

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**Diseño de un secador utilizando aire seco de café pergamino para  
reducir el tiempo de secado en la asociación APASCLAC**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR**

**VICTOR JOSUE RODRIGUEZ VELASQUEZ**

**ASESOR**

**JONY VILLALOBOS CABRERA**

**<https://orcid.org/0000-0003-3643-5498>**

**Chiclayo, 2022**

**DISEÑO DE UN SECADOR UTILIZANDO AIRE SECO DE  
CAFÉ PERGAMINO PARA REDUCIR EL TIEMPO DE  
SECADO EN LA ASOCIACIÓN APASCLAC**

PRESENTADA POR  
**VICTOR JOSUE RODRIGUEZ VELASQUEZ**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

APROBADA POR

Alexander Querevalu Morante  
PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza  
SECRETARIO

Jony Villalobos Cabrera  
VOCAL

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a Dios, a mis padres que han sido el soporte fundamental para mi formación personal y profesional, a mi hermana, familia, amigos por su apoyo incondicional. a los ingenieros y profesores por sus consejos y motivación.

# TESIS VICTOR JOSUE RODRIGUEZ VELASQUEZ

## INFORME DE ORIGINALIDAD

**15%**

INDICE DE SIMILITUD

**14%**

FUENTES DE INTERNET

**5%**

PUBLICACIONES

**4%**

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

**1**

**hdl.handle.net**

Fuente de Internet

**2%**

**2**

**ferrosos.files.wordpress.com**

Fuente de Internet

**1%**

**3**

**es.slideshare.net**

Fuente de Internet

**1%**

**4**

**bibliotecadigital.usb.edu.co**

Fuente de Internet

**1%**

**5**

**eva.fing.edu.uy**

Fuente de Internet

**<1%**

**6**

**eprints.uanl.mx**

Fuente de Internet

**<1%**

**7**

**tesis.usat.edu.pe**

Fuente de Internet

**<1%**

**8**

**idoc.pub**

Fuente de Internet

**<1%**

**9**

**pt.scribd.com**

Fuente de Internet

**<1%**

**10**

**kupdf.net**

Fuente de Internet

**<1%**

11	Baltazares Valencia Enrique, Sierra Gallástegui Nicolás. "Diseño de dispositivo undimotriz para generación de energía eléctrica", TESIUNAM, 2019 Publicación	< 1%
12	<a href="https://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1%
13	<a href="https://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1%
14	<a href="https://archive.org">archive.org</a> Fuente de Internet	< 1%
15	<a href="https://repositorio.ute.edu.ec">repositorio.ute.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1%
16	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	< 1%
17	<a href="https://repositorio.puce.edu.ec">repositorio.puce.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1%
18	Carcaño Torres Gustavo, Gutiérrez González Víctor Hugo. "Algunos casos prácticos en la soldadura de aceros inoxidables dúplex", TESIUNAM, 2018 Publicación	< 1%
19	<a href="https://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	< 1%
20	<a href="https://repositorio.chapingo.edu.mx:8080">repositorio.chapingo.edu.mx:8080</a> Fuente de Internet	< 1%

21	Garduño Rodríguez Alberto Miguel. "Diseño e instalación de un secador de café industrial geotérmico en Mesillas, Nayarit", TESIUNAM, 2021 Publicación	<1%
22	revistas.unicauca.edu.co Fuente de Internet	<1%
23	Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote Trabajo del estudiante	<1%
24	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%
25	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
26	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1%
27	munisanignacio.gob.pe Fuente de Internet	<1%
28	archivo.gestion.pe Fuente de Internet	<1%
29	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1%
30	1library.co Fuente de Internet	<1%
31	repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080 Fuente de Internet	<1%

32	<a href="https://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1%
33	<a href="https://vdoc.pub">vdoc.pub</a> Fuente de Internet	< 1%
34	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	< 1%
35	<a href="https://docslide.us">docslide.us</a> Fuente de Internet	< 1%
36	<a href="https://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1%
37	<a href="https://irp-cdn.multiscreensite.com">irp-cdn.multiscreensite.com</a> Fuente de Internet	< 1%
38	<a href="https://www.revista-agroproductividad.org">www.revista-agroproductividad.org</a> Fuente de Internet	< 1%
39	<a href="https://mriuc.bc.uc.edu.ve">mriuc.bc.uc.edu.ve</a> Fuente de Internet	< 1%
40	<a href="https://repositorioacademico.upc.edu.pe">repositorioacademico.upc.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1%
41	<a href="https://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	< 1%
42	<a href="https://oa.upm.es">oa.upm.es</a> Fuente de Internet	< 1%
43	Chaires Montecinos Alejandro. "Diseño de tuberías para la construcción y ensamble de ósmosis inversa con acero inoxidable 316", TESIUNAM, 2018	< 1%

44	<a href="http://kerwa.ucr.ac.cr">kerwa.ucr.ac.cr</a> Fuente de Internet	< 1%
45	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1%
46	<a href="http://web.pdx.edu">web.pdx.edu</a> Fuente de Internet	< 1%
47	<a href="http://tomifuji.com">tomifuji.com</a> Fuente de Internet	< 1%
48	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	< 1%
49	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	< 1%
50	<a href="http://dspace.unach.edu.ec">dspace.unach.edu.ec</a> Fuente de Internet	< 1%
51	<a href="http://repositorio.unjbg.edu.pe">repositorio.unjbg.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1%
52	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	< 1%
53	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	< 1%
54	Submitted to Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba Trabajo del estudiante	< 1%
55	<a href="http://repository.uamerica.edu.co">repository.uamerica.edu.co</a> Fuente de Internet	< 1%

56

Submitted to tec

Trabajo del estudiante

< 1 %

57

vdocuments.mx

Fuente de Internet

< 1 %

58

Fernández Ramírez Paula. "Detección de aflatoxinas y ocratoxinas en granos de café mexicano", TESIUNAM, 2021

Publicación

< 1 %

59

Submitted to Universitat Politècnica de València

Trabajo del estudiante

< 1 %

60

Gómez Álvarez Jeremy Rafael, Trejo Serrano Isaías. "Algunos casos prácticos donde se usa el acero inoxidable duplex", TESIUNAM, 2015

Publicación

< 1 %

61

mi21.vsb.cz

Fuente de Internet

< 1 %

62

repositorio.umsa.bo

Fuente de Internet

< 1 %

63

Vazquez Perez Luis Alberto. "Diseño y construcción de un reductor de velocidad cicloidal magnético balanceado", TESIUNAM, 2013

Publicación

< 1 %

64

bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083

Fuente de Internet

< 1 %

pdfcoffee.com

Fuente de Internet

< 1 %

66

[www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com)

Fuente de Internet

< 1 %

67

[doku.pub](http://doku.pub)

Fuente de Internet

< 1 %

68

[edoc.pub](http://edoc.pub)

Fuente de Internet

< 1 %

69

[repository.unad.edu.co](http://repository.unad.edu.co)

Fuente de Internet

< 1 %

70

[www.mef.gob.pe](http://www.mef.gob.pe)

Fuente de Internet

< 1 %

71

Submitted to Universidad San Francisco de Quito

Trabajo del estudiante

< 1 %

72

[ciencia.lasalle.edu.co](http://ciencia.lasalle.edu.co)

Fuente de Internet

< 1 %

73

[repositorio.ucm.edu.co](http://repositorio.ucm.edu.co)

Fuente de Internet

< 1 %

74

[www.fing.edu.uy](http://www.fing.edu.uy)

Fuente de Internet

< 1 %

75

Submitted to Universidad de Santiago de Chile

Trabajo del estudiante

< 1 %

76

[repositorio.up.edu.pe](http://repositorio.up.edu.pe)

Fuente de Internet

< 1 %

77

Submitted to Universidad Tecnologica del Peru

Trabajo del estudiante

< 1%

78

[bibliotecadigital.udea.edu.co](http://bibliotecadigital.udea.edu.co)

Fuente de Internet

< 1%

79

[repositorij.uni-lj.si](http://repositorij.uni-lj.si)

Fuente de Internet

< 1%

80

[www.eupb.upc.es](http://www.eupb.upc.es)

Fuente de Internet

< 1%

81

[www.yoamoelcafedecolombia.com](http://www.yoamoelcafedecolombia.com)

Fuente de Internet

< 1%

82

[x3dom.org](http://x3dom.org)

Fuente de Internet

< 1%

83

[repositorio.ujcm.edu.pe](http://repositorio.ujcm.edu.pe)

Fuente de Internet

< 1%

84

[www.stainless-structurals.com](http://www.stainless-structurals.com)

Fuente de Internet

< 1%

85

Submitted to Tecsup

Trabajo del estudiante

< 1%

86

Submitted to Universidad Ricardo Palma

Trabajo del estudiante

< 1%

87

Submitted to Universidad Santo Tomas

Trabajo del estudiante

< 1%

88

Submitted to Universidad del Istmo de Panamá

Trabajo del estudiante

< 1%

89	<p>Valentina Aristizábal-Marulanda, Yéssica Chacón-Perez, Carlos A. Cardona Alzate. "The biorefinery concept for the industrial valorization of coffee processing by-products", Elsevier BV, 2017</p> <p>Publicación</p>	< 1 %
90	<p>Casimiro Zaleta Leonardo. "Principios de funcionamiento de un motor de alta eficiencia", TESIUNAM, 2012</p> <p>Publicación</p>	< 1 %
91	<p><a href="http://iminox.org.mx">iminox.org.mx</a></p> <p>Fuente de Internet</p>	< 1 %
92	<p><a href="http://pds-rings.seti.org">pds-rings.seti.org</a></p> <p>Fuente de Internet</p>	< 1 %
93	<p><a href="http://repositorio.esumer.edu.co">repositorio.esumer.edu.co</a></p> <p>Fuente de Internet</p>	< 1 %
94	<p><a href="http://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a></p> <p>Fuente de Internet</p>	< 1 %
95	<p>Submitted to upec</p> <p>Trabajo del estudiante</p>	< 1 %
96	<p>"Identification and characterization of the biosynthesis, perception and signaling pathway of Brassinosteroids during the development of Vitis Vinifera L.", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2020</p> <p>Publicación</p>	< 1 %
97	<p><a href="http://albertovillalobos1.wordpress.com">albertovillalobos1.wordpress.com</a></p> <p>Fuente de Internet</p>	< 1 %

98	<a href="http://ppt-online.org">ppt-online.org</a> Fuente de Internet	< 1%
99	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1%
100	<a href="http://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a> Fuente de Internet	< 1%
101	<a href="http://repositorio.uptc.edu.co">repositorio.uptc.edu.co</a> Fuente de Internet	< 1%
102	<a href="http://www.ahora.com.do">www.ahora.com.do</a> Fuente de Internet	< 1%
103	<a href="http://www.educaplay.com">www.educaplay.com</a> Fuente de Internet	< 1%
104	<a href="http://www.librosymanualesdeagronomia.com">www.librosymanualesdeagronomia.com</a> Fuente de Internet	< 1%
105	MARÍA JOSÉ PICAZO RODENAS. "Diagnóstico de máquinas eléctricas mediante técnicas de termografía infrarroja", Universitat Politecnica de Valencia, 2016 Publicación	< 1%
106	Santiago Alamilla Rogelio Ruben. "Proceso general de fabricacion de aceros inoxidables mediante convertidor A.O.D.", TESIUNAM, 1995 Publicación	< 1%
107	<a href="http://censos.inei.gob.pe">censos.inei.gob.pe</a> Fuente de Internet	< 1%
108	<a href="http://repositorio.unan.edu.ni">repositorio.unan.edu.ni</a>	

	Fuente de Internet	< 1%
109	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	< 1%
110	repository.unab.edu.co Fuente de Internet	< 1%
111	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	< 1%
112	www.boletinturistico.com Fuente de Internet	< 1%
113	www.cesmec.cl Fuente de Internet	< 1%
114	www.gob.mx Fuente de Internet	< 1%
115	www.iperu.org Fuente de Internet	< 1%
116	A Lois. "Assessment of martensite content in austenitic stainless steel specimens by eddy current testing", Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 01/2006 Publicación	< 1%
117	Casas Sánchez Ilse Aline. "Problemario de ingeniería química experimental enfocado a balance de materia y energía, flujo de fluidos y transferencia de calor", TESIUNAM, 2017 Publicación	< 1%

---

<b>118</b>	Diego Sebastián Lascano Aimacaña. "Fabricación y caracterización de materiales compuestos de alto rendimiento medioambiental derivados de resinas ecológicas y refuerzos de fibras naturales y estructuras híbridas", Universitat Politècnica de Valencia, 2022 Publicación	< <b>1</b> %
<b>119</b>	<a href="https://ar.wikipedia.org">ar.wikipedia.org</a> Fuente de Internet	< <b>1</b> %
<b>120</b>	<a href="https://eol.org">eol.org</a> Fuente de Internet	< <b>1</b> %
<b>121</b>	<a href="https://ingelibreblog.wordpress.com">ingelibreblog.wordpress.com</a> Fuente de Internet	< <b>1</b> %
<b>122</b>	<a href="https://manualsbit.com">manualsbit.com</a> Fuente de Internet	< <b>1</b> %
<b>123</b>	<a href="https://noesis.uis.edu.co">noesis.uis.edu.co</a> Fuente de Internet	< <b>1</b> %
<b>124</b>	<a href="https://repositorio.udes.edu.co">repositorio.udes.edu.co</a> Fuente de Internet	< <b>1</b> %
<b>125</b>	<a href="https://repositorio.unheval.edu.pe">repositorio.unheval.edu.pe</a> Fuente de Internet	< <b>1</b> %
<b>126</b>	<a href="https://text-id.123dok.com">text-id.123dok.com</a> Fuente de Internet	< <b>1</b> %
<b>127</b>	<a href="https://worldwidescience.org">worldwidescience.org</a> Fuente de Internet	< <b>1</b> %

---

128

[www.mipsa.com.mx](http://www.mipsa.com.mx)

Fuente de Internet

<1%

---

129

[www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Fuente de Internet

<1%

---

130

[www.wtfpuertorico.blogspot.com](http://www.wtfpuertorico.blogspot.com)

Fuente de Internet

<1%

---

131

"Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production", Wiley, 2004

Publicación

<1%

---

132

Posadas Rivera Marco Antonio, Martinez Jimenez Pablo. "Metodologia de escalamiento en evaporacion-concentracion de alimentos, aplicado en la elaboracion de mermelada de frambuesa", TESIUNAM, 1996

Publicación

<1%

---

---

# ÍNDICE

RESUMEN.....	28
ABSTRACT .....	29
I. INTRODUCCIÓN .....	30
1.1. Formulación del problema.....	31
1.2. Formulación de la hipótesis.....	31
1.3. Justificación.....	31
1.3.1. Económico.....	31
1.3.2. Social.....	31
1.3.3. Ambiental.....	31
1.3.4. Tecnológico.....	31
1.4. Objetivos.....	32
1.4.1. Objetivo General.....	32
1.4.2. Objetivos Específicos .....	32
II. MARCO TEÓRICO.....	32
2.1. Estado del Arte .....	32
2.1.1. Productos Similares .....	32
2.1.2. Problemática actual de los productos similares existentes. ....	33
2.2. BASES TEÓRICO CIENTIFICAS.....	34
2.2.1. La Coipa.....	34
2.2.2. Historia del café .....	34
2.2.3. El Café .....	35
2.2.4. Producción Mundial.....	36
2.2.5. Hectáreas de Café por departamento .....	36
2.2.6. Producción en el Perú .....	39
2.2.7. Evolución de la Producción del Café (1961 – 2013) .....	40
2.2.8. Exportaciones Peruanas de Café.....	41
2.2.9. Taxonomía del Cafeto.....	42
2.2.10. Morfología.....	43
2.2.11. Condiciones Ambientales Óptimas para el Café.....	48
2.2.12. Especies más Importantes del Café .....	49
2.2.13. Procesamiento del Café .....	53
2.2.14. Tipos de Secadores para Café .....	60
2.2.15. Acero Inoxidable .....	62

III. DISEÑO.....	77
3.1. Metodología.....	77
IV. RESULTADOS.....	78
4.1. Determinar las capacidades del secador. ....	78
4.2. Determinar el tipo de secador .....	79
4.3. Diseñar y seleccionar los mecanismos que conforman el secador .....	81
4.3.1. Flujos a la entrada y salida del secador .....	81
4.3.2. Flujo de calor y caudal. ....	83
4.3.3. Cálculo del Cilindro .....	89
4.3.4. Cálculo de la Estructura que Soporta el Cilindro .....	95
4.3.5. Selección del Motor.....	98
4.3.6. Cálculo del motorreductor.....	99
4.3.7. Cálculo del piñón y de la rueda .....	99
4.3.7. Calculo del quemador.....	107
4.3.8. Intercambiador de calor.....	138
4.3.9. Selección del deshumidificador.....	147
4.3.10. Selección del ventilador .....	134
4.4. Realizar evaluación económica del secador .....	148
V. RESULTADOS .....	154
VI. CONCLUSIONES.....	157
VII. RECOMENDACIONES .....	157
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	158
IX. ANEXOS.....	161

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CAFÉ .....	35
FIGURA 2: TAXONOMÍA DEL CAFÉ.....	42
FIGURA 3: RAÍZ DE CAFÉ .....	43
FIGURA 4: TALLO.....	44
FIGURA 5: RAMAS DEL CAFÉ.....	44
FIGURA 6: HOJA DEL CAFÉ.....	45
FIGURA 7: FLOR DEL CAFÉ .....	46
FIGURA 8: FRUTO DE CAFÉ.....	47
FIGURA 9: SEMILLA DE CAFÉ.....	47
FIGURA 10: CAFÉ ARÁBIGO .....	51
FIGURA 11: CAFÉ ROBUSTA.....	52
FIGURA 12: CAFÉ LIBERIANO .....	52
FIGURA 13: CANASTO PARA LA RECOLECCIÓN DE CAFÉ.....	54
FIGURA 14: COSECHA SELECTIVA DE CAFÉ.....	55
FIGURA 15: DESPULPADORA DE CAFÉ.....	56
FIGURA 16: MÉTODO DEL MADERO .....	57
FIGURA 17: TANQUE DE LAVADO DE CAFÉ.....	58
FIGURA 18: SECADO AL NATURAL Y SECADO MECÁNICO .....	59
FIGURA 19: TIPOS DE SECADORES MECÁNICOS .....	60
FIGURA 20: TIPOS DE SECADORES SOLARES DIRECTOS .....	61
FIGURA 21: ESQUEMA DE UN SECADOR SOLAR INDIRECTO .....	61
FIGURA 22: SECADO EN PATIOS .....	62
FIGURA 23: : EL ACERO INOXIDABLE FORMA UNA CAPA DE ÓXIDO DE CROMO .....	63
FIGURA 24: VENTAJAS DEL ACERO INOXIDABLE.....	64
FIGURA 25: CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES .....	66
FIGURA 26: APLICACIONES TÍPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS.....	68

FIGURA 27: APLICACIONES TÍPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS.....	70
FIGURA 28: APLICACIONES TÍPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS .....	72
FIGURA 29: APLICACIONES TÍPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES ENDURECIDOS POR PRECIPITACIÓN .....	74
FIGURA 30: APLICACIONES TÍPICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX.....	76
FIGURA 31: METODOLOGÍA.....	77
FIGURA 32: DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO DEL AIRE .....	84
FIGURA 33: FUERZA DISTRIBUIDA EN EL CILINDRO .....	92
FIGURA 34: DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE PARA EL CILINDRO.....	92
FIGURA 35: DIAGRAMA DEL MOMENTO FLECTOR PARA EL CILINDRO .....	93
FIGURA 36: DIAGRAMA DE LA BASE DEL CILINDRO .....	95
FIGURA 37: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL SEGMENTO EF .....	96
FIGURA 38: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL SEGMENTO ACE.....	96
FIGURA 39: FACTOR DE CORRECCIÓN .....	144
FIGURA 40: SECADOR ROTATORIO PARA CAFÉ.....	154
FIGURA 41: UBICACIÓN DE CAJAMARCA EN EL PERÚ .....	163
FIGURA 42: UBICACIÓN DE SAN IGNACIO EN CAJAMARCA .....	164
FIGURA 43: UBICACIÓN DE LA COIPA EN SAN IGNACIO .....	165
FIGURA 44: RELACIONES ENTRE GRADOS DE ACEROS DE LA FAMILIA DE INOXIDABLES AUSTENÍTICOS.....	166
FIGURA 45: DESARROLLO DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS .....	167
FIGURA 46: RELACIONES ENTRE GRADOS DE ACEROS DE LA FAMILIA DE INOXIDABLES FERRÍTICOS.....	169
FIGURA 47: DESARROLLO DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.....	170
FIGURA 48: FICHA TÉCNICA ACERO INOXIDABLE 304 .....	183
FIGURA 49: FICHA TÉCNICA DE MOTORREDUCTOR SEW .....	185
FIGURA 50: DESHUMIDIFICADOR DEHUTECH.....	193
FIGURA 51: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL VENTILADOR MODELO WFS 52.....	194

FIGURA 52: DIMENSIONES DEL VENTILADOR MODELO WFS 52 .....	195
FIGURA 53: FICHA TÉCNICA QUEMADOR DE BIOMASA 1 .....	196
FIGURA 54: FICHA TÉCNICA QUEMADOR DE BIOMASA 2.....	197

## LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1: DEPARTAMENTOS CON MAYOR PRODUCCIÓN DE CAFÉ.....	37
GRÁFICA 2: OTROS DEPARTAMENTOS PRODUCTORES DE CAFÉ.....	38
GRÁFICA 3: PRODUCCIÓN NACIONAL DE CAFÉ (1961 - 2015) AÑO.....	39
GRÁFICA 4: COMPARACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN LAS DIEZ PRINCIPALES REGIONES PRODUCTORAS.....	41
GRÁFICA 5: EXPORTACIONES PERUANAS DE CAFÉ.....	42
GRÁFICA 6: CONDICIONES AMBIENTALES NECESARIAS DEL CAFÉ .....	48
GRÁFICA 7: ESPECIES IMPORTANTES DEL CAFÉ.....	50
GRÁFICA 8: TRANSFORMACIÓN POR VÍA HÚMEDA.....	53
GRÁFICA 9: TRANSFORMACIÓN POR VÍA SECA.....	59
GRÁFICA 10: TIPO DE SECADORES PARA CAFÉ.....	60
GRÁFICA 11: PRODUCCIÓN ANUAL DE CAFÉ - ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO QUINTALES DE CAFÉ .....	79
GRÁFICA 12: LECHO FLUIDIZADO BURBUJEANTE.....	131
GRÁFICA 13: TIEMPO DE RECUPERACIÓN .....	153
GRÁFICA 14: TIEMPO DE RECUPERACIÓN .....	156
GRÁFICA 15: ENTALPÍA A 1000 DE 20 °C.....	179
GRÁFICA 16: ENTALPÍA A 1500 DE 20 °C.....	180
GRÁFICA 17: ENTALPÍA A 1000 DE 52 °C.....	181
GRÁFICA 18: ENTALPÍA A 1500 DE 52 °C.....	182
GRÁFICA 19: DIAGRAMA PARA DETERMINAR EL TIPO DE MATERIAL, LA FORMA DE APLICAR CARGA Y EL TIPO DE ESFUERZO.....	184
GRÁFICA 20: RESISTENCIA DE LA AGMA PARA FATIGA POR FLEXIÓN .....	188
GRÁFICA 21: FACTOR DE VIDA DE LA AGMA PARA RESISTENCIA SUPERFICIAL A LA FATIGA.....	188

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1: DEPARTAMENTOS CON MAYOR PRODUCCIÓN DE CAFÉ.....	37
TABLA 2: OTROS DEPARTAMENTOS PRODUCTORES DE CAFÉ.....	38
TABLA 3: PRODUCCIÓN NACIONAL DE CAFÉ (1961 - 2015).....	39
TABLA 4: COMPARACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN LAS DIEZ PRINCIPALES REGIONES PRODUCTORAS .....	40
TABLA 5: EXPORTACIONES PERUANAS DE CAFÉ.....	41
TABLA 6: CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES SEGÚN LA AISI.....	67
TABLA 7: PROPIEDADES MECÁNICAS MÍNIMAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS	71
TABLA 8: PRODUCCIÓN ANUAL DE CAFÉ - ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO QUINTALES DE CAFÉ... 78	78
TABLA 9: PORCENTAJE DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO.....	80
TABLA 10: PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS .....	80
TABLA 11: MATRIZ DE DECISIÓN.....	81
TABLA 12: DATOS PARA INTERPOLAR CP.....	86
TABLA 13: DATOS PARA INTERPOLAR PRESIÓN (P) .....	88
TABLA 14: COMPOSICIÓN DE LA CENIZA DE BIOMASA PARA CAFÉ.....	107
TABLA 15: COMPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA BIOMASA DEL CAFÉ.....	108
TABLA 16: COMPARACIÓN DE ABLANDAMIENTO (TA) Y TEMPERATURA ADIABÁTICA EN °C... 110	110
TABLA 17: CONSTANTES DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA.....	111
TABLA 18: CALOR ESPECÍFICO A 854,2949 °C DE LOS GASES .....	113
TABLA 19: NUEVOS RESULTADOS EXCESO DE AIRE, GASES/COMBUSTIBLE.....	114
TABLA 20: FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN.....	117
TABLA 21: CALOR ESPECÍFICO POR FRACCIÓN VOLUMÉTRICA DE CADA GAS .....	117
TABLA 22: PROPIEDADES DE LA ARENA DE RÍO .....	121
TABLA 23: DATOS PARA HALLAR DENSIDAD A 854,2949 .....	121
TABLA 24: DATOS PARA HALLAR LA VISCOSIDAD EN 854,2949 .....	121
TABLA 25: CARACTERÍSTICAS DE LOS GASES A TEMPERATURA DE 25 °C Y A 854,2949 °C .....	122
TABLA 26: DATOS DEL COEFICIENTE DE TEMPERATURA DEL LECHO.....	133
TABLA 27: DATOS DEL COEFICIENTE DE PARTÍCULA - DENSIDAD.....	133
TABLA 28: CUADRO DE CONSTANTES PARA REYNOLDS.....	135
TABLA 29: DATOS DE LOS VALORES DE PRANTL A DIFERENTES TEMPERATURAS .....	141
TABLA 30: DATOS DE LOS VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A DIFERENTES TEMPERATURAS.....	142

TABLA 31: COSTO DE MATERIALES .....	148
TABLA 32: COSTO DIRECTO DE MAQUINADO.....	148
TABLA 33: COSTO DIRECTO DE MONTAJE DE SECADOR PARA CAFÉ .....	148
TABLA 34: COSTOS INDIRECTOS.....	148
TABLA 35: INVERSIÓN TOTAL DEL SECADOR PARA CAFÉ.....	149
TABLA 36: ENERGÍA CONSUMIDA EN 12 HORAS DE TRABAJO.....	149
TABLA 37: GASTO POR CONSUMO DE ENERGÍA.....	149
TABLA 38: GASTO POR CONSUMO DE ENERGÍA ANUAL .....	150
TABLA 39: FLUJO DE CAJA.....	151
TABLA 40: VAN Y TIR.....	151
TABLA 41: FLUJO DE CAJA CON ACUMULADOS .....	152
TABLA 42: FLUJOS DE CAJA Y FLUJOS ACUMULADOS .....	152
TABLA 43: CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR .....	155
TABLA 44: CARACTERÍSTICAS DEL CILINDRO TOTATORIO.....	155
TABLA 45: CARACTERÍSTICAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	155
TABLA 46: CARACTERÍSTICAS DEL HORNO.....	155
TABLA 47: CARACTERÍSTICAS DEL QUEMADOR.....	156
TABLA 48: CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR .....	156
TABLA 49: FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL CAFÉ .....	161
TABLA 50: TABLA 50: PORCENTAJE DE HUMEDAD EN GRANOS DE CAFÉ.....	162
TABLA 51: DESARROLLO DE LOS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS .....	168
TABLA 52: PRODUCCIÓN DE CAFÉ AÑO 2014.....	171
TABLA 53: PRODUCCIÓN DE CAFÉ AÑO 2015 .....	172
TABLA 54: PRODUCCIÓN DE CAFÉ AÑO 2016.....	173
TABLA 55: PRODUCCIÓN DE CAFÉ AÑO 2017 .....	174
TABLA 56: PRODUCCIÓN DE CAFÉ AÑO 2018.....	175
TABLA 57: PROPIEDADES DEL AIRE A DISTINTAS ALTURAS .....	176
TABLA 58: TABLA DE AGUA SATURADA A DISTINTAS TEMPERATURAS.....	177
TABLA 59: CALORES ESPECÍFICOS DE GASES IDEALES COMUNES.....	178
TABLA 60: FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA.....	186
TABLA 61: FACTORES KA.....	186
TABLA 62: COEFICIENTE ELÁSTICO Cp.....	187
TABLA 63: RESISTENCIA DE LA AGMA PARA LA FATIGA SUPERFICIAL.....	189

TABLA 64: PROPIEDADES DE AIRE SECO .....	190
TABLA 65: PROPIEDADES DEL AIRE SECO (CONTINUACIÓN) .....	191
TABLA 66: COEFICIENTES CD, CT, CU Y CPD.....	192
TABLA 67: CATÁLOGO DE TUBOS PARA INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	198
TABLA 68: FACTORES DE SUCIEDAD .....	198

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL CAFÉ.....	161
ANEXO 2: PORCENTAJE DE HÚMEDAD EN GRANOS DE CAFÉ.....	162
ANEXO 3: UBICACIÓN DE CAJAMARCA EN EL PERU .....	163
ANEXO 4: UBICACIÓN DE SAN IGNACION EN CAJAMARCA .....	164
ANEXO 5: UBICACIÓN DE LA COIPA EN SAN IGNACIO.....	165
ANEXO 6: RELACIONES ENTRE GRADOS DE ACEROS DE LA FAMILIA DE INOXIDABLES AUSTENÍTICOS .....	166
ANEXO 7: DESARROLLO DE LOS ACEROS INOXIDABLES ASUTENÍTICOS .....	167
ANEXO 8: DESARROLLO DE LOS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS .....	168
ANEXO 9: RELACIONES ENTRE GRADOS DE ACERO DE LA FAMILIA DE INOXIDABLES FERRÍTICOS.....	169
ANEXO 10: DESARROLLO DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS.....	170
ANEXO 11: PRODUCCIÓN DEL AÑO 2014 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO.....	171
ANEXO 12: PRODUCCIÓN DEL AÑO 2015 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO.....	172
ANEXO 13: PRODUCCIÓN DEL AÑO 2016 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO.....	173
ANEXO 14: PRODUCCIÓN DEL AÑO 2017 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO.....	174
ANEXO 15: PRODUCCIÓN DEL AÑO 2018 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO.....	175
ANEXO 16: PROPIEDADES DEL AIRE A DISTINTAS ALTURA .....	176
ANEXO 17: TABLA DE AGUA SATURADA A DISTINTAS TEMPERATURAS .....	177
ANEXO 18: CALORES ESPECIFICOS DE GASES IDEALES COMUNES .....	178
ANEXO 19: ENTALPÍA A 1000 DE 20 °C .....	179
ANEXO 20: ENTALPÍA A 1500 DE 20 °C .....	180
ANEXO 21: ENTALPÍA A 1000 DE 52 °C .....	181
ANEXO 22: ENTALPÍA A 1500 DE 52 °C .....	182
ANEXO 23: FICHA TÉCNICA DE ACERO INOXIDABLE 304 .....	183
ANEXO 24: DIAGRAMA PARA DETERMINAR EL TIPO DE MATERIAL, LA FORMA DE APLICAR CARGA Y EL TIPO DE ESFUERZO .....	184

ANEXO 25: FICHA TÉCNICA DE MOTORES SIEMENS .....	185
ANEXO 26: FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA.....	186
ANEXO 27: FACTORES KA .....	186
ANEXO 28: COEFICIENTE ELÁSTICO CP.....	187
ANEXO 29: RESISTENCIA DE LA AGMA PARA FATIGA POR FLEXIÓN.....	188
ANEXO 30: FACTOR DE VIDA DE LA AGMA PARA RESISTENCIA SUPERFICIAL A LA FATIGA.....	188
ANEXO 31: RESISTENCIA DE LA AGMA PARA FATIGA SUPERFICIAL .....	189
ANEXO 32: PROPIEDADES DEL AIRE SECO .....	190
ANEXO 33: PROPIEDADES DEL AIRE SECO (CONTINUACIÓN) .....	191
ANEXO 34: COEFICIENTES CD, CT, CU Y CPD .....	192
ANEXO 35: DESHUMIDIFICADOR.....	193
ANEXO 36: CARÁCTERISTICAS TÉCNICAS DEL VENTILADOR MODELO WFS 52 .....	194
ANEXO 37: DIMENSIONES DEL VENTILADOR MODELO WFS 52.....	195
ANEXO 38: FICHA TÉCNICA QUEMADOR DE BIOMASA 1 .....	196
ANEXO 39: FICHA TÉCNICA QUEMADOR DE BIOMASA 2 .....	197
ANEXO 40: CATÁLOGO DE TUBOS PARA INTERCAMBIADOR DE CALOR .....	198
ANEXO 41: FACTORES DE SUCIEDAD.....	198
ANEXO 42: PLANOS DEL SECADOR PARA CAFÉ.....	199

## RESUMEN

Por las diferentes acciones del hombre al medio ambiente el planeta está sufriendo una serie de cambios climáticos, originando más lluvias o diferentes fenómenos naturales que no son muy frecuentes en ciertas épocas del año. Los agricultores alrededor del mundo no son ajenos a este problema, especialmente los productores de café, todos los años esto se ve reflejado en su producción debido a una baja en su calidad, incluso pueden perder una parte de ella debido a que el café se malogra por no tener un secado adecuado.

El Perú no es extraño a estos fenómenos climáticos, debido a las apariciones de lluvias prolongadas y sumado a esto un manejo inadecuado en el secado del café, obliga que los agricultores de café a almacenar su producción aún húmeda hasta que estas lluvias pasen.

La etapa de secado del café es un proceso muy sensible porque el grano siempre está predispuesto a absorber las propiedades como sabor y aroma de agentes externos. Es por esto que esta etapa es muy importante en todo el proceso de transformación del café porque influye directamente en la calidad, por ende, en el precio final de venta.

El presente proyecto tiene como objetivo utilizar aire seco en el diseño del secador y mediante el uso de un intercambiador de calor aumentará la temperatura del aire, lo que le permitirá al productor de café secar su producción de manera eficiente, disminuyendo el tiempo de secado del grano y sin quitarle sus cualidades.

**Palabras claves: Secador rotatorio, aire seco, café pergamino, tiempo de secado.**

## ABSTRACT

Climate change is a result of man-made. This change has seriously affected the environment. For example, rains occur with far great frequency. This change also may natural phenomena which are not frequent in certain times of the year appeared. All these factors affect coffee may lead to loss of coffee since affect its production and quality.

On the other hand, these climatic phenomena can also be seen in Peru. In that country prolonged rains and a poor quality of drying coffee have obliged to coffee producers store their production until rains end. In that sense, the drying coffee is, perhaps one of the most important stages regarding coffee processing since it is directly linked to the price and quality of coffee. Furthermore, in this stage the grain may absorb the properties as well as flavor and aroma of external agents.

Finally, this paper aims to allow coffee producers to dry their production efficiently by using dry air and a heat pump, in order to reduce air temperature, as well as the coffee drying time.

**Keywords: Rotary dryer, dry air, parchment coffee, drying time.**

## I. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los cultivos más importantes, con mayor producción y consumo en Perú. La producción de café registró 77,197 toneladas en junio del 2017, nivel superior en 13,6% al compararlo con lo registrado en similar mes del año anterior. [1]

Sin embargo, en la actualidad no solo los diferentes cambios climáticos que atraviesa el medioambiente afectan directamente al momento de secar el café, esto hace que los agricultores de café, arrimen su café cuando aún está húmedo originando así gran pérdida en la producción, sólo en el 2015 aproximadamente un 5% de la producción total, se perdió en esa campaña agrícola debido a la prolongación de las lluvias como consecuencia de las anomalías climáticas. [2]

Para que el café se conserve y también pueda tener un peso adecuado para que pueda continuar en su proceso de transformación necesita tener un porcentaje de humedad es “alrededor del 11%, de lo contrario su calidad se deteriora, por lo que el control de esta variable es fundamental durante la comercialización y almacenamiento de este producto” [3], es por eso que el secado es muy importante y fundamental porque afecta directamente al momento de comercializa este producto.

Generalmente el proceso de secado de los pequeños productores de café es de manera tradicional, es decir los agricultores esparcen el café en una pampa de cemento o en carpas que se encuentran en la tierra, esto ocasiona que el café esté expuso a agentes ambientales que lo pueden contaminar como insectos, bacterias, animales, originando que el café absorba todos el sabor y aroma provocando que baje su calidad.

### **1.1. Formulación del problema.**

¿Cómo reducir el tiempo de secado en la Asociación De Productores Agropecuarios Señor Cautivo – La Coipa (APASCLAC)?

### **1.2. Formulación de la hipótesis.**

Mediante el diseño de un secador para café pergamino y estableciendo correctamente los parámetros de la producción en la Asociación de Productores Agropecuarios Señor Cautivo – La Coipa (APASCLAC) se podrá mejorar reducir el tiempo de secado

### **1.3. Justificación.**

#### **1.3.1. Económico.**

Aumentará la producción de café sin perjudicar el grano, es decir, no perderá sus cualidades y de esta manera esto no afecta el precio de venta.

#### **1.3.2. Social.**

Los trabajadores dedicados a este proceso de secado pierden horas hombre en su removido para poder obtener un café uniformemente seco, por consiguiente, evitara estar mucho tiempo expuestos a los rayos solares, lo que les genera problemas en la espalda y en la piel

#### **1.3.3. Ambiental.**

Utilizará como combustible la cascarilla del café, lo que evitará la utilización de combustibles fósiles.

#### **1.3.4. Tecnológico.**

Fomentará a los agricultores el uso de nuevas tecnologías para el manejo del café que reduzcan el tiempo de secado.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo General

Diseñar un secador para café pergamino que utilice aire seco.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la capacidad del secador.
- Determinar el tipo de secador.
- Diseñar y seleccionar los mecanismos que conforman el secador.
- Realizar la evaluación económica del secador.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Estado del Arte

#### 2.1.1. Productos Similares

a.) **Título:** Diseño de un sistema de secado de café

**Autor (es):** Jiménez C. y Vidal C.

**Editorial:** Universidad Central Venezuela

**Año:** 2009

En esta tesis evalúa diferentes prototipos ya existentes, escoge un secador rotatorio, además calcula el calor necesario para el proceso de secado de una tonelada de café (1 000 Kg) de acuerdo a las diferentes condiciones ambientales como la temperatura y la humedad relativa.

**Correlación:** Ambas investigaciones utilizan el calor necesario para reducir la humedad del grano.

b.) **Título:** Diseño y prototipo de secador de café excelso automatizado con sistema SCADA.

**Autor (es):** Ingrid Johana González Sánchez

**Editorial:** Universidad Tecnológica De Pereira

**Año:** 2014

Su objetivo, diseñar un prototipo de un secador de café de 2,25 toneladas, que permita controlar la temperatura y la humedad relativa adicionalmente a eso le implementa a un sistema de control por Labview® y Arduino creando un sistema de supervisión del control y adquisición de datos (SCADA).

**Correlación:** Ambas investigaciones utilizan el calor necesario para reducir la humedad del grano.

- c.) **Título:** Diseño de un secador para el café mediante el calentamiento del aire en dos etapas utilizando energía solar.

**Autor (es):** Stanley Camacho Fonseca y Oscar Ramírez Hernández

**Editorial:** Universidad de Costa Rica

**Año:** 2015

Su objetivo, Diseñar un secador que aproveche energía alternativa sin perjudicar la calidad del producto, primero selecciona las variables de mayor impacto en el diseño, para luego realizar un balance de masa y energía, posteriormente diseñar los equipos y seleccionar los materiales y por ultimo prepara diagramas para la construcción del secador.

**Correlación:** Ambas investigaciones utilizan el calor necesario para reducir la humedad del grano.

### 2.1.2. Problemática actual de los productos similares existentes.

- A. Por variación de los factores ambientales la temperatura no alcanza una temperatura estable.
- B. La temperatura del secador no es constante.

## **2.2. BASES TEÓRICO CIENTIFICAS.**

### **2.2.1. La Coipa**

El distrito de La Coipa es también llamado tierra del café, orquídeas y hermosas cataratas, pertenece al departamento de Cajamarca, provincia de San Ignacio, junto con seis distritos más, los cuales son; SAN JOSÉ DE LOURDES, HUARANGO, TABACONAS, NAMBALLE, CHIRINOS, SAN IGNACIO. [4]

Posee gran diversidad de flora y fauna, su principal fuente de ingreso es la agricultura, siendo su cultivo principal el café. Tiene como capital del distrito el poblado La Coipa, este se encuentra a 1500 msnm aproximadamente, y cuenta con una temperatura promedio de 23 °C. [4]

### **2.2.2. Historia del café**

El café tiene sus orígenes en las mesetas de Etiopía central, donde crece de manera silvestre. Desde allí fue transportado hasta Arabia entre los siglos XII y XIV de esta era, a consecuencia de las invasiones albisinias. Ya en Arabia, el café se utilizaba como medicamento, posteriormente como un brebaje que ayudaba a la meditación y los ejercicios religiosos. [5]

Los establecimientos de café árabes pronto se convirtieron en centros de actividad política y fueron suprimidos, pero la solución a esto fue que tuvieron que pagar impuestos. [6]

Durante mucho tiempo los árabes prohibieron que el café se comercialice porque este era un negocio lucrativo, pero como el país era recorrido constantemente por peregrinos que iban y venían de la Meca, un monje hindú llamado Baba Budán aprovechó esta situación para robar la planta y llevársela a su país, donde hasta hoy sigue siendo un país con gran producción de café. [5]

Los comerciantes de Venecia llevaron el café a Europa en 1615 (fueron los primeros en hacerlo), al principio el café lo ofrecían los vendedores de limonada y se creía que

tenía cualidades medicinales. El primer establecimiento de café en Europa fue el famosísimo Café Florián de la Plaza de San Marcos (Venecia) y sigue aún hoy abierto al público. [6]

La primera referencia a que se tomaba café en Norteamérica data de 1668 y, pronto después de esa fecha, se abrieron establecimientos de café en Nueva York, Filadelfia, Boston y algunas otras ciudades, se cree que en 1720 cuando el café se empezó a cultivar por primera vez en América, pero fueron los holandeses los que empezaron a propagar el cañeto en América Central y del Sur. El café llegó primero a la colonia holandesa de Surinam en 1718, y después se plantaron cafetales en la Guyana francesa y el primero de muchos en Pará (Brasil). [6]

### 2.2.3. El Café

El café, cuyo origen se remonta a la antigua Etiopía, probablemente en la provincia de Kaffa, es una de las bebidas más populares en el mundo, por ejemplo, países como Estados Unidos, Italia, Alemania y los países escandinavos, se caracterizan por tener una gran “cultura cafetalera”. [7]

Además de eso el café contiene una gran riqueza química, conformada principalmente por la cafeína, ácidos orgánicos, esteroides, hidrocarburos de bajo peso molecular, carbohidratos, hidrocarburos, lípidos, trigonelina y minerales; cada uno de estos contribuyen al aroma y sabor característico. [8]

Figura 1: Composición química del café.



Fuente: Tecnología del café.

#### **2.2.4. Producción Mundial**

Considerado el segundo valor más importante después del petróleo, el café se ha constituido en la base económica de varios países productores al ser una de sus principales divisas. Millones de personas en todo el mundo encuentran en su cultivo, el procesamiento, comercio, transporte y comercialización una fuente de empleo. [7]

La producción de café en el mundo en el ciclo 2016/2017 aumentó aproximadamente un 2,4% respecto al ciclo anterior lo que trasladado en sacos de 60 kg es 156,6 millones. [9]

Sin embargo la producción mundial de café en el ciclo 2017/2018 fue alrededor de los 158,56 millones de sacos de 60 kg, aumentando así un 0,3 % frente al ciclo 2016/2017. [6].

Donde Brasil lidera como principal productor de café seguido por Vietnam, Colombia, Indonesia, Honduras, Etiopia, India y finalmente Uganda.

#### **2.2.5. Hectáreas de Café por departamento**

El café es fundamental para economía en el Perú, y el secreto está en el variado clima que nuestro país posee, pero principalmente crecen en la amazonia sobre todo en las partes altas, ahí es donde recibe todos los elementos necesarios para poder dar frutos [10].

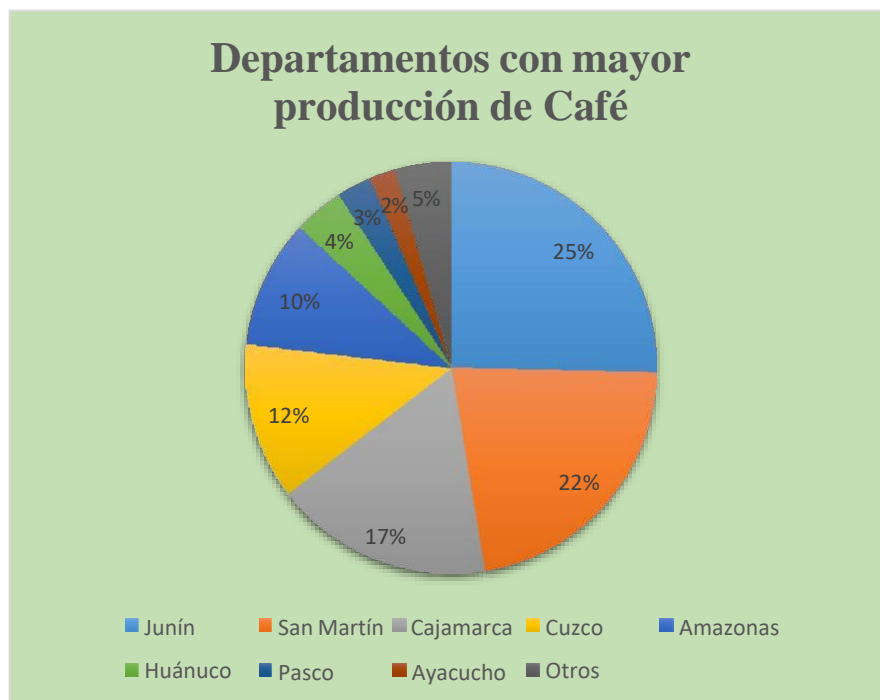
El INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) en el 2012 realizó el IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO), donde arrojó que alrededor de 200 mil familias cultivan aproximadamente 425 400 hectáreas aún que solo se cultiva en 17 de las 25 regiones del país, concentrándose con 95,7 % principalmente en:

Tabla 1: Departamentos Con Mayor Producción De Café

DEPARTAMENTO	HECTAREAS (Ha)	PORCTENTAJE (%)
Junín	107 904	25,4
San Martín	93 688	22
Cajamarca	73 098	17,2
Cuzco	52 223	12,3
Amazonas	42 744	10
Huánuco	16 819	4
Pasco	11 429	2,7
Ayacucho	8 782,0	2,1
Otros	18 728,0	4,3
<b>Total</b>	<b>425 415</b>	<b>100</b>

Fuente: *Café 2.0 Climáticamente Inteligente*

Gráfica 1: Departamentos Con Mayor Producción De Café



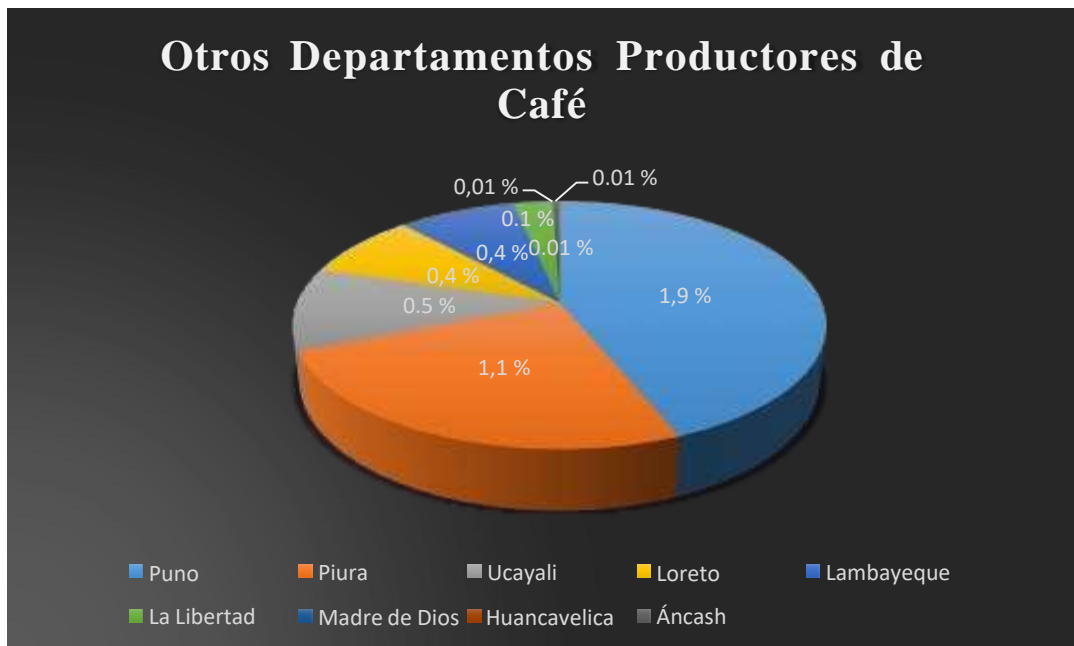
Fuente: *Café 2.0 Climáticamente Inteligente*

Tabla 2: Otros Departamentos Productores de Café

DEPARTAMENTO	HECTAREAS (Ha)	PORCTENTAJE (%)
Puno	8 213	1,9
Piura	4 678	1,1
Ucayali	2 026	0,5
Loreto	1 591	0,4
Lambayeque	1 588	0,4
La Libertad	535	0,1
Madre de Dios	37	0,01
Huancavelica	34,0	0,01
Áncash	26,0	0,01
<b>Total</b>	<b>18 728</b>	<b>4,43</b>

Fuente: *Café 2.0 Climáticamente Inteligente*

Gráfica 2: Otros Departamentos Productores de Café



Fuente: *Café 2.0 Climáticamente Inteligente*

A nivel nacional hay 425 415 de hectáreas destinadas a la siembra de café, de las cuales Cajamarca se encuentra en el tercer lugar con 73 098 Ha cultivadas (17%), convirtiéndose así en un departamento con gran importancia para la economía nacional.

### 2.2.6. Producción en el Perú

Las variedades de café más cultivadas son Caturra, Typica, Catimor, Bourbon y Pache, pero en nuestro país la especie Coffea Arábica es la más cultivada y se cotiza en la bolsa de Nueva York dentro de la Categoría “Otros Suaves” [7].

El café es uno de los cultivos más sembrados en país, eso lo hace tener un peso significativo en la economía nacional, a continuación, se muestra cómo ha ido aumentando la producción del café desde el año 1961 hasta 2015.

Tabla 3: Producción Nacional de Café (1961 - 2015)

Toneladas Métricas	Año
42 643	1961
105 478	1979
105 753	1989
112 305	1995
191 651	2000
212 771	2002
188 611	2005
279 199	2006
279 199	2010
327 927	2011
255 857	2013
222 047	2014
236 810	2015

Fuente: Fuente: *Café 2.0 Climáticamente Inteligente*

Gráfica 3: Producción Nacional de Café (1961 - 2015) Año



Fuente: *Café 2.0 Climáticamente Inteligente*

### 2.2.7. Evolución de la Producción del Café (1961 – 2013)

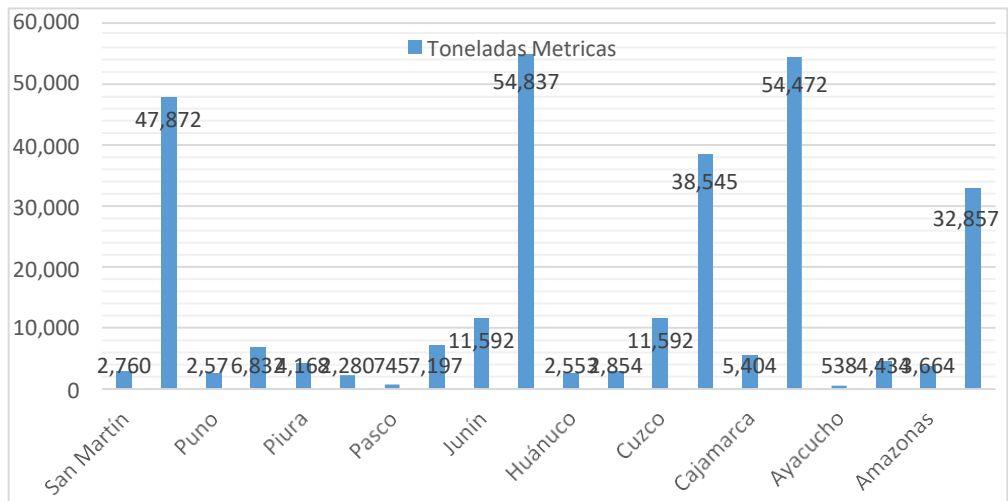
El INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) también elaboró como fue creciendo la evolución de la producción de café desde el año 1961 hasta el año 2013, en donde podemos apreciar que la región ha crecido a lo largo ese tiempo es Cajamarca incrementando de 5 404 hasta 54 472 toneladas métricas.

Tabla 4: Comparación de la Producción de Café en las diez Principales Regiones Productoras

Comparación de Producción de Café		
	<b>Año</b>	<b>Toneladas Metricas</b>
San Martín	1961	2 760
	2013	47 872
Puno	1961	2 576
	2013	6 832
Piura	1961	4 168
	2013	2 280
Pasco	1961	745
	2013	7 197
Junín	1961	11 592
	2013	54 837
Huánuco	1961	2 553
	2013	2 854
Cuzco	1961	11 592
	2013	38 545
Cajamarca	1961	5 404
	2013	54 472
Ayacucho	1961	538
	2013	4 434
Amazonas	1961	3 664
	2013	32 857

Fuente: Fuente: INEI

Gráfica 4: Comparación de la Producción de Café en las diez Principales Regiones Productoras



Fuente: Fuente: INEI

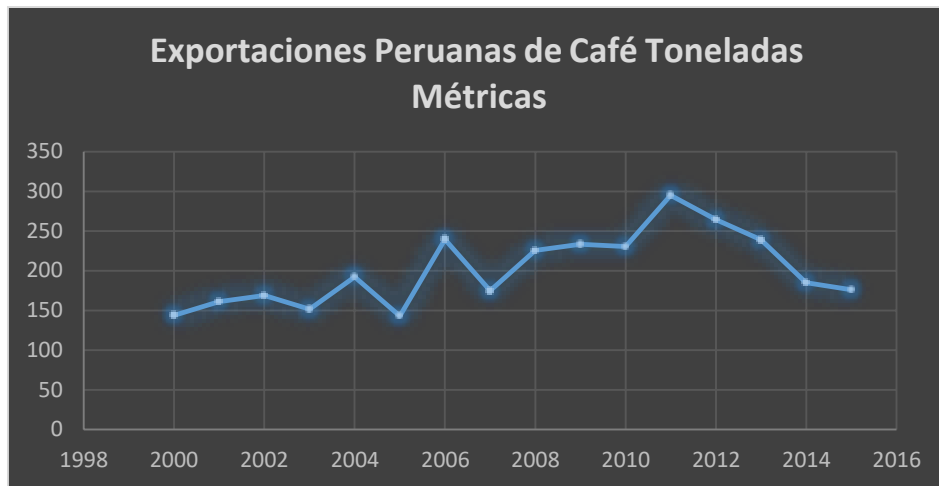
### 2.2.8. Exportaciones Peruanas de Café

Tabla 5: Exportaciones Peruanas de Café

Exportaciones Peruanas de Café	
Año	Toneladas Métricas
2000	143,8
2001	160,8
2002	168,5
2003	151,2
2004	192,2
2005	142,9
2006	239,3
2007	174,6
2008	225,5
2009	233,2
2010	230,3
2011	295
2012	264,2
2013	238,7
2014	184,9
2015	176

Fuente: Café 2.0 Climáticamente Inteligente

Gráfica 5: Exportaciones Peruanas de Café



Fuente: *Café 2.0 Climáticamente Inteligente*

### 2.2.9. Taxonomía del Cafeto

El cafeto pertenece al grupo de las Fanerógamas, clase Angiospermas, sub-clase Dicotiledóneas, orden Rubiales, familia Rubiáceas, género *Coffea* con numerosas especies, de las cuales la más común en América es *Coffea Arábica L.*, con las variedades Típica, Borbón, Caturra, Catuaí, Mundo Novo, Costa Rica 95 y Colombia. [11]

Figura 2: Taxonomía del Café



Fuente: <https://www.slideshare.net/vduqueg/cafe-13992690>

### 2.2.10. Morfología

El cafeto es un arbusto no muy alto, alcanza una altura aproximadamente de 8 a 10 m cuando crece libremente, pero si es podado llega a medir de 2 a 2,50 m. [5]

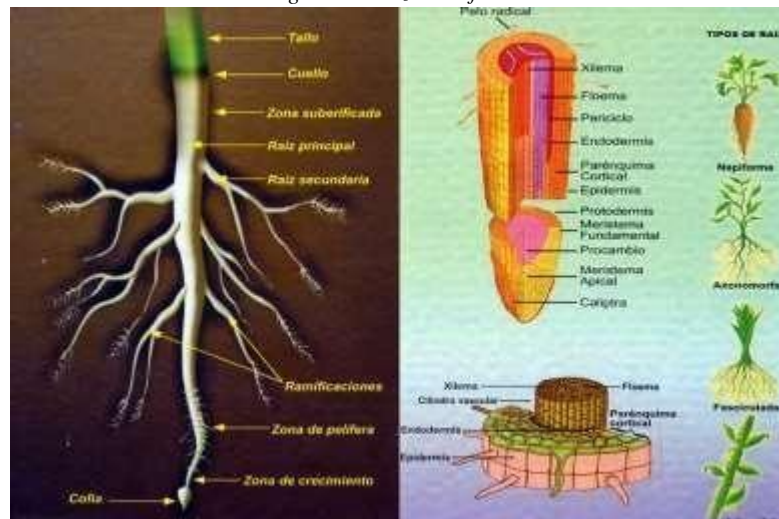
- **La Raíz**

Es un órgano muy importante, está conformada por una raíz principal que penetra verticalmente el suelo hasta 50 cm, de esta raíz brotan las otras raíces gruesas que crecen en forma horizontal que sirven como soporte las raíces delgadas (son superficiales) o también llamada redcillas, sus funciones principales son permitir que el arbusto permanezca anclado y en su lugar, y absorber el agua y los nutrientes necesarios que posteriormente alimentaran a las hojas y frutos. [5]

Las partes de la raíz son:

- Cuello
- Zona Suberificada
- Raíz Principal
- Raíz Secundaria
- Ramificaciones
- Zona de Pilífera
- Zona de Crecimiento
- Cofia

Figura 3: Raíz de Café



Fuente: <https://www.educa.com.bo/plantas/la-raiz>

- **Tallo**

De estructura leñosa, su longitud puede variar de acuerdo al clima o entorno que lo rodea, entre las variedades que son más comercializadas pueden llegar a medir de 2 m hasta los 5 m de altura. En una planta que ya alcanzó la etapa de la adultez, puede notarse una diferencia entre la parte superior (ápice) porque es cuadrangular y verde, cuenta con esquinas redondeadas y salidas; mientras que la parte inferior es cilíndrica. [12]

*Figura 4: Tallo*



Fuente: <http://es.coffeaversa.com/cafe-villa-sarchi/>

- **Ramas**

También llamadas ramas laterales, “bandolas” o primarias, su distribución es de manera alterna y también son opuestas, de esta manera da origen a las ramas secundarias y terciarias. Crecen desde un punto llamado apical, este origina nuevas hojas y entrenudos. [13]

La importancia en las ramas principales radica que son el asiento de la fructificación del cafeto y se forman con respecto al tallo a unos 45 o 60 grados. [14]

*Figura 5: Ramas del Café*



Fuente: [http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre\\_el\\_cafe/el\\_cafe/el\\_arbol\\_y\\_el\\_entorno/](http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/)

- **Hojas**

En ellas se realizan procesos como la fotosíntesis, transpiración y respiración, es por ello que se les considera un órgano muy importante para la planta [5] Surgen en las ramas de tipo plagiotrópicas, pero en posiciones opuestas, sin embargo, están en un mismo plano, son redondeadas por estípulas agudas. Tiene un tamaño aproximado de 12 cm a 24 cm de largo y de ancho puede llegar a medir de 5 cm a 12 cm, de esta manera puede variar de su forma elíptica a una forma lanceolada. [15]

Las partes de la hoja son:

- Margen
- Limbo
- Nervio Central
- Pecíolo
- Estípula
- Axila

Figura 6: Hoja del Café



Fuente: <https://www.tumundodelcafe.com/morfologia-del-cafe/>.

- **Flores**

Aparecen en los nudos de las ramas sobre un tallito muy corto llamado glómulo, son los órganos destinados a la reproducción, estas dan origen a los frutos, es decir no hay flores no hay cosecha; el café florece al tercer o cuarto año, cada flor dura unas horas y su proceso de formación puede durar de 4 a 5 meses, tiene cuatro etapas: iniciación floral y diferenciación, un corto periodo de latencia, crecimiento del botón floral y por último la apertura de las yemas; sus características principales son blancas y fragantes (olor a jazmín), se autofertilizan y tiene cinco estambres de color blanco que se alternan con los pétalos. [5]

Figura 7: Flor del Café



Fuente: <https://labandoladelcafe.wordpress.com/2017/07/18/la-flor-del-cafe/>.

- **Fruto**

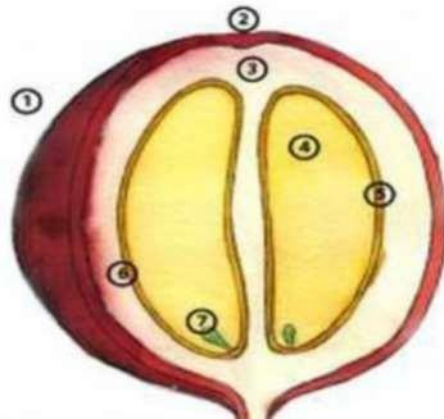
El ovulo que ha sido fecundado después de cuatro semanas de latencia, tiene un crecimiento muy rápido, de esta manera el fruto alcanza su tamaño final en 80 a 100 días. [15]

El fruto es una cereza, tiene una longitud aproximada de 10 mm a 17 mm [14]. Según el libro “*Establecimiento de plantaciones de café Coffea arabica L. con genotipos tolerantes a la roya anaranjada (Hemileia vastatrix Berk y Broome) en el estado de Oaxaca*” está conformado por:

1. Epicarpio o epidermis
2. Cisco u Omblico
3. Mesocarpio o pulpa
4. Endospermo o semilla
5. Endocarpio o pergamino
6. Embrión

Cuando el fruto se encuentra a altitudes inferiores de los 700 msnm puede desarrollar una anomalía en su formación, esto hace que reduzca su estructura en forma de disco y se detenga el desarrollo del endospermo, por lo tanto disminuye su calidad, a este anomalía se le llama fruto vano. [14]

Figura 8: Fruto de Café



Fuente Cosecha y Pos cosecha en el cultivo de café: [16]

- **Semilla**

Tienen forma oblonga, planoconvexas y se encuentran recubiertas por una capa plateada o persperma (residuos del tegumento del óvulo), es por eso que se les denomina grano “planchuela”. Está conformado por el endospermo, este tiene una coloración verde oscura o amarillenta y tiene un tamaño aproximado de 10 mm a 15 mm de largo, y de anchos unos 5 mm a 10 mm. También está envuelta por un endocarpio fibroso, que también es llamado pergamino. Para que el grano pueda alcanzar una madurez fisiológica completa, es necesario que pasen 220 días. [14]

Figura 9: Semilla de Café

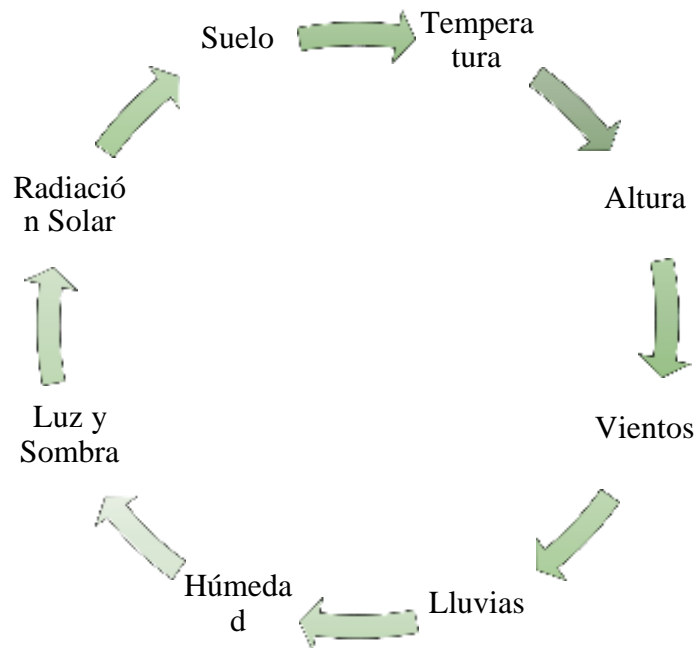


Fuente: <http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/cafe/6.stm>

### 2.2.11. Condiciones Ambientales Óptimas para el Café

El café necesita de unas determinadas condiciones necesarias para que pueda producir de manera correcta y eficiente.

Gráfica 6: Condiciones Ambientales Necesarias del Café



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, detallamos cada una de ellas:

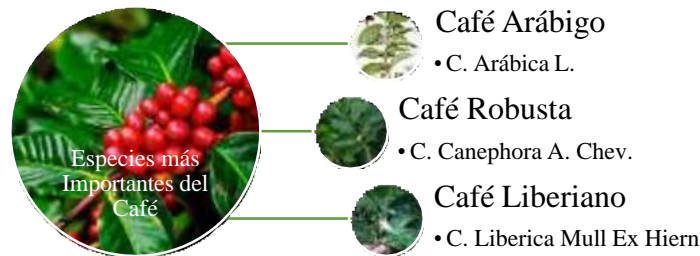
- **Temperatura.-** Debe estar entre los 17 °C y 26 °C, si la temperatura está por debajo de los valores, es necesario quemar los brotes y si está por encima es muy probable que la planta se deshidrate en consecuencia reduzca su fotosíntesis. [17]
- **Altura.-** Es a partir de los 900 m y hasta los 1600 m a nivel del mar es la altura óptima, en caso se cultivara a menos altura los costos de producción aumentarán porque el grano disminuirá su calidad y si supera la altura la planta disminuirá su crecimiento. [17]

- **Vientos.-** Tienen que ser menor a los  $30 \text{ km/h}$ , caso contrario originarán daño a la planta, como caída de sus hojas, rotura de flores y frutos y las yemas pueden deshidratarse. [17]
- **Lluvias.-** Debe estar dentro del rango de 1 000 a 3 000 metros cúbicos al año, porque si está debajo de este intervalo la planta no crece porque no recibe el agua necesaria para su desarrollo, pero por otro lado si supera el límite, la planta corre el riesgo de contraer enfermedades como los hongos. [17]
- **Humedad.-** Este condición va muy de la mano con la condición anterior, porque si la humedad relativa sobrepasa los 90%, la planta corre el riesgo de contraer las mismas enfermedades que por la lluvia; debido a esto se aconseja que la humedad esté entre los 65% y 90%. [17]
- **Luz y Sombra.** - Para que el café desarrolle correctamente es necesario que este expuesto de 1 600 a 2 000 de horas de sol por año, sin embargo, muchos árboles son utilizados para sombra, su misión principal es proteger al café que sea expuesto a los rayos solares directamente y del viento. Esto origina que un ambiente climático más estable, manteniendo así una temperatura constante durante el día y la noche. [12]
- **Radiación Solar.** - El café responde únicamente a la intensidad luminosa, es por eso que también es llamada planta de día corto. [18]
- **Suelo.** - Es mucho mejor que el café sea cultivado en suelos de color oscuro, con un pH entre 4,5 y 6,5; de esta manera las raíces se desarrollan de forma normal. [19]

### 2.2.12. Especies más Importantes del Café

Como mencionamos anteriormente el café pertenece a la familia de las rubiáceas, la cual contiene dentro de ella unos 500 géneros y más de 6 000 especies, pero sin embargo sólo cuatro especies son las más cultivadas a nivel mundial. [17]

Gráfica 7: Especies Importantes del Café



Fuente: Elaboración Propia

A pesar de que las especies antes mencionadas son las más cultivadas de forma local y que son también llamadas especies económicas. [17]

### 2.2.12.1. Café Arábigo

Fue descrita en 1753 por Lineo, es oriundo de las tierras altas Etíopes y es muy probable que también tenga origen en partes de África y Arabia en Asia. [20]

Esta es una de las especies más importantes de café que son cultivadas en el mundo, puede producir muy alta calidad en tasa. [21]

Este arbusto cuando es cultivado de forma libre puede alcanzar un tamaño los 8 m hasta 10 m; sin embargo, cuando es podado y manejado de manera adecuada lo dejan crecer 2 m a 2,5 m, de esta manera se facilita su mantenimiento y recolección de los frutos. Tiene hojas pequeñas de forma ovoide o elíptica, son agudas en la base y muchas veces pueden tener forma ondulada, son acumuladas y cortas, una de las características principales tienen un ancho de alrededor de 6 cm, puede alcanzar una altura promedio de 12 cm hasta los 15 cm. [17]

Esta especie tiene flores con buena fragancia, tiene un color blanco, son su sésiles, y por cada axila de las hojas, alcanza a tener de 2 a más juntas de racimos laterales bracteolados (ovalados), tiene una corola de cinco lóbulos que tienen forma ovoide, obtusos o puntiagudo. [20] Tiene frutos de forma ovalada y su periodo de maduración es aproximadamente de 7 a 9 meses y comúnmente cada fruto lleva dos semillas, que son los granos de café. [17]

Figura 10: Café Arábigo



Fuente: <https://afortunato.com/2017/05/20/cafe-arabica-robusta/>

#### 2.2.12.2. Café Robusta

Esta especie es oriunda de los bosques de la zona ecuatorial hasta la parte occidental de África, que van desde costa oeste de Uganda y llegan hasta la parte sur de Sudán. Necesita una temperatura de 24 °C hasta 30°C y una altura hasta los 1000 msnm. [20]

Es un arbusto que puede llegar a tener una altura de 10 m, sin embargo, tiene una raíz poco profunda. El fruto puede llegar a demorar hasta 11 meses para madurar por completo, tiene forma redonda. Sus hojas son corrugadas y largas, inclusive más que la especie Arábica. Una cualidad a resaltar es que esta especie tiene una resistencia sobresaliente a enfermedades, plagas y a malas condiciones del clima. [17]

Una característica de esta especie es que produce una tasa fuerte, sin embargo, con poco aroma. Tiene un contenido de cafeína de 2,2%, de esta manera supera a la especie Arábica; por el contrario, la especie Arábica lo supera en el precio del mercado, pero está asumiendo un importante ascenso durante los últimos años. Entre las variedades más populares de la especie robusta tenemos a Java, Kouilou, Niaolili y Congensis. [17]

*Figura 11: Café Robusta*



Fuente: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coffea\\_robusta\\_A.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coffea_robusta_A.jpg)

### **2.2.12.3. Café Liberiano**

Es oriundo de Monrovia (Liberia), fue descubierto en 1872, es un arbusto principalmente ornamental. Puede alcanzar una altura de 10 m a 15 m, posee una excelente resistencia al sol y también buena retención de los frutos. Tiene las hojas brillantes y grandes de aproximadamente 20 cm de largo y un ancho aproximado de 10 cm; tiene la vaina empotrada en la base, es elíptica, es corta y un poco ondulada; el peciolo tiene un tamaño que oscila desde los 10 cm hasta los 16 cm de largo. Posee flores blancas que se encuentra en grupos de 6 o 7 por axilas, y alcanzan más o menos una longitud de 3 a 5 cm. El fruto que al principio tiene un color rojo, pero conforme va madurando se torna de un color negro, es ovalado con 2,5 cm de largo; dentro del fruto se encuentra la semilla y tiene un tamaño de 1.27 cm; posee una resistencia a la roya, sin embargo sus frutos es de baja calidad. [20]

*Figura 12: Café Liberiano*



Fuente: <http://www.saintlucianplants.com/cultivated/cofflibe/cofflibe.html>

### 2.2.13. Procesamiento del Café

Para obtener un café de buena calidad es necesario que todos los factores asociados con la producción se cumplan, como, por ejemplo, clima, suelo, su manejo, etc. Un punto importante a saber es que el café una vez cosechado no se mejora con el beneficio, sólo se las puede conservar; pero por otra parte si no se tiene un correcto beneficio perderá las cualidades. [22]

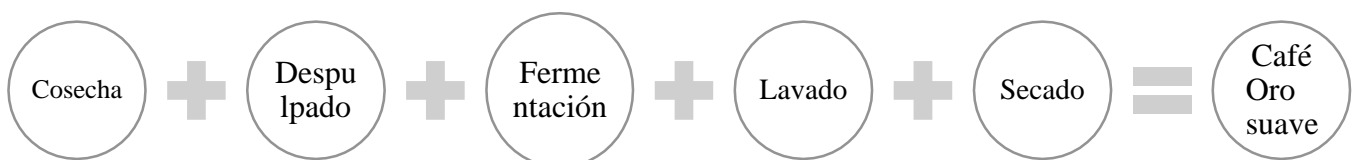
El café cereza que se encuentra en el arbusto del cafeto pasa por un proceso de transformación, existen dos métodos para lograr esto, el primero es por vía húmeda mientras el segundo es por vía seca. [17]

Según el Café Sostenible Manual DAS seguir los pasos de este beneficio trae muchas ventajas (VER ANEXO I)

#### 2.2.13.1. Vía Húmeda

Este método es esencialmente aplicado en la especie Coffe Arábica; en este método, la cereza de café pasa en primer lugar un proceso de recolección o también llamado cosecha, luego estos granos son despulpados, posteriormente se deja fermentar por un tiempo determinado, para luego ser lavado y por último es el proceso de secado; este producto final se le llama café pergamino o café oro suave, este debe tener una humedad de entre 10 % a 12,5%, para que pueda ser comercializado ya sea en el ámbito local o internacional necesita pasar por un último paso que es el trillado.

*Gráfica 8: Transformación Por Vía Húmeda*



*Fuente: Elaboración Propia*

- **Cosecha**

Es la recolección de manera cuidadosa los frutos maduros y que sean pintones (rojizos). [23]

Para realizar una buena cosecha es necesario tener dos aspectos; el primero es la efectividad, es decir, cuantos frutos maduros quedan después de la cosecha en la planta, para realizar esto, es pertinente recorrer y escoger 10 arbustos al azar, contabilizar cuantos frutos maduros aún quedan, si este tiene aproximadamente 100 a más granos, podemos decir que la cosecha no fue efectiva y puede ser caldo de cultivo para plagas futuras, como por ejemplo la “broca”. [22]

El segundo aspecto es la calidad de la cosecha, para efectuarlo, se tiene que realizar una inspección al café ya cosechado y observar si contiene café que aún no se ha madurado por completo, es decir que contenga granos que aún estén verdes, estos frutos no deben exceder el 2% de la cantidad cosechada. [22]

Las herramientas que se utilizan son los cestos, canastos, latas, sacos, deben estar limpios y en buen estado, de esa manera no perjudicarían la calidad del café. [22]

*Figura 13: Canasto para la recolección de café*



*Fuente: Buenas Prácticas para la Producción de Café. [22]*

Según el libro “Buenas Prácticas para la Producción de Café”, para obtener una buena cosecha debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Reducir al mínimo el contacto del cerezo del café con suelo.
- ✓ Sólo recolectar los frutos que estén completamente maduros y sin ningún daño.
- ✓ Si se recolectó granos que estén deteriorados o todavía no hallan culminado su etapa de maduración, el beneficio y proceso debe ser por separado.
- ✓ Al final de cada campaña, es necesario recoger todos los granos de café remanentes que queden en la plata.

*Figura 14: Cosecha Selectiva de Café*



*Fuente: Buenas Prácticas para la Producción de Café. [22]*

- **Despulpado**

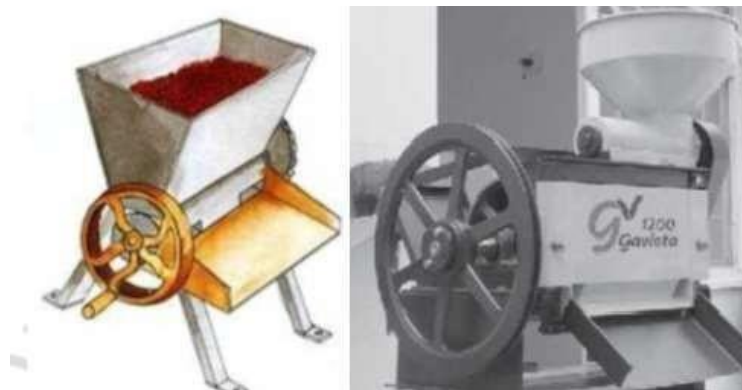
Este método radica en retirar la pulpa del fruto, esto se lleva acabo con una máquina llamado despulpadora, es por eso que a este proceso se le llama despulpado. [23]

Según el libro “Buenas Prácticas para la Producción de Café”, para realizar un buen debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Deben procesar lo más pronto posible, porque después de doce horas de cosechadas el cerezo sufre daño en su aspecto y calidad.

- ✓ La despulpadora tiene que estar correctamente calibrada, de esa forma se evita el uso de agua innecesariamente, y evita la contaminación, porque de esa forma la pulpa no se moja y se descompone con mayor facilidad.
- ✓ Un mal ajuste en la despulpadora causa que los granos se partan, se muerdan o los cerezos que no se han despulpado terminen en la pila de fermentación, originando pérdidas del grano por ende económicas. Para realizar una valoración, es necesario extraer una muestra del café ya despulpado para valorar el desempeño de la máquina.
- ✓ Es necesario limpiar la despulpadora, así evitamos que el café que se despulpará no se mezclará con resto de trabajos pasados.

*Figura 15: Despulpadora de Café*



*Fuente: Cosecha y Pos cosecha de café. [16]*

- **Fermentación**

Este proceso se realiza en posas de cemento, tiene como finalidad que el mucilago que envuelve al fruto del café se descomponga, este proceso se desarrolla por acción de los microorganismos. [16]

La fermentación puede se puede prolongar, de 10 a 20 horas, depende de los metros sobre nivel del mar, temperatura, microorganismos y cantidad a fermentar. A temperaturas bajas, el mucilago que se encuentra en la parte baja del tanque es lo primero que se remueve, pero a altas

temperaturas las capas más cercanas a la superficie son las primeras que se fermentan.

Según el libro “Buenas Prácticas para la Producción de Café” hay dos métodos de fermentación:

- ✓ **Método del Paolo o Madero.** - Consiste en enterrar un palo hasta el fondo del tanque lleno de café, si al retirarlo las paredes del agujero que deja son estables y no se desprenden granos, quiere decir que está en un óptimo fermentado.
- ✓ **Método del Tacto.** - Consiste en extraer con la mano un puñado de café de lugares aleatorios del recipiente, luego se frota fuertemente entre las manos, si produce un sonido rechinante, quiere decir que está en un óptimo fermentado.

*Figura 16: Método del Madero*



*Fuente: Prácticas para la Producción de Café. [22]*

- **Lavado**

Este proceso se encarga de apartar el mucilago que está descompuesto en el cerezo del café, si queda un poco mucilago adherido en el grano, este puede mancharse al momento del proceso de secado. Es de suma importancia hacerlo con agua limpia, puede hacerse en el mismo tanque donde se ha realizado la fermentación del café o también en un canal de correteo. Aproximadamente si se quiere lavara 1 Kg. de café es necesario emplear 20 litros de agua. [23]

Con un buen lavado asegura obtener un café de buena calidad, siempre y cuando también se realice un buen proceso de secado. Es necesario que el café tenga una fermentación apropiada para continuar con el proceso del lavado; si no ocurre esto, es muy probable que el café pierda peso y por lo tanto pierda su calidad en tasa. [16]

Cuando los granos de café terminan el proceso de lavado, tienen de 50 a 54% de humedad. [23]

El grano de café va variando su tonalidad de acuerdo a su porcentaje de humedad. (Ver Anexo II)

*Figura 17: Tanque de lavado de café*



*Fuente: Café Sostenible Manual DAS. [23]*

- **Secado**

En esta parte de todo el proceso del beneficio del café tiene como finalidad reducir la cantidad de humedad que tiene el grano de café, hasta el porcentaje óptimo para ser comercializado o almacenado (10% - 12,5%) sin que obtenga malos olores o sabores. Es sumamente importante que este proceso empiece inmediatamente después del proceso del lavado. [16]

El secado puede realizarse de forma natural, es decir, extendido en un patio de secado o también con ayuda de estructuras poco completas como paseras, camas africanas. [22] En este tipo de secado es necesario que el café sea expuesto al sol de 30 a 40 horas aproximadamente, es importante

que las capas del café tenga un espesor de 4 centímetros en promedio y tiene que ser removido por los menos 3 veces por día. [16]

Por otra parte, puede realizarse un secado de forma mecánica, ya sea de forma estática o rotativa. [22] El secado artificial ayuda mucho en este proceso porque no requiere grandes áreas de secado, no surgen problemas por el clima, el secado es más rápido que el secado tradicional o natural, no necesita tanta inversión en mano de obra. [16]

*Figura 18: Secado al Natural y Secado Mecánico*

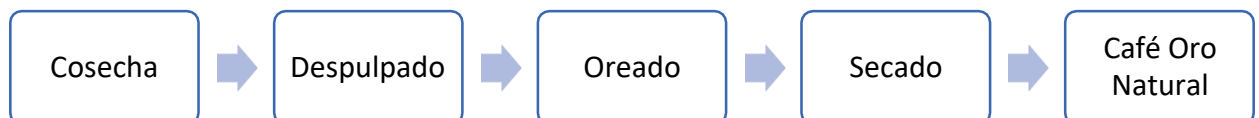


*Fuente: Asistencia técnica dirigida en cosecha y portocosecha en el cultivo de café. [16]*

### 2.2.13.2. Vía Seca

Es el proceso más simple y más antiguo. [17] Este método es más empleado en la especie Coffe Canephora en la variedad Robusta. La diferencia fundamental con el método del secado por vía húmeda es que el café no pasa por el proceso de despulpado hasta que cerezo se desprenda por si solo de sus capas externas. [22]

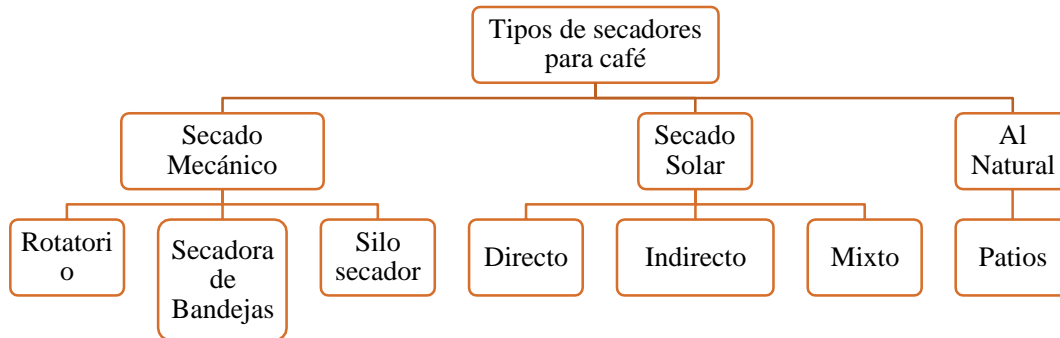
*Gráfica 9: Transformación Por Vía Seca*



*Fuente: Elaboración Propia*

## 2.2.14. Tipos de Secadores para Café.

Gráfica 10: Tipo de secadores para café



Fuente: Elaboración Propia

### 2.2.14.1. Secado Mecánico

Este tipo de secado es necesario que cuente con una fuente de calor, sistema que permita intercambiar el calor, al igual que uno de ventilación y un secador, en este último cumple la función de contener el café; la fuente de calor se puede utilizar electricidad, gas carbón y otros materiales, como por ejemplo la cascarilla de café. [24]

Figura 19: Tipos de Secadores Mecánicos

Tipos de Secadores Mecánicos	Guardiola
	De Bandejas
	Silo Secador
	Horno Ceylon

Fuente: Elaboración Propia

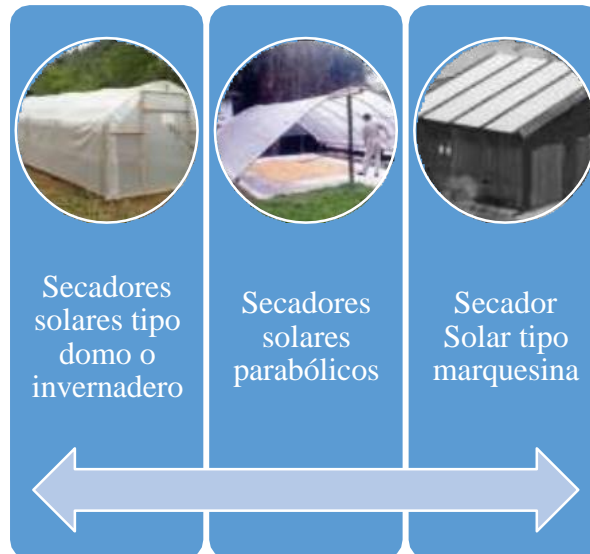
### 2.2.14.2. Secado Solar

#### a) Secador Solar Directo

Este tipo de secador solar la radiación solar recae de manera directa sobre el café, esto se debe a que el colector y cámara son el mismo elemento, lo que origina que la evaporación del agua sea más efectiva. [25]

En este tipo de secado se encuentran:

Figura 20: Tipos de secadores solares directos

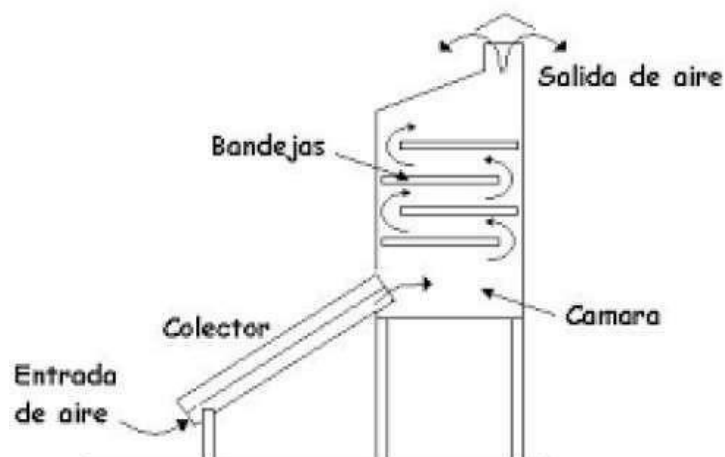


Fuente: Elaboración Propia

#### b) Secado Indirecto

En este tipo de secado, el colector es el primero en calentarse por la radiación solar lo que origina que el aire aumente su temperatura y pase a la cámara de secado, es allí donde se encuentra el café. Una gran ventaja de este tipo de secado es que puede adicionársele cualquier otro tipo de fuente de energía y esto se debe a que el colector y la cámara de secado están completamente separados. [25]

Figura 21: Esquema de un secador solar indirecto.



Fuente: Informe técnico para la construcción de un secador solar de café [25].

### c) Secado Mixto

En este tipo de secador, capta y recolecta la energía solar tanto en la cámara de secado y el colector. [25].

### 2.2.14.3. Al Natural

Este tipo de secado es tradicional, pero le otorga al café muchas cualidades como por ejemplo el sabor, aroma. [25]

#### a) Secado en Patios

El café es esparcido de forma homogénea en patios de cemento, debe ser removido continuamente, para que el café pueda alcanzar el porcentaje de humedad óptimo deben transcurrir de 8 a 15 días, pero esto varía de acuerdo a las condiciones climáticas. [25]

*Figura 22: Secado en patios*



*Fuente: Informe técnico para la construcción de un secador solar de café [25].*

## 2.2.15. Acero Inoxidable

### 2.2.15.1. ¿Qué es el Acero Inoxidable?

Son aleaciones a base de hierro, que tienen poco contenido de carbono, cromo y más elementos como níquel, titanio, molibdeno, entre otros, estos elementos le brindan la propiedad de resistir algunos tipos de corrosión, esto es debido a que se forma una capa superficial de óxido de cromo, de esta manera esta sirve como protección del acero inoxidable. Es muy importante

porque adquiere propiedades mecánicas, de esta manera es utilizado aplicaciones industriales, alimentaria. [26]

Para poder aumentar aún más su resistencia a la corrosión se le añada elementos como el molibdeno y el níquel. No obstante, si el ambiente, la temperatura y la concentración de diferentes de agentes corrosivos originan que el acero inoxidable vaya perdiendo su grado de permeabilidad. [27]

*Figura 23: : El acero inoxidable forma una capa de óxido de cromo*



*Fuente: Manual de Aceros Inoxidables – INDURA*

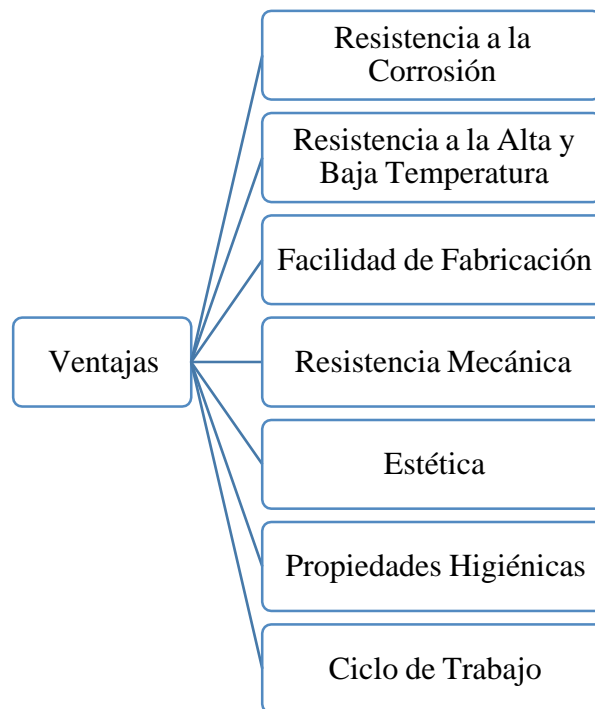
#### **2.2.15.2. Historia**

Hay diferentes versiones acerca de cómo se dio origen a este material muy utilizado, una de ellas nos cuenta que en la Segunda Guerra un comerciante francés que se dedicaba al reciclaje de chatarra se percató que un cañón resaltaba entre una gran cantidad de cañones porque este siempre se encontraba limpio y brillante. De esta manera llevaron el cañón hacerle una investigación, esta arrojó que el cañón era de una fabricación especial y que habían utilizado una cantidad excesiva de cromo para ello, y es así como el acero habría sido descubierto de manera fortuita. [27]

### 2.2.15.3. Ventajas del Acero Inoxidable

El manual de aceros inoxidable de INDURA, señala que las ventajas del acero inoxidable y los detalla de la siguiente manera:

Figura 24: Ventajas del Acero Inoxidable



Fuente: INDURA

- **Resistencia a la Corrosión.** – Los aceros de alta aleación pueden resistir elevadas temperaturas, inclusive si están expuestos a ambientes ácidos, mientras que los de baja aleación resisten a la corrosión en situaciones atmosféricas.
- **Resistencia a la Alta y Baja Temperatura.** – Tienen la capacidad de aguantar gran cambio de temperatura, desde temperaturas muy bajas (criogénicas) hasta temperaturas muy elevadas.
- **Facilidad de Fabricación.** – Pueden ser forjados, soldados, y cortados con gran facilidad.

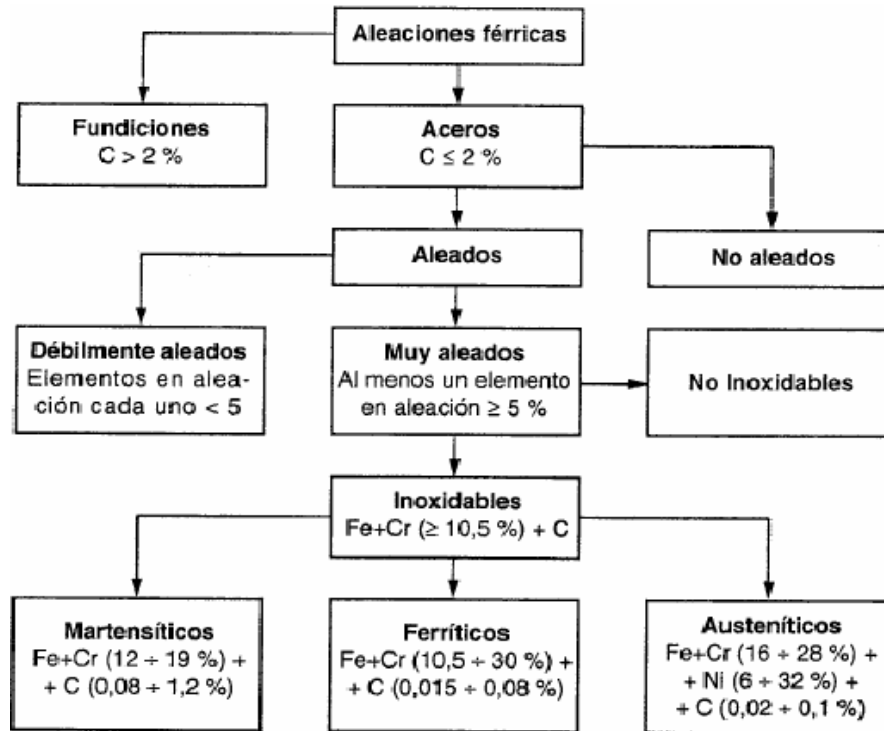
- **Resistencia Mecánica.** – Tiene la habilidad de abaratar costos al reducir su espesor y además otros aceros inoxidable cuando son tratados térmicamente aumentan su capacidad de resistencia.
- **Estética.** – Puede dársele diferentes acabados, obteniendo un resultado de muy buena calidad.
- **Propiedades Higiénicas.** – Los hospitales, las cocinas, instalaciones de proceso y almacenamiento de alimentos y las dedicadas al rubro farmacéutico lo utilizan porque es de fácil limpieza.
- **Ciclo de Trabajo.** – Tiene un ciclo de vida largo, por lo tanto, ayuda a reducir costos.

#### 2.2.15.4. Clasificación de los Aceros Inoxidables

Los Aceros Inoxidables como ya se mencionó son aleaciones complejas, es decir que se encuentra conformada por unos varios elementos, como el hierro, carbono, cromo y níquel, al cambiar su porcentaje da lugar a diferentes tipos de aceros. [26]

Los Aceros Inoxidables pueden clasificarse en cinco familias, las cuatro primeras son clasificadas por sus rasgos de la estructura cristalográfica (microestructura), los integrantes de estas familias son ferríticos, austeníticos, martensíticos y dúplex; la quinta y última familia más relacionados con el tratamiento térmico, estos son aceros endurecidos por precipitación. [28]

Figura 25: Clasificación de los Aceros Inoxidables



Fuente: Aceros Inoxidables – Gabriel Di Caprio

- **Aceros Inoxidables Austeníticos**

Esta familia tiene como principal elemento el Níquel (Ni) para que de esa manera se logre suprimir la transformación Austenita de esa manera la mantiene estable a temperaturas ambiente y más bajas. [27]

Este tipo de aleaciones tienen estructura cúbica y son centrada en las caras, además de no ser magnéticas, poseen excelente durabilidad, formabilidad y tenacidad. Estos aceros pueden dividirse en dos categorías: [28]

Las aleaciones Cromo – Níquel, son las que contienen Cromo al 18% y se les agrega la cantidad de Níquel (como mínimo del 8%), entonces estas se transforman en un Austenítico sin cambiar sus características de inoxidable, también son llamados aceros y forman parte de la serie 300. [29]

Se pueden observar las relaciones entre grados y el desarrollo de los aceros inoxidables Austeníticos. (VER ANEXOS VI, VII y VIII)

Otra de las clasificaciones más usadas se encuentra la ASI (AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE) y la SAE (SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS), y las dividen de la siguiente manera. [30]

Tabla 6: Clasificación de los Aceros Inoxidables según la AISI

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES SEGÚN LA AISI	
DESIGNACIÓN DE LA SERIE	GRUPOS
2XX	Cr – Ni – Mn; no endurecibles, austeníticos, no magnéticos.
3XX	Cr – Ni; no endurecibles, austeníticos, no magnéticos.
4XX	Cr; endurecibles, martensíticos, magnéticos.
5XX	Cr; no endurecibles, ferríticos, magnéticos.
6XX	Cr; bajo cromo, resistentes al calor.

Fuente: Caracterización de Aceros Inoxidables y Estudio De Estudio de su Resistencia Mecánica y Conformabilidad. [30]

Según INDURA [27], las características básicas del Acero Inoxidable Austenítico son:

✓ **Características Básicas**

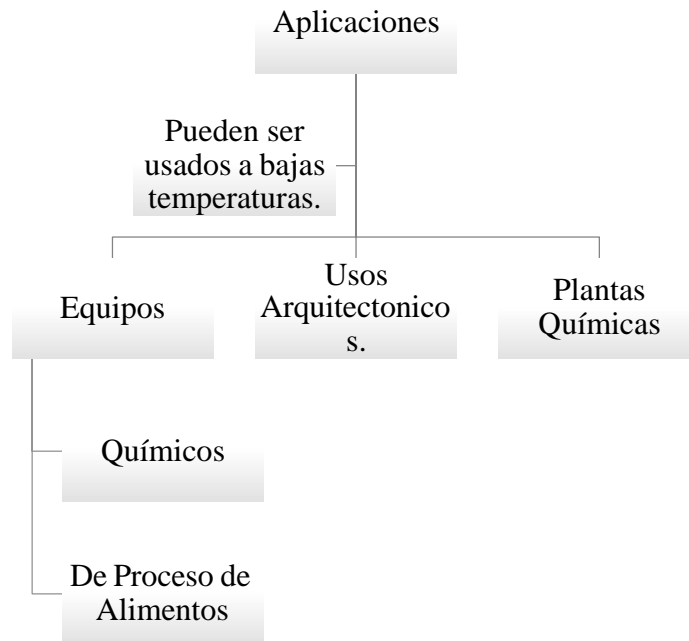
- Excelente soldabilidad.
- Muy resistentes a la corrosión, sin embargo, son sensibles al agrietamiento bajo tensiones en ambientes de cloruro.
- Buena maleabilidad y ductilidad.
- Muy buena resistencia a la alta y baja temperatura.
- No pueden ser templados, pero pueden ser endurecidos solamente por trabajo en frío.
- Tiene coeficiente de expansión térmica aproximadamente del 50%, adicionalmente posee menor punto de fusión, conductividad térmica y mayor resistencia térmica.

### ✓ Aplicaciones

Según Indura se puede usar en aplicaciones comúnmente como.

[27]:

Figura 26: Aplicaciones Típicas de los Aceros Inoxidables Austeníticos



Fuente: INDURA

- **Aceros Inoxidables Ferríticos**

Son aceros que contienen fundamentalmente hierro – cromo de estructura cúbica centrada en el cuerpo; tienen un contenido de Cromo mayor al 10,5% para que de esa manera aseguren la formación de la capa de Cromita (pueden llegar a tener hasta un 30%), muchas veces están aleados con Silicio, Titanio, Aluminio, Molibdeno o Niobio, de esa manera obtienen características específicas. Tienen la capacidad de ser formados con gran facilidad y su ductilidad es aceptable, pero los Aceros Inoxidables Austeníticos tienen mayor resistencia a las altas temperaturas, es decir este tipo de aceros no son susceptibles a ser tratados térmicamente y ni pueden ser endurecidos trabajando en frío su ductilidad reduce. [31]

Su principal ventaja sobre otra clase de aceros se debe a que contienen una menor cantidad de aleación, esto hace que ellos logren una mejor resistencia al

“*pitting*” y a la “*Crevice Corrosion*” provocada por cloruros, demostrando así ser una buena solución ante la Corrosión bajo tensión en cloruros y corrosión por ácidos orgánicos. [29]

Se pueden observar las relaciones entre grados de los Aceros Inoxidables Ferríticos. (Ver anexos)

Según INDURA [27], las características básicas del Acero Inoxidable Ferrítico son:

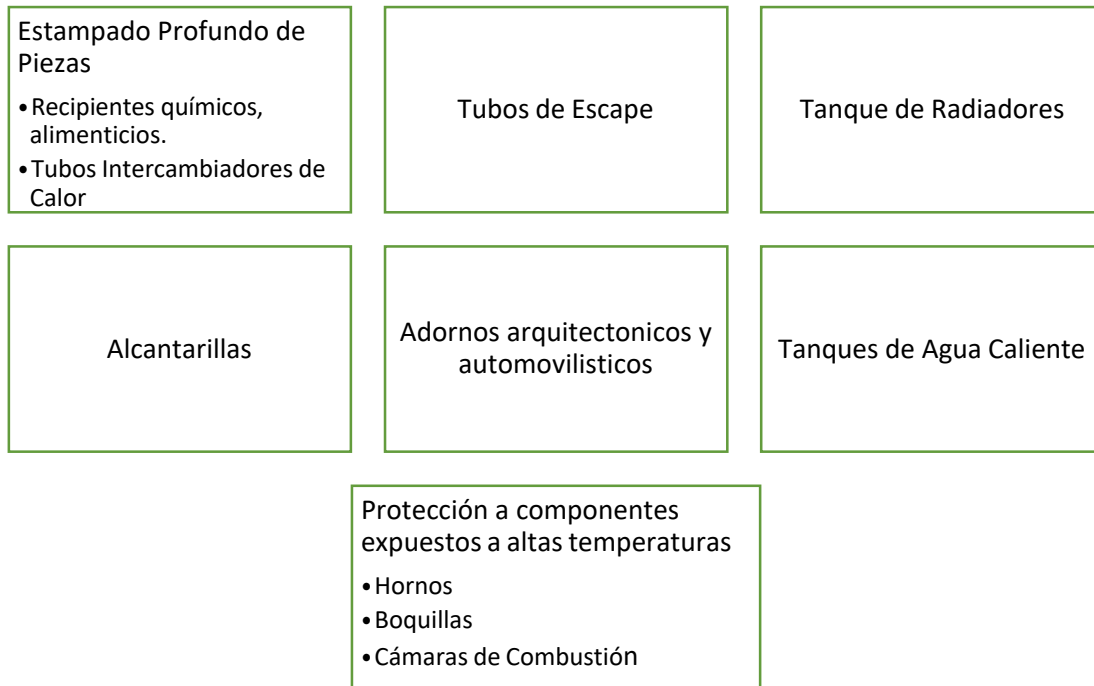
✓ **Características básicas**

- Su grado de soldabilidad es mayor a los Aceros Martensíticos, pero menor a los Austeníticos.
- Grado de resistencia a la corrosión es mayor a los Aceros Martensíticos, pero menor a los Austeníticos, esto se debe a que el Cromo aumenta la resistencia, sin embargo, la ausencia del Níquel reduce de manera general la resistencia a la corrosión.
- Adquiere cierta fragilidad y aumenta el tamaño del grano a temperaturas elevadas (450 °C – 500 °C).
- En atmosferas sulfurosas y calientes tienen excelente resistencia a la corrosión (25 30%).
- Bajo tensión (SCC) presenta buena resistencia a la corrosión, principalmente cuando se trata de cloruros a alta temperatura en comparación con los Aceros Austeníticos.
- Tiene menos tenacidad que los Aceros Austeníticos.
- Cuando son recocidos adquieren su máxima ductilidad y resistencia a la corrosión.
- Reduce su dureza y resistencia al impacto de temperaturas, esto se debe a la presencia de la Ferrita.
- Están expuestos a la desviación de arco (Soplo Magnético) es decir son muy magnéticos.
- Muy buena resistencia al “*Pitting*” y al “*Crevice Corrosion (corrosión por rendija)*”.
- De forma general son preferidos por que tienen un costo bajo, resistencia mecánica y porque resisten a la corrosión.

### ✓ Aplicaciones

Según Indura se puede usar en aplicaciones comúnmente como.  
[27]:

*Figura 27: Aplicaciones Típicas de los Aceros Inoxidables Ferríticos*



*Fuente: INDURA*

### • Aceros Inoxidables Martensíticos

Son aleaciones de Hierro, Cromo (10,5 – 18%) y Carbono (puede ser mayor a 1%), estas poseen estructura molecular tetragonal centrada en el cuerpo. No tienen buena resistencia a la corrosión y es muy común agregarles Niobio, Silicio, Tungsteno y Vanada, de esa manera se mejora la respuesta al revenido, pero también se le puede agregar Níquel para que aumente su resistencia a la corrosión. [31]

Tiene un poco de parecido con los aceros al carbono que han pasado por un proceso para ser austenizados, endurecidos por temple y por último revenidos para de esa forma aumentar su tenacidad y ductilidad. Tienen una resistencia a

la fluencia de 275 MPa y mayormente en ese estado pueden ser maquinados, conformadas y trabajadas en frío. [28]

En la siguiente tabla se observan las propiedades de estos aceros. [29]:

Tabla 7: Propiedades Mecánicas Mínimas de los Aceros Inoxidables Martensíticos

Propiedades Mecánicas Mínimas de los Aceros Inoxidables Martensíticos						
UNS number	Designación común	Resistencia a la Tracción MPa	Resistencia a la Fluencia MPa	Alargamiento a la Rotura %	Reducción en área %	Dureza
S40300	403	485	205	25(b)		HRB 88 max
S41000	410	450	205	22(b)		HRB 95 max
S41008	410S	415	205	22		HRB 95 max
S41040	410Cb	485	275	12	35	
S41400	414	795	620	15	45	
S41800	418(c)	1450 (d)	1210(d)	18(d)	52(d)	
S42000	420(e)	1720	1480(d)	8(d)	25(d)	HRC 52(d)
S42200	422(f)	965	760	13	30	
S43100	431(c)	1370(d)	1030(d)	16(d)	55(d)	
S44002	440A	725(d)	415(d)	20(d)		HRB 95(d)
S44003	440B	740(d)	425(d)	18(d)		HRB 96(d)
S44004	440C	760(d)	450(d)	14(d)		HRB 97(d)
S50100	501	485(d)	205(d)	28(d)	65(d)	
S50200	502	485(d)	205(d)	30(d)	70(d)	
	414L	795(d)	550(d)	20(d)	60(d)	
	416 plusX	515	275	30	60	

Fuente: Aceros Inoxidables. [29]

Dónde: c) Revenido a 260°C; d) Valores Típicos; e) Revenido a 205°C; f) Doble revenido

Se pueden observar las relaciones entre grados y el desarrollo de los aceros inoxidables Martensíticos. (VER ANEXOS)

Según INDURA [27], las características básicas del Acero Inoxidable Martensíticos son:

- ✓ **Características básicas.**
  - Resistencia a la corrosión limitada, es menor que los aceros Auténicos y Ferríticos.
  - Su soldabilidad es baja, esto es porque el carbono dificulta este proceso, es decir, mientras más contenido de carbono tenga será necesario precalentar más el acero y requerirá hacer

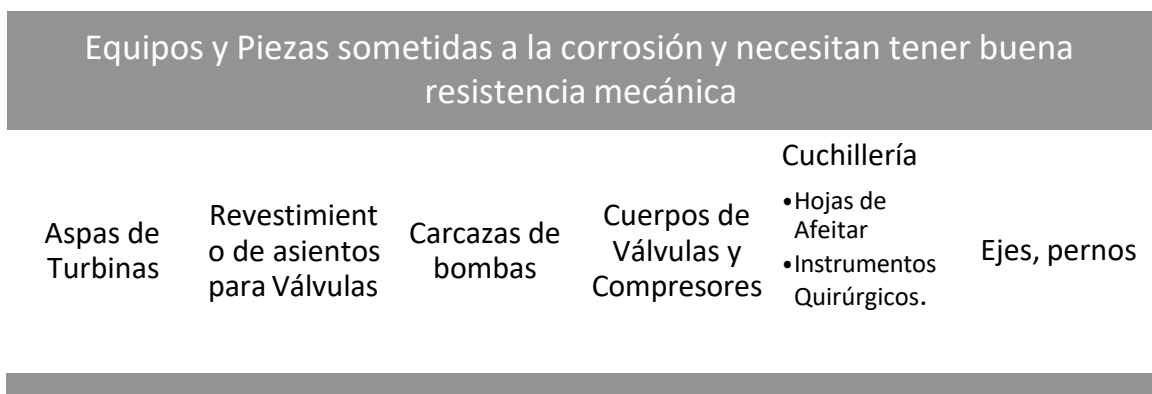
tratamientos térmicos para que de esa manera la soldadura esté libre de fallas.

- Tiene buena resistencia mecánica.
- Para que alcancen niveles altos de dureza y resistencia es necesario tratamientos térmicos.
- Están vulnerables al desvío del arco de soldadura, comparten la misma propiedad de ser magnéticos al igual que los aceros inoxidables ferríticos.
- Son capaces de resistir temperaturas medianamente altas y esto se debe a que poseen una buena resistencia al *creep* y a la tensión que se encuentra en ese rango.
- Para que tengan una buena resistencia a la corrosión, adquiera resistencia, buenas propiedades de fatiga y excelente una resistencia a la oxidación en varios ambientes es necesario que tenga un tratamiento térmico adecuado.
- Las selecciones mayormente por su bajo costo y como se ha mencionado que adquiere buenas propiedades mecánicas.

#### ✓ Aplicaciones

Según Indura se puede usar en aplicaciones comúnmente como. [27]:

Figura 28: Aplicaciones Típicas de los Aceros Inoxidables Martensíticos



Fuente: INDURA

- **Aceros Inoxidables Endurecibles por Precipitación**

Son aleaciones que tienen como principales elementos al Cromo (Cr) del 12% al 18% y Níquel (Ni) del 4% al 9%, además de eso contiene elementos causan endurecimiento como son Molibdeno (Mo), Titanio (Ti), Nitrógeno (N), Cobre (Cr), Aluminio (Al), Tántalo (Ta), Niobio (Nb), Boro (B) y Vanadio (V). [27]

Son aceros que son endurecidos mediante un método de Envejecimiento. Se clasifican por su microestructura derivada del tratamiento de solución y pueden ser: Austeníticos (AISI A286, UNS S66286); Semiausteníticos (AISI PH 17 – 7, UNS S17700) y por último en Martensíticos (AISI PH 17 – 4, UNS S17400). [28]

El proceso de endurecimiento por precipitación está conformado por la formación de fases intermetálicas muy finas de carburos y sulfuros, de esta manera impide los dislocamientos y planos de deslizamiento durante su formación, eso da como resultado que tenga una elevada resistencia del material. [32]

Pueden conseguir gran resistencia a la fluencia (hasta 1 700 MPa), también pueden llegar a tener buena ductilidad y tenacidad. También puede adquirir resistencia mecánica y a la corrosión siempre y cuando se combine con aleaciones de características de aceros inoxidables Martensíticos; sin embargo, a la vez esto origina que tenga baja resistencia al desgaste. [28]

Según INDURA [27], las características básicas del Acero Inoxidable Endurecido por Precipitación son:

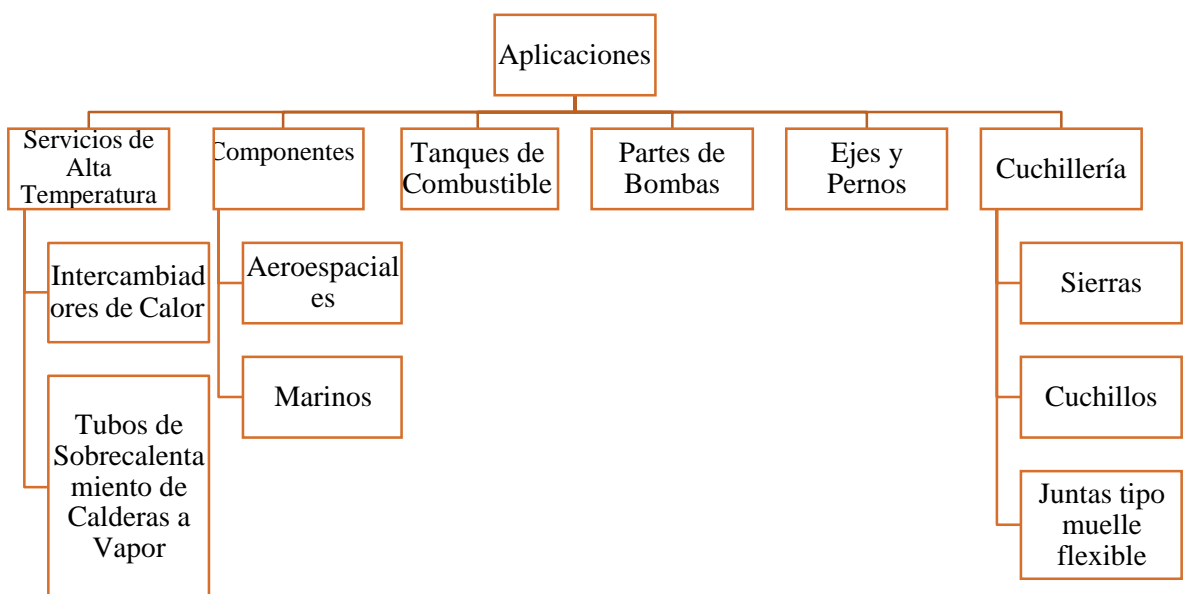
- ✓ **Características básicas**
  - Resistencia media – alta a la corrosión.
  - Excelente resistencia a grandes presiones, aproximadamente hasta 1 800 MPa; más elevada a los aceros inoxidables Martensíticos;
  - Resistencia a la corrosión parecido al acero de Tipo 304.
  - Buena Soldabilidad.

- Son Magnéticos.

### ✓ Aplicaciones

Según Indura se puede usar en aplicaciones comúnmente como.  
[27]:

Figura 29: Aplicaciones Típicas de los Aceros Inoxidables Endurecidos por Precipitación



Fuente: INDURA

- **Aceros Inoxidables Dúplex**

Básicamente son aleaciones a base de Cromo (Cr) y Molibdeno (Mo) y también contiene elementos estabilizadores de la Austenita como Níquel (Ni) y Nitrógeno (N) de esta manera logran el balance necesario entre las fases Ferríticas y Austeníticas, es por ello que a este tipo de acero se le denomina Dúplex. [27]

Estos aceros poseen la tenacidad de los aceros inoxidables Ferríticos y mayormente tienen un soporte superior a la Corrosión Bajo Tensión (SCC) que los aceros Austeníticos en medios con contenido de Cloruro y que estén a temperaturas elevadas, esto se debe a que contienen menos Níquel (Ni) y

aumentan su composición en ferrita, pero esto no quiere decir que estén completamente exentos a este tipo de corrosión. [29]

Este tipo de Acero son usados mayormente en industrias como la petrolera, petroquímica, en la producción de papel y todas aquellas que se dedican a llevar un control de la contaminación. Asimismo, son usados en ambientes húmedos que contienen concentraciones de iones cloro, los utilizan como reemplazo de los aceros Austeníticos porque no se ven afectados por la corrosión que son originados cuando son expuestos a este tipo de ambiente. También los Aceros Inoxidables conocidos como Súper Dúplex tienen mayor grado de aleación y lo utilizan en el agua marina y en el agua clorada. [31]

Según INDURA [27], las características básicas del Acero Inoxidable Dúplex son:

✓ **Características básicas**

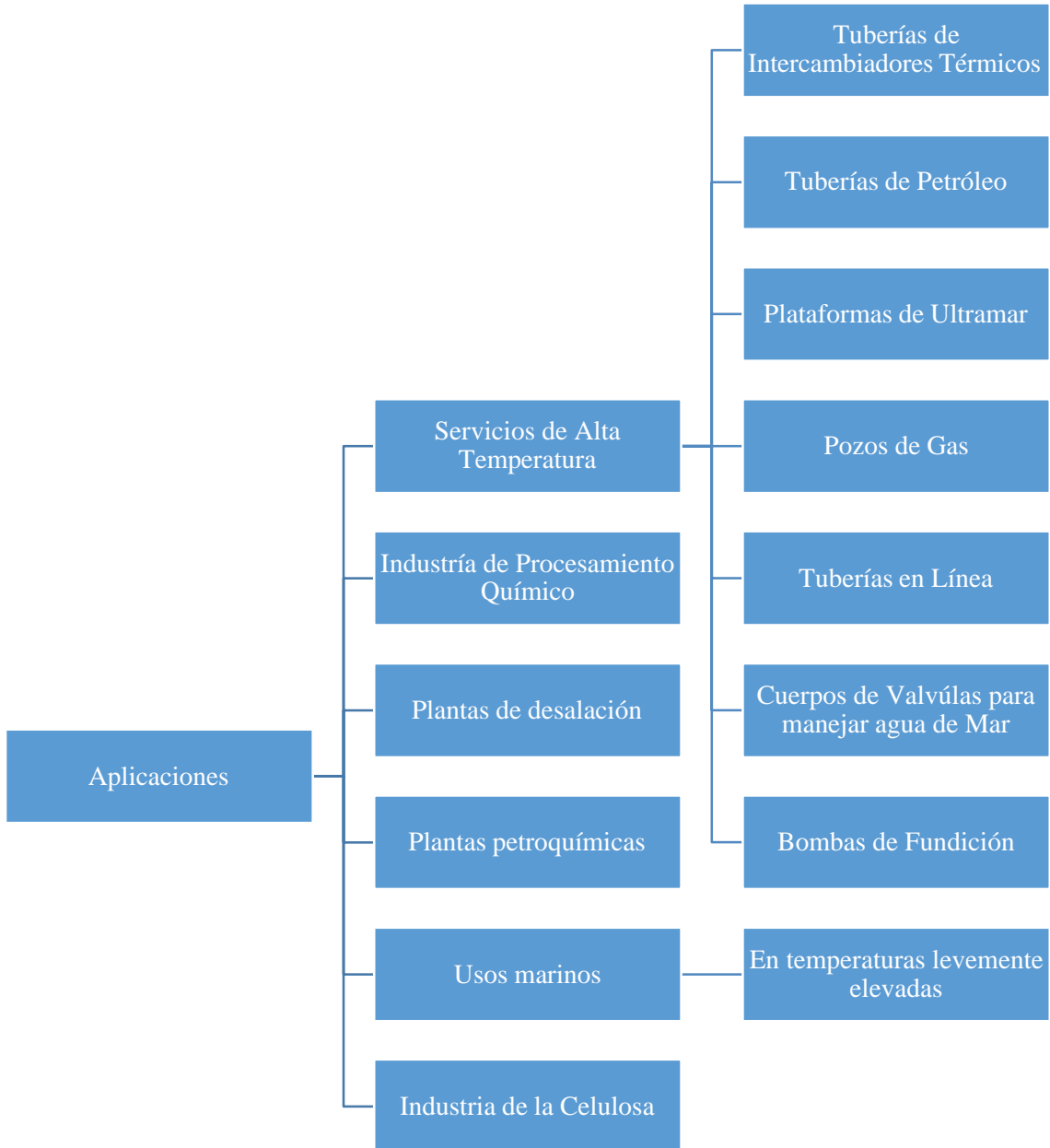
- Tienen mayor resistencia a la Corrosión Bajo Tensión (SCC) y resistencia mecánica que los Aceros Inoxidables Austeníticos cuando se encuentran expuesto en soluciones de Cloruro.
- Tienen el punto de fluencia y resistencia a la tracción más elevado que los aceros ferríticos y austeníticos.
- Buena soldabilidad y maleabilidad.
- Tiene una resistencia media a la corrosión por fatiga provocada por cloruros.
- En ambientes corrosivos el Acero Inoxidable Dúplex tiene una resistencia a la corrosión general y por picado igual o mayor a los aceros de Tipo 316L.
- Acero Inoxidable Dúplex tiene bajo contenido de carbono, por ende, tiene resistencia a la corrosión intergranular.
- Buena resistencia a la abrasión y erosión.
- Las tensiones en soldaduras en este tipo de acero son menores, esto se debe porque tiene coeficiente de expansión térmica cercano del acero del carbono.
- Es utilizado entre los  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  y los  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

✓ **Aplicaciones**

Según Indura se puede usar en aplicaciones comúnmente como.

[27]:

*Figura 30: Aplicaciones Típicas de los Aceros Inoxidables Dúplex*

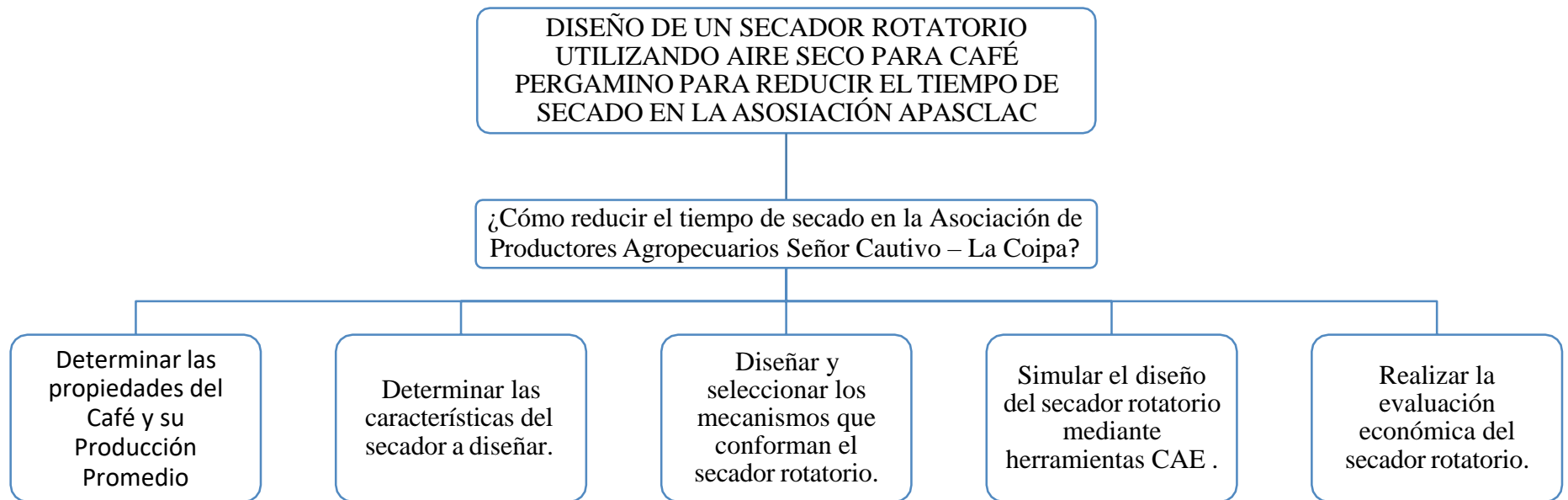


*Fuente: INDURA*

### III. DISEÑO

#### 3.1. Metodología

Figura 31: Metodología



Fuente: Elaboración Propia

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Determinar las capacidades del secador.

El café después de terminar la etapa de lavado sale con una humedad aproximada del 56% [33].

Los caficultores después de la etapa de lavado y antes de pasarlo al secado, hacen el proceso de oreado y presecado; esto hace que primero baje el café baje su porcentaje de humedad al 48% y después del segundo proceso la humedad se reduce del 35% a 30% aproximadamente. [34]

Para que el grano conserve su calidad sin deteriorarse debe tener una humedad al 11% esta humedad es fundamental para el almacenamiento del producto y su comercialización. [35]

Los datos se obtuvieron de la asociación de productores agropecuarios “Señor Cautivo – La Coipa” en el mes de agosto del año 2018, es por eso que podemos predecir que la producción podría superar los 9 000 quintales de café; para de esta manera determinar la capacidad del secador rotatorio con aire seco. (Ver los Anexos I, II, III, IV, V)

*Tabla 8: Producción anual de Café - Asociación Señor Cautivo Quintales de Café*

Producción de Café: Asociación Señor	
Año	Quintales de Café
2014	1 344,91
2015	4 829,79
2016	5 528,81
2017	8 942,17
2018	5 032,11

*Fuente: Elaboración Propia.*

Gráfica 11: Producción anual de Café - Asociación Señor Cautivo Quintales de Café



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2. Determinar el tipo de secador

Para elegir el tipo secador se planteó y se evaluó en total cuatro posibles alternativas, las que son:

Después de una breve descripción de cada uno, empezaremos a determinar los parámetros necesarios para la selección, es por eso que se optó que cada uno de ellos darles una ponderación que vaya de acuerdo a los criterios y a las necesidades del diseño.

Los parámetros son:

- **Costo.** – Es valor económico de los materiales, equipos y los pasos a seguir para poder construir el secador.
- **Eficiencia.** – En este punto se tomó en cuenta como cada de las alternativas utiliza la energía y cumpla su función principal, es decir, para poder secar el café.
- **Eficacia.** – Es la habilidad de cada una de las opciones de realizar el trabajo encomendado, es decir, reducir la humedad del café hasta el 11%.

- **Mantenimiento.** – Es comprobar de manera fácil, sencilla y económica el estado en que se encuentra la máquina, es decir su funcionamiento, consumo de energía. Este proceso puede ser tipo predictivo, preventivo y correctivo.
- **Confiabilidad.** – Es la posibilidad de que el equipo opere de forma correcta sin ningún accidente e incidente, esto se debe dar en un periodo de tiempo determinado.
- **Espacio.** – Es la cantidad de espacio que utiliza la máquina para funcionar.
- **Tiempo de Secado.** – Es la cantidad de tiempo que se demora la máquina en realizar su función, es decir secar el café.

Una vez detallado los parámetros, en la tabla n° 9 se muestra el porcentaje de cada uno de estos.

Tabla 9: Porcentaje de los Parámetros de Diseño

N°	Criterio a Evaluar	Peso (%)
1	Costo	0,2
2	Eficiencia	0,1
7	Eficacia	0,1
3	Mantenimiento	0,1
4	Confiabilidad	0,15
5	Espacio	0,15
6	Tiempo de Secado	0,2
<b>Total</b>		<b>1</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez otorgada la ponderación correspondiente en la tabla anterior, es imprescindible indicar que el valor uno (1) es el mínimo permitido y tres (3) el máximo posible por cada uno de los parámetros, de esta manera procederemos a señalarlos en la tabla n° 10 que representa una matriz de decisión.

Tabla 10: Ponderación de los Parámetros

Tipo de Secador	Costo	Eficiencia	Eficacia	Mantenimiento	Confiabilidad	Espacio	Tiempo de Secado	Total
Secador Solar	3	1	1	3	1	1	1	11
Secador Mecánico Silo	2	2	2	2	3	2	2	15
Secador Mecánico Rotatorio	2	3	3	2	3	3	3	19
Secador Mecánico Estático	2	3	2	2	2	3	2	16

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez ya valorado las propuestas se le multiplicará por el valor dado a cada parámetro, de esta manera, en la tabla n° 11 muestra ya como quedan cada una de las propuestas.

Tabla 11: Matriz de Decisión

Tipo de Secador	Costo	Eficiencia	Eficacia	Mantenimiento	Confiabilidad	Espacio	Tiempo de Secado	Total
Secador Solar	0,60	0,10	0,10	0,30	0,15	0,15	0,20	1,60
Secador Mecánico Silo	0,40	0,20	0,20	0,20	0,45	0,30	0,40	2,15
<b>Secador Mecánico Rotatorio</b>	<b>0,40</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	<b>0,20</b>	<b>0,45</b>	<b>0,45</b>	<b>0,60</b>	<b>2,70</b>
Secador Mecánico Estático	0,40	0,30	0,20	0,20	0,30	0,45	0,40	2,25

Fuente: Elaboración Propia.

Como podemos observar el secador Mecánico Rotario es el que obtuvo la mayor puntuación. Es por eso que escogeremos ese tipo de secador para implementarlo a nuestro sistema.

### 4.3. Diseñar y seleccionar los mecanismos que conforman el secador

#### 4.3.1. Flujos a la entrada y salida del secador

El equipo necesita secar al día 3 312 Kg, en una jornada de 12 horas. De esa forma podemos decir que la tasa de café húmedo al ingresar al secador es:

$$\dot{m}'_{cain} = \frac{\text{Cantidad a secar Kg}}{\text{Número de horas}} \dots (1)$$

$$\dot{m}'_{cain} = \frac{3\,312\text{ Kg}}{12\text{ h}} \Rightarrow \dot{m}'_{cain} = 276 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

El café cuando entra al secador entra con una humedad de alrededor del 50 al 54%, tomaremos 54% ( $X_{in}$ ), como un valor promedio, eso quiere decir que 54% es agua y el otro 46% es café seco. De esta manera necesitamos calcular el flujo másico del café seco ( $\dot{m}'_{cahu}$ ) y el flujo másico del agua ( $\dot{m}'_{agu}$ ) al momento de entrar de este proceso. Para realizar esto utilizamos la fórmula:

$$\dot{m}'_{casen} = (1 - X_{in}) \cdot (\dot{m}'_{cain}) \dots (2)$$

$$\dot{m}'_{casen} = (1 - 0,54) \cdot (276) \Rightarrow \dot{m}'_{casen} = 126,96 \frac{kg}{h} \text{ de café seco}$$

Y para el flujo másico del agua a la entrada:

$$\dot{m}'_{agu} = (X_{in}) \cdot (\dot{m}'_{cain}) \dots (3)$$

$$\dot{m}'_{agu} = 0,54 \cdot (276) \Rightarrow \dot{m}'_{agu} = 149,04 \frac{kg}{h} \text{ de agua}$$

Como sabemos la masa de café seco no varía durante todo el proceso dentro del secador, podemos deducir que el flujo del café seco ( $\dot{m}'_{cases}$ ) a la salida.

$$\dot{m}'_{casen} = \dot{m}'_{cases} \dots (4)$$

$$\dot{m}'_{cases} = 126,96 \frac{kg \text{ café seco}}{\text{hora}}$$

El café al momento de salir del proceso de secado debe tener una humedad de 11% ( $X_{sal}$ ),

Calculamos el flujo másico del agua ( $\dot{m}'_{agusal}$ ), pero esta vez a la salida de todo el proceso de secado:

$$\dot{m}'_{agusal} = \frac{(\dot{m}'_{cases}) \cdot (X_{sal})}{1 - (X_{sal})} \dots (5)$$

$$\dot{m}'_{agusal} = \frac{(126,96) \cdot (0,11)}{1 - (0,11)} \Rightarrow \dot{m}'_{agusal} = 15,6717 \frac{kg \text{ agua}}{\text{hora}}$$

Luego todo el producto húmedo a la salida ( $\dot{m}'_{psal}$ ) es del resultado de la suma del flujo del café seco ( $\dot{m}'_{cases}$ ) a la salida y el flujo másico del agua ( $\dot{m}'_{agusal}$ ).

$$\dot{m}'_{psal} = \dot{m}'_{cases} + \dot{m}'_{agusal} \dots (6)$$

$$\dot{m}'_{psal} = 126,96 + 15,6717 \Rightarrow \dot{m}'_{psal} = 142,6517 \frac{kg}{\text{hora}}$$

### 4.3.2. Flujo de calor y caudal.

Es necesario hacer un balance de energía con intercambiador de calor, es ahí que los gases de la combustión necesario para transferir el calor al aire de forma directa. Es calor añadido es  $Q_1$  .

Como hemos detallado anteriormente, La Coipa tiene una temperatura ambiente de alrededor de 20 °C y una humedad de 60%.

Para secar el grano de café sin dañarlo, puede soportar una temperatura elevada de 50 °C.

Sabiendo estos datos podemos decir:

$$T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}; \phi_1 = 60 \text{ } \%; T_2 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por tablas encontramos la presión de Saturación del agua ( $P_{sat25}$ ) (VER ANEXO 17)

$$P_{sat25} = 2,3392 \text{ Kpa}$$

De esta manera podemos hallar la presión al inicio de proceso de secado ( $P_1$ ).

$$P_1 = \phi_1 \cdot (P_{sat25}) \dots (7)$$

$$P_1 = 0,80 \cdot (2,3392) \Rightarrow P_1 = 1,4035 \text{ Kpa}$$

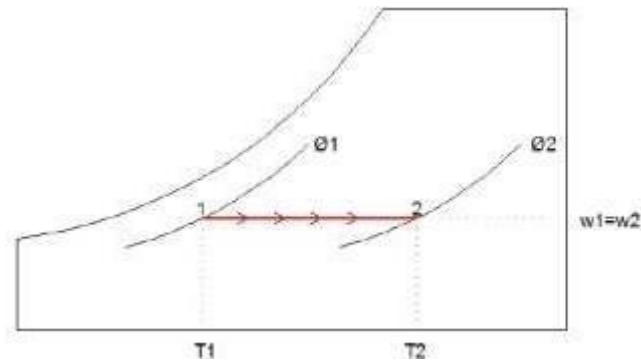
Obtendremos la humedad absoluta ( $W_1$ ) al inicio del intercambiador de calor. Donde “P” es la presión en la altitud en La Coipa que es 1 500 en metros sobre el nivel del mar (msnm).

$$W_1 = \frac{(0,622) \cdot (P_1)}{P - P_1} \dots (8)$$

$$W_1 = \frac{(0,622) \cdot (1,9018)}{87,72 - 2,5358} \Rightarrow W_1 = 0,0105 \frac{\text{Kgagua}}{\text{Kgairsec}}$$

A humedad absoluta al inicio del intercambiador de calor es igual que a la salida ( $W_2$ ). Es Decir permanece Constante. Como lo muestra el siguiente diagrama.

Figura 32: Diagrama psicrométrico del proceso de calentamiento del aire



Fuente: Diseño de un secador rotatorio para granos de cacao con capacidad de 3 toneladas diarias para la producción nacional. [36]

$$W_1 = W_2 \dots (9)$$

$$W_2 = 0,0105 \frac{Kgagua}{Kgairsec}$$

La entalpía del aire, ya sea a la entrada ( $h_1$ ) o a la salida ( $h_2$ ) del intercambiador, es la suma de la entalpía del aire seco y la del vapor de agua.

$$h_1 = (C_{p1}) \cdot (T_1) + (W_1) \cdot (h_{g1T1}) \dots (10)$$

Donde

$$C_{p1} = \text{Calor específico del aire en la temperatura ambiente } (T_1), \frac{Kj}{Kg K}$$

$$h_{g1T1} = \text{Entalpía de vapor saturado a la temperatura ambiente } (T_1), \frac{Kj}{Kg K}$$

Los datos de calor específico del aire en la temperatura ambiente ( $C_{p1}$ ) vapor saturado a la temperatura ambiente ( $h_{g1T1}$ ). (VER ANEXO 28) y entalpía de la extraemos de las cartas psicrométricas (VER ANEXO 19 al 22).

Entonces tenemos que la entalpía a la entrada:

$$T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lo pasamos a grados Kelvin (K)

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} + 273,15 \Rightarrow T_1 = 293,15 \text{ K}$$

Como podemos ver en la tabla solo hay a 250 K y a 300 K (VER ANEXO 18); es por eso que tomamos el inmediato más cercano, para este caso es el de 300 K.

Reemplazamos datos.

$$h_1 = \left(1,005 \frac{\text{Kj}}{\text{kg K}}\right) \cdot (293,15 \text{ K}) + (0,0105) \cdot \left(73,364 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}\right)$$

$$h_1 = 295,3859 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}} \text{ de aire seco}$$

Ahora calculamos la entalpía a la salida.

$$h_2 = (C_{p2}) \cdot (T_2) + (W_2) \cdot (h_{g2T2})$$

Donde

$$C_{p2} = \text{Calor específico del aire en la temperatura de secado } (T_2), \frac{\text{Kj}}{\text{kg K}}$$

$$h_{g2T2} = \text{Entalpía de vapor saturado a la temperatura secado } (T_2), \frac{\text{Kj}}{\text{kg K}}$$

Entonces que la temperatura necesaria para secar es de 50 °C

$$T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

Lo pasamos a grados Kelvin (K)

$$T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C} + 273,15 \Rightarrow T_2 = 323,15 \text{ K}$$

Como podemos ver en la tabla solo hay a 200 K y a 350 K (VER ANEXO 23); es por eso que tomamos que interpolar para un valor de 323,15.

Tabla 12: Datos para interpolar Cp.

Datos	Temperatura °K	Cp Kj/ (kg . K)
1	300	1,005
<b>2</b>	<b>323,15</b>	<b>X</b>
3	350	1,008

Fuente: Elaboración Propia

Tenemos que hallar el valor de “X”

$$\frac{T_3 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{Cp_3 - Cp_1}{Cp_3 - Cp_2}$$

$$\frac{350 - 300}{350 - 323,15} = \frac{1,008 - 1,005}{1,005 - X} \Rightarrow X = 1.0064$$

Reemplazamos “X” y el resto de los datos.

$$h_2 = (1,0064 \frac{Kj}{kg K}) \cdot (323,15 K) + (0,0105) \cdot (127,92 \frac{Kj}{kg})$$

$$h_2 = 326,561 \frac{Kj}{kg} \text{ de aire seco}$$

Hallamos la tasa de evaporación ( $\dot{m}_{tv}$ ) sucede durante el secado, es la diferencia de la masada de entrada ( $\dot{m}_{agu}$ ) y la masa de salida de agua ( $\dot{m}_{agusal}$ ).

$$\Delta \dot{m}_{tv} = \dot{m}_{agu} - \dot{m}_{agusal} \dots (11)$$

$$\Delta \dot{m}_{tv} = 149,04 \frac{kgagua}{h} - 15,6917 \frac{kgagua}{h} \Rightarrow \Delta \dot{m}_{tv} = 133,3483 \frac{kgagua}{h}$$

Sabemos que el quemador es el que genera calor ( $Q_1'$ ) antes de entrar al secado, podemos decir que el calor ( $Q_2'$ ) es el calor entregado por el aire caliente son iguales, porque en el proceso de secado solo hay una fuente de calor. Sabiendo eso podemos obtener el flujo másico de aire ( $\dot{m}'_a$ ) igualando las siguientes ecuaciones.

$$Q_1' = \dot{m}'_a \cdot (h_2) - (h_1) \dots (12)$$

$$\dot{Q}_2 = \Delta \dot{m}_{tv} \cdot (h_{fg}) + \dot{m}_{cain} \cdot (Cp_{café}) \cdot (T_2 - T_1) \dots (13)$$

Donde:

$$h_{fg} = \text{Calor latente de vaporización del agua } (2\,257 \frac{KJ}{Kg})$$

$$Cp_{café} = \text{Calos específico del grano de café } (1,3556 + 5,7859M \frac{KJ}{Kg \cdot K})$$

Donde M es el contenido de humedad.

De esa manera igualamos la ecuación (12) y (13), y nos queda.

$$\dot{m}_a \cdot (h_2) - (h_1) = \Delta \dot{m}_{tv} \cdot (h_{fg}) + \dot{m}_{cain} \cdot (T_2 - T_1)$$

Una vez obtenida la ecuación anterior despejamos el flujo másico de aire ( $\dot{m}_a$ ).

Entonces queda así:

$$\dot{m}_a = \frac{\Delta \dot{m}_{tv} \cdot (h_{fg}) + \dot{m}_{cain} \cdot (Cp_{café}) \cdot (T_2 - T_1)}{(h_2) - (h_1)} \dots (14)$$

Reemplazamos todos los valores

$$m_a = \frac{133,3483 \frac{kg}{h} \cdot (2\,257 \frac{KJ}{kg}) + 276 \frac{kg}{h} \cdot (323,15 K - 298,15 K)}{(326,561 \frac{Kj}{kg}) - (295,3859 \frac{Kj}{kg})}$$

$$m_a = 0,2744 \frac{kg}{s}$$

Ahora calculamos el flujo de aire ( $V_1$ ) pero como un gas ideal.

$$V_1 = \frac{(R_a) \cdot (T_1)}{P_a} \dots (15)$$

Donde:

$$R_a = \text{Cosntate universal de los gases } 0,287 \frac{KPa \cdot m^3}{Kg \cdot K}$$

Donde  $P_a$  es:

Interpolamos para hallar la presión a 1 500 msnm. (VER ANEXO 22)

Tabla 13: Datos para interpolar Presión (P)

Datos	Altura (msnm)	Presión (Kpa)
1	1 400	85,60
2	1 500	x
3	1 600	83,53

Fuente: Elaboración Propia

Tenemos que hallar el valor de “X”

$$\frac{T_3 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{p_3 - p_1}{p_3 - p_2}$$

$$\frac{1\,600 - 1\,400}{1\,600 - 1\,500} = \frac{83,53 - 85,60}{83,53} \Rightarrow X = P = 84,565$$

Reemplazamos “X” y el resto de los datos.

$$P_a = P - P_1 \dots (16)$$

$$P_a = 84,565 \text{ Kpa} - 1,9018 \text{ Kpa} \Rightarrow P_a = 83,1615 \text{ Kpa}$$

Reemplazamos el resultado de la formula (16) en (14)

$$V_1 = \frac{(0,287 \frac{\text{KPa} \cdot \text{m}^3}{\text{Kg} \cdot \text{K}}) \cdot (298,15 \text{ K})}{85,818 \text{ Kpa}} \Rightarrow V_1 = 1,0117 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

Una vez obtenido el flujo másico de aire ( $m' a$ ) y flujo de aire ( $V_1$ ) el podemos hallar el flujo volumétrico de aire ( $V'$ ).

$$V' = (m' a) \cdot (V_1) \dots (17)$$

$$V' = (0,2744 \frac{\text{kg}}{\text{s}}) \cdot (0,9971 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}) \Rightarrow V' = 0,2776 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \Rightarrow V' = 999,5208 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

### 4.3.3. Cálculo del Cilindro

De acuerdo a la data extraída de la asociación de productores agropecuarios “Señor Cautivo” en el año 2017 produjo 8 942,17 quintales de café; sin embargo por problemas originados por el cambio climático la producción del año 2018 se redujo; pero obviando el problema de ese año y siguiendo la tendencia de crecimiento que tiene la asociación, nosotros tomaremos como referencia 9 000 quintales de café, lo que traducido en kilogramos es 490 800; todo el proceso de la cosecha hasta el secado tiene un periodo de cinco meses; eso quiere decir que en un mes es necesario secar aproximadamente un total de 99 360 KG, por lo tanto el secador rotatorio necesita trabajar con un promedio de 3 312 KG diarios para de esa manera poder satisfacer la demanda de la asociación; partiendo de ese punto, estimamos que el secador tendrá tres rondas de secado de 1 104 Kg diarios, que es por eso que el cilindro lo dimensionaremos para una capacidad total de 1 200 Kg, es decir 1,2 toneladas.

Para seguir determinando correctamente tanto el largo como el ancho del cilindro donde se secará el café es necesario considerar el área donde el café tiene contacto con el aire seco caliente, es por eso que solo el café húmedo debería ocupar la mitad del cilindro de esta manera la otra mitad sea llenada con el flujo de aire seco caliente.

Tenemos la densidad del café húmedo o también llamado café verde. [37]

$$\rho_{café} = 826 \frac{kG}{m^3}$$

Sabemos que el volumen específico es la inversa de la densidad.

$$v = \frac{1}{\rho_{café}} \dots (18)$$

$$v = \frac{1}{826 \frac{m^3}{kG}} \Rightarrow v = 0,00121 \frac{m^3}{kG} \Rightarrow v = 1,21 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{kG}$$

De esta manera podemos calcular el volumen de la mitad del cilindro que tiene el café húmedo.

$$VolCafé = v \cdot m_{café} \dots (19)$$

$$VolCafé = 1,21 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{kG} \cdot 1\,200\,kG \Rightarrow VolCafé = 1,4528\,m^3$$

Una vez calculado el volumen del café húmedo en el cilindro podemos deducir:

$$VCilindro = 2 \cdot VolCafé \dots (20)$$

Por otro lado, sabemos que la fórmula para calcular el área del cilindro es:

$$VCilindro = \pi \cdot r^2 \cdot L \dots (21)$$

Donde r es el radio y L es la longitud del cilindro en metros.

Por criterio se ha escogido el radio del cilindro de 0,6 m, de esta manera podemos igualar la ecuación (20) y la ecuación (21) para poder determinar la longitud del cilindro.

$$2 \cdot VolCafé = \pi \cdot r^2 \cdot L \dots (22)$$

Despejamos "L".

$$L = \frac{2 \cdot VolCafé}{\pi \cdot r^2} \Rightarrow L = \frac{2 \cdot 4,2373\,m^3}{\pi \cdot (1\,m)^2} \Rightarrow L = 2,569\,m$$

Calculamos el peso del Café, donde  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ ; es la gravedad y  $m_{café}$  es la masa del café húmedo. Entonces tenemos que:

$$W_F = m_{café} \cdot g \dots (23)$$

$$W_F = 1\,200\,kG \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \Rightarrow W_F = 11\,772 \frac{kG \cdot m}{s^2} \Rightarrow W_F = 11\,772\,N$$

El peso se comporta como una fuerza distribuida dentro del cilindro, es por eso que se hará un análisis de flexión del mismo.

$$W_{F1} = \frac{W_F}{L} \dots (24)$$

Reemplazamos (23) en la ecuación (24)

$$W_1 = \frac{11\,772\text{ N}}{2,569\text{ m}} \Rightarrow W_1 = 4\,582,172 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Se utilizará como material del cilindro el acero inoxidable AISI 304 laminado en caliente y de 5,9 mm de espesor, los datos necesarios se tomaron de la empresa CARBONE STAINLESS STEEL. (VER ANEXO 23)

A continuación se hallará la inercia del cilindro [38], donde  $R_{cil}$  es el radio del cilindro y  $e$  es el espesor que hemos lo tomado por criterio de 5.9 milímetros.

$$I_{cil} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (R_{cil} - e)^4 \dots (25)$$

$$I_{cil} = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,6 - 0,0059\text{ m})^4 \Rightarrow I_{cil} = 0,195685\text{ m}^4$$

Se recurrirá al diagrama lógico elaborado por Robert Mott para definir que método es el más adecuado utilizar. (VER ANEXO 24)

Siguiendo el diagrama lógico elaborado por Robert Mott, nuestro cilindro lleva una carga cíclica de amplitud constante y será de un material dúctil y estará sometido a un esfuerzo fluctuante, es por eso que utilizaremos el Método de Goodman.

La ecuación que usa este libro es la siguiente:

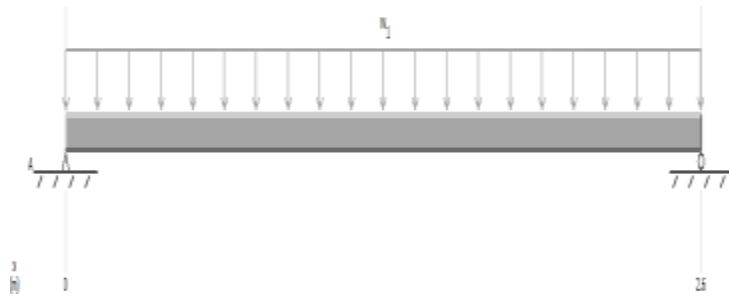
$$\frac{(K_t)(\sigma_a)}{S_n} + \frac{\sigma_m}{S_u} = \frac{1}{N} \dots (26)$$

Se escogerá un factor de diseño  $N$  de 2,5 porque el cilindro estará sometido a cargas dinámicas con confianza promedio.

Luego se halla el esfuerzo en el cilindro que se representa con  $r_{cil}$ ,  $C$  es la distancia del centro al punto más lejano del cilindro y  $M$  es el momento flector.

Con ayuda del Software MD Solid se hallará el momento flector.

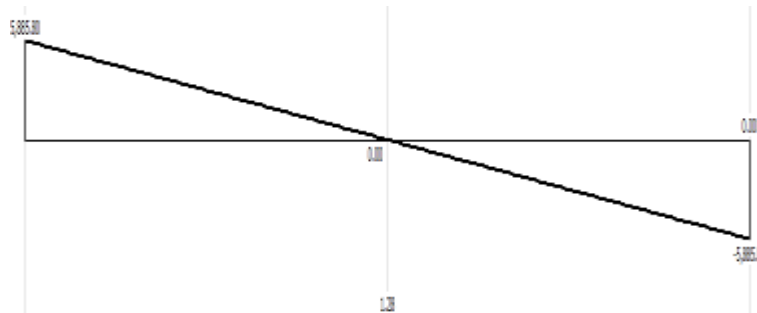
Figura 33: Fuerza Distribuida en el Cilindro



Fuente: Software MD Solid

La magnitud total de la carga distribuida en esta región es de  $4\,582,17\text{ N/m}$ , actuando hacia abajo. El área bajo el diagrama de carga entre  $A = 0,00\text{ m}$  (punto inicial) y  $B = 2,569\text{ m}$  (punto final) es  $-11\,771,60\text{ N}$  (es decir,  $-4\,582,172\text{ N/m} \times 2,569\text{ m}$ ). El cambio en el corte entre  $x = 0,00\text{ m}$  y  $x = 2,569\text{ m}$  es igual al área debajo del diagrama de carga entre estos dos puntos. En  $x = 0,00\text{ m}$ , la fuerza de corte es  $5\,885,80\text{ N}$ . La adición de  $-11\,771,60\text{ N}$  a este valor da una fuerza de corte de  $V = -5\,885,80\text{ N}$  en  $x = 2,569\text{ m}$ .

Figura 34: Diagrama de Fuerza Cortante para el Cilindro



Fuente: Software MD Solid

La pendiente de la curva de corte en la región es  $-4\,582,172\text{ N/m}$ . La pendiente de la curva de corte se define como el cambio en el corte dividido por el cambio en la distancia. Se debe calcular el punto donde la curva de corte cruza el eje horizontal.

Comenzando en  $x = 0,00\text{ m}$  donde  $V = 5\,885,80\text{ N}$ , la cizalla debe cambiar en  $-5\,885,80\text{ N}$  para alcanzar el eje horizontal. Divida  $-5\,885,80\text{ N}$  (es decir, el cambio en el corte) por la pendiente  $-4\,582,172\text{ N/m}$  para calcular la distancia desde  $x = 0,00\text{ m}$  hasta el punto de corte cero.

Esta distancia es igual a 1,285 m. Una fuerza de corte cero ocurre en  $x = 1,285$  m. Un valor máximo o mínimo relativo del momento de flexión corresponde a esta ubicación.

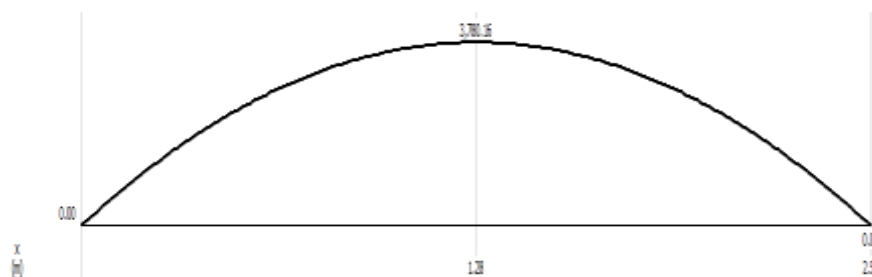
En el extremo A el cambio en el momento entre dos puntos en la viga es igual al área bajo la curva de corte entre los mismos dos puntos. El área bajo la curva de corte entre los puntos  $x = 0,00$  m y  $x = 1,285$  m es 3 780,16 N-m. El momento en  $x = 0,00$  m es 0,00 N-m. Si se agrega el área bajo la curva de corte (3 780,16 N-m) a 0,00 N-m, se obtiene un momento de flexión de 3 780,16 N-m en  $x = 1,285$  m.

En esta región, la curva de momento es parabólica (es decir, curva de segundo orden), que comienza con una pendiente positiva relativamente grande y se vuelve cada vez más plana.

Pero en el extremo B el cambio en el momento entre dos puntos en la viga es igual al área bajo la curva de corte entre los mismos dos puntos. El área bajo la curva de corte entre los puntos  $x = 1,285$  m y  $x = 2,569$  m es -3 780,15 N-m. El momento en  $x = 1,285$  m es 3 780,16 N-m. Al agregar el área bajo la curva de corte (-3 780,15 N-m) a 3 780,16 N-m, se obtiene un momento de flexión de 0,001495 N-m en  $x = 2,569$  m.

En esta región, la curva de momento es parabólica (es decir, curva de segundo orden), comenzando con una pendiente plana y creciendo cada vez más.

Figura 35: Diagrama del Momento Flector para el Cilindro



Fuente: Software MD Solid

Hallamos la tensión del cilindro, dónde  $M$  es el momento flector, que lo hemos hallado con ayuda del Software MD Solid.

$$r_{cil} = \frac{M \cdot C}{I_{cil}} \dots (27)$$

$$r_{cil} = \frac{M.C}{I_{cil}} \Rightarrow r_{cil} = \frac{(3\,780,16\text{ N.m})(0,6\text{ m})}{1,534\text{ m}^4} \Rightarrow r_{cil} = 11\,476,558 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$r_{cil} = 0,011476558\text{ MPA}$$

Hallamos la tensión permisible,  $S'_n = 0,577$ ,  $S_y$  es el límite de fluencia que lo determina el material, en nuestro caso es acero inoxidable, los datos necesarios se tomaron de la empresa CARBONE STAINLESS STEEL. (VER ANEXO 23)

Se utilizará un factor de diseño (N) de 2,25 porque se está empleando para un diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.

$$r_{perm} = \frac{0,577 \cdot S_y}{N} \dots (28)$$

$$r_{perm} = \frac{0,577 \cdot 4,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2,5} \Rightarrow r_{perm} = 1,131 \frac{\text{kG}}{\text{mm}^2} \Rightarrow r_{perm} = 1,131\text{ MPA}$$

Después de haber hallado la tensión permisible ( $r_{perm}$ ) como la tensión del cilindro ( $r_{cil}$ ), podemos observar que la tensión del cilindro es mucho menor que la tensión permisible; eso quiere decir que nuestro cilindro podrá soportar esa presión.

$$r_{perm} > r_{cil}$$

Ahora calcularemos la deflexión en el cilindro ( $Y_{cil}$ ), donde W y E es la elasticidad en nuestro caso es acero inoxidable, los datos necesarios se tomaron de la empresa CARBONE STAINLESS STEEL. (VER ANEXO 23)

$$Y_{cil} = \frac{(-5)(W_F)(L^4)}{384 \cdot E \cdot I_{cil}} \dots (29)$$

$$Y_{cil} = \frac{-5 \cdot (11\,772 \frac{\text{N}}{\text{m}}) \cdot (2,698\text{ m})^4}{384 \cdot (230 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}) \cdot 0,011476558\text{ m}^4}$$

Convertimos los  $230 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  a  $\text{m}^2$

$$Y_{cil} = \frac{-5 \cdot (11\,772 \frac{N}{m^2}) \cdot (2,698 \text{ m})^4}{384 \cdot (230 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}) \cdot 0,011476558 \text{ m}^4} \Rightarrow Y_{cil} = 0,0001484 \text{ m}$$

$$Y_{cil} = 1,484 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Hallamos la deflexión permisible  $Y_{perm}$

$$Y_{perm} = \frac{L}{100} \dots (30)$$

$$Y_{perm} = \frac{2,569 \text{ m}}{100} \Rightarrow Y_{perm} = 0,02569 \text{ m} \Rightarrow Y_{perm} = 2,569 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

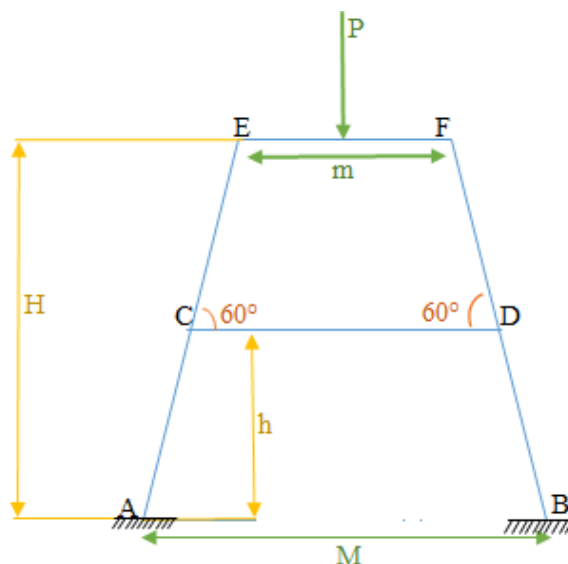
Después de haber hallado la deflexión permisible ( $Y_{perm}$ ) como la deflexión del cilindro ( $Y_{cil}$ ), dedujimos que el cilindro sí soportará la flexión causada por el peso.

$$Y_{perm} > Y_{cil}$$

#### 4.3.4. Cálculo de la Estructura que Soporta el Cilindro

Dimensiones del elemento

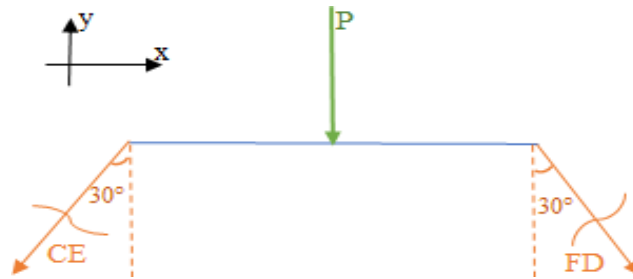
Figura 36: Diagrama de la base del cilindro.



Fuente: Elaboración Propia.

- DCL (EF)

Figura 37: Diagrama de cuerpo libre del segmento EF



Fuente: Elaboración Propia.

$$\sum F_x = 0 \dots (31)$$

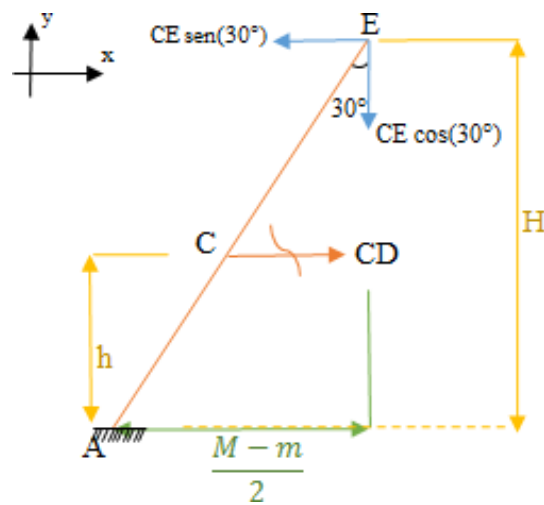
$$CD = FD$$

$$\sum F_y \dots (32)$$

$$-P - 2CE (\cos 30^\circ) = 0 \Rightarrow CE = -6\,792,4440 \text{ N}$$

- DCL (ACE)

Figura 38: Diagrama de cuerpo libre del segmento ACE



Fuente: Elaboración Propia

$$\sum M_A = 0 \dots (33)$$

$$-CD(h) - CE(\cos 30^\circ) \left( \frac{M-m}{2} \right) + CE(\sin 30^\circ)(h) = 0$$

Despejamos CD

$$CD = CE \left( H(\sin 30^\circ) - \left( \frac{M-m}{2} \right) (\cos 30^\circ) \right)$$

$$CD = -6\,792,4440 \left( 1,6(\sin 30^\circ) - \left( \frac{2-0,8}{2} \right) (\cos 30^\circ) \right)$$

$$CD = 11\,366,4858 \text{ N}$$

Se establece un factor de seguridad de 3,5.

$$F.S = \frac{\sigma_{mat}}{\sigma_{admisible}} \dots (34)$$

De acuerdo a los datos del fabricante

$$\sigma_{admisible} = \frac{\sigma_{mat}}{F.S} \dots 0$$

$$\sigma_{admisible} = \frac{68 \frac{N}{mm^2}}{3,5}$$

$$\sigma_{admisible} = 19,4286 \frac{N}{mm^2}$$

Aplicamos la siguiente fórmula para hallar el área de la sección transversal transversal ( $A_{sección\ Transversal}$ ), para cada una de las fuerzas

$$\sigma_{admisible} = \frac{P_{axial}}{A_{sección\ Transversal}} \dots (36)$$

Para CE

$$\text{Para } P_{axial} = CE = -6\,792,4440$$

$$A_{sección\ Transversal} = \frac{6\,792,4440}{19,4286} \Rightarrow A_{sección\ Transversal} = 349,611 \text{ m}^2$$

$$A_{sección\ Transversal} = 0,5419 \text{ in}^2$$

$$\text{Para } P_{axial} = CE = 11\,366,4858$$

$$A_{sección\ Transversal} = \frac{11\,366,4858}{19,4286} \Rightarrow A_{sección\ Transversal} = 585,0397\ m^2$$

$$A_{sección\ Transversal} = 0,9068\ in^2$$

Se tomará la mayor área de sección transversal, es decir  $0,9068\ in^2$ , por ser un valor más comercial y más fácil de encontrar en el mercado se utilizará  $1\ in^2$ .

#### 4.3.5. Selección del Motor

Para calcular la potencia del motor se utilizará la fórmula de la NEMA de potencia de un motor para un mecanismo giratorio.

$$P = \left( \frac{M \cdot N}{9\,500} \right) \cdot n \dots (37)$$

Donde P es la potencia mínima del motor en KW; M es el par de giro del motor, n es el número necesario de revoluciones por minuto (rpm) para nuestro caso tomaremos 10 rpm.

Hallamos el par de giro del motor, en el cual D es la distancia, en nuestro caso tomaremos el radio de 0,6 m y F es la fuerza que ejerce el café en el cilindro; es decir; 11 772 N.

$$M = D \cdot F \dots (38)$$

$$M = 0,6\ m \cdot 11\,772\ N \Rightarrow M = 7\,063\ Nm$$

Entonces la fórmula para un mecanismo giratorio quedaría de la siguiente manera. Tomaremos como criterio que nuestro motor trabaja con una eficiencia del 80%; por lo tanto, n toma el valor de 0,80

$$P = \left( \frac{7\,063\ Nm \cdot 10\ rpm}{9\,500} \right) \cdot 0,80$$

$$P = 5,9480\ KW \Rightarrow P = 7,9762\ HP$$

De esta manera necesitamos como mínimo de 7,9762 HP para hacer girar el cilindro del secador, es por ello elegiría un motor comercial de 8 HP, como sin embargo por necesidad de disminuir las RPM se procederá a calcular un motorreductor.

#### 4.3.6. Cálculo del motorreductor

Como sabemos necesitamos un motor de 8 Hp, ahora procederemos a calcular el motorreductor, para poder alcanzar las RPM necesarias para que gire el cilindro.

Tomaremos un factor de seguridad de 1,25, debido a que el motorreductor trabajará de manera continua por 12 horas.

$$P_{motorreductor} = (P)(factor\ de\ seguridad) \dots (39)$$

$$P_{motorreductor} = (7,9762)(1.25) \Rightarrow P_{motorreductor} = 10\ Hp$$

De esta manera escogeremos un motorreductor de 10 Hp de la marca SEWEURODRIVE. (VER ANEXO 25)

#### 4.3.7. Cálculo del piñón y de la rueda

Primero se debe calcular la relación de velocidad ( $R_v$ ), esto se obtendrá de las velocidades del motorreductor al piñón de 93 rpm y de la velocidad deseada en la rueda de 10 rpm. Donde  $W_p$  es la velocidad en el piñón y  $W_R$  es la velocidad en la rueda.

$$R_v = \frac{W_p}{W_R} \dots (40)$$

$$R_v = \frac{93\ rpm}{10\ rpm} \Rightarrow R_v = 9,3$$

Hemos establecido como parámetros el diámetro del piñón ( $D_p$ ) de 6 pulgadas de, el número de dientes del piñón ( $N_p$ ) es 12, el diámetro de la rueda ( $D_R$ ) es de 55 pulgadas, el número de dientes de la rueda ( $N_D$ ) 110 y tiene un paso diametral ( $P_d$ ) de 5 pulgadas.

Una vez hallado el número de dientes del piñón podemos encontrar el número de dientes de la rueda ( $N_R$ ) utilizando la relación de velocidad.

$$R_v = \frac{N_R}{N_P} \dots (41)$$

$$R_v = \frac{93 \text{ rpm}}{10 \text{ rpm}} \Rightarrow R_v = 9,3$$

Obtenemos el factor de seguridad de los engranes, para lograr esto se seguirá el procedimiento AGMA, las ecuaciones se extrajeron del libro “*Diseño de máquinas*” de Robert L. Norton.

Esfuerzo en el piñón

$$\sigma_{cp} = C_p \sqrt{\left(\frac{W_t}{(F)(I)(d_p)}\right) \left(\frac{(C_a)(C_m)}{C_v}\right) (C_s)(C_f)} \dots (42)$$

Esfuerzo en la rueda.

$$\sigma_{cg} = C_p \sqrt{\left(\frac{W_t}{(F)(I)(d_g)}\right) \left(\frac{(C_a)(C_m)}{C_v}\right) (C_s)(C_f)} \dots (43)$$

Donde:

$C_a =$  Factor de Aplicación

$C_v =$  Factor Dinámico

$C_m =$  Factor de Distribución de Carga

$C_s =$  Factor de Tamaño

$I =$  Factor de Geometría Superficial

$C_p =$  Coeficiente Elástico

$C_f =$  Factor Terminado Superficial

$F =$  Ancho de Cara

$W_t =$  Fuerza Tangencial Sobre el Diente

Se prefiere un ancho de cara (F) que este dentro de los siguientes parámetros.

$$\frac{8}{P_d} < F < \frac{16}{P_d} \dots (44)$$

Reemplazamos el paso diametral ( $P_d$ ) = 5 pulg

$$\frac{8}{5} < F < \frac{16}{5} \Rightarrow 1,6 < F < 3,2$$

Tomamos como el ancho de cara el mayor, en este caso 3.2; de esa manera seleccionamos el factor de distribución de carga,  $c_m = 1,70$  en la tabla n° (VER ANEXO 21)

Seleccionamos el factor de aplicación  $c_a = 1,00$  porque es un impacto uniforme (VER ANEXO 22)

Calculamos la Velocidad de paso  $V_t$ .

$$V_t = D_R \cdot W_R \dots (45)$$

$$V_t = 60 \text{ pulg} \cdot 3 \text{ rpm} \Rightarrow V_t = 180 \text{ pulg rpm} \Rightarrow V_t = 180 \text{ fpm}$$

Hallamos el Factor Dinámico  $C_v$

$$C_v = \left( \frac{A}{A + \sqrt{V_t}} \right)^B \dots (46)$$

Donde los valores de A y B se obtienen con las siguientes formulas

Calculamos B

$$B = \frac{(12 - Q_v)^2}{4} \dots (47)$$

$$B = \frac{(12 - 7)^2}{4} \Rightarrow B = 0,731$$

Calculamos A

$$A = 50 + 56 (1 - B) \dots (48)$$

$$A = 50 + 56 (1 - 0,731) \Rightarrow A = 65,0638$$

Reemplazamos los resultados de las ecuaciones (35), (47) y (48) en la ecuación (46)

$$C_v = \left( \frac{A}{A + \sqrt{V_t}} \right)^B$$

$$C_v = \left( \frac{65,0637}{65,0637 + \sqrt{180}} \right)^{0,731} \Rightarrow C_v = 0,7985$$

El factor de tamaño  $C_s = 1,00$ , consideramos para los 2 engranes.

El factor de superficie  $C_f = 1$  para engranes con buen acabado fabricados por métodos convencionales.

Calculamos el Factor de Geometría Superficial (I)

$$I = \frac{\cos \emptyset}{\left[ \frac{1}{\rho_p} \cdot \frac{1}{\rho_R} \right] \cdot D_p} \dots (49)$$

Para calcular  $\rho_p$  y  $\rho_R$  se utiliza las siguientes formulas.

$$\rho_p = \sqrt{\left[ r_p \cdot \frac{1}{P_d} \right]^2 - (r_p - \cos \emptyset)^2} - \frac{\pi}{P_d} \cdot \cos \emptyset \dots (50)$$

Tomamos como ángulo  $\emptyset = 20^\circ$

$$\rho_p = \sqrt{\left[ 3 \cdot \frac{1}{5} \right]^2 - (3 - \cos 20)^2} - \frac{\pi}{5} \cdot \cos 20 \Rightarrow \rho_p = 2,7002$$

$$\rho_R = (r_R + r_p) \cdot \sin \emptyset - \rho_p \dots (51)$$

$$\rho_R = (30 + 3) \cdot \sin(20) - 2,7002 \Rightarrow \rho_R = 27,4270$$

Reemplazamos los resultados de las ecuaciones (50) y (51) en la ecuación (49).

$$I = \frac{\cos \emptyset}{\left[ \frac{1}{\rho_p} \cdot \frac{1}{\rho_R} \right] \cdot D_p}$$

$$I = \frac{\cos 20}{\left[ \frac{1}{2,7002} \cdot \frac{1}{27,4270} \right] \cdot 60} \Rightarrow I = 4,6177$$

Hallamos el Coeficiente elástico ( $C_p$ )

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{(\pi) \cdot \left[ \left( \frac{1 - V_p^2}{E_p} \right) - \left( \frac{1 - V_R^2}{E_R} \right) \right]}} \dots (52)$$

Donde  $E_p$  es módulo de elasticidad del piñón y  $E_R$  el módulo de elasticidad de la rueda, ambos se han creído conveniente que sean de Acero, los datos se extraen de la tabla n° (VER ANEXO 21). Y  $V_p$  y  $V_R$  son las razones de Poisson tanto del piñón como el de la rueda respectivamente, según el libro “*Diseño de máquinas*” de Robert L. Norton, se les toma con un supuesto de 0,3.

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{(\pi) \cdot \left[ \left( \frac{1 - 0,3^2}{30(10)^6} \right) - \left( \frac{1 - 0,3^2}{30(10)^6} \right) \right]}} \Rightarrow C_p = 2\,290,6039$$

Calculamos la Fuerza Tangencial al Diente ( $F_T$ )

$$W_T = \frac{W_1}{\frac{D_R}{2}} \dots (53)$$

$$W_T = \frac{4\,582, \frac{N}{m}}{\frac{55 \text{ pulg}}{2}}$$

Convertimos las pulgadas en cm.

$$W_T = \frac{4\,582,172 \frac{N}{m}}{\frac{55 \text{ pulg}}{2} \cdot \frac{2,54 \text{ cm}}{1 \text{ pulg}}} \Rightarrow W_T = \frac{4\,582,172 \frac{N}{m}}{\frac{139,7 \text{ cm}}{2}}$$

Convertimos los cm en m.

$$W_T = \frac{4\,582,172 \frac{N}{m}}{\frac{139,7 \text{ cm}}{2} \cdot \frac{0,01 \text{ m}}{1 \text{ cm}}} \Rightarrow W_T = \frac{4\,582,172 \frac{N}{m}}{\frac{1,397 \text{ m}}{2}} \Rightarrow W_T = 6\,560,0179 \text{ N}$$

Convertimos la fuerza tangencial en el diente de Newton (N) a Libra (Lb)

$$W_T = (6\,013,350 \text{ N}) \left( \frac{1 \text{ lb}}{4,448 \text{ N}} \right) \Rightarrow W_T = 1\,474,824 \text{ Lb}$$

Reemplazamos todos los datos obtenidos anteriormente en la ecuación (42) para

encontrar el esfuerzo del piñón.

$$\sigma_{cp} = C_p \sqrt{\frac{W_t}{F.I.d_p} \cdot \frac{C_a \cdot C_m}{C_v} \cdot C_s \cdot C_f}$$

$$\sigma_{cp} = (2\,290,6039) \sqrt{\frac{1\,474,824}{(3,2) \cdot (5,0369) \cdot (6)} \cdot \frac{(1) \cdot (1,7)}{0,719} \cdot (1) \cdot (1)}$$

$$\sigma_{cp} = 28\,748,9658 \text{ psi}$$

Reemplazamos todos los datos obtenidos anteriormente en la ecuación (43) para encontrar el esfuerzo en la rueda.

$$\sigma_{cR} = C_p \sqrt{\frac{W_t}{F.I.d_R} \cdot \frac{C_a C_m}{C_v} \cdot C_s \cdot C_f}$$

$$\sigma_{cR} = (2\,290,6039) \cdot \sqrt{\frac{1\,351,922}{3,2 \cdot (5,0369) \cdot (60)} \cdot \frac{(1) \cdot (1,7)}{0,719} \cdot (1) \cdot (1)}$$

$$\sigma_{cp} = C_p \sqrt{\frac{W_t}{F.I.d_g} \cdot \frac{C_a \cdot C_m}{C_v} \cdot C_s \cdot C_f}$$

$$\sigma_{cp} = (2\,290,6039) \sqrt{\frac{1\,351,922}{(3,2) \cdot (5,0369) \cdot (60)} \cdot \frac{(1) \cdot (1,7)}{0,719} \cdot (1) \cdot (1)}$$

$$\sigma_{cR} = 9\,091,2212 \text{ psi}$$

Calcular la resistencia a la fatiga superficial corregida ( $S_{fc}$ )

$$S_{fc} = \frac{(C_L) \cdot (C_H)}{(C_T)(C_R)} \cdot (S_{fc}') \dots (54)$$

Donde:

$S_{fc}' = \text{Resistencia a la fatiga}$

$C_L = \text{Factor de Vida}$

$C_T = \text{Factor de Temperatura}$

$C_H = \text{Factor de Dureza}$

$C_R = \text{Factor de Confiabilidad}$

Para el factor de vida  $C_L$ , se optará el número de ciclos del engrane en 10 años.

$$N = W_R \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{h}\right) \cdot \left(\frac{2\,080 \text{ h}}{\text{año}}\right) \cdot 10 \text{ años.} \quad (55)$$

$$N = 10 \cdot (10 \text{ años}) \cdot \left(\frac{2\,080 \text{ h}}{\text{año}}\right) \cdot \left(\frac{60 \text{ min}}{h}\right) \Rightarrow N = 12\,480\,000$$

Utilizaremos la línea por debajo de la curva porque esta se utiliza usualmente para trabajos críticos de servicio, esto le permite que este un poco desgastado o picado. (VER ANEXO 25)

$$C_L = (2,466) \cdot (N)^{-0,056} \dots \quad (56)$$

$$C_L = (2,466) \cdot (3\,744\,000)^{-0,056} \Rightarrow C_L = 1,4802$$

Para el factor dureza  $C_H$  para los engranes de la rueda y del piñón; los dos serán totalmente endurecidos, por lo tanto la rueda tendrá una dureza de 180 HB y el piñón tendrá una dureza de 300 HB. (VER ANEXO 26)

Entonces tenemos la fórmula para piñones endurecidos totalmente que trabajan con rueda totalmente endurecidos.

$$C_H = 1 + A(m_G - 1) \dots \quad (57)$$

Donde  $m_G$  es la razón de los engranes; A se obtiene de acuerdo de a la división de la dureza del piñón y de la rueda. (VER ANEXO 27)

Entonces

$$\frac{HB_p}{HB_R} \dots (58)$$

$$\frac{300 \text{ HB}}{180 \text{ HB}} = 1,667$$

Como  $1.667 > 1,2$ .

Entonces

$$A = 0,00898 \cdot \left( \frac{HB_p}{HB_R} \right) - 0,00829 \dots (59)$$

$$A = 0,00898 \cdot \left( \frac{300 \text{ HB}}{180 \text{ HB}} \right) - 0,00829 \Rightarrow A = 0,0067$$

Reemplazamos A en la ecuación (57)

$$C_H = 1 + 0,00667(1,667 - 1) \Rightarrow C_H = 1,0045$$

Ahora hallamos el factor de temperatura  $C_T$ . Para nuestra temperatura de operación, que es temperatura ambiente,  $C_T = 1$ .

Obtendremos la resistencia a la fatiga ( $S'_{fc}$ )

$$S'_{fc} = 26\,000 + 327 \text{ HB} \Rightarrow S'_{fc} = 26\,000 + 327 (180) \Rightarrow S'_{fc} = 84\,860$$

Encontramos el factor de confiabilidad del 99,9%. Entonces  $C_R = 1,25$

Entonces reemplazamos todos los valores anteriormente encontrados en la ecuación (54)

$$\begin{aligned}
 & S_{fc} = 0 \quad \text{Hallamos el factor de seguridad para fallas superficiales en el contacto en el} \\
 & \quad \quad \quad \text{piñón.} \\
 & = \frac{(C_L) \cdot (0,32,7)}{(C_T) \cdot (1,25)} \cdot (S'_{sf}) \\
 & = \\
 & > S_{fc} \\
 & = \frac{(1,4802) \cdot (1,0045)}{(1) \cdot (1,25)} \cdot (84\,860) \\
 & S_{fc} \\
 & = \\
 & 10
 \end{aligned}$$

$$N_{cp} = \left( \frac{S_{fc}}{\sigma_{cp}} \right)^2 \dots (60)$$

$$N_{cp} = \left( \frac{100\,932,7359 \text{ psi}^2}{28\,748,9658 \text{ psi}} \right) \Rightarrow N_{cp} = 12,3259$$

Hallamos el factor de seguridad para fallas superficiales en el contacto en la rueda.

$$N_{cR} = \left( \frac{S_{fc}}{\sigma_{cR}} \right)^2 \dots (61) \quad \Rightarrow N_{cR} = 123,2593$$

$$N_{cR} = \left( \frac{100\,932,7359 \text{ psi}^2}{9\,091,2212 \text{ psi}} \right)$$

### 4.3.7. Calculo del quemador

#### Temperatura de ablandamiento (TA)

Tabla 14: Composición de la ceniza de biomasa para café.:

Composición de las ceniza de Biomosas					
	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total
Café	9,8%	4,5%	36,9%	3,4%	54,6%

Fuente: Combustión of agricultural residues; Prog. Energy Combust.Sci

$$CaO = \left( \frac{9,8}{54,6} \right) (100) = 17,95\%$$

$$Al_2O_3 = \left( \frac{4,5}{54,6} \right) (100) = 8,24\%$$

$$K_2O = \left( \frac{36,9}{54,6} \right) (100) = 67,58\%$$

$$P_2O_5 = \left( \frac{3,4}{54,6} \right) (100) = 6,23\%$$

Entonces:

$$TA = 1,81c(CaO) + 1,81c(Al_2O_3) - 1,81c(K_2O) + 1,81c(P_2O_5) + 1017 (62)$$

$$TA = 1,81(17,95) + 1,81(8,24) - 1,81(67,58) + 1,81(6,23) + 1017$$

$$TA = 954,2949 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabla 15: Composición de los elementos que conforman la biomasa del café.

	Con Ceniza		Sin ceniza		Peso Molecular
	Peso por Kg	Precentaje	Peso por Kg	Precentaje	
Carbono	49,4	0,4940	50,625	0,5063	12,012
Hidrogeno	6,1	0,0610	6,251	0,0625	1,008
Oxigeno	41,2	0,4120	42,222	0,4222	16,000
Nitrogeno	0,81	0,0081	0,830	0,0083	14,007
Azufre	0,07	0,0007	0,072	0,00072	32,065
Ceniza	2,5	0,0250	-	-	-
Humedad	10,1	0,101	10,100	0,101	-

Fuente: Wilson, Geoffrey, mhilu, yang & Blasiak, 2010

### Poder calorífico superior de la cascarilla de café (PCS)

$$PCS = (0,3491)(X_C) + (1,1783)(X_H) + (0,1005)(X_S) - (0,0151)(X_N) \\ - (0,1034)(X_O) - (0,0211)(X_{Cenizas}); \left(\frac{MJ}{kg}, d, b\right) \dots (63)$$

$$PCS = (0,3491)(49,4) + (1,1783)(6,1) + (0,1005)(0,07) - (0,0151)(0,81) \\ - (0,1034)(41,2) - (0,0211)(2,5); \left(\frac{MJ}{kg}, d, b\right)$$

$$PCS = 20,1151 \left(\frac{MJ}{kg}, d, b\right)$$

### Poder Calorífico Inferior del combustible (PCI)

$$PCI = PCS \left(1 - \frac{w}{100}\right) - 2,444 \left(1 - \frac{w}{100}\right) - 2,444(8,936) \left(\frac{h}{100}\right) \left(1 - \frac{w}{100}\right); \left(\frac{MJ}{kg}, w, b\right) \dots (64)$$

Donde:

$w =$  Contenido de humedad de la cascarilla de café en wt%; (w. b)

$h =$  Concentración del hidrógeno en wt%; (w. b)

Entonces:

$$PCI = 20,1151 \left(1 - \frac{10,1}{100}\right) - 2,444 \left(1 - \frac{10,1}{100}\right) - 2,444(8,936) \left(\frac{6,1}{100}\right) \left(1 - \frac{10,1}{100}\right); \left(\frac{MJ}{kg}, w, b\right)$$

$$PCI = 14,6855; \left(\frac{MJ}{kg}, w, b\right)$$

### Oxígeno requerido

$$\bar{m}_{O_2 \text{aire}} = \left( \left( X \frac{M_{O_2}}{M_c} + \frac{3H}{4M_H} \left( \frac{0,062592}{4M_f} \left( \frac{-32}{1,008} \right) \right) + (1 - H_{\text{comb}}) \lambda \left( \frac{32}{32,065} \right) - 0,422 \right) (1 - 0,101) \right) (2)$$

$$\bar{m}_{O_2 \text{aire}} = 2,5592 \left( \frac{Kg. O_2}{Kg. \text{fuel. waft}} \right)$$

Donde:  $\lambda$  = Exceso de aire  $\lambda; = 2$

### Nitrógeno requerido

El aire está compuesto por 20,945% Oxígeno y 78,08% Nitrógeno

$$\bar{m}_{N_2 \text{aire}} = \bar{m}_{\text{air}} \frac{Y_{N_2 \text{aire}} (M_{N_2})}{Y_{O_2 \text{aire}} (M_{O_2})} \dots (66)$$

$$\bar{m}_{N_2 \text{aire}} = 3,8376 \frac{(0,7808)(28,0134)}{(0,20945)(32)} \Rightarrow \bar{m}_{N_2 \text{aire}} = 7,3113 \left( \frac{Kg. N_2}{kg. \text{fuel. waft}} \right)$$

### Aire requerido

$$\bar{m}_{\text{aire}} = \bar{m}_{O_2 \text{aire}} + \bar{m}_{N_2 \text{aire}} \dots (67)$$

$$\bar{m}_{\text{aire}} = 2,5592 + 7,3113 \Rightarrow \bar{m}_{\text{aire}} = 9,8705 \left( \frac{Kg. \text{aire}}{kg. \text{fuel. waft}} \right)$$

### Gases de Combustión

$$\bar{m}_G = \bar{m}_{\text{aire}} + 1 \dots (68)$$

$$\bar{m}_G = 9,8705 + 1 \Rightarrow \bar{m}_G = 10,8705 \left( \frac{Kg. \text{flue. gas}}{kg. \text{fuel. waft}} \right)$$

### Temperatura adiabática de la llama

$$T_{\text{adiabática llama}} = T_1 + \frac{PCI}{(\bar{m}_{FG})(C_{p1})}$$

Donde:

$$T_1 = \text{Temperatura ambiente a } 20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$$

$$PCI = \text{Poder Calorífico de la cascarilla de café; } 17\,936 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kG}}\right)$$

$\bar{m}_G = \text{Gases de Combustión}$

$C_{p1} = \text{Calor específico del aire a temperatura ambiente}$

$$T_{\text{adiabática llama}} = 293,15 + \frac{14\,685,4809}{(10,8705)(1,007)}$$

$$T_{\text{adiabática llama}} = 1\,637,3770 \text{ K} \Rightarrow T_{\text{adiabática llama}} = 1\,364,2270^\circ\text{C}$$

Tabla 16: Comparación de Ablandamiento (TA) y Temperatura Adiabática en °C.

Utilizando exceso de aire de $\lambda=2$	
TA	T. Llama Adiaba
954,2949	1364,2270

Fuente: Elaboración Propia

Para evitar la fundición de las cenizas es necesario modificar el exceso de aire ( $\lambda$ ), de tal manera que se logrará disminuir la temperatura adiabática para que sea menos que la temperatura de ablandamiento.

### Determinar el nuevo exceso de aire ( $\lambda_1$ )

Es necesario modificar la temperatura de llama que hemos encontrado anteriormente, de esa manera es importante encontrar la relación de aire/combustible que tiene exceso de aire ya que está directamente con la temperatura de llama adiabática.

Para eso es necesario despejar la ecuación (69) de tal manera que encontremos la relación aire combustible.

$$T_{adiabatica\ llama} = T_1 + \frac{PCI}{(m_{FG})(Cp_{llab1})}$$

Entonces quedaría de esta manera:

$$\bar{m}_{FG} = \frac{PCI}{(Cp_{llab1})(T_{adiabatica\ llama} - T_1)} \dots (70) \quad G1)$$

De esa manera la nueva relación de aire combustible ( $\bar{m}_F$

$$\bar{m}_{FG1} = \frac{PCI}{(Cp_{llab1})(T_{adiabatica\ llama} - T_1)} \dots (71)$$

Es necesario que la temperatura adiabática de llama sea menos que la temperatura de ablandamiento, por consiguiente le disminuimos 100 °C:

$$T_{adiabatica\ llama1} = TA - 100^\circ C \Rightarrow T_{adiabatica\ llama1} = 954,2949^\circ C - 100^\circ C$$

$$T_{adiabatica\ llama1} = 854,2949^\circ C \Rightarrow T_{adiabatica\ llama1} = 1\ 127,4449\ K$$

De esta manera al restarle 100 °C a la temperatura de ablandamiento (TA), garantizamos que la temperatura adiabática no la sobrepase. Haciendo esto garantizamos que el horno no presente fallas por incrustaciones de ceniza (originada por elevadas temperaturas en la cámara de combustión).

Para poder calcular la capacidad calorífica de los gases de combustión ( $Cp_{llab1}$ ) es necesario conocer el calor específico de cada gas que se encuentra presente con su peso molecular pertinente. El cuadro mostrado a continuación muestranel componente de cada gas.

Tabla 17: Constantes de la capacidad calorífica

Componente	a	b	c	d
CO <sub>2</sub>	22,26	0,0598	-0,000035	7,50E-09
H <sub>2</sub> O	32,24	0,001923	0,000011	-3,60E-09
O <sub>2</sub>	26	-0,0014	0,0000052	-1,8E-09
SO <sub>2</sub>	25	0,05795	-0,00003812	8,61E-09
N <sub>2</sub>	28,9	-0,0016	0,0000081	-2,90E-09

Fuente: Elaboración Propia

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \left( \frac{kJ}{kmol} \right) \dots (72)$$

$$C_{pCO_2} = 22,26 + (0,0598)(1\,127,4449) + (-3,5(10^{-5}))(1\,127,4449)^2 + ((7,5)(10^{-9}))(1\,127,4449)^3 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$C_{pCO_2} = 55,8942 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$C_{pH_2O} = 32,24 + (0,001923)(1\,127,4449) + ((1,10)(10^{-5}))(1\,127,4449)^2 + ((-3,6)(10^{-9}))(1\,127,4449)^3 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$C_{pH_2O} = 15,8455 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$C_{pO_2} = 26 + (-0,0014)(1\,127,4449) + (((5,20)(10^{-6}))) (1\,127,4449)^2 + (((-1,8)(10^{-9}))) (1\,127,4449)^3 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$C_{pO_2} = 354025 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$C_{pSO_2} = 25 + (0,05795)(1\,127,4449) + (((3,812)(10^{-5}))) (1\,127,4449)^2 + (((8,612)(10^{-9}))) (1\,127,4449)^3 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$C_{pSO_2} = 55,0020 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$Cp_{N_2} = 28,9 + (-0,016)(1\,127,4449) + ((8,10)(10^{-6}))(1\,127,4449)^2$$

$$+ ((-2,9)(10^{-9}))(1\,127,4449)^3 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$Cp_{N_2} = 32,2834 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)$$

Tabla 18: Calor Especifico a 854,2949 °C de los Gases..

Cp de Gases (Kj/kmol K)			
<b>CO<sub>2</sub></b>	55,8942	<b>SO<sub>2</sub></b>	55,0020
<b>H<sub>2</sub>O</b>	15,8455	<b>N<sub>2</sub></b>	33,2834
<b>O<sub>2</sub></b>	35,4025		

Fuente: Elaboración Propia

Para hallar el nuevo exceso de aire ( $\lambda_1$ ) se utilizan las siguientes ecuaciones.

Entonces en la ecuación (66) reemplazamos la ecuación (67)

$$\bar{m}_{aire} = \bar{m}_{O_{2aire}} + \bar{m}_{N_{2aire}}$$

$$\bar{m}_{aire} = \bar{m}_{O_{2aire}} + \bar{m}_{O_{2aire}} \frac{Y_{N_{2aire}}(M_{N_2})}{Y_{O_{2aire}}(M_{O_2})}$$

$$\bar{m}_{O_{2aire}} = \frac{\bar{m}_{aire}}{1 + \frac{Y_{N_{2aire}}(M_{N_2})}{Y_{O_{2aire}}(M_{O_2})}} \dots (73)$$

Entonces Igualamos la ecuación (65) con la ecuación (73)

$$\left( X_c \frac{M_{O_2}}{M_C} + \frac{X_H M_{O_2}}{4 M_H} + X_s \frac{M_{O_2}}{M_s} - X_0 \right) (1 - X_{H_2O}) \lambda = \frac{\bar{m}_{aire}}{1 + \frac{Y_{N_2aire}(M_{N_2})}{Y_{O_2aire}(M_{O_2})}}$$

Entonces despejamos  $\lambda$

$$\lambda = \frac{\bar{m}_{aire}}{\left( 1 + \frac{Y_{N_2aire}(M_{N_2})}{Y_{O_2aire}(M_{O_2})} \right) \left( X_c \frac{M_{O_2}}{M_C} + \frac{X_H M_{O_2}}{4 M_H} + X_s \frac{M_{O_2}}{M_s} - X_0 \right) (1 - X_{H_2O})}$$

De la ecuación (68) podemos hallar el nuevo aire requerido:

$$\bar{m}_{G1} = \bar{m}_{aire1} + 1$$

$$\bar{m}_{aire1} = \bar{m}_{G1} - 1 \dots (75)$$

$$\bar{m}_{aire1} = 15,13 - 1 \Rightarrow \bar{m}_{aire1} = 14,13$$

Reemplazamos el nuevo aire requerido en la ecuación anterior.

$$\lambda_1 = \frac{14,131}{\left( 1 + \frac{0,7808(28,0134)}{0,20945(32)} \right) \left( 0,5063 \frac{32}{12,012} + \frac{0,0625}{4} \frac{32}{1,008} + 0,00072 \frac{32}{32,065} - 0,4222 \right) (1 - 0,101)}$$

$$\lambda_1 = 3,8653$$

Tabla 19: Nuevos resultados exceso de aire, gases/combustible

TA (°C)	Tllamadiabl	$M_{G1}$	$\bar{m}_{aire1}$	$\lambda$
954,2949	854,2949	15,1300	14,1300	3,8653

Fuente: Elaboración Propia

Es necesario utilizar medidas de reducción de emisiones secundarias, de esa forma disminuirán las emisiones de óxidos de nitrógeno originados por la cantidad de oxígeno que entra al horno, esto sucede porque el  $\lambda_1$  es muy elevado, es por eso que se utilizará la proporción de aire estimada inicialmente.

### Masa de los diferentes gases producto de la combustión

$$m_{CO_2} = 44,0115; m_{H_2O} = 18,0159; m_{H_2} = 2,0159; m_{SO_2} = 64,065$$

$$\bar{m}_{CO_2} = (X_c) \left( \frac{M_{CO_2}}{-m_c} \right) (1 - X_{H_2O}) \dots (75)$$

$$\bar{m}_{CO_2} = (0,5063) \left( \frac{44,012}{12,012} \right) (1 - 0,1010) \Rightarrow \bar{m}_{CO_2} = 1,6676 \left( \frac{\text{Kg. } CO_2}{\text{kg. fuel. waft}} \right)$$

$$\bar{m}_{H_2O} = (X_H) \left( \frac{M_{H_2O}}{M_{H_2}} \right) (1 - X_{H_2O}) \dots (77)$$

$$\bar{m}_{H_2O} = (0,0625) \left( \frac{18,016}{2,0159} \right) (1 - 0,1010) \Rightarrow \bar{m}_{H_2O} = 0,6032 \left( \frac{\text{Kg. } CO_2}{\text{kg. fuel. waft}} \right)$$

$$\bar{m}_{SO_2} = (X_H) \left( \frac{M_{SO_2}}{M_S} \right) (1 - X_{H_2O}) \dots (78)$$

$$\bar{m}_{SO_2} = (0,00072) \left( \frac{64,065}{32,065} \right) (1 - 0,1010) \Rightarrow \bar{m}_{SO_2} = 0,0013 \left( \frac{\text{Kg. } CO_2}{\text{kg. fuel. waft}} \right)$$

$$\bar{m}_{N_2} = \bar{m}_{N_2, \text{aire}} + X_N (1 - X_{H_2O}) \dots (78)$$

$$\bar{m}_{N_2} = 8,3518 + 0,083 + X_N (1 - 0,101) \Rightarrow \bar{m}_{N_2} = 7,3188 \left( \frac{\text{Kg. } CO_2}{\text{kg. fuel. waft}} \right)$$

$$\bar{m}_{O_2} = \left( \frac{\bar{m}_{O_2, \text{aire}}}{\lambda} \right) \cdot (\lambda - 1) \dots (80)$$

$$\bar{m}_{O_2} = \left( \frac{3,8376}{3} \right) \cdot (2 - 1) \Rightarrow \bar{m}_{O_2} = 1,2796 \left( \frac{\text{Kg. } CO_2}{\text{kg. fuel. waft}} \right)$$

### Fracciones de masa de los gases de combustión

Los gases procedentes de la combustión son;  $X_{CO_2}$ ,  $X_{H_2O}$ ,  $X_{SO_2}$ ,  $X_{N_2}$  y  $X_{O_2}$ , se pudieron calcular la masa total de los gases de la combustión.

$$X_{CO_2} = \frac{\bar{m}_{CO_2}}{\bar{m}_{CO_2} + \bar{m}_{H_2O} + \bar{m}_{SO_2} + \bar{m}_{N_2} + \bar{m}_{O_2}} \dots (81)$$

$$X_{CO_2} = \frac{1,6676}{1,6676 + 0,6032 + 0,0013 + 7,3188 + 1,2796} \Rightarrow X_{CO_2} = 0,1534$$

$$X_{H_2O} = \frac{\bar{m}_{H_2O}}{\bar{m}_{CO_2} + \bar{m}_{H_2O} + \bar{m}_{SO_2} + \bar{m}_{N_2} + \bar{m}_{O_2}} \dots (82)$$

$$X_{H_2O} = \frac{0,6032}{1,6676 + 0,6032 + 0,0013 + 7,3188 + 1,2796} \Rightarrow X_{H_2O} = 0,0555$$

$$X_{SO_2} = \frac{\bar{m}_{SO_2}}{\bar{m}_{CO_2} + \bar{m}_{H_2O} + \bar{m}_{SO_2} + \bar{m}_{N_2} + \bar{m}_{O_2}} \dots (83)$$

$$X_{SO_2} = \frac{0,0013}{1,6676 + 0,6032 + 0,0013 + 7,3188 + 1,2796} \Rightarrow X_{SO_2} = 0,000119$$

$$X_{N_2} = \frac{\bar{m}_{N_2}}{\bar{m}_{CO_2} + \bar{m}_{H_2O} + \bar{m}_{SO_2} + \bar{m}_{N_2} + \bar{m}_{O_2}} \dots (84)$$

$$X_{N_2} = \frac{8,3592}{1,6676 + 0,6032 + 0,0013 + 7,3188 + 1,2796} \Rightarrow X_{N_2} = 0,6733$$

$$X_{O_2} = \frac{\bar{m}_{O_2}}{\bar{m}_{CO_2} + \bar{m}_{H_2O} + \bar{m}_{SO_2} + \bar{m}_{N_2} + \bar{m}_{O_2}} \dots (85)$$

$$X_{O_2} = \frac{1,2796}{1,6676 + 0,6032 + 0,0013 + 7,3188 + 1,2796} \Rightarrow X_{O_2} = 0,1177$$

### Fracción volumétrica de los gases producto de la combustión

Para encontrar el volumen de las diferentes especies gases de la combustión es necesario convertir la fracción másica de dichas especies.

$$Y_i = \frac{\frac{X_i}{M_i}}{\sum_i \frac{X_i}{M_i}}, \sum_i \frac{X_i}{M_i} = \frac{X_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{X_{H_2O}}{M_{H_2O}} + \frac{X_{SO_2}}{M_{SO_2}} + \frac{X_{N_2}}{M_{N_2}} + \frac{X_{O_2}}{M_{O_2}} \dots (86)$$

$$Y_{CO_2} = \frac{\frac{X_{CO_2}}{M_{CO_2}}}{\frac{X_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{X_{H_2O}}{M_{H_2O}} + \frac{X_{SO_2}}{M_{SO_2}} + \frac{X_{N_2}}{M_{N_2}} + \frac{X_{O_2}}{M_{O_2}}}$$

$$Y_{CO_2} = \frac{\frac{0,1400}{44,012}}{\frac{0,1534}{44,012} + \frac{0,0555}{18,016} + \frac{0,000119}{64,065} + \frac{0,6733}{28,0134} + \frac{0,1177}{32}} \Rightarrow Y_{CO_2} = 0,1017$$

$$Y_{H_2O} = \frac{\frac{X_{H_2O}}{M_{H_2O}}}{\frac{X_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{X_{H_2O}}{M_{H_2O}} + \frac{X_{SO_2}}{M_{SO_2}} + \frac{X_{N_2}}{M_{N_2}} + \frac{X_{O_2}}{M_{O_2}}}$$

$$Y_{H_2O} = \frac{\frac{0,0555}{18,016}}{\frac{0,1534}{44,012} + \frac{0,0555}{18,016} + \frac{0,000119}{64,065} + \frac{0,6733}{28,0134} + \frac{0,1177}{32}} \Rightarrow Y_{H_2O} = 0,0899$$

$$Y_{SO_2} = \frac{\frac{X_{SO_2}}{M_{SO_2}}}{\frac{X_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{X_{H_2O}}{M_{H_2O}} + \frac{X_{SO_2}}{M_{SO_2}} + \frac{X_{N_2}}{M_{N_2}} + \frac{X_{O_2}}{M_{O_2}}}$$

$$Y_{SO_2} = \frac{\frac{0,000119}{64,065}}{\frac{0,1534}{44,012} + \frac{0,0555}{18,016} + \frac{0,000119}{64,065} + \frac{0,6733}{28,0134} + \frac{0,1177}{32}} \Rightarrow Y_{SO_2} = 0,00005397$$

$$Y_{N_2} = \frac{\frac{X_{N_2}}{M_{N_2}}}{\frac{X_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{X_{H_2O}}{M_{H_2O}} + \frac{X_{SO_2}}{M_{SO_2}} + \frac{X_{N_2}}{M_{N_2}} + \frac{X_{O_2}}{M_{O_2}}}$$

$$Y_{N_2} = \frac{\frac{0,0555}{18,016}}{\frac{0,1534}{44,012} + \frac{0,0555}{18,016} + \frac{0,000119}{64,065} + \frac{0,6733}{28,0134} + \frac{0,1177}{32}} \Rightarrow Y_{N_2} = 0,7011$$

$$Y_{O_2} = \frac{\frac{X_{O_2}}{M_{O_2}}}{\frac{X_{CO_2}}{M_{CO_2}} + \frac{X_{H_2O}}{M_{H_2O}} + \frac{X_{SO_2}}{M_{SO_2}} + \frac{X_{N_2}}{M_{N_2}} + \frac{X_{O_2}}{M_{O_2}}}$$

$$Y_{O_2} = \frac{\frac{0,0555}{18,016}}{\frac{0,1534}{44,012} + \frac{0,0555}{18,016} + \frac{0,000119}{64,065} + \frac{0,6733}{28,0134} + \frac{0,1177}{32}} \Rightarrow Y_{O_2} = 0,1073$$

Tabla 20: Fracción volumétrica de los gases producto de la combustión.

Y <sub>i</sub>			
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,1017	<b>SO<sub>2</sub></b>	0,00005397
<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,0899	<b>N<sub>2</sub></b>	0,7011
<b>O<sub>2</sub></b>	0,10730828		

Fuente: Elaboración Propia.

Luego multiplicamos el Cp de cada gas con su respectiva fracción volumétrica y sumamos todos . El siguiente cuadro muestra el resultado de lo explicado anteriormente.

Tabla 21: Calor específico por fracción volumétrica de cada gas

C <sub>p</sub> * Y <sub>i</sub>				Σ C <sub>p</sub> * Y <sub>i</sub>
<b>CO<sub>2</sub></b>	5,6834	<b>SO<sub>2</sub></b>	0,0030	
<b>H<sub>2</sub>O</b>	1,4238	<b>N<sub>2</sub></b>	22,4087	
<b>O<sub>2</sub></b>	3,7990			

Fuente: Elaboración Propia

### Masa molecular de los gases producto de la combustión

$$M_{FG} = \sum_i Y_i M_i = (Y_{CO_2})(M_{CO_2}) + (Y_{H_2O})(M_{H_2O}) + (Y_{SO_2})(M_{SO_2}) + (Y_{N_2})(M_{N_2}) + (Y_{O_2})(M_{O_2}) \dots \quad (87)$$

$$M_{FG} = (0,0925)(44,012) + (0,0817)(18,016) + (0,00004908)(64,065) + (0,7282)(28,0134) + (0,0976)(32)$$

$$M_{FG} = 29,1715 \left( \frac{kG}{kmol} \right)$$

Para obtener el  $Cp_{llab1}$  con las unidades de  $\left( \frac{kJ}{kG} \right)$  necesitamos dividir  $\Sigma (Cp)(Yi)$  entre la masa molecular de los gases producto de la combustión, por lo tanto

$$Cp_{llab1} = \frac{Cp_{llab1}}{M_{FG}} \dots (88)$$

$$Cp_{llab1} = \frac{33,3178 \left( \frac{kJ}{kmol} \right)}{29,1715 \left( \frac{kG}{kmol} \right)} \Rightarrow Cp_{llab1} = 1,1421 \left( \frac{kJ}{kG} \right)$$

Reemplazamos el  $Cp_{llab1}$  en la ecuación (72)

$$\bar{m}_{FG1} = \left( \frac{14,6855}{(1,1421)(1\ 127,4449 - 293,15)} \right) \Rightarrow \bar{m}_{FG1} = 15,4117$$

### Densidad de los gases de combustión

$$\rho_{FG} = \frac{\rho_0}{\left( \frac{R_u}{M_{FG}} \right) (T_{adiabaticallama1})} \left( \frac{kG}{m^3} \right) \dots (89)$$

$$\rho_{FG} = \frac{101\ 325}{\left( \frac{8\ 314,32}{29,1715} \right) (1\ 127,4449)} \left( \frac{kG}{m^3} \right) \Rightarrow \rho_{FG} = 1,0934 \left( \frac{kG}{m^3} \right)$$

Donde:

$M_{FG}$  = Masa molecular de gases producto de combustión

$T_{adiabaticallama1}$

= Temperatura de llama adiabatica que es menor a la temperatura de ablandamiento

$\rho_0$  = presión a condicion normal = 101 325 pa.

$$R_u = \text{Constante universal de los gases} = 8\,314,32 \frac{J}{\text{Kmol K}}$$

### Densidad del aire a la entrada

$$\rho_{FG} = \frac{\rho_0}{\left(\frac{R_u}{M_{\text{aire}}}\right)(T_1)} \left(\frac{kG}{Nm^3}\right) \dots (90)$$

Donde:

$M_{\text{aire}}$  = Masa molecular de gases producto de combustión

$T_1$  = Temperatura ambiente del aire  $20^\circ\text{C} = 293,15\text{ K}$

$\rho_0$  = presión a condición normal  $101\,325\text{ pa}$ .

$$R_u = \text{Constante universal de los gases} = 8\,314,32 \frac{J}{\text{Kmol K}}$$

También tenemos que la masa del aire es:

$$M_{\text{aire}} = (Y_{O_2\text{aire}})(M_{O_2}) + (Y_{N_2\text{aire}})(M_{N_2}) \left(\frac{kG}{\text{kmol}}\right)$$

$$M_{\text{aire}} = (0,1073)(32) + (0,7011)(28,0134) \left(\frac{kG}{\text{kmol}}\right) \dots (91)$$

$$M_{\text{aire}} = 23,0741 \left(\frac{kG}{\text{kmol}}\right)$$

Entonces reemplazamos (91) en (90)

$$\rho_{FG} = \frac{101\,325}{\left(\frac{8\,314,32}{23,0741}\right)(293,15)} \left(\frac{kG}{Nm^3}\right) \Rightarrow \rho_{FG} = 0,9592 \left(\frac{kG}{Nm^3}\right)$$

### Flujo másico del aire

$$\dot{m}_{\text{aire}} = (\dot{m}_{\text{casquilla}})(\dot{m}_{\text{aire1}}) \left(\frac{kG}{h}\right) \dots (92)$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = (20)(14,4117) \left(\frac{kG}{h}\right) \Rightarrow \dot{m}_{\text{aire}} = 288,2348 \left(\frac{kG}{h}\right)$$

### Flujo volumétrico del aire

$$V'_{aire} = \frac{\dot{m}'_{aire}}{\rho_{aire}} \left( \frac{m^3}{h} \right) \dots (93)$$

$$V'_{aire} = \frac{288,2348 \text{ m}^3}{0,9592} \left( \frac{m^3}{h} \right) = V'_{aire} = 300,483 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

### Gases de combustión de salida

$$\rho_{SFG} = \frac{\rho_0}{\left( \frac{R_u}{M_{FG}} \right) (T_2)} \left( \frac{kG}{Nm^3} \right) \dots (94)$$

$$\rho_{SFG} = \frac{101\,325}{\left( \frac{8\,314,32}{29,1715} \right) (325,15)} \left( \frac{kG}{Nm^3} \right) \Rightarrow \rho_{SFG} = 1,1001 \left( \frac{kG}{Nm^3} \right)$$

Donde:

$M_{aire}$  = Masa molecular de gases producto de combustión

$T_2$  = Temperatura ambiente del aire  $52^\circ\text{C} = 325,15 \text{ K}$

$\rho_0$  = presión a condición normal  $101\,325 \text{ pa}$ .

$R_u$  = Constante universal de los gases  $= 8\,314,32 \frac{J}{Kmol\,K}$

### Flujo másico de los gases de combustión

$$\dot{m}'_{FG} = (\dot{m}'_{cascarilla}) (\dot{m}'_{G1}) \left( \frac{kG}{h} \right) \dots (95)$$

$$\dot{m}'_{FG} = (20)(15,4117) \left( \frac{kG}{h} \right) \Rightarrow \dot{m}'_{FG} = 308,2348 \left( \frac{kG}{h} \right) \Rightarrow \dot{m}'_{FG} = 0,0856 \left( \frac{kG}{s} \right)$$

### Flujo volumétrico de los gases de combustión

$$V'_{FG} = \frac{\dot{m}'_{FG} \text{ km}^3}{\rho_{SFG}} \left( \frac{h}{h} \right) \dots (96)$$

$$V_{FG} = \frac{308,2348 \text{ km}^3}{1,1001} \left( \frac{\text{km}^3}{h} \right) \Rightarrow V_{FG} = 280,1798 \left( \frac{\text{km}^3}{h} \right)$$

### Potencia del horno

$$Potencia_{horno} = (PCS)(m'_{cascarilla}) \dots (97)$$

$$Potencia_{horno} = (20,1151)(20) \Rightarrow Potencia_{horno} = (402,3029) \left( \frac{MJ}{h} \right)$$

$$Potencia_{horno} = (111,7508) (kW)$$

### Hidrodinámica en el lecho

Tabla 22: Propiedades de la arena de río

Material	Arena Seca de río
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1 700
Diametro de partícula (dp)(μm)	1 200
Porosidad de partícula (ε)	0,46

Fuente: Elaboración Propia

Interpolamos para hallar densidad (ρ) y la viscosidad (μ)

Tabla 23: Datos para hallar densidad a 854,2949

Datos	Temperatura °C	ρ (Kg/m <sup>3</sup> )
1	850	0,3143
2	854,2949	x
3	900	0,3009

Fuente: Elaboración Propia

Interpolamos para hallar el "X":  $C_{p\text{lab1}}$ :

$$\frac{9000 - 850}{900 - 854,2949} = \frac{0,3009 - 0,3143}{0,3003 - X} \Rightarrow x = 0,3131 \frac{kG}{m^3} = \rho_{\text{t\text{lab1}}}$$

Tabla 24: Datos para hallar la viscosidad en 854,2949

Datos	Temperatura °C	μ ((N s)/m <sup>2</sup> )
1	850	44,83
2	854,2949	x
3	900	46

Fuente: Elaboración Propia

Interpolamos para hallar el "x" =  $Cp_{lab1}$ :

$$\frac{9000 - 850}{900 - 854,2949} = \frac{0,3009 - 0,3143}{0,3003 - x} \Rightarrow x = 44,7995 \frac{N \cdot s}{m^2} = \rho_{t1}$$

Tabla 25: Características de los gases a temperatura de 25 °C y a 854,2949 °C

	T1	ll. adiab. 1
Temperatura del lecho (°C)	20 °C	854,2949 °C
Densidad (g/m <sup>3</sup> )	0,001204	0,0003131
Viscosidad ((N s)/m <sup>2</sup> )	18,25 (10) <sup>(-6)</sup>	44,7995 (10) <sup>(-6)</sup>

Fuente: Elaboración Propia

### Determinación del tipo de partícula

$$\rho_g = 1700 \frac{kg}{m^3} = 1,7 \frac{g}{m^3}$$

$$Tipo_{particula} = \rho_g - \rho_p \dots (98)$$

Entonces para densidad de partícula a 20 °C

$$Tipo_{particula} = 1,204 \frac{kg}{m^3} - 0,0003131 \frac{g}{m^3} \Rightarrow Tipo_{particula} = 1,6988 \frac{g}{m^3}$$

Para densidad de partícula a 854,2949 °C

$$Tipo_{particula} = 0,33131 \frac{kg}{m^3} - 0,001204 \frac{g}{m^3} \Rightarrow Tipo_{particula} = 1,6997 \frac{g}{m^3}$$

### Número de Arquímedes

$$Ar = \frac{(\rho_g)(\rho_p - \rho_g)(g)(d_p)^3}{\mu^2} \dots (99)$$

Donde:

$$g = \text{Gravedad} \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$d_p$  = Diámetro medio del volumen superpuesto de una burbuja en la superficie del lecho

Para temperatura  $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$A_r = \frac{(1,204)(1\,700 - 1,204)(9,81)(0,0012)^3}{((18,25)(10)^{-6})^2} \Rightarrow A_r = 104\,100,9576$$

Para temperatura  $T_{llamadiab1} = 854,2949 \text{ }^\circ\text{C}$

$$A_r = \frac{(0,3131)(1\,700 - 0,3131)(9,81)(0,0012)^3}{((44,7995)(10)^{-6})^2} \Rightarrow A_r = 4\,494,8832$$

### Reynolds para mínima fluidización

$$Re_{mf} = \frac{(U_{mf})(\rho_g)(d_p)}{\mu} = \left( (C_1)^2 ((C_2)(A_r)) \right)^{0,5} - C_1 \dots \text{(100)}$$

Donde:

$$C_1 = \text{Constante empírica (27,2)} \quad C_2 = \text{Constante empírica (0,0408)}$$

Para temperatura  $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Re_{mf} = \left( (27,2)^2 + ((0,0408)104\,100,958) \right)^{0,5} - 27,2 \Rightarrow Re_{mf} = 43,4198$$

Para temperatura  $T_{llamadiab1} = 854,2949 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Re_{mf} = \left( (27,2)^2 + ((0,0408)4\,494,883) \right)^{0,5} - 27,2 \Rightarrow Re_{mf} = 3,1847$$

### Velocidad Mínima de Fluidización ( $Re_{mf}$ )

$$Re_{mf} = \frac{(U_{mf})(\rho_g)(d_p)}{\mu} \dots \text{(101)}$$

Despejamos  $U_{mf}$  y nos queda :

$$U_{mf} = \frac{(Re_{mf})\mu}{(\rho_g)(d_p)} \dots \text{(102)}$$

Para temperatura  $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$U_{mf} = \frac{(43,4198)(18,25(10^{-6}))}{(0,0012)(1,204)} \Rightarrow U_{mf} = 0,5485 \frac{m}{s}$$

Para temperatura  $T_{llamadiab1} = 854,2949 \text{ }^\circ\text{C}$

$$U_{mf} = \frac{(3,1847)(44,7995(10^{-6}))}{(0,0012)(0,3131)} \Rightarrow U_{mf} = 0,3797 \frac{m}{s}$$

### Velocidad mínima de burbuja ( $U_{mb}$ )

Para partículas de tipo "D" se tiene que:

$$U_{mb} = U_{mf}$$

Para temperatura  $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$U_{mb} = 0,5485 \frac{m}{s}$$

Para temperatura  $T_{llamadiab1} = 854,2949 \text{ }^\circ\text{C}$

$$U_{mb} = 0,3797 \frac{m}{s}$$

### Velocidad terminal de la partícula de tamaño

Como sabemos que:  $(\rho_p)(d_p) = (1\ 700)(0,0012) = 2,04$

$$U_t = \frac{\mu}{(\rho_p)(d_p)} \left( \frac{A}{7,5} \right)^{0,666} \dots \textbf{(103)}$$

Para temperatura  $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$U_t = \frac{(18,25(10^{-6}))}{(0,0012)(1,204)} \left( \frac{104\ 100,958}{7,5} \right)^{0,666} \Rightarrow U_t = 7,2492 \frac{m}{s}$$

Para temperatura  $T_{llamadiab1} = 854,2949 \text{ }^\circ\text{C}$

$$U_t = \frac{44,7995(10^{-6})}{(0,0012)(0,3131)} \left( \frac{4\,494,883}{7,5} \right)^{0,666} \Rightarrow U_t = 8,4397 \frac{m}{s}$$

### Burbujeo en régimen turbulento

- **Velocidad para iniciar la fluidización turbulenta a  $T_1 = 20^\circ\text{C}$**

$$Re_c = (0,936)(Ar)^{0,472} \dots \text{(104)}$$

$$Re_c = (0,936)(104\,100,958)^{0,472} \Rightarrow Re_c = 218,5317$$

$$u_c = \frac{(Re_c)(\mu)}{(d_p)(\rho_g)} \dots \text{(105)}$$

$$u_c = \frac{(218,5317)(18,25(10^{-6}))}{(0,0012)(1,204)} \Rightarrow u_c = 2,7604 \frac{m}{s}$$

- **Velocidad para completar la transición a la fluidización turbulenta a  $T_{llamadiab1} = 854,2949 \text{ }^\circ\text{C}$**

$$Re_k = (1,41)(Ar)^{0,472} \dots \text{(106)}$$

$$Re_k = (1,41)(4\,494,883)^{0,472} \Rightarrow Re_k = 74,6968$$

$$u_k = \frac{(Re_k)(\mu)}{(d_p)(\rho_g)} \dots \text{(107)}$$

$$u_k = \frac{(74,6968)(44,7995(10^{-6}))}{(0,0012)(0,3131)} \Rightarrow u_k = 8,9066 \frac{m}{s}$$

### Área de sección transversal del lecho

Esta área también se puede calcular usando la velocidad de fluidización

$$A_{lecho} = \frac{G_g}{\rho_{FG}(U_f)} \dots (108)$$

$$G_g = m'_{aire} = \text{Flujo másico de los gases} \left(\frac{Kg}{s}\right)$$

$$\rho_{FG} = \text{Densidad de los gases de combustión} \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$$

$$U_f = \text{Velocidad de fluidización en lecho} \left(\frac{m}{s}\right)$$

Para velocidad de fluidización para 20 °C

$$A_{lecho} = \frac{\frac{308,2348}{3600}}{(0,3153)(0,5485)} \Rightarrow A_{lecho} = 0,4951 \text{ m}^2$$

Tomando en cuenta el área circular del lecho, entonces.

$$A_{lecho} = \frac{\pi}{4} (d_{lecho20^\circ C})^2 \dots (109)$$

$$0,4951 = \frac{\pi}{4} (d_{lecho20^\circ C})^2 \Rightarrow d_{lecho20^\circ C} = 0,7940 \text{ m}$$

$$r_{lecho20^\circ C} = 2(d_{lecho20^\circ C}) \Rightarrow r_{lecho20^\circ C} = 0,3970 \text{ m}$$

Para velocidad de fluidización para 854,2949 °C

$$A_{lecho854,2949^\circ C} = \frac{\frac{308,2348}{3600}}{(0,3153)(0,3797)} \Rightarrow A_{lecho854,2949^\circ C} = 0,7151 \text{ m}^2$$

Tomando en cuenta el área circular del lecho, entonces.

$$A_{lecho} = \frac{\pi}{4}(d_{lecho854,2949^{\circ}C})^2$$

$$0,7151 = \frac{\pi}{4}(d_{lecho854,2949^{\circ}C})^2 \Rightarrow d_{lecho854,2949^{\circ}C} = 0,9542 \text{ m}$$

$$r_{lecho20^{\circ}C} = 2(d_{lecho854,2949^{\circ}C}) \Rightarrow r_{lecho854,2949^{\circ}C} = 0,4471 \text{ m}$$

Utilizaremos el lecho con mayor área.

### Velocidad mínima de Slugging

$$U_{sl} = U_{mf} + (0,07)((g)(D))^5 \dots \text{(110)}$$

Donde:

$D = \text{Diámetro del lecho}$

Para temperatura  $T_1 = 20^{\circ}C$

$$U_{sl} = 0,5485 + (0,07)((9,81)0,7940)^5 \Rightarrow U_{sl} = 2\,006,9799 \frac{m}{s}$$

Para temperatura  $T_{llamadiab1} = 854,2949^{\circ}C$

$$U_{sl} = 0,3797 + (0,07)((9,81)(0,9542))^5 \Rightarrow U_{sl} = 5\,030,7089 \frac{m}{s}$$

### Rejilla para la distribución del aire

- **Porosidad o vacío de la cama del lecho**

$$\varepsilon = \frac{U_f + 1}{U_f + 2} \dots \text{(111)}$$

Tomamos  $U_f$ , como la velocidad necesaria para completar la fluidización

$$\varepsilon = \frac{8,9066 + 1}{8,9066 + 2} \Rightarrow \varepsilon = 0,9083$$

- **Caída de presión en la cama del lecho**

Se ha tomado en cuenta una profundidad (H) de un metro para la caída de presión en la cama del lecho.

$$\Delta P_b = \rho_p(1 - \varepsilon)(H)(g) = (\rho_p)(1 - \varepsilon_{mf})(H_{mf})(g) \dots (112)$$

Tenemos que:

$$\Delta P_b = \rho_p(1 - \varepsilon)(H)(g)$$

$$\Delta P_b = 1\,700(1 - 0,9083)(1)(9,81) \Rightarrow \Delta P_b = 1\,529,0767 \text{ Pa}$$

La porosidad mínima de fluidización de la arena  $\varepsilon_{mf} = 0,46$

- **Altura mínima de fluidización**

$$H_{mf} = \frac{H(1 - \varepsilon)}{1 - \varepsilon_{mf}} \dots (113)$$

$$H_{mf} = \frac{1(1 - 0,9083)}{1 - 0,46} \Rightarrow H_{mf} = 0,1698 \text{ m}$$

Para el diámetro de orificio tomamos un diámetro de 1,5 mm, este dato fue extraído del libro Prabir, basado en su experiencia,

- **Caída de presión el plato distribuidor**

La caída de presión de la rejilla con una uniforme fluidización cumple.

$$\Delta P_d = \left( \frac{H}{H_{mf}} - 1 \right) (\Delta P_b) \dots (114)$$

$$\Delta P_d = \left( \frac{1}{0,1698} - 1 \right) (1\,529,0767) \Rightarrow \Delta P_d = 7\,476,5033 \text{ Pa}$$

### Velocidad en el orificio

$$U_0 = C_D \left( \frac{2(\Delta P_d)}{\rho_{gor}} \right) \dots \text{(115)}$$

$$C_D = \text{Contante (0,8)} (\text{zenz, 1981})$$

$\rho_{gor}$  = densidad del gas que pasa en orificio

Hay mucha probabilidad que el gas eleve tu temperatura cuando pase por el orificio y esto se debe a la transferencia de calor por conducción, entonces se supondrá que la temperatura aumentará hasta 300 °C, con este dato podemos calcular la temperatura promedio.

$$20 + \frac{300 \text{ }^\circ\text{C}}{2} = 170 \text{ }^\circ\text{C}$$

De la tabla podemos extraer la densidad del gas que pasa por el orificio ( $\rho_{gor}$ )

$$\rho_{gor} = 0,797 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Entonces reemplazamos en la ecuación (116)

$$U_0 = 0,8 \left( \frac{2(7\ 476,5033)}{0,797} \right) \Rightarrow U_0 = 150,0929 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Número de orificios**

Para la temperatura de lecho de 854,2949 °C , tiene una densidad de  $\rho_g =$

$$0,3131 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$N = \frac{(U_0)(\rho_g)}{(U_0)(\rho_{gor}) \left( \frac{\pi}{4} \right)^2 d^2} \dots \text{(117)}$$

$$N = \frac{(2,7604)(0,3131)}{(150,0929)(0,797) \left( \frac{\pi}{4} \right)^2 (0,0015)^2} \Rightarrow N = 4\ 088,4790$$

$$N = 4\,088$$

El área del plato distribuidor, sabemos que

$$A_{lecho} = A_{platodistri} \dots (118)$$

$$A_{platodistri} = 0,7151 \text{ m}^2$$

- **Distancia entre los orificios**

$$N = \frac{2}{\sqrt{3}(P^2)} \dots (119)$$

Despejamos “P” de la ecuación anterior y obtenemos

$$P = \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}(N)}} \dots (120)$$

$$P = \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}(4\,088)}} \Rightarrow P = 16,80 \text{ mm}$$

Con el área antes encontrada del ancho del plato distribuidor podemos calcular

$$N^{\circ} \text{ Orificios} = N(A_{platodistri})$$

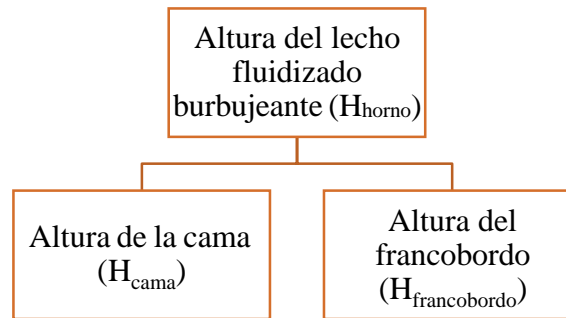
$$N^{\circ} \text{ Orificios} = (4\,088) (0,7151) \Rightarrow N^{\circ} \text{ Orificios} = 2\,923,1848$$

$$N^{\circ} \text{ Orificios} = 2\,923$$

Hemos tomado un margen de 10 mm con un grosor de 40 mm para el plato distribuidor.

## Altura del lecho fluidizado burbujeante

Gráfica 12: Lecho fluidizado burbujeante



Fuente: Elaboración Propia

$$H_{\text{horno}} = H_{\text{cama}} + H_{\text{francobordo}} \dots (121)$$

- **Altura del Francobordo**

Este elemento está exento de cambios fuertes de fluidización y combustión. Se tomará una altura de 1 m.

- **Altura de la cama**

El intervalo para este tipo de lecho oscila entre los 0,4 m y los 1,5 m. Pero es de vital importancia que el tiempo para que el tiempo de residencia este entre los dos a tres segundos, porque de esa forma es posible captura el óxido de azufre.

$$\frac{H_{\text{cama}} - H_{\text{mf}}}{H_{\text{mf}}} = \frac{U - U_{\text{mf}T1}}{U_{\text{mf}T1}} \dots (122)$$

$$\frac{H_{\text{cama}} - 0,1698}{0,1698} = \frac{2,7604 - 0,5485}{0,5485} \Rightarrow H_{\text{cama}} = 0,8546 \text{ m}$$

Reemplazamos los valores antes encontrados en la ecuación (123)

$$H_{\text{horno}} = H_{\text{cama}} + H_{\text{francobordo}}$$

$$H_{\text{horno}} = 0,8546 + 1 \Rightarrow H_{\text{horno}} = 1,8546 \text{ m}$$

### Volumen del lecho fluidizado

$$V_c = (H_{\text{horno}})(A_{\text{lecho}}) \dots \text{(124)}$$

$$V_c = (1,8546)(0,7151) \Rightarrow V_c = 0,9182 \text{ m}^3$$

### Tiempo de residencia

$$t_r = \frac{(V_c)(\rho_{FG})}{(\dot{m}_F)(\bar{m}_E)} (3600); (\text{segundos}) \dots \text{(125)}$$

$$t_r = \frac{(0,9182)(0,3153)}{(20)(15,4117)} (3600); (\text{segundos}) \Rightarrow t_r = 3,3814 \text{ s}$$

$$t_r = 3 \text{ s.}$$

### Transferencia de calor en el lecho fluidizado burbujeante

- **Coefficiente de transferencia de calor por convección y radiación en el interior del lecho**

$$h_r + h_c = (C_d)(C_t)(C_u)(C_{pd}) \dots \text{(126)}$$

Donde:

$C_d$ : Coeficiente de diametro de la particula

$C_t$ : Coeficiente de temperatura del lecho

$C_u$ : Coeficiente de velocidad superficial

$C_{pd}$ : Coeficiente particula – densidad

Todos estos datos han sido extraídos del anexo 34

Para hallar el coeficiente de temperatura del lecho es necesario interpolar

Tabla 26: Datos del coeficiente de temperatura del lecho

Datos	Temperatura °C	W/m <sup>2</sup> sec K
1	850	265
2	854,2949	x
3	900	276

Fuente: Elaboración Propia

$$\frac{900 - 854,2949}{900 - 850} = \frac{276 - 265}{276 - x} \Rightarrow x = 265,9449 \frac{W}{m^2 \text{sec } K} = C_t$$

Para hallar el coeficiente de partícula – densidad del lecho es necesario extrapolar.

Tabla 27: Datos del coeficiente de partícula - densidad

Datos	Kg/m <sup>3</sup>	
1	1 700	x
2	2 000	0,98
3	2 100	0,99

Fuente: Elaboración Propia

$$\frac{2\,100 - 1\,700}{2\,100 - 2\,000} = \frac{0,99 - x}{0,99 - 0,98} \Rightarrow x = 0,95 \frac{W}{m^2 \text{sec } K} = C_{pd}$$

Entonces reemplazamos los coeficientes antes hallados en la ecuación (126)

$$h_r + h_c = (1,035)(265,9449)(1,03)(0,95) \Rightarrow h_r + h_c = 270,6425 \frac{W}{m^2 K}$$

- **Refractario y aislamiento**

Un horno necesita una capa que le permite estar protegido y de esa manera estar térmicamente aislado, este aislamiento consta de los siguientes elementos:

- **Castable**

Tiene una conductividad térmica para 854,2949 °C de  $K_{cas} = 0,95 \frac{W}{m K}$

tiene 10 mm de espesor.

- **Ladrillo refractario**

Tiene una conductividad térmica para 854,2949 °C de  $K_r = 0,52 \frac{W}{mK}$ ,  
 tiene un espesor 114,3 mm

- **Lana mineral**

Tiene una conductividad térmica para 854,2949 °C de  $K_{lm} = 0,0027 \frac{W}{mK}$ ,  
 tiene 2 in que es igual a 50,8 mm de espesor.  $= 50,06 \frac{W}{mK}$

- **Acero Galvanizado**

Tiene una conductividad térmica para 854,2949 °C de  $K_{gal} = 50,06 \frac{W}{mK}$   
 tiene 1 mm de espesor.

Adicionándole todos los espesores al radio interior no queda un radiointerior total:

$$R_{totalinterior} = r + r_{cas} + r_{re} + r_{la} + r_{gal} \dots (127)$$

$$R_{totalinterior} = 0,4771 m + 0,01 + 0,1143 m + 0,508 m + 0,001 m$$

$$R_{totalinterior} = 0,6532m$$

- **Flujo de calor del sistema.**

$$q = \frac{T_{1\infty} - T_{2\infty}}{\frac{1}{(2)(\pi)(R_1)(L)(h_1)} + \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R_0}\right)}{(2)(\pi)(k_{cas})(L)} + \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{(2)(\pi)(k_{lin})(L)} + \frac{\ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)}{(2)(\pi)(k_{lin})(L)} + \frac{1}{(2)(\pi)(R_4)(L)}}$$

$T_{1\infty} =$  Temperatura de operación (854,2949 °C)

$T_{3\infty} =$  Temperatura ambiente (20°C)

$h_1 =$  Coeficiente de convección en el lecho fluidizo

$h_2 =$  Coeficiente de convección forzado en diametro exterior de lecho.

$L = H_{horno} = 1,8546 m$

Encontraremos  $h_2$  con la relación de Reynolds, número de Prandtl y el número

de Nusselt

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h}(D)}{k} = (C)(Re^n) \left( Pr^{\frac{1}{3}} \right) \dots (129)$$

También sabemos que:

$$Re = \frac{u_{\infty}(D)}{v} \dots (130)$$

Donde:

$u_{\infty}$  = Velocidad del aire en el ambiente del distrito de La coipa  $\left( 9 \frac{Km}{h} = 2,5 \frac{m}{s} \right)$

$D$  = diametro exterior del lecho

$C$  y  $n$  = constantes extraidas de la tabla de Reynolds

$K$  = Conductividad termica a 20 °C  $\left( 0,2514 \frac{W}{m K} \right)$

$v$  = viscosidad del aire a 20 °C  $\left( 0,00001561 \frac{m^2}{s} \right)$

$Pr$  = Número de Prandtl (0,7296)

Reemplazamos en la ecuación (130)

$$Re = \frac{u_{\infty}(D)}{v}$$

$$Re = \frac{2,5(1,3064)}{0,00001561} \Rightarrow Re = 209\,220,7529$$

Tabla 28: Cuadro de constantes para Reynolds.

	Re	C	n
0,4	-4	0,989	0,33
4	-40	0,911	0,385
40	-4 000	0,683	0,466
4 000	-40 000	0,193	0,618
40 000	-400 000	0,0266	0,805

Fuente: J. M. Valadez, «Trasnferencia de Calor,» Alfaomega, México, 2002

Entonces las constantes “C” y “n” son

$$C = 0,0266$$

$$n = 0,805$$

Reemplazamos “C” y “n” en la ecuación (129)

$$\overline{Nu} = (C)(Re^n) \left( Pr^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$\overline{Nu} = (0,0266)(209\,220,7529^{0,805}) \left( 0,7296^{\frac{1}{3}} \right) \Rightarrow \overline{Nu} = 459,5472$$

Despejando la ecuación (129)

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h}(D)}{k}$$

Entonces nos queda:

Hallamos los  $R_1, R_2, R_3, R_4$

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu}(K)}{D} \dots (131)$$

$$\bar{h} = \frac{459,5472(0,2514)}{1,306} \Rightarrow \bar{h} = 8,8436 \frac{W}{m K} = h_2$$

Hallamos los  $R_1, R_2, R_3, R_4$

$$R_1 = r + r_{cas} \Rightarrow R_1 = 0,4771 + 0,01 \Rightarrow R_1 = 0,4871 m$$

$$R_2 = R_1 + r_{re} \Rightarrow R_2 = 0,4871 + 0,1143 \Rightarrow R_2 = 0,6014 m$$

$$R_3 = R_2 + r_{la} \Rightarrow R_3 = 0,6014 + 0,508 \Rightarrow R_3 = 0,6522 m$$

$$R_4 = R_3 + r_{gal} \Rightarrow R_4 = 0,6522 + 0,001 \Rightarrow R_4 = 0,6532 m$$

Reemplazamos todos los datos en la ecuación (128)

$$q = \frac{854,2949 - 20}{\frac{1}{(2)(\pi)(0,4871)(1,8546)(0,441)} + \frac{\ln\left(\frac{0,4871}{0,4771}\right)}{(2)(\pi)(0,95)(1,8546)} + \frac{\ln\left(\frac{0,6014}{0,4871}\right)}{(2)(\pi)(0,52)(1,8546)} + \frac{\ln\left(\frac{0,6522}{0,6014}\right)}{(2)(\pi)(0,0027)(1,8546)} + \frac{1}{(2)(\pi)(R_4)(1,8546)(9,5984)}}$$

$$q = 1\,683,7615 W$$

- **Temperatura en la pared externa**

Es muy importante que la temperatura externa sea menos a 50 °C, esto por la operatividad y seguridad del lecho fluidizado burbujeante, es por eso que se procederá a calcular dicha temperatura.

$$q = \frac{T_{ext} - T_1}{\frac{1}{(2)(\pi)(R_4)(L)(h_2)}} \dots (132)$$

Despejamos “T<sub>ext</sub>”

$$T_{ext} = q \left( \frac{1}{(2)(\pi)(R_4)(L)(h_2)} \right) + T_1 \dots (133)$$

$$T_{ext} = (1\,683,7615) \frac{1}{(2)(\pi)(0,6532)(1,8546)(9,5984)} + 20$$

$$T_{ext} = 45,0146 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Diámetro de la puerta de alimentación de combustible**

La entrada por donde entra el suele ser circular porque los lechos de fluidización burbujeantes suelen usar tolvas y rodillos sin fin.

De acuerdo el trabajo de investigación de José Alberto Castillo Benavides. [39]

$$\rho_{cascafe} = 314 \frac{kG}{m^3}$$

$$m'_{cascafe} = 20 \frac{kG}{h} = 0,3333 \frac{kG}{min}$$

$$e_{total} = R_{totalinterior} - r \dots (134)$$

$$e_{total} = 0,6532 \text{ m} - 0,4771 \Rightarrow e_{total} = 0,1761 \text{ m}$$

El flujo volumétrico de cascarilla de café a la entrada a la entrada

$$v' = \frac{m'_{cascafe}}{\rho_{cascafe}} \Rightarrow v' = \frac{0,3333}{314} \Rightarrow v' = 0,0011 \frac{m^3}{min}$$

El área ocupada como mínimo es:

$$v' = A(e_{total}) \dots (135)$$

Despejamos "A" y nos queda:

$$A = \frac{v'}{\xi_{total}} \dots (136)$$

$$A = \frac{0,0011}{0,1761} \Rightarrow A = 0,0060 \text{ m}^2$$

Pero sabemos que la fórmula del área del círculo es:

$$A = \pi \frac{D_{encomb}^2}{4} (137)$$

Entonces:

$$0,0060 = \pi \frac{D_{encomb}^2}{4} \Rightarrow D_{encomb} = 0,0876 \text{ m} \Rightarrow D_{encomb} = 3,760 \text{ cm}$$

#### 4.3.8 Intercambiador de calor

##### Datos para el intercambiador de calor

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_1 = 293,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_2 = 323,15 \text{ K}$$

$$C_{p1} = 1,007 \frac{\text{KJ}}{\text{kG K}}$$

$$T_{g1} = T_{lamadiab1} = 854,2949 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T_{g1} = 1127,4449 \text{ K}$$

Diámetro exterior de los tubos ( $D_e$ ) que utilizaremos es de  $\frac{3}{4}$  pulgadas (0,01905 m).

Según T.E.M.A. (Tubular Exchanger Manufactures Association) la separación transversal mínima es de  $1,25(D_e)$  y la máxima es  $2(D_e)$  para los intercambiadores de tubos y de coraza, donde  $D_e$  es el diámetro exterior de los tubo. Para poder calcular SL

es necesario conocer si el arreglo es escalonado (triangular) o cuadrado. De esa manera, de acuerdo a nuestro criterio el valor para  $S_T$  de  $1,45(D_e)$  y para  $S_L$  un valor de  $1,1(S_T)$  de acuerdo a las recomendaciones bibliográficas para la facilidad de la construcción.

De esta manera calculamos  $S_T$  y  $S_L$ .

$$S_T = (1,45)(D_e) \dots (138)$$

$$S_T = (1,45)(2) \Rightarrow S_T = 1,0875 \text{ pulgadas} \Rightarrow S_T = 0,028 \text{ m}$$

$$S_L = (1,1)(S_T) \dots (139)$$

$$S_L = (1,1)(2) \Rightarrow S_L = 1,19625 \Rightarrow S_L = 0,030 \text{ m}$$

Determinamos el número de Reynolds para calcular el flujo por la parte exterior de los tubos.

$$Re = \frac{(\rho)(V_{m\acute{a}x})(D_e)}{u} \dots (140)$$

Dónde:

$Re = \text{Número de Reynolds}$

$\rho = \text{Densidad del fluido a } 20 \text{ }^\circ\text{C} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$

$V_{m\acute{a}x} = \text{Velocidad máxima para un arreglo triangular}$

$D_e = \text{Diámetro exterior del tubo (m)}$

$u = \text{Viscosidad del fluido a } 20 \text{ }^\circ\text{C (pa. s)}$

Calculamos la Velocidad máxima para un arreglo triangular ( $V_{m\acute{a}x}$ )

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{(v)(S_T)}{(S_T - D)} \dots (141)$$

Dónde:

$v = \text{Velocidad del fluido antes de ingresar al intercambiador de calor } (9 \frac{km}{h})$

$S_T = \text{Espacio entre los centros de los tubos, Pitch (m)}$

Pero sabemos que  $9 \frac{km}{h} = 2,5 \frac{m}{s}$

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{(2,5)(0,028)}{(0,028 - 0,019)} \Rightarrow V_{m\acute{a}x} = 8,056 \frac{m}{s}$$

Entonces reemplazamos la ecuación (141) en (140).

$$Re = \frac{(\rho)(V_{m\acute{a}x})(D_e)}{u} \dots (140)$$

$$Re = \frac{(1,204)(8,056)(0,019)}{0,00001825} \Rightarrow Re = 10\,124,0457$$

Para poder halla el coeficiente de Convección Exterior utilizaremos la correlación de Zhukaukas.

$$Nu = (C)(Re_{m\acute{a}x}^m)(Pr^{0,36}) \left(\frac{Pr}{Pr_s}\right)^{0,25} \dots (145)$$

Sabemos que  $1\,000 < Re < 200\,000$  y también

$m$  y  $c = \text{constantes según el arreglo de tubos y el número de Reynolds}$

$Pr = \text{Número de Prantl a temperatura promedio de intercambio } (349,99\text{ }^\circ\text{C})$

$Pr_s = \text{Número de Prantl a temperatura a salida del gas } (20\text{ }^\circ\text{C})$

$Nu = \text{Número de Nusselt}$

$K = \text{Conductividad Termica del fluido } (349,99\text{ }^\circ\text{C})$

$m = 0,6$

$$c = (0,35) \left( \frac{S_T}{S_L} \right)^{\frac{1}{5}} \dots (146)$$

$$c = (0,35) \left( \frac{0,028}{0,030} \right)^{\frac{1}{5}} \Rightarrow c = 0,343$$

Para hallar el *Número de Prantl (Pr)* necesitaremos interpolar.

Tabla 29: Datos de los valores de Prantl a diferentes temperaturas..

Datos	Temperatura °C	Pr
1	340	0,6936
<b>2</b>	<b>349,99</b>	<b>x</b>
3	350	0,6937

Fuente: Elaboración Propia

$$\frac{350 - 349,99}{350 - 340} = \frac{0,6938 - x}{0,6937 - 0,6936} \Rightarrow x = 0,693799 = Pr$$

Una vez encontrado el número de Prantl y la constante “c” las remplazamos en la formula (145) para poder hallar el número de Nusselt.

$$Nu = (C)(Re_{m\acute{a}x}^m)(Pr^{0,36}) \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \dots (145)$$

$$Nu = (0,343)(10\ 124,0457^{0,6})(0,693799^{0,36}) \left( \frac{0,693799}{0,7309} \right)^{0,25}$$

$$Nu = 68,8705$$

Una vez hallado el número de Nusselt podemos calcular el coeficiente de convección utilizando la siguiente ecuación

$$h_0 = \frac{(Nu)(k)}{D_e} \dots (147)$$

Para hallar el *Conductividad térmica del fluido (k)* necesitaremos interpolar.

Tabla 30: Datos de los valores de la conductividad térmica a diferentes temperaturas.

Datos	Temperatura °C	k (w/(m.K))
1	340	46,61
<b>2</b>	<b>349,9900</b>	<b>x</b>
3	350	47,21

Fuente: Elaboración Propia

$$\frac{350 - 349,99}{350 - 340} = \frac{47,21 - x}{47,21 - 46,61} \Rightarrow x = 47,2094 = k$$

Una vez encontrado la conductividad térmica (k) la remplazamos en la formula (147) para poder hallar el coeficiente de convección.

$$h_0 = \frac{(Nu)(k)}{D_e} \dots (147)$$

$$h_0 = \frac{(68,8705)(47,2094)}{0,019} \Rightarrow h_0 = 170,6739 \frac{W}{m^2}$$

### Temperatura de salida del intercambiador de calor

Se conoce que para intercambiadores de calor de convección forzada el calor que pierde el fluido caliente (gas de combustión) es igual al fluido frío (aire ganado), por lo tanto el balance de energía es el siguiente:

$$Q = (m^{\circ}_f)(Cp_f)(T_{f2} - T_{f1}) = (m^{\circ}_c)(Cp_c)(T_{c1} - T_{c2}) \dots (148)$$

Adicional a eso podemos utilizar la correlación de diseño de intercambiadores.

$$Q = (F)(U)(A)(\Delta T_{ml}) \dots (149)$$

Dónde:

$m^{\circ}_f$  = Flujo másico del aire brindado por el ventilador axial (aire frío).

$m^{\circ}_c$  = Flujo másico del gas (aire caliente).

$C_{pf}$  = Capacidad calorífica del aire 20 °C.

$C_{pc}$  = Capacidad calorífica de los gases de combustión.

$T_{f1}$  = Temperatura Inicial del aire.

$T_{f2}$  = Temperatura final del aire.

$T_{c1}$  = Temperatura Inicial del gas.

$T_{c2}$  = Temperatura Final del gas.

$U$  = Coeficiente Gobal de Transferencia.

$F$  = Factor de Correlación para intercambiadores.

$A$  = Área del Intercambiador.

$\Delta T_{ml}$  = Diferencias de Temperaturas – Logarítmica

Entonces reemplazamos todos los valores en la ecuación anterior.

$$Q = (0,4348)(1\ 007)(323,15 - 293,15) = (0,0856)(1\ 142,1336)(1\ 127,4449 - T_{c2})$$

$$Q = 13\ 134,6367\ J$$

De la ecuación (148) despejamos para poder hallar  $T_{c2}$ .

$$T_{c2} = T_{c1} - \frac{(m^{\circ}_f)(C_{pf})(T_{f2} - T_{f1})}{(m^{\circ}_c)(C_{pc})} \dots \text{(150)}$$

$$T_{c2} = 1\ 127,4449 - \frac{(0,4348)(1\ 007)(323,15 - 293,15)}{(0,0856)(1\ 142,1336)}$$

$$T_{c2} = 993,1307\ K \Rightarrow T_{c2} = 719,9807\ ^{\circ}C$$

## Temperatura Media Logarítmica

Una vez hallada la temperatura de salida del gas, calcularemos la temperatura media logarítmica.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_{c1} - T_{f1})(T_{c2} - T_{f2})}{\ln \left| \frac{(T_{c1} - T_{f1})}{(T_{c2} - T_{f2})} \right|} \dots (151)$$

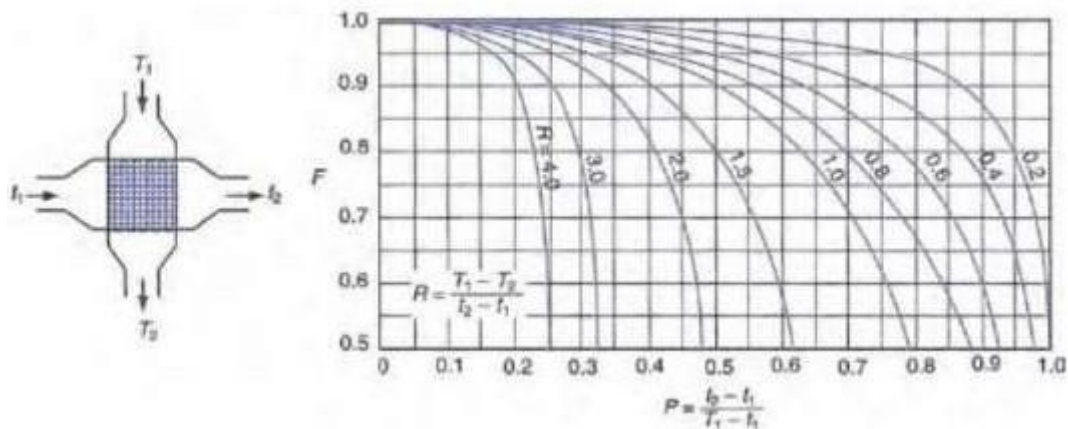
$$\Delta T_{ml} = \frac{(1\,127,4449 - 293,15)(993,1307 - 323,15)}{\ln \left| \frac{(1\,127,4449 - 293,15)}{(993,1307 - 323,15)} \right|}$$

$$\Delta T_{ml} = 749,1368 \text{ K} \Rightarrow \Delta T_{ml} = 475,9868 \text{ } ^\circ\text{C}$$

## Factor de Corrección

Para Intercambiadores de Calor de Flujo Cruzado, es posible encontrar el factor de corrección una vez encontradas las temperaturas.

Figura 39: Factor de Corrección



Fuente: *Transferencia de Calor aplicada a la Ingeniería*, J.R. Weltry [40].

$$R = \frac{T_{C1} - T_{C2}}{T_{f2} - T_{f1}} \dots (152) \Rightarrow R = \frac{1\,127,4449 - 993,1307}{323,15 - 293,15} \Rightarrow R = 4,4771$$

$$P = \frac{T_{f2} - T_{f1}}{T_{C2} - T_{f1}} \dots (153) \Rightarrow P = \frac{323,15 - 293,15}{993,1307 - 293,15} \Rightarrow P = 0,0429$$

Entonces por la gráfica calculamos un  $F = 0,96$

Para poder calcular el Área del Intercambiador de Calor, es necesario calcular el Coeficiente Global de Transferencia, y está determinado por la siguiente ecuación.

$$U = \frac{1}{\frac{d_s}{(d_i)(h_i)} + d_s + \frac{(d_s) \left( \ln \frac{d_s}{d_i} \right)}{k} + R_0 + \frac{1}{h_0}} \dots (154)$$

### Coeficiente de Convección en el Interior de los Tubos

El gas originado por la combustión de la cascarilla de café circulará por el interior de los tubos, entonces se calculará el número de Nusselt

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right) (Re - 1000)(Pr)}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{0,5} \frac{2}{(Pr^3 - 1)}} \dots (155)$$

Dónde:

$\rho$ : Densidad de los gases de combustión.

$u$ : Viscosidad absoluta de los gases de combustión.

$C_p$ : Capacidad calorífica de la mezcla gaseosa.

$k$ : Conductividad térmica de la mezcla  $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

Número de Reynolds

$$Re = \frac{(D)(\rho)(v)}{u} \dots (156)$$

$$Re = \frac{(0,019)(0,3153)(9,204)}{0,0000369} \Rightarrow Re = 1496,8198$$

Número de Prandtl

$$Pr = \frac{(Cp)(u)}{k} \dots (157)$$

$$Pr = \frac{(1,1421)(0,0000369)}{0,0472} \Rightarrow Pr = 0,894$$

Sabemos qué:

$$f = (0,316)(Re)^{-0,25} \dots (158)$$

$$f = (0,316)(1\,496,8198)^{-0,25} \Rightarrow 0,0508$$

Reemplazamos todos los valores hallados anteriormente.

$$Nu = \frac{\left(\frac{0,0508}{8}\right)(1\,496,8198 - 1\,000)(0,894)}{1 + 12,7 + \left(\frac{0,0508}{8}\right)^{0,5} \left(0,894^{\frac{2}{3}} - 1\right)} \Rightarrow Nu = 3,0418$$

El coeficiente de convección es:

$$h_i = \frac{(Nu)(k)}{De} \dots (159)$$

$$h_i = \frac{(3,0418)(0,0472)}{0,051} \Rightarrow h_i = 7,5381 \frac{W}{m^2K}$$

### Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia

Utilizaremos la ecuación (154)

$$U = \frac{1}{\frac{d_s}{(d_i)(h_i)} + R_i + \frac{(d_s)\left(\ln \frac{d_s}{d_i}\right)}{k} + R_0 + \frac{1}{h_0}} \dots (154)$$

Dónde:

$R_i$  y  $R_0$  son factores de ensuciamiento, revisar anexo 41.

$$U = \frac{1}{\frac{0,019}{(0,0178)(7,5381)} + 0,000352 + \frac{(0,019)\left(\ln \frac{0,019}{0,0178}\right)}{0,0472} + 0 + \frac{1}{170,6739}}$$

$$U = 5,7056 \frac{W}{m^2K}$$

### Área de Transferencia de Calor

$$A_T = \frac{Q}{(F)(U)(\Delta T_{ml})} \dots (159)$$

$$A_T = \frac{13\,134,6367}{(0,96)(5,7056)(475,9868)} \Rightarrow A_T = 3,2010 \text{ m}^2$$

### Número de Tuberías

Se estableció un largo de la tubería de 0,6 m.

$$N = \frac{A_T}{(\pi)(d_e)(L)} \dots (160)$$

$$N = \frac{2,8537}{(\pi)(0,019)(1,2)} \Rightarrow N = 44,5714 \cong 45 \text{ Tuberías}$$

#### 4.3.9. Selección del deshumidificador

Para satisfacer las necesidades de nuestro sistema de secado, he seleccionado un deshumidificador industrial “DEHUTECH de la SERIE DT 1 300” (Ver ANEXO 35)

#### 4.3.10. Selección del ventilador

Se ha seleccionado un ventilador centrifugo “MODELO WFS - 52” de  $1\,300 \frac{m^3}{h}$  lo cual cubre el caudal necesario para secar el café dentro del secador rotatorio. (Ver ANEXO 36)

#### 4.4. Realizar evaluación económica del secador.

Tabla 31: Costo de Materiales

Cantidad	Elemento	Descripción	Material	Costo (p/u)	Costo total (S./)
1	Planchas de Acero (mm)	1 220 x 2 440 x 19	AISI 304	1 700,00	1 700,00
1		1 220 x 2 440 x 10	AISI 304	3 200	3 200
4		1 220 x 2 440 x 6	AISI 304	1 700,00	6 800,00
443	Ángulo Estructura (Kg)	L3 x x 1/4	ASTM A - 36	4	1 772
38	Tubos intercambiador de calor	3/16 x 1 1/2 in	ASTM A - 36	70	2660
1	Motorreductor SEW	10 Hp - 220/380 V - 93 RPM	-	4 800	4 800
1	Ventilador Centrifugo "MODELO WFS - 52"	1 300 $\frac{m^3}{h}$ - 3 300 rpm	-	700	700
1	Desumidificador "DEHUTECH SERIE DT 1 300"	1 300 $\frac{m^3}{h}$	-	3 000	3 000
1	Quemador	P. Calorf. 250 KW - P. Elec. 220 W - Consum. Comb. (5 - 50) Kg/h	-	20 000	20 000
1	Tubería	Ø 16 in - 6 m	Acero	600	600
1	Piñon	Ø 6 in - N° dientes 12	Acero	200	200
1	Rueda	Ø 55 in - N° Dientes 110	Acero	1 000	800
				<b>Total</b>	<b>46 232</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 32: Costo Directo de Maquinado

N°	Máquina	Costo de Maquinado/h	Número de Horas	Costo Total (S./)
1	Torno	30	20	600
2	Taladro Pedestal	10	5	50
3	Corte por plasma	40	10	400
4	Soldadora SMAW	40	20	800
5	Dobladora de láminas	30	4	120
6	Amoladora	10	7	70
7	Cortador	10	7	70
			<b>Total</b>	<b>2 110</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33: Costo Directo de Montaje de Secador para Café

Ensamble del Sistema	# Personas	Costo de mano de obra/día	Número de días	Costo Total (S./)
Mecánico	2	70	3	210
Eléctrico	2	70	3	210
			<b>Total</b>	<b>420</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34: :Costos Indirectos

N°	Elemento	Costo Unitario (S./)	Cantidad	Costo Total (S./)
1	Extras	-	-	500
			<b>Total</b>	<b>500</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35: Inversión Total del Secador para Café

Costos	Componente del Costo	Costo (S/.)
Directos	Materiales	46 232,00
	Maquinado	2 110
	Montaje	420
Indirectos	Materiales	500
	Gastos Imprevistos	40
	<b>Inversión Total</b>	<b>49 302,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

La inversión total en lo que a materiales y trabajos para la construcción del secador para café da un total de S/. 49 302

Tenemos los siguientes consumos de energía que utiliza el sistema de secado del secador para café.

Tabla 36: Energía Consumida en 12 horas de trabajo

Equipo	Energía Consumida	
Motorreductor SEW	73,92	KW(h)
Deshumidificador "DEHUTECH SERIE DT 1	163,2	KW(h)
Ventilador Centrifugo" MODELO WFS - 52"	11,088	KW(h)
Quemador	2,64	KW(h)
<b>Total</b>	<b>250,848</b>	<b>KW(h)</b>

Fuente: Elaboración Propia

El Costo del KW(h) está S/. 0,60 es por eso que utilizando ese dato podemos calcular el gasto por consumo de energía de los equipos en un día y por lo tanto sabremos cuanto consumen al año.

Tabla 37: Gasto por Consumo de Energía

Equipo	Gasto en Energía
Motorreductor SEW	S/ 44,35
Deshumidificador "DEHUTECH SERIE DT 1	S/ 97,92
Ventilador Centrifugo" MODELO WFS - 52"	S/ 6,65
Quemador	S/ 1,58
<b>Total</b>	<b>S/ 150,51</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38: Gasto por Consumo de Energía Anual

Equipo	Gasto en Energía Anual
Motorreductor SEW	S/ 5 322,24
Deshumidificador "DEHUTECH SERIE DT 1	S/ 11 750,40
Ventilador Centrifugo" MODELO WFS - 52"	S/ 798,34
Quemador	S/ 190,08
<b>Total</b>	<b>S/ 18 061,06</b>

Fuente: Elaboración Propia

La cascarilla que se utilizará como combustible para el quemador no se tomará en cuenta, esto se debe a que los agricultores de la asociación de productores agropecuarios (APASCLAC) cuentan con este componente, lo único que se necesitaría un poco de algún combustible para crear una chispa, como este costo es sumamente bajo no se tomará en cuenta para la evaluación de costos.

Se estima que el agricultor se ganaría S/. 7 por quintal y el secador de café.

Otro egreso que se tomará en cuenta es la depreciación de la máquina, este tiempo de depreciación se estimó de 10 años y se toma un valor residual del 20%.

$$D = \frac{I - VR}{N^{\circ} \text{ Años}} \dots (153)$$

$D = \text{Depreciación de la Máquina}$        $VR = \text{Valor Residual}$

$I = \text{Inversión Inicial de la Máquina}$

$$D = \frac{49\,302 - 20\%}{10} \Rightarrow D = S/.3\,944 \text{ anuales}$$

A continuación, mostraremos el flujo de caja en un periodo de 10 años.

Tabla 39: Flujo de Caja

CONCEPTO	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INGRESOS</b>		35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949
<b>EGRESOS</b>											
Consumo de Energía Eléctrica		18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560
Mantenimiento		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Depreciación		3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944
Inversión Inicial	49 302										
<b>TOTAL</b>	-49 302	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844
	-49 302	-35 458	-21 615	-7 771	6 073	19 916	33 760	47 604	61 448	75 291	89 135

Fuente: Elaboración Propia

- **Tasa mínima atractiva de rendimiento (TMAR)**

Es la tasa mínima que el proyecto debe tener para que sea factible, se toma en cuenta factores como; interés pasivo, tasa de inflación y el porcentaje de riesgo del país, para hallar el TMAR se tienen que sumar todos estos factores.

$$TMAR = \%rp + \%ti + \%tip \dots (154)$$

$$TMAR = 1,01\% + 2,15\% + 18,05\% \Rightarrow TMAR = 21,21\%$$

- **Valor Actual Neto (VAN)**

Es una herramienta financiera que permite dar una valoración de una inversión en función de los flujos de caja, este valor lo hallaremos con ayuda del programa Excel.

El proyecto será aceptable si el VAN > 0.

- **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

El TIR es tasa de interés con la cual el valor actual neto (VAN) es igual a cero, y muestra el porcentaje máximo de ganancia que puede tener el proyecto si se ejecuta, este valor lo hallaremos con ayuda del programa Excel. El TIR es aceptable siempre y cuando sea mayor que el TMAR

Tabla 40: VAN y TIR

<b>TIR</b>	25%
<b>VAN</b>	S/ 6 432,51

Fuente: Elaboración Propia

- **Período Real de Recuperación (PRI)**

Determina en cuanto tiempo o período se recuperará la inversión .

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d} \dots (154)$$

Donde:

*a* = Año anterior en el que se recupera la inversión

*b* = Inversión Inicial

*c* = Flujo de efectivo acumulado inmediato anterior al año de recuperación

*d* = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión

Tabla 41: Flujo de caja con Acumulados

CONCEPTO	AÑOS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INGRESOS</b>		35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949	35 949
<b>EGRESOS</b>											
Consumo de Energía Eléctrica		18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560	18 061,0560
Mantenimiento		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Depreciación		3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944	3 944
Inversión Inicial	49 302										
<b>TOTAL</b>	-49 302	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844	13 844
	-49 302	-35 458	-21 615	-7 771	6 073	19 916	33 760	47 604	61 448	75 291	89 135

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42: Flujos de Caja y Flujos Acumulados

Año	Fuljo de Caja	Flujo de Caja Acumulados
1	S/ 13 843,69	S/ 13 843,69
2	S/ 13 843,69	S/ 27 687,38
3	S/ 13 843,69	S/ 41 531,07
4	S/ 13 843,69	S/ 55 374,76
5	S/ 13 843,69	S/ 69 218,45
6	S/ 13 843,69	S/ 83 062,14
7	S/ 13 843,69	S/ 96 905,83
8	S/ 13 843,69	S/ 110 749,52
9	S/ 13 843,69	S/ 124 593,21
10	S/ 13 843,69	S/ 138 436,90

Fuente: Elaboración Propia

$$PRI = 3 + \frac{(49\,302 - 41\,531,07)}{6\,173} \Rightarrow PRI = 3,5613 \text{ años}$$

Ahora calcularemos los meses y días

$$3,5613 - 3 = 0,5613 \Rightarrow 0,5613 \times 12 \Rightarrow 6,7360 \text{ meses}$$

$$6,7360 - 6 = 0,7360 \times 30 = 22 \text{ días}$$

Eso quiere decir que la inversión se recuperará en 3 años con 6 meses y 22 días.

*Gráfica 13: Tiempo de Recuperación*



*Fuente: Elaboración Propia*

## V. RESULTADOS

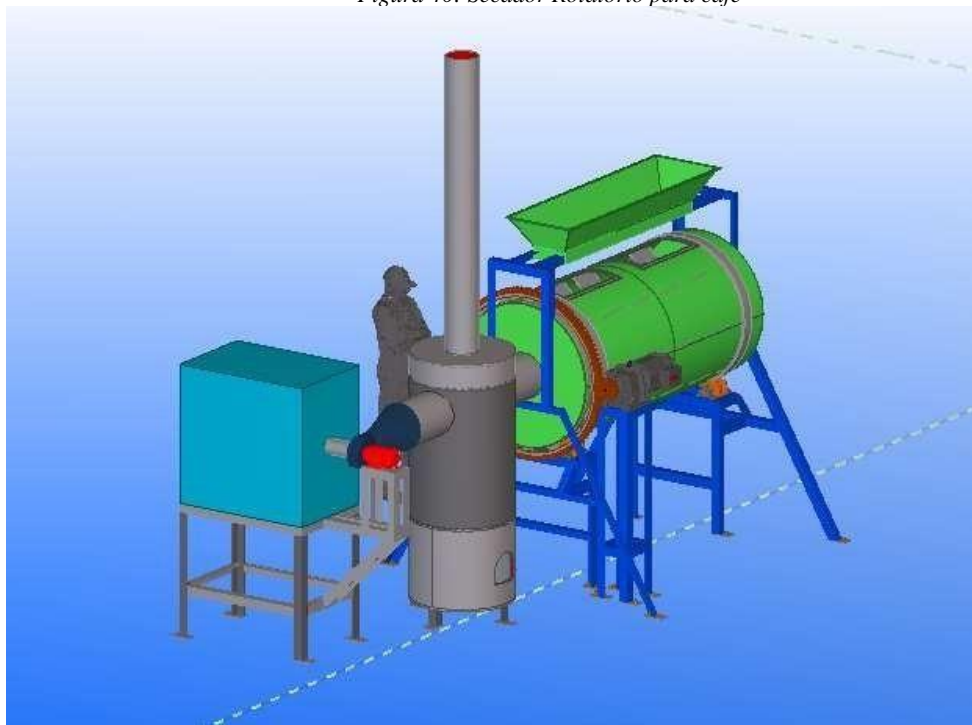
La presente investigación se basó en otros trabajos ya existentes, es por eso que su metodología es mediante el uso de ecuaciones empíricas.

Se obtuvieron los datos de la cosecha anual de café de la “Asociación de Productores Agropecuarios Señor Cautivo La Coipa” (APASCLAC) entre los años 2 014 y 2 018, con esos datos calculamos su producción promedio y cuáles son las propiedades que necesita el café para tener una óptima calidad.

De esta forma seleccionó el tipo de secador de café de acuerdo a criterios y utilizando una matriz de decisión.

Una vez ya seleccionado el tipo de secador de café (secador rotatorio) y con los datos de la producción promedio, dimensionamos el secador y se determinaron los equipos que forman el secador para café con las siguientes características.

*Figura 40: Secador Rotatorio para café*



*Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 43: Características del Motor

<b>Motor</b>		
Potencia	7,5	KW
	10	Hp
Velocidad Nominal	1 774	rpm
Velocidad de salida	93	rpm
Factor de servicio	1,85	
Tensión	220/380	V
Frecuencia	60	Hz
Peso Neto	133	Kg

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44: Características del Cilindro Totatorio

<b>Cilindro Rotatorio</b>		
Capacidad	1,2	Toneladas
Largo	2,569	m
Diámetro	1,2	m
Espesor	0,0059	mm

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45: Características del Intercambiador de Calor.

<b>Dimensiones de Intercambiador de Calor</b>		
Largo	1,2	m
Radio interior	25,03	cm
Radio Exterior	43	cm
<b>Tubos</b>		
Numero de tubos	38	
Diámetro exterior de tubos	3/4	pulgadas
	19,05	mm
Diámetro interior de tubos	0,6669	pulgadas
	16,94	mm

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 46: Características del Horno

<b>Horno</b>	
Alto	0,7 m
Radio Interior	25,03 cm
Radio Exterior	43 cm

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47: Características del Quemador

<b>Quemador</b>		
Potencia Calórica	Max.	250 KW
	Min	25 KW
Consumo Eléctrico	Encendido	435 W
	Reg. Normal	220 W
Consumo de Combustible	Máximo	250 KG/h
	Mínimo	251 KG/h

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 48: Características del Ventilador

<b>Ventilador</b>	
Caudal	1 300 m <sup>3</sup> /h
Motor	1 Hp
Peso	38
Diámetro de Rotor	7 pulgadas

Fuente: Elaboración Propia

Se hizo una evaluación económica de todo el secador de café y se estableció un costo estimado de S/. 49 302 y un periodo de recuperación de 3 años con 6 meses y 19 días.

Gráfica 14: Tiempo de Recuperación



Fuente: Elaboración Propia

## VI. CONCLUSIONES

- La cosecha del café se da entre los meses de mayo hasta agosto, la “Asociación de Productores Agropecuarios Señor Cautivo La Coipa (APASCLAC)” tiene como mayor producción un total de 8 942,17 quintales de café, es por ello que el secador tiene una capacidad de 1 200 kg, de esa manera podrá satisfacer las necesidades de la asociación.
- Utilizando criterios como son; costo, eficiencia, eficacia, mantenimiento, confiabilidad, espacio y tiempo de secado se seleccionó un secador de tipo rotatorio.
- El secador de café contará con un quemador que tendrá como fuente de combustible la cascarilla de café y usará 20 kg/h, un ventilador modelo “WFS – 52” que tiene un caudal de  $1\,300 \frac{m^3}{h}$ , un intercambiador de calor de flujo cruzado con 30 tubos y un deshumidificador modelo DEHUTECH de la SERIE DT 1 300.
- El costo para la elaboración de secador rotatorio de café sumó un total de S/. 49 302 y se recuperará en un periodo de 3 años con 6 meses y 22 días

## VII. RECOMENDACIONES

- No se debe exceder de los 1 20 KG de café por tanda de secado, esto acortaría la vida útil de todos los equipos que comprenden el sistema de secado.
- Después de cada tanda de secado verificar que el cilindro giratorio quede completamente limpio.
- Hacer un mantenimiento a los diferentes equipos periódicamente para de esa manera alargar la vida útil del secador para café.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Gestión, «INEI: Producción de café aumentó 13.6% en junio del 2017,» *Gestión*, 24 Agosto 2017.
- [2] M. Ortiz, «Lluvias prolongadas afectan la producción del café y la quinua,» *El Comercio*, 2015 Mayo 19.
- [3] E. L. P. F. R. V. C. MARIO MILVER PATIÑO VELASCO, «Determinación del contenido de humedad en granos de café pergamino seco utilizando speckle dinámico,» *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, p. 8, 2016.
- [4] MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE SAN IGNACIO, «RECURSOS TURISTICOS,» *PROVINCIA DE SAN IGNACIO "TIERRA DE CAFÉ Y LA RICA MIEL Y SUS BOSQUES NATURALES"*, p. 12, 2017.
- [5] C. Sánchez Reyes, *Cultivo, Producción y Comercialización del Café*, Lima: RIPALME, 2005.
- [6] Organización Internacional del Café, «International Coffee Organization,» International Coffee Organization, Londres, 2018.
- [7] G. Fuentes, *Manual del Cafe*, Lima: Arte e Impresiones Corporativos, 2012.
- [8] C. E. R. Luna, *TECNOLOGÍA DEL CAFÉ*, Bogotá: UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA.
- [9] M. Escamilla, «Panorama Internacional del Café,» Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios, Mexico , 2017.
- [10] Solidaridad, *CAFÉ 2.0 "Climaticamente Inteligente"*, Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa, 2016.
- [11] G. Valencia Aristizabal, *Manual de Nutrición y Fertilización del Café*, Quito: INPOFOS, 1998.
- [12] S. R. E. CASTRO, «COMPORTAMIENTO EN VIVERO DE SEIS VARIETADES DE CAFÉ INJERTADAS SOBRE Coffea canephora var. ROBUSTA EN SAN RAMÓN (CHANCHAMAYO),» LIMA, 2016.
- [13] M. ALVARADO y G. ROJAS, *EL CULTIVO Y BENEFICIADO DEL CAFÉ*, SAN JOSÉ, 2007.
- [14] M. E. OVANDO CRUZ, M. MARTÍNEZ BOLAÑOS, R. LÓPEZ MORGADO y I. MÉNDEZ LÓPEZ, *ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES DE CAFÉ Coffea arábica L. CON GENOTIPOS TOLERANTES A ROYA ANARANJADA (Hemileia vastatrix Berk y Broome) EN EL ESTADO DE OAXACA, OXACA: INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRICOLAS Y PECUARIAS*, 2017.
- [15] J. LEÓN, *BOTÁNICA DE LOS CULTIVOS TROPICALES*, SAN JOSÉ: INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA, 2000.
- [16] AGROBANCO, «COSECHA Y POSTCOSECHA EN EL CAFÉ,» *GUÍA TÉCNICA*, vol. I, p. 24, 2013.

- [17] E. FIGUEROA HERNÁNDEZ, F. PÉREZ SOTO y L. GODÍNEZ MONTOYA, LA PRODUCCIÓN Y EL CONSUMO DEL CAFÉ, EORFAN-SPAIN, 2015.
- [18] C. GONZÁLES DE MIGUEL, «PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN HONDURAS: MODELADO DE LAS RELACIONES CAFETO - ARBOLADO,» MADRID, 2007.
- [19] E. VARESE y J. ROJAS, CAFICULTURA SUSTENTABLE I, SOLIDARIDAD, 2012.
- [20] COMISIÓN VERACRUZANA DE COMERCIALIZACIÓN AGROPECUARIA., «MONOGRAFÍA DEL CAFÉ,» VERACRUZ, 2010.
- [21] WORLD COFFEE RESEARCH, LAS VARIETADES DEL CAFÉ ARÁBICA, PORTLAND: WORLD COFFEE RESEARCH, 2018.
- [22] SOLIDARIDAD, BUENAS PRÁCTICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ, UTRECH: SOLIDARIDAD, 2009.
- [23] C. CUEVA SIFUENTES, CAFÉ SOSTENIBLE MANUAL DAS, JUNÍN: IMPRESSOS DE LUIS ALBERTO GARCÍA EUFRACIO, 2017.
- [24] C. Oliveros y J. Sanz, Ingeniería y café en Colombia, Bogota: Revista de Ingeniería Universidad de los Andes, 2011.
- [25] J. Besora Magem, «Informe Técnico para la construcción de un secador solar de café,» Ingeniería Sin Fronteras, Jaén, 2017.
- [26] J. M. PRADO POZUELO y J. M. CABRERA MARRERO, «CARACTERIZACIÓN TERMOMÉCANICA DE ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS AISI - 304,» UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA, CATALUNYA, 2002.
- [27] INDURA, MANUAL ACEROS INOXIDABLES, LOS CERRILLOS: 2M IMPRESORES LTDA., 2010.
- [28] M. GONZÁLEZ, «ACEROS INOXIDABLES,» CURSO DE METALURGÍA, MONTEVIDEO, 2004.
- [29] S. G. LAUFGANG, «ACEROS INOXIDABLES,» TERMO SOLDEX S.A., BUENOS AIRES, 2003.
- [30] S. A. LEAL ALANIS, «CARACTERIZACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES Y ESTUDIO DE SU RESISTENCIA MECÁNICA Y CONFORMABILIDAD,» UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN, SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, 2011.
- [31] R. COLÁS, «ACEROS INOXIDABLES, RESISTENTES A LA CORROSIÓN, AL CALOR Y SÚPER ALEACIONES,» 1994.
- [32] J. P. Vasquez Hernandez, «ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN DE CARBUROS EN EL ACEROINOXIDABLE AISI 304 EN ENFRIAMIENTO CONTINUO,» SAN NICOLAS DE DE LOS GARZA, 1996.
- [33] R. Valderrábano Ramírez, «CONCENTRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR PARA EL SECADO DE CAFÉ PERGAMINO,» Instituto Politécnico Nacional, Mexico D.F, 2011.
- [34] EMPRESA CONSULTORA CONSULSANTOS S.R.L., «MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA EN EL BENEFICIO

- ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE CAFÉ SOSTENIBLE TARRAZÚ,»  
EMPRESA CONSULTORA CONSULSANTOS S.R.L., COSTA RICA, 2010.
- [35] M. M. PATIÑO VELASCO, E. L. PENCUE FIERRO y R. VARGAS CAÑAS, «DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HÚMEDAD EN GRANOS DE CAFÉ PERGAMINO SECO UTILIZANDO SPECKLE DINÁMICO,»  
Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, Cauca, 2016.
- [36] A. J. MORA CARANQUI, «DISEÑO DE UN SECADOR ROTATORIO PARA GRANOS DE CACAO CON CAPACIDAD DE 3 TONELADAS DIARIAS PARA LA PRODUCCIÓN NACIONAL,» GUAYAQUIL, 2015.
- [37] J. C y V. C, «Diseño de un Sistema de Secado de Café,» Universidad Central de Venezuela, Venezuela, 2009.
- [38] A. BEDFORD y W. T. FOWLER, MECÁNICA PARA INGENIERÍA. DINÁMICA, QUINTA ed., MÉXICO: PEARSON EDUCATION, 2008.
- [39] J. A. C. Benavides, «Determinación de parámetros fisicoquímicos y cinéticos de la degradación térmica de broza y cascarilla de café para ser utilizado en simulaciones computacionales del proceso de gasificación,» Universidad de Costa Rica, San José, 2014.
- [40] R. L. Norton, DISEÑO DE MÁQUINAS, UN ENFOQUE INTEGRADO, CUARTA ed., MEXICO: PEARSON EDUCATION, 2011.
- [41] P. Basu, Combustion and Gasification in Fluidized Beds-CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 2006.
- [42] F. P. INCROPERA y D. P. DE WITT, FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, MEXICO: PRENTICEHALL, 1999.
- [43] J. R. Welty, Transferencia de Calor aplicada a la ingeniería, Mexico: Limusa Noriega, 1996.

## IX. ANEXOS

### ANEXO 1: FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL CAFÉ

Tabla 49: Factores que influyen en la calidad del café

COSECHA Y BENEFICIO	BUENA CALIDAD	DISMINUYE LA CALIDAD
COSECHA	Frutos maduros y bien pintones.	Frutos verdes, maduros y sobre maduros.
DESPULPADO	El mismo día.	Los almacenan varios días.
FERMENTADO	Entre 12 a 18 horas.	Sobre fermentan por mas de 24 horas, yjuntan fermentos de varios días.
LAVADO Y CLASIFICADO	Con agua limpia, y utilizan canal de correo.	Mal lavado dejando mucilago sobre el grano, no clasifican el café.
SECADO	Utilizan pisos de cemento o mantas gruesas. Humedad 12 a 14%	Secan en el piso o en mantas muy delgadas. Humedad mayor del 20%
ALMACENADO	En lugares libres, fuera de olores fuertes.	En lugares cerca de la cocina. En almacenes que tienen olores fuertes con humedad mayor al 20%
RENDIMIENTO	75 a 80%	Menos del 75%
		

Fuente: Manual del Café Sostenible [23]

## ANEXO 2: PORCENTAJE DE HÚMEDAD EN GRANOS DE CAFÉ

Tabla 50: Tabla 50: Porcentaje de Humedad en Granos de Café

TIPO DE CAFÉ	% DE AGUA	TIPO DE CAFÉ	% DE AGUA
1. Café mojado	48 - 50	5. Grano de color negro suave	20 - 25
2. Seco de agua	40 - 48	6. Grano de color negro fuerte	15 - 20
3. Grano de agua	35 - 40	7. Grano gris verdoso	20
4. Grano Opaco	25 - 35	8. Grano Amarillento	8

Fuente: Manual del Café Sostenible [23]

## ANEXO 3: UBICACIÓN DE CAJAMARCA EN EL PERU

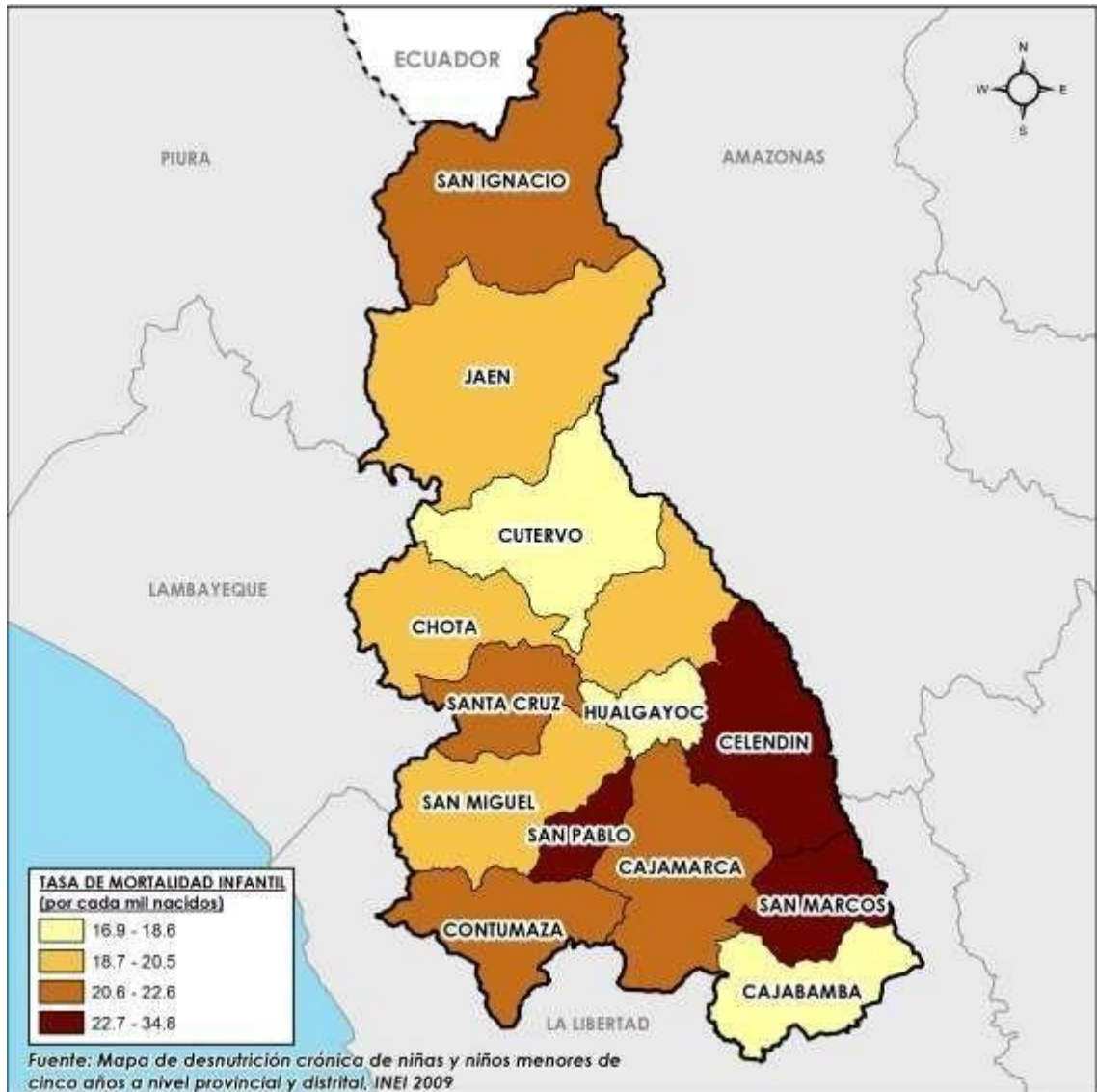
Figura 41: Ubicación de Cajamarca en el Perú



Fuente: [https://www.ecured.cu/Archivo:Mapa-cajamarca\\_1.jpg](https://www.ecured.cu/Archivo:Mapa-cajamarca_1.jpg)

## ANEXO 4: UBICACIÓN DE SAN IGNACION EN CAJAMARCA

Figura 42: Ubicación de San Ignacio en Cajamarca



Fuente: <http://www-bambamarcaaldia.blogspot.com/2018/11/inei-cajamarca-es-la-tercera-region-con.html>

## ANEXO 5: UBICACIÓN DE LA COIPA EN SAN IGNACIO

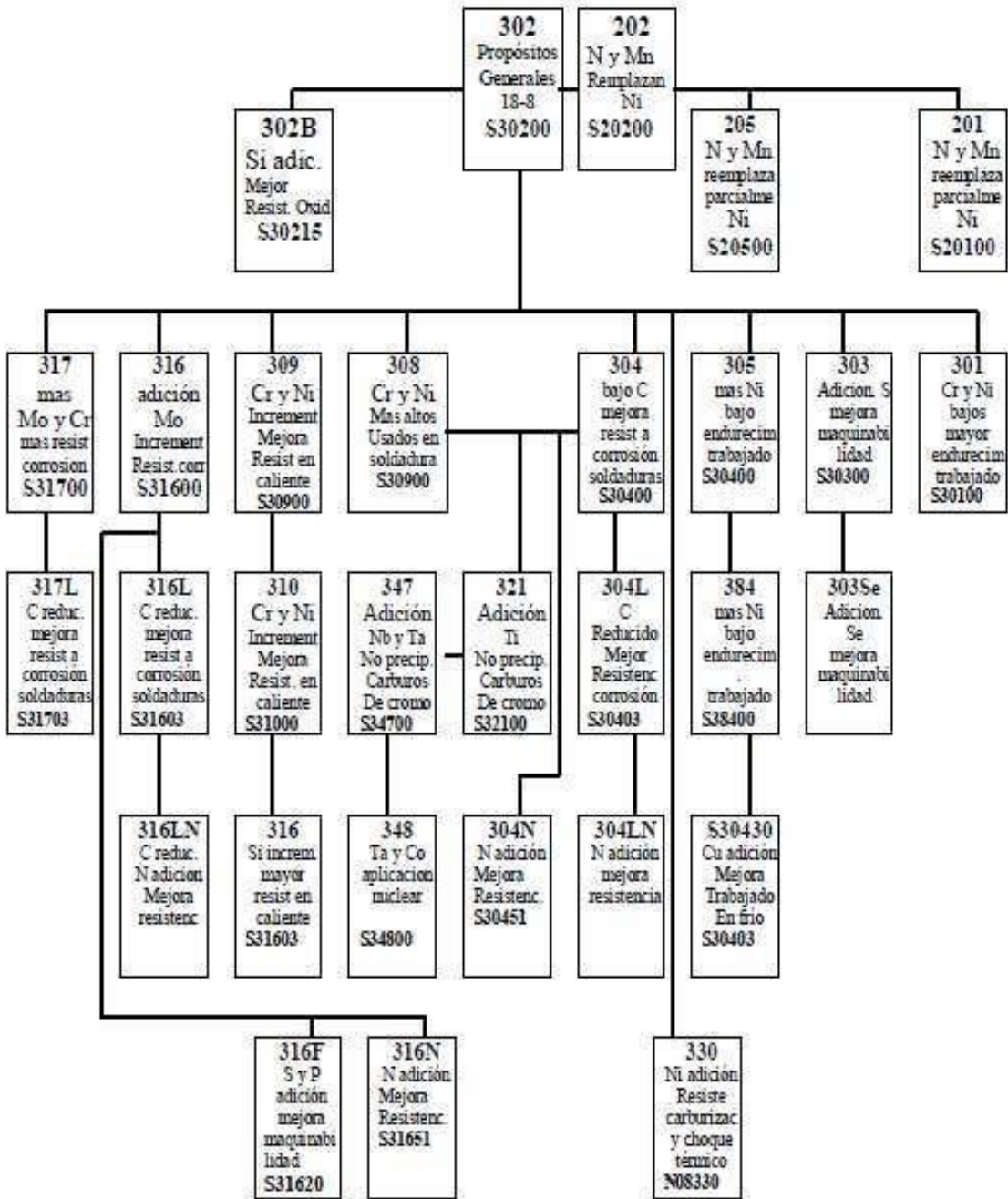
Figura 43: Ubicación de La Coipa En San Ignacio



Fuente: <http://www.munisani Ignacio.gob.pe/index.php/san-ignacio/division-politica>

ANEXO 6: RELACIONES ENTRE GRADOS DE ACEROS DE LA FAMILIA DE INOXIDABLES AUSTENÍTICOS.

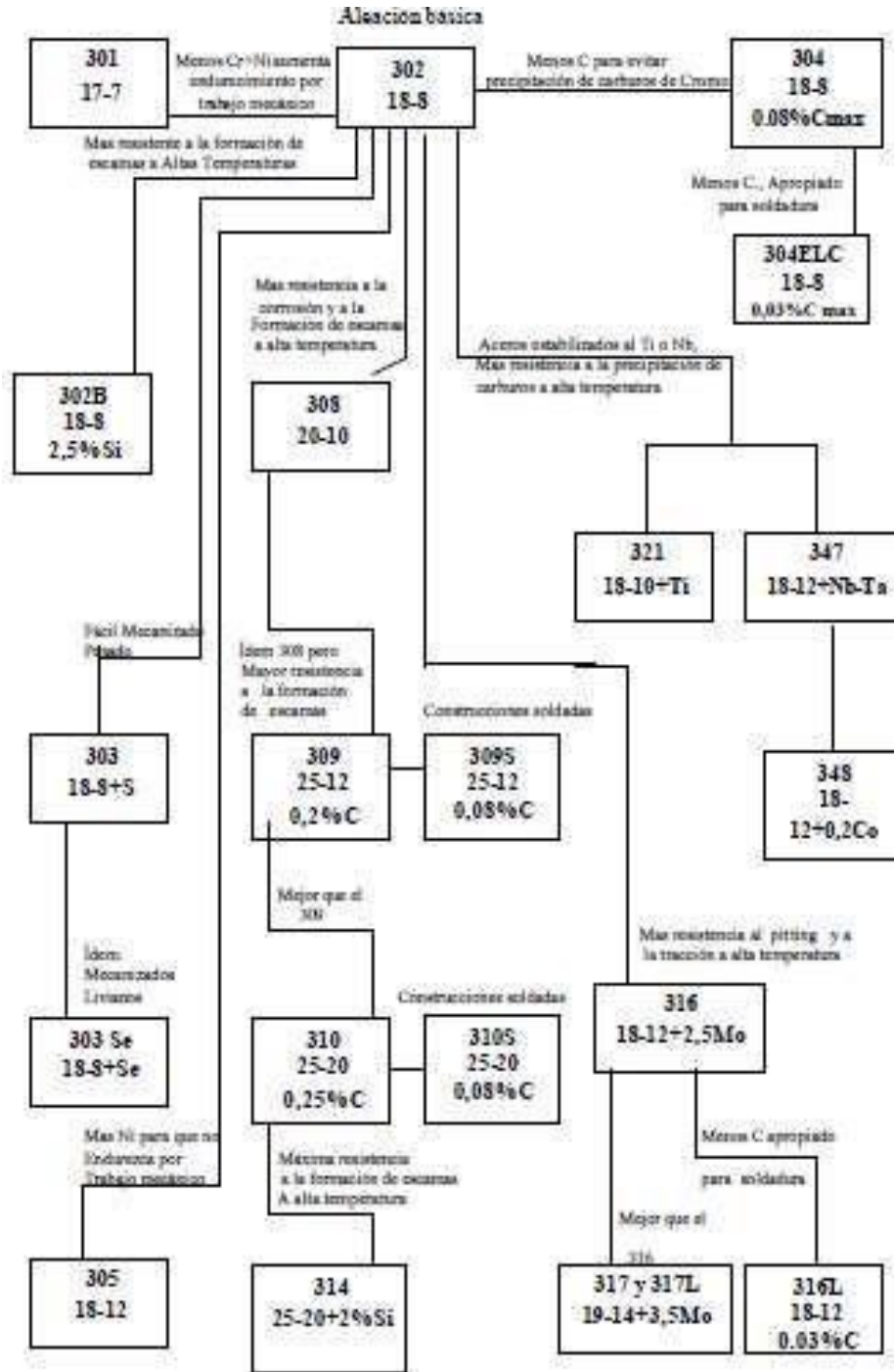
Figura 44: Relaciones entre grados de aceros de la familia de inoxidables austeníticos



Fuente: Aceros Inoxidables. [28]

ANEXO 7: DESARROLLO DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS

Figura 45: Desarrollo de los aceros inoxidables Austeníticos



Fuente: Aceros Inoxidables. [29]

## ANEXO 8: DESARROLLO DE LOS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS

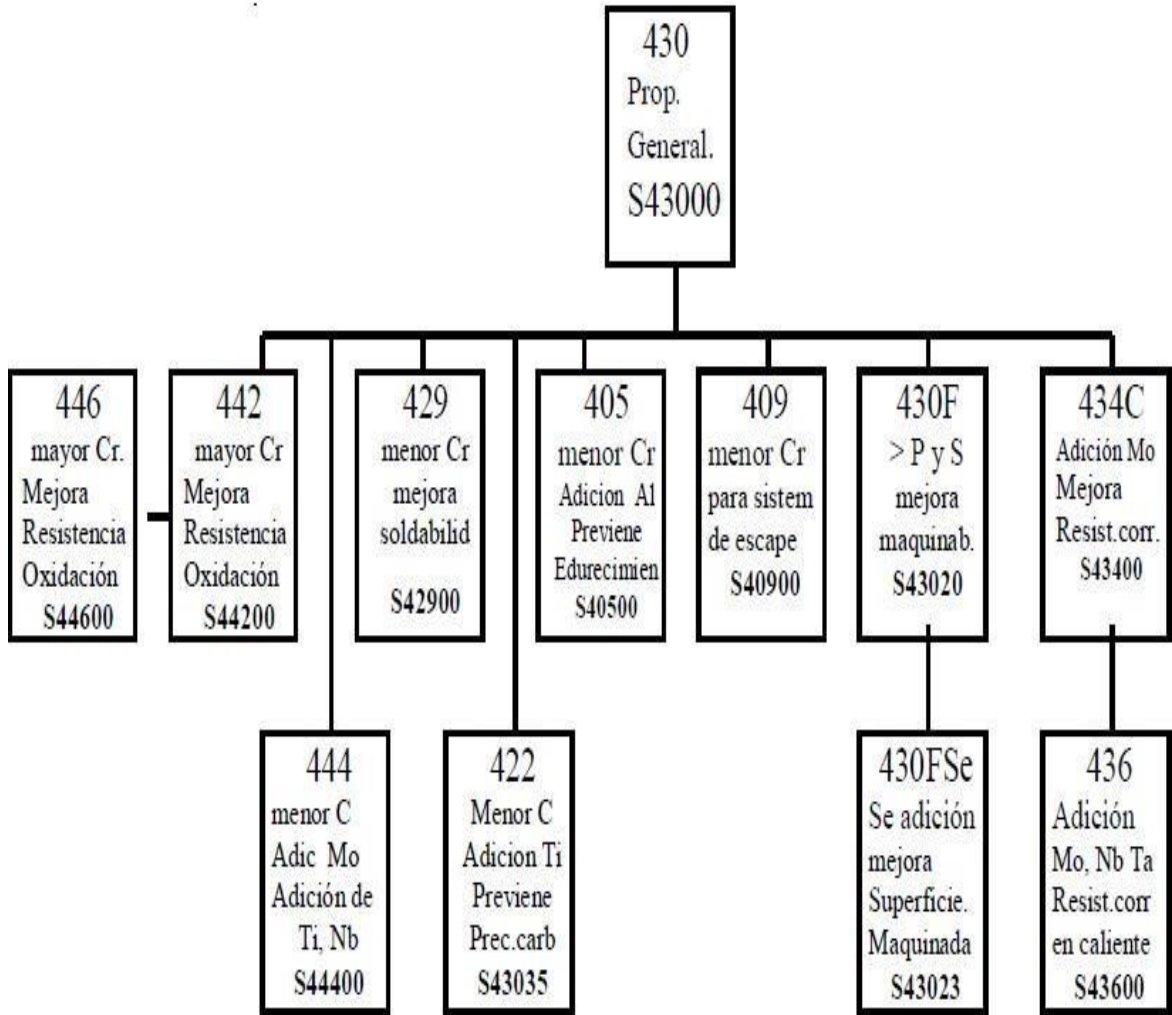
Tabla 51: Desarrollo de los Inoxidables Austeníticos

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
302	Aleación básica con 18% de Cr y 8% Ni.
302 B	Se agrega Silicio para mejorar la resistencia a la formación de escamas a alta temperatura.
303	Agregados de S (0,15 min) al grado 302 para mejorar maquinabilidad
304	Menos % C (0,008%) que el 302 para mejorar la resistencia a la corrosión intergranular.
304 L	Menos 0,03% C (para reducir riesgos de corrosión intergranular).
304 N	Agregado de N para aumentar la resistencia mecánica.
305 LN	Agregado de N al 304 L para aumentar la resistencia mecánica.
308	Agregado de Cr y Ni (20 - 10) para mejorar resistencia a la corrosión y a la formación de escamas a alta temperatura.
309 / 309 S	Más Cr y Ni para aumentar resistencia a la formación de escamas a alta temperatura.
310 / 310 S	Más Cr y Ni para aumentar aún más la resistencia a la formación de escamas a alta temperatura.
316	Agregado de 2 - 3% Mo mejora resistencia al Pitting y a la tracción a alta temperatura.
316 N	Agregado de 0,15% N para aumentar resistencia mecánica.
316 F	Agregado de S y P para mejorar Maquinabilidad.
316 L	Disminución del % C para mejor resistencia a Corrosión Intergranular en soldadura.
316 LN	Agregado de 0,15% N para aumentar resistencia mecánica.
317	Más Cr y Ni (19 - 14 + 3,5% Mo) mejora resistencia a la corrosión.
317 L	Menos C para mejorar resistencia a la Corrosión intergranular especialmente en soldadura.
347	Acero Estabilizado con Nb y Ta para formar carburos de Nb y Ta en vez de Cr.
348	Acero Estabilizado con Ta y Co limitados para aplicación nuclear.
321	Acero Estabilizado con Ti para formar carburos de Ti en vez de carburos de Cr.
303	Agregado de S (0,15 min.) al grado 302 para mejorar maquinabilidad.
202	Se reemplaza parcialmente el Níquel por N y Mn. 8% Mn y 0,25 N.
205	Se reemplaza parcialmente el Níquel por N y Mn 15% de Mn y 0,35 N.
201	Se reemplaza parcialmente el Níquel por N y Mn. 6% Mn y 0,25 N.
314	Se incrementa el Si para aumentar la resistencia a la formación de escamas a alta temperatura.
303	Se agrega S para aumentar maquinabilidad.
303 Se 330	Se agrega Se para aumentar maquinabilidad y mejorar terminación superficial 330 Más Ni (18 - 35) para aumentar resistencia al shock térmico y carburización.

Fuente: Aceros Inoxidables. [29]

ANEXO 9: RELACIONES ENTRE GRADOS DE ACERO DE LA FAMILIA DE INOXIDABLES FERRÍTICOS

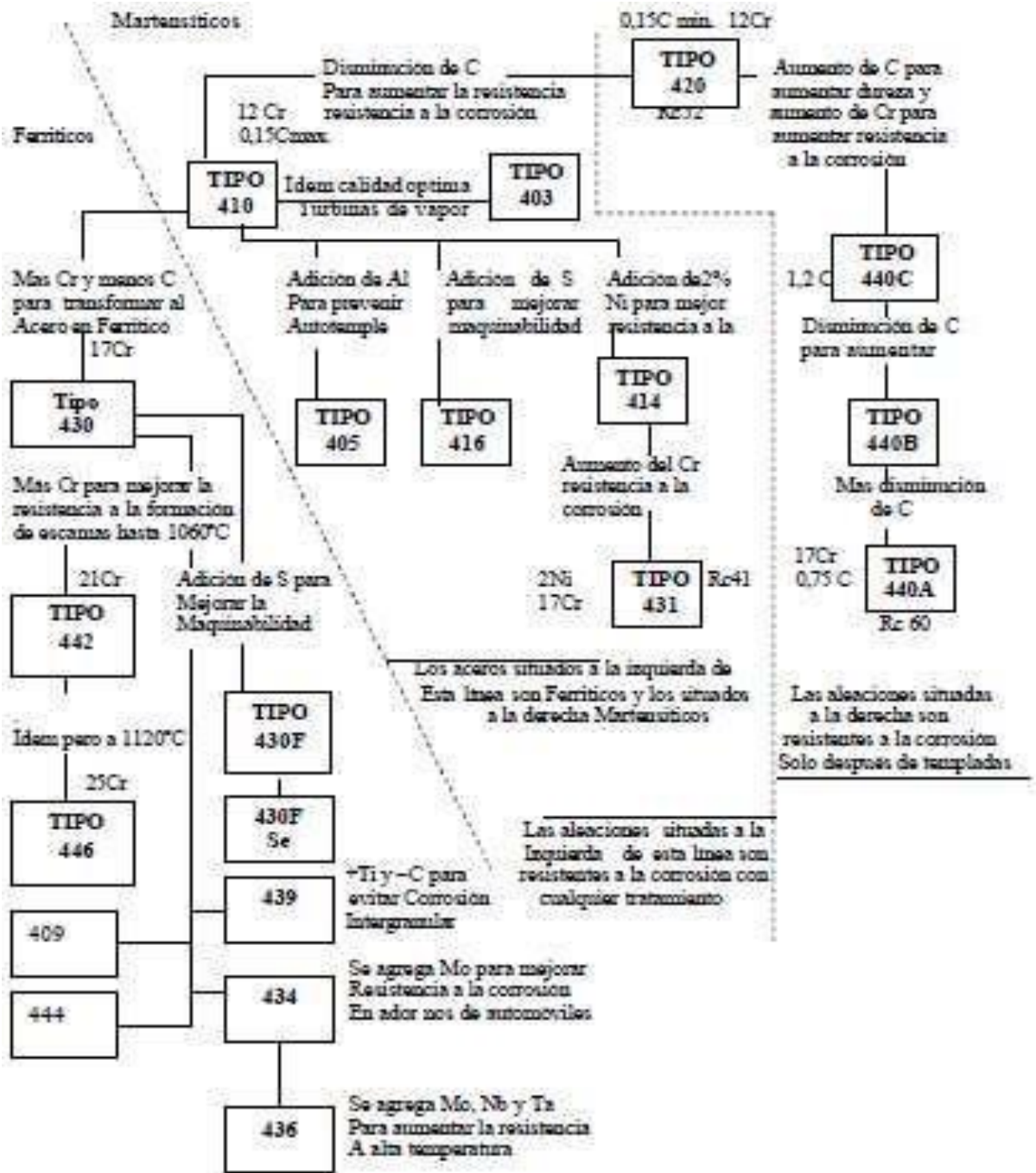
Figura 46: Relaciones entre grados de aceros de la familia de inoxidables ferríticos



Fuente: Aceros Inoxidables. [28]

ANEXO 10: DESARROLLO DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS

Figura 47: Desarrollo de los aceros inoxidables Martensíticos



Fuente: Aceros Inoxidables. [29]

## ANEXO 11: PRODUCCIÓN DEL AÑO 2014 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO

Tabla 52: Producción de Café año 2014

N°	Nombres y Apellidos	Producción (Quintales)
1	Bustillos Rodríguez, Ryan	16,01
2	Campos Carrasco, José Santos	18,41
3	Campos Castillo, José Horacio	20,77
4	Campos Guerrero, Cain	4,94
5	Carrasco Carhuapoma, Eduardo	5,77
6	Chinchay Ordoñez, José Wilton	66,52
7	Chuquihuanga García, Elar	3,06
7	Concha Flores, Nicolasa	3,80
8	Condezo Guerrero, Ludovina	5,32
10	Cruz Ascona, Hugo	19,83
11	Cruz Ascona, Nery	9,39
12	Cruz Chuquipoma, Miguel Máximo	15,26
13	Cruz Facundo, Celestina	4,13
14	Cruz Facundo, Leonardo	45,55
15	Cruz Huancas, Anibal	6,23
15	Cruz Julca, Maura	24,17
17	Cruz Ojeda, Milian Fernando	2,41
18	Cruz Peña, Elber Bacilio	1,30
19	Cruz Rodríguez, Juan	153,15
20	Cruz Rodríguez, Nelzon	39,13
22	Delgado Rodríguez, José Miguel	34,96
23	Farceque Vilchez, Wilmer	8,08
24	Flores García, Alejandro	33,15
28	Herrera Ruíz, Segundo Rafael	18,95
29	Huayama Carhuapoma, Jeyner Miguel	9,56
30	Jiménez Rodríguez, Jimmy Vagner	3,80
31	Jiménez Rodríguez, José Luis	30,71
32	Jiménez Rodríguez, Luis Arturo	19,35
33	Jiménez Román, Timoteo	53,54
34	Miyahara Yabe, Yoshi Jorge	56,49
35	Ojeda Abad, Henry Wilfredo	53,52
37	Ojeda Farseque, Omar	5,77
37	Ojeda Ochoa, Juan	6,60
39	Paz Manayay, Angelita	79,07
41	Paz Manayay, Flor Kely	5,88
43	Paz Manayay, Maritza Rosmely	3,22
38	Ramírez Alberca, Adán	38,71
39	Ramírez Alberca, Deicy	9,19
40	Ramírez Alberca, Gilberto	10,24
42	Ramírez Silvero, José Orlando	10,41
43	Ríos Cordova, Imerita Mabel	6,40
44	Rodríguez Jiménez, Doris Olga	130,00
45	Rodríguez Jiménez, Eladio	15,46
46	Rodríguez Jiménez, Enrique	13,84
47	Rodríguez Jiménez, Víctor	28,54
48	Rodríguez Velásquez, Luis Enrique	5,16
49	Rodríguez Velásquez, Martha Anita	17,79
50	Rodríguez Yajahuanca, Miguel Ángel	23,84
52	Velásquez Baca, Blanca Luz	143,33
53	Zurita García, Lorenzo Emilio	4,20

Fuente: CENFROCAFÉ.

## ANEXO 12: PRODUCCIÓN DEL AÑO 2015 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO.

Tabla 53: Producción de Café año 2015

N°	Nombres y Apellidos	Producción (Quintales)
1	Bustillos Rodríguez, Ryan	118,72
2	Campos Carrasco, José Santos	34,55
3	Campos Castillo, José Horacio	89,78
4	Campos García, Floro	19,63
5	Campos Guerrero, Cain	56,38
6	Campoverde Alberca, Teodora	11,90
7	Carrasco Carhuapoma, Eduardo	40,11
8	Chinchay Ordoñez, José Wilton	324,32
9	Clavo Huamán, Elsira	1,29
10	Concha Flores, Nicolasa	17,10
11	Condezo Guerrero, Ludovina	19,92
12	Cruz Ascona, Hugo	50,22
13	Cruz Ascona, Nery	23,56
14	Cruz Chuquipoma, Miguel Máximo	48,81
15	Cruz Facundo, Celestina	20,45
16	Cruz Facundo, Leonardo	65,60
17	Cruz Huancas, Anibal	2,65
18	Cruz Julca, Maura	67,94
19	Cruz Majuan, Marvin Hugler	24,91
20	Cruz Ojeda, Milian Fernando	29,76
21	Cruz Peña, Elber Bacilio	51,90
22	Cruz Rodríguez, Juan	198,02
23	Cruz Rodríguez, Nelzon	200,52
24	Cruz Sánchez, José Habraham	23,41
25	Delgado Rodríguez, José Miguel	43,27
26	Farceque Vilchez, Wilmer	100,47
27	Flores García, Alejandro	52,72
28	García Pérez, Eyda	50,47
29	Herrera Ruíz, Segundo Rafael	9,69
30	Huayama Carhuapoma, Jeyner Miguel	30,71
31	Jiménez Rodríguez, Jimmy Vagner	41,97
32	Jiménez Rodríguez, José Luis	125,30
33	Jiménez Rodríguez, Luis Arturo	108,42
34	Jiménez Román, Timoteo	109,72
35	Miyahara Yabe, Yoshi Jorge	100,40
36	Ojeda Abad, Henry Wilfredo	77,13
37	Ojeda Abad, Maribel	36,66
38	Ojeda Farseque, Omar	4,83
39	Ojeda Ochoa, Juan	30,80
40	Pangalima Castillo, Gavino	2,95
41	Paz Manayay, Angelita	40,62
42	Ramírez Alberca, Adán	268,49
43	Ramírez Alberca, Deicy	40,17
44	Ramírez Alberca, Gilberto	56,83
45	Ramírez Ramírez, Angel Noé	102,47
46	Ramírez Silvero, José Orlando	52,88
47	Ríos Cordova, Imerita Mabel	5,64
48	Rodríguez Jiménez, Doris Olga	282,20
49	Rodríguez Jiménez, Eladio	79,20
50	Rodríguez Jiménez, Enrique	80,42
51	Rodríguez Jiménez, Víctor	450,45
52	Rodríguez Velásquez, Luis Enrique	99,66
53	Rodríguez Velásquez, Martha Anita	350,84
54	Rodríguez Yajahuanca, Miguel Ángel	28,44
55	Saucedo Calderón, Lucila	9,80
56	Velásquez Baca, Blanca Luz	410,55
57	Zurita García, Lorenzo Emilio	4,17

Fuente: CENFROCAFÉ.

## ANEXO 13: PRODUCCIÓN DEL AÑO 2016 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO

Tabla 54: Producción de Café año 2016

N°	Nombres y Apellidos	Producción (Quintales)
1	Bustillos Rodríguez, Ryan	100,50
2	Campos Carrasco, José Santos	34,55
3	Campos Castillo, José Horacio	176,13
4	Campos Guerrero, Cain	55,49
5	Carrasco Carhuapoma, Eduardo	62,65
6	Chinchay Ordoñez, José Wilton	365,65
7	Concha Flores, Nicolasa	65,21
8	Condezo Guerrero, Ludovina	10,48
9	Condezo López, Edgar	4,76
10	Cruz Ascona, Hugo	47,74
11	Cruz Ascona, Nery	24,89
12	Cruz Chuquipoma, Miguel Máximo	61,47
13	Cruz Facundo, Celestina	18,34
14	Cruz Facundo, Leonardo	67,58
15	Cruz Julca, Maura	40,96
16	Cruz Majuan, Marvin Hugler	45,53
17	Cruz Ojeda, Milian Fernando	54,22
18	Cruz Peña, Elber Bacilio	68,63
19	Cruz Rodríguez, Juan	200,29
20	Cruz Rodríguez, Nelzon	243,23
21	Cruz Sánchez, José Habraham	18,77
22	Delgado Rodríguez, José Miguel	72,45
23	Farceque Vilchez, Wilmer	132,74
24	Flores García, Alejandro	101,39
25	García Pérez, Eyda	97,74
26	García Saldaña, Mónica Elizabeth	106,94
27	Herrera Neira, Susmiro	18,44
28	Herrera Ruíz, Segundo Rafael	35,81
29	Huayama Carhuapoma, Jeyner Miguel	35,47
30	Jiménez Rodríguez, Jimmy Vagner	80,30
31	Jiménez Rodríguez, José Luis	65,01
32	Jiménez Rodríguez, Luis Arturo	100,02
33	Jiménez Román, Timoteo	50,26
34	Miyahara Yabe, Yoshi Jorge	111,48
35	Ojeda Abad, Henry Wilfredo	92,69
36	Ojeda Abad, Maribel	70,68
37	Ojeda Ochoa, Juan	5,89
38	Ramírez Alberca, Adán	199,57
39	Ramírez Alberca, Deicy	84,52
40	Ramírez Alberca, Gilberto	113,95
41	Ramírez Ramírez, Ángel Noé	159,27
42	Ramírez Silvero, José Orlando	92,85
43	Ríos Cordova, Imerita Mabel	36,24
44	Rodríguez Jiménez, Doris Olga	248,17
45	Rodríguez Jiménez, Eladio	75,44
46	Rodríguez Jiménez, Enrique	88,97
47	Rodríguez Jiménez, Víctor	452,24
48	Rodríguez Velásquez, Luis Enrique	78,55
49	Rodríguez Velásquez, Martha Anita	380,71
50	Rodríguez Yajahuanca, Miguel Ángel	35,63
51	Saucedo Calderón, Lucila	22,29
52	Velásquez Baca, Blanca Luz	452,58
53	Zurita García, Lorenzo Emilio	63,45

Fuente: CENFROCAFÉ.

## ANEXO 14: : PRODUCCIÓN DEL AÑO 2017 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO.

Tabla 55: Producción de Café año 2017

N°	Nombres y Apellidos	Producción (Quintales)
1	Bustillos Rodríguez, Ryan	124,88
2	Calva Herrera, Orfelinda	64,35
3	Campos Campos, Adan	16,28
4	Campos Carrasco, José Santos	45,14
5	Campos Castillo, José Horacio	228,19
6	Campos Guerrero, Cain	121,55
7	Carhuatocto Vilchez, Sintia Pamela	75,00
8	Carrasco Carhuapoma, Eduardo	92,63
9	Chinchay Ordoñez, José Wilton	300,45
10	Concha Flores, Nicolasa	61,63
11	Condezo Concha, Erisele	68,66
12	Condezo Guerrero, Ludovina	30,01
13	Correa Cordova, Jovino	101,39
14	Cruz Ascona, Hugo	90,47
15	Cruz Ascona, Nery	78,54
16	Cruz Chuquipoma, Miguel Máximo	75,75
17	Cruz Facundo, Celestina	15,68
18	Cruz Facundo, Leonardo	67,00
19	Cruz Geraldo, Hermila	125,48
20	Cruz Geraldo, Ausberto	111,05
21	Crus Huamán, Luis Américo	32,72
22	Cruz Julca, Filonila	200,57
23	Cruz Julca, Maura	55,80
24	Cruz Majuan, Marvin Hugler	54,42
25	Cruz Ojeda, Milian Fernando	61,48
26	Cruz Peña, Brizaida	164,03
27	Cruz Peña, Elber Bacilio	80,00
28	Cruz Rodríguez, Juan	235,24
29	Cruz Rodríguez, Nelzon	271,64
30	Cruz Sánchez, José Habraham	52,40
31	Cutin Roque, Beanira	31,18
32	Delgado Rodríguez, José Miguel	79,51
33	Estela Vásquez, Bercelia	133,69
34	Farceque Vilchez, Wilmer	169,06
35	Flores García, Alejandro	115,69
36	García Pérez, Eyda	165,25
37	García Saldaña, Mónica Elizabeth	120,58
38	Herrera Neira, Susmiro	51,77
39	Herrera Ruíz, Segundo Rafael	77,13
40	Huamán Carhuapoma, Isidro	60,88
41	Huayama Carhuapoma, Jeyner Miguel	65,80
42	Izquierdo Guerrero, Felix Homero	268,43
43	Izquierdo Rivera, Juan Artemio	192,71
44	Jiménez Rodríguez, Jimmy Vagner	87,36
45	Jiménez Rodríguez, José Luis	94,38
46	Jiménez Rodríguez, Luis Arturo	57,15
47	Jiménez Román, Timoteo	114,63
48	Livia Ojeda, Edgar Jhonander	29,09
49	Miyahara Yabe, Yoshi Jorge	118,08
50	Neyra Alberca, Auner Michael	180,48
51	Nolasco Cruz, Praxides Leopoldo	54,62
52	Ojeda Abad, Henry Wilfredo	134,40
53	Ojeda Abad, Maribel	80,92
54	Ojeda Farseque, Omar	65,93
55	Ojeda Ochoa, Juan	64,92
56	Ramírez Alberca, Adán	238,41
57	Ramírez Alberca, Deicy	89,57
58	Ramírez Alberca, Gilberto	150,54
59	Ramírez Ramírez, Ángel Noé	213,29
60	Ramírez Silvero, José Orlando	98,78
61	Ríos Cordova, Imerita Mabel	30,66
62	Rodríguez Jiménez, Doris Olga	266,54
63	Rodríguez Jiménez, Eladio	78,38
64	Rodríguez Jiménez, Enrique	138,13
65	Rodríguez Jiménez, Víctor	575,22
66	Rodríguez Velásquez, Luis Enrique	77,56
67	Rodríguez Velásquez, Martha Anita	481,30
68	Rodríguez Yajahuanca, Miguel Ángel	52,02
69	Ruiz Moscoso, Carlos	6,80
70	Saucedo Calderón, Lucila	42,08
71	Silva Dávila, Fredegundo	245,80
72	Velásquez Baca, Blanca Luz	311,64
73	Zurita García, Lorenzo Emilio	129,38

Fuente: CENFROCAFÉ.

## ANEXO 15: PRODUCCIÓN DEL AÑO 2018 DE LA ASOCIACIÓN SEÑOR CAUTIVO

Tabla 56: Producción de Café año 2018

N°	Nombres y Apellidos	Producción (Quintales)
1	Bustillos Rodríguez, Ryan	72,75
2	Campos Campos, Adan	40,63
3	Campos Carrasco, José Santos	26,25
4	Campos Castillo, José Horacio	82,72
5	Campos Guerrero, Cain	97,52
6	Carhuatocto Vilchez, Sintia Pamela	88,85
7	Carrasco Carhuapoma, Eduardo	56,71
8	Chinchay Ordoñez, José Wilton	244,25
9	Concha Flores, Nicolasa	70,60
10	Condezo Concha, Erisele	40,01
11	Condezo Guerrero, Ludovina	44,82
12	Correa Cordova, Jovino	42,86
13	Cruz Ascona, Hugo	31,98
14	Cruz Ascona, Nery	43,80
15	Cruz Chuquipoma, Miguel Máximo	18,37
16	Cruz Facundo, Leonardo	109,91
17	Cruz Geraldo, Hermila	26,57
18	Cruz Geraldo, Ausberto	97,18
19	Crus Huamán, Luis Américo	39,50
20	Cruz Julca, Filonila	58,08
21	Cruz Julca, Maura	50,39
22	Cruz Majuan, Marvin Hugler	108,10
23	Cruz Ojeda, Milian Fernando	20,13
24	Cruz Peña, Brizaida	52,01
25	Cruz Peña, Elber Bacilio	30,50
26	Cruz Rodríguez, Juan	198,74
27	Cruz Rodríguez, Nelzon	152,02
28	Cruz Sánchez, José Habraham	37,90
29	Cutin Roque, Beanira	27,24
30	Delgado Rodríguez, José Miguel	66,66
31	Estela Vásquez, Berceña	119,63
32	Farceque Vilchez, Wilmer	108,14
33	Flores García, Alejandro	58,78
34	García Pérez, Eyda	140,15
35	García Saldaña, Mónica Elizabeth	5,30
36	Herrera Neira, Susmiro	56,41
37	Herrera Ruiz, Segundo Rafael	68,77
38	Huamán Carhuapoma, Isidro	64,91
39	Huayama Carhuapoma, Jeyner Miguel	13,94
40	Izquierdo Guerrero, Felix Homero	90,28
41	Izquierdo Rivera, Juan Artemio	108,67
42	Jiménez Rodríguez, Jimmy Vagner	47,39
43	Jiménez Rodríguez, José Luis	30,77
44	Jiménez Rodríguez, Luis Arturo	26,34
45	Jiménez Román, Timoteo	38,10
46	Miyahara Yabe, Yoshi Jorge	121,29
47	Neyra Alberca, Auner Michael	4,96
48	Nolasco Cruz, Praxides Leopoldo	21,81
49	Ojeda Abad, Henry Wilfredo	157,75
50	Ojeda Abad, Maribel	50,66
51	Ojeda Farseque, Omar	107,15
52	Ojeda Ochoa, Juan	58,32
53	Ramírez Alberca, Adán	76,86
54	Ramírez Alberca, Deicy	79,77
55	Ramírez Alberca, Gilberto	55,85
56	Ramírez Silvero, José Orlando	90,59
57	Ríos Cordova, Imerita Mabel	25,92
58	Rodríguez Jiménez, Doris Olga	48,53
59	Rodríguez Jiménez, Eladio	42,81
60	Rodríguez Jiménez, Enrique	45,24
61	Rodríguez Jiménez, Víctor	97,45
62	Rodríguez Velásquez, Luis Enrique	73,60
63	Rodríguez Velásquez, Martha Anita	173,95
64	Rodríguez Yajahuanca, Miguel Ángel	44,97
65	Ruiz Moscoso, Carlos	46,26
66	Saucedo Calderón, Lucila	37,88
67	Silva Dávila, Fredgundo	108,54
68	Velásquez Baca, Blanca Luz	315,10
69	Zurita García, Lorenzo Emilio	92,22

Fuente: CENFROCAFÉ.

## ANEXO 16: PROPIEDADES DEL AIRE A DISTINTAS ALTURA

Tabla 57: Propiedades del Aire a Distintas Alturas

TABLA A-16							
Propiedades de la atmósfera a gran altitud							
Altitud, m	Temperatura, °C	Presión, kPa	Gravedad g, m/s <sup>2</sup>	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m <sup>3</sup>	Viscosidad $\mu$ , kg/m · s	Conductivi- dad térmica, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	$1.789 \times 10^{-5}$	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	$1.783 \times 10^{-5}$	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	$1.777 \times 10^{-5}$	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	$1.771 \times 10^{-5}$	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	$1.764 \times 10^{-5}$	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	$1.758 \times 10^{-5}$	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	$1.752 \times 10^{-5}$	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	$1.745 \times 10^{-5}$	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	$1.739 \times 10^{-5}$	0.0245
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	$1.732 \times 10^{-5}$	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	$1.726 \times 10^{-5}$	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	$1.720 \times 10^{-5}$	0.0242
2400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	$1.713 \times 10^{-5}$	0.0241
2600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	$1.707 \times 10^{-5}$	0.0240
2800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	$1.700 \times 10^{-5}$	0.0239
3000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	$1.694 \times 10^{-5}$	0.0238
3200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	$1.687 \times 10^{-5}$	0.0237
3400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	$1.681 \times 10^{-5}$	0.0236
3600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	$1.674 \times 10^{-5}$	0.0235
3800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	$1.668 \times 10^{-5}$	0.0234
4000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	$1.661 \times 10^{-5}$	0.0233
4200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	$1.655 \times 10^{-5}$	0.0232
4400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	$1.648 \times 10^{-5}$	0.0231
4600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	$1.642 \times 10^{-5}$	0.0230
4800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	$1.635 \times 10^{-5}$	0.0229
5000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	$1.628 \times 10^{-5}$	0.0228
5200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	$1.622 \times 10^{-5}$	0.0227
5400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	$1.615 \times 10^{-5}$	0.0226
5600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	$1.608 \times 10^{-5}$	0.0224
5800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	$1.602 \times 10^{-5}$	0.0223
6000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	$1.595 \times 10^{-5}$	0.0222
6200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	$1.588 \times 10^{-5}$	0.0221
6400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	$1.582 \times 10^{-5}$	0.0220
6600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	$1.575 \times 10^{-5}$	0.0219
6800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	$1.568 \times 10^{-5}$	0.0218
7000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	$1.561 \times 10^{-5}$	0.0217
8000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	$1.527 \times 10^{-5}$	0.0212
9000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	$1.493 \times 10^{-5}$	0.0206
10,000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	$1.458 \times 10^{-5}$	0.0201
12,000	-56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	$1.422 \times 10^{-5}$	0.0195
14,000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	$1.422 \times 10^{-5}$	0.0195
16,000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	$1.422 \times 10^{-5}$	0.0195
18,000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	$1.422 \times 10^{-5}$	0.0195

Fuente: U.S. Standard Atmosphere Supplements. Oficina de Impresiones del Gobierno de Estados Unidos, 1966. Basadas en las condiciones medias anuales a una latitud de 45° y una variación de acuerdo con la época del año y con los patrones del clima. Las condiciones al nivel del mar ( $z = 0$ ) se consideran como  $P = 101.325$  kPa,  $T = 15^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 1.2250$  kg/m<sup>3</sup>,  $g = 9.80665$  m/s<sup>2</sup>.

Fuente: Termodinámica

## ANEXO 17: TABLA DE AGUA SATURADA A DISTINTAS TEMPERATURAS

Tabla 58: Tabla de Agua Saturada a Distintas Temperaturas

TABLA A-4												
Agua saturada. Tabla de temperaturas												
Temp., T °C	Pres. sat., P <sub>sat</sub> kPa	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Liq. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Liq. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Liq. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Fuente: Termodinámica

## ANEXO 18: CALORES ESPECIFICOS DE GASES IDEALES COMUNES

Tabla 59: Calores Específicos de Gases Ideales Comunes

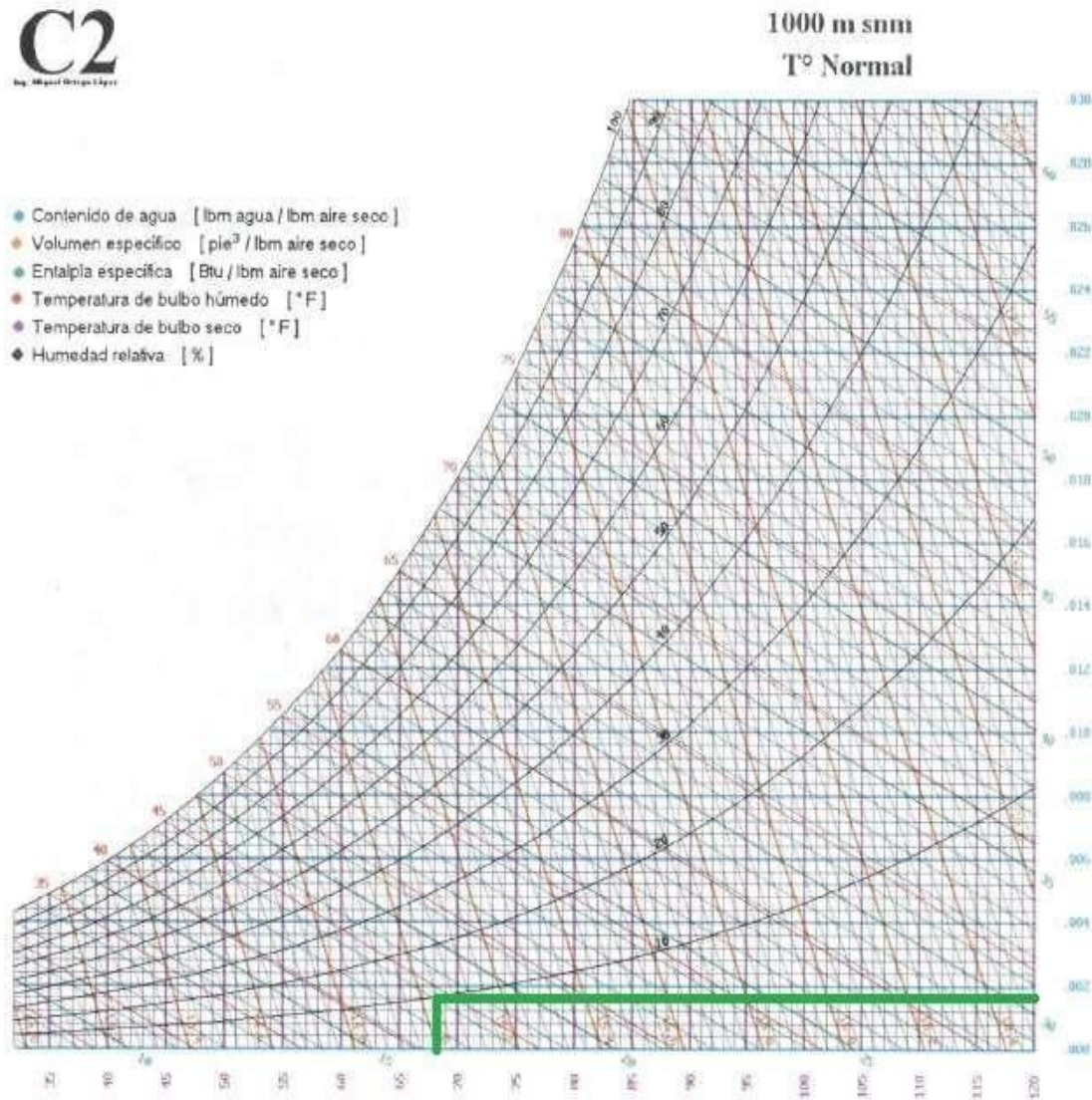
TABLA A-2									
Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes (continuación)									
b) A diversas temperaturas									
Temperatura, K	$c_p$	$c_v$	$k$	$c_p$	$c_v$	$k$	$c_p$	$c_v$	$k$
	kJ/kg · K	kJ/kg · K		kJ/kg · K	kJ/kg · K		kJ/kg · K	kJ/kg · K	
	Aire			Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>			Monóxido de carbono, CO		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335
	Hidrógeno, H <sub>2</sub>			Nitrógeno, N <sub>2</sub>			Oxígeno, O <sub>2</sub>		
250	14.051	9.927	1.416	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398
300	14.307	10.183	1.405	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395
350	14.427	10.302	1.400	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389
400	14.476	10.352	1.398	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382
450	14.501	10.377	1.398	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373
500	14.513	10.389	1.397	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365
550	14.530	10.405	1.396	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358
600	14.546	10.422	1.396	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350
650	14.571	10.447	1.395	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343
700	14.604	10.480	1.394	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337
750	14.645	10.521	1.392	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332
800	14.695	10.570	1.390	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327
900	14.822	10.698	1.385	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319
1000	14.983	10.859	1.380	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313

Fuente: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 1983, p. 783, Tabla A-4M. Publicada originalmente en *Tables of Thermal Properties of Gases*, NBS Circular 564, 1955.

Fuente: Termodinámica

## ANEXO 19: ENTALPÍA A 1000 DE 20 °C

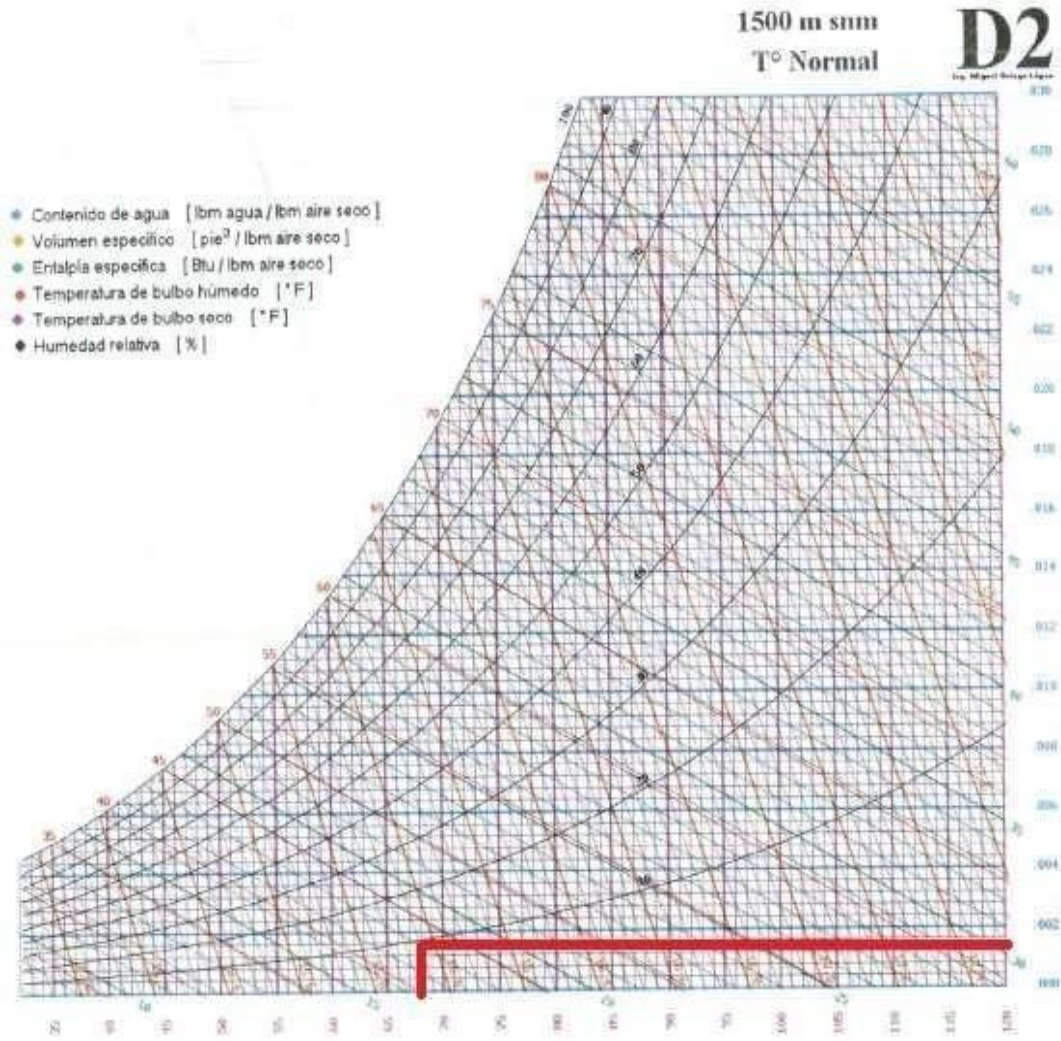
Gráfica 15: Entalpía a 1000 de 20 °C



Fuente: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica

ANEXO 20: ENTALPÍA A 1500 DE 20 °C

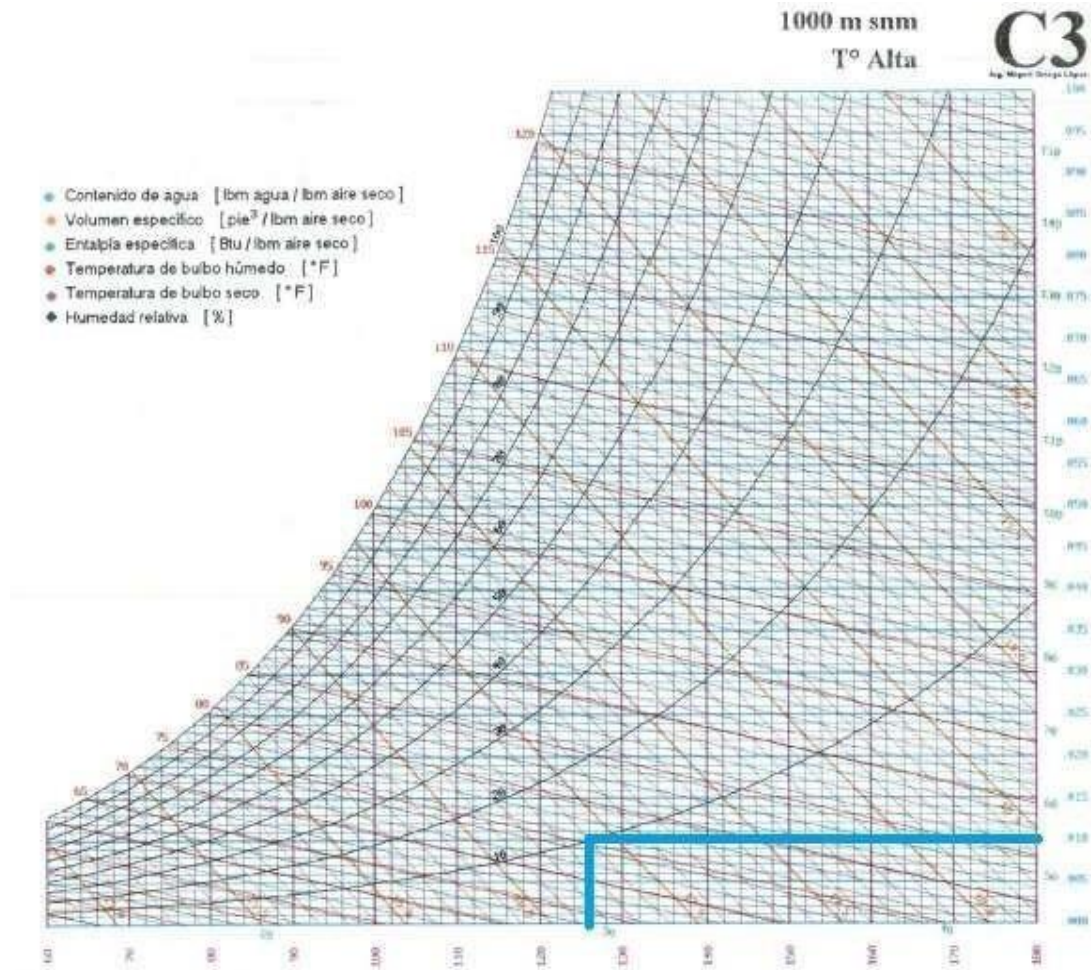
Gráfica 16: Entalpía a 1500 de 20 °C



Fuente: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica

## ANEXO 21: ENTALPÍA A 1000 DE 52 °C

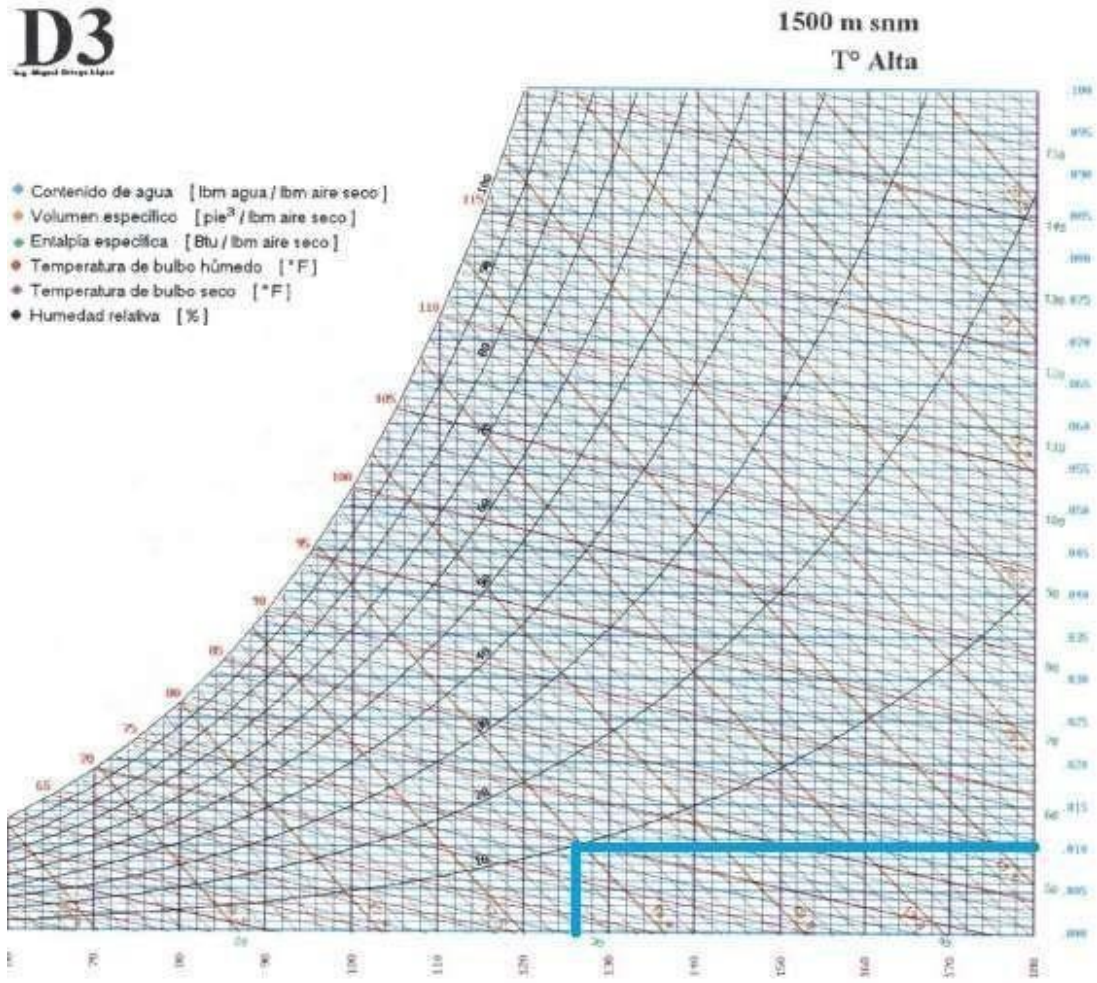
Gráfica 17: Entalpía a 1000 de 52 °C



Fuente: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica

ANEXO 22: ENTALPÍA A 1500 DE 52 °C

Gráfica 18: Entalpía a 1500 de 52 °C



Fuente: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica

## ANEXO 23: FICHA TÉCNICA DE ACERO INOXIDABLE 304

Figura 48: Ficha Técnica Acero Inoxidable 304

## FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

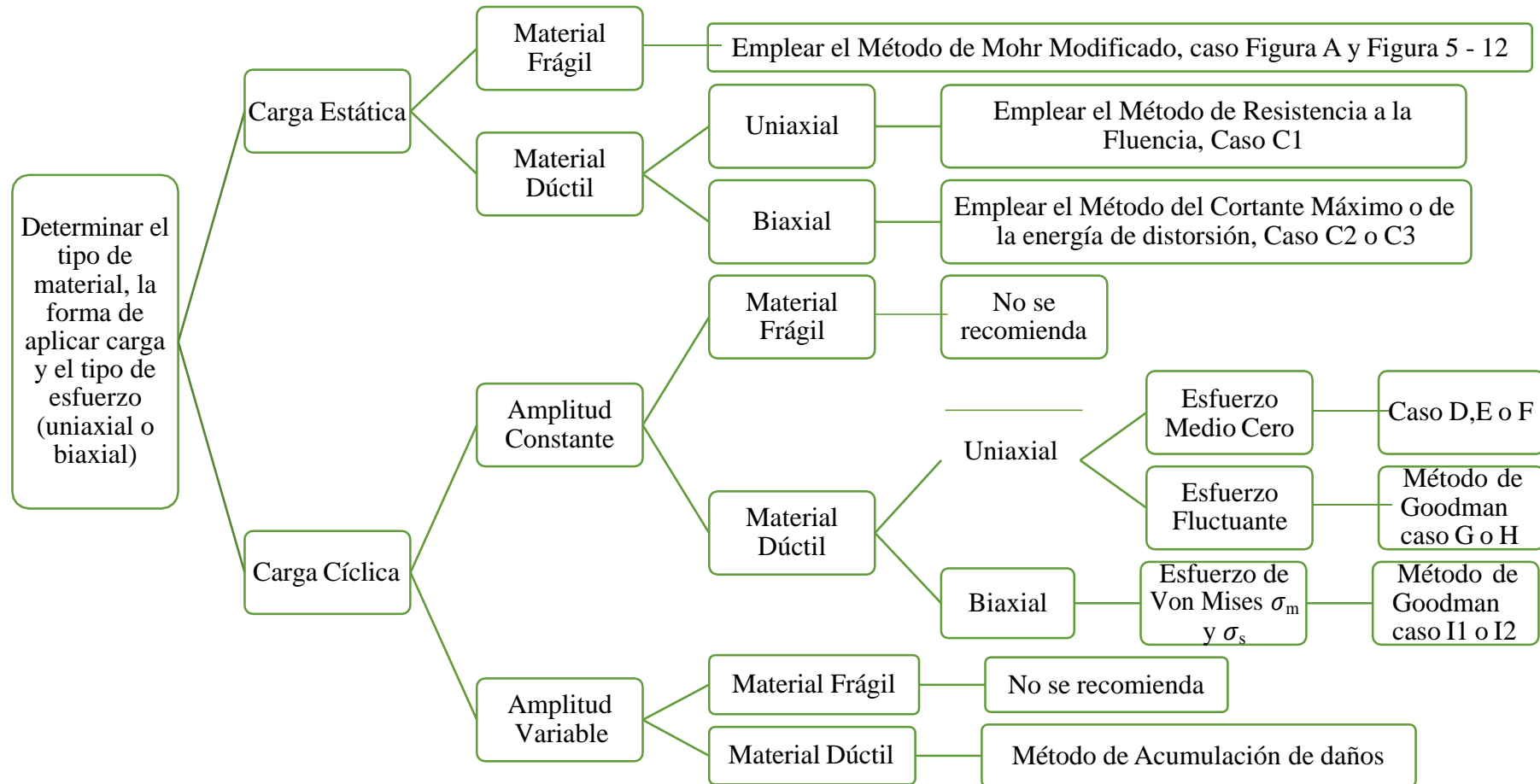
TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300		
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	1398/1454	1371/1398	
	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNETICO 1.008	AMAGNETICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(µΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN	(%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCU1 / KVL	(J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	σ <sub>1/10<sup>6</sup>t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL		(OC)	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	ENFR. RÁPIDO 1008/1120
	TEMPLADO			NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL		(C)	1200 / 925	1200 / 925
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE			925 / 840	925 / 840
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD			MUY BUENA	MUY BUENA
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112			45%	45%
	EMBUTICIÓN			MUY BUENA	BUENA

\* Son aceptables tolerancias de un 1%

Fuente: Carbone Stainless Steel

ANEXO 24: DIAGRAMA PARA DETERMINAR EL TIPO DE MATERIAL, LA FORMA DE APLICAR CARGA Y EL TIPO DE ESFUERZO

Gráfica 19: : Diagrama para determinar el tipo de material, la forma de aplicar carga y el tipo de esfuerzo



Fuente: Diseño de Máquinas. [40]

## ANEXO 25: : FICHA TÉCNICA DE MOTORES SIEMENS

Figura 49: Ficha Técnica de Motorreductor SEW

Información del producto	
<b>SEW EURODRIVE</b>	
Descripción de catálogo	
R87DRN132M4 Reductores de engranajes cilíndricos R + Motores de CA DRN. (IE3)	
Datos de producto	
Velocidad nominal del motor	[1/min] : 1774
Velocidad de salida	[1/min] : 93
Índice de reducción total	: 19.10
Par de salida	[Nm] : 770
Factor de servicio SEW-FB	: 1.65
Posición de montaje	: M1
Pintura imprimación/CapaFinal	: 7031 Gris azulado (51370310)
Posición de conexión/caja de bornas	[°] : 0
Entrada de cable/ Posición del conector	: X
Eje de salida	[mm] : 50x100
Salida de carga radial permitida a n=1750	[N] : 13400
Cantidad de lubricante 1er reductor	[Litro] : 2.3
Potencia del motor	[kW] : 7.5
Factor de duración	: 5:1-100%
Clase eficiente	: IE3
Eficiencia (50/75/100% Pn)	[%] : 91.1 / 91.9 / 91.7
Marcado CE	: Si
Tensión del motor	[V] : 220/380
Esquema de conexionado	: R13
Frecuencia	[Hz] : 60
Corriente nominal	[A] : 28 / 16.1
Cos Phi	: 0.77
Clase de aislamiento	: 155(F)
Tipo protección del motor	: IP55
Requisito del diseño	: IEC
Momento de inercia de masa del motor	[10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup> ] : 381.03
Peso neto	[Kg] : 133
Características adicionales	
Eje de salida: 50x100 mm	
Aislamiento térmico: 155(F)	
Grado de protección IP 55	
Tensión, frecuencia, bobinado	

La información del producto presentada no representa una oferta en términos legales. La información técnica y los precios deben confirmarse en una verificación técnica y comercial final. Esta verificación se lleva a cabo al crear la oferta/pedido. Un contrato legalmente vinculante requiere un pedido realizado por la parte demandante y una confirmación del pedido emitida por SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG. Los precios indicados en esta información del producto se basan en el descuento que ha introducido. Puede encontrar el peso neto exacto en la confirmación del pedido. Por razones técnicas, el peso real puede diferir de esta información.  
Creado en: 2019-06-07 06:16:02 /  
DC: Versión 2.28

## ANEXO 26: FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA

Tabla 60: : Factores de distribución de carga

**Tabla 8-16**  
Factores  $K_m$  de distribución de carga

Ancho de cara in (mm)	$K_m$
<2 (50)	1.6
6 (150)	1.7
9 (250)	1.8
$\geq 20$ (500)	2.0

Fuente: Diseño de Máquinas. [40]

ANEXO 27: FACTORES  $K_A$ Tabla 61: : Factores  $k_a$ 

**Tabla 8-17** Aplicación de factores  $K_a$

Máquina impulsora	Máquina impulsada		
	Uniforme	Impacto moderado	Impacto fuerte
Uniforme (motor eléctrico, turbina)	1.00	1.25	1.75 o mayor
Impacto suave (motor de varios cilindros)	1.25	1.50	2.00 o mayor
Impacto medio (motor de un solo cilindro)	1.50	1.75	2.25 o mayor

Fuente: Diseño de Máquinas. [40]

ANEXO 28: COEFICIENTE ELÁSTICO  $C_p$ .Tabla 62: Coeficiente Elástico  $C_p$ .

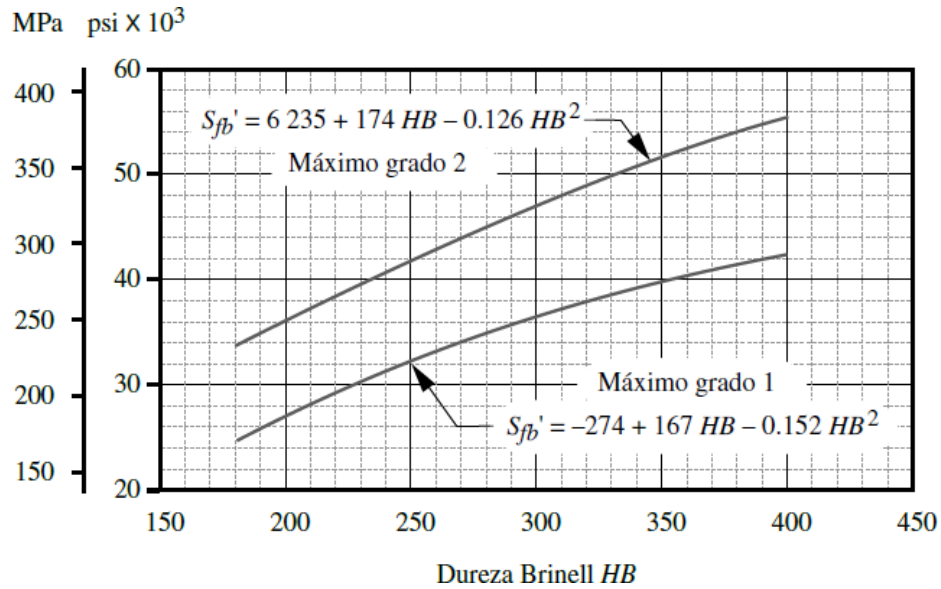
Tabla 8-18		Coeficiente elástico $C_p$ de la AGMA en unidades de $[\text{psi}]^{0.5}$ $([\text{MPa}]^{0.5})^{*\dagger}$					
Material del piñón	$E_p$ psi (MPa)	Material del engrane					
		Acero	Hierro maleable	Hierro nodular	Hierro fundido	Bronce al aluminio	Bronce al estaño
Acero	30E6 (2E5)	2 300 (191)	2 180 (181)	2 160 (179)	2 100 (174)	1 950 (162)	1 900 (158)
Hierro maleable	25E6 (1.7E5)	2 180 (181)	2 090 (174)	2 070 (172)	2 020 (168)	1 900 (158)	1 850 (154)
Hierro nodular	24E6 (1.7E5)	2 160 (179)	2 070 (172)	2 050 (170)	2 000 (166)	1 880 (156)	1 830 (152)
Hierro fundido	22E6 (1.5E5)	2 100 (174)	2 020 (168)	2 000 (166)	1 960 (163)	1 850 (154)	1 800 (149)
Bronce al aluminio	17.5E6 (1.2E5)	1 950 (162)	1 900 (158)	1 880 (156)	1 850 (154)	1 750 (145)	1 700 (141)
Bronce al estaño	16E6 (1.1E5)	1 900 (158)	1 850 (154)	1 830 (152)	1 800 (149)	1 700 (141)	1 650 (137)

<sup>†</sup> Los valores de  $E_p$  en esta tabla son aproximados; se utilizó  $\nu = 0.3$  como una aproximación de la razón de Poisson para todos los materiales. Si existen números más precisos de  $E_p$  y  $\nu$ , éstos se deberían emplear en la ecuación 7.23 para determinar  $C_p$ .

Fuente: Diseño de Máquinas. [40]

ANEXO 29: RESISTENCIA DE LA AGMA PARA FATIGA POR FLEXIÓN

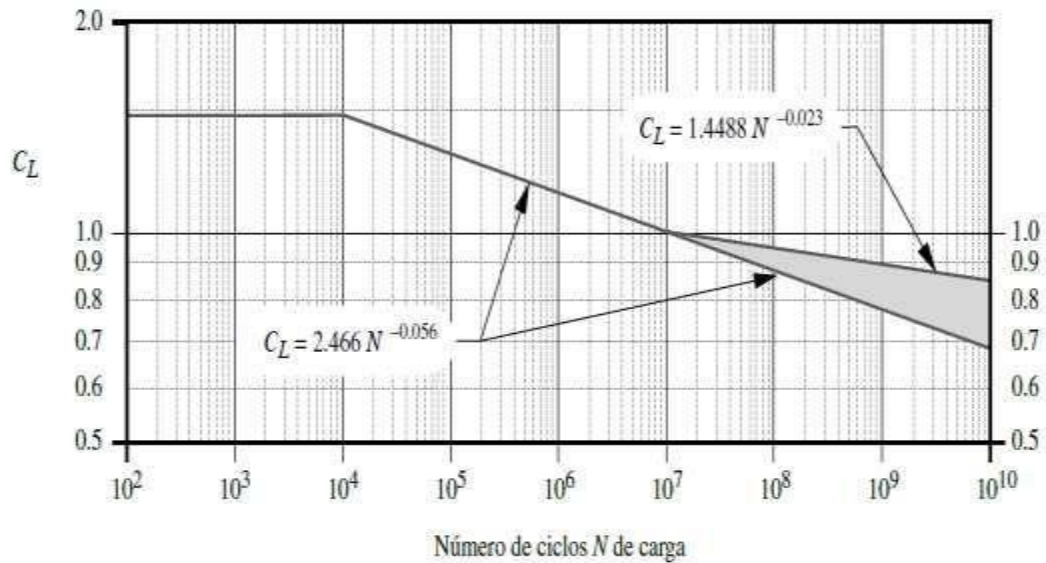
Gráfica 20: : Resistencia de la agma para fatiga por flexión



Fuente: Diseño de Máquinas. [40]

ANEXO 30: FACTOR DE VIDA DE LA AGMA PARA RESISTENCIA SUPERFICIAL A LA FATIGA

Gráfica 21: : Factor de vida de la agma para resistencia superficial a la fatiga:



Fuente: Diseño de Máquinas. [40]

## ANEXO 31: RESISTENCIA DE LA AGMA PARA FATIGA SUPERFICIAL

Tabla 63: Resistencia de la AGMA para la fatiga superficial

Tabla 8-21 Resistencias de la AGMA para fatiga superficial $S_{fc}'$ en un conjunto de materiales de engranes*							
Material	Clase AGMA	Denominación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima	Resistencia superficial a la fatiga		
					psi x 10 <sup>3</sup>	MPa	
Acero	A1-A5		Endurecido totalmente	≤ 180 HB	85-95	590-660	
			Endurecido totalmente	240 HB	105-115	720-790	
			Endurecido totalmente	300 HB	120-135	830-930	
			Endurecido totalmente	360 HB	145-160	1000-1100	
			Endurecido totalmente	400 HB	155-170	1100-1200	
			Endurecido por llama o por inducción	50 HRC	170-190	1200-1300	
			Endurecido por llama o por inducción	54 HRC	175-195	1200-1300	
			Carburado y recubrimiento endurecido	55-64 HRC	180-225	1250-1300	
			AISI 4140	Nitrurado	84.6 HR15N <sup>†</sup>	155-180	1100-1250
			AISI 4340	Nitrurado	83.5 HR15N	150-175	1050-1200
			Nitroaleación 135M	Nitrurado	90.0 HR15N	170-195	1170-1350
			Nitroaleación N	Nitrurado	90.0 HR15N	195-205	1340-1410
			Cromo al 2.5%	Nitrurado	87.5 HR15N	155-172	1100-1200
	Cromo al 2.5%	Nitrurado	90.0 HR15N	192-216	1300-1500		
Hierro fundido	20	Clase 20	Como se fundió		50-60	340-410	
	30	Clase 30	Como se fundió	175 HB	65-70	450-520	
	40	Clase 40	Como se fundió	200 HB	75-85	520-590	
Hierro nodular (dúctil)	A-7-a	60-40-18	Recocido	140 HB	77-92	530-630	
	A-7-c	80-55-06	Templado y revenido	180 HB	77-92	530-630	
	A-7-d	100-70-03	Templado y revenido	230 HB	92-112	630-770	
	A-7-e	120-90-02	Templado y revenido	230 HB	103-126	710-870	
Hierro maleable (perlítico)	A-8-c	45007		165 HB	72	500	
	A-8-e	50005		180 HB	78	540	
	A-8-f	53007		195 HB	83	570	
	A-8-i	80002		240 HB	94	650	
Bronce	Bronce 2	AGMA 2C	Fundido en arena	40 ksi resistencia a la tensión min.	30	450	
	Al/Br 3	ASTM B-148 78 aleación 954	Tratado térmicamente	90 ksi resistencia a la tensión min.	65	450	

† Escala Rockwell 15N utilizada para materiales con recubrimiento endurecido; véase la sección B.4

Fuente: Diseño de Máquinas. [40]

## ANEXO 32: PROPIEDADES DEL AIRE SECO

Tabla 64: Propiedades de aire seco

Tablas 4.4: Propiedades de gases a presión atmosférica

Tabla 4.4.1: Propiedades del aire seco a presión atmosférica

T (°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	Pr
-150	2.867	0.982	8.64	3.013	11.71	4.157	0.7246
-100	2.039	0.965	11.90	5.835	15.82	8.034	0.7263
-90	1.927	0.975	12.49	6.482	16.62	8.842	0.7330
-80	1.828	0.983	13.07	7.153	17.42	9.692	0.7381
-70	1.738	0.990	13.64	7.850	18.22	10.59	0.7414
-60	1.656	0.995	14.20	8.572	19.01	11.53	0.7433
-50	1.582	0.999	14.74	9.317	19.79	12.52	0.7440
-40	1.514	1.002	15.27	10.08	20.57	13.56	0.7436
-30	1.452	1.004	15.79	10.88	21.34	14.65	0.7425
-20	1.394	1.005	16.30	11.69	22.11	15.78	0.7408
-10	1.341	1.006	16.80	12.52	22.88	16.96	0.7387
0	1.292	1.006	17.29	13.38	23.64	18.17	0.7362
5	1.269	1.006	17.54	13.82	24.01	18.80	0.7350
10	1.247	1.006	17.78	14.26	24.39	19.44	0.7336
15	1.225	1.007	18.02	14.71	24.76	20.08	0.7323
20	1.204	1.007	18.25	15.16	25.14	20.74	0.7309
25	1.184	1.007	18.49	15.61	25.51	21.40	0.7296
30	1.164	1.007	18.72	16.08	25.88	22.08	0.7282
35	1.146	1.007	18.95	16.54	26.25	22.76	0.7268
40	1.117	1.007	19.18	17.02	26.62	23.45	0.7255
45	1.110	1.007	19.41	17.49	26.99	24.16	0.7241
50	1.092	1.007	19.63	17.97	27.35	24.87	0.7228
55	1.076	1.007	19.86	18.46	27.72	25.59	0.7215
60	1.060	1.007	20.08	18.95	28.08	26.31	0.7202
65	1.044	1.007	20.30	19.45	28.45	27.05	0.7190
70	1.029	1.007	20.52	19.95	28.81	27.79	0.7177
75	1.014	1.008	20.74	20.45	29.17	28.55	0.7166
80	0.999	1.008	20.96	20.97	29.53	29.31	0.7154
85	0.986	1.008	21.17	21.48	29.88	30.07	0.7143
90	0.972	1.008	21.39	22.00	30.24	30.85	0.7132
95	0.959	1.009	21.60	22.52	30.60	31.63	0.7121
100	0.946	1.009	21.81	23.05	30.95	32.42	0.7111
110	0.921	1.010	22.23	24.12	31.65	34.02	0.7092
120	0.898	1.011	22.64	25.21	32.35	35.64	0.7073
130	0.876	1.012	23.05	26.32	33.05	37.30	0.7057
140	0.854	1.013	23.45	27.44	33.74	38.98	0.7041
150	0.834	1.014	23.85	28.59	34.43	40.68	0.7027
160	0.815	1.016	24.24	29.74	35.11	42.40	0.7014
170	0.797	1.017	24.63	30.92	35.79	44.15	0.7003
180	0.779	1.019	25.01	32.11	36.46	45.92	0.6992
190	0.762	1.021	25.39	33.32	37.13	47.71	0.6983
200	0.746	1.023	25.77	34.54	37.79	49.53	0.6974
210	0.7306	1.025	26.14	35.78	38.45	51.36	0.6967
220	0.7158	1.027	26.51	37.04	39.10	53.21	0.6960
230	0.7016	1.029	26.88	38.31	39.75	55.08	0.6955
240	0.6879	1.031	27.24	39.60	40.40	56.97	0.6950
250	0.6748	1.033	27.60	40.90	41.04	58.88	0.6946
260	0.6621	1.035	27.95	42.22	41.67	60.81	0.6942
270	0.6499	1.037	28.30	43.55	42.31	62.75	0.6940
280	0.6382	1.040	28.65	44.90	42.93	64.72	0.6938
290	0.6269	1.042	29.00	46.26	43.56	66.69	0.6936
300	0.6159	1.044	29.34	47.64	44.18	68.69	0.6935

Fuente: Todas las propiedades de Keenan, Chao, Keyes, "Gas Tables", Wiley, 1985.

## ANEXO 33: PROPIEDADES DEL AIRE SECO (CONTINUACIÓN)

Tabla 65: Propiedades del aire seco (continuación)

Tabla 4.4.1: Propiedades del aire seco a presión atmosférica (cont.)

T (°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	Pr
310	0.6054	1.047	29.68	49.03	44.79	70.70	0.6934
320	0.5951	1.049	30.01	50.43	45.40	72.73	0.6934
330	0.5853	1.051	30.35	51.85	46.01	74.77	0.6935
340	0.5757	1.054	30.68	53.29	46.61	76.83	0.6936
350	0.5665	1.056	31.01	54.73	47.21	78.90	0.6937
360	0.5576	1.059	31.33	56.19	47.81	80.99	0.6938
370	0.5489	1.061	31.65	57.67	48.40	83.09	0.6940
380	0.5405	1.064	31.97	59.16	48.99	85.21	0.6943
390	0.5323	1.066	32.29	60.66	49.57	87.34	0.6945
400	0.5244	1.069	32.61	62.18	50.15	89.49	0.6948
410	0.5167	1.071	32.92	63.71	50.72	91.65	0.6951
420	0.5093	1.073	33.23	65.25	51.29	93.83	0.6954
430	0.5020	1.076	33.54	66.80	51.86	96.02	0.6957
440	0.4950	1.078	33.84	68.37	52.42	98.22	0.6961
450	0.4882	1.081	34.15	69.95	52.98	100.4	0.6965
460	0.4815	1.083	34.45	71.54	53.54	102.7	0.6969
470	0.4750	1.085	34.75	73.15	54.09	104.9	0.6973
480	0.4687	1.088	35.04	74.77	54.64	107.2	0.6977
490	0.4626	1.090	35.34	76.40	55.18	109.4	0.6982
500	0.4566	1.093	35.63	78.04	55.72	111.7	0.6986
550	0.4289	1.104	37.07	86.44	58.37	123.3	0.7011
600	0.4043	1.115	38.46	95.12	60.93	135.2	0.7037
650	0.3824	1.125	39.81	104.1	63.41	147.4	0.7064
700	0.3628	1.135	41.11	113.3	65.81	159.8	0.7092
750	0.3450	1.145	42.39	122.8	68.12	172.5	0.7121
800	0.3290	1.153	43.62	132.6	70.37	185.5	0.7149
850	0.3143	1.162	44.83	142.6	72.54	198.7	0.7178
900	0.3009	1.169	46.00	152.9	74.65	212.2	0.7206
950	0.2886	1.177	47.15	163.4	76.70	225.8	0.7233
1000	0.2773	1.184	48.26	174.1	78.68	239.8	0.7260
1100	0.2571	1.196	50.42	196.1	82.48	268.2	0.7312
1200	0.2396	1.207	52.48	219.0	86.09	297.6	0.7360
1400	0.2110	1.226	56.35	267.1	92.81	358.8	0.7444
1600	0.1885	1.241	59.92	317.9	99.08	423.6	0.7506
1800	0.1703	1.253	63.22	371.3	105.10	492.5	0.7539
2000	0.1553	1.264	66.30	426.9	111.10	566.2	0.7539

Fuente: Todas las propiedades de Keenan, Chao, Keyes, "Gas Tables", Wiley, 1985.

Excepto:

Conductividad de Y.S. Touloukian, P.E. Liley, S.C. Saxena "Thermophysical Properties of Matter - Vol 3", IFI/Plenum, NY, 1970

Viscosidad de Y.S. Touloukian, S.C. Saxena, and P. Hestermans "Thermophysical Properties of Matter - Vol 11", IFI/Plenum, NY, 1970

Fuente: Todas las propiedades de Keenan, Chao, Keyes, "Gas Tables", Wiley, 1985.

ANEXO 34: COEFICIENTES  $C_D$ ,  $C_T$ ,  $C_U$  Y  $C_{PD}$ Tabla 66: Coeficientes  $c_d$ ,  $c_t$ ,  $c_u$  y  $c_{pd}$ 

Mean Particle Diameter $d_p$ (mm)	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
$C_d$	1.035	1.020	1.000	0.980	0.965

$T_{bed}$ (C)	800	850	900	950	1000	1050	1100
$C_T$ (W/m <sup>2</sup> sec K)	256	265	276	285	295	306	316

$U/U_{mf}$	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
$C_u$	1.03	1.02	1.00	0.98	0.96

$U$ : Superficial velocity through the bubbling fluidized bed (m/sec).  $U_{mf}$ : Minimum fluidization velocity (m/sec).

$\rho_p$ (kg/m <sup>3</sup> )	2000	2100	2200	2300	2400
$C_{pd}$	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02

© 2006 by Taylor & Francis Group, LLC

Fuente: *Combustion and Gasification in Fluidized Beds*-CRC Press [41]

## ANEXO 35: DESHUMIDIFICADOR

Figura 50: Deshumidificador DEHUTECH



## ADSORCIÓN | DESHUMIDIFICADORES

## SERIE DT



Los deshumidificadores DEHUTECH son equipos con rotor desecante y diseñados para secar aire a presión atmosférica. Estos deshumidificadores se utilizan para aplicaciones donde se requiere una humedad por debajo del 40% HR ó cuando la temperatura de proceso es inferior a 10°C. Todos los modelos están fabricados en chapa de acero inoxidable.

## APLICACIONES

- \* Proceso de producción
- \* Secado de productos
- \* Museos y salas de archivos
- \* Industria farmacéutica



	DT210	DT450	DT800	DT1300	DT2300
CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN (*)	0,6 l/h	2,2 l/h	4,4 l/h	9,5 l/h	13,8 l/h
CAUDAL DE AIRE (-)**	210 m <sup>3</sup> /h	450 m <sup>3</sup> /h	800 m <sup>3</sup> /h	1300 m <sup>3</sup> /h	2300 m <sup>3</sup> /h
CONSUMO NOMINAL (-)	1,1 kW	3,5 kW	7 kW	13,0 kW	19 kW
NIVEL SONORO	65 dB (A)	65 dB (A)	61 dB (A)	63 dB (A)	71 dB (A)
PRESIÓN DISPONIBLE	120/100 Pa	120/100 Pa	120/100 Pa	120/100 Pa	120/100 Pa
POTENCIA DE REGENERACIÓN	0,9 kW	3,2 kW	6,5 kW	13 kW	17 kW
REGENERACIÓN ELÉCTRICA	Resistencias PTC	Resistencias PTC	Resistencias PTC	Resistencias PTC	Resistencias PTC
ALIMENTACIÓN	230 VCA	230 VCA	230 VCA	230 VCA	230 VCA
DIMENSIONADO (ALANFOR)	487x319x218 mm	526x504x428 mm	690x1050x600 mm	1170x1199x807 mm	1170x1199x807 mm
PESO	17 kg	25 kg	145 kg	205 kg	300 kg

(\*): a 20°C-60% HR. (\*\*): velocidad máxima) Consultar modelos superiores.

Fuente: CHARMEX

## ANEXO 36: CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL VENTILADOR MODELO WFS 52

Figura 51: Características técnicas del ventilador modelo WFS 52

CUENTA CON AMPLIAS PRESTACIONES EN CAUDAL Y PRESIONES MEDIAS

LA CARGABA ESTA FABRICADA EN FE, ELECTROSOLODADO, CON ACABAADO ACRILICO HORNEADO

ROTOR DE ALUMINIO FUNDIDO RESISTENTE A LA CORROSION

RECUBRIMIENTO CON ALTA RESISTENCIA, EN PRIMER EPOXY

CUENTA CON BRIDAS DE ENTRADA Y DESCARGA

OPTIMIZADA AL MAXIMO EN CONSUMO Y EFICIENCIA



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS								
MODELO	CAUDAL DESCARGA LIBRE		Ø DE ROTOR	HP	RPM	NIVEL SONORO	PESO Y DIMENSIONES CON EMPAQUE DE CARTON	
	CFM	M3/HR					KG	CM
WFS 42	235	400	6"	1/2	3455	73	15	41X46 X35
WFS 46	470	800	6"	3/4	3555	75	31	47X54 X37
WFS 52	765	1,300	7"	1	3500	83	34	51X61 X40
WFS 62	1,176	2,000	8"	1 1/2	3560	84	39	59X68 X49
WFS 63	1,529	2,600	8"	3	3490	86	41	59X68 X50
WFS 64	2,058	3,500	9"	5	3500	90	66	67X77 X63

Fuente: ATMOSPHERIC FAN SYSTEM

## ANEXO 37: DIMENSIONES DEL VENTILADOR MODELO WFS 52

Figura 52:: Dimensiones del ventilador modelo WFS 52



Fuente:ATMOSPHERIC FAN SYSTEM

## ANEXO 38: FICHA TÉCNICA QUEMADOR DE BIOMASA 1

Figura 53: Ficha técnica quemador de biomasa 1



**natural  
Fire**



**MODELO: Y-200 LA**



**DATOS DEL QUEMADOR**

- Modelo industrial equipado con autómata\*\*
- Conector rápido industrial de gama alta de 16 polos
- Encendido automático con buja cerámica de 315 W
- Control electrónico por PLC con pantalla táctil
- Control de llama por fotocélula
- Cambio instantáneo de combustible (3 combustibles)
- Termostator de seguridad de 110 °C en admisión de combustible
- Sonda temperatura PT100 (hasta 250 °C) ó Tipo K (450 °C ó 1100 °C)
- Doble sinfín de alimentación Ø60
- Espiral acero al carbono con espiral de acero de núcleo fijo (40x40x20mm)
- Motorreductores de inducción (25W, 40kg/cm (R25) / 72kg/cm (R50))
- Ventilador de bajo consumo con tecnología espira-sombra y variador integrado
- Sistema de refrigeración por doble cámara
- Sistema de limpieza por extracción rápida de parrilla
- Material de caja en acero inoxidable 304
- Material del cañón en acero inoxidable refractario 310
- Material de parrilla de cenizas en acero inoxidable refractario 310
- Se suministra con sinfín de 1, 1,5 ó 2m Ø60, 1m de tubo corrugado, cuadro de control



**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

MODELO		Y-200LA
Potencia calórica	Max	250* kW
	Min.	25* kW
Consumo eléctrico	Encendiendo	435 W
	Régimen normal	220 W
Consumo de combustible	Max.	50 kg/h
	Min.	5 kg/h
Mecanismo de control	PLC con pantalla táctil	
Regulación	Sonda integrada, Señales externas de Marcha/Paro, potencia independiente y control analógico 4-20mA	
Tipo de regulación	Modulante con 3 potencias + señal externa	
Rango de regulación por temperatura	0 - 1100 °C	
Temperatura máxima de seguridad	Configurable	
Alimentación eléctrica	230 VAC / 50Hz	
Peso bruto	58 kg	
Eficiencia	95%	

\* Potencia estimada utilizando pellet de calidad EN Plus A1 y un rendimiento energético de 5 kW/kg

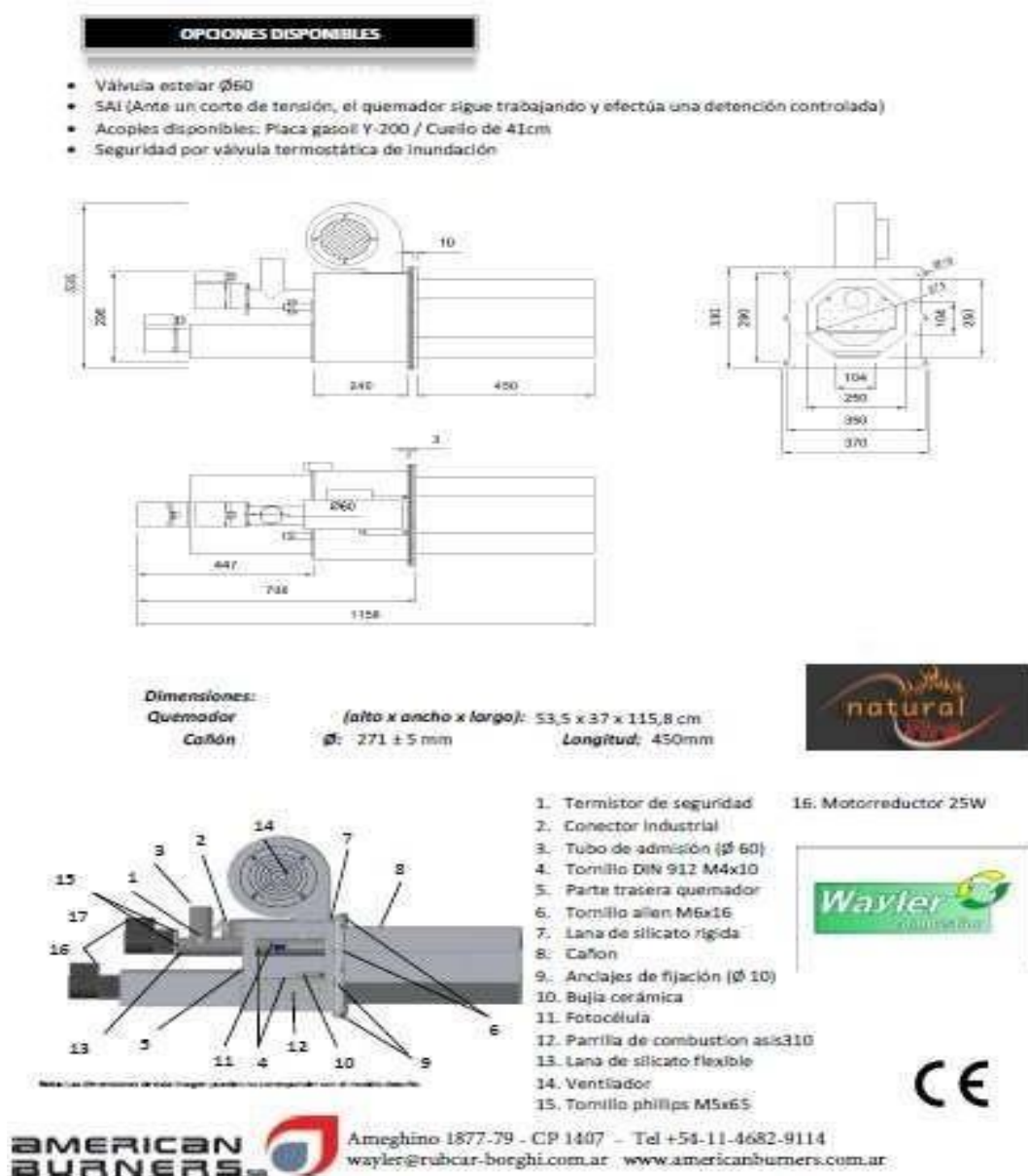
\*\* Véase especificación completa del cuadro de control en su ficha correspondiente

Ameghino 1877 - CP 407 - Buenos Aires - Argentina - +54-11-4582-911A- wavler@rubcan-borghl.com.ar  
www.americanburners.com.ar

Fuente: American Burners

## ANEXO 39: FICHA TÉCNICA QUEMADOR DE BIOMASA 2

Figura 54: Ficha técnica quemador de biomasa 2



Fuente: American Burners

## ANEXO 40: CATÁLOGO DE TUBOS PARA INTERCAMBIADOR DE CALOR

Tabla 67: Catálogo De Tubos Para Intercambiador De Calor

Diámetro		Galga, B.W.G						
Pulgadas	mm	22	20	18	16	14	12	11
		Espesor mm						
		0,71	0,89	1,24	1,65	2,11	2,77	3,05
		Peso: Kg/m						
5/8"	15,88	0,288	0,334	0,455	0,588	0,728	-	-
3/4"	19,05	0,348	0,405	0,553	0,719	0,895	-	-
1"	25,40	0,469	0,546	0,750	0,981	1,231	1,570	1,707
1 1/4"	31,80	-	-	0,949	1,246	1,569	2,014	2,196
1 1/2"	38,10	-	-	1,144	1,506	1,902	2,451	2,677
1 3/4"	44,45	-	-	1,342	1,768	2,237	2,891	3,162
2"	50,80	-	-	1,539	2,031	2,573	3,331	3,647
2 1/4"	57,15	-	-	1,736	2,293	2,908	3,772	4,132
2 3/8"	60,30	-	-	1,834	2,423	3,074	3,990	4,372
2 1/2"	63,50	-	-	1,933	2,555	3,244	4,212	4,617
2 3/4"	69,90	-	-	2,132	2,820	3,582	4,656	5,105
3"	76,20	-	-	2,327	3,080	3,915	5,093	5,587
3 1/2"	88,90	-	-	-	3,605	4,585	5,974	6,557
4"	101,60	-	-	-	4,130	5,256	6,855	7,526
4 1/2"	114,30	-	-	-	4,654	5,927	7,736	8,496

Fuente: Hastinik, S.A.

## ANEXO 41: FACTORES DE SUCIEDAD

Tabla 68: Factores de Suciedad

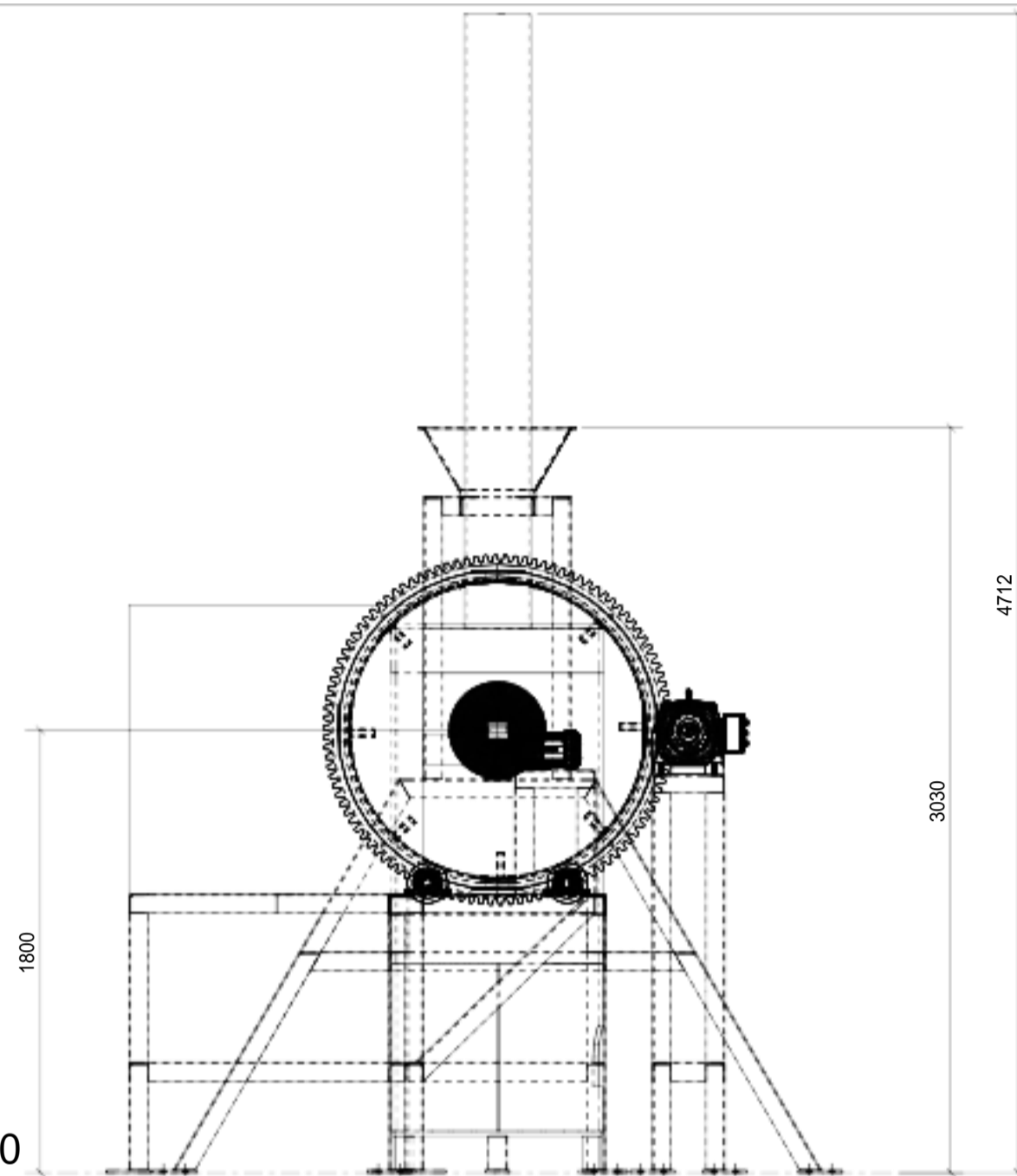
Tabla 8.1. Factores de suciedad.

Tipo de fluido	Factores de suciedad $\times 10^4$ , $m^2K/W$
Agua de mar por debajo de 52 °C	0.88
Agua de mar por encima de 52 °C	1.76
Agua tratada de alimentación a una caldera por encima de 52 °C	1.76
Aceite combustible	8.81
Aire industrial	3.52
Líquido refrigerante	1.76

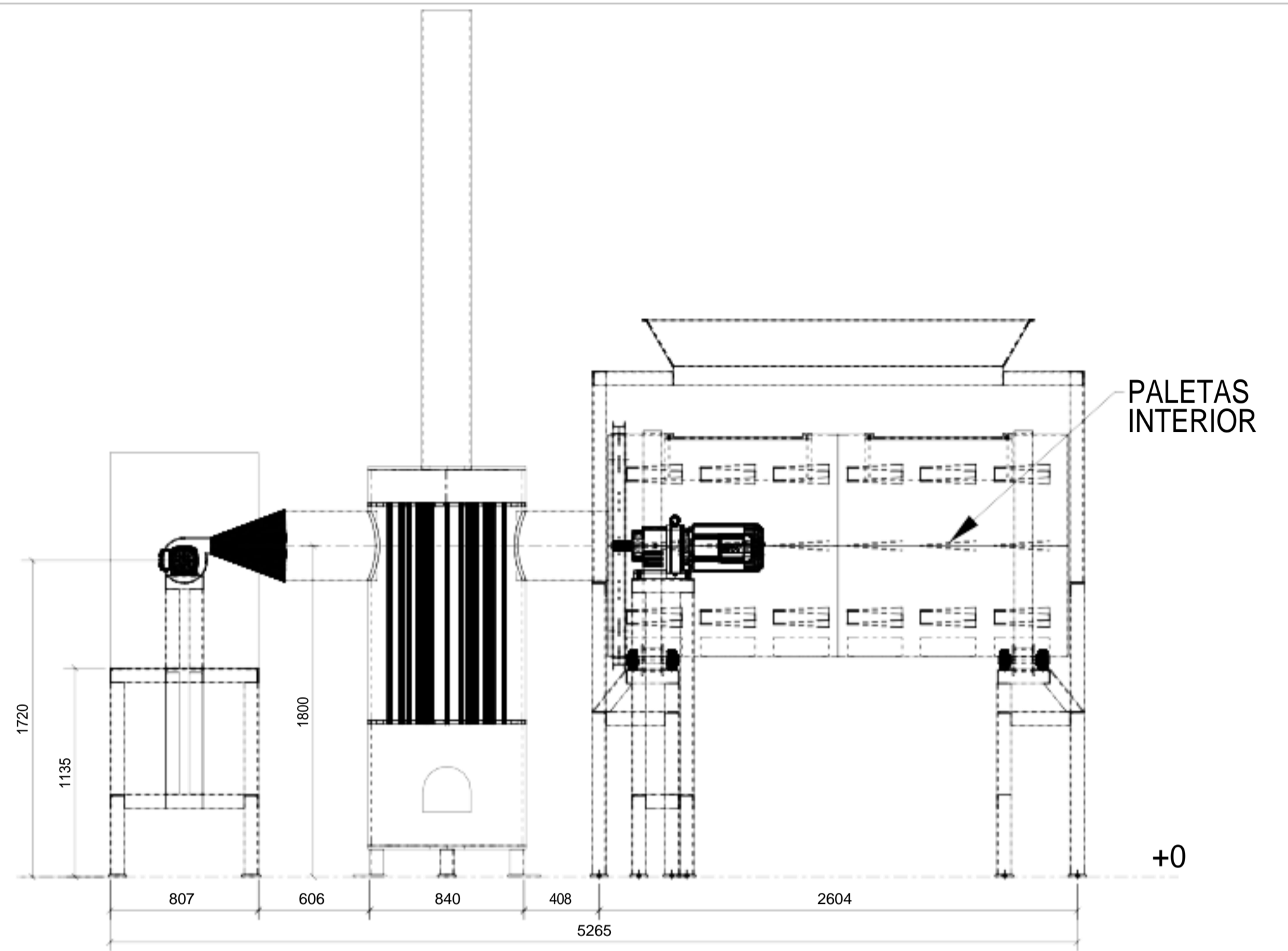
Fuente: Transferencia de Calor.

## **ANEXO 42: PLANOS DEL SECADOR PARA CAFÉ**

OPERARIO REF.  
1,85 m

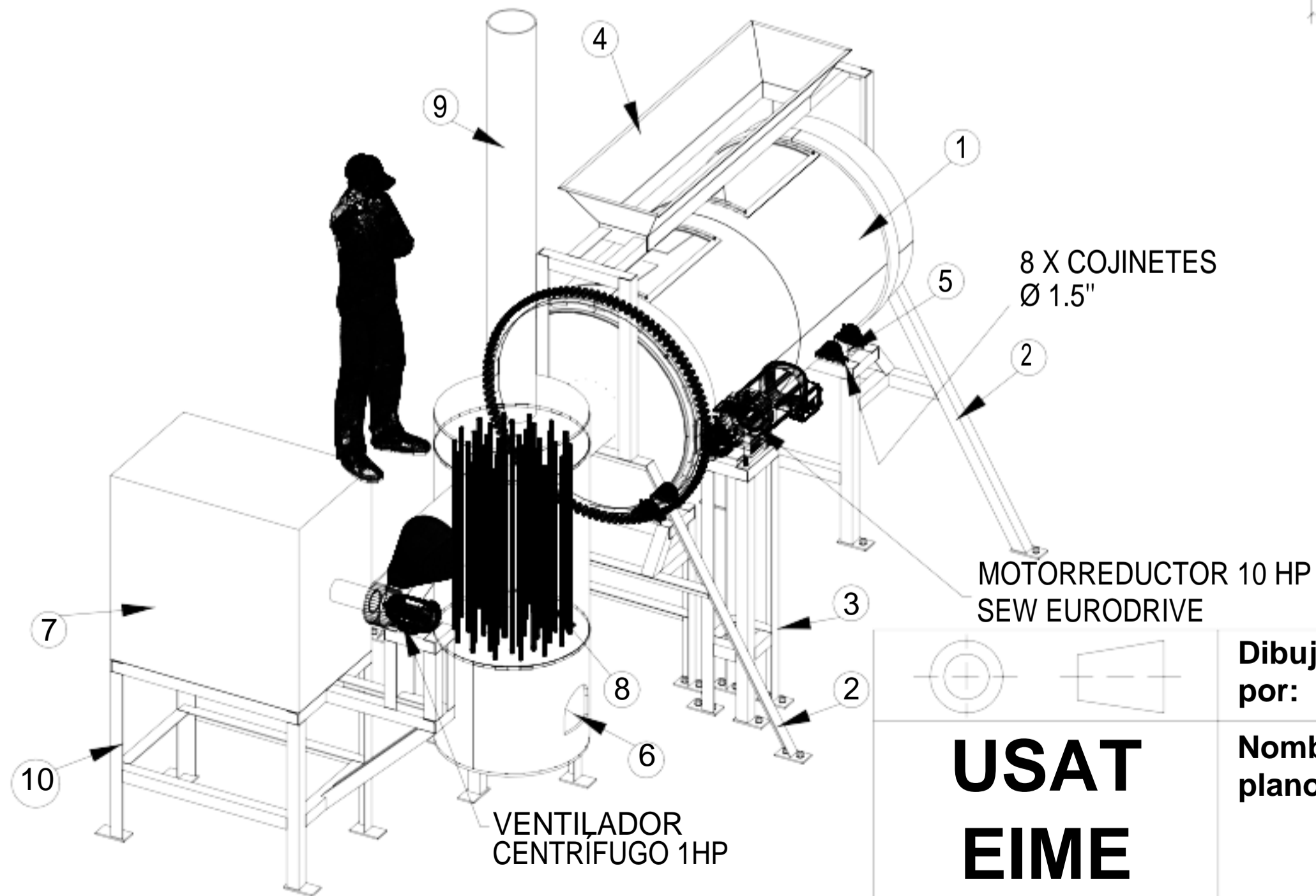


ELEVACIÓN  
ESC.: 1:25



LATERAL  
ESC.: 1:25

PALETAS  
INTERIOR



10	SOPORTE DESHUMIFICADOR
9	CHIMENEA
8	INTERCAMBIADOR DE CALOR
7	DESHUMIFICADOR
6	HOGAR DE COMBUSTIÓN
5	RODILLO
4	TOLVA
3	SOPORTE MOTOR
2	SOPORTE PRINCIPAL
1	CILINDRO



**USAT  
EIME**

Dibujado  
por:

Josué Rodríguez Velásquez

Nombre del  
plano:

ARREGLO\_GENERAL

Fecha

24 - 06 - 2019

Escala

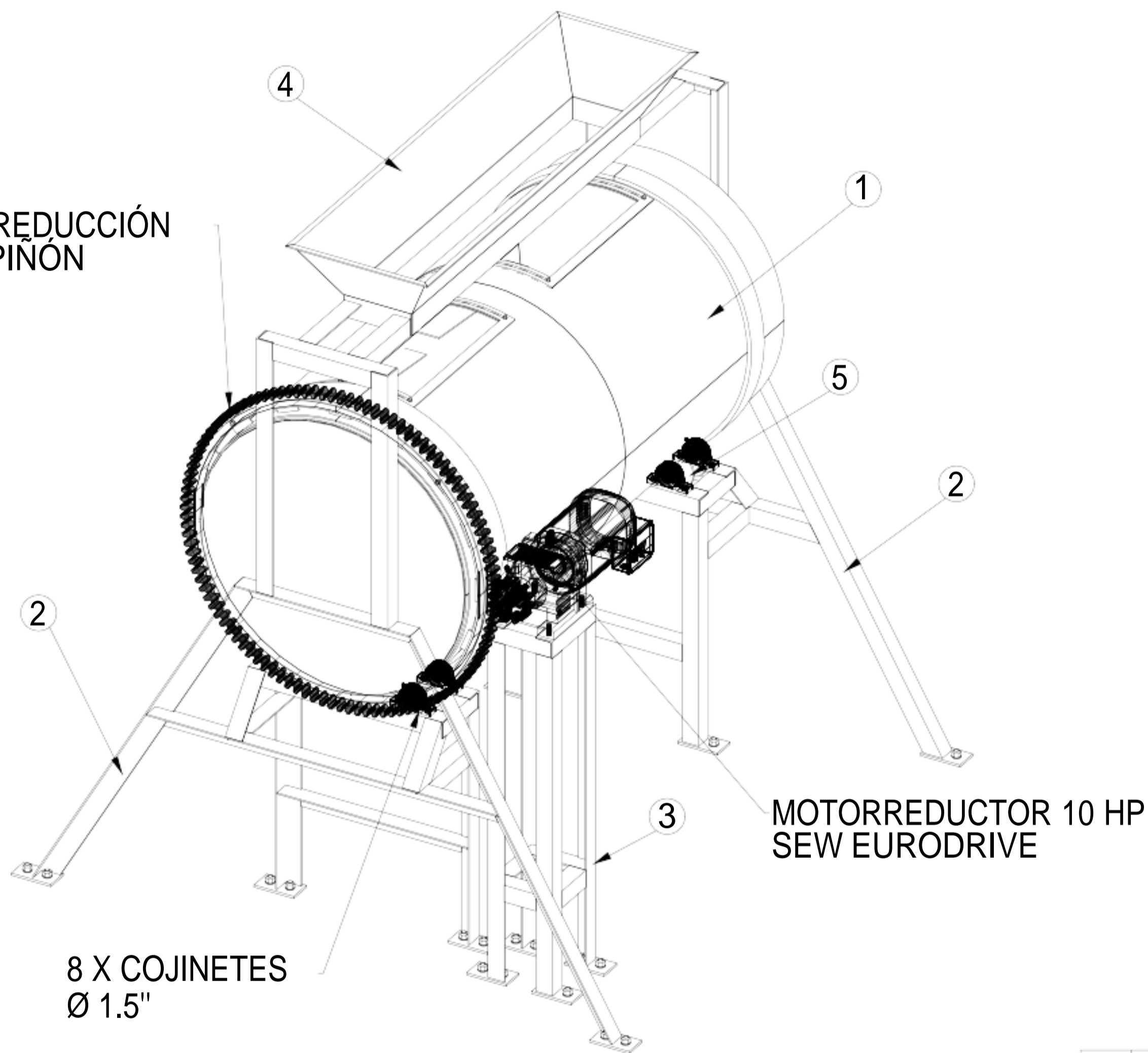
1:12.5

N° Plano

1

OPERARIO REF.

SISTEMA REDUCCIÓN RUEDA - PIÑÓN

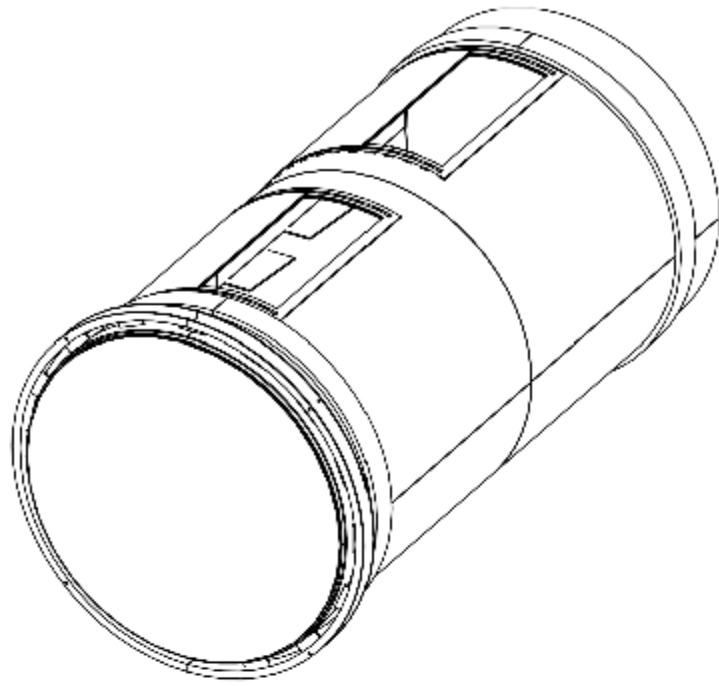


8 X COJINETES  
Ø 1.5"

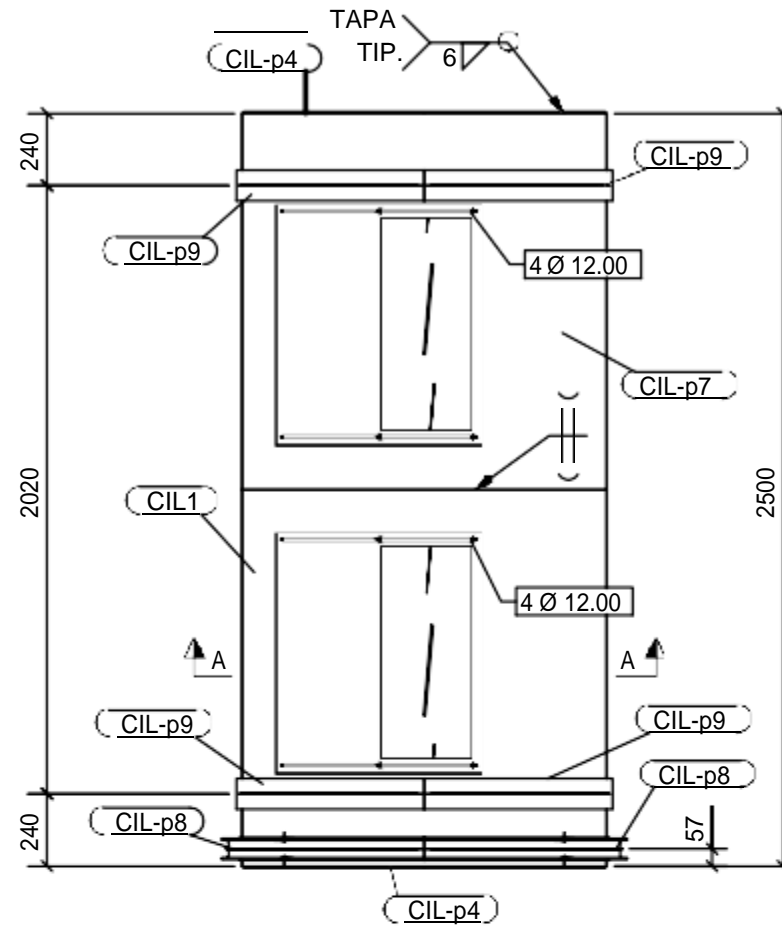
MOTORREDUCTOR 10 HP  
SEW EURODRIVE

5	RODILLO
4	TOLVA
3	SOPORTE MOTOR
2	SOPORTE PRINCIPAL
1	CILINDRO

	Dibujado por:	Josué Rodríguez Velásquez	Fecha	24 - 06 - 2019
	Nombre del plano:	ARREGLO_GENERAL	Escala	1:12.5
			N° Plano	1



ISOMÉTRICO  
ESC. 1:25

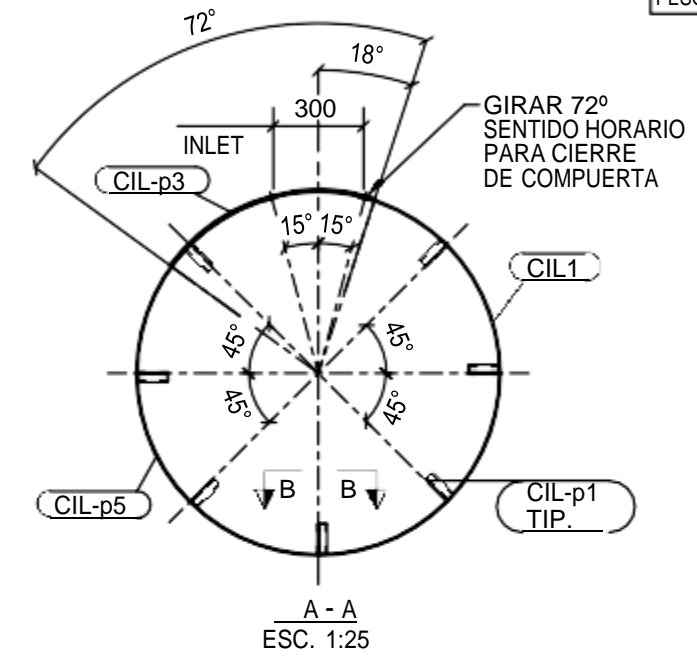


PLANTA  
ESC. 1:25

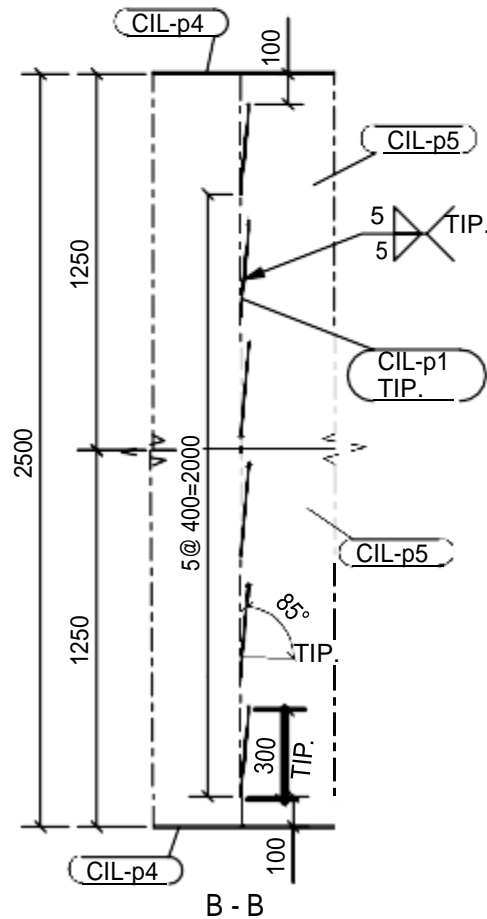
### LISTA DE MATERIALES

Item	Marca	Descripción Perfil	Largo	Material	Grado	Cant. Parc.	Peso		Marca Preliminar	Tipo Est.	Observaciones
							Tot.	Total			
1		PLANCHA				1	781.64	781.64			
2	CIL-p1	PL6X100	300	A36	42	42	1.41	59.35			
3	CIL-p2	PL6X32	100	A36	16	16	0.15	2.41			
4	CIL-p3	PL6X765	800	A36	2	2	17.99	35.98			
5	CIL-p4	PL6X1200	1200	A36	2	2	52.93	105.85			
6	CIL-p5	PL6X1250	1894	A36	2	2	111.30	222.60			
7	CIL-p6	PL6X76	1913	A36	2	2	6.85	13.70			
8	CIL-p7	PL6X1250	1894	A36	1	1	101.31	101.31			
9	CIL-p8	PL6*127	2068	A36	2	2	11.09	22.17			
10	CIL-p9	PL19X102	1934	A36	4	4	29.24	116.96			
11	CIL1	PL6X1250	1894	A36	1	1	101.31	101.31			

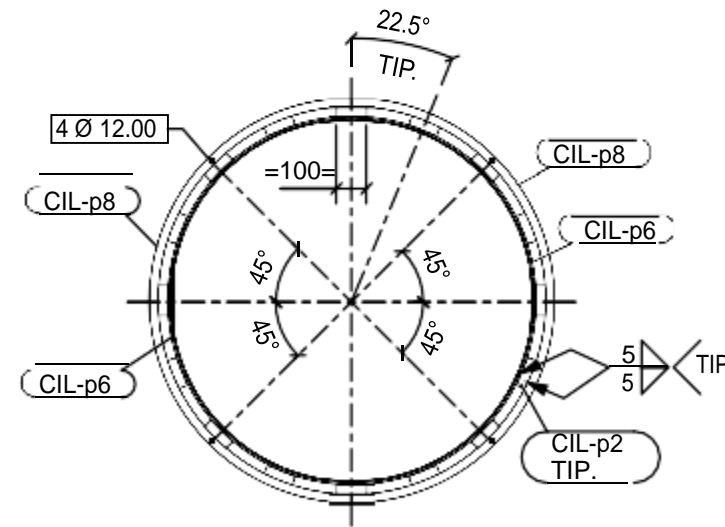
PESO TOTAL: 781.64 Kg.



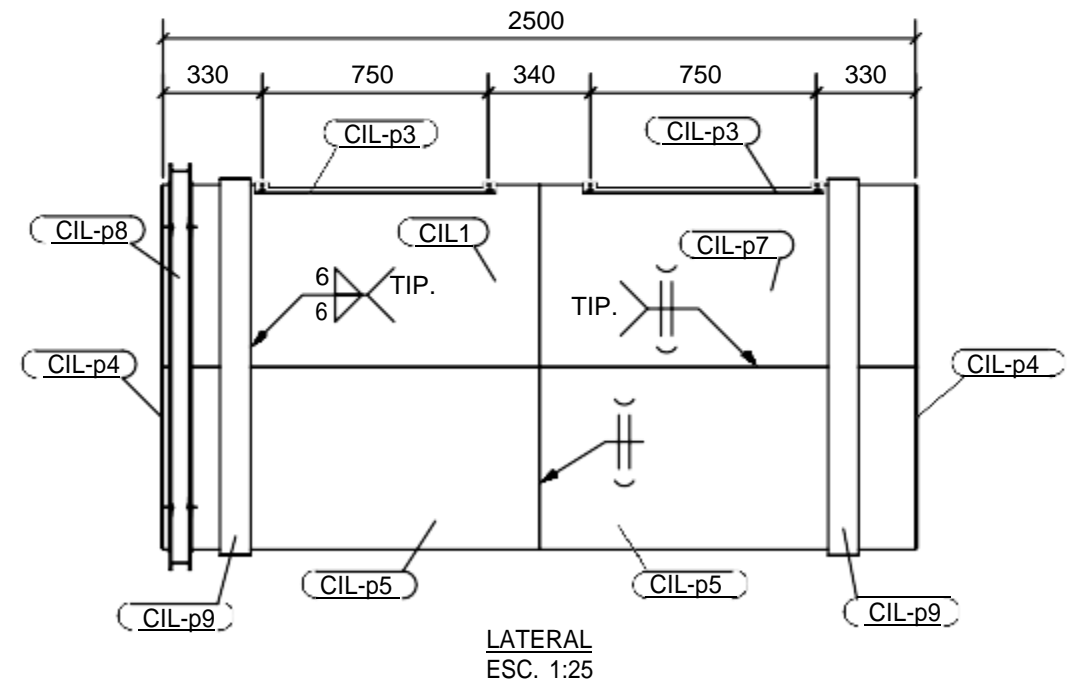
A - A  
ESC. 1:25



B - B

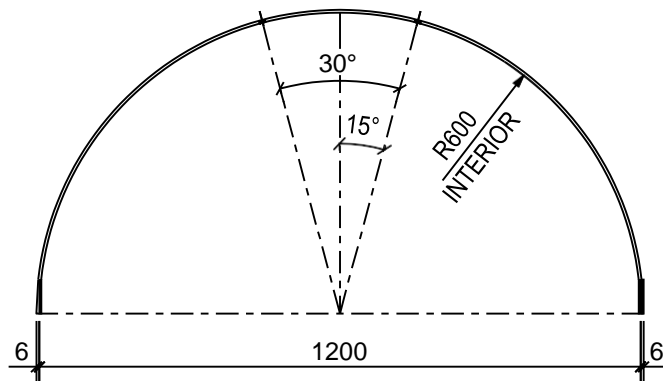


ELEVACIÓN  
ESC. 1:25

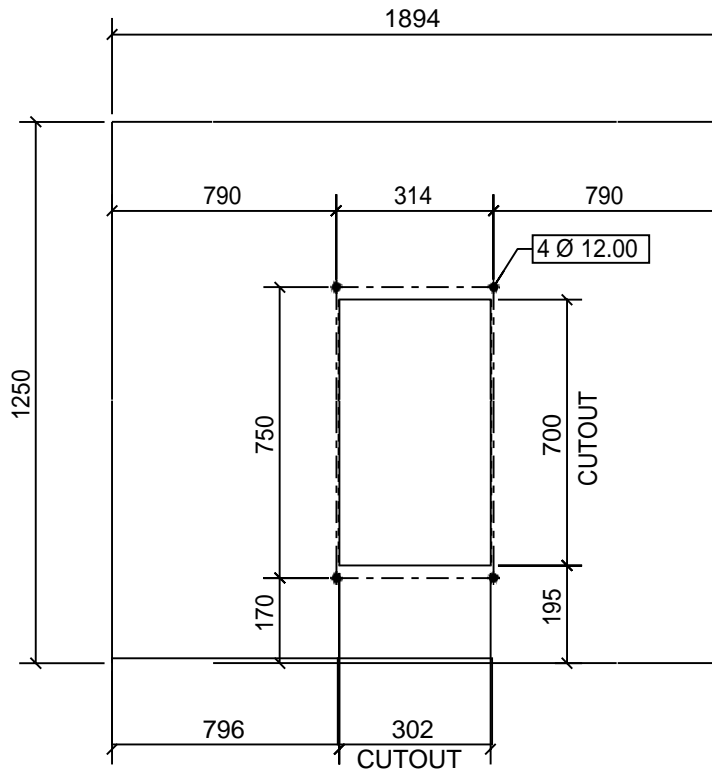


LATERAL  
ESC. 1:25

 <b>USAT</b> <b>EIME</b>	Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez	Fecha: 24-06-2019
	Nombre del plano: CIL1 - CILINDRO	Escala: 1:25
	N° Plano: CIL1	



DOBLADO  
ESC. 1:15



VISTA DESARROLLADA  
ESC. 1:15

(CIL1 - PL6X1250)

MATERIAL:  
A36

CANTIDAD	CONJUNTO
1	CIL1

Fecha

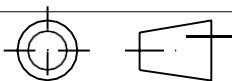
24-06-2019

Escala

1:15

N° Plano

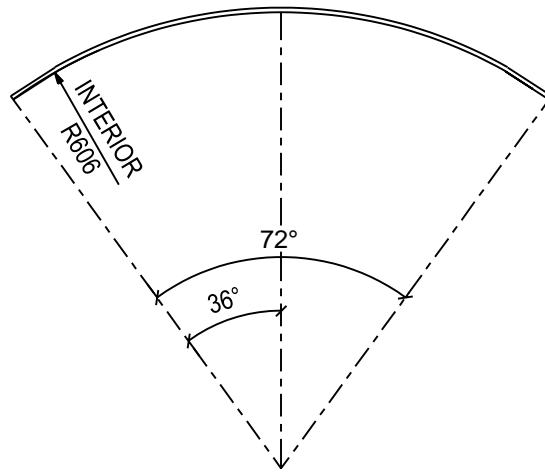
CIL1



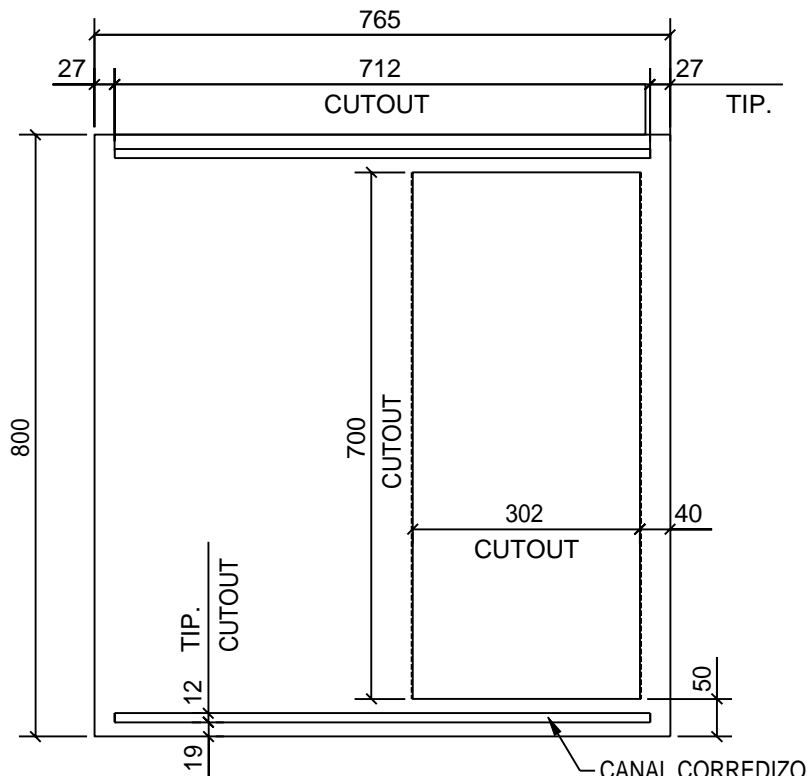
**USAT**  
**EIME**

Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez

Nombre del plano:  
CIL1 - COMPONENTE\_CILINDRO



DOBLADO  
ESC. 1:10



VISTA DESARROLLADA  
ESC. 1:10

CIL-p3 - PL6X765

MATERIAL:  
A36

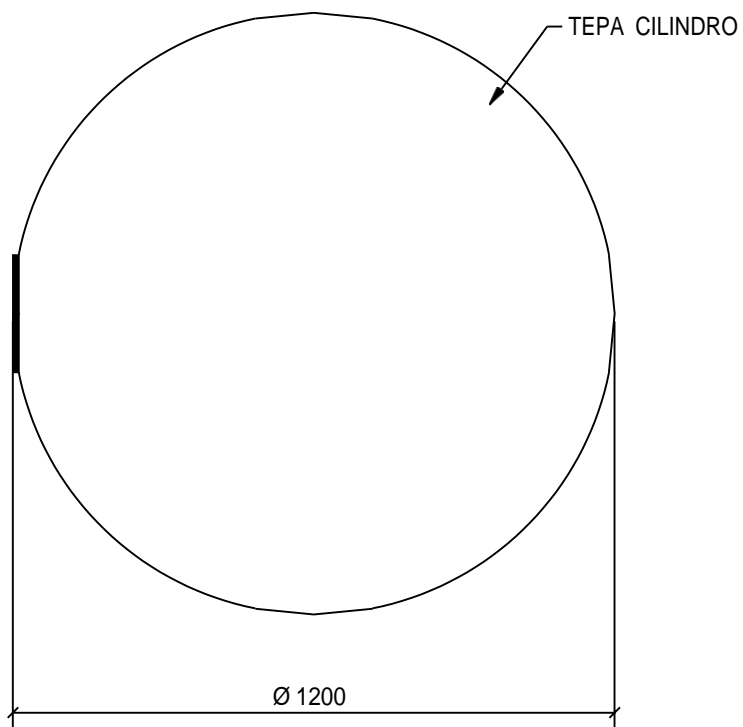
CANTIDAD	CONJUNTO
2	CIL1

**USAT  
EIME**

Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez

Nombre del plano:  
CIL-p3 - COMPONENTE\_CILINDRO

<b>Fecha</b>
24-06-2019
<b>Escala</b>
1:10
<b>N° Plano</b>
CIL-p3

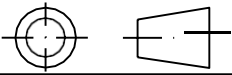


CIL-p4 - PL6X1200

ESC. 1:15

MATERIAL:  
A36

CANTIDAD	CONJUNTO
2	CIL1

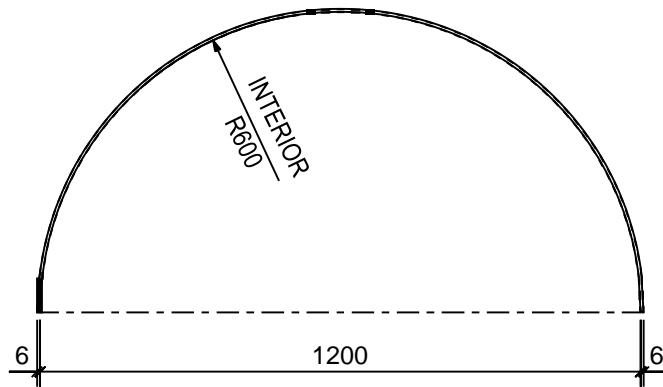


**USAT  
EIME**

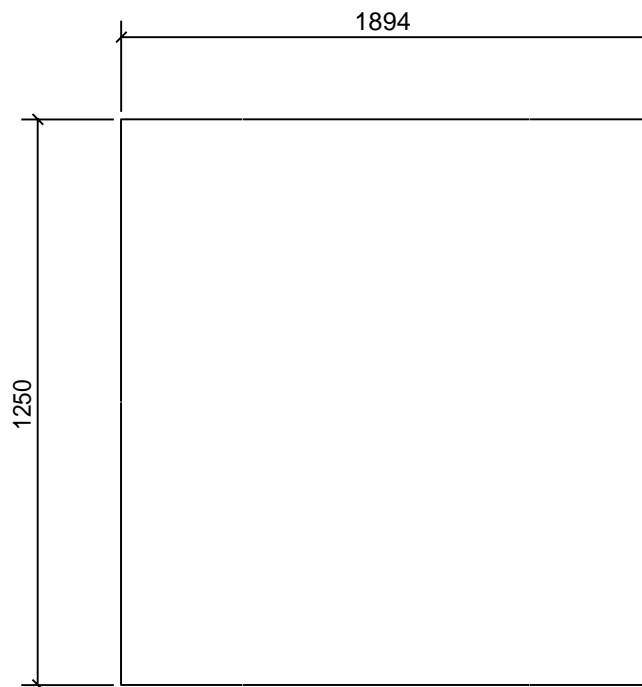
Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez

Nombre del plano:  
CIL-p4 - COMPONENTE\_CILINDRO

<b>Fecha</b>
24-06-2019
<b>Escala</b>
1:15
<b>N° Plano</b>
CIL-p4



DOBLADO  
ESC. 1:15



VISTA DESARROLLADA  
ESC. 1:15

CIL-p5 - PL6X1250

MATERIAL:  
A36

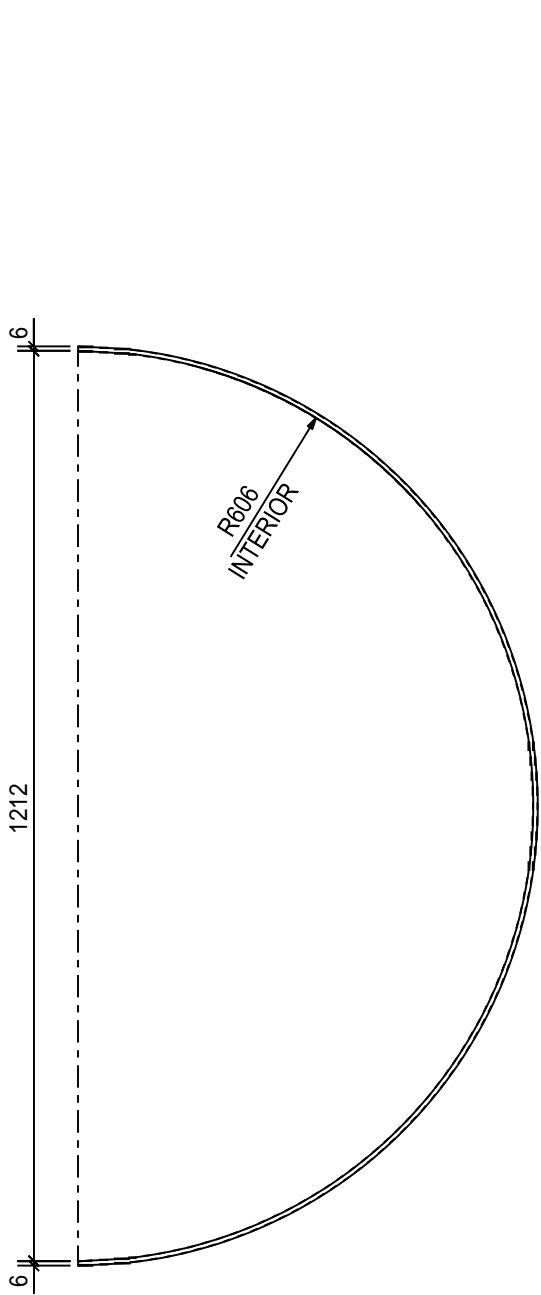
CANTIDAD	CONJUNTO
2	CIL1

**USAT**  
**EIME**

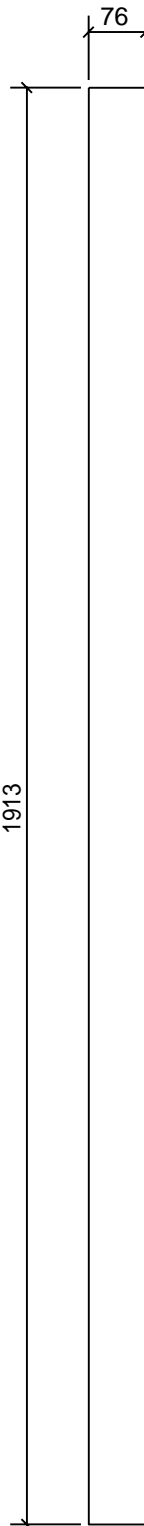
Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez

Nombre del plano:  
CIL-p5 - COMPONENTE\_CILINDRO

<b>Fecha</b>
24-06-2019
<b>Escala</b>
1:15
<b>N° Plano</b>
CIL-p5



DOBLADO  
ESC. 1:10



VISTA DESARROLLADA  
ESC. 1:10

CIL-p6 - PL6X76

**MATERIAL:**  
**A36**

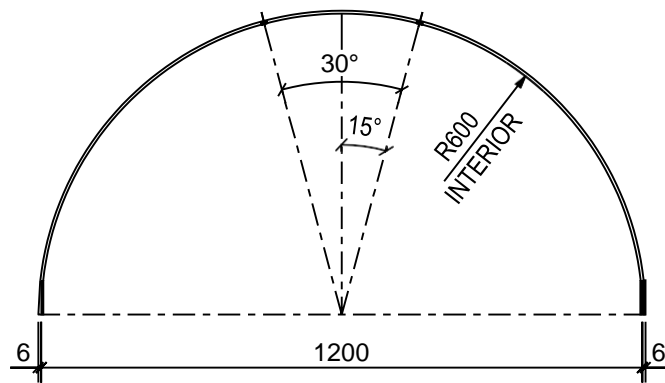
CANTIDAD	CONJUNTO
2	CIL1

**USAT  
EIME**

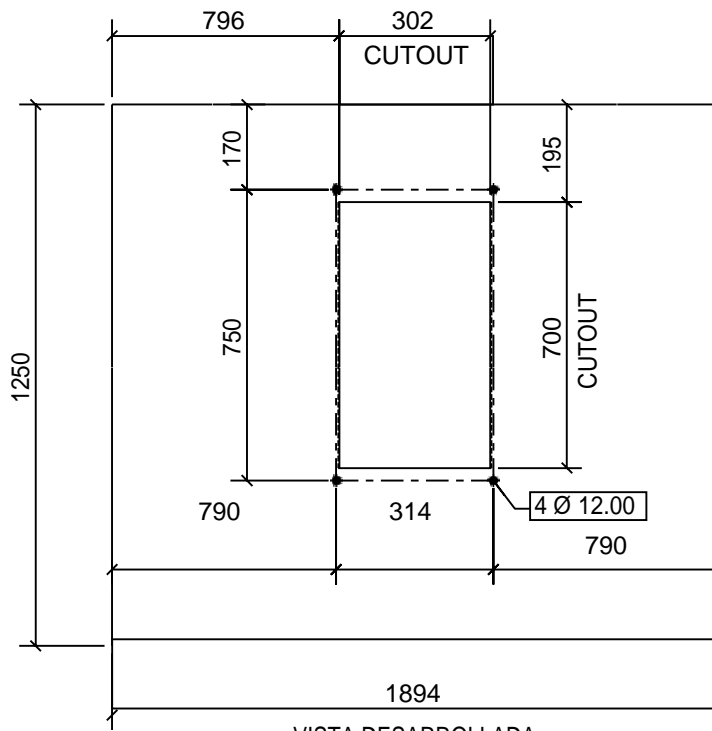
**Dibujado por:** Josué Rodríguez Velásquez

**Nombre del plano:**  
CIL-p6 - COMPONENTE\_CILINDRO

<b>Fecha</b>
24-06-2019
<b>Escala</b>
1:10
<b>N° Plano</b>
CIL-p6



DOBLADO  
ESC. 1:15



VISTA DESARROLLADA  
ESC. 1:15

CIL-p7 - PL6X1250

MATERIAL:  
A36

CANTIDAD	CONJUNTO
1	CIL1

**Fecha**

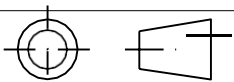
24-06-2019

**Escala**

1:15

**N° Plano**

CIL-p7

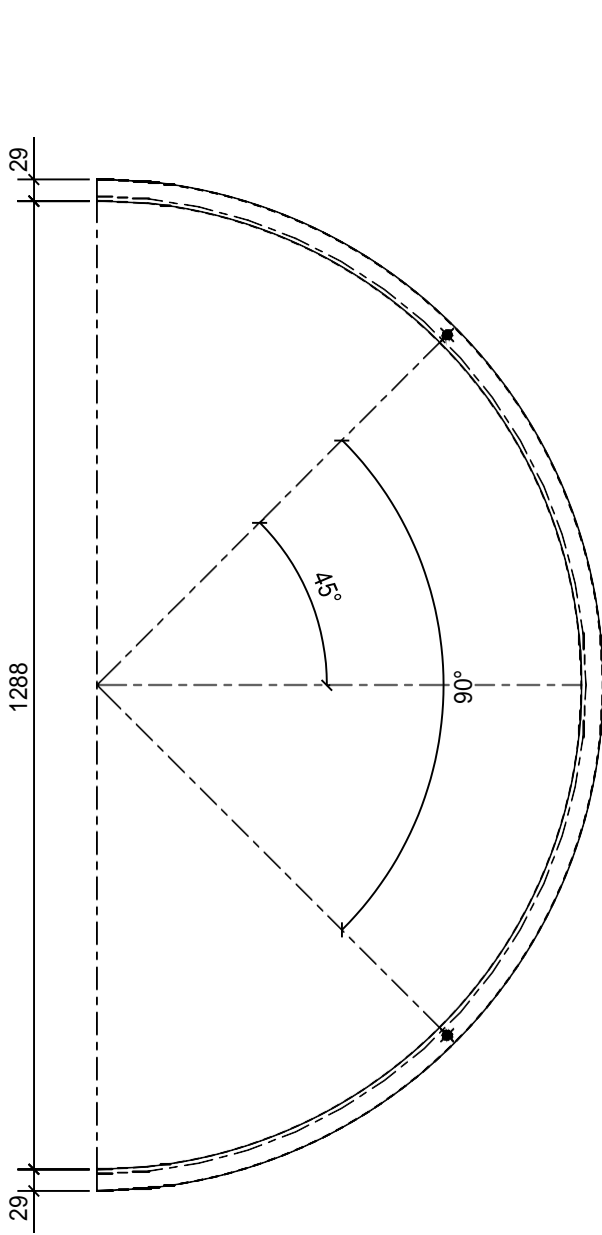


**USAT**  
**EIME**

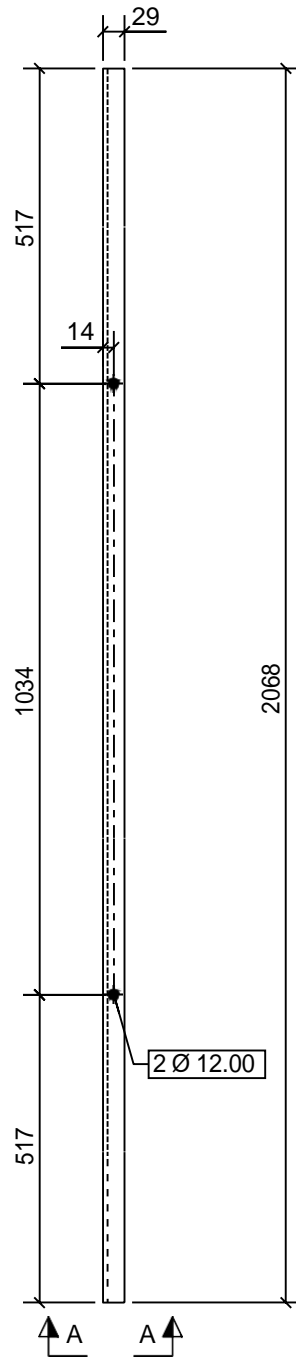
Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez

Nombre del plano:

CIL-p7 - COMPONENTE\_CILINDRO

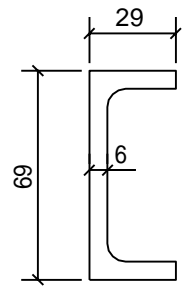


DOBLADO  
ESC. 1:10



VISTA DESARROLLADA  
ESC. 1:10

(CIL-p8 - PL6\*127)



A - A  
ESC. 1:2.5

MATERIAL:  
A36

CANTIDAD	CONJUNTO
2	CIL1

**Fecha**

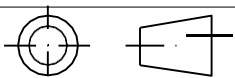
24-06-2019

**Escala**

1:10

**N° Plano**

CIL-p8

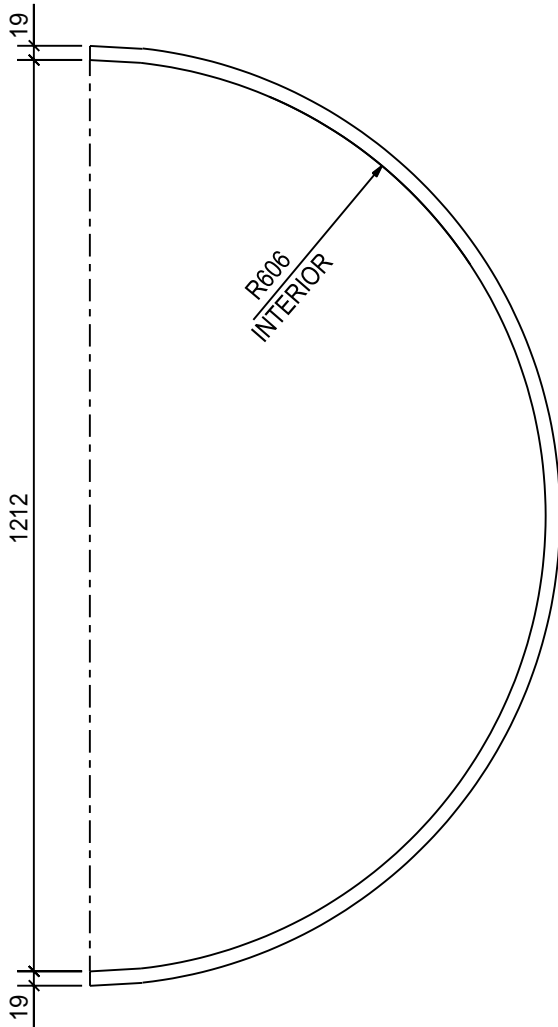


**USAT**  
**EIME**

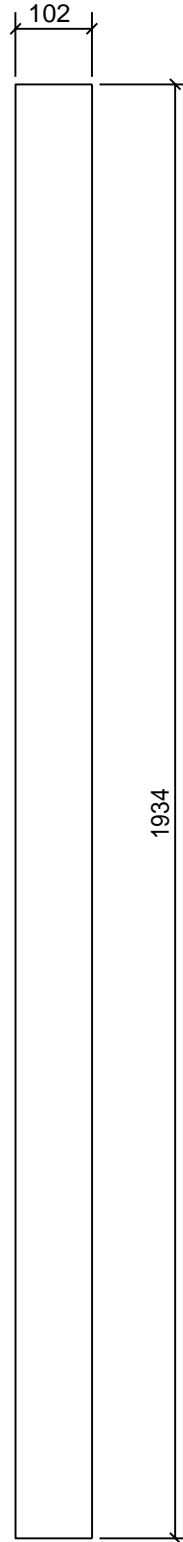
**Dibujado por:** Josué Rodríguez Velásquez

**Nombre del plano:**

CIL-p8 - COMPONENTE\_CILINDRO



DOBLADO  
ESC. 1:10



VISTA DESARROLLADA  
ESC. 1:10

CIL-p9 - PL19X102

**MATERIAL:**  
A36

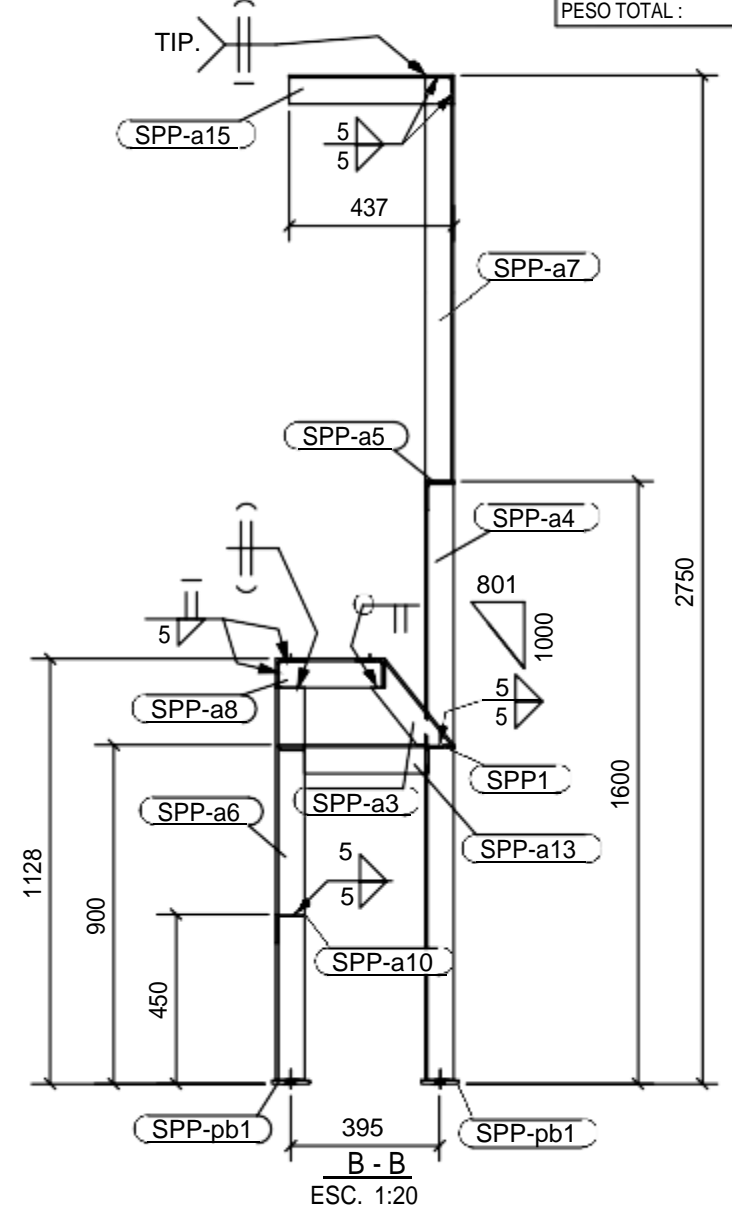
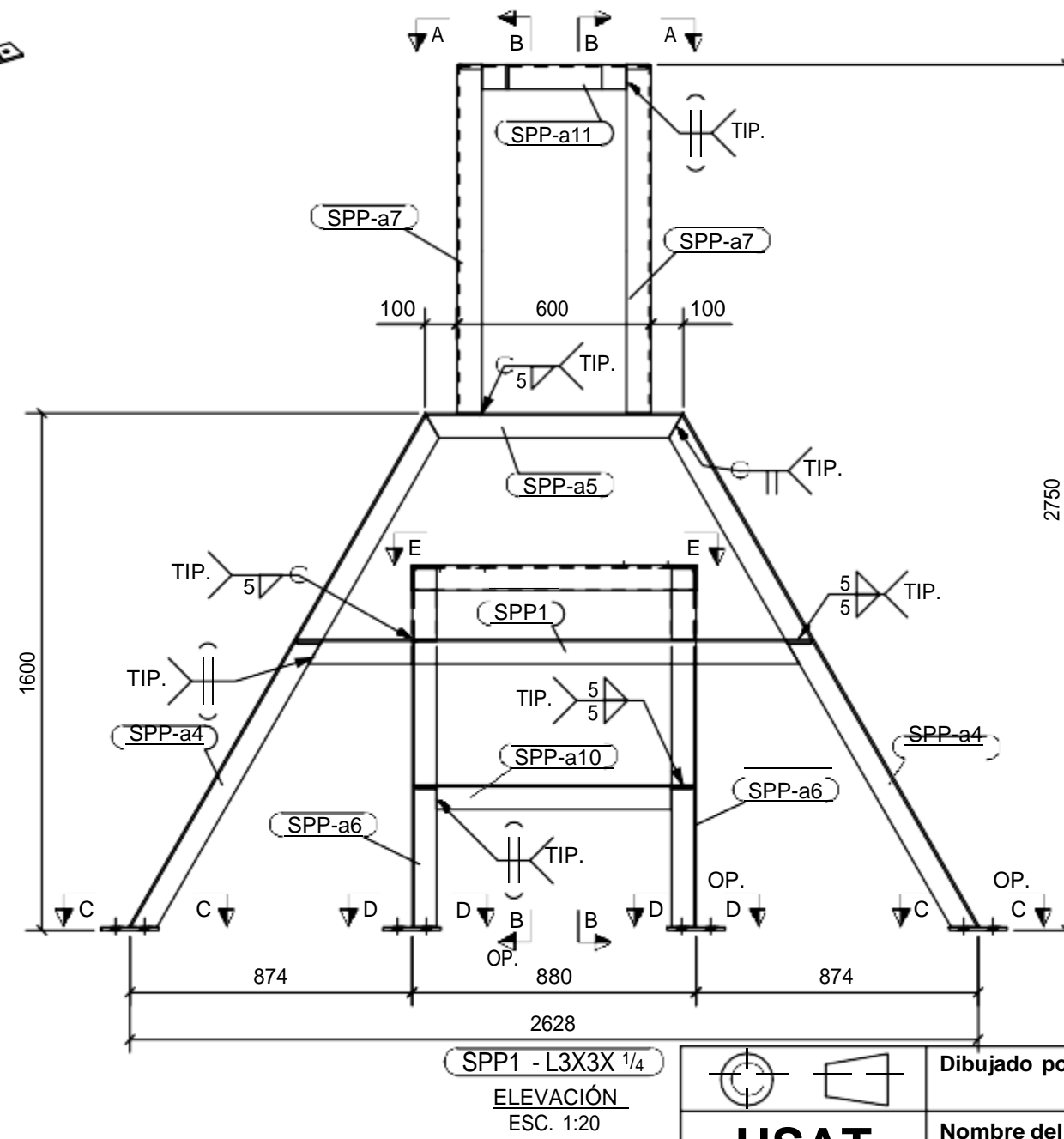
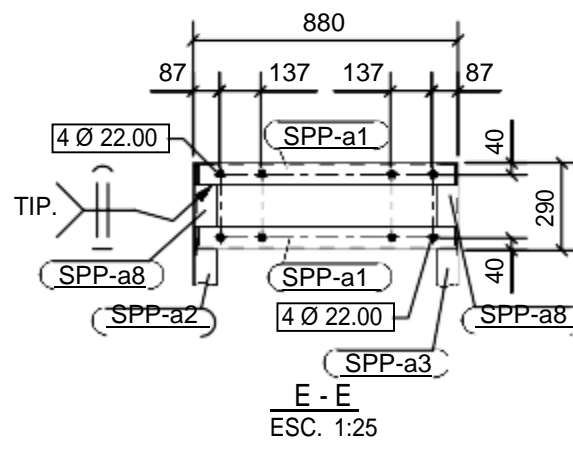
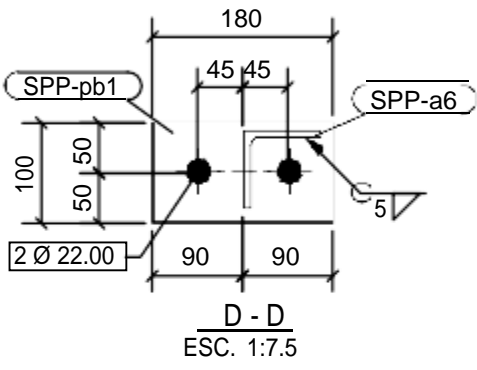
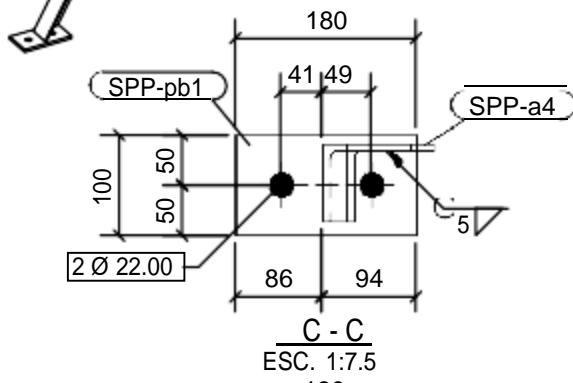
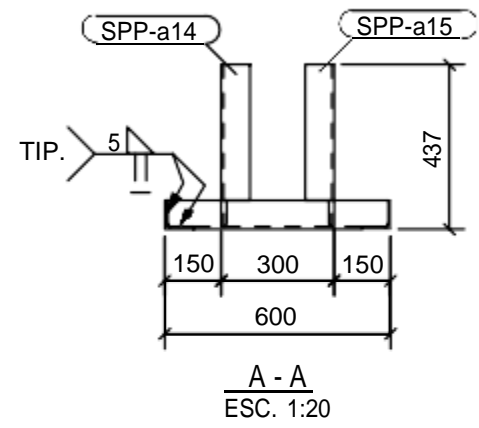
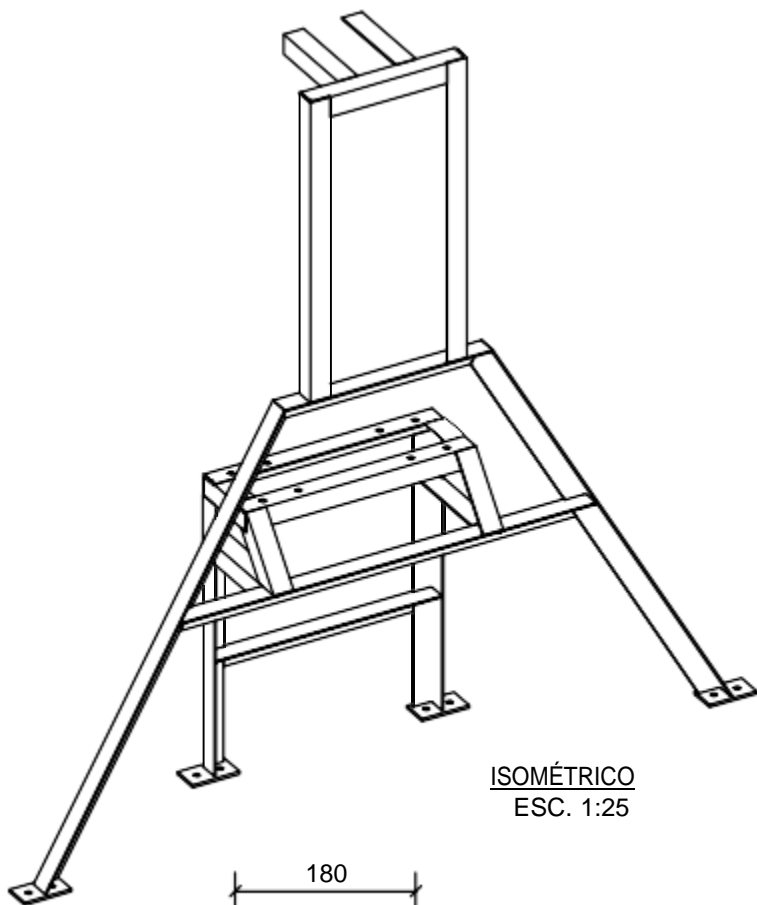
CANTIDAD	CONJUNTO
4	CIL1

**USAT  
EIME**

**Dibujado por:** Josué Rodríguez Velásquez

**Nombre del plano:**  
CIL-p9 - COMPONENTE\_CILINDRO

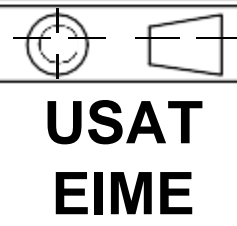
<b>Fecha</b>
24-06-2019
<b>Escala</b>
1:10
<b>N° Plano</b>
CIL-p9



**LISTA DE MATERIALES**

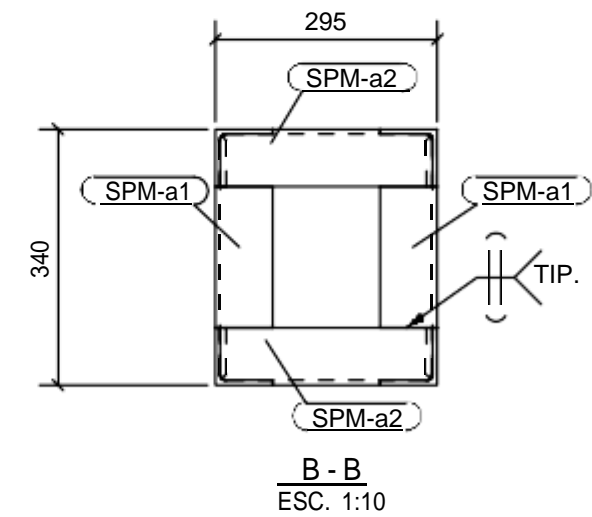
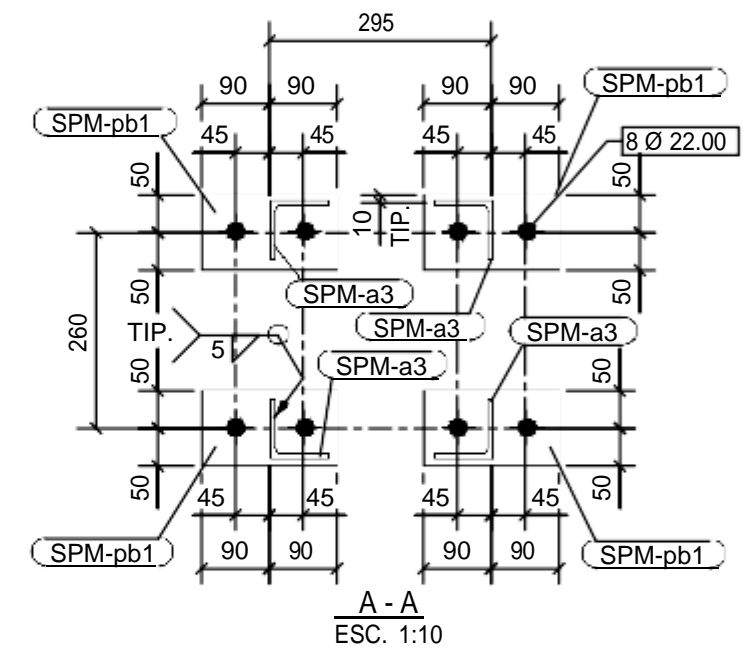
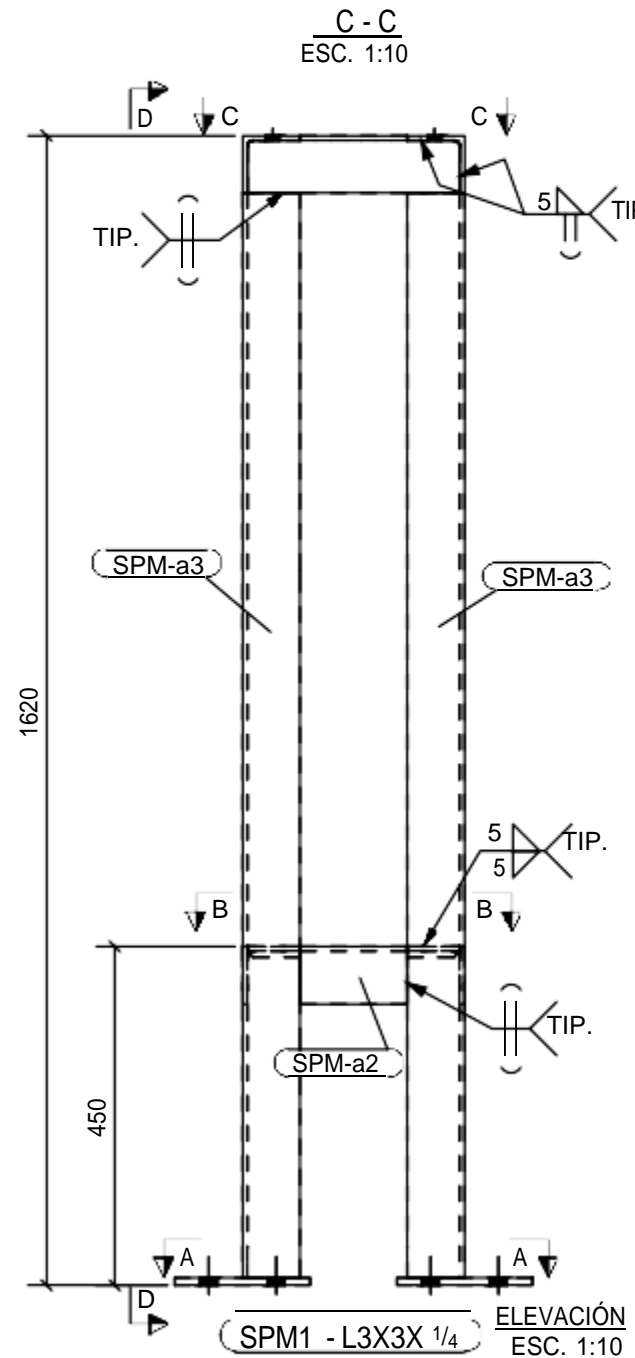
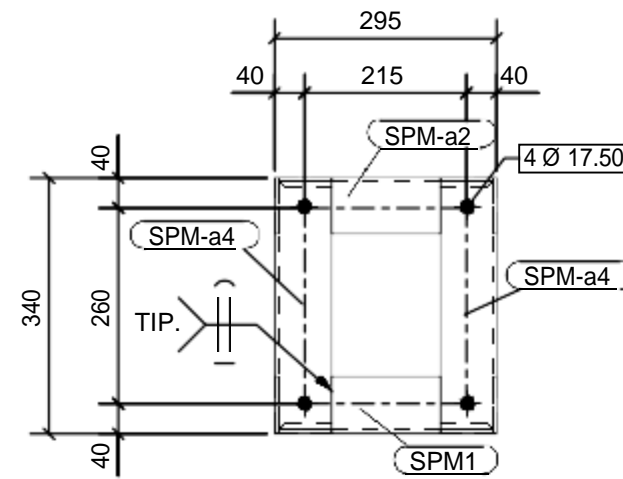
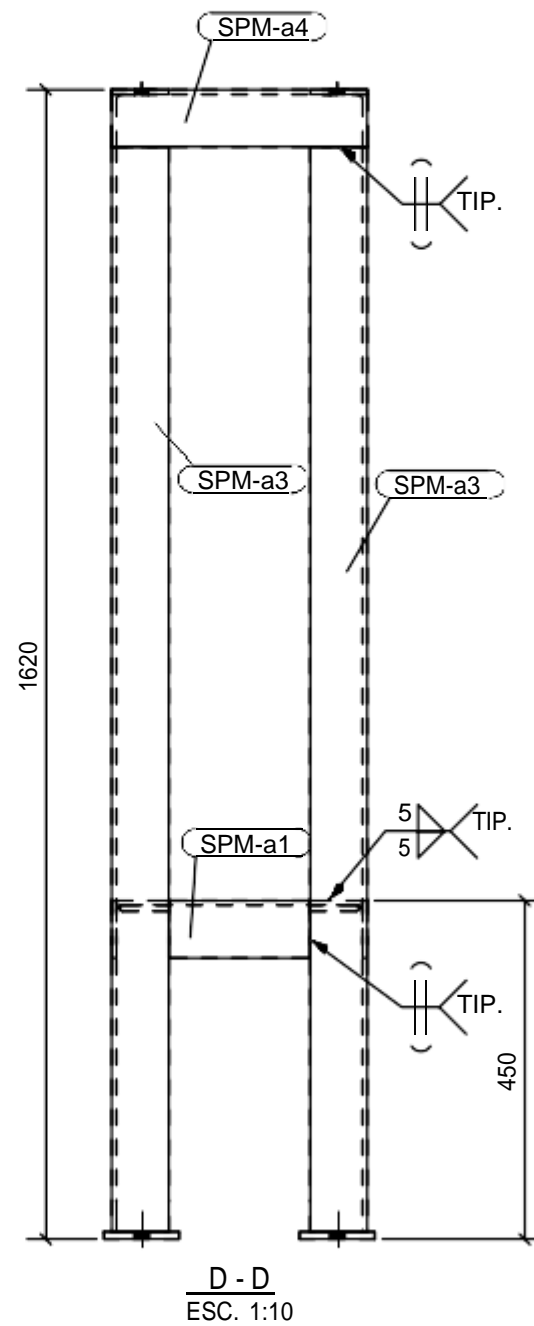
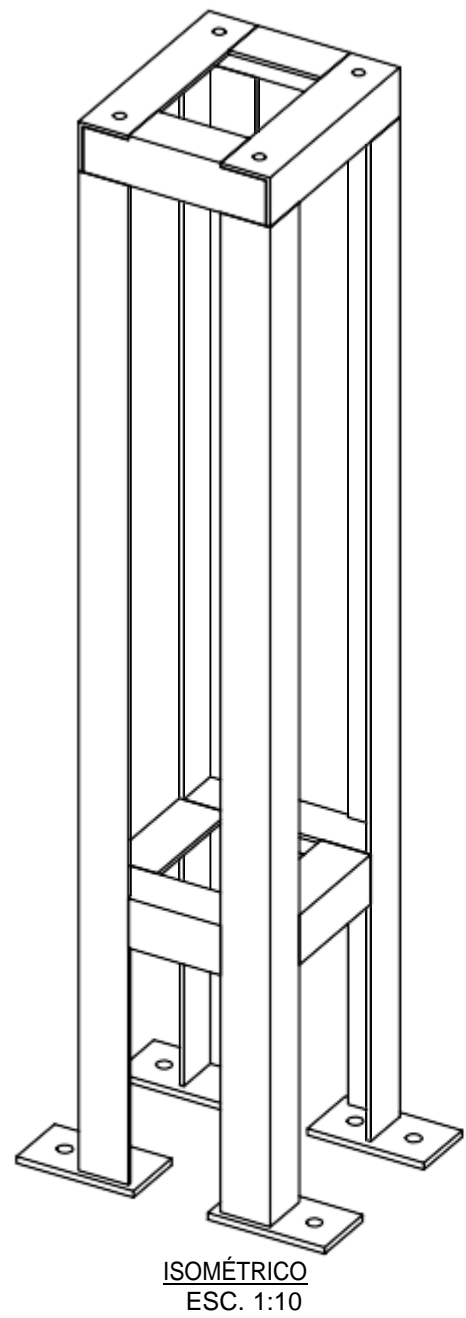
Item	Marca	Descripción Perfil	Largo	Grado	Cant. Parc.	Peso		Marca Preliminar	Tipo Est.	Observaciones
						Tot.	Unit Total			
1		ÁNGULO			2	125.65	251.31			
2	SPP-a1	L3X3X1/4	880	A36	2	4	6.42	12.84		
3	SPP-a2	L3X3X1/4	293	A36	1	2	2.14	2.14		
4	SPP-a3	L3X3X1/4	293	A36	1	2	2.14	2.14		
5	SPP-a4	L3X3X1/4	1836	A36	2	4	13.39	26.78		
6	SPP-a5	L3X3X1/4	800	A36	1	2	5.83	5.83		
7	SPP-a6	L3X3X1/4	1042	A36	2	4	7.60	15.20		
8	SPP-a7	L3X3X1/4	1150	A36	2	4	8.39	16.77		
9	SPP-a8	L3X3X1/4	277	A36	2	4	2.02	4.04		
10	SPP-a10	L3X3X1/4	867	A36	1	2	6.33	6.33		
11	SPP-a11	L3X3X1/4	587	A36	1	2	4.28	4.28		
12	SPP-a12	L3X3X1/4	391	A36	1	2	2.85	2.85		
13	SPP-a13	L3X3X1/4	391	A36	1	2	2.85	2.85		
14	SPP-a14	L3X3X1/4	431	A36	1	2	3.14	3.14		
15	SPP-a15	L3X3X1/4	431	A36	1	2	3.14	3.14		
16	SPP-pb1	PL10X100	180	A36	4	8	1.41	5.65		
17	SPP1	L3X3X1/4	1601	A36	1	2	11.68	11.68		

PESO TOTAL : 251.31 Kg.



Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez  
Nombre del plano: SPP1 - SOPORTE\_PRINCIPAL

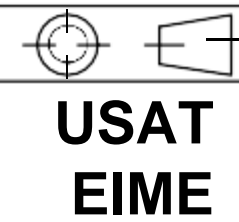
Fecha: 24-06-2019  
Escala: 1:20  
N° Plano: SPP1



### LISTA DE MATERIALES

Item	Marca	Descripcion Perfil	Largo	Material	Cant. Parc.	Peso		Marca Preliminar	Tipo Est.	Observaciones
						Tot.	Unit Total			
1		ÁNGULO			1	66.32	66.32			
2	SPM-a1	L3X3X1/4	188	A36	2	2	1.37	2.74		
3	SPM-a2	L3X3X1/4	282	A36	3	3	2.06	6.18		
4	SPM-a3	L3X3X1/4	1534	A36	4	4	11.18	44.74		
5	SPM-a4	L3X3X1/4	340	A36	2	2	2.48	4.96		
6	SPM-pb1	PL10X100	180	A36	4	4	1.41	5.65		
7	SPM1	L3X3X1/4	282	A36	1	1	2.06	2.06		

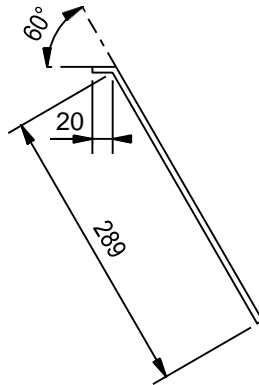
PESO TOTAL : 66.32 Kg.



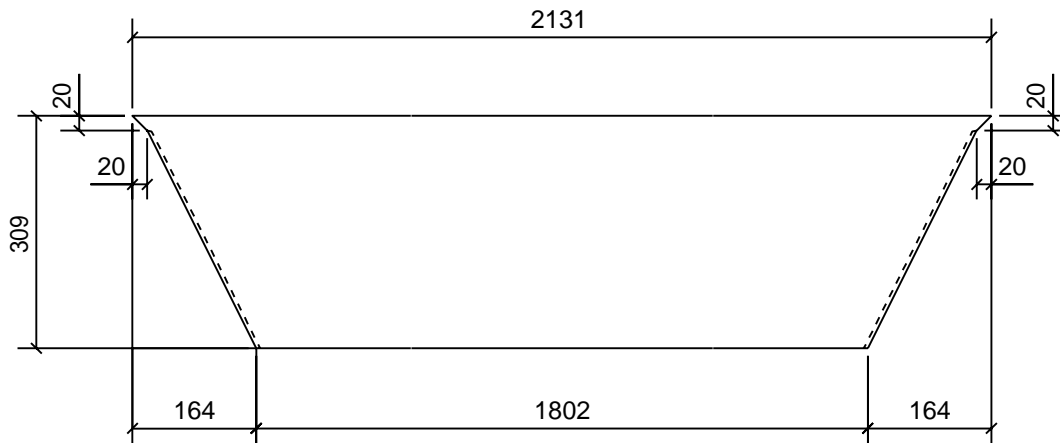
Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez  
Nombre del plano: SPM1 - SOPORTE\_MOTOR

Fecha: 24-06-2019  
Escala: 1:10  
N° Plano: SPM1





DOBLADO  
ESC. 1:7.5

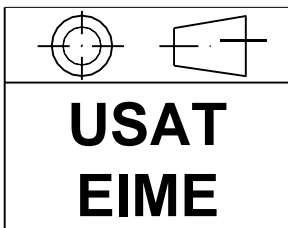


TLV-p3 - PL6X309

ESC. 1:10

MATERIAL:  
A36

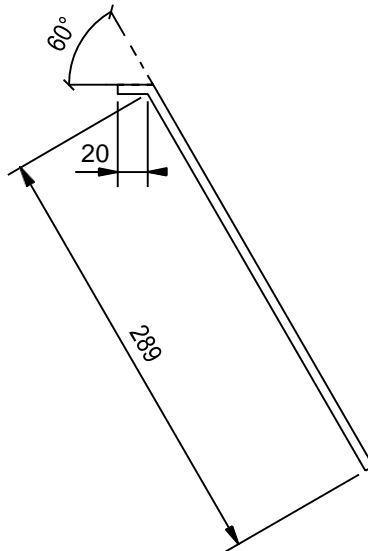
CANTIDAD	CONJUNTO
2	TLV1



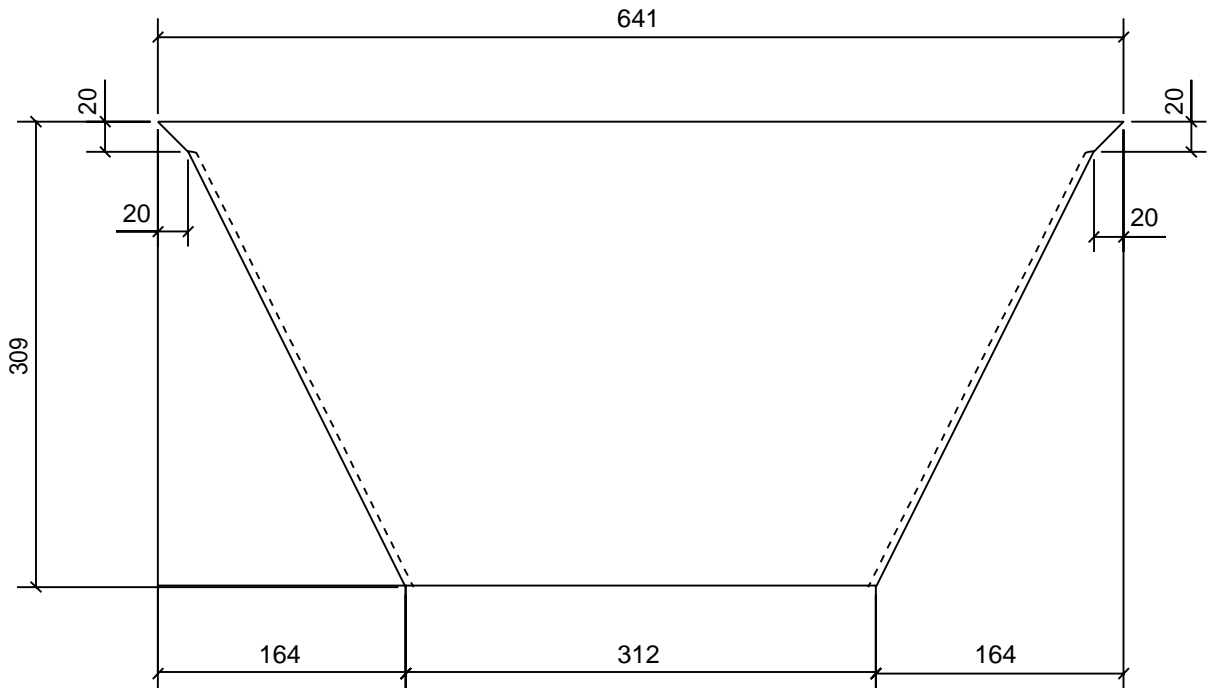
**Dibujado por:** Josué Rodríguez Velásquez

**Nombre del plano:**  
TLV-p3 - COMPONENTE\_TOLVA

<b>Fecha</b>
24-06-2019
<b>Escala</b>
1:10
<b>N° Plano</b>
TLV-p3



DOBLADO  
ESC. 1:5

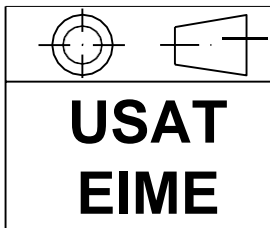


TLV-p4 - PL6X309

ESC. 1:5

MATERIAL:  
A36

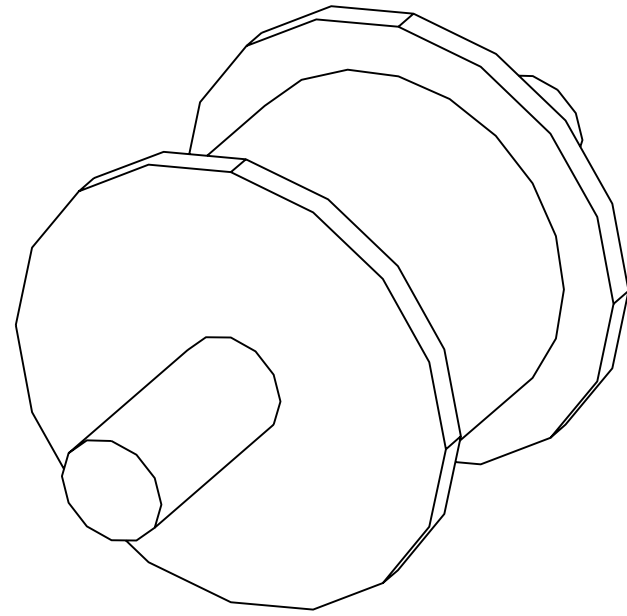
CANTIDAD	CONJUNTO
2	TLV1



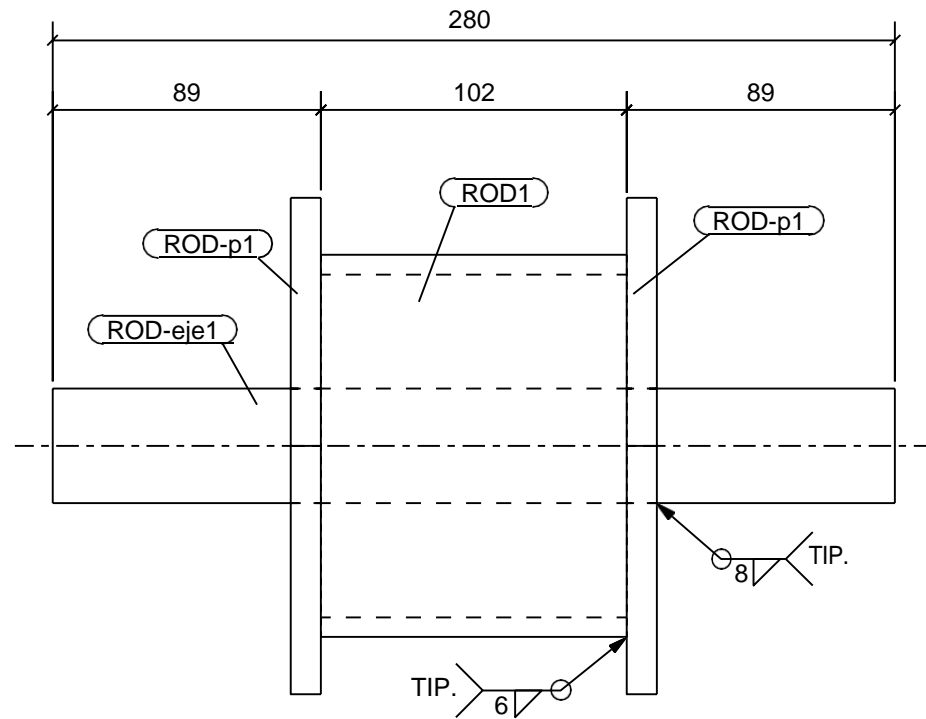
Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez

Nombre del plano:  
TLV-p4 - COMPONENTE\_TOLVA

<b>Fecha</b>
24-06-2019
<b>Escala</b>
1:5
<b>N° Plano</b>
TLV-p4



ISOMÉTRICO  
ESC. 1:2.5

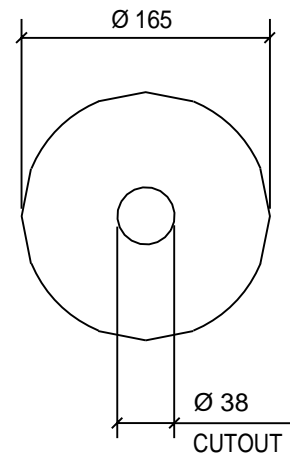


ROD1 - PIPESCH40 5"

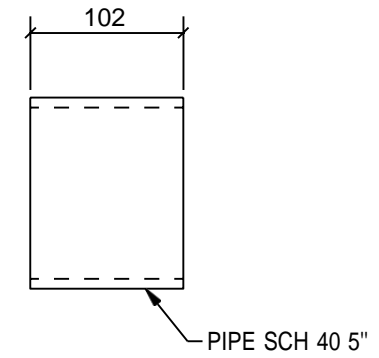
ELEVACIÓN  
ESC. 1:2.5

LISTA DE MATERIALES										
Item	Marca	Descripción Perfil	Largo	Material	Cant.	Peso		Marca Preliminar	Tipo Est.	Observaciones
						Tot.	Unit			
1		PIPESCH40 5"			4	7.44	29.75			
2	ROD-eje1	ROD38.1	280	A36	1	4	2.39	2.39		
3	ROD-p1	PL10X165	165	A36	2	8	1.55	3.10		
4	ROD1	ROD127	102	A53	1	4	1.94	1.94		

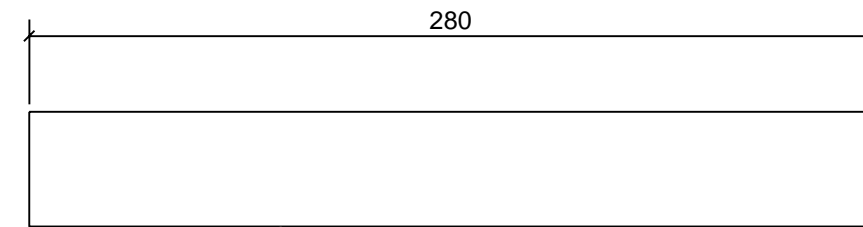
PESO TOTAL : 29.75 Kg.



DETALLE  
PARTE ROD-p1  
ESC. 1:5

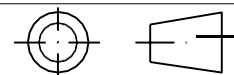


DETALLE  
PARTE ROD1  
ESC. 1:5



EJE Ø 1,5"

DETALLE  
PARTE ROD-eje1  
ESC. 1:2.5



**USAT  
EIME**

Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez

Nombre del plano:

ROD1 - RODILLO

Fecha

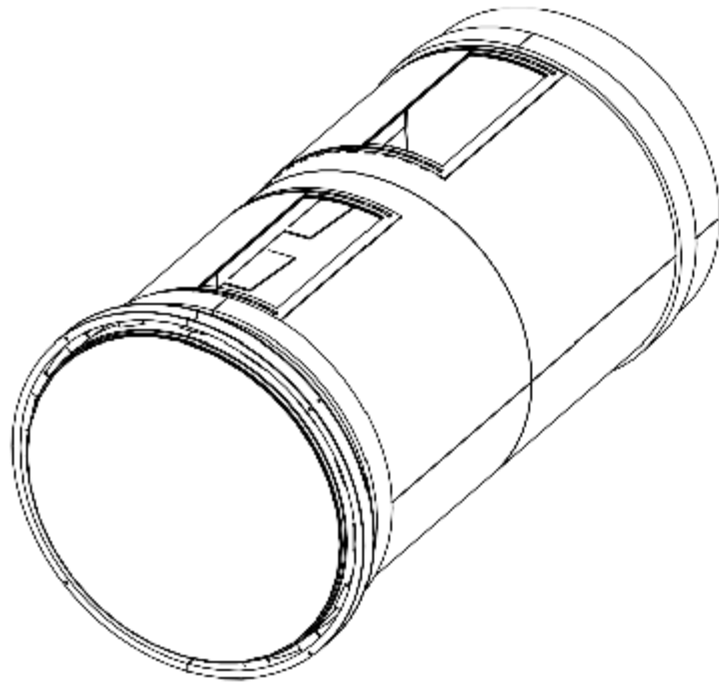
24-06-2019

Escala

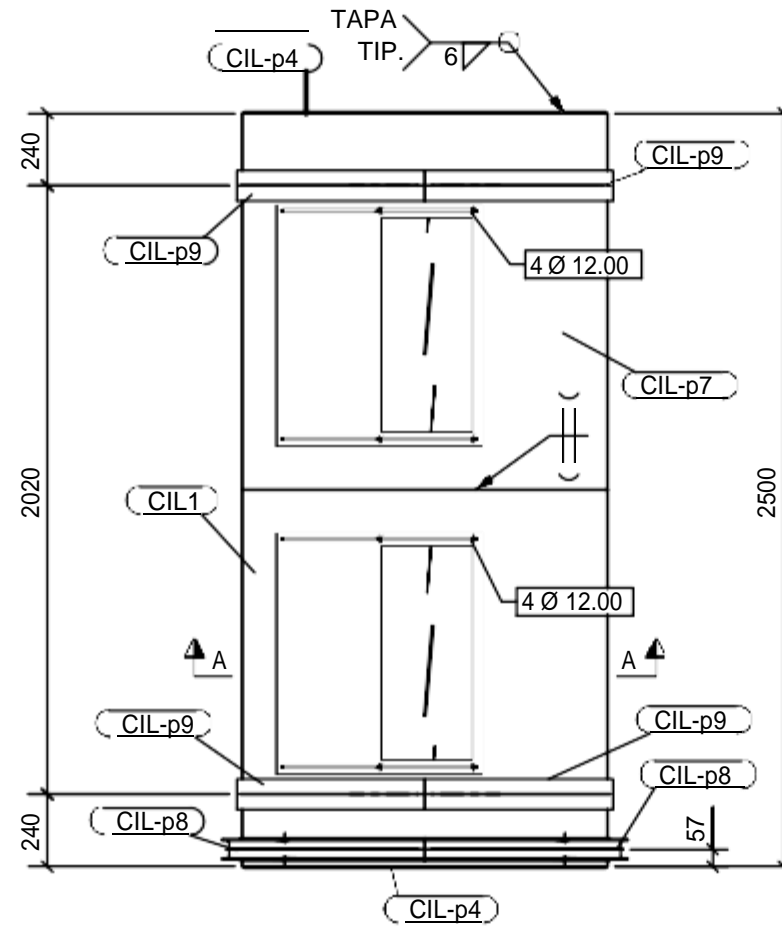
1:2.5

N° Plano

ROD1



ISOMÉTRICO  
ESC. 1:25

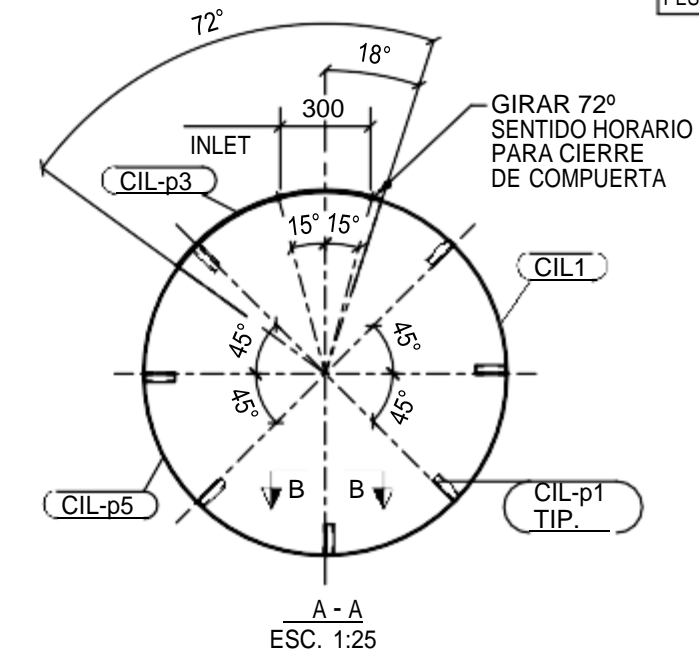


PLANTA  
ESC. 1:25

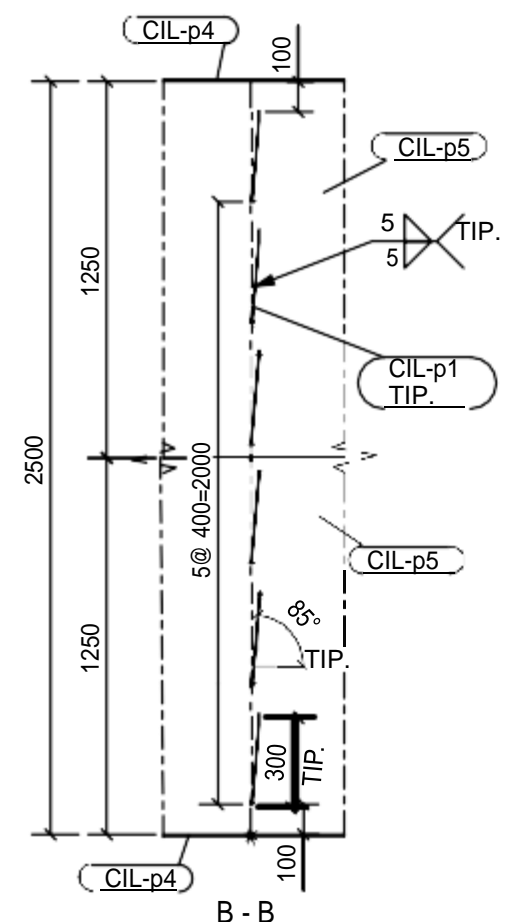
### LISTA DE MATERIALES

Item	Marca	Descripción Perfil	Largo	Material	Grado	Cant. Parc.	Tot.	Peso		Marca Preliminar	Tipo Est.	Observaciones
								Unit	Total			
1		PLANCHAS				1	781.64	781.64				
2	CIL-p1	PL6X100	300	AISI 304	42	42	1.41	59.35				
3	CIL-p2	PL6X32	100	AISI 304	16	16	0.15	2.41				
4	CIL-p3	PL6X765	800	AISI 304	2	2	17.99	35.98				
5	CIL-p4	PL6X1200	1200	AISI 304	2	2	52.93	105.85				
6	CIL-p5	PL6X1250	1894	AISI 304	2	2	111.30	222.60				
7	CIL-p6	PL6X76	1913	AISI 304	2	2	6.85	13.70				
8	CIL-p7	PL6X1250	1894	AISI 304	1	1	101.31	101.31				
9	CIL-p8	PL6*127	2068	AISI 304	2	2	11.09	22.17				
10	CIL-p9	PL19X102	1934	AISI 304	4	4	29.24	116.96				
11	CIL1	PL6X1250	1894	AISI 304	1	1	101.31	101.31				

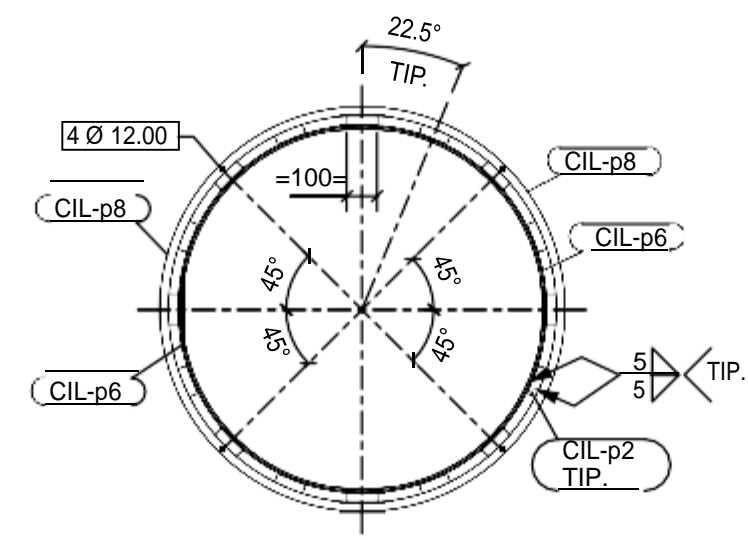
PESO TOTAL: 781.64 Kg.



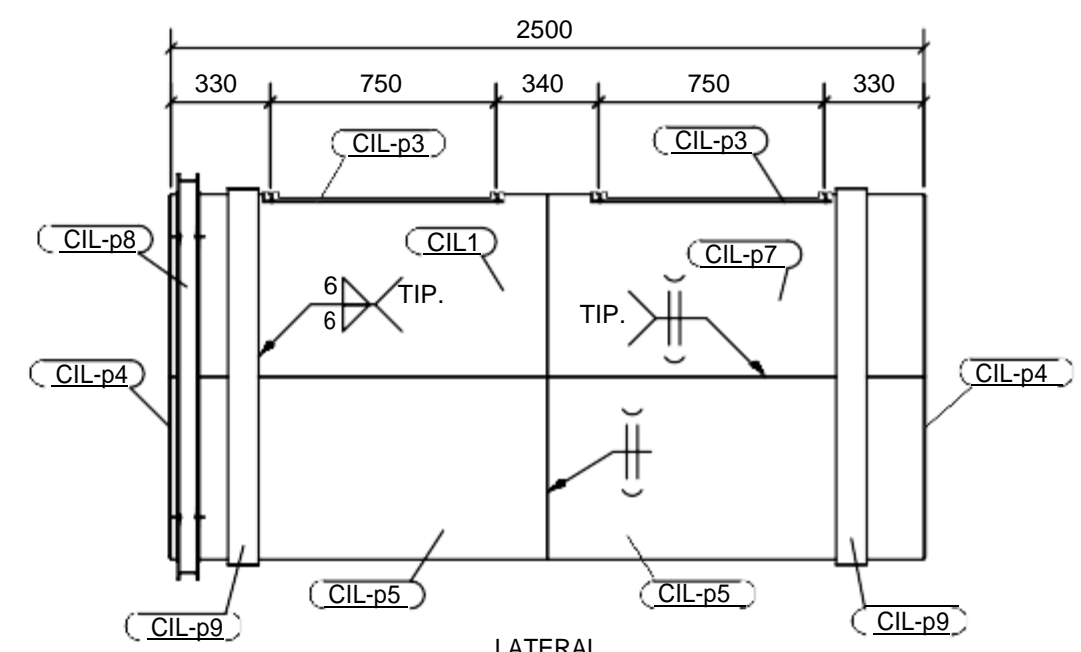
A - A  
ESC. 1:25



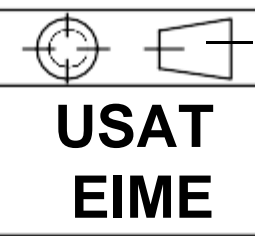
B - B



ELEVACIÓN  
ESC. 1:25

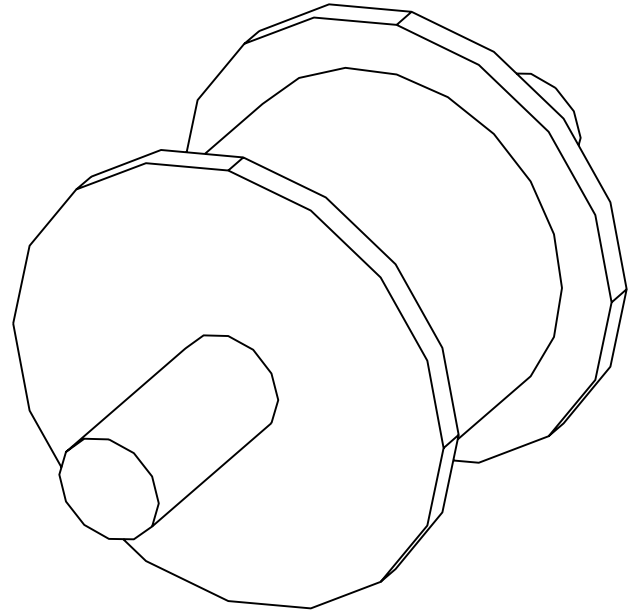


LATERAL  
ESC. 1:25

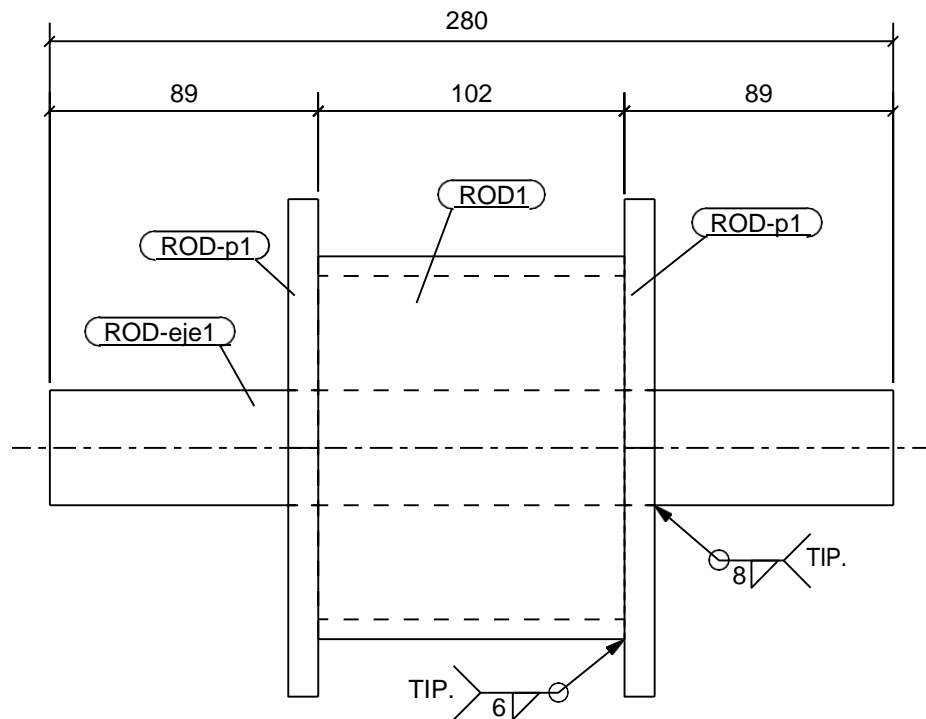


Dibujado por: **Josué Rodríguez Velásquez**  
Nombre del plano: **CIL1 - CILINDRO**

<b>Fecha</b>	24-06-2019
<b>Escala</b>	1:25
<b>N° Plano</b>	CIL1



ISOMÉTRICO  
ESC. 1:2.5



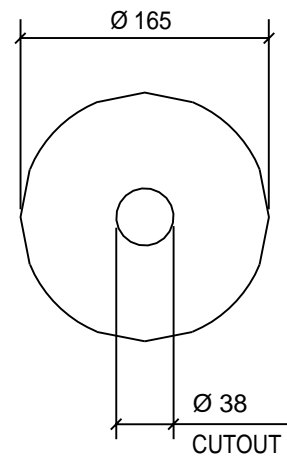
ROD1 - PIPESCH40 5"

ELEVACIÓN  
ESC. 1:2.5

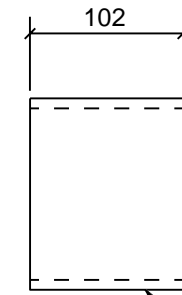
### LISTA DE MATERIALES

Item	Marca	Descripción Perfil	Largo	Material	Cant.	Peso		Marca Preliminar	Tipo Est.	Observaciones
						Tot.	Total			
1		PIPESCH40 5"			4	7.44	29.75			
2	ROD-eje1	ROD38.1	280	AISI 304	1	4	2.39	2.39		
3	ROD-p1	PL10X165	165	AISI 304	2	8	1.55	3.10		
4	ROD1	ROD127	102	AISI 304	1	4	1.94	1.94		

PESO TOTAL : 29.75 Kg.

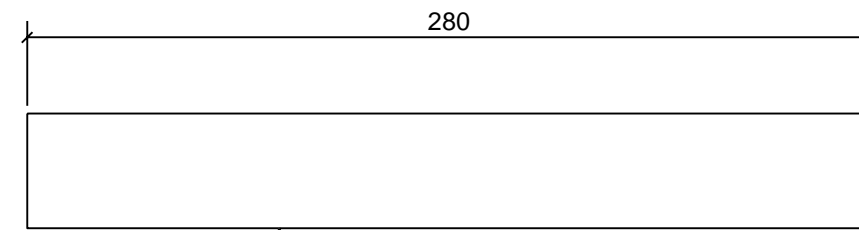


DETALLE  
PARTE ROD-p1  
ESC. 1:5



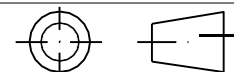
DETALLE  
PARTE ROD1  
ESC. 1:5

PIPE SCH 40 5"



EJE Ø 1,5"

DETALLE  
PARTE ROD-eje1  
ESC. 1:2.5



**USAT  
EIME**

Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez

Nombre del plano:

ROD1 - RODILLO

Fecha

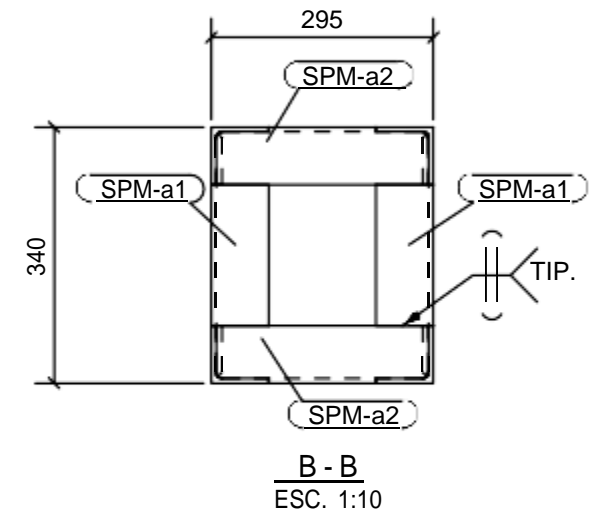
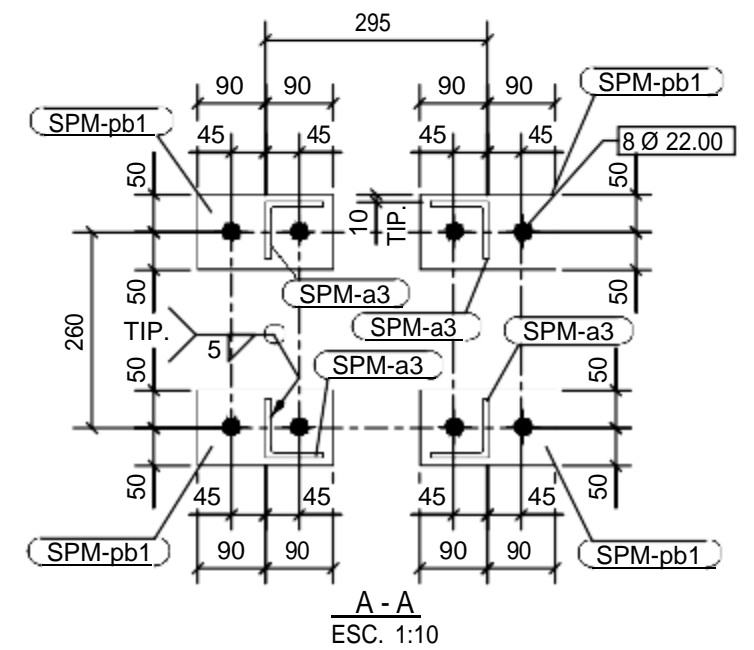
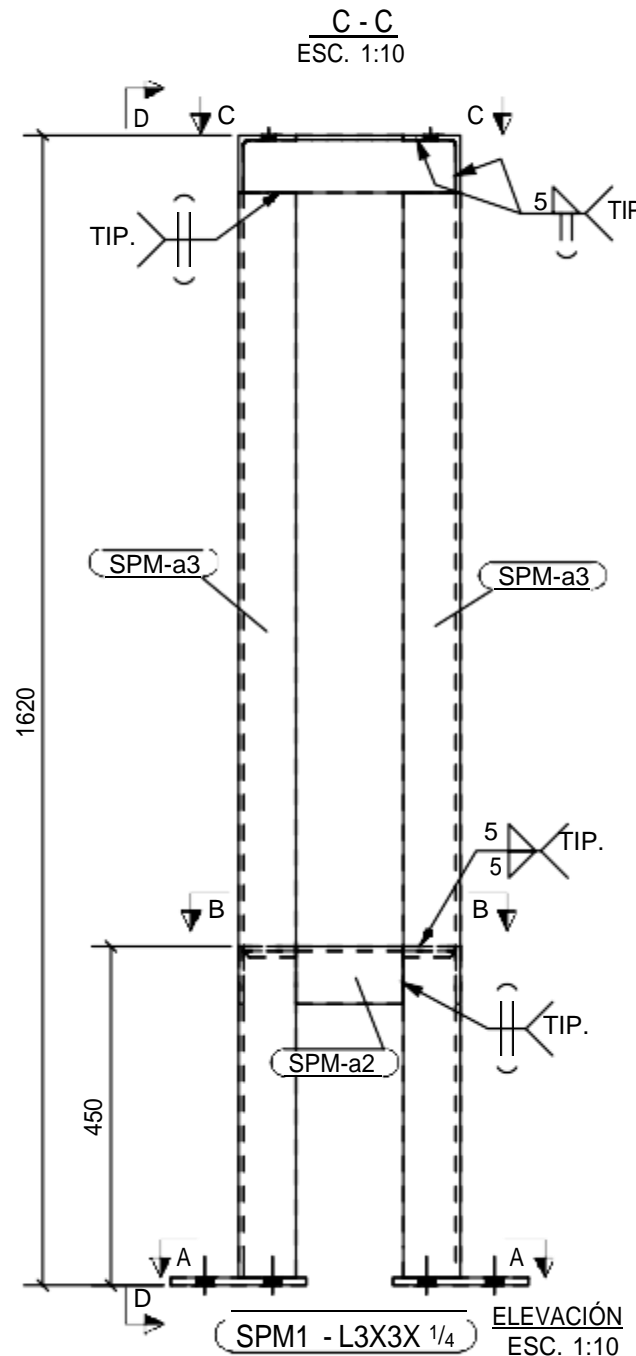
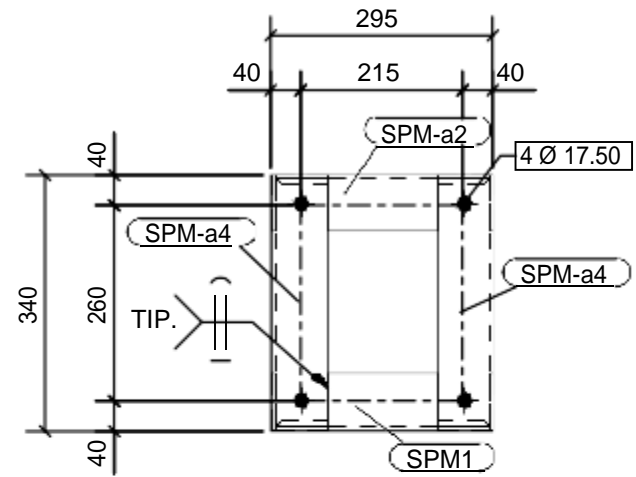
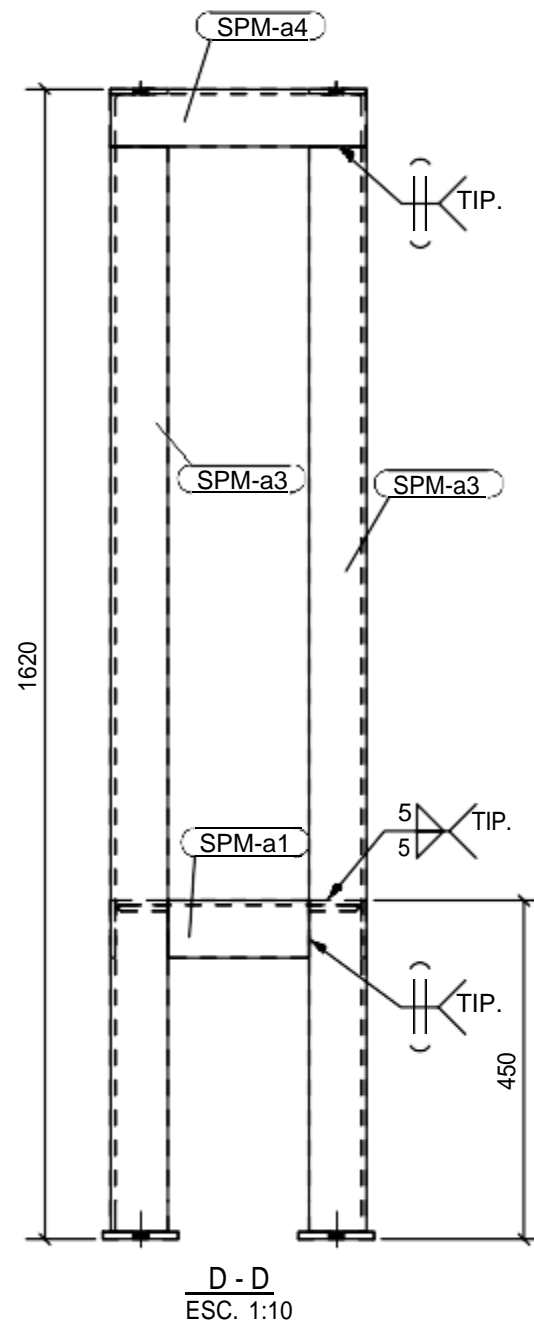
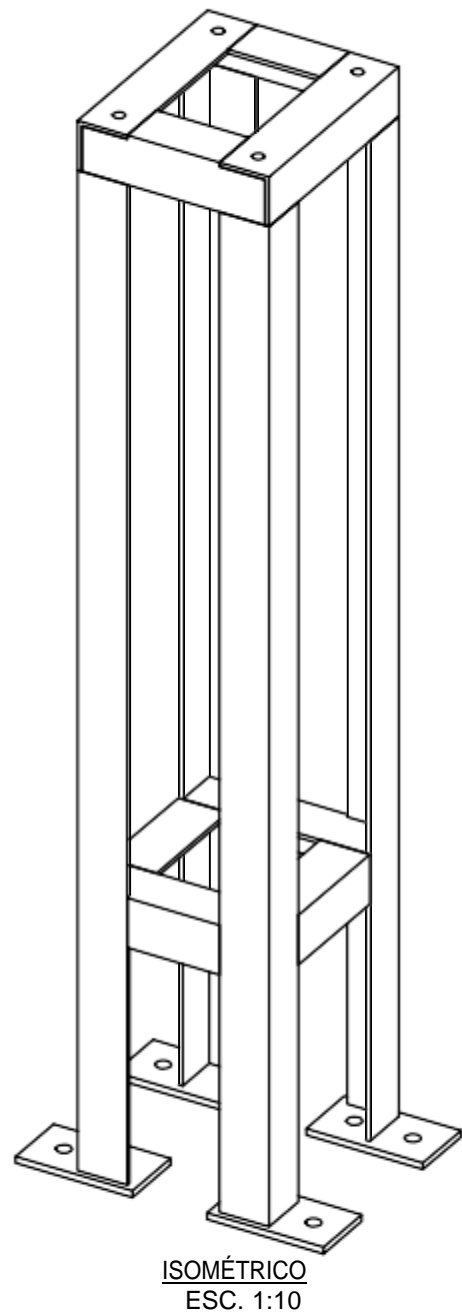
24-06-2019

Escala

1:2.5

N° Plano

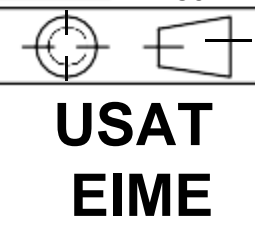
ROD1



### LISTA DE MATERIALES

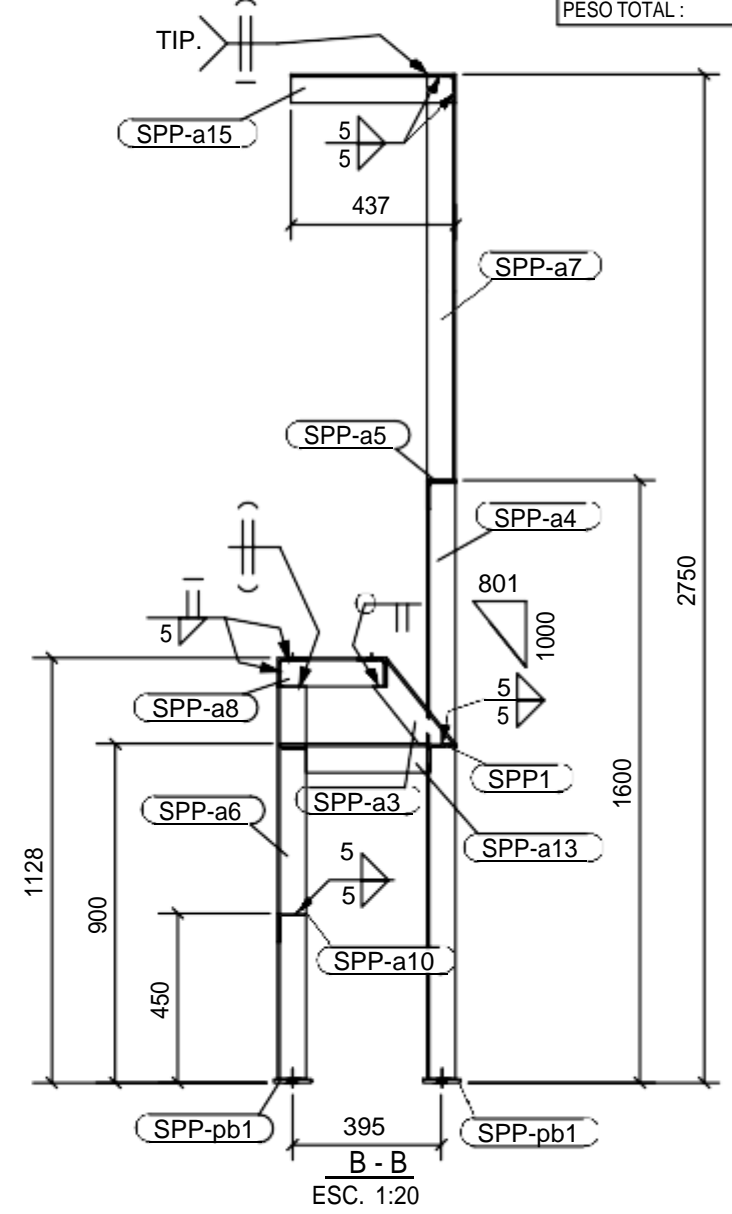
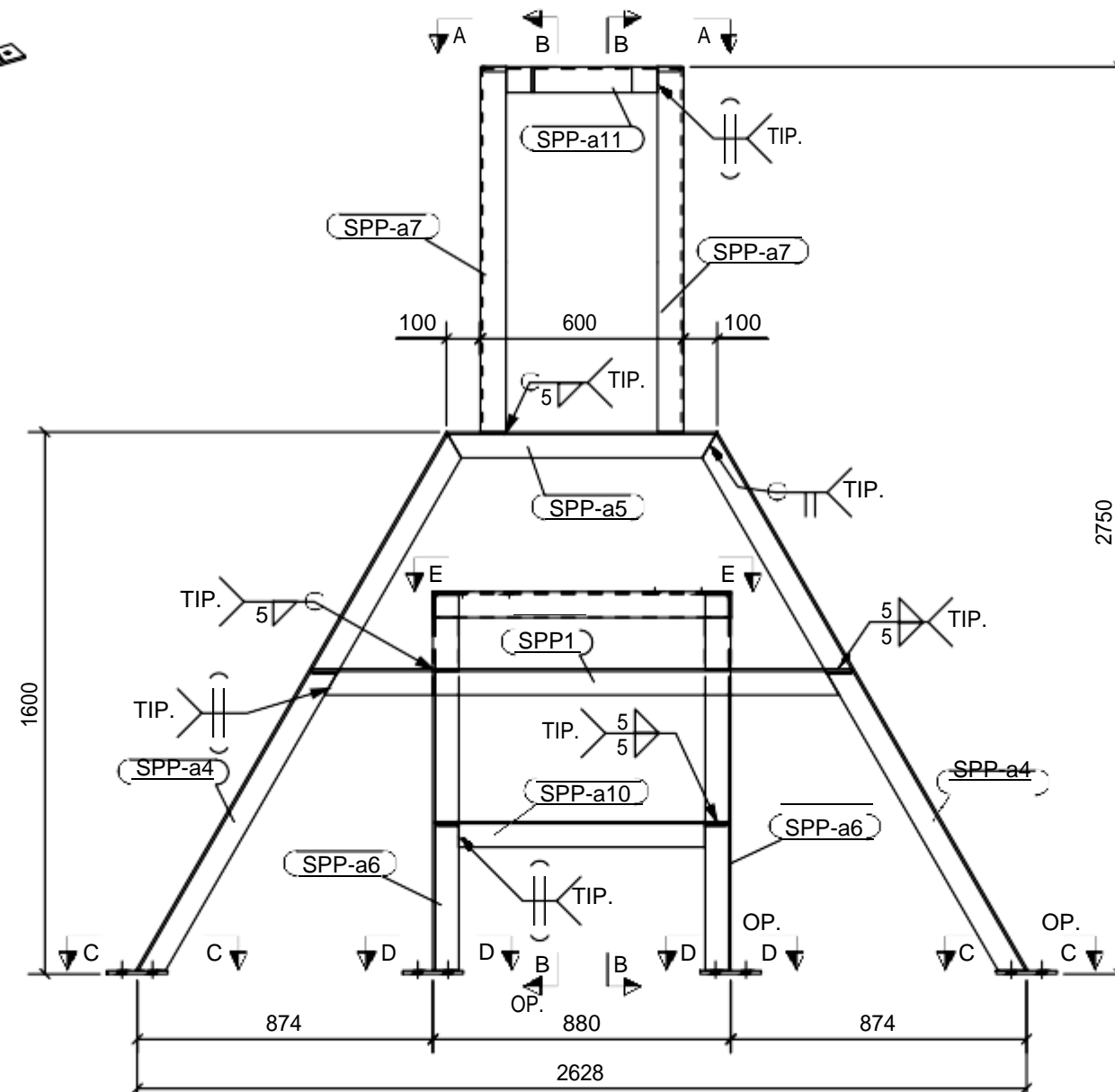
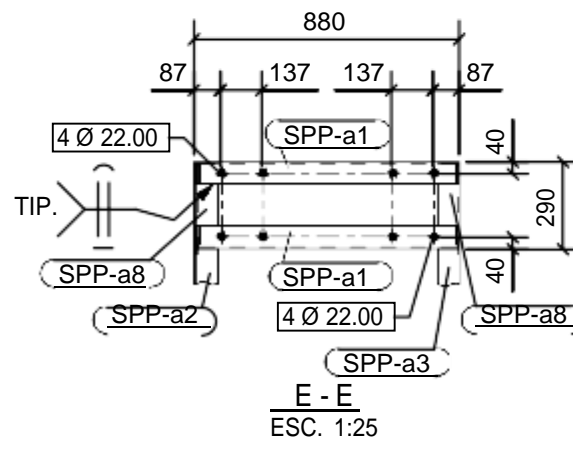
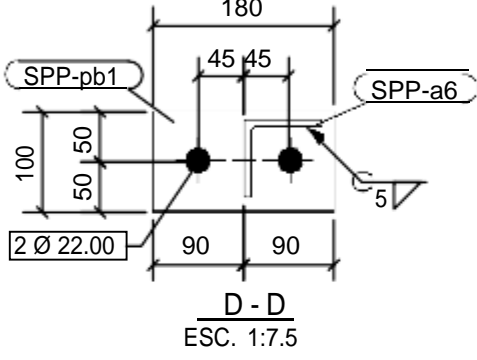
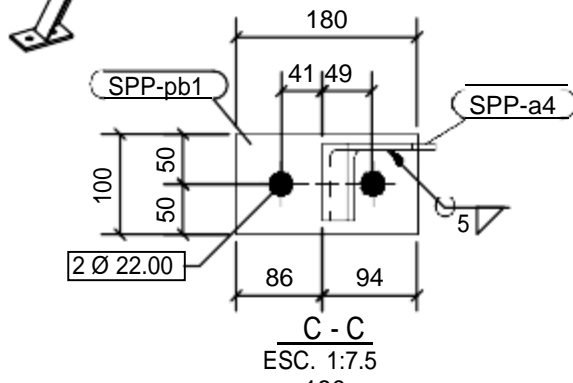
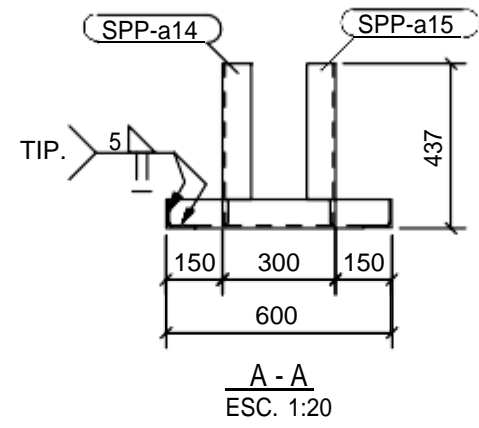
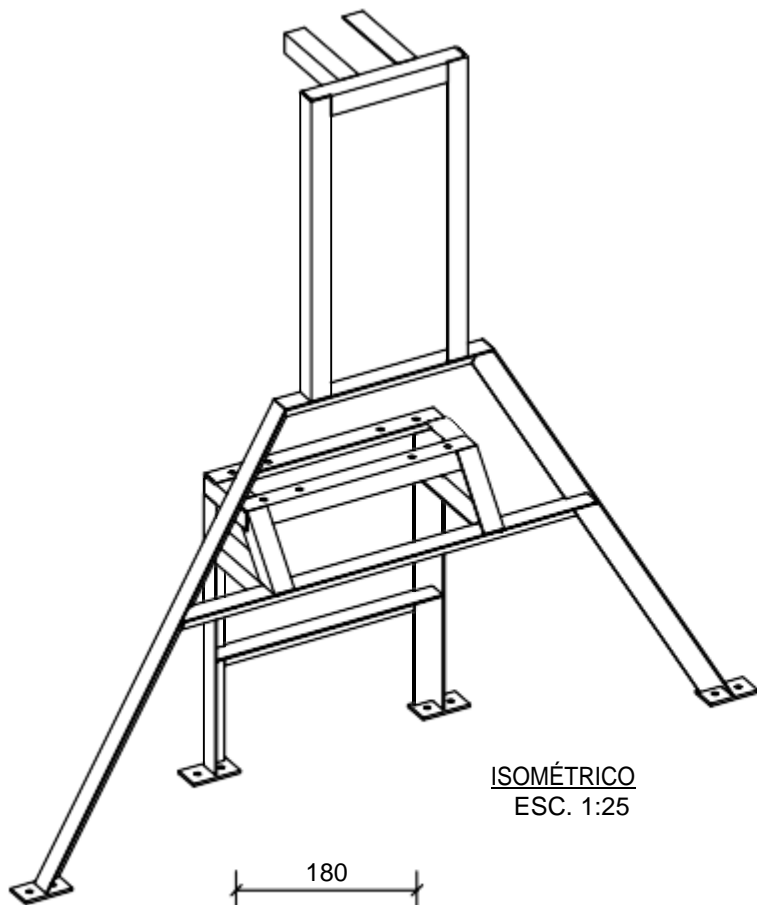
Item	Marca	Descripción Perfil	Largo	Material	Cant. Parc.	Peso		Marca Preliminar	Tipo Est.	Observaciones
						Tot.	Unit			
1		ÁNGULO			1	66.32	66.32			
2	SPM-a1	L3X3X1/4	188	A36	2	2	1.37	2.74		
3	SPM-a2	L3X3X1/4	282	A36	3	3	2.06	6.18		
4	SPM-a3	L3X3X1/4	1534	A36	4	4	11.18	44.74		
5	SPM-a4	L3X3X1/4	340	A36	2	2	2.48	4.96		
6	SPM-pb1	PL10X100	180	AISI 304	4	4	1.41	5.65		
7	SPM1	L3X3X1/4	282	A36	1	1	2.06	2.06		

PESO TOTAL : 66.32 Kg.



Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez  
Nombre del plano: SPM1 - SOPORTE\_MOTOR

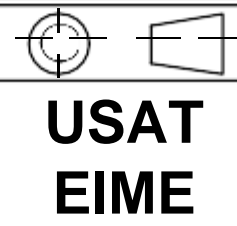
Fecha: 24-06-2019  
Escala: 1:10  
N° Plano: SPM1



LISTA DE MATERIALES

Item	Marca	Descripción Perfil	Largo	Grado	Cant.		Peso		Marca Preliminar	Tipo Est.	Observaciones
					Parc.	Tot.	Unit	Total			
1		ÁNGULO				2	125.65	251.31			
2	SPP-a1	L3X3X1/4	880	A36	2	4	6.42	12.84			
3	SPP-a2	L3X3X1/4	293	A36	1	2	2.14	2.14			
4	SPP-a3	L3X3X1/4	293	A36	1	2	2.14	2.14			
5	SPP-a4	L3X3X1/4	1836	A36	2	4	13.39	26.78			
6	SPP-a5	L3X3X1/4	800	A36	1	2	5.83	5.83			
7	SPP-a6	L3X3X1/4	1042	A36	2	4	7.60	15.20			
8	SPP-a7	L3X3X1/4	1150	A36	2	4	8.39	16.77			
9	SPP-a8	L3X3X1/4	277	A36	2	4	2.02	4.04			
10	SPP-a10	L3X3X1/4	867	A36	1	2	6.33	6.33			
11	SPP-a11	L3X3X1/4	587	A36	1	2	4.28	4.28			
12	SPP-a12	L3X3X1/4	391	A36	1	2	2.85	2.85			
13	SPP-a13	L3X3X1/4	391	A36	1	2	2.85	2.85			
14	SPP-a14	L3X3X1/4	431	A36	1	2	3.14	3.14			
15	SPP-a15	L3X3X1/4	431	A36	1	2	3.14	3.14			
16	SPP-pb1	PL10X100	180	AISI 304	4	8	1.41	5.65			
17	SPP1	L3X3X1/4	1601	A36	1	2	11.68	11.68			

PESO TOTAL : 251.31 Kg.



Dibujado por: Josué Rodríguez Velásquez  
Nombre del plano: SPP1 - SOPORTE\_PRINCIPAL

Fecha: 24-06-2019  
Escala: 1:20  
N° Plano: SPP1



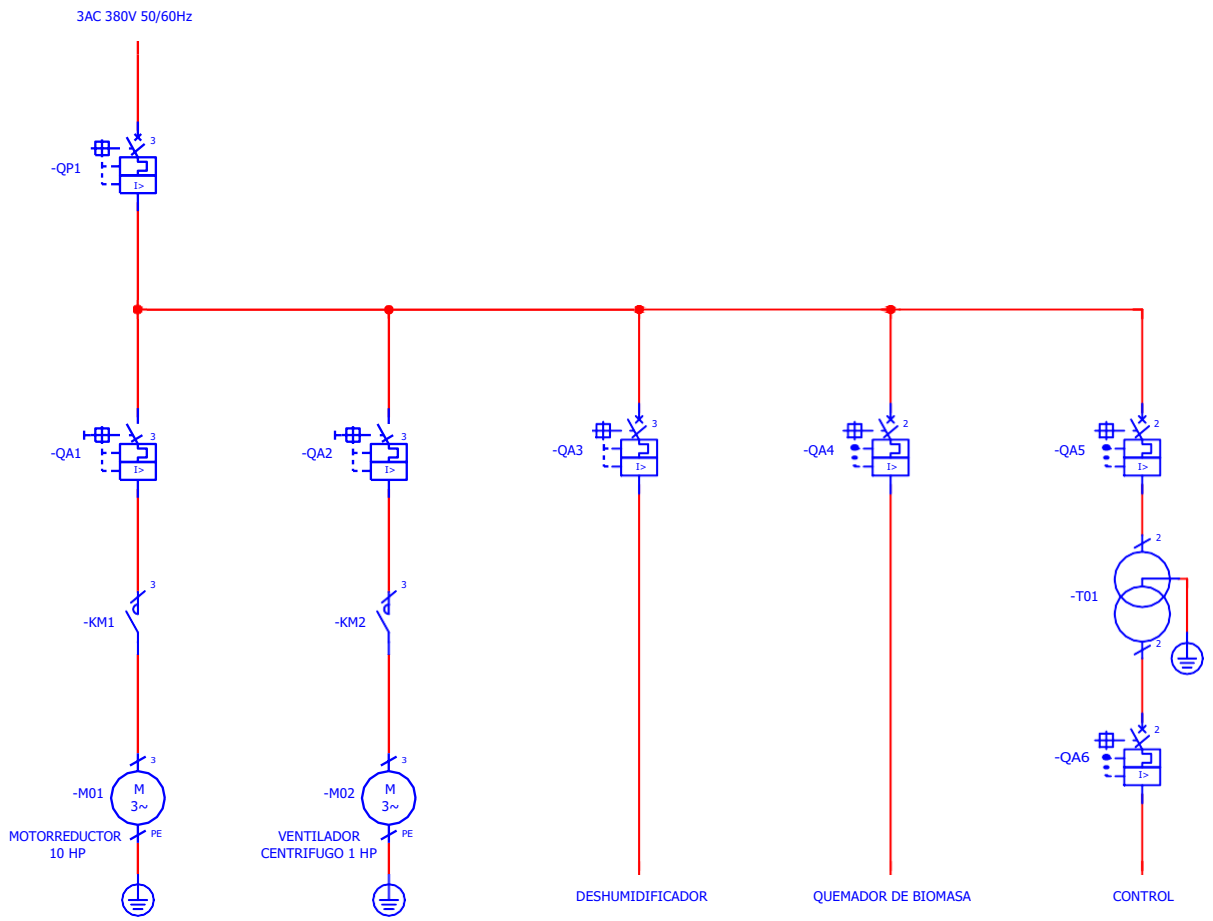


Diagrama Unifilar

Fecha	04/10/2022
Design	Josué Rodríguez Velásquez
Checked	Josué Rodríguez Velásquez

**USAT**

Planos Eléctricos

=	+	Página	1
Planos Eléctricos			de
			3

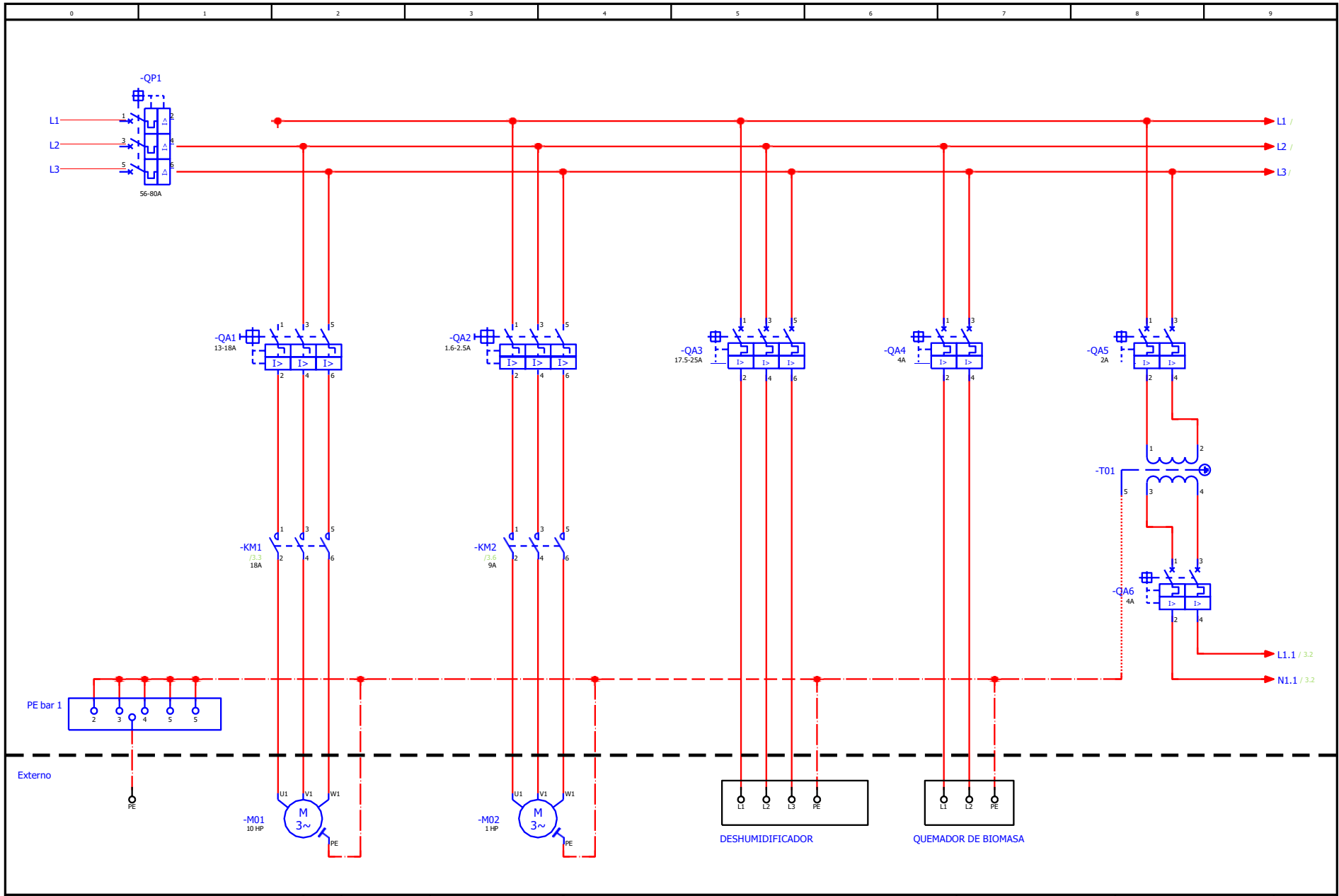


Diagrama de Distribución

Fecha	04/10/2022
Design	Josué Rodríguez Velásquez
Checked	Josué Rodríguez Velásquez

**USAT**

Planos Eléctricos

=	+
Planos Eléctricos	

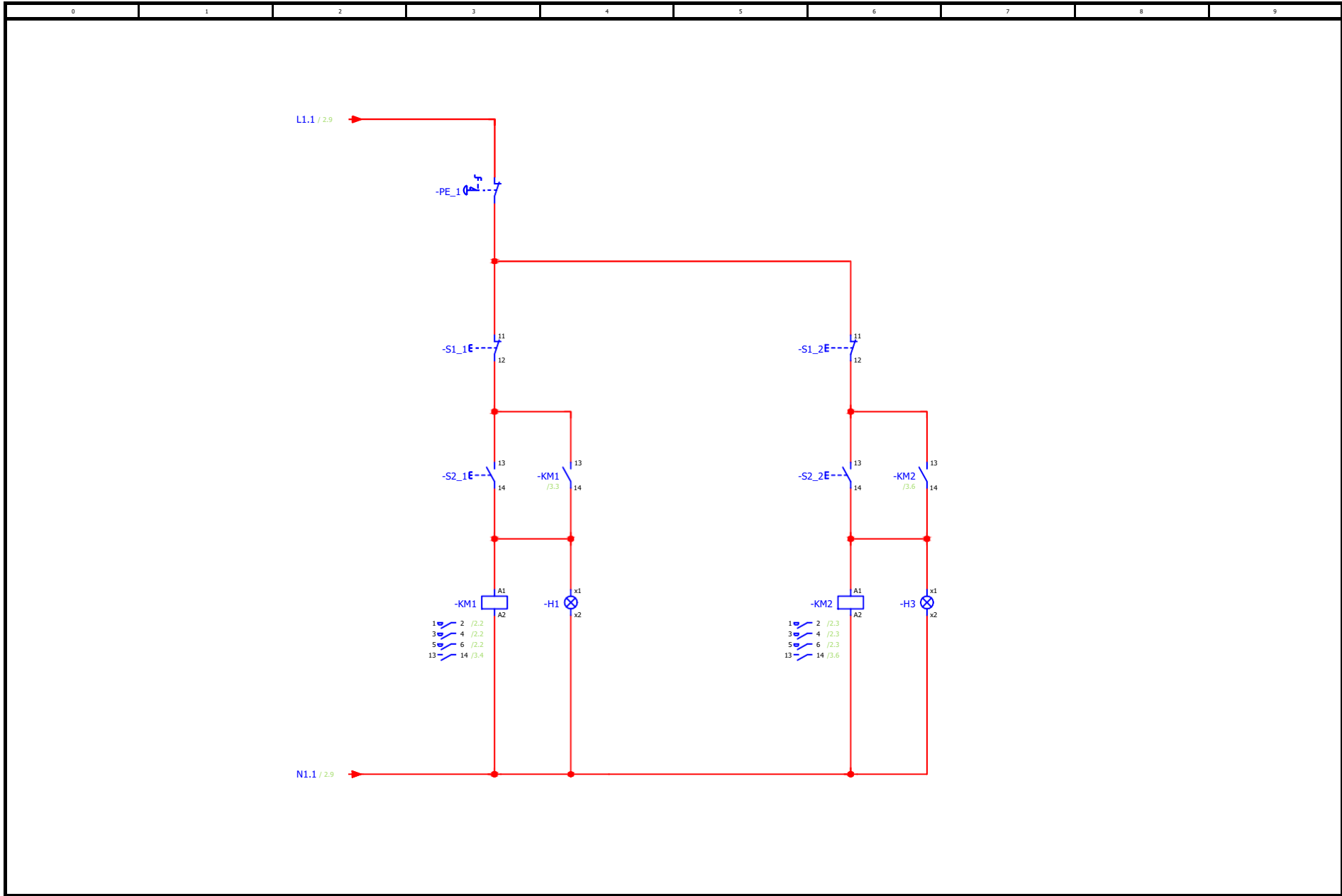


Diagrama de Control

Fecha	04/10/2022
Design	Josué Rodríguez Velásquez
Checked	Josué Rodríguez Velásquez

**USAT**

Planos Eléctricos

=	+
Planos Eléctricos	