	IDENTIFICACION DE LAS ZONAS SEGURAS	El personal de la planta debe identificar las zonas seguras o rutas de evacuacion antes de realizar cualquier tipo de tarea, con el fin de aumentar la seguridad en caso de una emergencia	
5	REVIZAR LA ZONA DE ENTRADA DE MATERIAL AL PROCESO	Realizar una inspección a la zona de alimentación con el fin de verificar la presencia de objetos extraños que puedan entorpecer el proceso	

Fuente: elaboración propia

Cuadro 24. (Continuación)

No	Item	Descripción	Ilustración
6.	REVIZAR LA ZONA DE DESCARGA DE MATERIAL	Realizar una inspección a la zona de descarga con el fin de verificar la presencia de objetos extraños que puedan entorpecer el proceso	
7.	REALIZAR LA VERIFICACIONES DE LOS PARAMETROS	Establecer y estabilizar los valores necesarios de los parámetros descritos en los manuales previamente al accionamiento de la máquina	
8.	SEGUIR LOS PASOS PARA EL ACCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA	Desarrollar el paso a paso establecido en el manual de operación teniendo en cuenta el funcionamiento del panel de control	
9.	LLEVAR UN ACOMPAÑAMIENTO DEL PROCESO	Inspeccionar y analizar el desarrollo del proceso de secado, con el fin de identificar cualquier tipo de anomalía durante el desarrollo de la actividad	
10.	REALIZAR UNA LIMPIEZA	Terminado el proceso de secado se debe realizar una limpieza tanto a la parte interna de la cámara de secado como a los diferentes componentes de la máquina, esto con el fin de extender y mejorar el funcionamiento de la misma	
11.	LUBRICACION	Es necesaria la lubricación de las piezas móviles del secador, esto se realiza para evitar el desgaste excesivo de las mismas	
12.	REVISION ELECTRICA Y MECANICA	Luego de finalizar el proceso se debe realizar una inspección con el fin de identificar tanto averías en el sistema mecánico como cualquier tipo de inconveniente con el sistema eléctrico, como lo pueden ser cortos, peladuras en los cables, malas conexiones, etc.	

Fuente: Elaboración propia

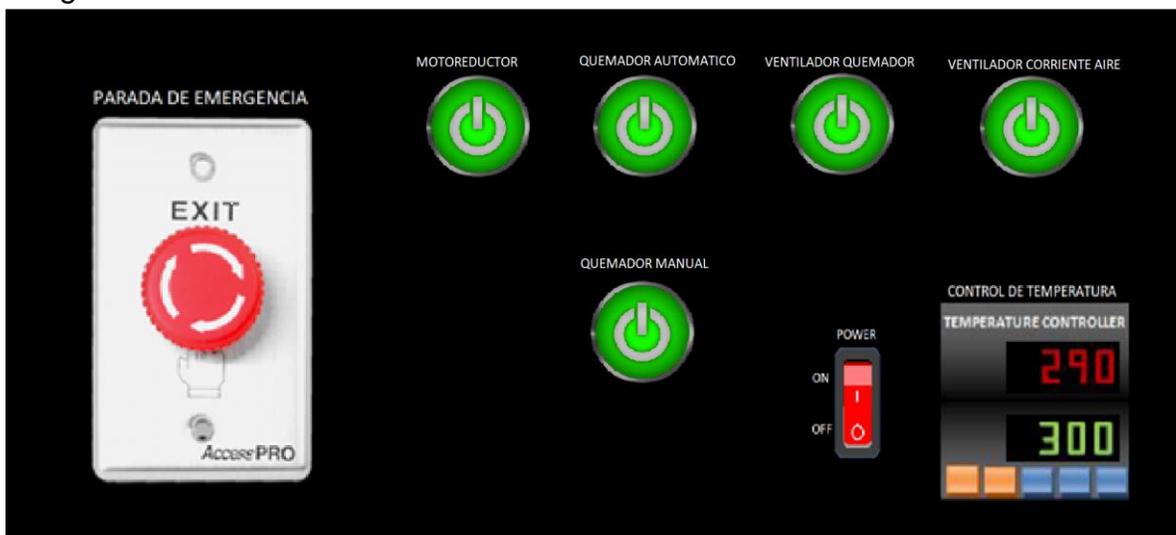
Los ítems están mencionados de manera ordenada con el fin de contextualizar al operario de las acciones y el orden en que se deben realizar antes, durante y después del proceso de secado que se lleva a cabo en la máquina.

7.2.1 Accionamiento del secador rotativo. El accionamiento de la maquina se lleva a cabo de manera ordenada, siguiendo una secuencia de pasos expuestos en este manual. Los pulsadores presentes en el panel de control cuentan con enclavamiento y poseen funciones específicas, el pulsador verde denominado motoreductor, tiene como función accionar el motor con el fin de hacer girar la cámara de secado, el pulsador verde denominado quemador automático es en el encargado de accionar el quemador generando chispa durante 10 segundos, en caso de que este no encienda se debe accionar el pulsador verde denominado quemador manual dando chispa al quemador mientras este se mantiene oprimido, el pulsador verde denominado ventilador quemador está encargado de accionar el ventilador encargado de transferir aire al quemador , el pulsador verde denominado ventilador corriente aire tiene como función generar el flujo de aire que entrara en contacto con las partículas de arena ,el botón de parada de emergencia interrumpe el proceso en caso de una emergencia y el control de temperatura controla la electroválvula y con esto la temperatura de operación del secador a diseñar.

Antes de comenzar el proceso de secado de arena, asegúrese que la maquina se encuentre trabajando a la temperatura indicada, para esto el sistema de generación de aire caliente deberá comenzar a funcionar antes de ingresar el material húmedo.

En caso de que se presente cualquier evento que afecte el proceso o la maquina como tal, de forma negativa, oprima el botón de parada de emergencia, esto con el fin de que no se genere algún tipo de daño en la misma, este botón tiene como función parar el proceso de manera inmediata, interrumpiendo las funciones de los otros pulsadores ubicados en el panel de control (Ver imagen 75).

Imagen 75. Panel de control

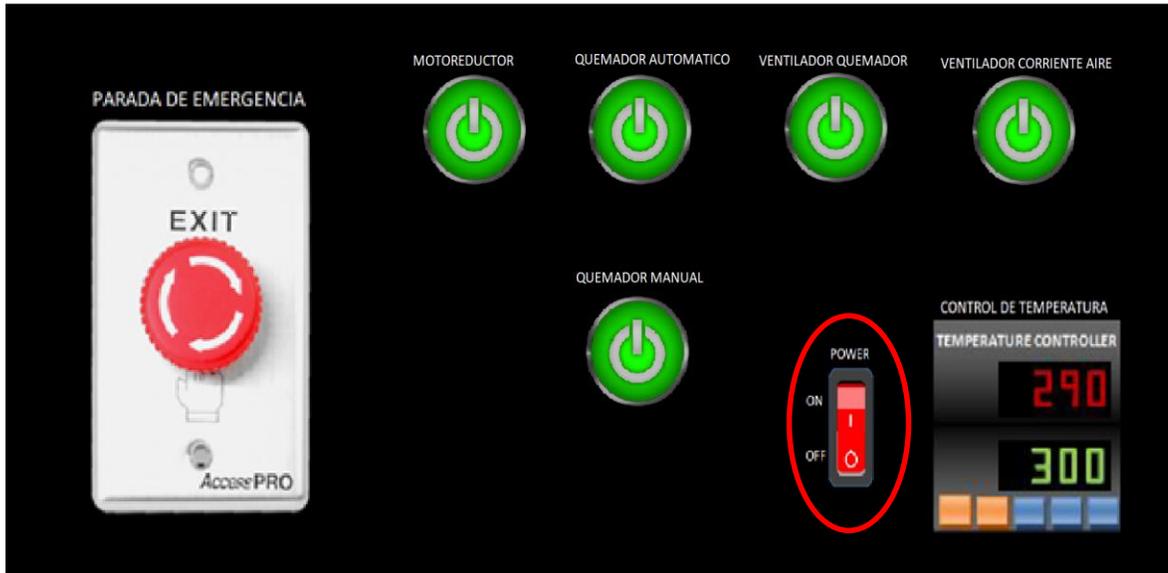


Fuente: elaboración propia

PASOS A SEGUIR PARA EL ARRANQUE;

Paso número 1. Activar el interruptor on-off (Ver imagen 76), encargado de energizar el sistema y todos sus componentes para poder hacer uso de los diferentes pulsadores cada uno con su respectiva función.

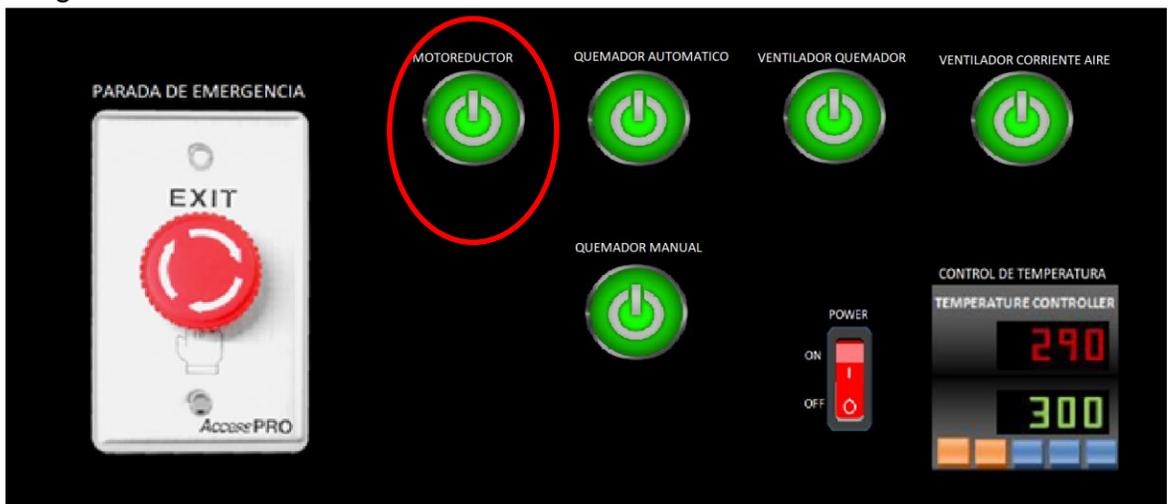
Imagen 76. Interruptor on-off



Fuente: elaboración propia

Paso número 2. Activar el secador rotativo haciendo uso del correspondiente pulsador verde (Ver imagen 77), esto hará que el secador comience a rotar sobre su eje, para desactivar el motoreductor oprima nuevamente el pulsador.

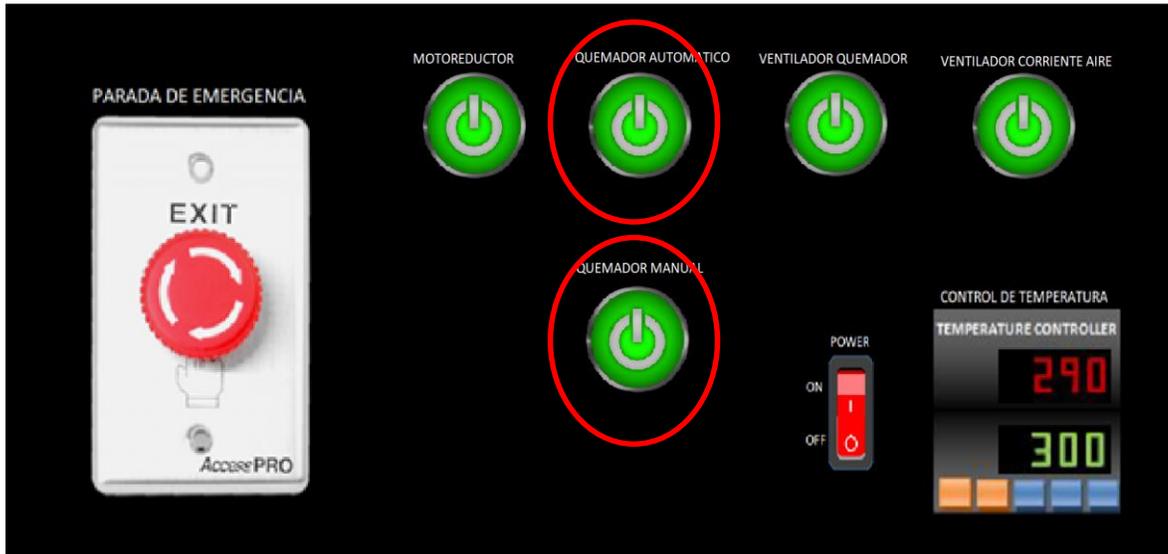
Imagen 77. Pulsador verde secador rotativo



Fuente: elaboración propia

Paso número 3. Activar el quemador haciendo uso de su respectivo pulsador verde (Ver imagen 78), con el fin de generar la llama encargada de elevar la temperatura de operación de la cámara de secado hasta alcanzar los 300 C, si el quemador no se activa, oprimir el pulsador denominado quemador manual hasta generar el accionamiento del mismo.

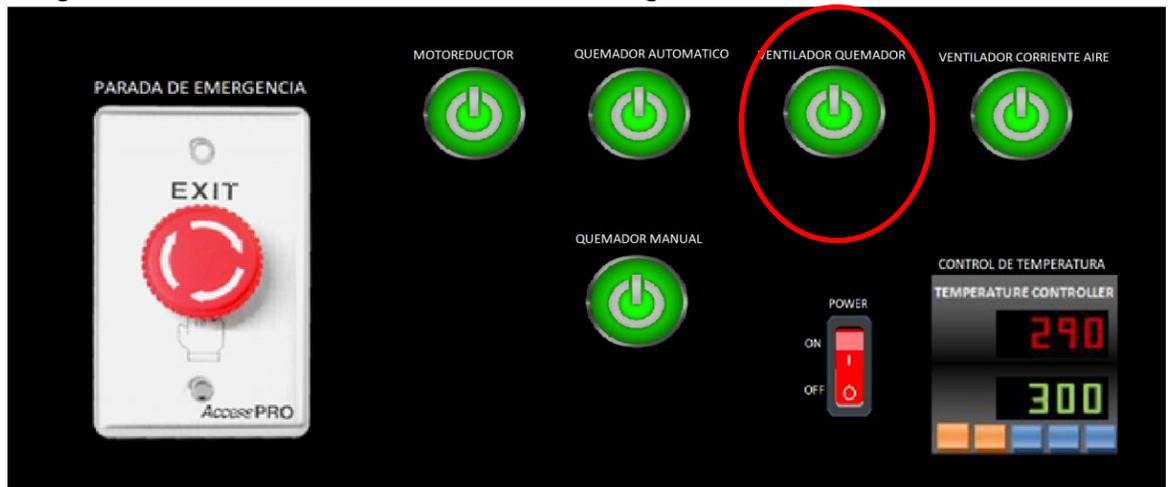
Imagen 78. Pulsador verde quemador



Fuente: elaboración propia

Paso número 4. Oprimir el pulsador denominado ventilador quemador, este es el encargado de suministrar el flujo de aire requerido por el quemador para su funcionamiento, para desactivar este ventilador oprimir nuevamente el pulsador correspondiente (Imagen 79).

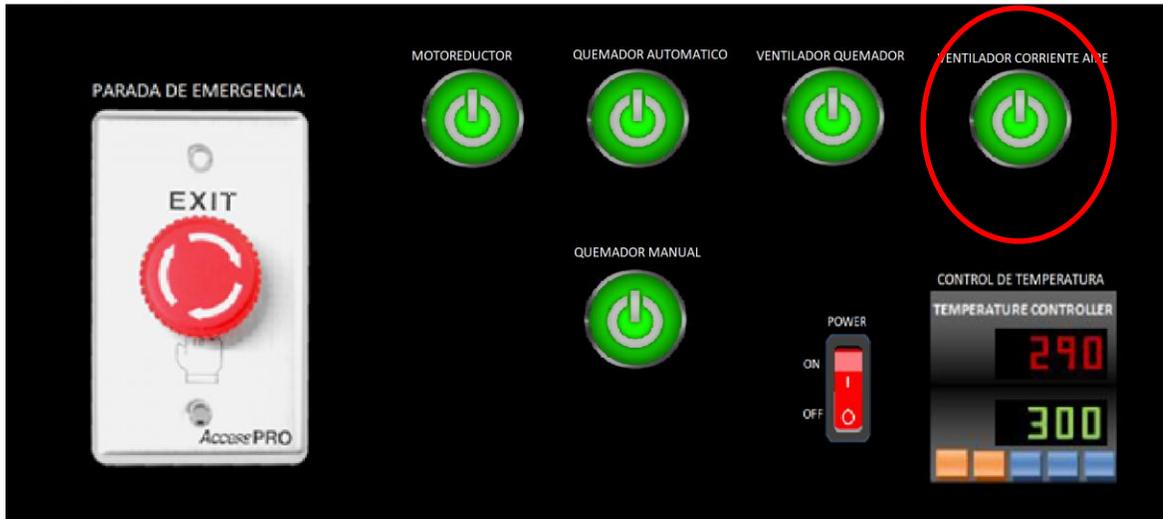
Imagen 79. Pulsador verde ventilador centrífugo



Fuente: elaboración propia

Paso número 5. Oprimir el pulsador verde correspondiente al ventilador corriente de aire (ver imagen 80) con el fin de generar el flujo de aire que entrara en contacto con las partículas de arena ubicadas dentro de la cámara de secado.

Imagen 80. Ventilador corriente de aire



Fuente: elaboración propia

Paso número 6. En caso de que se genere cualquier eventualidad durante la operación del secador rotativo, oprima el botón de parada de emergencia (ver imagen 81), este desenergiza todos los circuitos eléctricos de los componentes del secador, protegiendo la máquina y la vida de los operarios, para reactivar la operación del secador rotativo oprima de nuevo este pulsador.

Imagen 81. Botón parada de emergencia



Fuente: elaboración propia

7.3 SISTEMA DE CONTROL DE VARIABLES

El secador rotativo tiene como función reducir la humedad en la materia prima, para llevar a cabo este proceso es necesario implementar un sistema de control de las variables que predominan durante el secado, este tiene como función principal regular, manipular o dirigir el comportamiento de dichas variables por medio de instrumentos de medición manual manipulados por el operario de la máquina.

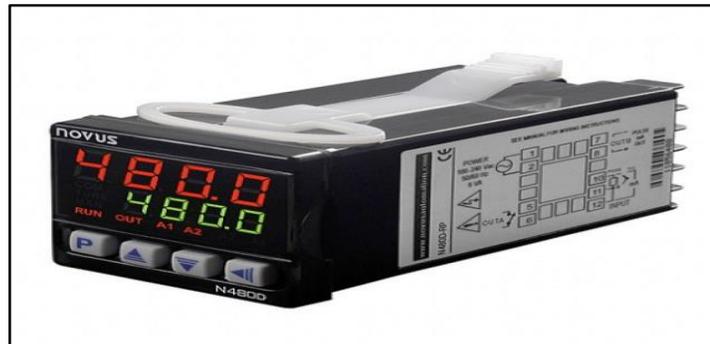
El sistema de control actúa sobre una señal de entrada, en este caso la temperatura de trabajo del secador rotativo, dando como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada aunque basada en ella.

En el panel de control principal se integra el sistema de control de variables con sus diferentes componentes facilitando con esto la interacción del sistema con los operarios encargados de manipular sus elementos.

Los elementos o instrumentos utilizados en el sistema de control se exponen a continuación;

7.3.1 Control de temperatura. El parámetro fundamental para el proceso de secado es la temperatura de la corriente de aire que entrara en contacto con la materia prima, un controlador de temperatura es el instrumento encargado de regular dicha variable, este posee una señal de entrada suministrada por un sensor de temperatura ubicado en el interior de la cámara de secado y una señal de salida que está conectada a un elemento de control, en este caso una electroválvula, regulando la apertura de la misma dependiendo la temperatura indicada por el operario.

Imagen 82. Controlador de temperatura



Fuente: Controlador de temperatura. Disponible en <
<http://syar.com.uy/electronica/controladores-e-indicadores/controlador-de-temperatura-n480d-rp-usb-temp-controller-1-relay-pulse-out-48x48-mm-7-detail.html>>

Las principales aplicaciones del controlador de temperatura se muestran en el cuadro 26;

Cuadro 25. Aplicaciones controlador temperatura

Comida	Maquinaria de empaque, Banda transportadora.
Plástico	Maquinaria de plástico, Aplicación de película plástica , etc.
Industria	Horno eléctrico, Máquina de soldadura automática, Máquina de secado, etc.
Textil	Estampado, Máquina de corte.

Fuente: Controlador Autonics. Disponible en <<http://www.tecnosensores.cl/Fichas/Autonics%20TZN4S.pdf>>

Para el secador a diseñar, el controlador de temperatura seleccionado es de marca AUTONICS serie TZN4S, las características de este controlador de temperatura se muestran en el cuadro 27, a continuación;

Cuadro 26. Características controlador de temperatura

Serie	TZN4S
Alimentación	100-240VCA 50/60Hz
Rango de voltaje	90 a 110% de rango de voltaje
Consumo de alimentación	Aprox. 5VA
Método de display	7 Segmentos de display LED [Valor de proceso(PV):Rojo, Valor de ajuste(SV):Verde]
Sensor de entrada	Termopares:K(CA), J(IC), R(PR), E(CR), T(CC), S(PP), N(NN), W(TT)(La resistencia de la línea de tolerancia es de max.100Ω) RTD:DIN Pt100Ω, JIS Pt100Ω, 3hilos (La resistencia de la línea de tolerancia es de max.5 Ω por un hilo) Voltaje:1-5VCC, 0-10VCC, Corriente:4-20mACC
Método de control	Control ON/OFF P, PI, PD, PIDF, PIDS
Salida de control	Salida de contacto a relé: 250VCA 3A 1c Salida SSR: 12VCC ±3V Max. 30mA Salida de corriente: 4-20mACC(Resistencia de carga: Max. 600Ω)
Salida auxiliar	Salida Event 1: Salida de contacto a relé 250VCA 1A 1a
Precisión del display	±0.3% basado en F·S ó 3°CMax.
Tipo de ajuste	Ajuste por botón de pulso frontal
Histéresis	Ajustable de 1 a 100(0.1 a 100.0) °C a control ON/OFF

Fuente: AUTONICS. Controlador temperatura. Disponible en <<http://www.tecnosensores.cl/Fichas/Autonics%20TZN4S.pdf>>

7.3.2 Válvula electromecánica proporcional de control para gas. La función de la electroválvula es regular el flujo de gas natural suministrado al quemador, esta regulación se realiza con base en la señal de salida del controlador de temperatura instalado en el panel de control principal de la máquina, el quemador genera energía en forma de calor con respecto al suministro de combustible entregado por la válvula, para este proyecto se utilizara una válvula tipo NC (normalmente cerrada) con el fin de evitar el paso del combustible si se presenta alguna falla en la máquina.

Imagen 83. Electroválvula



Fuente: DANFOSS. Electroválvula.
Disponible
en <http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/04/IC.PD.200.O1.05.pdf>

Se seleccionó para el secador a diseñar una electroválvula DANFOSS de 2 vías tipo EV260B con las siguientes características;

- ✓ Rango de caudal completo: 0,5-12,7 m³/h
- ✓ Característica lineal en todo el rango de regulación
- ✓ Se cierra en caso de fallo del suministro eléctrico (Funcionamiento a prueba de fallos)
- ✓ Presión diferencial: 0,5-10 bar
- ✓ Temperatura del medio: 10-80 °C
- ✓ Temperatura ambiente: 50 °C, máx.
- ✓ Señal piloto estándar de 4-20 mA o 0- 10 Vc.c.
- ✓ Para agua, aceite y líquidos neutros similares
- ✓ Protección de la bobina: IP67, máx.
- ✓ Viscosidad: 50 cts, máx.
- ✓ Se compone de válvulas solenoides de 2 vías
- ✓ Versión NC en latón
- ✓ Tiempo de retención corto
- ✓ Se utiliza para la regulación progresiva de caudal en plantas industriales

En el anexo P, se encuentran las especificaciones técnicas tanto de la electroválvula seleccionada como del controlador de temperatura implementado en el secador a diseñar.

7.3.3 Elementos de protección para el sistema de control. Para proteger los sistemas eléctricos de potencia y con el fin de evitar la avería en equipos o instalaciones producto de una falla, se instalaron relés en el circuitos, estos tiene como objetivo aislar la parte donde se genera la falla desenergizando todo el circuito y energizando el elemento de señalización, esto brinda una protección contra sobrecargas en la instalación.

En los planos se encuentran los circuitos de mando y potencia respectivamente.

7.4 SEGURIDAD INDUSTRIAL

La vida de los seres humanos es el indicador con mayor importancia en el ámbito laboral, es por esto que se debe asegurar la integridad del personal que tiene algún tipo de interacción con los equipos de la planta, para esto se implementa una serie de reglas o normas que se deben cumplir a la hora de entrar en contacto con la máquina.

En la maquina se destacan una serie de riesgos potenciales los cuales deben identificarse para poder llevar a cabo el programa de seguridad industrial referente al secador a diseñar, estos se muestran a manera de tabla a continuación con el fin de poner en contexto al operario.

Cuadro 27. Principales riesgos en la planta

Riesgos potenciales	Descripción grafica
1. EXPLOSION E INCENDIOS	
2. ATRAPAMIENTOS	
3. CORTES	

Cuadro 28. (Continuación)

Riesgos potenciales	Descripción grafica
4.CONTACTO CON LA ENERGIA ELECTRICA	
5.RUIDO	

Fuente: Elaboración propia

Los riesgos potenciales durante la operación del secador y que se muestran en el cuadro 23 anteriormente son;

- ✓ Explosión e incendios, este tipo de accidente laboral se produce de manera común, surge principalmente de escapes o fugas de combustible o de un corto circuito de las conexiones o cableado de la máquina, debido a esto se deben inspeccionar ambas situaciones a diario con el fin de evitar este tipo de accidente en el trabajo.
- ✓ Atrapamientos, se genera por la manipulación incorrecta del secador en sus partes rotativas por parte del operario, vincula las extremidades del mismo afectando de manera contundente la vida humana
- ✓ Cortes. Accidente que se genera por el contacto del operario con las partes o móviles o con filo que posee la maquina en este caso el secador rotativo
- ✓ Contacto con la energía eléctrica, Este tipo de accidente laboral se produce cuando el operario no posee los elementos de protección adecuados a la hora de manipular elementos que poseen una corriente de energía eléctrica y es por esto que pueden llegar a ser afectados por la misma de manera letal
- ✓ Ruido, se genera cuando los niveles de ruido de operación de la maquina son muy elevados causando en los seres humanos problemas auditivos y una serie de problemas tras esto

Cabe señalar que existen diferentes grados de peligrosidad de las situaciones expuestas anteriormente siendo la de menor riesgo la situación numero 5 la cual hace referencia a accidentes laborales por exceso de ruido con un puntaje de riesgo de 3 (baja peligrosidad).

Ya teniendo la información necesaria sobre las diferentes situaciones de riesgo, se realiza el listado de normas o reglas que se deben tener en cuenta para evitar lo mencionado anteriormente, estas normas contemplan tanto equipo de protección como acciones que se deben realizar en el momento previo de la intervención con el secador rotativo.

7.5 NORMAS O REGLAS PARA LA INTERACCION CON EL SECADOR

- ✓ Leer y seguir las recomendaciones establecidas en el manual de mantenimiento
- ✓ Seguir las recomendaciones brindadas por el personal capacitado
- ✓ Identificar los puntos de alto riesgo o señales que indiquen esto
- ✓ Ejecutar las recomendaciones que se presentan en el manual de operación ya que son las de mayor importancia al entrar en contacto con el secador
- ✓ Utilizar los elementos de protección para asegurar la integridad del operario

Casco, Según el ministerio del interior el casco es el elemento de protección personal que se utiliza en la cabeza con el propósito de evitar golpes en esta parte del cuerpo, por consecuencia de la probabilidad de caída de objetos y riesgo de contacto con líneas energizadas.

Imagen 84. Casco de seguridad



Fuente: ULINE, Disponible en <
<https://es.uline.mx/Product/Detail/S-10512W/Hard-Hats/Hard-Hat-White>>

Botas con punta de acero, Botas con puntera reforzada en acero que ofrecen protección a la parte anterior del pie del trabajador en caso de golpes o caídas de objetos sobre dicha zona. Esta clase de calzado es indispensable para quienes, dentro de sus labores, tengan que manipular o movilizar materiales.

Imagen 85. Botas punta de acero



Fuente: AMAZON. Disponible en <
<https://www.amazon.es/Caterpillar-Zapatillas-altas-hombre/dp/B0131NISNS>>

Protectores auditivos tipo copa, Son fabricados con espuma suave de relleno para la copa. Su diadema permite realizar un ajuste suave y completo a la cabeza. Protege al oído de niveles de presión sonora mayor a 80 dBA en diferentes frecuencias. El protector auditivo tipo copa puede ser tipo diadema o tipo nuca, dependiendo de la labor a realizar; el protector tipo nuca es utilizado para labores donde se requiere la utilización de un casco protector. Son hechos en material ligero en general de plástico y forrados por dentro con un material absorbente del sonido.

Imagen 86. Protector auditivo



Fuente: AMAZON. Disponible en >
<https://www.amazon.es/PRETEX-protectores-auditivos-satisfacci%C3%B3n-protecci%C3%B3n/dp/B01JA9T2N2><

Gafas de seguridad, Gafas en policarbonato, con antiempañante y protección para luz ultravioleta. Evita la proyección de partículas sólidas o líquidas a los ojos, tales como, manejo de sustancias corrosivas.

Imagen 87. Gafas de seguridad



Fuente: HOMECENTER. Disponible en >
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/358877/gafas-de-seguridad-aquiles-lente-claro><

Respirador con protección para material particulado, Es utilizado para tareas con material particulado. El elemento de protección debe contener filtro mecánico para partículas de menos de 10 micras.

Imagen 88. Respirador con protección



Fuente: EDIFIK. Disponible en <
<http://www.edifik.com.co/producto/respirador-para-material-particulado-libre-de-mantenimiento/>>

⁷⁰BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición p 432 [En línea]. Citado el 4 de mayo del 2019]. Disponible en <<http://peru-cracked.blogspot.com/2017/08/diseño-en-ingeniería-mecánica-shigley.html>>

En el cuadro a continuación se muestran los elementos de protección que pueden ser utilizados según la zona de afectación del cuerpo humano.

Cuadro 28. Protección oídos, rostros y ojos

PARTE DEL CUERPO A PROTEGER	EPP Y CARACTERÍSTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO	BARRERA
OÍDOS	Orejas y tapones.	Empresas generadoras de ruido superior a 85 dB _(A) .	Trauma acústico sonoro.
ROSTROS	Protectores de pantalla.	Fundiciones, embotelladoras, vidrieras, esmeriladores, máquinas herramientas, formuladores químicos.	Quemaduras y lesiones de piel.
	Yelmo con filtros de matiz o tinte.	Proyecciones de partículas sólidas, líquidas. Emisiones de vapores o gaseosas	
OJOS	Anteojos.	Soldadores, fogoneros, corte de arco.	Deslumbramientos.
	Gafas de seguridad.	Trabajadores que desbastan al cincel, remachan decapan, esmerilan a seco.	Proyecciones de partículas que pueden penetrar en los ojos
	Gafas con protección UVB.	Luz directa.	Deslumbramientos, pérdida de agudeza visual.
	Gafas de copas de material blando, no inflamable, flexible de aberturas para ventilación.	Trabajos con ácidos y sustancias cáusticas.	Salpicaduras de líquidos en los ojos.
	Trabajadores que utilizan lentes formulados y necesitan protección visual, se les deberá suministrar gafas especiales que puedan ser colocadas sobre sus anteojos habituales; en caso que esto sea imposible, deberá suministrárseles anteojos de seguridad corregido.		

Fuente: MINISTERIO DE SALUD. Disponible en <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/GTHS02.pdf>

Cuadro 29. Protección sistema respiratorio

PARTE DEL CUERPO	EPP Y CARACTERÍSTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO	BARRERA
SISTEMA RESPIRATORIO	Máscara respiratoria.	Trabajos donde se genere Polvo de sílice libre, fibra de vidrio, arcilla, arenas, caolines, cemento, asbesto, carbón mineral, caliza, aluminio, celulosa, harinas, vegetales, maderas, plásticos, etc. Humos	Neumoconiosis.
	Respiradores de filtro o cartucho químico.	Trabajo con emisión de gases, vapores nocivos para la salud	Inhalación de gases y vapores nocivos.
		Neblinas, vapores inorgánicos y orgánicos, dispersiones, etc. Ácidos, vapores orgánicos clorados, fosforados, etc. o neblinas o vapores de pesticidas, etc.	Inhalación de sustancias nocivas para la salud.
	Mascarillas respiratorias con fuente exterior de aire puro o con recipientes de oxígeno.	Trabajos que se realicen en atmósferas peligrosas: alcantarillas, lugares confinados, etc.	Asfixia por ausencia de oxígeno
Capuchones de visera o ventana de vidrio grueso, con manguera para suministrar aire.	Trabajadores que laboran con chorros abrasivos.	Neumoconiosis. Afecciones respiratoria.	

Fuente: MINISTERIO DE SALUD. Disponible en <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/GTHS02.pdf>

Cuadro 30. Protección pies y piernas

PARTE DEL CUERPO	EPP Y CARACTERÍSTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO	BARRERA
PIES Y LAS PIERNAS	Calzado de seguridad con punteras de acero que soporte peso de 1200 kilos e impactos	Caída de objetos pesados, o contra aprisionamiento de los dedos de los pies bajo grandes pesos.	Heridas, amputaciones, aplastamiento.

Fuente: MINISTERIO DE SALUD. Disponible en <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/GTHS02.pdf>

Cuadro 31. Protección manos y brazos

PARTE DEL CUERPO	EPP Y CARACTERÍSTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO	BARRERA
MANOS Y LOS BRAZOS	Guantes de caucho dieléctrico.	Electricistas que trabajen en circuitos vivos.	Electrocución, tetanización, quemaduras, paro cardiorespiratorio.

Fuente: MINISTERIO DE SALUD. Disponible en <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/GTHS02.pdf>

Cuadro 32. Protección tronco

PARTE DEL CUERPO	EPP Y CARACTERÍSTICAS	ACTIVIDADES DE TRABAJO	BARRERA
TRONCOS	Mandiles de distintos materiales.	Trabajos con productos químicos, biológicos, etc., quemaduras, aceites, etc.	Quemaduras.

Fuente: MINISTERIO DE SALUD. Disponible en <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/GTHS02.pdf>

Es obligatorio la utilización de estos elementos al momento de tener cualquier tipo de interacción con el secador de arena, también se exige la eliminación de accesorios como anillos, cadenas, pulseras, diademas, relojes, aretes, moñas y cualquier tipo de objeto que pueda ocasionar un accidente laboral dentro de la planta.

Para poder corregir cualquier tipo de accidente laboral o incidente que se presente dentro de la planta se deben tener algunos objetos con sus respectivas recomendaciones;

Botiquín de primeros auxilios, es un recurso utilizado para la atención de una emergencia, está compuesto por los siguientes elementos: Sustancias antisépticas, material de curación, instrumental y medicamentos.

Este botiquín se debe ubicar en la planta cerca del secador rotativo con el fin de tener un fácil acceso, si en algún momento se presenta un accidente laboral.

Imagen 89. Botiquín primeros auxilios



Fuente: EVER SAFE. Disponible en <
<http://www.eversafesrl.com/producto/botiquin-primeros-auxilios-chapa-41-items-mod-cc/>>

Extintor, Es el elemento a utilizar en el momento que se presente un incendio en la planta, este tiene como función apagar el fuego por medio de una sustancia denominada agente que sale de una boquilla directo a la zona de afectación.

Imagen 90. Extintor



Fuente: HOMECENTER. Disponible en <
<https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/251801/extintores-pqs-abc-6-kg>>

Rutas y señales de evacuación, este tiene como función permitir de manera fácil y eficiente la evacuación del personal que se encuentra dentro de la planta en caso de que se presente cualquier tipo de incidente que pueda llegar a atentar contra la vida misma, este debe contar con alertas sonoras, señales de rutas, alertas visuales, ubicación de zonas seguras, etc.

Imagen 91. Rutas de evacuación



Fuente: EPN. Disponible en <
http://epn.gov.co/elearning/distinguidos/SEGURIDAD/46_plan_de_evacuacin.html>

8. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

El análisis financiero del desarrollo de la máquina secadora de arena, tiene en consideración los costos de materia prima, mano de obra y adicionales que requiera su fabricación.

8.1 INVERSIÓN

8.1.1 Costos de ingeniería. Este numeral hace referencia a la inversión en tiempo y dinero estimado que toma el diseño e ingeniería del proyecto teniendo en cuenta diferentes ítems para su desarrollo como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 33. Costos de ingeniería

Ítems	Unidad	Cantidad	\$/Unidad	Total	Fuente financiad.
TALENTO HUMANO					
Proponente	H-H	795	7.000	5.565.000	Proponente
Orientador	H-H	35	15.000	525.000	Empresa
Total talento humano				6.090.000	
GASTOS MAQUINARIA Y EQUIPO					
Computadora	Uni	1	2.035.000	2.035.000	Proponente
Software(Solid Edge)	Horas	55	12.000	660.000	FUA
Software(NX)	Horas	35	16.000	560.000	
Total maquinaria y equipo				3.255.000	
FUNGIBLES					
Libros	Uni	3	100.000	300.000	Proponente
Papel	Resma	2	10.500	21.000	Proponente
Tinta	Tóner	3	75.000	450.000	Proponente
Total fungibles				771.000	
OTROS GASTOS					
Viajes	\$	18	4.400	79.200	Proponente
Total otros gastos				79.200	
Total antes de imprevistos				10.194.200	
Imprevistos 5%				509.710	
Costo Total				10.703.910	

Fuente: elaboración propia

8.1.2 Costos de materiales de fabricación. Los costos de fabricación se dividen en los costos de los elementos estructurales. Transmisión de potencia, sistemas de control y mano de obra como se muestra a continuación;

Cuadro 34. Costos de fabricación

Sistema	Elemento	Cantidad	Precio	Total
Estructura	Lamina HR, Esp= 1/8" - 2,44m x 6,1m	8	450.000	3.600.000
	Lamina Max dure, Esp =3/16" -2 m x 6m	5	700.000	3.500.000
	Perfil HEA 120 x 19,9 Longitud 6 m	8	320.000	2.560.000
	Lamina acero A285 grado C - 2,45 m x 6,1 m	4	450.000	1.800.000
Transmisión de potencia	Anillos Rodadura SAE 1045	2	1.200.000	2.400.000
	Rodillos, Acero AISI 4340	4	700.000	2.800.000
	Piñón Z=22	1	550.000	550.000
	Piñón Z=23	1	650.000	650.000
	Cadena Rodillos, Paso 1-1/4" Longitud de 2 m	1	1.100.000	1.100.000
	Motoreductor SEW R87 (E)DRN	1	6.000.000	6.000.000
	Chumaceras	8	250.000	2.000.000
Procesamiento de materia	Ventilador centrifugo, Size 11 LS	1	5.500.000	5.500.000
	Colector de finos de 6 Mangas ventilador Extracción	1	32.000.000	32.000.000
	Quemador pirotec PI 100, VC TVR 23X	1	16.250.000	16.250.000
Control	Controlador de Temp. AUTONICS, ref TZN 4S-14R	1	180.000	180.000
	Válvula Danfoss	1	1.433.000	1.433.000
	Termocupla K	1	14.000	14.000
	Pulsador Verde	4	90.000	360.000
	Relé	4	10.000	40.000
	Interruptor Start de Máquina	1	48.000	48.000
	Interruptor Stop de Máquina	1	55.000	55.000
Mano de obra	Doblado y rolado	1	2.500.000	2.500.000
	Corte de lámina	1	1.500.000	1.500.000
	Soldadura	1	3.000.000	3.000.000
	Taladrado	1	500.000	500.000
	Pintura	1	2.500.000	2.500.000
	Ensamble y P.A.P	1	10.000.000	10.000.000
Total				102.840.000

Fuente: elaboración propia

Más información consultar en anexo Q.

8.1.3 Costo total de fabricación. El costo total de la fabricación de una máquina secadora de arena se determina según los resultados obtenidos en los cuadros 22 y 23. Sumando los totales de los cuadros anteriormente mencionados se estima un valor total de \$113.543.910 millones de pesos (IVA incluido).

8.2 ANALISIS FINANCIERO

El análisis financiero de un proyecto tiene como finalidad determinar la viabilidad económica del mismo, esto quiere decir, establecer si el proyecto genera utilidades a quien lo desarrolle o en caso contrario genera pérdidas económicas en un tiempo establecido, este tiempo corresponde al tiempo de vida útil del equipo o máquina.

El proyecto del secador rotativo está ligado con la venta del material que se procesa, es por esto que ECOMINESA S.A. teniendo el acceso a una mina, cabe resaltar que es el sitio de donde es extraída la materia prima (arena), quiere expandir su campo de acción haciendo uso del proceso de secado mediante una maquina (secador rotativo). La empresa cuenta con una proyección basada en las peticiones de nuevos clientes potenciales, los cuales requieren el material para la fabricación de diferentes elementos.

Cuadro 35. Gastos directos de operación

GASTOS DIRECTOS				mensual	Anual
Arena silice cruda	1000 toneladas mensuales	667 m3	\$40.000 x m3	\$ 26.680.000	\$ 320.160.000
Sacos de polipropileno	2000 sacos por mes	12 meses	750	\$ 1.500.000	\$ 18.000.000
Hilo para costura de sacos	1 por mes	12 meses	\$ 100.000	\$ 100.000	\$ 1.200.000
Transporte	mensual	11kilometros	\$ 700	\$ 5.135.900	\$ 61.630.800
Combustible un galon por tonelad	1000 toneladas mensuales	1000 galones	\$ 9.000	\$ 9.000.000	\$ 108.000.000
Cilindro de gas 40 Lb	mensual	1 cilindro	\$ 150.000	\$ 150.000	\$ 1.800.000
Jefe de produccion	mensual	1 persona	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 18.000.000
Operarios	mensual	2 personas	\$ 2.900.000	\$ 2.900.000	\$ 34.800.000
SUBTOTAL				\$	563.590.800
Cubierta	ESTA INVERSION SE REALIZA UNA SOLA VEZ				\$ 20.000.000
Montaje planta	ESTA INVERSION SE REALIZA UNA SOLA VEZ				\$ 15.000.000
Adecuacion piso	ESTA INVERSION SE REALIZA UNA SOLA VEZ				\$ 5.000.000
TOTAL GASTOS DIRECTOS				\$	603.590.800

Fuente: elaboración propia

Cuadro 36. Costos indirectos de operación

GASTOS INDIRECTOS				mensual	anual
Gastos mantenimiento planta	la empresa los asume del 2% de los gastos directos			\$ 5.300.832	\$ 63.609.984
Gastos administracion lote	mensual	12 meses	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000	\$ 12.000.000
Arriendo lote 2000 m2 libres	mensual	12 meses	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000	\$ 24.000.000
Consumo agua y telefono	mensual	12 meses	\$ 200.000	\$ 200.000	\$ 2.400.000
Aseo y oficinas varios	mensual	12 meses	\$ 200.000	\$ 200.000	\$ 2.400.000
Suministro de hidratacion	mensual	12 meses	\$ 200.000	\$ 200.000	\$ 2.400.000
Botiquin mensual	mensual	12 meses	\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 600.000
secretaria	mensual	12 meses	\$ 1.450.000	\$ 1.450.000	\$ 17.400.000
contabilidad	mensual	12 meses	\$ 700.000	\$ 700.000	\$ 8.400.000
camara de comercio	anual		\$ 50.000	\$ 50.000	\$ 50.000
papelaria	mensual	12 meses	\$ 200.000	\$ 200.000	\$ 2.400.000
Gastos bancarios	mensual	12 meses	\$ 100.000	\$ 100.000	\$ 1.200.000
Energia electrica	mensual	12 meses	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 30.000.000
TOTAL				\$	166.859.984

Fuente: elaboración propia

La máquina posee un valor según los costos de fabricación e ingeniería de \$113.543.910 millones de pesos (IVA incluido), para analizar el proyecto la empresa se basa en las ganancias o utilidades generadas por la maquina con la venta del material procesado, que en este caso es arena seca. Se estima una venta mensual de 1.000 toneladas procesadas según solicitudes de clientes de alta confianza para la empresa, con base en lo anterior se realiza el análisis financiero por medio de la tasa interna de retorno del proyecto.

9.2.1 Determinación tasa interna de retorno (TIR). Para realizar la evaluación financiera por el medio de la TIR es necesario establecer la proyección de ingresos y gastos que tendrá la empresa en beneficio de la aplicación o proceso llevado a cabo por la maquina requerida que en este caso hace mención al secador rotativo a diseñar.

Los gastos de operación se clasificaron en gastos directos o indirectos (ver cuadro 34 y 35), esto según la incidencia que tienen en el proceso desarrollado por la máquina, los ingresos fueron estimados por ingenieros de la empresa ECOMINESA S.A. con base al material pre- vendido mencionado anteriormente, lo cual establece ventas en el primer año de 12.000 toneladas de materia prima procesada, la venta de este material genera ganancias de \$75.000 pesos la tonelada, restando a esto los gastos que ya se mencionaron. Se considera una vida útil para el secador a diseñar de 10 años y con base a este periodo se realizara el cálculo o determinación de la tasa interna de retorno, resaltando que la empresa considera que el comportamiento de todos los años es igual al del primer año de operación, ya que se espera que como mínimo se generen ganancias por la pre-venta de material establecida.

Las ventas mensuales según la proyección se exponen en el cuadro 36, donde se presentan los ingresos tanto mensuales, como anuales del proyecto.

Cuadro 37. Ventas mensuales proyectadas

VENTAS MENSUALES PROYECRADAS				MENSUALES	ANUALES
ARENA SILICE SECA POR TONELADA		CANTIDAD	UNITARIO	1000T	1000T POR 12 MESES
		1000T	\$ 75.000	\$ 75.000.000	\$ 900.000.000,00
VENTAS TOTALES MENSUALES					
				\$ 75.000.000	\$ 900.000.000,00

Fuente: elaboración propia

Para el desarrollo de las actividades se vinculó la participación de 2 operarios, un jefe de producción, una secretaria, la materia prima requerida en el proceso, el transporte del material hasta la planta, el combustible, gastos de adecuación para la planta como cubierta, montaje y adaptación de pisos y por ultimo pero no menos importante, los distintos gastos indirectos que tienen lugar en el proyecto.

Haciendo uso de las estimaciones realizadas por la empresa y con la ayuda del programa Excel, se evaluó el proyecto del secador rotativo a diseñar teniendo en cuenta los ingresos generados por la materia prima procesada y comercializada, el resultado de estos datos se muestra en el cuadro 37, a continuación.

Cuadro 38. TIR secador rotativo

PERIODO	INVERSION	GASTOS	UTILIDADES	GANANCIA NETA	
				-\$	656.304.310
AÑO 1	\$ -	-\$ 770.450.784	\$ 900.000.000	\$	129.549.216
AÑO 2	\$ -	-\$ 730.450.784	\$ 900.000.000	\$	169.549.216
AÑO 3	\$ -	-\$ 730.450.784	\$ 900.000.000	\$	169.549.216
AÑO 4	\$ -	-\$ 730.450.784	\$ 900.000.000	\$	169.549.216
AÑO 5	\$ -	-\$ 730.450.784	\$ 900.000.000	\$	169.549.216
AÑO 6	\$ -	-\$ 730.450.784	\$ 900.000.000	\$	169.549.216
AÑO 7	\$ -	-\$ 730.450.784	\$ 900.000.000	\$	169.549.216
AÑO 8	\$ -	-\$ 730.450.784	\$ 900.000.000	\$	169.549.216
AÑO 9	\$ -	-\$ 730.450.784	\$ 900.000.000	\$	169.549.216
AÑO 10	\$ -	-\$ 730.450.784	\$ 900.000.000	\$	169.549.216
TIR DEL PROYECTO SECADOR DE ARENA					21%

Fuente: elaboración propia

Como resultado del análisis financiero, en donde se vincularon tanto ingresos como gastos del proyecto según la estimación hecha por los ingenieros de la empresa ECOMINESA S.A se determinó que el proyecto es viable ya que presenta beneficios económicos al realizar el proceso de venta o comercialización del producto procesado por la aplicación del secador rotativo a diseñar, se debe tener en cuenta que las proyecciones realizadas por la empresa se comportan de manera ideal en donde se asume que los ingresos son iguales para todos los años, dato que es incierto ya que la zona de ubicación de la planta presenta un alto índice de crecimiento debido a la construcción de nuevos proyectos en donde se mencionan conjuntos residenciales, centros comerciales, etc.

Cabe mencionar y de ante mano aclarar que estas estimaciones son válidas para los valores actuales, ya que con la llegada de un nuevo años y los cambios en el mercado según la inflación los datos estipulados aquí pueden llegar a sufrir modificaciones alterando el proceso de determinación de la viabilidad del proyecto.

Para la evaluación de costos se cotizó una máquina importada con funciones similares con un valor de USD 170.180 dólares (IVA incluido), resaltando el beneficio que obtendrá la empresa ECOMINESA al desarrollar el proyecto generando un ahorro económico significativo con la implementación de la máquina.

El secador rotativo importado (ver anexo Q) con los requerimientos establecidos por la empresa ECOMINESA S.A. tiene las siguientes características;

- ✓ Materia prima a procesar arena
- ✓ Capacidad 30 Toneladas/hora
- ✓ Humedad de ingreso igual al 9%
- ✓ Humedad de salida igual al 2%
- ✓ Fuente de calor quemador de gas natural
- ✓ Precio 170.180 Dólares

Con base en lo dicho anteriormente se destaca que la maquina importada presenta un costo muy elevado en comparación con el secador a diseñar, teniendo en cuenta que en el país no se cuenta con una empresa dedicada a la fabricación de los mismos.

Con esto se concluye que el mercado colombiano será impactado de manera positiva al introducir la comercialización del sistema diseñado, con bajos precios y un respaldo tecnificado del proceso que se realizara en la máquina, teniendo gran acogida por el sector industrial, que cuenta con empresas como Alfa, Cemex, Argos, destacando la participación del sector minero en la aplicación de un proceso de secado para su materia prima.

9. CONCLUSIONES

- ✓ El secador rotativo cumple con los requerimientos funcionales reduciendo la humedad de la materia prima según los parámetros establecidos y con base al proceso termodinámico que ocurre dentro del mismo
- ✓ Las dimensiones del secador obtenidas en el desarrollo del diseño detallado se asemejan a las que se encuentran en secadores comerciales, destacando el correcto diseño y dimensionamiento del mismo.
- ✓ La implementación del secador rotativo genera beneficios al reemplazar el proceso de secado rudimentario utilizado por la empresa, por un proceso de secado tecnificado y continuo
- ✓ El diseño de la transmisión de potencia es sencillo y práctico, dando motricidad a uno de los rodillos, reduciendo costos en lo que compete a la máquina
- ✓ La propuesta del secador a diseñar requiere de una inversión menor a la que sería importar un secador con las mismas características
- ✓ La estructura diseñada para soportar el peso de la máquina se analizó por medio de un software especializado en el método de elementos finitos y con esto se determinó que no presentara ninguna falla
- ✓ En los manuales tanto de operación como de mantenimiento se contextualiza al operario de manera tal que este se encuentre en la capacidad de llevar a cabo un correcto funcionamiento de la misma y que en caso tal que se presente algún tipo de falla este pueda identificar su posible solución
- ✓ Mediante el impacto ambiental se identificaron los procesos críticos que afectan de manera negativa el entorno y se generaron algunas posibles soluciones que contemplan como finalidad una mitigación al impacto ambiental

10. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda accionar el sistema generador de aire caliente antes de ingresar el material a procesar, con el fin de alcanzar y estabilizar la temperatura de operación del secador
- ✓ Se recomienda no exceder el flujo másico establecido por el diseño con el fin de garantizar un correcto proceso de evaporación del agua contenida en las partículas de materia prima
- ✓ El material a procesar según el diseño es arena según esto se recomienda no ingresar algún otro tipo de material para reducir su humedad, debido a que el diseño contempla las propiedades y características de la arena y no otro material
- ✓ Antes de iniciar el proceso de secado se recomienda inspeccionar y ajustar la temperatura establecida en el manual de operación
- ✓ Para llevar a cabo un correcto accionamiento de la maquina se recomienda que el operario se familiarice con el manual de operación con el fin de llevar a cabo los pasos establecidos allí y con esto asegurando un correcto proceso de funcionamiento de la máquina.
- ✓ Se recomienda realizar las debidas inspecciones antes de accionar la maquina con el fin de evitar cualquier posible falla en el sistema

BIBLIOGRAFIA

BUDYNAS. Richard. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición, Mc Graw-Hill, 6ª Ed. México., 2.002.

CARVAJAL, Diego. Banco de pruebas de sistemas de transmisión de potencia. p 38 [En línea]. [En línea] Septiembre del 2.010 [Citado el 29 de agosto del 2018]. Disponible en <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1095/digital_19134.pdf?sequence=1>

CATARINA. Proceso de secado, Capítulo V, P 1[En línea] 23 de febrero del 2.013 [Citado 7 de mayo del 2018], Disponible en >
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/capitulo5.pdf<

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 627 (07, abril, 2006). Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Disponible en <http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Resoluciones/res_0627_070406.pdf>

DUDA, Walter. Manual tecnológico del cemento, editores técnicos asociados s.a. Marzo de 1977.

FERROCORTES. Ficha técnica lamina de alta resistencia ASTM A572 GR 50. Disponible en < [http:// www.ferrocortes.com.co/download/FT-12-001-ASTM-A572-GR50.pdf](http://www.ferrocortes.com.co/download/FT-12-001-ASTM-A572-GR50.pdf)>

FESTO Productos. FluidSim, Software de neumática para estudiantes. [En línea]. Disponible en:<<http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/software-e-learning/fluidsim/fluidsim-4-neumatica,version-para-estudiantes.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjEOLjE4LkU5MS40NzQx>>

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA. Guía metodológica para la elaboración de trabajos de grado y proyectos de investigación en pregrado. Bogotá D.C. 2011

GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ª Edición México, Mc Graw Hill, 2.007.

GERDAU. Corsa. Elección del tipo de acero p 7 [En línea].Citado el 8 de abril del 2019].Disponible en < [https :// www. gerdau.com / gerdacorsa / es/productsservices/products/Document%20Gallery/eleccion-tipo-de-acero.pdf](https://www.gerdau.com/es/productsservices/products/Document%20Gallery/eleccion-tipo-de-acero.pdf)>

GUIA BASICA. Calderas industriales eficientes, Fenercom, la suma de todos, Madrid, España.

INCROPEA. Frank, Manuel. Fundamentos de transferencia de calor y masa, 4ta edición, editorial Prentice Hall, México, 1999.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION. Compendio de normas para trabajos escritos NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

INTERMEC. Transmisión de potencia, Manual de piñones y cadenas. Sexta edición.

KOHAN, Anthony. Manual de calderas, volumen II, capítulo 11, Editorial Mc Graw Hill, España.

MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO, sección II, Carrier air conditioning Company, Boixareu editores.

MARQUEZ. Combustión y quemadores [En línea], [Citado 22 de octubre del 2.018], Disponible en < <https://es.scribd.com/document/358381690/Combustion-y-Quemadores>>

MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. 2ª Edición México, Edición Harla, 1982.

MC. Corman. Diseño de estructuras de acero, 5 edición, Editorial Alfaomega Grupo Editor S.A, México.

MOTT, Robert. Mecánica de fluidos, sexta edición, Editorial Pearson, México, 2006, área de ingeniería.

NONHEBEL.G El secado de sólidos en la industria química Editorial Reverte s.a. Bogotá, 1979

PERRY, Robert. Manual del ingeniero químico, tomo v, 6ta edición, Editorial McGraw-Hill.

SHACKELFORD, James. Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros, 3ª edición. México, Thomson editores, 1.998.

TOJO, Gabriel. Problemas de ingeniería química operaciones básicas, tomo II. Editorial Aguilar.

TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa. 2ª Edición. México: Mc Graw Hill, 1980

WESTON. Chumaceras [Citado el 25 de marzo del 20.19]. Disponible en <<http://fastertools.com.mx/wpcontent/uploads/2017/06/weston-tools-web2016-09-Chumacera.pdf>>

ANEXOS

ANEXO A.
CARTA PSICROMETRICA



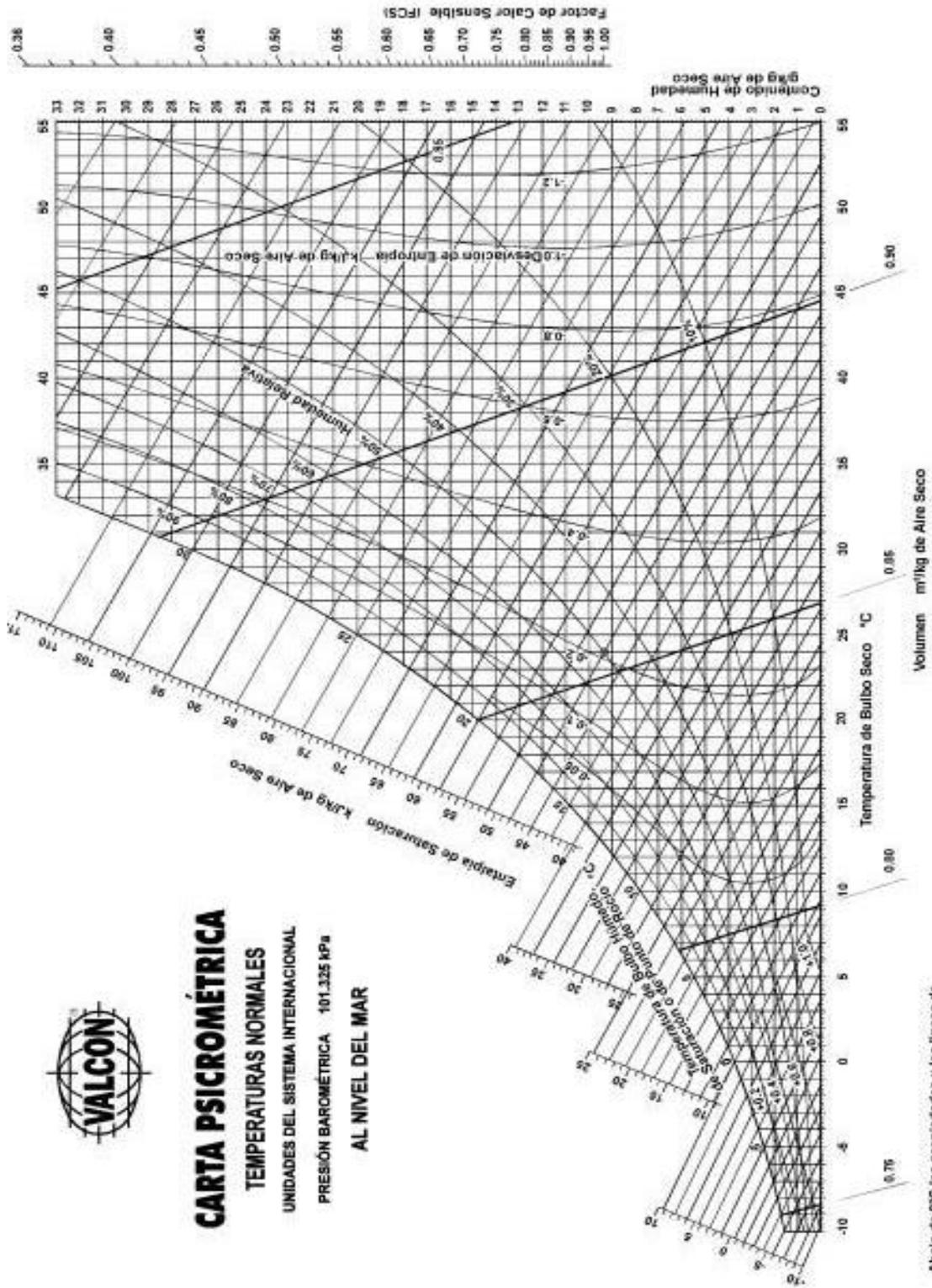
CARTA PSICROMÉTRICA

TEMPERATURAS NORMALES

UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL

PRESIÓN BAROMÉTRICA 101.325 kPa

AL NIVEL DEL MAR



Abajo de 0°C las propiedades y las líneas de desviación de la entalpia son para el hielo

Anexo B.
LAMINA ANTI DESGASTE

Maxdur 400 y Maxdur 450 son aceros especiales de grano fino con durezas típicas entre 400 y 450 HB. Su alta dureza, tenacidad y límite elástico, lo hacen un material de muy buena resistencia a las deformaciones plásticas y al desgaste abrasivo por deslizamiento e impacto.

Maxdur 400 es una muy buena solución cuando se requiere moderada resistencia al desgaste por deslizamiento o por impacto; y una adecuada facilidad de conformado en frío.

Maxdur 450 es óptima cuando se requiere máxima resistencia al desgaste por deslizamiento e impacto, con relativa facilidad de transformación en frío y una muy buena soldabilidad.

Las siguientes tablas muestran la composición química, dureza, resistencia mecánica y aptitud para la soldadura de Maxdur 400 y Maxdur 450.

a. Composición química Maxdur 450

C	Mn	P	S	Cr	Mo	B	Ni
0.18	1.45	0.02	0.003	0.8	0.20	0.003	0.12

Valores máximos garantizados (% en peso)

b. Composición química Maxdur 400

Espesor de la lámina	C	Mn	P	S	Cr
Menor o igual a 20mm	0.15	1.40	0.02	0.003	0.4
Mayor a 20mm	0.12	1.40	0.02	0.003	0.8

Valores máximos garantizados (% en peso)

c. Propiedades mecánicas

	Límite elástico aparente	Resistencia a la tracción	% Elongación	Dureza nominal (HB)
Fora 400	1100 N/mm ²	1350 N/mm ²	13%	360-440
Maxdur 450	1200 N/mm ²	1400 N/mm ²	8%	410-490

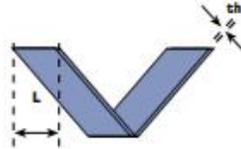
d. Carbono equivalente calculado a partir de la siguiente fórmula

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$



En cuanto al espesor de la lámina a conformar, se debe tener en cuenta que una chapa delgada presentará una mayor resistencia a la iniciación de grietas y una mejor capacidad de absorción de grietas que una chapa gruesa, así mismo entre mayor el espesor mayor será la fuerza requerida para el conformado.

La siguiente tabla nos muestra la fuerza requerida para doblado en V de una placa en función del espesor del material para una Maxdur 450:



Espesor de la plana en mm	Fuerza requerida para doblado en Ton/metro
5	65
10	125

Con respecto a otras láminas antidesgaste existentes en el mercado, Maxdur 400 y Maxdur 450 se dejan conformar fácilmente en frío debido a la refinación de su estructura (bajos contenidos de azufre y fósforo), siempre y cuando se sigan las siguientes recomendaciones:

- Posterior al corte térmico elimine por pulido la zona afectada por el calor.
- Cuente con un equipo con la suficiente potencia para la operación de conformado.
- Respete los radios mínimos de conformado de acuerdo a la tabla anterior.

MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

El mecanizado por arranque de viruta de los aceros Maxdur 400 y Maxdur 450 con estructuras endurecidas, requiere más atención que el de los aceros de estructura recocida.

El taladrado tiene un interés especial debido a las siguientes condiciones de operación:

- Disminución de la velocidad de corte hasta cero en el centro de la broca.
- Creciente dificultad de evacuación de las virutas al ir aumentando la profundidad del taladrado.
- Distribución desfavorable del calor en el punto de corte.
- Problemas de estabilidad y vibración de la herramienta.

Para la mecanización de aceros con durezas de hasta 400HB (valor medio), se recomienda el uso de brocas de acero rápido de alta aleación de cobalto. Para el acero de dureza 450HB es preciso emplear brocas de metal duro.

Para el taladrado deben tomarse las siguientes precauciones:

- Evitar vibraciones.
- Fijar la pieza en un punto tan próximo al trabajo como sea posible.
- Fijar la pieza y el portabrocas tan cerca como sea posible a la columna de la máquina.
- Usar brocas cortas en máquinas de husillos también cortos.
- El uso de refrigerantes y de fluidos de corte alarga la duración de las brocas.

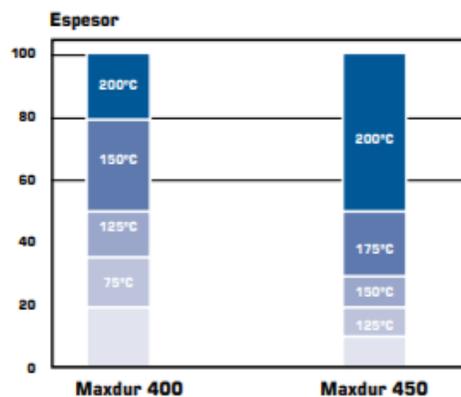
CORTE TÉRMICO Y SOLDADURA

Maxdur 400 y Maxdur 450 puede se cortada térmicamente mediante:

- Corte con Oxi - Acetileno
- Corte con plasma
- Corte con rayo láser

Debido al rápido calentamiento hasta altas temperaturas y al subsiguiente enfriamiento, pueden tener lugar cambios en la estructura del material, que provocaran diferenciales de dureza en la zona afectada por el calor, para una mayor uniformidad de la dureza, se recomienda el corte térmico con plasma o con láser.

En la gráfica podemos observar la temperatura de precalentamiento recomendada en los casos de corte térmico y soldadura.



Este tipo de aceros pueden soldarse aplicando procedimientos de soldadura automático o manual: electrodo manual revestido, soldadura con electrodo de alambre con fúndente incorporado ó soldadura mediante arco sumergido usando los siguientes pasos:

- Prepare las placas a soldar mediante corte con soplete o plasma y bisele ya sea con bisel simple o doble a 30 ó 45 grados. Se recomienda para espesores menores a 10mm bisel en V y para espesores mayores a 10mm bisel en X.
- Ensamble y ajuste adecuadamente las partes.
- Precaliente dependiendo del espesor de la chapa.
- Controle durante el proceso las temperaturas de disipación de calor teniendo en cuenta que para chapas delgadas el proceso es más rápido que para gruesas.
- Si el tiempo de enfriamiento es demasiado corto, pueden aparecer agrietamientos, y si es demasiado largo pueden disminuir la tenacidad.
- Los electrodos recomendados para soldar Maxdur 400 y Maxdur 450 deben ser ricos en Níquel y Cromo para permitir que la dilución en la unión posea características mecánicas y metalúrgicas de la zona austenítica (diagrama SCHAEFFLER), maleabilidad y tenacidad, con mínimo riesgo de fisuración o agrietamiento durante el proceso de soldadura. Se recomiendan electrodos tipo Weldin 7 (E6-UM-60), Weldinox 629 (E 188 Mn3) y Weldinox 673 (E 309 L-16), los cuales tienen

la ventaja de permitir trabajar uniones con solicitudes de cargas dinámicas, sin que fallen, cosa que no se garantizaría con electrodos del tipo E - 7018.

- El proceso de soldadura no afecta la dureza del metal base drásticamente si se siguen las recomendaciones dadas.
- Debido a que los electrodos recomendados son de baja penetración, se recomienda trabajar con una apertura de raíz igual o mayor al diámetro del electrodo utilizado.
- No se recomienda aplicar E 7018, ya que la dilución que genera este electrodo se encuentra en una zona ferro-martensítica, la cual es muy rígida y propensa a la generación de fisuras y agrietamientos especialmente cuando intervienen cargas del tipo dinámico.

TRATAMIENTO TÉRMICO

Maxdur 400 y Maxdur 450 se suministra con una durezas entre 360 y 490 HB que permite su utilización sin tener que realizar procesos adicionales de tratamiento térmico.

Procesos como el ténifer y la cementación permiten obtener altas durezas superficiales en el material (capas de máximo 0.5mm en cementación y 0.05mm en ténifer) en detrimento de la dureza del metal base, por lo que no se recomienda aplicar procesos adicionales de endurecimiento a este tipo de materiales.

PROYECTOS ESPECIALES

Compañía General de Aceros cuenta con una experiencia de más de 10 años en el sector minero y cementero del país y ha participado en la fabricación de piezas para las principales compañías tales como Cerrejón, Cerromatoso, Drumont, Cemex, Grupo Argos, Cementos del Caribe entre otras.

Nuestro calificado equipo de Ingenieros mecánicos y metalúrgicos están a su disposición para asesorarlo en el desarrollo de proyectos de ingeniería (selección de material, análisis por elementos finitos, soldadura, montaje y otros) garantizando el éxito de los mismos.

PRESENTACIÓN

Los aceros Maxdur 400 y Maxdur 450 están disponibles en láminas de 2 x 6 metros y espesores desde 4.5mm hasta 100mm. También puede ser suministrado cortado térmicamente de acuerdo a su requerimiento específico.

Para aplicaciones de mayor exigencia al desgaste abrasivo por deslizamiento e impacto, consulte nuestra nueva referencia Maxdur **B60**.

SUCURSALES C.G.A.

BARRANQUILLA Via 40 No. 51 - 444 PBX: 3717 800 Fax: 3443 328/3720 220	MEDELLÍN Calle 32 No. 41 - 139 Itagüí PBX: 3724 500 / 3738 111 Fax: 2776 088
CALI Cra. 31A No. 15 - 59 Acopi - Yumbo PBX: 6918 585 Call Center: 6918 588 Fax: 6858 593	BUCARAMANGA Cra. 14 No. 23 - 02 PBX: 6337 708/6323 Fax: 6332 779
CARTAGENA Diag. 30 No. 54 - 206 Local 19 - Centro Comercial Mamonal Plaza - Barrio Ceballos Tels: 6673 940 / 6770 327	INOXTEC BOGOTÁ Diag. 5H No. 47 - 01 PBX: 4206 800 Fax: 4207 153
PRINCIPAL BOGOTÁ D.C. Av. 68 No. 37B - 51 Sur PBX: 7700 560 Fax: 7700 530/550 • Call Center: 7700 590 - Línea de Servicio al Cliente: 7700 543	

www.cga.com.co

Anexo C.

PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLE GAS NATURAL

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DEL GAS NATURAL EN EL PUNTO DE ENTRADA DEL SISTEMA NACIONAL DE TRANSPORTE DE GAS

- NÚMERO DE WOBBE -

1. ANTECEDENTES

1.1 Regulación Vigente sobre Calidad

Mediante la Resolución CREG 071 de 1999 se adoptó el Reglamento Único de Transporte de Gas Natural –RUT-. En el numeral 6.3 del RUT, modificado mediante la Resolución CREG 054 de 2007, se establecen las especificaciones de calidad del gas natural entregado al Transportador por parte del Remitente en el Punto de Entrada al Sistema de Transporte así:

6.3 CALIDAD DEL GAS

El Gas Natural entregado al Transportador por el Agente, en el Punto de Entrada del Sistema de Transporte y por el Transportador en el Punto de Salida, deberá cumplir con las especificaciones de calidad indicadas en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Especificaciones de Calidad del Gas Natural

Especificaciones	Sistema Internacional	Sistema Inglés
Máximo poder calorífico bruto (GHV) (<i>Nota 1</i>)	42.8 MJ/m ³	1.150 BTU/ft ³
Mínimo poder calorífico bruto (GHV) (<i>Nota 1</i>)	35.4 MJ/m ³	950 BTU/ft ³
Contenido de Líquido (<i>Nota 2</i>)	Libre de líquidos	Libre de líquidos
Contenido total de H ₂ S máximo	6 mg/m ³	0.25 grano/100PCS
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m ³	1.0 grano/100PCS
Contenido CO ₂ , máximo en % volumen	2%	2%
Contenido de N ₂ , máximo en % volumen	3	3
Contenido de inertes máximo en % volumen (<i>Nota 3</i>)	5%	5%
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0.1%	0.1%
Contenido máximo de vapor de agua	97 mg/m ³	6.0 Lb/MPCS
Temperatura de entrega máximo	49 °C	120°F
Temperatura de entrega mínimo	7.2 °C	45 °F
Contenido máximo de polvos y material en suspensión (<i>Nota 4</i>)	1.6 mg/m ³	0.7 grano/1000 pc



Anexo D.
QUEMADOR PIROTEC BURNERS



PIROTEC BURNERS

Piro Jet Burner

Alta intensidad de combustión

D 2000



REFERENCIA DEL QUEMADOR									
CARACTERÍSTICAS	PI60	PI70	PI80	PI90	PI100	PI120	PI150	PI180	PI200
Capacidad Btu/hr	6.000.000	7.000.000	8.000.000	9.000.000	10.000.000	12.000.000	15.000.000	18.000.000	20.000.000
Caudal de aire CFH @ 20% Exceso	72.000	84.000	96.000	108.000	120.000	144.000	180.000	216.000	240.000
Capacidad mínima Btu/hr	600.000	700.000	800.000	900.000	1.000.000	1.200.000	1.500.000	1.800.000	2.000.000
Suministro eléctrico (VAC)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Presión de gas "w.c.	24"	23	18	19	25	16	24	28	32
Diámetro de entrada de gas (In)	2"	2"	2 1/2"	2 1/2"	2 1/2"	3"	3"	4"	4"
Diámetro de entrada de aire (In)	6"	6"	6"	6"	8"	8"	8"	10"	10"
Exceso de aire	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Caudal de gas (CFH)									
Gas natural	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000	12.000	15.000	18.000	20.000
Gas propano	2.400	2.800	3.200	3.600	4.000	4.800	6.000	7.200	8.000
Gas butano	1875	2.187	2.500	2.812	3.125	3.750	4.687	5.625	6.250
Gas GLP	2142	2.500	2.857	3.214	3.571	4.285	5.357	6.428	7.142

En la práctica los parámetros pueden variar debido a los siguientes factores:

- La altura del sitio de la instalación de los equipos con respecto al nivel del mar.
- La presión de la cámara de combustión.
- Variaciones en la presión de alimentación de gas en el quemador.
- Composición del aire de combustión inyectado al quemador.

Nota:

- Las pruebas de los quemadores son realizadas a cero metros sobre el nivel del mar.
- Se asume el GLP como mezcla de 50% propano y 50% butano.
- Variaciones en la temperatura del aire de combustión pueden modificar los resultados.
- Para efecto de pruebas se han tomado la potencia con respecto al poder calorífico superior del combustible a condiciones normales de presión y temperatura a una atmósfera (14,7 PSIA) y 70° F (21° C).

Los datos contenidos en estos diagramas son indicativos y han sido obtenidos de pruebas de ensayos acordes con las normas actuales a una altura sobre el nivel del mar.



ESPECIFICACIONES PARA TODOS LOS MODELOS

Combustible	Gas natural, propano, butano, GLP, mezclas
Ventilador	Remoto, seleccionado según las especificaciones del quemador
Detección de llama	Sensor ultra violeta - UV
Tipo de quemador	De mezcla en boquilla para calentamiento de aire
Cámara de combustión	Tubo de Aleación - Bloque refractario disponible
Posición del quemador	90°, 180°, Vertical - Horizontal
Aplicaciones industriales	Hornos calcinadores, hornos de alta temperatura para fundición de metales, hornos rotatorios, plantas procesadoras para producción de asfalto. Para más aplicaciones consulte su proveedor de Pirotec Burners.

● Precaución:

Es peligroso utilizar quemadores sin la configuración adecuada de los elementos de detección de llama y los respectivos elementos de seguridad en el tren de válvulas. Pirotec está en capacidad de entregar la información necesaria acerca de las normas que rigen la configuración de los equipos de combustión.

Los quemadores Pirotec de alta intensidad son de baja emisión de NoX, su configuración con ventilador remoto seleccionado de acuerdo a los requerimientos del quemador, permite una operación ultra eficiente para asegurar la máxima liberación de calor con el mínimo de emisiones (ver tabla de emisión de gases).

EMISIÓN DE GASES PARA GAS NATURAL

PARÁMETRO	% DE CAPACIDAD	PI60	PI70	PI80	PI90	PI100	PI120	PI150	PI180	PI200
No x ppm @ 4% O2	25% Capacidad	60	56	60	62	49	52	54	56	60
	100% Capacidad	54	50,4	54	55,8	44,1	46,8	48,6	50,4	54
CO @ 4% O2	100% Capacidad	32ppm	32ppm	29ppm	28ppm	26,5 ppm	25 ppm	23,5 ppm	22 ppm	20,5 ppm

- Las emisiones del quemador dependen del diseño y la temperatura de la cámara, del tipo combustible, la capacidad del quemador y el exceso de aire en el punto de operación.
- Toda la información fue tomada bajo pruebas de laboratorio a presión de cámara neutra (0,0" wc), otras presiones de cámara pueden modificar los resultados obtenidos.

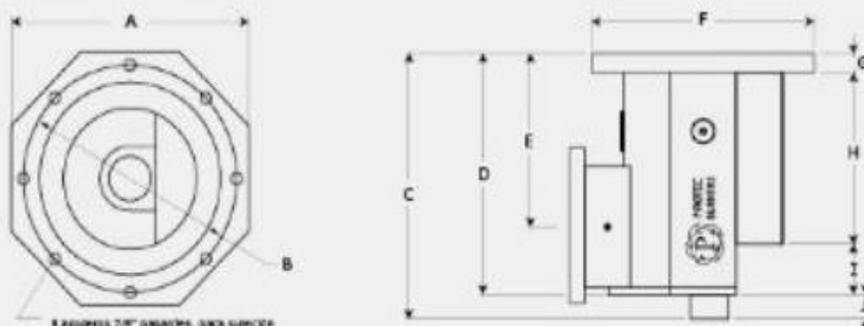


Alta intensidad de combustión

Ensamblados en Colombia por C.I. Termal Tec S.A.
Calle 11A sur 44-143 Medellín.
PBX: (574) 444 00 04
www.termaltec.com



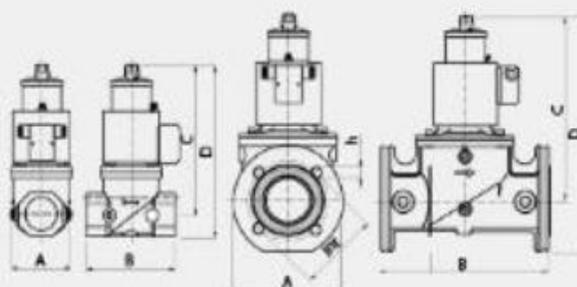
Dimensiones (mm) para el cuerpo del quemador



REFERENCIA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
PI 60, PI 70, PI 80	500	450	558	420	366	500	40	368	140	50
PI 90, PI 100	501	450	557	507	365	501	20	361	105	50
PI 120, PI 150, PI 180, PI 200	701	630	657	627	429	701	20	383	137	50

Las dimensiones de los orificios pueden variar sin previo aviso dependiendo de los desarrollos tecnológicos realizados.

Dimensión y características del tren de válvulas para gas



Modelo	Conexiones	Presión máxima (mbar)	Consumo @230 VAC (W)	Dimensiones generales (mm)						Peso (kg)
				A	B	C	D	Int	h	
VML	Rp 3/8	360	20	88	77	180	196	-	-	1,8
VML	Rp 1/2	360	20	88	77	180	196	-	-	1,8
VML	Rp 3/4	360	45	88	96	200	222	-	-	2,7
VML	Rp 1	360	45	88	96	200	222	-	-	2,7
VML	Rp 1 1/4	360	45	120	153	258	290	-	-	6
VML	Rp 1 1/2	360	45	120	153	258	290	110	4x18	6
VML	Rp 2	360	45	106	156	264	302	125	4x18	6,3
VML	DN 65	360	60	200	305	335	424	145	4x18	14,5
VML	DN 80	360	60	200	305	335	424	160	8x18	14,5

Anexo E.
VENTILADOR CHICAGO BLOWER



Chicago's Industrial Centrifugal Fans are constructed of rugged components to provide longer life

Shafts

Selected medium carbon steel SAE 1040 to SAE 1045 is turned, ground and polished to provide secure wheel and bearing contact. Shafts are sized to run well below the first critical speed.

Bearings

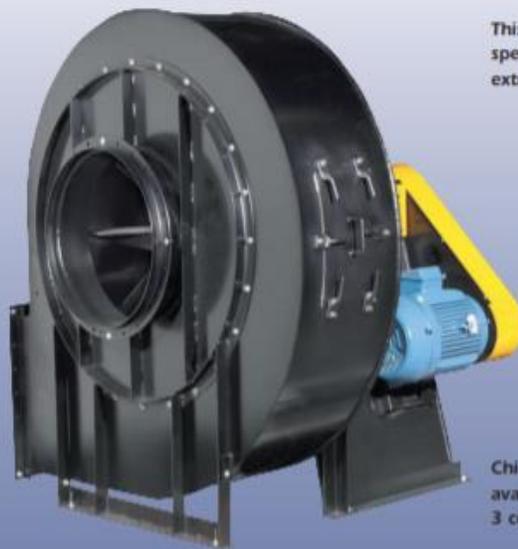
American made ball or roller bearings provide a minimum average life of 75,000 hours at maximum speeds, equal to eight hours a day, 365 days a year, for 25 years.

Housings

Most fan sizes are available with either Chicago Blower's own versatile square housing SQI, or fixed scroll design, D/16A. Both fan types are constructed of steel plate continuously welded to form a rugged stable housing. Heavy gauge mounting flanges and stiffeners add additional rigidity. Flanged outlet is standard except for bottom discharge on some sizes. Removable inlet coverplates provide wheel access.

Housing/Wheel Availability

Fan Size	Wheels		Housings	
	WF	LS	SQI	D/16A
5	X		X	
6	X		X	
7	X	X	X	
9	X	X	X	
11	X	X	X	X
13	X	X	X	X
15	X	X	X	X
17	X	X	X	X
19	X	X		X
21	X	X		X
23		X		X
26		X		X
29		X		X
33		X		X



This Size 13 fan features special insulation for extreme temperatures



Chicago's rugged D/16 fans are available in heavier-duty Class 3 construction

Size 11 LS/WF

Wheel Diameter **19-1/8"**
 Inlet Diameter **11"**
 Outlet Area **0.66 sq. ft.**

Wheel
 Shaft

RPM Limits @70F							
SQI	C/3HD	C/3	C/4HD*	C/4*	WF		
3853	3853	3853	4873	4873	3090		
2980	2980	4000	4000	4800	2853		

CFM	OV FPM	1' SP		2' SP		3' SP		4' SP		5' SP		6' SP		7' SP		8' SP		9' SP		10' SP	
		RPM	BHP																		
792	1200	722	.20	979	.39	1185	.59	1362	.81	1519	1.03	1662	1.26								
824	1405	745	.25	995	.46	1195	.68	1368	.92	1525	1.17	1666	1.42	1797	1.69	1919	1.96				
1056	1600	773	.31	1011	.54	1208	.78	1379	1.04	1532	1.31	1672	1.59	1802	1.88	1924	2.17	2038	2.47	2146	2.78
1188	1800	804	.37	1032	.63	1224	.89	1391	1.17	1542	1.46	1680	1.77	1809	2.06	1929	2.40	2043	2.72	2151	3.05
1320	2000	837	.44	1056	.72	1242	1.01	1406	1.31	1555	1.62	1691	1.95	1818	2.28	1937	2.63	2050	2.97	2157	3.33
1452	2200	871	.52	1084	.83	1263	1.15	1424	1.47	1569	1.80	1704	2.14	1829	2.50	1946	2.86	2056	3.24	2164	3.62
1584	2400	907	.61	1114	.95	1287	1.29	1443	1.64	1586	1.99	1718	2.36	1842	2.73	1958	3.12	2068	3.51	2173	3.91
1716	2600	944	.71	1146	1.08	1314	1.45	1465	1.82	1605	2.20	1735	2.58	1857	2.97	1971	3.36	2080	3.80	2184	4.22
1848	2800	982	.82	1179	1.23	1343	1.62	1490	2.02	1626	2.42	1754	2.83	1873	3.24	1986	3.66	2094	4.10	2197	4.54
1980	3000	1022	.94	1212	1.38	1374	1.81	1517	2.23	1650	2.66	1774	3.09	1892	3.53	2003	3.97	2109	4.42	2211	4.89
2112	3200	1064	1.08	1247	1.55	1406	2.01	1546	2.46	1675	2.91	1797	3.37	1912	3.83	2022	4.30	2126	4.77	2227	5.25
2244	3400	1107	1.24	1283	1.73	1439	2.22	1576	2.70	1703	3.18	1821	3.67	1934	4.15	2042	4.64	2145	5.14	2244	5.64
2376	3600	1151	1.41	1320	1.93	1472	2.45	1608	2.96	1732	3.47	1848	3.98	1958	4.49	2064	5.01	2167	5.53	2262	6.05
2508	3800	1197	1.61	1358	2.14	1507	2.69	1640	3.24	1762	3.77	1876	4.31	1984	4.85	2087	5.39	2187	5.90	2280	6.48
2640	4000	1243	1.82	1397	2.37	1542	2.95	1674	3.53	1794	4.10	1905	4.66	2011	5.23	2112	5.80	2210	6.37	2304	6.94
2772	4200	1290	2.06	1437	2.61	1578	3.23	1707	3.84	1826	4.44	1936	5.03	2040	5.63	2139	6.22	2235	6.82	2328	7.42
2904	4400	1338	2.32	1478	2.88	1615	3.52	1742	4.16	1859	4.80	1968	5.42	2070	6.04	2168	6.67	2262	7.29	2352	7.92
3036	4600	1386	2.60	1521	3.18	1653	3.84	1777	4.51	1893	5.17	2000	5.83	2101	6.48	2197	7.13	2290	7.79	2379	8.44
3168	4800	1435	2.91	1564	3.49	1691	4.17	1813	4.88	1927	5.57	2033	6.26	2133	6.94	2228	7.62	2319	8.30	2407	8.98
3300	5000	1484	3.24	1608	3.84	1731	4.53	1850	5.26	1962	5.99	2067	6.71	2166	7.42	2259	8.13	2349	8.84	2436	9.55
3432	5200	1533	3.60	1653	4.21	1772	4.91	1897	5.67	1997	6.43	2101	7.18	2199	7.93	2291	8.67	2380	9.41	2465	10.14
3564	5400	1583	3.98	1698	4.61	1813	5.32	1925	6.10	2033	6.89	2135	7.68	2232	8.46	2324	9.23	2412	9.99	2496	10.76
3696	5600	1633	4.40	1744	5.03	1855	5.78	1964	6.56	2070	7.38	2170	8.20	2266	9.01	2357	9.81	2444	10.61	2528	11.40
3828	5800	1684	4.84	1791	5.49	1898	6.23	2004	7.04	2107	7.80	2206	8.74	2301	9.58	2391	10.42	2477	11.24	2560	12.07
CFM	OV FPM	11' SP		12' SP		13' SP		14' SP		15' SP		16' SP		17' SP		18' SP		19' SP		20' SP	
1188	1800	2254	3.39	2352	3.73	2447	4.08														
1320	2000	2259	3.69	2357	4.06	2451	4.43	2542	4.81	2630	5.19	2715	5.58	2797	5.97						
1452	2200	2265	4.00	2363	4.39	2456	4.79	2547	5.19	2634	5.60	2719	6.01	2801	6.43	2881	6.85	2959	7.27	3034	7.70
1584	2400	2274	4.32	2370	4.74	2463	5.16	2553	5.58	2640	6.01	2724	6.45	2806	6.89	2885	7.33	2963	7.76	3038	8.24
1716	2600	2283	4.65	2379	5.09	2471	5.53	2560	5.98	2647	6.44	2730	6.90	2812	7.36	2891	7.83	2968	8.31	3043	8.78
1848	2800	2295	5.00	2390	5.46	2481	5.92	2569	6.40	2655	6.88	2738	7.36	2819	7.85	2897	8.34	2974	8.84	3049	9.34
1980	3000	2306	5.36	2402	5.84	2492	6.33	2580	6.82	2664	7.33	2747	7.83	2827	8.34	2905	8.86	2982	9.38	3056	9.91
2112	3200	2323	5.74	2415	6.24	2505	6.75	2592	7.27	2676	7.79	2757	8.32	2837	8.85	2914	9.39	2990	9.94	3064	10.49
2244	3400	2339	6.15	2431	6.67	2519	7.20	2605	7.73	2688	8.28	2769	8.83	2848	9.38	2925	9.94	3000	10.51	3073	11.08
2376	3600	2356	6.58	2447	7.12	2535	7.67	2620	8.22	2702	8.78	2782	9.35	2861	9.93	2937	10.51	3011	11.10	3084	11.70
2508	3800	2375	7.04	2465	7.60	2551	8.16	2636	8.73	2717	9.32	2797	9.90	2874	10.50	2950	11.10	3024	11.71	3096	12.33
2640	4000	2396	7.52	2484	8.10	2570	8.68	2653	9.28	2734	9.88	2812	10.48	2889	11.10	2964	11.72	3037	12.35	3108	12.99
2772	4200	2417	8.02	2504	8.62	2589	9.23	2671	9.85	2751	10.47	2829	11.09	2905	11.73	2980	12.37	3052	13.02	3123	13.67
2904	4400	2441	8.54	2526	9.17	2610	9.81	2691	10.44	2770	11.09	2847	11.73	2923	12.39	2996	13.06	3068	13.71	3138	14.39
3036	4600	2465	9.09	2550	9.75	2632	10.41	2712	11.07	2790	11.73	2866	12.40	2941	13.08	3014	13.76	3085	14.44	3155	15.13
3168	4800	2492	9.66	2574	10.34	2655	11.03	2734	11.72	2811	12.40	2887	13.10	2960	13.80	3032	14.50	3103	15.20	3122	15.92
3300	5000	2519	10.26	2601	10.97	2680	11.66	2758	12.39	2834	13.10	2908	13.82	2981	14.54	3052	15.27	3122	16.00	3191	16.73
3432	5200	2548	10.88	2629	11.61	2706	12.35	2783	13.08	2858	13.83	2931	14.57	3003	15.32	3073	16.07	3142	16.82	3210	17.58
3564	5400	2578	11.52	2657	12.29	2734	13.05	2809	13.82	2883	14.58	2955	15.35	3026	16.12	3095	16.90	3164	17.67	3231	18.45
3696	5600	2600	12.19	2686	12.99	2762	13.78	2836	14.57	2909	15.37	2980	16.16	3050	16.96	3119	17.76	3186	18.56	3253	19.36
3828	5800	2639	12.89	2717	13.71	2792	14.53	2865	15.35	2936	16.17	3007	17.00	3075	17.82	3143	18.65	3210	19.47	3275	20.30
3960	6000	2671	13.61	2748	14.46	2822	15.31	2894	16.16	2965	17.01	3034	17.86	3102	18.71	3168	19.56	3234	20.42	3299	21.27
4092	6200	2704	14.37	2779	15.24	2853	16.12	2924	17.00	2994	17.88	3063	18.76	3130	19.63	3195	20.51	3260	21.39	3324	22.27
4224	6400	2736	15.14	2812	16.05	2884	16.96	2955	17.87	3024	18.77	3092	19.68	3158	20.59	3223	21.49	3287	22.40	3350	23.31
CFM	OV FPM	21' SP		22' SP		23' SP		24' SP		25' SP		26' SP		27' SP		28' SP		29' SP		30' SP	
1584	2400	3112	8.89	3184	9.15	3255	9.62	3324	10.09												
1716	2600	3117	9.27	3189	9.75	3259	10.24	3328	10.73	3395	11.23	3461	11.73	3526	12.23	3590	12.74				
1848	2800	3122	9.65	3194	10.36	3264	10.87	3332	11.39	3400	11.81	3466	12.40	3531	12.96	3594	13.49				
1980	3000	3129	10.44	3200	10.97	3270	11.51	3338	12.05	3405	12.60	3471	13.15	3536	13.70	3599	14.26				
2112	3200	3136	11.04	3207	11.80	3277	12.16	3345	12.73	3411	13.30	3477	13.87	3541	14.45						
2244	3400	3145	11.86	3216	12.24	3284	12.83	3352	13.42	3418	14.01	3484	14.61	3548	15.21						
2376	3600	3155	12.30	3225	12.90	3294	13.31	3361	14.12	3427	14.74	3491	15.36	3555	15.99						
2508	3800	3167	12.95	3236	13.58	3304	14.21	3371	14.85	3436	15.49	3500	16.13	3564	16.78						
2640	4000	3179	13.63	3248	14.29	3315	14.93	3382	15.59	3447	16.25	3511	16.92	3573	17.59						
2772	42																				

Anexo F.
DIÁMETROS NORMALIZADOS PARA DUCTOS DE AIRE

S el área de paso de la sección recta; y
P el perímetro interior de la sección recta.

Diámetro equivalente, que se define como el diámetro que tendría un conducto circular que, conduciendo el mismo caudal y teniendo el mismo coeficiente de fricción, ocasionará la misma pérdida de presión por unidad de longitud. Viene dado por la expresión:

$$D_{eq} = 1,55 S^{0,625} / P^{0,25} \quad (2)$$

Según la reglamentación española (UNE 100-101-84) las dimensiones normalizadas de los conductos se indican en el siguiente apartado.

2.2.2 Conductos circulares

Los diámetros nominales interiores se eligen entre los de la serie Renard R 10, con base 100 mm, que tiene una relación entre dos números consecutivos igual a 1,25. A continuación se tabulan los valores normalizados:

Tabla 2 - Dimensiones normalizadas para conductos circulares

Diámetro nominal (mm)		Área sección transversal (m ²)	Superficie lateral (m ² /m)
nominal	intermedio		
80	90	5,03 x 10 ⁻³	251 x 10 ⁻³
100	112	7,85 x 10 ⁻³	314 x 10 ⁻³
125	140	12,3 x 10 ⁻³	393 x 10 ⁻³
160	180	20,1 x 10 ⁻³	503 x 10 ⁻³
200	224	31,4 x 10 ⁻³	628 x 10 ⁻³
250	280	49,1 x 10 ⁻³	785 x 10 ⁻³
315	335	77,9 x 10 ⁻³	990 x 10 ⁻³
400	450	126 x 10 ⁻³	1,26
500	560	196 x 10 ⁻³	1,57
630	710	312 x 10 ⁻³	1,98
800	900	503 x 10 ⁻³	2,51
1000	1120	785 x 10 ⁻³	3,14
1250	1400	1,23	3,93
1600	1800	2,01	5,03
2000		3,14	6,28

Fuente: AENOR, UNE 100-101-84

Las dimensiones nominales de los conductos rectangulares normalizados, incluyen los valores siguientes:

Lado largo: 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 y 2000.

Lado corto: 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 y 1200.

Relación entre lados menor o igual que 4.

Pueden diseñarse conductos con dimensiones intermedias y tamaños superiores a las que figuran en la norma UNE que, para facilitar su cálculo, se incluyen en la tabla 5 de este capítulo.

2.2.3 Espacio disponible y aspecto decorativo

Tanto el espacio disponible para los conductos de impulsión y de retorno, como el aspecto decorativo, presentan con frecuencia limitaciones que obligan a adoptar un determinado sistema en los conductos. En instalaciones donde el espacio es limitado, la solución más práctica será la de un sistema de alta velocidad empleando pequeños conductos circulares.

En algunos casos el conducto tiene que ser visible y adosado al techo, como ocurre en locales de venta u oficinas construidas de antemano. En estos casos lo más adecuado son los conductos rectangulares de líneas aerodinámicas. Este tipo de conductos se construyen de forma que presente exteriormente un aspecto uniforme, mientras las uniones de los conductos se realizan por el interior del mismo. El conducto se construye con un mínimo de reducciones en su sección para mantener un aspecto exterior agradable, en forma de haz.

La colocación y el aspecto exterior de los conductos en los locales industriales suele tener importancia secundaria. En tales casos el sistema más económico será probablemente el de conductos rectangulares a pequeña velocidad.

2.3 Factores económicos que influyen en el sistema de conductos

2.3.1 Introducción

El equilibrio entre los precios de coste y los de explotación es un aspecto que no debe perderse de vista, tanto como el espacio disponible, para establecer un buen sistema de distribución. Como cada instalación es distinta de las demás, sólo pueden darse reglas generales para seleccionar el sistema más adecuado.

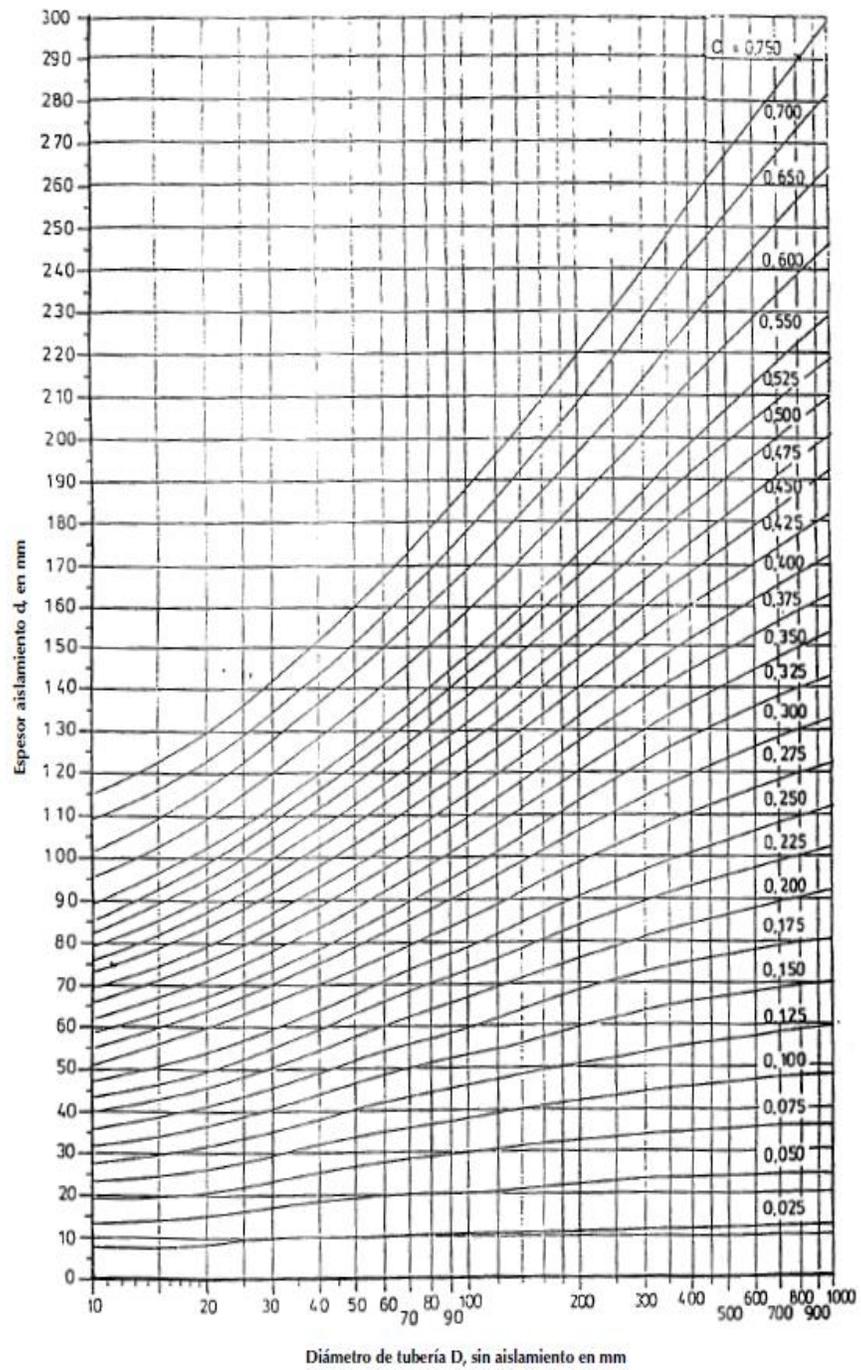
Los factores que influyen en el precio de compra y gastos de explotación son:

1. Ganancias o pérdidas de calor en el conducto.
2. Relación entre dimensiones del conducto.

Anexo G.

DIAGRAMA DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE AISLAMIENTO Y
CARACTERÍSTICAS DE LA LANADA DE VIDRIO

Diagrama 2. Determinación del espesor de aislamiento de una tubería para una densidad de flujo de calor determinado o para una temperatura superficial fija.



Finalmente, como en vidriería clásica, se añade a la mezcla una cierta proporción de calcio finamente molido.

La elaboración de la mezcla exige unidades especiales: molido, secado eventual (para las arenas), almacenaje en silos, controles físico-químicos, pesadas exactas y mezcla perfectamente homogénea. Para obtener 840 kilos de vidrio fundido se necesita una tonelada de materia prima.

Fusión

La composición se introduce en un horno, que funciona con dos series de quemadores de inversión, o en un horno de quemadores transversales.

La producción de la lana de vidrio

El fibrado se realiza a través de los orificios de un «plato» perforado, soportado por un eje y dotado de un movimiento de rotación muy rápido.

Este aparato es alimentado con vidrio fundido, por un órgano de reparto, «panier», que recibe el vidrio fundido de la parte delantera del horno.

Después de este primer estirado mecánico, horizontal, debido a la fuerza centrífuga, las fibras se alargan verticalmente, por la acción mecánica y térmica de un quemador circular de llama rápida.

Varios factores permiten actuar sobre el diámetro de las fibras obtenidas:

- El número y diámetro de los orificios del «plato» para un caudal de vidrio fijo.
- El caudal de vidrio para un mismo plato.
- La viscosidad del vidrio.
- El régimen del quemador horizontal.

La dispersión alrededor de los diámetros medios es muy estrecha.

Elaboración de los productos

Después de la pulverización, ya sea de aceite mineral para los productos «blancos», ya de resinas para los productos «impregnados», las fibras caen sobre un tapiz metálico de aspiración.

Los productos «impregnados» pasan por una estufa, en la cual un circuito de aire caliente asegura la polimerización de la resina, que confiere rigidez a los productos.

La velocidad del tapiz de recepción varía en la proporción de 1 a 30, lo que permite obtener diferentes pesos de lana de vidrio por m² de producto.

PROPIEDADES DE LA LANA DE VIDRIO

Propiedades térmicas

Un material aislante se caracteriza por el valor de su conductividad térmica; su poder aislante es tanto más elevado cuanto más pequeña es su conductividad.

La lana de vidrio es un material compuesto. El fieltro, que se forma en la cadena, está constituido por fibras entrecruzadas desordenadamente, que impiden las corrientes de convección del aire. Es evidente que la conductividad térmica del fieltro será no una conductividad sólida real, sino una conductividad aparente y que será el balance de los efectos conjugados de varios procesos de cambios de calor, que vamos a tratar de analizar a continuación:

- a) El aire inmovilizado por la red de fibras, es un volumen proporcionalmente importante; por tanto, una parte de la transmisión de calor se hará por convección.
- b) Las fibras, en contacto unas con otras, permiten la transmisión de calor por conducción.
- c) Finalmente, las fibras intercambian energía entre sí, por radiación.

La relativa importancia de estas formas distintas de cambio de calor dependen, a igualdad de temperatura en el ambiente, de:

- El diámetro de las fibras.
- La densidad aparente del producto.

La conductividad térmica resulta, en la práctica, de la combinación de la transmisión gaseosa y de la radiación; siendo despreciables las otras dos.

El valor de dicha conductividad varía de 0,032 a 0,045 W/(m · K) (a 10 °C), para los productos ISOVER, de aplicación en la construcción.

Otras propiedades

Los productos fabricados son ligeros (de 10 a 110 kg/m³) y fáciles de cortar y de manejar.

La lana de vidrio es incombustible, inatacable por los agentes exteriores: aire, vapor de agua, ácidos (excepto de fluorhídrico) y bases no concentradas. El pH de la composición, 7 aproximadamente, asegura a la fibra una estabilidad total, incluso en medio húmedo y garantiza al usuario la no existencia de corrosión de los metales en contacto con ella.

Su débil calor específico permite puestas en régimen rápidas, en instalaciones intermitentes.

Por último, la «lucha contra el ruido» ha puesto de manifiesto las cualidades «acústicas» de la lana de vidrio.

Su elasticidad le permite ser el material que mejor se adapta a la técnica de los «suelos flotantes». Igualmente le permite mejorar sensiblemente el índice de aislamiento acústico en dobles tabiques.

Su elevado coeficiente de absorción justifica su empleo en la corrección acústica de locales (talleres, oficinas, etc.), y sobre todo en los casos más difíciles, como el revestimiento de paramentos en «cámaras sordas».

01.03. Lana de roca

INTRODUCCIÓN

Otro tipo de lana mineral es la denominada «lana de roca», elaborada a partir de rocas diabásicas (rocas basálticas), obteniéndose un producto de propiedades complementarias a la lana de vidrio. Es un producto especialmente indicado para los aislamientos térmicos en la industria (altas temperaturas).

FABRICACIÓN DE LA LANA DE ROCA

Componentes

El «caldo» utilizado en la fabricación de la lana de roca tiene unas características físico-químicas parecidas a los vidrios, estando compuestos por silicatos y óxidos metálicos.

La lana de roca se obtiene fibrando por centrifugación el material, controlando en el proceso los contenidos de sílice y de óxidos metálicos.

La composición química final que debe asegurar una gran estabilidad mecánica hasta 750 °C es:

Materias primas	Materias primas encolado
Roca basáltica	Acete de linaza
Grava	Resina escórez
Fosfato	Naftenato de manganeso
Mineral de hierro	Baquelita
	Acete mineral

Anexo H.

COEFICIENTE PARCIAL DE SEGURIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL PARA
UNIONES

12.3.2 TORNILLOS

Los tornillos a emplear en uniones de estructuras de acero serán preferentemente de alguno de los grados 4.6, 5.6, 6.8, 8.8 ó 10.9. No se utilizarán tornillos de grado inferior al 4.6 ni de grado superior al 10.9 sin demostración experimental de que son adecuados para la unión en la que se prevé su uso. Los valores nominales del límite elástico f_{yb} y de la resistencia última a tracción f_{ub} para adoptar como valores característicos en los cálculos en cada tipo de tornillo se dan en la tabla 1.

Valores nominales del límite elástico f_{yb} y de la resistencia a tracción última f_{ub} de tornillos							
Tipo de tornillo	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb} (N/mm^2)$	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub} (N/mm^2)$	400	400	500	500	600	800	1000

Tabla 1. Valores nominales de f_{yb} y de f_{ub} para los tornillos

Para tablas de dimensiones ver Prontuario de estructuras Volumen 2.

12.4. COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD

El coeficiente parcial de seguridad del material γ_M se tomará como:

γ_{Mb} :	Resistencia de tornillos	1,25
γ_{Mr} :	Resistencia de roblones	1,25
γ_{Mp} :	Resistencia de bulones	1,25
γ_{Ms} :	Resistencia al deslizamiento	1,25 (ELU); 1,1(ELS)

12.5. AGUJEROS PARA TORNILLOS

Los agujeros para tornillos se efectuarán preferentemente mediante taladro.

El diámetro estándar de los agujeros será igual al del vástago del tornillo más:

- 1mm para tornillos de 12 y 14mm de diámetro;
- 1 ó 2mm para tornillos de 16 a 24mm;
- 2 ó 3mm para tornillos de 27mm o mayores.

En uniones atornilladas resistentes por rozamiento pueden emplearse agujeros a sobremedida o agujeros rasgados, cortos o largos, para facilitar el montaje de las piezas.

Anexo I.
MOTOR SEW EURODRIVE

8

Helical gearmotors

Selection tables R..DRN. in kW

P _m = 5.5 kW											
n _n min ⁻¹	M _n Nm	l	F _h ¹⁾ N	SEW t _h	HAZ LOC			m kg			
7.3	7230	163.31	71100	1.80		R	147	DRN	160MS	480	329
8.1	6510	146.91	71800	2.0		RF	147	DRN	160MS	490	330
9.9	5310	119.86	72700	2.5		RM	147	DRN	160MS	660	330
11	4840	109.31	73000	2.7		R	147	DRN	160MS	480	329
13	4190	94.60*	73400	3.1		RF	147	DRN	160MS	490	330
14	3690	83.47	73700	3.5		RM	147	DRN	160MS	660	330
6.8	7720	174.40*	54000	1.05							
7.6	6920	156.31	55500	1.15		R	137	DRN	160MS	355	327
8.4	6250	141.12*	56600	1.30		RF	137	DRN	160MS	375	328
9.2	5680	126.18	57500	1.40		RM	137	DRN	160MS	485	328
10	5040	113.72	58400	1.60							
11	4570	103.20*	58900	1.75		R	137	DRN	160MS	355	327
						RF	137	DRN	160MS	375	328
						RM	137	DRN	160MS	485	328
7.9	6610	222.60*	56100	1.20	X						
9.4	5590	188.45	57600	1.45	X	R	137	(E)DRN	132S4	295	327
10	5180	174.40*	58200	1.55	X	RF	137	(E)DRN	132S4	320	328
11	4640	156.31	58800	1.70	X	RM	137	(E)DRN	132S4	430	328
13	4190	141.12*	59300	1.90	X						
14	3800	128.18	59700	2.1	X						
16	3370	113.72	60100	2.4	X						
17	3060	103.20*	60300	2.6	X						
20	2630	88.70*	60600	3.0	X	R	137	(E)DRN	132S4	295	327
22	2400	80.91*	60700	3.3	X	RF	137	(E)DRN	132S4	320	328
24	2180	73.49	60800	3.7	X	RM	137	(E)DRN	132S4	430	328
27	1930	65.20	61000	4.1	X						
30	1750	59.17*	61000	4.5	X						
35	1510	50.86*	61100	5.3	X						
14	3790	127.68	32000	1.15	X						
15	3430	115.63	33400	1.25	X						
17	3040	102.53	34000	1.40	X						
19	2750	92.70	33200	1.55	X						
22	2330	78.57	31800	1.85	X	R	107	(E)DRN	132S4	210	325
24	2160	72.88	31200	2.0	X	RF	107	(E)DRN	132S4	215	326
27	1940	65.60*	30400	2.2	X	RM	107	(E)DRN	132S4	305	326
30	1760	59.41	29600	2.4	X						
34	1560	52.68	28700	2.8	X						
37	1410	47.63	27900	3.0	X						
44	1190	40.37*	26600	3.6	X						
21	2470	83.15	22700	1.20	X						
24	2140	72.17	24100	1.40	X						
27	1930	65.21	23600	1.55	X						
30	1780	59.92	23100	1.70	X						
33	1580	53.21	22500	1.90	X	R	97	(E)DRN	132S4	155	323
37	1410	47.58	21900	2.1	X	RF	97	(E)DRN	132S4	170	324
41	1270	42.78	21300	2.4	X	RM	97	(E)DRN	132S4	220	324
48	1100	37.13	20600	2.7	X						
53	980	33.25	20000	2.9	X						
64	810	27.58	19000	3.3	X						
55	960	32.05	19800	2.7	X						
65	800	27.19	18900	3.2	X						
71	740	25.03	18500	3.8	X	R	97	(E)DRN	132S4	150	323
79	660	22.37	17900	4.1	X	RF	97	(E)DRN	132S4	165	324
88	595	20.14	17400	4.4	X	RM	97	(E)DRN	132S4	220	324
97	540	18.24	16900	4.6	X						
109	480	16.17	16300	5.0	X						
37	1410	47.58	17300	1.10	X						
42	1240	41.74	16800	1.25	X	R	87	(E)DRN	132S4	110	320
48	1090	36.84*	16400	1.40	X	RF	87	(E)DRN	132S4	120	321
54	970	32.66*	15900	1.60	X	RM	87	(E)DRN	132S4	150	321
63	820	27.88	15300	1.80	X						

2.27.626.54/EN - 08/2016

Anexo J.
CADENA Y PIÑONES MANUAL INTERMEC

TABLA DE DIMENSIONES DE LAS CADENAS ANSI SENCILLAS

En pulgadas. El paso figura tanto en pulgadas como en milímetros. Para convertir a milímetros cualquier otra dimensión, multiplíquese por 25.4



DIMENSIONES									
CADENA NUMERO	PASO "P" mm	LARGO RODILLO "W"	DIAMETRO RODILLO "D"	DIAMETRO PASADOR "C"	GRUESO CHAPETA "E"	ANCHO CHAPETA "H"	M.	LIMITE DE ROTURA Lbs.	PESO Lbs. POR PIE 30.5 cms.
25	1/4" * 6.35 mm	0.125	0.130	0.0905	0.030	0.234	0.188	0.875	0.09
35	3/8" * 9.52 mm	0.187	0.200	0.141	0.050	0.350	0.267	2.100	0.21
40	1/2" * 12.7 mm	0.312	0.312	0.156	0.060	0.466	0.380	3.700	0.42
50	5/8" * 15.87 mm	0.375	0.400	0.200	0.080	0.584	0.460	6.100	0.69
60	3/4" * 19.05 mm	0.500	0.468	0.234	0.094	0.700	0.586	8.500	1.00
80	1" * 25.4 mm	0.625	0.625	0.312	0.125	0.934	0.741	14.500	1.71
100	1 1/4" * 31.75 mm	0.750	0.750	0.375	0.150	1.160	0.923	24.000	2.58
120	1 1/2" * 38.10 mm	1.000	0.875	0.437	0.187	1.400	1.150	34.000	3.87
140	1 3/4" * 44.45 mm	1.000	1.000	0.500	0.219	1.634	1.215	46.000	4.95
160	2" * 50.80 mm	1.250	1.125	0.562	0.250	1.866	1.451	58.000	6.61
200	2 1/2" * 63.50 mm	1.500	1.562	0.781	0.312	2.250	1.777	95.000	10.96
240	3" * 76.20 mm	1.875	1.875	0.937	0.375	2.800	2.187	130.000	16.50

* Sin rodillos

NOTA: Para convertir libras (peso) a kilos, se divide por 2.2. Las transmisiones no se deben calcular con fundamento en el límite de rotura de las cadenas, sino teniendo en cuenta la capacidad de carga de trabajo o la capacidad de transmisión de potencia expresada en HP. Véase tablas de transmisión de potencia.

**PIÑONES
1-1/4"
(100)**

**TABLA DE DIMENSIONES
DE LOS PIÑONES INTERMEC PASO 1-1/4" (31.75 mm)
para Cadena ANSI No. 100 Tipo B Sencillos, Dobles y Triples**

Ref.	D	SENCILLOS			Ref.	DOBLES			Ref.	TRIPLES		
		Dm	L	d		Dm	L	d		Dm	L	d
100B9 R	106,3	72	48	25,40	100-2B9	60	73	25,40	100-3B9	61	108	25,40
100B10 R	116,3	82	48	25,40	100-2B10	70	73	25,40	100-3B10	70	108	25,40
100B11 R	127,0	90	48	25,40	100-2B11	79	73	25,40	100-3B11	70	108	25,40
100B12 R	137,4	102	48	25,40	100-2B12	86	73	25,40	100-3B12	86	108	25,40
100B13	147,8	98	44	25,40	100-2B13	97	73	25,40	100-3B13	97	108	25,40
100B14	158,1	106	44	31,75	100-2B14	106	73	25,40	100-3B14	100	108	25,40
100B15	168,4	114	44	31,75	100-2B15	117	79	31,75	100-3B15	117	114	31,75
100B16	178,6	114	44	33,34	100-2B16	127	79	31,75	100-3B16	127	114	31,75
100B17	188,7	118	51	33,34	100-2B17	133	79	31,75	100-3B17	133	114	31,75
100B18	199,1	114	51	33,34	100-2B18	133	79	31,75	100-3B18	133	120	31,75
100B19	209,3	114	51	33,34	100-2B19	140	86	31,75	100-3B19	140	120	31,75
100B20	219,5	114	51	33,34	100-2B20	140	86	31,75	100-3B20	140	120	31,75
100B21	229,7	114	51	33,34	100-2B21	140	86	31,75	100-3B21	140	120	31,75
100B22	239,8	114	51	33,34	100-2B22	140	86	31,75	100-3B22	140	120	31,75
100B23	249,9	114	51	31,75	100-2B23	140	86	31,75	100-3B23	140	120	31,75
100B24	260,1	114	51	31,75	100-2B24	146	86	31,75	100-3B24	140	120	31,75
100B25	270,3	114	51	31,75	100-2B25	146	86	31,75	100-3B25	146	120	31,75
100B26	280,4	127	51	31,75	100-2B26	146	86	40,00	100-3B26	146	120	40,00
100B27	290,6	127	51	31,75	100-2B27	146	86	40,00	100-3B27	146	120	40,00
100B28	300,7	127	51	31,75	100-2B28	146	86	40,00	100-3B28	146	120	40,00
100B29	310,9	127	51	31,75	100-2B29	146	86	40,00	100-3B29	146	120	40,00
100B30	321,1	127	51	31,75	100-2B30	146	86	40,00	100-3B30	146	120	40,00
100B31	331,3	127	51	31,75	100-2B31	146	86	40,00	100-3B31	146	120	40,00
100B32	341,4	127	51	31,75	100-2B32	146	86	40,00	100-3B32	146	120	40,00
100B33	351,6	127	51	31,75	100-2B33	146	86	40,00	100-3B33	146	120	40,00
100B34	361,7	127	51	31,75	100-2B34	146	86	40,00	100-3B34	146	120	40,00
100B35	371,9	127	63	31,75	100-2B35	152	108	40,00	100-3B35	146	127	40,00
100B36	382,0	127	63	31,75	100-2B36	152	108	40,00	100-3B36	146	127	40,00
100B37	392,1	127	63	31,75	100-2B37	152	108	40,00	100-3B37	146	127	40,00
100B38	402,1	127	63	31,75	100-2B38	152	108	40,00	100-3B38	146	127	40,00
100B39	412,3	127	63	38,10	100-2B39	152	108	40,00	100-3B39	146	127	40,00
100B40	422,4	127	63	31,75	100-2B40	152	108	40,00	100-3B40	146	127	40,00
100B41	432,6	127	63	31,75	100-2B41	152	108	40,00	100-3B41	146	127	40,00
100B42	442,7	127	63	31,75	100-2B42	152	108	40,00	100-3B42	146	127	40,00
100B43	452,8	127	63	31,75	100-2B43	152	108	40,00	100-3B43	146	127	40,00
100B44	462,9	127	63	31,75	100-2B44	152	108	40,00	100-3B44	146	127	40,00
100B45	473,2	127	63	40,00	100-2B45	152	114	40,00	100-3B45	146	127	40,00
100B46	483,2	127	63	40,00	100-2B46	158	114	40,00	100-3B46	146	127	40,00
100B47	493,3	127	63	40,00	100-2B47	158	114	40,00	100-3B47	146	127	40,00
100B48	503,4	152	63	40,00	100-2B48	158	114	40,00	100-3B48	146	127	40,00
100B49	513,6	152	63	40,00	100-2B49	158	114	40,00	100-3B49	152	127	40,00
100B50	523,7	152	63	40,00	100-2B50	158	114	40,00	100-3B50	152	127	40,00
100B51	533,8	152	63	40,00	100-2B51	158	114	40,00	100-3B51	152	127	40,00
100B52	543,9	152	63	40,00	100-2B52	158	114	40,00	100-3B52	152	127	40,00
100B53	554,0	152	63	40,00	100-2B53	158	114	40,00	100-3B53	152	127	40,00
100B54	564,1	152	82	40,00	100-2B54	158	114	40,00	100-3B54	165	127	40,00
100B55	574,3	152	82	40,00	100-2B55	158	114	40,00	100-3B55	165	127	40,00
100B56	584,4	152	82	40,00	100-2B56	158	114	40,00	100-3B56	165	127	40,00
100B57	594,5	152	82	40,00	100-2B57	158	114	40,00	100-3B57	165	127	40,00
100B58	604,6	152	82	40,00	100-2B58	158	114	40,00	100-3B58	165	127	40,00
100B59	614,8	152	82	40,00	100-2B59	158	114	40,00	100-3B59	165	127	40,00
100B60	624,9	152	82	40,00	100-2B60	168	127	40,00	100-3B60	165	127	40,00
100B61	635,0	152	95	40,00	100-2B61	188	127	40,00	100-3B61	165	127	40,00
100B62	645,1	152	95	40,00	100-2B62	188	127	40,00	100-3B62	165	127	40,00
100B63	655,2	152	95	40,00	100-2B63	188	127	40,00	100-3B63	165	127	40,00
100B64	665,3	152	95	40,00	100-2B64	188	127	40,00	100-3B64	165	127	40,00

(Esta tabla continúa en la siguiente página)

**TABLA DE DIMENSIONES
DE LOS PIÑONES INTERMEC PASO 1-1/4" (31.75 mm)
para Cadena ANSI No. 100 Tipo B Sencillos, Dobles y Triples**

**PIÑONES
1-1/4"
(100)**

Ref.	D	SENCILLOS			Ref.	DOBLES			Ref.	TRIPLES		
		Dm	L	d		Dm	L	d		Dm	L	d
100B64	665.3	152	95	40.00	100-2B64	188	127	40.00	100-3B64	165	127	40.00
100B65	675.5	152	95	40.00	100-2B65	188	127	40.00	100-3B65	165	127	40.00
100B66	685.5	152	95	40.00	100-2B66	188	127	40.00	100-3B66	165	127	40.00
100B67	695.7	152	95	40.00	100-2B67	188	127	40.00	100-3B67	165	127	40.00
100B68	705.7	152	95	40.00	100-2B68	188	127	40.00	100-3B68	165	127	40.00
100B69	715.9	152	95	40.00	100-2B69	188	127	40.00	100-3B69	165	133	40.00
100B70	726.0	152	95	40.00	100-2B70	188	127	40.00	100-3B70	178	133	40.00
100B71	736.1	178	95	40.00	100-2B71	188	127	40.00	100-3B71	191	133	40.00
100B72	746.2	178	95	40.00	100-2B72	188	127	40.00	100-3B72	191	133	40.00
100B73	756.3	178	95	40.00	100-2B73	188	127	40.00	100-3B73	191	133	40.00
100B74	766.5	178	95	40.00	100-2B74	188	127	40.00	100-3B74	191	133	40.00
100B75	776.6	178	95	40.00	100-2B75	188	127	40.00	100-3B75	191	133	40.00
100B76	786.7	178	95	40.00	100-2B76	188	127	40.00	100-3B76	191	133	40.00
100B77	796.8	178	95	40.00	100-2B77	188	127	40.00	100-3B77	191	133	40.00
100B78	806.9	178	95	40.00	100-2B78	188	127	40.00	100-3B78	191	133	40.00
100B79	817.0	178	95	40.00	100-2B79	188	127	40.00	100-3B79	191	133	40.00
100B80	827.1	178	95	40.00	100-2B80	188	127	40.00	100-3B80	191	133	40.00
100B81	837.2	178	95	40.00	100-2B81	188	127	40.00	100-3B81	191	133	40.00
100B82	847.3	178	95	40.00	100-2B82	188	127	40.00	100-3B82	191	133	40.00
100B83	857.5	178	95	40.00	100-2B83	188	127	40.00	100-3B83	191	133	40.00
100B84	867.5	178	95	40.00	100-2B84	188	127	40.00	100-3B84	191	133	40.00
100B85	877.7	178	95	40.00	100-2B85	188	127	40.00	100-3B85	191	133	40.00
100B86	887.8	178	95	40.00	100-2B86	188	127	40.00	100-3B86	191	133	40.00
100B87	897.9	178	95	40.00	100-2B87	188	127	40.00	100-3B87	191	133	40.00
100B88	908.0	178	95	40.00	100-2B88	188	127	40.00	100-3B88	191	133	40.00
100B89	918.1	178	95	40.00	100-2B89	188	127	40.00	100-3B89	191	133	40.00
100B90	928.2	178	95	40.00	100-2B90	188	127	40.00	100-3B90	191	133	40.00
100B91	938.3	178	95	40.00	100-2B91	200	127	40.00	100-3B91	197	140	40.00
100B92	948.4	178	95	40.00	100-2B92	200	127	40.00	100-3B92	197	140	40.00
100B93	958.5	178	95	40.00	100-2B93	200	127	40.00	100-3B93	197	140	40.00
100B94	968.6	178	95	40.00	100-2B94	200	127	40.00	100-3B94	197	140	40.00
100B95	978.7	178	95	40.00	100-2B95	200	127	40.00	100-3B95	197	140	40.00
100B96	988.8	188	102	40.00	100-2B96	200	127	40.00	100-3B96	197	140	40.00
100B97	999.0	188	102	40.00	100-2B97	200	127	40.00	100-3B97	197	140	40.00
100B98	1000.0	188	102	40.00	100-2B98	200	127	40.00	100-3B98	197	140	40.00
100B99	1000.0	188	102	40.00	100-2B99	200	127	40.00	100-3B99	197	140	40.00
100B100	1000.0	188	102	40.00	100-2B100	200	140	40.00	100-3B100	203	152	40.00

NOTA: Para las referencias recaltadas se debe tener en cuenta que por su tamaño son aligerados, como se puede apreciar en el último plano a la derecha, teniendo en cuenta que pueden ser dobles o triples.

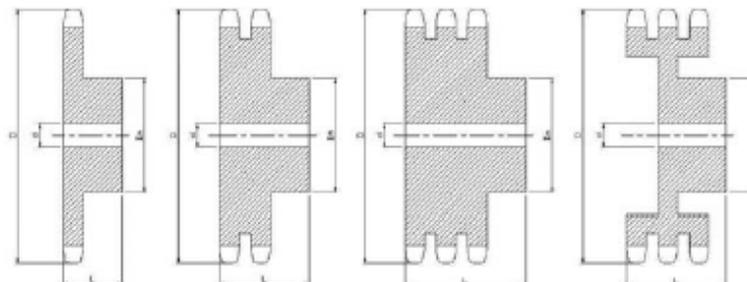


TABLA DE CAPACIDAD
CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 100 PASO 1-1/4"

No. de dientes en el conductor	PARA EL MÍNIMO CONDUCTOR																									
	10	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2700
9	0,65	1,49	2,78	5,19	7,47	9,68	13,9	16,1	22,1	26,0	29,6	24,2	20,9	17,4	15,0	13,2	11,7	10,5	8,57	7,19	6,19	5,32	4,67	4,14	0	0
10	0,73	1,67	3,11	5,81	8,37	10,8	15,6	20,2	24,7	29,2	33,5	28,4	23,8	20,3	17,6	15,5	13,7	12,3	10,0	8,42	7,19	6,23	5,47	4,85	0	0
11	0,81	1,85	3,45	6,44	9,28	12,0	17,3	22,4	27,4	32,3	37,1	32,9	27,5	23,4	20,3	17,8	15,8	14,2	11,6	9,71	8,29	7,19	6,31	5,31	1,29	0
12	0,89	2,03	3,79	7,08	10,2	13,2	19,0	24,6	30,1	35,5	40,8	37,3	31,3	26,7	23,2	20,3	18,0	16,1	13,2	11,1	9,45	8,19	7,19	0	0	0
13	0,97	2,22	4,13	7,72	11,1	14,4	20,7	26,9	32,8	38,7	44,5	42,1	35,4	30,1	26,1	22,9	20,3	18,2	14,9	12,5	10,6	9,23	8,10	0	0	0
14	1,05	2,40	4,48	8,36	12,0	15,6	22,5	29,1	35,6	41,9	48,2	47,0	39,4	33,7	29,2	25,6	22,7	20,3	16,6	13,9	11,9	10,3	9,05	0	0	0
15	1,13	2,59	4,83	9,01	13,0	16,8	24,2	31,4	38,3	45,2	51,9	52,2	43,7	37,3	32,4	28,4	25,5	22,5	18,4	15,5	13,2	11,4	10,0	0	0	0
16	1,22	2,77	5,17	9,86	13,9	18,0	26,0	33,6	41,1	48,4	55,6	57,5	48,2	41,1	35,7	31,3	27,7	24,8	20,3	17,0	14,5	12,6	12,8	0	0	0
17	1,30	2,96	5,52	10,3	14,8	19,2	27,7	35,9	43,9	51,7	59,4	63,0	52,8	45,0	39,0	34,3	30,4	27,2	22,3	18,7	15,9	13,8	0,79	0	0	0
18	1,38	3,15	5,88	11,0	15,8	20,5	29,5	38,2	46,7	55,0	63,2	68,6	57,5	48,1	42,5	37,3	33,1	29,6	24,2	20,3	17,4	15,0	0	0	0	0
19	1,46	3,34	6,23	11,6	16,7	21,7	31,2	40,3	49,5	58,3	67,0	74,4	62,3	53,2	46,1	40,9	36,9	32,1	26,3	22,0	18,8	16,3	0	0	0	0
20	1,55	3,53	6,58	12,3	17,7	22,9	33,0	42,9	52,3	61,6	70,8	79,8	67,3	57,5	49,8	43,7	38,9	34,7	28,4	23,8	20,3	17,6	0	0	0	0
21	1,63	3,72	6,94	13,0	18,7	24,2	34,8	45,1	55,1	65,0	74,6	84,2	72,4	61,8	53,6	47,0	41,7	37,3	30,6	25,6	21,9	19,0	0	0	0	0
22	1,71	3,91	7,30	13,6	19,6	25,4	36,6	47,4	58,0	68,3	78,5	88,5	77,7	66,3	57,5	50,4	44,7	40,0	32,8	27,5	23,4	20,3	0	0	0	0
23	1,80	4,10	7,68	14,3	20,6	26,7	38,4	49,8	60,6	71,7	82,3	92,8	83,0	70,9	61,4	53,9	47,8	42,8	35,0	29,4	25,1	22,1	0	0	0	0
24	1,88	4,30	8,02	15,0	21,5	27,9	40,2	52,1	63,7	75,0	86,2	97,2	86,5	75,6	65,5	57,5	51,0	45,6	37,3	31,3	26,7	0	0	0	0	0
25	1,97	4,49	8,38	15,6	22,5	29,2	42,0	54,4	66,5	78,4	90,1	102	94,1	80,3	69,6	61,1	54,2	48,5	39,7	33,3	28,4	0	0	0	0	0
26	2,05	4,68	8,74	16,3	23,5	30,4	43,8	56,8	69,4	81,8	94,0	106	98,6	82,2	73,8	64,6	57,5	51,4	42,1	36,3	30,1	0	0	0	0	0
28	2,22	5,07	9,47	17,7	25,5	33,0	47,5	61,5	75,2	88,6	102	115	112	95,2	82,5	72,4	64,2	57,5	47,0	39,4	33,7	0	0	0	0	0
30	2,40	5,47	10,2	19,0	27,4	35,5	51,2	66,3	81,0	95,5	110	124	124	106	91,5	80,3	71,2	63,7	52,2	43,7	36,3	0	0	0	0	0
32	2,57	5,86	10,9	20,4	29,4	38,1	54,9	71,1	86,9	102	118	133	136	116	101	88,5	78,5	70,2	57,5	48,2	0	0	0	0	0	0
35	2,83	6,46	12,0	22,5	32,4	42,0	60,4	78,3	95,7	113	130	146	156	133	115	101	89,6	80,3	65,8	55,1	0	0	0	0	0	0
40	3,27	7,46	13,9	26,0	37,4	48,5	69,8	90,4	111	130	150	169	186	163	141	124	110	98,1	80,3	0	0	0	0	0	0	0
45	3,71	8,47	15,8	29,5	42,5	55,0	78,3	103	126	148	170	192	213	194	168	148	131	117	45,3	0	0	0	0	0	0	0

Lubricación Tipo A

Lubricación Tipo B

Lubricación Tipo C

Factor

No. de Hileras

No. de Hileras

Factor

No. de Hileras

Factor

No. de Hileras

La información contenida en estas tablas esta basada en los estándares de la ASOCIACIÓN AMERICANA DE FABRICANTES DE CADENAS (American Chain Association)

*Para velocidades comprendidas dentro de la zona entre rayas puntuadas, considérense el uso de las cadenas silenciosas o Morse Hy. Vc.

Anexo K.
ACERO ESTRUCTURAL A 572 GR 50



LAMINA DE ALTA RESISTENCIA ASTM A572 GR 50

Características:

Las placas de acero de alta resistencia / baja aleación poseen mayor resistencia que las placas tradicionales de acero al carbón, además de contar con gran ductibilidad, facilidad de rolado y soldado, dureza y resistencia a la fatiga. Estas placas de acero pueden reducir sustancialmente los costos de producción al dotar la resistencia requerida con un peso mucho menor.

La lamina A572 GR 50 es una Especificación Normalizada para Acero Estructural de Alta Resistencia de Baja Aleación de Columbio-Vanadio. Este acero es utilizado en aplicaciones, tales como construcción electrosoldada de estructuras en general o puentes, donde la tenacidad en las entalladuras es importante, los requisitos asociados con esta propiedad debido a la variedad de grados que contempla este tipo de acero deben ser especificados entre el comprador y el productor.

Disponibles con un nivel mínimo de resistencia de 50000 psi. Las características de esta placa son su alta resistencia, buen manejo y facilidad de soldado a precios moderados. La resistencia a la corrosión atmosférica es la misma de las placas de acero al carbón.

Composición Química:

Con la adición de Microaleantes (Niobio o Vanadio) se desarrollaron estos aceros de alta resistencia, haciéndolos más seguros en su comportamiento mecánico y lográndose una reducción en el consumo específico desde el punto de vista estructural.

El tipo de acero que abarca esta especificación normalizada se considera cinco grados de acero estructural de alta resistencia y de baja aleación en perfiles, placas, tablestacado, y barras. Los Grados 42 [290], 50 [345], y 55 [380] están previstos para estructuras remachadas, atornilladas o electrosoldadas. Los Grados 60 [415] y 65 [450] están previstos para construcción remachada o atornillada de puentes, o para construcción remachada, atornillada o electrosoldada en otras. Sus características físicas y químicas se pueden apreciar en la tabla siguiente:

Grado	%C máx.	%Mn máx.	%P máx.	%S máx.	%Si máx.
42	0,21	1,35	0,04	0,05	0,4
50	0,23	1,35	0,04	0,05	0,4
60	0,26	1,35	0,04	0,05	0,4
65	0,26	1,35	0,04	0,05	0,4

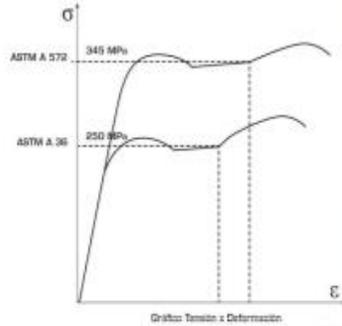
	Elemento	Contenido
TIPO 1	Columbio (Niobio)	0,005 - 0,05
TIPO 2	Vanadio	0,01 - 0,15
TIPO 3	Niobio (0,05% máx.) más Vanadio	0,02 - 0,15

NOTAS: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.



LAMINA DE ALTA RESISTENCIA ASTM A572 GR 50

Propiedades mecánicas:



Grado	Límite de Fluencia (mín.)		Resistencia a la Tracción (mín.)		Elongación Min. % En 200mm (8in)
	MPa	PSI	MPa	PSI	
42	290	42000	415	60000	20
50	345	50000	450	65000	18
60	415	60000	520	75000	16
65	450	65000	550	80000	15

Espesor (In)	% Elongación mín. 200mm (8 in)			
	Grado 42	Grado 50	Grado 60	Grado 65
1/2 - 3/8	20,0	18,0	16,0	15,0
5/16	19,5	17,5	15,5	14,5
1/4	17,5	15,5	13,5	12,5
3/16	15,0	13,0	11,0	10,0
1/8	12,5	10,5	8,5	7,5

Aplicaciones:

Principalmente estructuras soldadas, soportes, chasis, plataformas para la industria petrolera, plataformas marinas, construcción de puentes cumpliendo con los requerimientos exigentes a la entalla. No es recomendada en la construcción de calderas o tanques de alta presión. La selección de espesores debe ser calculada y seleccionados por el autor del diseño. Especial para la fabricación de vigas no comerciales o especialmente diseñadas, Apto para el uso a bajas temperaturas 20°C.

Soldadura:

Electrodo manual revestido E7018, MIG/MAG ER 70 S6

Certificaciones:

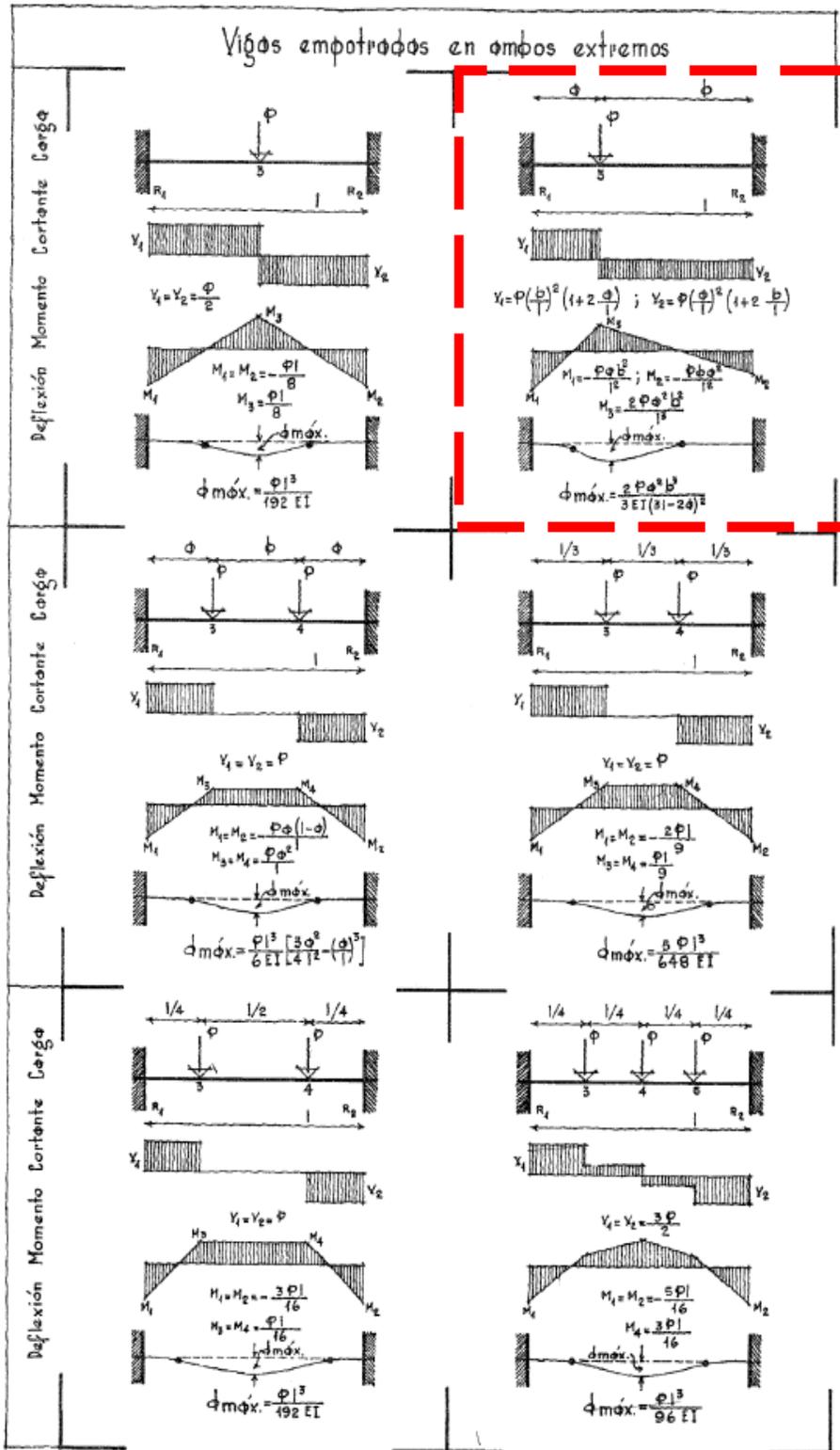


Normas Equivalentes:

UNE	AFNOR	DIN	ASTM
F1120	E36	ST 52-3	A572 Gr50

NOTAS: Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

Anexo L.
TABLAS VIGAS POR SUPERPOSICIÓN



Anexo M.

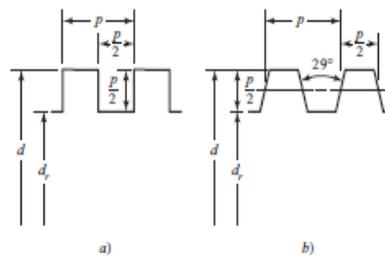
NORMAS Y DEFINICIONES DE LOS TORNILLOS

Tabla 8-2

Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF*

Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

* Esta tabla se compiló de la norma ANSI B1.1-1974. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.299\ 038p$ y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649\ 519p$. Para calcular el área de esfuerzo de tensión se usaron la media del diámetro de paso y el diámetro menor.

**Figura 8-3**

a) Rosca cuadrada; b) rosca Acme.

8-6 Resistencia del perno

En las normas para pernos, la resistencia se especifica mediante cantidades ASTM mínimas, la *resistencia mínima de prueba* o la *carga mínima de prueba* y la *resistencia mínima de tensión*. La *carga de prueba* es la carga máxima (fuerza) que un perno puede soportar sin sufrir una deformación permanente. La *resistencia de prueba* está dada por el cociente de la carga de prueba y el área de esfuerzo a tensión. Por ello, la resistencia de prueba corresponde aproximadamente al límite proporcional y a una deformación permanente de 0.0001 pulg en el sujetador (primera desviación que se puede medir a partir del comportamiento elástico). En las tablas 8-9, 8-10 y 8-11 se proporcionan especificaciones de resistencia *mínima* para los pernos de acero. El valor de la resistencia de prueba media, de la resistencia a tensión media y de las desviaciones estándares correspondientes no forman parte de los códigos de especificación, por lo que la determinación de estos valores es responsabilidad del diseñador, tal vez mediante ensayos de laboratorio, antes de diseñar una especificación confiable.

Las especificaciones SAE se encuentran en la tabla 8-9. Los grados de los pernos se numeran de acuerdo con las resistencias a la tensión, utilizando decimales para señalar variaciones al mismo nivel de resistencia. Los pernos y tornillos se encuentran disponibles en

Tabla 8-9

Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
		33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ a 1 $1\frac{1}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
		74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ a 1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ a 1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

* Las resistencias mínimas son resistencias que exceden 99 por ciento de los sujetadores.

Anexo N.
HILTI PROFIS ANCHOR 2.8.1

www.hilti.com/colombia

Empresa:
 Proyectista:
 Dirección:
 Teléfono | Fax: |
 E-mail:

Página: 1
 Proyecto: jose tesis
 Sub Proyecto | Pos. No.:
 Fecha: 4/05/2019

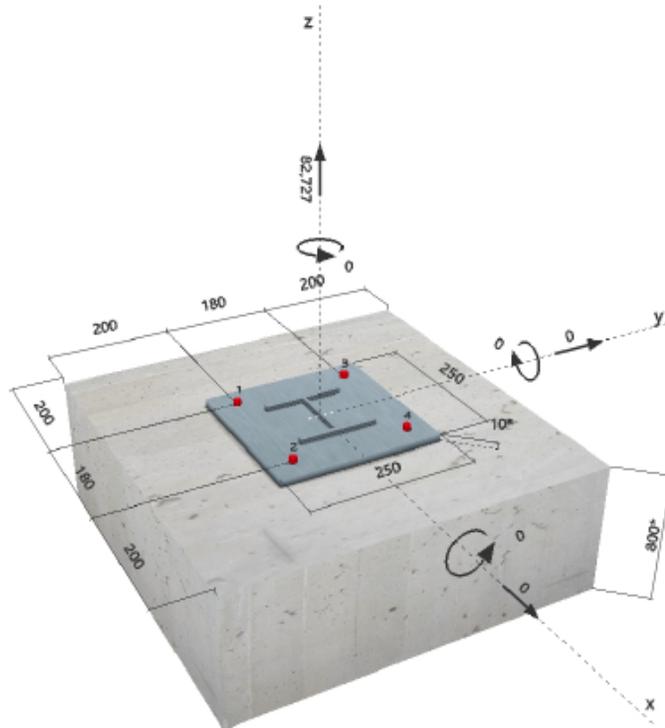
Comentarios del proyectista :

1 Insertar datos

Tipo y tamaño de anclaje:	HDA-PR M12x125/50	
Profundidad de empotramiento efectivo:	$h_{ef,act} = 125 \text{ mm}$, $h_{tot} = 125 \text{ mm}$	
Material:	1.4401, 1.4404, 1.4571	
Aprobación No.:	ESR-1546	
Establecidos Válidos:	01/03/2018 01/03/2020	
Prueba:	Método de diseño ACI 318-14 / Mech.	
Fijación a distancia:	$e_s = 0 \text{ mm}$ (enrasado); $t = 10 \text{ mm}$	
Placa base:	$l_x \times l_y \times t = 250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$; (Espesor de placa recomendado: no calculado)	
Perfil:	IPBi/HEA; (L x W x T x FT) = 114 mm x 120 mm x 5 mm x 8 mm	
Material base:	no fisurado concreto, 3000, $f'_c = 3.000 \text{ psi}$; $h = 800 \text{ mm}$	
Instalación:	Barreno hecho con rotomartillo, Condición de instalación: seco	
Refuerzo:	Traacción: Condición B, corte: Condición B; no Se presenta refuerzo adicional para fisuración (splitting) Refuerzo de borde: ninguno o < 4 barras	

^R - El usuario es responsable de garantizar la rigidez de la placa base, utilizando las soluciones pertinentes (contrafuertes, etc.), en función del espesor especificado

Geometría [mm] & Carga [kN, kNm]



¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
 PROFIS Anchor (c) 2003-2009, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan

Empresa:
 Proyectista:
 Dirección:
 Teléfono / Fax: |
 E-mail:

Página: 5
 Proyecto: jose tesis
 Sub Proyecto / Pos. No.:
 Fecha: 4/05/2019

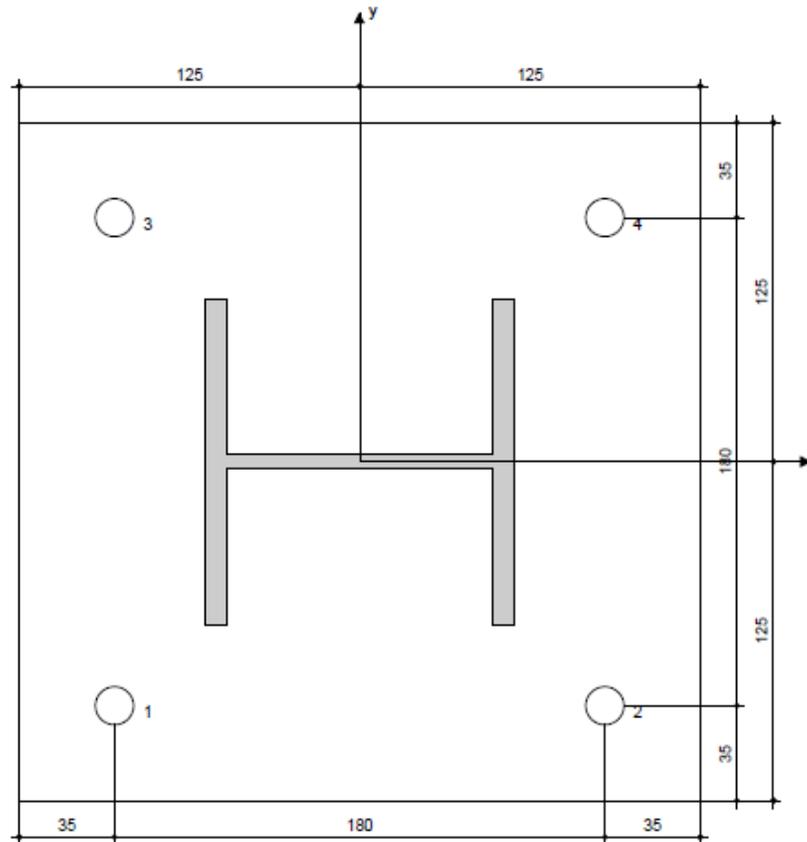
6 Datos de instalación

Placa base, acero: -
 Perfil: IPB/HEA; 114 x 120 x 5 x 8 mm
 Diámetro del barreno en la fijación: $d_f = 14$ mm
 Espesor de placa (introducir): 10 mm
 Espesor de placa recomendado: no calculado
 Método de perforación: Barreno con rotomartillo
 Limpieza: Se requiere limpieza manual del barreno

Tipo y tamaño de anclaje: HDA-PR M12x125/50
 Par de apriete de instalación: 0,080 kNm
 Diámetro del barreno en el material base: 22 mm
 Profundidad del barreno (min./máx.): 133 mm
 Mínimo espesor del material base: 201 mm

6.1 Accesorios recomendados

Taladro	Limpieza	Instalación
<ul style="list-style-type: none"> RotoperCUSión Tamaño apropiado del tope de broca para una profundidad de taladro dada 	<ul style="list-style-type: none"> Bombín de limpieza 	<ul style="list-style-type: none"> Herramientas de instalación del HDA-ST Llave dinamoMétrica



Coordenadas del anclaje mm

Anclaje	x	y	C _x	C _{ix}	C _y	C _{iy}
1	-90	-90	200	380	200	380
2	90	-90	380	200	200	380
3	-90	90	200	380	380	200
4	90	90	380	200	380	200

¡La introducción de datos y resultados deben verificarse, asegurando su correspondencia con las condiciones existentes y asegurando su verosimilitud!
 PROFIS Anchor (c) 2003-2009, Hilti AG, FL-9494 Schaan. Hilti es una marca registrada de Hilti AG, Schaan

Anexo O.
MATRIZ IMPACTO AMBIENTAL

MATERIA IMPACTO AMBIENTAL SECADOR ROTATIVO		IDENTIFICACION		IMPACTO AMBIENTAL		RECURSO AL DE IMPACTO AMBIENTAL		EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL		MEDIDAS DE CONTROL					
PROCESO	ACTIVIDAD	REGULARIDAD	ASPECTO AMBIENTAL ASOCIADO	IMPACTO AMBIENTAL	RECURSO AL DE IMPACTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	RECURSO AL DE IMPACTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	RECURSO AL DE IMPACTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	RECURSO AL DE IMPACTO AMBIENTAL				
FABRICACION	SOLDADURA	POCO FRECUENTE	Generación de residuos no aprovechables	Agotamiento de los recursos naturales	Aire, Suelo, Flora y fauna	Negativo	5	5	5	5	10	31200	Mediados	Tratar una buena ventilación en el área de trabajo, utilizar la ropa adecuada, esta debe ser resistente al calor, ajustar bien los parámetros de la soldadura, evitar el puesto de trabajo, en caso de tener una alta concentración de gases tóxicos utilizar sistemas de extracción localizados en el sitio de trabajo.	
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
	CORTE	POCO FRECUENTE	Generación de emisiones atmosféricas por fuentes de combustión externa	Contaminación al recurso aire	Mingano	Suelo	Negativo	1	1	1	1	1	1	1	Utilizar ropa y elementos de protección adecuados para el proceso de corte, realizar una limpieza en la zona de trabajo luego de realizado el procedimiento.
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
	ROLADO	POCO FRECUENTE	Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire	Mingano	Aire y suelo	Negativo	1	1	1	1	1	1	1	Utilizar los elementos de protección necesarios para llenar a cabo el proceso.
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
	PINTURA	POCO FRECUENTE	Generación de emisiones atmosféricas	Contaminación al recurso aire	Mingano	Aire y suelo	Negativo	5	5	5	10	6250	1	1	El sitio de trabajo donde se lleva a cabo el procedimiento debe estar delimitado y contar con una ventilación adecuada, utilizar los elementos de protección adecuados para el procedimiento.
			Consumo de energía eléctrica	Alteración del ambiente de trabajo											
	PULIDO	POCO FRECUENTE	Generación de residuos no aprovechables	Contaminación al recurso aire	Mingano	Aire y suelo	Negativo	1	1	1	1	1	1	1	Delimitar y señalizar el área de trabajo y utilizar los elementos de protección adecuados.
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
ENSAMBLAJE	POCO FRECUENTE	Consumo de energía eléctrica	Mingano	Suelo	Negativo	1	1	1	1	1	1	1	1	Utilizar la ropa y accesorios adecuados para poder realizar el proceso de ensamblaje de forma segura, delimitando y señalizando el área de trabajo.	
		Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire												
MONTAJE	ENSAYOS	POCO FRECUENTE	Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire	Mingano	Aire, Suelo, Flora y fauna	Negativo	5	5	5	10	31200	Mediados	Controlar la emisión de gases producidos por el secador rotativo, realizar inspecciones de los componentes del secador con el fin de verificar si están funcionando correctamente, ajustar de manera correcta los parámetros establecidos para el funcionamiento de la máquina, realizar planes de mantenimiento para la misma, utilizar los elementos de protección y por último y no menos importante, contar con una ventilación adecuada para el proceso.	
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
OPERACION	ALIMENTACION MATERIA PRIMA	FRECUENTE	Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de los recursos naturales	Mingano	Aire	Negativo	1	5	5	1	1250	1	Delimitar y señalizar el área de trabajo y utilizar los elementos de protección adecuados.	
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
OPERACION	PROCESO DE SECADO	FRECUENTE	Generación de emisiones atmosféricas por fuentes de combustión externa	Contaminación al recurso aire	Mingano	Aire, Suelo, Flora y fauna	1	5	5	5	10	62500	Mediados	Controlar la emisión de gases producidos por el secador rotativo, realizar inspecciones de los componentes del secador con el fin de verificar si están funcionando correctamente, ajustar de manera correcta los parámetros establecidos para el funcionamiento de la máquina, realizar planes de mantenimiento para el funcionamiento de la máquina, utilizar los elementos de protección y por último y no menos importante, contar con una ventilación adecuada para el proceso.	
			Consumo de energía eléctrica	Alteración al recurso aire											
OPERACION	DESCARGA DE MATERIAL	FRECUENTE	Consumo de energía eléctrica	Agotamiento de los recursos naturales	Mingano	Aire	Negativo	1	5	5	1	1250	1	Delimitar y señalizar el área de trabajo y utilizar los elementos de protección adecuados.	
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
OPERACION	LUBRICACION	FRECUENTE	Generación de residuos peligrosos	Mingano	Mingano	Negativo	1	5	5	1	5	5	5	Utilizar los elementos de protección necesarios para llenar a cabo el proceso.	
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
OPERACION	INSPECCION ELECTRICA	FRECUENTE	Ninguno	Mingano	Mingano	Positivo	1	1	1	1	1	10	10	Utilizar los elementos de protección necesarios para llenar a cabo el proceso.	
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
OPERACION	INSPECCION MECANICA	FRECUENTE	Ninguno	Mingano	Mingano	Positivo	1	1	1	1	1	10	10	Utilizar los elementos de protección necesarios para llenar a cabo el proceso.	
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
OPERACION	LIMPIEZA	FRECUENTE	Verificación de domésticos con descarga al alcantarillado o al suelo.	Mingano	Mingano	Positivo	1	5	5	1	5	5	5	Delimitar y señalizar el área de trabajo y utilizar los elementos de protección adecuados.	
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											
OPERACION	CAMBIO DE COMPONENTES	POCO FRECUENTE	Ninguno	Mingano	Mingano	Positivo	1	5	5	1	5	5	5	Delimitar y señalizar el área de trabajo y utilizar los elementos de protección adecuados.	
			Consumo de energía eléctrica	Contaminación al recurso aire											

Normal: Poco frecuente
 Asombr: Poco frecuente
 Espectac: De forma impredecible

Anexo P.
CONTROLADOR DE TEMPERATURA Y ELECTROVÁLVULA

Anexo Q.
COTIZACIONES DEL SECADOR ROTATIVO

La cotización de secador totatorio

I . Información del Proyecto:

- Material prima: arena
- Capacidad: 30 t/h
- Humedad de ingreso: 9%
- Humedad salida : 2%

II . Lista de precio

No	Nombre y modelo	Cantidad	Precio unidad (USD)	Precio total (USD)
1	Quemador de gas	--	1	24,200
2	Secador rotatorio	Ø3.6*8m	1	113,680
3	Induced draft fan	G4-73-11D	1	2,940
4	Pulse collector	XQM96	1	29,360
5	EXW Precio total		170,180	

LAS DESCRIPCIÓN DE SECADOR ROTATORIO

	<p>Modelo: Ø3.6*8 Espesor de placa: 16/16mm Capacidad de producción: 40-75 t/h Volumen del cilindro: 115 m³ Motor principal: 15*4kw Peso: 53.5t</p>
---	--



Anexo R.

PLANOS

Se encuentran en el Cd ROM;

- Plano secador rotativo
- Explosivo secador rotativo
- Estructura base secador
- Estructura quemador
- Soporte tapa de entrada
- Carcaza exterior salida
- Carcaza exterior entrada
- Carcaza interior salida
- Carcaza interior entrada
- Tapa de salida
- Tapa de entrada
- Placa soporte quemador
- Secador de arena (cámara de secado)
- Elevadores
- Eje transmisión de potencia
- Rodillo
- Plano de control
- Plano de mando