

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE CON  
CAPACIDAD PARA PROCESAR 30 TON ALMENDRA/DÍA**

**JUAN SEBASTIÁN REYES ARISTIZABAL  
IVÁN DARÍO MORA CARRILLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2013**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE CON  
CAPACIDAD PARA PROCESAR 30 TON ALMENDRA/DÍA**

**JUAN SEBASTIÁN REYES ARISTIZABAL  
IVÁN DARIO MORA CARRILLO**

**Trabajo para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Director  
LEONIDAS VASQUEZ CHAPARRO  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2013**

## **AGRADECIMIENTOS.**

Al Ing. Guillermo Bernal, base sólida del conocimiento que se plasmó en este libro, al Ing. Jaime Bernal por la confianza depositada, a la industria del Aceite de Palma por enseñarme tantas cosas y por permitirle al sector agrícola del país una alternativa lícita mucho más justa, a las plantas extractoras visitadas por abrirnos sus puertas y compartir con nosotros su experiencia.

A AIC Internacional por su respaldo técnico, a los proveedores por su colaboración y a todos los que de una u otra manera influyeron para que este trabajo se realizara de la mejor manera.

A la Universidad Industrial de Santander porque sabemos que fue lo mejor para nosotros y nos abrió un gran camino que se cierra para muchos, al Ing. Leonidas Vásquez por su resistencia de materiales y su comprensión y colaboración al dirigir este proyecto, a mis mejores profesores, Ing. Isnardo Gonzales, Ing. Carlos Borrás, Ing. David Fuentes, Ing. Iván Hurtado, Ing. Jorge Meneses, a ustedes maestros, de verdad, gracias.

## DEDICATORIA.

***Este libro representa la última página de un capítulo de mi vida con muchos participantes...***

A mi madre por su sabiduría infinita sobre la vida y el sentido de la misma, a mi padre por su apoyo incondicional en mi proceso de formación; a mis hermanos, a Fede porque sembró en mí el primer mecánico, a Andres por la “dinámica del ‘termo’ aguardientero” y sus chistes pésimos en las largas noches de estudio, a Juan Pablo por la complicidad de siempre y la camaradería; a mi tía Carmelita por quererme echar de la casa sino terminaba este libro, a mis tías y tíos por aguantarme, a mis primos y primas por la alegría y la pachanga.

A mis amigos de fiesta y a mis amigos de estudio, algunos de fiesta y algunos de ambos bandos, pero nunca del segundo exclusivamente; a la familia Anaya Argüello que también formó parte de este capítulo, a todos, los de antaño y los de ahora, todos, mis amigos.

***Termina un capítulo, pero el libro de mi vida apenas comienza, estoy seguro que escribiré más y mejor...***

*Juan Sebastián.*

## DEDICATORIA.

A mis padres y mi hermana que con mucho esfuerzo me han ayudado a construir este sueño. En especial a mi mami por su lucha, su positivismo y sus buenos consejos, a mi papi por enseñarme la importancia del estudio, por el gran esfuerzo realizado, y por hacerme este hombre con valores y nobleza, les brindo este: el inicio de mis triunfos, el fin de una etapa de mi vida y el inicio de otra.

A mi familia por parte de mi mama, que no olvido de donde soy ni me amedrenta el para donde voy, y sé que llevo un llanero recio y terco en mi alma.

A mi tía Edelmira, por apoyarme en mis estudios primarios, en los momentos más difíciles de mis padres, no olvido este detalle. Y mis primos, Mono, Cristhian, William, con quienes he pasado verdaderamente muy buenos momentos.

A Lorena, mi novia, un alma hermosa que me dejo conocer la UIS.

A todos ellos y muchos más, dedico esta bandera, esta meta, este triunfo. Y prometo ir por más, prometo vencer.

IVAN DARIO MORA CARRILLO.

***“Lo que hace que una vida sea finalmente plena es tener la oportunidad de poder dar mucho de uno mismo a los demás”***

***P. Theillard de Chardin***

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
PRIMERA FASE.	27
2. DIAGNOSTICO DEL SECTOR INDUSTRIAL PALMERO.	27
2.1 DIAGNOSTICO SECTORIAL	27
2.1.1 Reseña histórica.	27
2.1.1.1 Introducción en América.	28
2.1.1.2 La Palma de Aceite en Colombia.	29
2.1.1.3 Primeras plantas extractoras.	30
2.1.2 Evaluación actual del cultivo en el país.	31
2.1.2.1 Rendimiento del cultivo.	33
2.1.3 Número de plantas extractoras y su clasificación.	35
2.2 PROCESO PRODUCTIVO	36
2.2.1 Obtención de la almendra de Palma.	38
3. EL ACEITE DE PALMISTE	50
3.1 DEFINICIÓN DEL ACEITE DE PALMISTE.	50
3.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	50
3.2.1 Extracción directa por solventes.	51
3.2.2 Extracción por prensado mecánico.	52
3.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS TRES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN.	61
3.3.1 Extracción por medio de solventes.	61

3.3.2 Extracción por prensado mecánico de etapa simple.	62
3.3.3 Extracción por prensado mecánico de dos etapas.	63
3.4 EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO DE DOS ETAPAS.	65
SEGUNDA FASE.	69
4. SELECCIÓN Y CÁLCULO DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS	69
4.1 CÁLCULO DE LOS TRANSPORTADORES REQUERIDOS.	71
4.1.1 Transportador neumático de almendras secas.	71
4.1.2 Transportador distribuidor de almendras frescas del tipo Sin Fin.	72
4.1.3 Transportador de crudo del tipo Sin Fin.	73
4.1.4 Transportador de torta del tipo Sin Fin.	74
4.1.5 Un elevador para torta de Palmiste hacia el segundo prensado.	74
4.1.6 Un elevador para torta de Palmiste hacia el molino de trituración.	75
4.1.7 Un transportador de banda para torta empacada.	76
4.1.8 Estructura y plataforma para soporte e inspección de equipos.	76
4.1.9 Tres tanques pulmón con agitador.	77
4.1.10 Tolvas de alimentación a las prensas.	78
4.2 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS.	78
4.2.1 Cuatro prensas tipo Expeller para prensado de almendras.	79
4.2.2 Dos bombas de aceite crudo hacia el tamiz circular. (Una como stand By)	80
4.2.3 Tamiz circular vibratorio montado sobre resortes, de una sola malla (1 Deck).	80
4.2.4 Dos bombas de aceite tamizado hacia el filtro. (Una como stand By)	81
4.2.5 Un filtro de placas (tipo Niagara) para aceite de Palmiste.	82
4.2.6 Dos bombas de aceite terminado hacia los tanques de almacenamiento. (Una como stand By)	82
4.2.7 Molino de martillos para torta extractada.	83
4.2.8 Básculas de pesaje para control del proceso.	84

4.3 AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA Y ESTIMACIÓN DE PERSONAL.	85
4.3.1 Automatización.	85
4.3.2 Estimación de personal requerido.	87
TERCERA FASE.	89
5. ENSAMBLE Y PLANOS GENERALES DE LA PLANTA.	89
5.1 CONFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA.	89
5.2 CUADRO BÁSICO DE CARGAS ELÉCTRICAS.	92
CUARTA FASE.	93
6. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.	93
6.1 PRESUPUESTO PRELIMINAR	93
6.2 ANÁLISIS FINANCIERO	94
6.2.1 Discriminación de egresos.	94
6.2.2 Discriminación de Ingresos.	97
6.2.3 Retorno de la inversión.	98
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	100
8. BIBLIOGRAFÍA.	103
ANEXOS	105

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Zonificación área sembrada de palma de aceite en Colombia.	32
Ilustración 2. Racimo de fruto fresco de palma aceitera.	36
Ilustración 3. Vista frontal de un esterilizador	38
Ilustración 4. Cargue de vagones desde tolvas de recepción.	39
Ilustración 5. Sistema de rieles para circulación de vagones.	39
Ilustración 6. Tambor de volteo para vagones.	40
Ilustración 7. Tolva bajo tambor de volteo	40
Ilustración 8. Transportador de cadena hacia desfrutado	41
Ilustración 9. Vista frontal de un desfrutador	41
Ilustración 10. Racimo de fruto vacío, posterior al desfrutado.	42
Ilustración 11. Frutos sueltos de palma, posterior al desfrutado.	42
Ilustración 12. Vista interna y externa de un digestor	43
Ilustración 13. Vista frontal de una prensa de fruto P-9.	43
Ilustración 14. Torta de prensado (fibras y nueces) a la salida de una prensa	44
Ilustración 15. Esquema del proceso de desfibración.	45
Ilustración 16. Vista frontal de un silo secador de nueces.	45
Ilustración 17. Columna principal de separación de piedra	46
Ilustración 18. Modelo de un molino tipo “ripple”	47
Ilustración 19. Esquema de una columna doble de separación neumática	48
Ilustración 20. Modelo de un molino tipo “ripple”	49
Ilustración 21. Silos secadores de Almendras	49
Ilustración 22. Cámara de alimentación y canasta de una prensa Expeller	53
Ilustración 23. Caracoles de prensado de una prensa Expeller.	54
Ilustración 24. Esquema de una prensa Expeller.	54
Ilustración 25. Licor de prensas expeller	55
Ilustración 26. Sección de filtrado	56
Ilustración 27. Filtro de hojas, tipo Niágara, para aceite tamizado	56

Ilustración 28. Aspecto general de la torta de palmiste.	57
Ilustración 29. Torta de Palmiste.	60
Ilustración 30. Sacos de torta de palmiste	61
Ilustración 31. Conformación general de la planta extractora de aceite de Palmiste.	89
Ilustración 32. Vista lateral, en la cual se aprecia la llegada de las almendras desde la planta de aceite rojo.	90
Ilustración 33. Vista frontal de la planta de extracción de CPKO.	91

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Producción de Palma de aceite en Colombia en los años 1954 a 1960.	30
Tabla 2. Rendimiento anual de producción de fruto (RFF) en Ton/hectárea en producción para las diferentes zonas de influencia del cultivo en el país.	33
Tabla 3. Rendimiento anual de producción de aceite de palma por hectárea en producción de cada zona del país.	33
Tabla 4. Porcentaje de rendimiento extracción de aceite por cada tonelada de fruto de palma, en las distintas zonas del país.	34
Tabla 5. Rendimiento anual de recuperación de almendra por hectárea en producción de cada zona del país.	34
Tabla 6. Distribución de las plantas extractoras de aceite de Palmiste en Colombia.	35
Tabla 7. Lista de partes de una prensa 'Expeller'.	55
Tabla 8. Matriz de tiempos en arranque de la planta de aceite de palmiste.	85
Tabla 9. Variables de entrada y salida del proceso, y su identificación en la automatización.	86
Tabla 10. Egresos característicos de una planta de CPKO	94
Tabla 11. Costos promedio anuales de personal interno.	95
Tabla 12. Consolidado de costos por mantenibilidad de los activos de más representativos de la planta de CPKO	96
Tabla 13. Proyección de egresos en la primera década de funcionamiento	97
Tabla 14. Proyección de ingresos de una planta CPKO	97
Tabla 15. Proyección de ingresos en la primera década de funcionamiento	98
Tabla 16. Proyección de balance y TIR para una planta de CPKO	98

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Datos estadísticos de importancia del cultivo de palma de aceite.	105
Anexo 2. Prospección del área de cultivo requerida.	109
Anexo 3. Diagrama de flujo, obtención de almendra seca.	112
Anexo 4. Diagrama de flujo, extracción por doble prensado.	113
Anexo 5. Memoria del cálculo del transportador neumático de almendras.	114
Anexo 6. Conformación general. Transp. Neumático de Almendras.	133
Anexo 7. Ensamble General. Transp. Neumático de Almendras.	134
Anexo 8. Memoria de cálculo de transportadores tipo sinfín.	135
Anexo 9. Conformación general del transportador Sin Fin de Almendra.	165
Anexo 10. Ensamble general transportador Sin Fin de Almendra.	166
Anexo 11. Conformación general del transportador Sin Fin de crudo.	167
Anexo 12. Ensamble general transportador Sin Fin de crudo.	168
Anexo 13. Conformación general del transportador Sin Fin de torta.	169
Anexo 14. Ensamble general transportador Sin Fin de torta.	170
Anexo 15. Memoria del cálculo del elevador de torta prensada.	171
Anexo 16. Conformación general. Elevador de torta No 1.	185
Anexo 17. Ensamble general. Elevador de torta No 1.	186
Anexo 18. Memoria de cálculo del transportador de banda.	187
Anexo 19. Conformación general. Transportador de banda.	202
Anexo 20. Ensamble general. Transportador de banda.	203
Anexo 21. Memoria del cálculo de la plataforma de soporte.	204
Anexo 22. Conformación general. Plataforma de soporte.	219

Anexo 23. Ensamble general. Plataforma de soporte.	220
Anexo 24. Tanque Pulmón de Aceite Crudo.	221
Anexo 25. Conformación general. Tanque pulmón.	223
Anexo 26. Ensamble general. Tanque pulmón.	224
Anexo 27. Conformación general. Tolva de alimentación a prensa	225
Anexo 28. Ensamble general. Tolva de alimentación a prensa.	226
Anexo 29. Memoria del cálculo Prensas Expeller	227
Anexo 30. Ensamble general. Prensa Expeller.	230
Anexo 31. Memoria del cálculo. Bomba de aceite crudo.	231
Anexo 32. Bomba de aceite crudo.	237
Anexo 33. Memoria del cálculo Tamiz.	238
Anexo 34. Conformación general. Tamiz Circular.	241
Anexo 35. Ensamble general. Tamiz circular.	242
Anexo 36. Memoria de cálculo. Bomba de aceite tamizado.	243
Anexo 37. Bomba de aceite tamizado.	246
Anexo 38. Memoria del cálculo. Filtro Niagara.	247
Anexo 39. Conformación general. Filtro Niagara.	253
Anexo 40. Ensamble general. Filtro Niagara.	254
Anexo 41. Memoria de cálculo molino de martillos.	255
Anexo 42. Ensamble general. Molino de martillos.	257
Anexo 43. Memoria de cálculo báscula de paso.	258
Anexo 44. Conformación general. Báscula de paso.	262
Anexo 45. Ensamble general. Báscula de paso.	263
Anexo 46. Diagrama de programación de automatización.	264

Anexo 47. Plano general de distribución de equipos.	265
Anexo 48. Modelo 3D. Distribución general de equipos.	266
Anexo 49. Plano a nivel cero con información para obra civil.	267
Anexo 50. Cuadro eléctrico - Planta Extracción de Aceite de Palmiste.	268
Anexo 51. Presupuesto Preliminar - Planta Extracción de Aceite de Palmiste.	269
Anexo 52. Diagrama de Gantt para la ejecución del proyecto.	270
Anexo 53. Cotización por parte de Metalteco.	271
Anexo 54. Cotización por parte de Básculas Prometálicos.	272
Anexo 55. Cotización por parte de Bombas Hydral.	273
Anexo 56. Cotización por parte de PMT INDUSTRIES SDN BHD.	274

## GLOSARIO

**ABRASIVIDAD.** Cualidad de los materiales a ser rayado, se clasifica según su dureza, un material abrasivo tiene como función actuar sobre otros materiales con diferentes clases de esfuerzo mecánico (triturado, molienda, corte, pulido).

**AGL.** Ácidos grasos libres, son ácidos grasos que tienen un grupo ácido pero que no están unidos a un alcohol.

**CALDERA ACUOTUBULAR.** Se refiere al tipo de caldera en la cual el agua va por rendijas de tubos.

**PALMISTE.** Almendra de palma de la cual se logra obtener en una segunda aceite de palma.

**POM.** Palm oil mill. Se refiere a la planta primaria de extracción de aceite de palma.

**RFF.** Referente a racimos de fruto fresco, recién cortado, que llega a la planta de procesamiento de aceite.

**SEGREGACIÓN.** Hace referencia a ciertas clases de sustancias o materiales de apartarse, separarse de algo o una cosa de otra.

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE CON CAPACIDAD PARA PROCESAR 30 TON ALMENDRA/DÍA\*.

**AUTORES:** Juan Sebastián Reyes Aristizabal  
Iván Darío Mora Carrillo\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Aceite de Palmiste, extracción, prensado, filtrado, diseño, software.

### DESCRIPCIÓN:

Colombia es el tercer cultivador de Palma aceitera a nivel mundial después de Malasia e Indonesia, así mismo el país es pionero a nivel latinoamericano en el diseño y construcción de instalaciones industriales para el procesamiento del fruto de Palma; esto ha traído consigo un desarrollo económico importante y en la actualidad se estima que el área cultivada llega a las 600.000 Hectáreas.

Este trabajo de grado, se desarrolló en seis capítulos así distribuidos: en el primer capítulo, se describen los objetivos del trabajo definiendo su alcance y dividiéndolos en 4 fases de investigación. En el segundo capítulo, se hace un diagnóstico del sector industrial palmero su evolución a través del tiempo, la situación actual del gremio y su proyección a futuro. En el tercer capítulo, se analiza el aceite de Palmiste, su definición, alternativas de extracción con sus ventajas y desventajas. El cuarto capítulo entra en materia en cuanto al diseño y selección de los equipos que se requieren para el proceso. El quinto capítulo contiene el ensamble general de la planta extractora y el análisis básico de cargas eléctricas. Por último en el capítulo seis se realizó un pequeño estudio de factibilidad económica basado en un presupuesto preliminar que se obtuvo a partir de cotizaciones de diferentes fabricantes.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Leonidas Vasquez Chaparro.

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN OF A KERNEL CRUSHING PLANT, PROCESSING CAPACITY OF 30 KERNEL TON PER DAY\*

**AUTHORS:** Juan Sebastián Reyes Aristizabal  
Iván Darío Mora Carrillo\*\*

**KEYWORDS:** Kernel Oil, extraction, pressing, filtering, design, software.

### DESCRIPCIÓN:

Colombia is the third worldwide Palm grower behind Malaysia and Indonesia, by the way this country is a Latin-American pathfinder on Palm Oil Mills design and construction, these has brought an important economic development and by this time the total planted area is around 600.000 hectares.

The present degree thesis has been developed in six chapters, distributed as follows: in the first chapter, the objectives and its scope are defined, dividing the progress in four stages. In the second chapter there is a review of the Industrial Palm sector, it's evolution through the time, the actual situation and its future projections.

In the third chapter, appears the Palm Kernel Oil, definition, different ways to obtain it with the advantages and disadvantages of each alternative. In the fourth chapter, the design job begins with the selection and calculation of all the equipment required for the process. The fifth chapter contains the full assembly of the designed mill and the main electric load chart. For last in the chapter six a small financial viability is done based in a preliminary budged obtained based in quotations received from different manufacturers.

---

\* Degree thesis.

\*\* Physicomechanical Engineering, Mechanical Engineering School, Eng. Leonidas Vasquez Chaparro.

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander, tiene como misión brindar soluciones a los problemas que afronta la comunidad con el fin de mejorar su calidad de vida y generar progreso a partir de las diferentes líneas de investigación que ha establecido para tal fin; mediante los procesos investigativos llevados a cabo al interior de la universidad se logra la consecución de nuevas tecnologías que facilitan el desarrollo de los diferentes sectores industriales del país; este es el principal objetivo de este proyecto de grado titulado: **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE CON CAPACIDAD PARA PROCESAR 30 TON ALMENDRA/DÍA”**

Dentro del proceso industrial del fruto de palma de aceite se obtienen muchos subproductos, uno de ellos es el Palmiste o Almendra de Palma, de la almendra se extrae el aceite de Palmiste, el cual es de gran valor comercial dada su amplia utilización como materia prima en la fabricación de jabones, cosméticos y productos de limpieza; también es utilizado la industria oleo química en general y en la formulación de grasas especiales para la preparación de margarinas, confites, helados, cremas, entre otros.

Actualmente Colombia es el tercer productor a nivel mundial de aceite de Palma, esto hace que el diseño detallado de una planta de extracción de aceite de Palmiste se presente como una contribución al desarrollo del sector agroindustrial de nuestro país.

# 1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

- Contribuir al desarrollo del país mediante la adaptación y creación de tecnología, realizando el diseño de una planta de extracción de aceite de Palmiste, dando así continuidad a la misión institucional de la Universidad Industrial de Santander de participar activamente liderando procesos de cambio por el progreso y mejora en la calidad de vida de la comunidad.
- Establecer una interacción continua entre el gremio palmero y la Universidad industrial de Santander con el objetivo de permitir el desarrollo tecnológico local aplicado a la industria de los aceites vegetales.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una planta de extracción de aceite de Palmiste con capacidad para procesar 30 toneladas de Almendra por día, con base en los diferentes conceptos de la Ingeniería Mecánica, así como el uso de herramientas CAD/CAE como Solidworks, Solidedge, Ansys
- Desarrollar un proceso secuencial que permita realizar el diseño de una planta de extracción de aceite de Palmiste de una determinada capacidad y establecer un protocolo de diseño a fin de obtener un “*Know How*” que sirva como material base y de consulta para el gremio.

Para lo cual se procederá en 4 fases que están comprendidas por:

### **Primera Fase:**

- Estudio del área de cultivo requerida para suministrar suficiente almendra a la planta de extracción de aceite de Palmiste, con base en una prospección de producción de materia prima.
- Determinar las condiciones iniciales de la materia prima, requeridas para garantizar una buena producción de aceite minimizando las pérdidas.
- Realizar el diseño del proceso y establecer los equipos necesarios para la realización de dicho proceso.
- Realización de diagramas de flujo de los fluidos que integran el proceso, dentro de estos diagramas se incorporarán los accesorios de tubería requeridos para el proceso.

### **Segunda Fase:**

- Realizar la selección de los equipos requeridos para la extracción de aceite de Palmiste, con base en conceptos teóricos y experiencias de diferentes plantas del país.
  - Prensas de tipo “Expeller”.
  - Filtro presurizado de placas o “Niágara”.
  - Molino tipo *ripple* o tipo de martillos.
  - Tamiz vibratorio.
  - Basculas de paso del tipo celda de carga.

- Realizar el diseño de los transportadores requeridos para el proceso, dentro de los cuales se encuentran:
  - Transportadores del tipo Sin Fin.
  - Elevadores verticales de Cangilones.
  - Transportador neumático de almendras.
  - Transportadores de banda.

Dentro del diseño se prevé la realización de planos y modelos 3D basados en software CAD, además de la simulación de cargas utilizando herramientas CAE.

- Realizar el diseño estructural y arquitectónico de la estructura de soporte de los diferentes equipos y transportadores requeridos para el proceso, dentro del diseño se prevé la realización de planos y modelos 3D basados en software CAD, además de la simulación de cargas utilizando herramientas CAE.
- Diseño de automatización de la planta y estimación del personal requerido para la operación de la misma.

### **Tercera Fase:**

- Realización de planos generales de la distribución de equipos, vista en planta y elevación de la planta de extracción de aceite de Palmiste.
- Realización de planos a nivel cero con información de cargas que sirvan para el cálculo de la obra civil.
- Elaboración de cuadros eléctricos e información de cargas que sirvan para el diseño de los tableros de control, además se indicarán las secuencias de

enclavamiento requeridas y mecanismos de seguridad para garantizar la operación correcta de la planta.

**Cuarta Fase:**

- Con base en el diseño realizar un presupuesto para la construcción de la Planta y establecer el tiempo que tardaría en ejecutarse el proyecto así como un diagrama de tiempos y actividades en un diagrama de Gantt.
- Realizar un análisis económico y financiero, buscando establecer tasa interna de retorno de la inversión; teniendo en cuenta la proyección del valor del aceite crudo, los costos operativos, la inversión y depreciación.

## PRIMERA FASE.

### 2. DIAGNOSTICO DEL SECTOR INDUSTRIAL PALMERO.

#### 2.1 DIAGNOSTICO SECTORIAL

**2.1.1 Reseña histórica.** Las plantaciones de palma de aceite africana -*Elaeis guineensis*- han tomado en los últimos tiempos una gran importancia en el sector agroindustrial de nuestro país, y contribuye con un porcentaje significativo al total de exportaciones anuales a nivel mundial. Todo este desarrollo e iniciación de este cultivo en Colombia no difiere mucho de su descubrimiento y auge por occidente en la historia de la humanidad.

La *Elaeis guineensis* es una planta nativa del golfo de Guinea, que crece silvestre en los claros del bosque tropical húmedo de esta región africana, evidenciándose aún su cultivo en la franja costera entre Senegal y Angola, y en la cuenca del río Congo.

Desde tiempos inmemoriales los habitantes de esta región cosecharon sus frutos, extrajeron su aceite mediante métodos rudimentarios y lo utilizaron para preparar sus alimentos y producir jabón entre otros. Una prueba de ello se descubrió en hallazgos arqueológicos donde parece indicar el uso de aceite de palma en el Egipto de los faraones, encontrando restos de dicho producto en monumentos fúnebres que datan de los siglos XIII y XII antes de Cristo.

La palma de aceite africana no pasó desapercibida en el proceso de colonización y descubrimiento realizado por viajantes europeos (Portugueses, Holandeses, Ingleses) a territorios Africanos, donde llamo la atención por su sabor parecido al aceite de oliva y su color o tinte que no pasaba desapercibido en las comidas, todo

esto terminaría ayudando al conocimiento y siembra de esta planta en el resto del mundo.

El navegante lusitano Diego Gomes, en sus crónicas de viaje (1456-1457) hizo referencia a la abundancia de palmas que halló en los litorales africanos, particularmente, en los de Guinea. Por la misma época el navegante Ca'da da Mosto, también portugués, describió la especie y al probar el aceite de sus frutos, afirmó que tenía un perfume parecido al de las violetas. En fechas posteriores otros viajeros –lusitanos, ingleses, holandeses- se refirieron a la palma de aceite africana de manera reiterada, así como a los usos que le daban los nativos del occidente africano.

La especie paso al continente americano en el siglo XVI y si bien es probable que haya sido introducida en Asia en la misma época por expedicionarios portugueses, solo se tienen noticias sobre su cultivo hasta el siglo XX.

**2.1.1.1 Introducción en América.** La llegada de la palma de aceite africana a América surgió de la comercialización de esclavos africanos que establecieron los europeos en el siglo XVI después del descubrimiento de este continente. Como el aceite de su fruto era ingrediente indispensable de la cocina indígena en África occidental, es probable que los esclavos traídos a América a lo largo de tres centurias, en su mayoría oriundos de esa región, hubiera introducido consigo semillas de palma. De hecho, se sabe que el aceite era utilizado por los negreros portugueses, mezclado con harinas de diversas raíces, para alimentar a los esclavos durante la travesía hasta puertos americanos.

Se presume entonces que los esclavos traídos a América habrían traído consigo semillas de palma y muchos autores coinciden en que Brasil fue el punto donde primero se introdujo la especie en América. Sin embargo a pesar de la temprana

introducción de la palma de aceite en este continente, su explotación con fines comerciales solo comenzó alrededor de 1944.

**2.1.1.2 La Palma de Aceite en Colombia.** Según los registros el primer intento de introducir la palma africana en Colombia se realizó por parte del botánico Armando Dugand hacia los años 1926 y 1927. Sin embargo fue solamente hasta 1932 que Florentino Claes, director del jardín botánico de Bruselas, Bélgica, importó varias latas de semilla destinadas al departamento de agricultura; aparentemente por razones políticas, el gobierno decidió impulsar el cultivo de higuera en lugar de la siembra de palma y de esta forma, dichas semillas terminaron en manos de terceras personas.

La *United Fruit Company*, multinacional norteamericana fundada a fin del siglo pasado con el objeto de producir y comercializar banano, compró tierras y construyó el ferrocarril entre Santa Marta y Fundación gracias a los estímulos a la inversión extranjera dados por el gobierno del general Rafael Reyes (1904-1909).

Poco antes de la segunda guerra mundial se presentó en Centroamérica y Colombia la sigatoka, enfermedad que mina la producción del banano. Esto marco el inicio de un periodo de dificultades para la *United Fruit Company*, crisis que se vio agravada con el estallido de la guerra, terminando por retirar sus operaciones en Colombia.

Al finalizar la guerra la compañía volvió al departamento del Magdalena, para readecuar sus instalaciones y cultivos. Pero a su vez comenzó otra operación: en 1945 introdujo semillas de palma africana de Honduras del tipo *deli* de Sumatra, y con este material inició una plantación de cien hectáreas que después extendió a 172, en la hacienda Patuca, cerca del caserío de Tucurínca, en jurisdicción de Sevilla, Magdalena. Patuca fue entonces la primera plantación de palma africana establecida en Colombia con propósitos comerciales. Además se dio inicio a la

primera extractora de aceite en el país hacia 1950, en el que el aceite salía hacia tanques de hojalata para ser embarcado en el ferrocarril.

**Tabla 1. Producción de Palma de aceite en Colombia en los años 1954 a 1960.**

<b>Años</b>	<b>Producción (ton.)</b>	<b>Aceite producido (ton.)</b>	<b>Aceite producido %</b>
1954	1300	182	14
1955	2000	280	14
1956	2600	336	14
1957	2700	378	14
1958	2750	385	14
1959	2700	378	14
1960	2500	350	14

Fuente: Autores del proyecto

Hacia 1957, cuando el gobierno Colombiano tomo la decisión de fomentar el cultivo de la palma africana, en el país había unas 35 mil palmas distribuidas en diferentes zonas del país, en su gran mayoría solo cumpliendo funciones ornamentales. Fue así como en 1958 fue contratado por la FAO el experto Maurice Ferrand para evaluar las posibilidades de las oleaginosas en Ecuador y Colombia, este hito marco el inicio con fines comerciales de la Palma Africana en Colombia.

**2.1.1.3 Primeras plantas extractoras.** En la década de los 50's un pequeño grupo de fabricantes holandeses y belgas comenzaron a vender equipos para la extracción del aceite de palma, pero un ingeniero alemán en particular, el señor Gerhard Mueller, fue quien empezó a construir en Colombia estas fábricas y abrió el camino de esta actividad industrial en el país.

Hasta la segunda mitad de los sesentas existían en Colombia la planta de Patuca, cerca de Santa Marta, con equipos importados, así como las de Palmeras de Occidente, en Buenaventura, y La María, en Cauca, estas últimas con equipos

fabricados en el país copiando y adaptando los de Patuca. La mayoría de las que les siguieron fueron plantas artesanales a las que se les denominó “cocinas”, “quiebrahuesos” etc. a las más sofisticadas las denominaron “plantas piloto” y en ellas predominaban los equipos marca Stork.

Las primeras plantas que fueron construidas en Colombia, fueron del tipo cocina y su capacidad fue de 500 kilogramos por hora, y estuvieron ubicadas en Tumaco, en los llanos y Montería. Luego en una segunda generación de plantas extractoras de aceite se construyeron con una capacidad para procesar de una tonelada, con prensas hidráulicas más grandes, de estas tuvieron las plantaciones en los llanos y en Tumaco.<sup>1</sup>

**2.1.2 Evaluación actual del cultivo en el país.** En Colombia a 2008 se encontraban sembradas cerca de 340.000 hectáreas de palma de aceite, donde el 65,6% del área cultivada estaba en producción, y el 34,3% restante en desarrollo. La zona oriental tenía la mayor participación en el área total sembrada con el 36%, seguida por la norte con 32%, la central con 26%, y la occidental con el 6% restante.

---

<sup>1</sup> Ospina Bozzi, Martha Luz. La palma africana en Colombia. Apuntes y memorias. Vol. 1 FEDEPALMA. 1998. 231 p. ISBN 958-96494-1-6

### Ilustración 1. Zonificación área sembrada de palma de aceite en Colombia.



Fuente: Cortesía de FEDEPALMA

En cuanto áreas productivas, la zona norte tiene alrededor de 76 mil hectáreas (71.6% del total de área sembrada en esta región), la Oriental cuenta con 73.558 hectáreas (60.7% del total de área cultivada en esta región), la zona Occidental tiene sembradas 17.794 hectáreas (82.14% del total de área sembrada en esta región), y la región Central posee un área cultivada de 53.561 hectáreas en producción (61.2% del total de área sembrada en esta región).

En el anexo 1 se describe detalladamente la evolución en los últimos años del cultivo de palma, de áreas de siembra, y áreas en producción.

**2.1.2.1 Rendimiento del cultivo.** En cuanto al rendimiento del cultivo de palma de aceite por hectárea en Colombia, según estadísticas internas de FEDEPALMA, se observa una desviación de la producción en 3 de las 4 zonas del país, llevando a ello a catalogar a la zona del magdalena medio (zona central) como una de las más estables y de mayor producción y crecimiento del cultivo.

**Tabla 2. Rendimiento anual de producción de fruto (RFF) en Ton/hectárea en producción para las diferentes zonas de influencia del cultivo en el país.**

ZONA	2004	2005	2006	2007	2008	VARIACION 2007-2008
<b>ORIENTE</b>	19.56	18.44	19.29	16.33	14.76	-9.6%
<b>NORTE</b>	21.44	20.73	18.48	17.05	15.15	-11.1%
<b>CENTRAL</b>	20.42	20.85	21.71	22.4	23.48	4.8%
<b>OCCIDENTAL</b>	19.47	19.07	17.36	15.45	12.98	-16%
<b>TOTAL</b>	20.28	19.79	19.41	17.94	16.86	-6%

Fuente: Autores del proyecto

En cuanto a la producción de aceite de palma en las plantas de beneficio primario se ha notado la tendencia de aumento en el rendimiento de extracción del producto, que como opinión aparte a este diseño, esto a compensando las caídas en producción de los últimos años por factores fitosanitarios y climáticos.

**Tabla 3. Rendimiento anual de producción de aceite de palma por hectárea en producción de cada zona del país.**

ZONA	2004	2005	2006	2007	2008
<b>ORIENTE</b>	3.95	3.91	3.99	3.39	3.08
<b>NORTE</b>	4.39	4.26	3.87	3.51	3.20
<b>CENTRAL</b>	4.15	4.29	4.45	4.57	4.98
<b>OCCIDENTAL</b>	3.93	3.92	3.59	3.02	2.24
<b>TOTAL</b>	4.11	4.11	4.02	3.67	3.51

Fuente: Autores del proyecto

La recuperación de la tasa extracción promedio de aceite, entre 2007 y 2008 en Colombia se ubica en 20.43%. Significando esto que de una tonelada de RFF (racimo de fruto fresco) el 20% en peso se obtiene en aceite de palma. El histórico de tasa de recuperación de extracción de aceite en los últimos años se puede ver en la siguiente tabla.

**Tabla 4. Porcentaje de rendimiento extracción de aceite por cada tonelada de fruto de palma, en las distintas zonas del país.**

<b>ZONA</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>ORIENTAL</b>	20,19%	21,20%	20,68%	20,76%	20,87%
<b>NORTE</b>	20,48%	20,55%	20,94%	20,59%	21,12%
<b>CENTRAL</b>	20,32%	20,58%	20,50%	20,40%	21,21%
<b>OCCIDENTAL</b>	20,18%	20,56%	20,68%	19,55%	17,26%

Fuente: Autores del proyecto

En tanto la recuperación de la almendra en la extracción de la planta de beneficio primario se ubica en promedio en 4,65% en relación al peso (toneladas) de RFF que ingresan a la planta.

**Tabla 5. Rendimiento anual de recuperación de almendra por hectárea en producción de cada zona del país.**

<b>ZONA</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>ORIENTAL</b>	0,88	0,92	0,93	0,78	0,72
<b>NORTE</b>	1,03	1,05	0,9	0,82	0,72
<b>CENTRAL</b>	1,04	1	0,97	1,09	1,14
<b>OCCIDENTAL</b>	0,8	0,83	0,74	0,63	0,51

Fuente: Autores del proyecto

Con estos datos tomados del anuario económico del 2008 de FEDEPALMA podemos abordar indirectamente los requerimientos de tierras sembradas en palma de aceite en producción por cada zona del país, para el mayor

aprovechamiento de la capacidad de diseño de nuestra planta extractora de aceite de Palmiste, cuyos cálculos se muestran en el anexo 2.<sup>2</sup>

**2.1.3 Número de plantas extractoras y su clasificación.** Según estadísticas de FEDEPALMA al año 2008 en Colombia existían 22 plantas dedicadas a la extracción de aceite de palmiste, que abarcan el 100% de la almendra producida de la extracción primaria de este fruto.

Estas plantas están ubicadas regionalmente como lo muestra la siguiente tabla.

**Tabla 6. Distribución de las plantas extractoras de aceite de Palmiste en Colombia.**

ZONA	DEPARTAMENTO	Nº PLANTAS	% Ref. Nal.
ORIENTAL	CASANARE	1	29.6%
	META	6	
NORTE	CESAR	2	30.9%
	MAGDALENA	7	
CENTRAL	CESAR	4	34.4%
	SANTANDER	1	
OCCIDENTE	NARIÑO	1	5.1%

Fuente: Autores del proyecto

Con estos datos y el análisis de los anexos 1 y 2, donde se destaca la tendencia de crecimiento del cultivo en cada región, y por supuesto del aumento de producción, se puede estudiar la localización adecuada de una planta procesadora de almendra de palma.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Junta directiva 2008-2009. Anuario FEDEPALMA 2008. FEDEPALMA. Colombia. 2008. Cap. 2 secc. 2.2. ISBN 978-958-98341-6-9

<sup>3</sup> Junta directiva 2008-2009. Anuario FEDEPALMA 2008. FEDEPALMA. Colombia. 2008. Cap. 2 secc. 2.2 Tabla 13. ISBN 978-958-98341-6-9

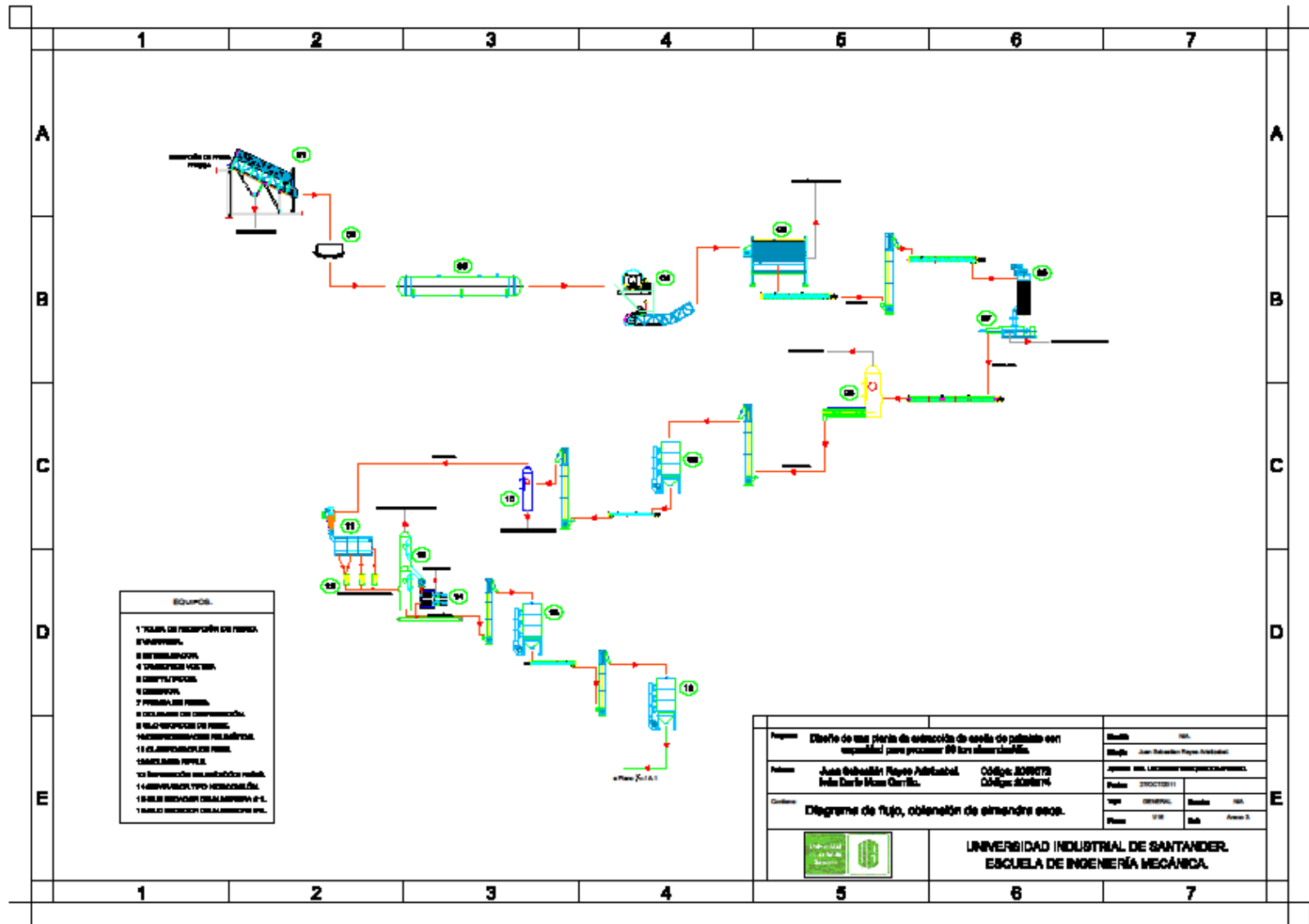
## 2.2 PROCESO PRODUCTIVO

El tratamiento industrial del fruto de la palma de aceite está conformado por diferentes procesos principales y auxiliares, dentro de todos los procesos que integran una planta de beneficio primario existen procesos imprescindibles y otros que son de beneficio secundario, algunas plantas extractoras pueden tener o no ciertos procesos, también se pueden presentar variaciones en cuanto a la ejecución de los mismos entre una planta y otra. Con el fin de involucrar al lector dentro del proceso productivo primario y la obtención de la almendra de palma, se presenta un diagrama de flujo típico del proceso:

### Ilustración 2. Racimo de fruto fresco de palma aceitera.



Fuente: <http://www.itbhdg.com/english/crude-palm-oil.html>



- Equipos.**
- 1 TOLVA DE RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMERA.
  - 2 TRANSPORTADOR.
  - 3 TRANSPORTADOR VERTICAL.
  - 4 TRANSPORTADOR.
  - 5 TRANSPORTADOR.
  - 6 TRANSPORTADOR.
  - 7 PIRAMIDE PERFORADA.
  - 8 COLUMNA DE COMERCIALIZACIÓN.
  - 9 BANDA TRANSPORTADORA DE FIBRA.
  - 10 TRANSPORTADOR VERTICAL PERFORADO.
  - 11 COLUMNA PERFORADA.
  - 12 TRANSPORTADOR VERTICAL PERFORADO.
  - 13 TRANSPORTADOR VERTICAL PERFORADO.
  - 14 TRANSPORTADOR VERTICAL PERFORADO.
  - 15 BOLSAS DE MATERIA PRIMERA.
  - 16 TOLVA DE RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMERA.

<b>Proyecto:</b> Diseño de una planta de extracción de aceite de palmito en capacidad para procesar 50 toneladas/día.		<b>Escuela:</b> 100.	
<b>Autores:</b> Juan Sebastián Rojas Adriañola. Código: 200678. Iván Darío Maza Carrillo. Código: 200674.		<b>Asesor:</b> DR. LICENCIADO EN INGENIERÍA MECÁNICA.	
<b>Contenido:</b> Diagrama de flujo, obtención de muestra seca.		<b>Fecha:</b> 2006/08/11	<b>Hoja:</b> 100.
		<b>Plantel:</b> UIS.	<b>Año:</b> 2006.
<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.</b> <b>ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.</b>			

**2.2.1 Obtención de la almendra de Palma.** Una vez los racimos de palma han sido cosechados, el primer proceso industrial que se lleva a cabo es la esterilización, la esterilización consiste en someter el fruto a la acción del vapor dentro de un recipiente cerrado (Esterilizador, Anexo 3, Pos. 03) para cumplir con los siguientes objetivos básicos:

- Detener la acidificación.
- Facilitar el desprendimiento de los frutos del raquis.
- Ablandar los tejidos de la pulpa.
- Calentar y deshidratar parcialmente las almendras.
- Coagular las proteínas.
- Hidrólisis y descomposición del material mucilaginoso.

**Ilustración 3. Vista frontal de un esterilizador**



Fuente: Cortesía de Extractora del sur de Casanare. S.A.

Existen varias maneras de llevar a cabo la esterilización, la más común es ubicación de los racimos frescos en vagones de acero (Anexo 3, Pos. 02), los cuales se conducen por medio de un sistema de rieles hacia los esterilizadores.

**Ilustración 4. Cargue de vagones desde tolvas de recepción.**



Fuente: Cortesía de Unipalma. S.A.

**Ilustración 5. Sistema de rieles para circulación de vagones.**



Fuente: Cortesía de Palmaceite S.A.

Después de la esterilización los vagones se conducen hacia un tambor de volteo (Anexo 3, Pos. 04), en el cual los vagones son volteados con el fin de descargar la fruta esterilizada hacia una tolva que se encuentra en la parte baja, esta tolva alimenta los racimos calientes a un transportador de cadena que a su vez alimentará el tambor desfrutador.

**Ilustración 6. Tambor de volteo para vagones.**



Fuente: Cortesía de Palmaceite S.A.

**Ilustración 7. Tolva bajo tambor de volteo**



Fuente: Cortesía de Palmaceite S.A.

### **Ilustración 8. Transportador de cadena hacia desfrutado**



Fuente: Cortesía de Palmaceite S.A.

El segundo proceso es el desfrutado, mediante el cual se busca la separación de los racimos esterilizados en frutos sueltos y raquis (racimos vacíos), el equipo está constituido básicamente por un tambor en forma de jaula que gira sobre un eje central, el diámetro puede variar de 1,6 a 2,1 m y la longitud de 4,5 a 6,1m. (Anexo 3, Pos. 05)

### **Ilustración 9. Vista frontal de un desfrutador**



Fuente: Sinopsis del proceso de la palma de aceite, Fedepalma 2005.

**Ilustración 10. Racimo de fruto vacío, posterior al desfrutado.**



Fuente: <http://green-stock-media.photoshelter.com/image/I00007tUufDeRKGE>

**Ilustración 11. Frutos sueltos de palma, posterior al desfrutado.**



Fuente: [http://www.wwf.org.au/our\\_work/people\\_and\\_the\\_environment/human\\_footprint/what\\_wwf\\_is\\_doing/](http://www.wwf.org.au/our_work/people_and_the_environment/human_footprint/what_wwf_is_doing/)

Después de la separación de los frutos y el raquis, los frutos sueltos continúan hacia la digestión mediante la cual los frutos son recalentados en recipientes cilíndricos verticales, provistos de un eje central con brazos de agitación y maceración (Anexo 3, Pos. 06); gracias a este proceso la pulpa es desprendida de las nueces y macerada para lograr una buena extracción por medio del prensado.

### **Ilustración 12. Vista interna y externa de un digestor**



Fuente: Cortesía de Palmaceite S.A.

En el prensado (Anexo 3, Pos. 07) se busca extraer la fracción líquida de la masa de frutos que sale del digestor, esta fracción líquida está compuesta por aceite de pulpa de palma, agua, lodos livianos y lodos pesados. La fracción líquida sigue hacia el proceso de clarificación, mientras que la combinación de fibra y nueces que resultan del prensado (torta) sale por un extremo de la prensa y luego llega al proceso de desfibración.

### **Ilustración 13. Vista frontal de una prensa de fruto P-9.**



Fuente: Sinopsis del proceso de la palma de aceite, Fedepalma 2005.

#### **Ilustración 14. Torta de prensado (fibras y nueces) a la salida de una prensa**

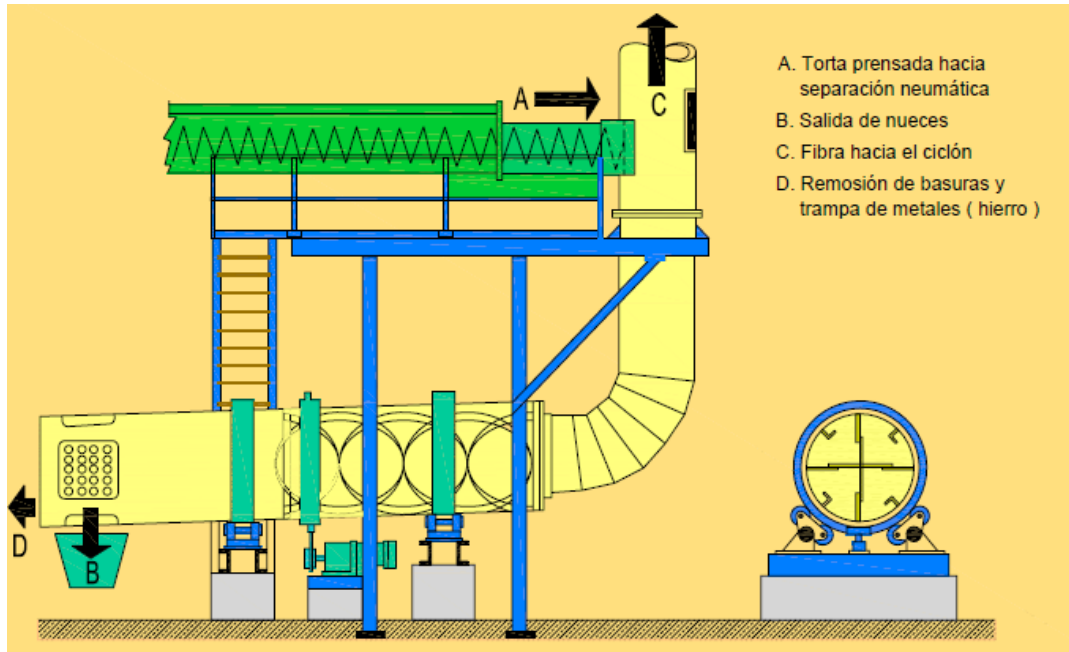


Fuente: Cortesía de Palmar del Llano S.A.

La Palmistería o recuperación de almendras es una de las sub-secciones de una planta de beneficio primario, que arroja como producto final la almendra de palma, en la desfibración la torta descargada por las prensas es transportada hacia una columna de separación neumática (columna de desfibración, Anexo 3, Pos. 08), en la cual las fibras se separan de las nueces y son conducidas hacia la(s) caldera(s); las nueces por tener una gravedad específica mayor que la de la fibra se descargan por la parte baja de la columna hacia un tambor ‘pulidor’, en el cual se les desprenden las fibras que aún les quedan adheridas y que se separan con la misma corriente de aire de la columna neumática.

Las nueces separadas y pulidas se llevan a un silo secador (Anexo 3, Pos. 09) de donde se alimentan hacia los demás equipos, este proceso de secado se hace necesario con el fin de hacer más quebradizas las cáscaras y facilitar la trituración en los molinos.

**Ilustración 15. Esquema del proceso de desfibración.**



Fuente: Sinopsis del proceso de la palma de aceite, Fedepalma 2005.

**Ilustración 16. Vista frontal de un silo secador de nueces.**



Fuente: Cortesía de Extractora del sur de Casanare. S.A.

Una vez secas, las nueces se transportan neumáticamente hacia un tambor clasificador por tamaños, el transportador neumático (Anexo 3, Pos. 10) realiza al mismo tiempo una separación de piedras y elementos pesados por el fondo de la columna principal.

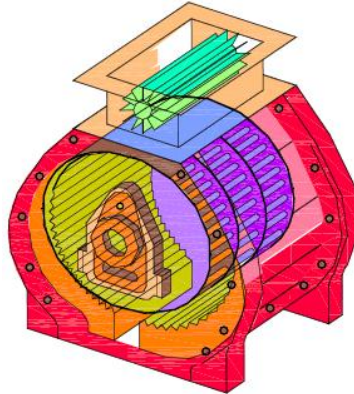
### **Ilustración 17. Columna principal de separación de piedra**



Fuente: Cortesía de Palmeras de los Andes Quinindé – Ecuador.

El tambor clasificador (Anexo 3, Pos. 11) es un cilindro giratorio provisto de láminas con perforaciones de tamaño adecuado para separar “colar” las nueces en tres fracciones (pequeñas, medianas y grandes), cada lote de nueces así clasificadas, se tritura en los molinos giratorios de mordazas llamados ripple mil (Anexo 3, Pos. 12), ajustando cada molino de acuerdo con el tamaño de nueces procesadas. En esta etapa lo que se busca es romper la totalidad de las nueces sin causar la rotura de las almendras contenidas en ellas.

### **Ilustración 18. Modelo de un molino tipo “ripple”**



Fuente: Sinopsis del proceso de la palma de aceite, Fedepalma 2005.

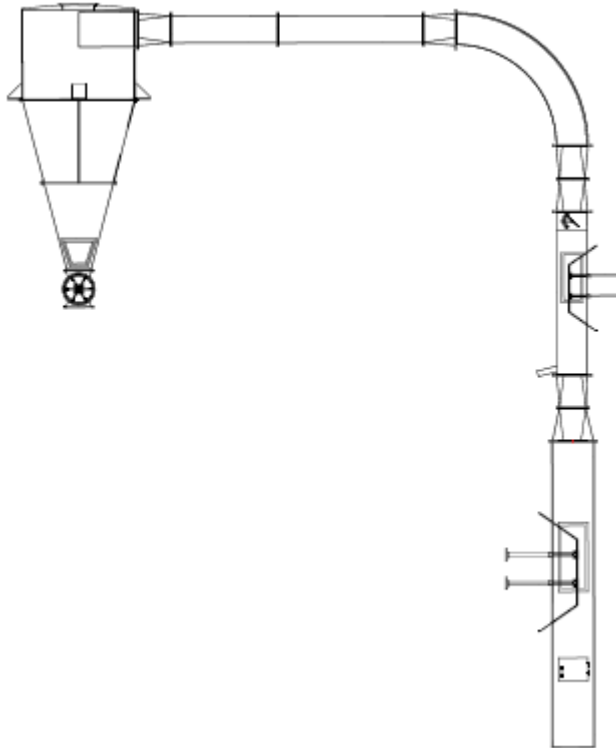
La mezcla de almendras, cáscaras y polvo proveniente de cada uno de los molinos se lleva hacia una columna doble de separación neumática (Anexo 3, Pos. 13), en cada columna se obtienen dos fases de materiales diferentes, en la primera etapa (columna inferior), las almendras y nueces no rotas ofrecen poca resistencia al aire debido a su forma esférica, por lo tanto estas se precipitan por la parte inferior; por otro lado, las demás partículas son transportadas por la corriente de aire hacia la segunda etapa (columna superior).

En la segunda etapa, las partículas finas de cascavas, fibras y algo de almendras rotas son transportadas por la corriente de aire y salen por la parte superior a través del ciclón, mientras tanto, un tercer lote llamado interfase se descarga por medio de una esclusa ubicada entre las columnas de primera y segunda etapa; la llamada interfase está constituida por almendras pequeñas, nueces pequeñas no rotas y pedazos de cáscaras de mayor tamaño.

La finalidad de tener dos etapas de separación neumática es reducir la pérdida de almendras por la parte alta y al mismo tiempo disminuir las impurezas en las almendras separadas en la primera etapa; es decir, en la columna inferior se ajusta el baffle de regulación hasta obtener una velocidad de flujo que permita tener el menor grado de impurezas en la parte baja, mientras que la columna

superior se ajusta con el fin de disminuir la cantidad de almendras o pedazos de almendras en la descarga del ciclón.

**Ilustración 19. Esquema de una columna doble de separación neumática**



Fuente: Sinopsis del proceso de la palma de aceite, Fedepalma 2005.

El material de la interfase de la columna de separación neumática se envía al sistema de separación con agua llamado de 'hidrociclones', dentro de los que se realiza una centrifugación en medio acuoso de manera que las almendras o fase liviana salen por la parte superior y las cáscaras o fase pesada salen por la parte inferior.

### **Ilustración 20. Modelo de un molino tipo “ripple”**



Fuente: <http://www.mergejati.com.my/wp-content/uploads/prod11.jpg>.

Una vez se tienen recuperan las almendras estas siguen hacia un silo secador en donde deben tener una permanencia suficiente para reducir la humedad hasta un 6-7%, las almendras secas constituyen la materia prima de una planta de extracción de aceite de Palmiste, estas se descargan en forma continua por la parte inferior del silo y son transportadas hacia el silo de almacenamiento.

### **Ilustración 21. Silos secadores de Almendras**



Fuente: Cortesía de AEXAV - Ecuador.

### **3. EL ACEITE DE PALMISTE**

#### **3.1 DEFINICIÓN DEL ACEITE DE PALMISTE.**

El aceite de Palmiste proviene del aprovechamiento del residuo del primer proceso de prensado del fruto entero de la palma de aceite, del cual se “desecha” la almendra de este fruto.

A temperatura ambiente, el aceite de Palmiste crudo (o grasa, dependiendo de la temperatura) es sólido, de color amarillento-marrón y tiene un olor y gusto característicos. Una vez se ha refinado, se convierte en un aceite de semilla blanco-amarillento con un sabor típicamente neutro y agradable. El aceite es elevadamente saturado, con énfasis en el ácido láurico (80%), lo que lo hace fundamentalmente diferente del aceite de palma.

El aceite de Palmiste se utiliza en la producción de margarina y de jabones de procesos en frío, y también en la industria cosmética. En la industria del aluminio, el aceite de Palmiste se utiliza como grasa en los procesos embutición profunda para cubiertas de protección de aluminio. En el sector alimentario, el aceite de Palmiste se utiliza para cocinar y para cocinar al horno.

#### **3.2 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN**

El Palmiste o almendra constituye aproximadamente entre el 4 y 6% del peso del racimo de fruta fresca, por esta razón la almendra representa un sub producto importante en el proceso de extracción de aceite del fruto de la palma.

El Palmiste tiene un contenido aproximado de aceite de entre el 47 y 50% con respecto a su peso, una vez procesado el aceite de almendra de palma o *CPKO* (Crude Palm Kernel Oil) tiene características diferentes de las del aceite rojo de palma y se asemeja más al aceite de coco.

La extracción de aceite de Palmiste se puede efectuar de tres maneras diferentes:

1. La extracción directa del Palmiste, en una planta de extracción por solventes que debería ser considerada para cantidades superiores a 300 toneladas métricas (TM) diarias de Palmiste.
2. El prensado mecánico del Palmiste, en prensas monotornillo de alta presión, tipo 'expeller', que se utilizan para capacidades de 10 a 300 toneladas métricas (TM) diarias de almendra.
3. Una combinación de los dos métodos anteriores, donde el Palmiste es pre-prensado para extraer el 75% del aceite con una relativa baja presión de prensado.

**3.2.1 Extracción directa por solventes.** La extracción por solventes es un proceso para extraer el aceite de semillas oleaginosas, por el método de tratamiento con un solvente de bajo punto ebullición, con este método casi todo el aceite es recuperado, dejando solamente de 0.5 a 0.7% de aceite residual en la torta.

En la extracción por solventes, las almendras llegan a la planta y como primer paso se trituran en un molino que usualmente es del tipo de martillos, una vez trituradas, las almendras pasan por unos rodillos laminadores con el fin de maximizar el área de contacto entre el sólido y el solvente.

Después del proceso de laminado las hojuelas de palmiste entran a un “cooker” en donde se les hace un acondicionamiento térmico utilizando vapor proveniente de la caldera, de allí pasan al extractor en el cual las hojuelas entran en contacto directo con el solvente y son deshidratadas hasta que el solvente puro se convierte en una mezcla de aceite y solvente más conocida como micela; en la práctica en Colombia actualmente se usa el Hexano como solvente primario para el proceso de extracción.

Una vez se obtiene la micela de palmiste, esta se somete a un proceso de destilación a fin de recuperar el hexano mezclado en el aceite extraído; lo mismo se hace con la torta residual, la cual pasa a un desolventizador que básicamente es un recinto cerrado en donde se eleva la temperatura de la torta a fin de que el hexano se evapore y pueda ser conducido hacia los condensadores por la parte superior del equipo.

Después de los procesos de recuperación, el solvente es reutilizado en el proceso de extracción, sin embargo siempre existirá una pérdida de solvente debida principalmente a las perdidas por evaporación e impregnación en la torta.

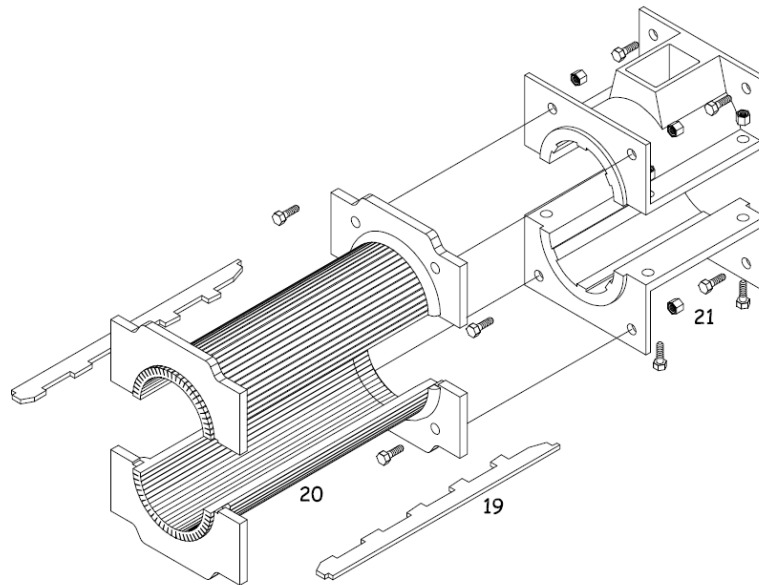
La principal ventaja de este proceso en comparación con el prensado mecánico es que con la utilización de solventes la extracción de aceite es mayor, pues el residual de aceite contenido en la torta es menor al 1% en peso, mientras que por medio del prensado mecánico de dos etapas el residual no llega a ser menor del 5%, a fin de cuantificar esta ventaja se realizó el siguiente análisis:

**3.2.2 Extracción por prensado mecánico.** La extracción de aceite de Palmiste por prensado mecánico es la manera más popular como actualmente se obtiene el aceite de almendra en Colombia y otros países de la América Tropical.

En el proceso de prensado de la almendra de palma, esta es acondicionada previamente en cuanto a su humedad e impurezas, posteriormente la almendra se alimenta a las prensas monotornillo del tipo *Expeller*, esta alimentación se realiza por medio de pequeñas tolvas que garantizan una distribución permanente y homogénea.

Después de la alimentación la almendra es prensada dentro de una canasta fabricada a partir de barras de acero calibradas y endurecidas, dichas barras se ubican longitudinalmente con respecto al eje de la prensa y se encuentran espaciadas unas de otras convenientemente para permitir el paso del aceite y del mínimo de sólidos posible;

### **Ilustración 22. Cámara de alimentación y canasta de una prensa Expeller**

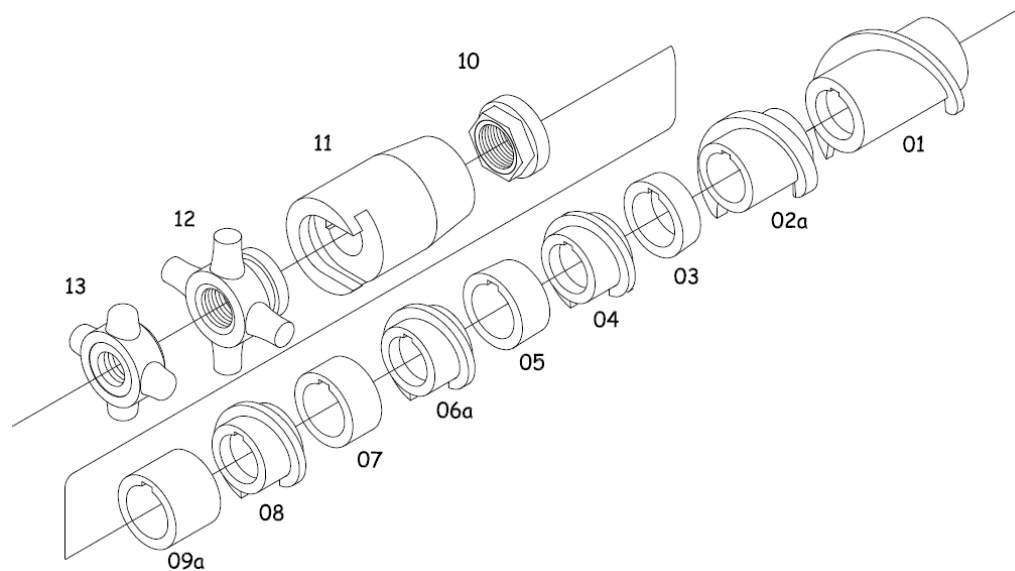


Fuente: Cortesía de PMT - DONG YUAN , Malaysia.

Luego por acción de un tornillo sinfín de diámetro creciente y paso regresivo, la almendra se comprime contra la canasta y contra una pieza cónica colocada en el extremo de la canasta, este cono de presión es ajustado manualmente por medio de una tuerca de apriete y la variación en la presión de ajuste influye directamente

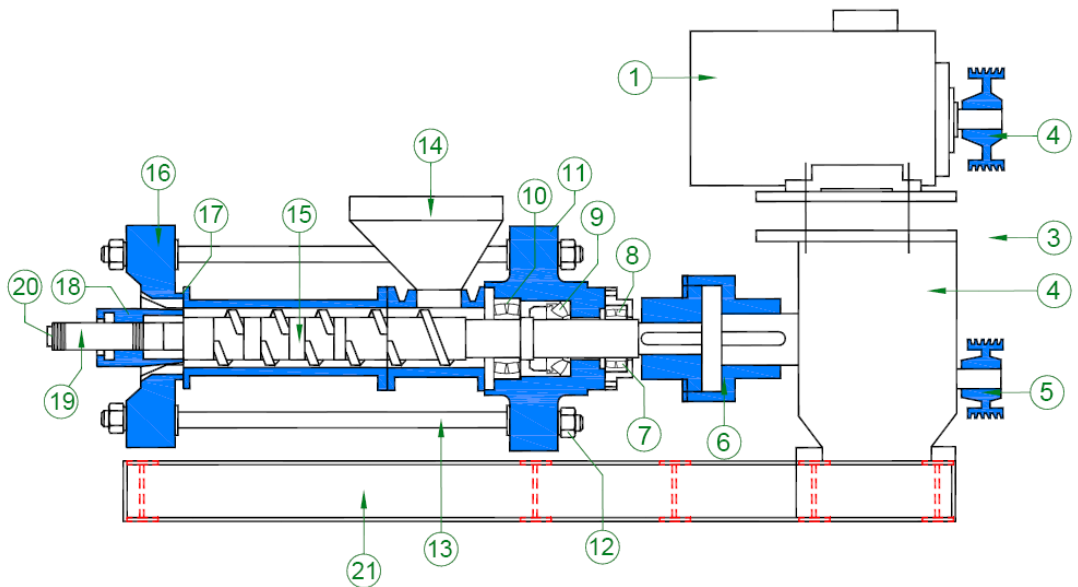
sobre el contenido residual de aceite en la torta, temperatura, desgaste mecánico y calidad del aceite.

**Ilustración 23. Caracoles de prensado de una prensa Expeller.**



Fuente: Cortesía de PMT - DONG YUAN , Malaysia.

**Ilustración 24. Esquema de una prensa Expeller.**



Fuente: Sinopsis del proceso de la palma de aceite, Fedepalma 2005.

**Tabla 7. Lista de partes de una prensa ‘Expeller’.**

No	DESCRIPCIÓN	No	DESCRIPCIÓN	No	DESCRIPCIÓN
1	Motor	8	Rodamiento	15	Hélice extrusora.
2	Reductor	9	Rodamiento axial	16	Cuerpo de soporte de cono.
3	Correas	10	Rodamiento	17	Cono estacionario.
4	Polea conductora	11	Cuerpo de soporte de rodamientos.	18	Cono de graduación.
5	Polea conducida	12	Tuerca de fijación.	19	Tuerca de fijación del cono.
6	Acople	13	Tornillo de cierre.	20	Eje de la prensa.
7	Retenedor	14	Tolva de cargue.	21	Estructura.

Fuente: Autores del proyecto

Una vez prensadas las almendras, el licor obtenido en las prensas el aceite extraído en las prensas se recolecta en un tanque de aceite turbio (aceite con alto contenido de sólidos), el cual está provisto de un agitador para mantener homogénea la mezcla de aceite y sólidos;

#### **Ilustración 25. Licor de prensas expeller**



Fuente: Cortesía de Palmeras de los Andes Quinindé – Ecuador.

Desde este tanque se bombea el licor hacia un tamiz circular vibratorio fabricado en acero inoxidable, el cual está provisto de una malla de retención en acero inoxidable usualmente con tejido Mesh 30 o 40.

### Ilustración 26. Sección de filtrado



Fuente: Cortesía de Unipalma S.A.

Una vez tamizado el aceite extraído en las prensas, es necesario realizar un proceso de filtrado a fin de remover los sólidos que lograron superar la malla del tamiz, actualmente ese proceso es llevado a cabo con filtros de hojas múltiples, también conocidos como filtros Niágara, estos son mucho más compactos y eficientes que los antiguos filtros prensa.

### Ilustración 27. Filtro de hojas, tipo Niágara, para aceite tamizado



Fuente: Cortesía de PMT – Industries Sdn Bhd.

Una vez filtrado, el aceite está listo para ser enviado a los tanques de almacenamiento y ser comercializado como aceite crudo de Palmiste (CPKO – Crude Palm Kernel Oil.)

Después de la extracción en las prensas, el licor se descarga por un lado mientras que el material prensado se descarga por otro en forma de trozos grandes de torta dura y compacta. Con el fin de hacerlo apto para ser utilizado; es necesario reducir su tamaño convirtiéndolo en una harina de Palmiste. Una vez triturada la torta se procede a ensacarla para su posterior comercialización.

**Ilustración 28. Aspecto general de la torta de palmiste.**



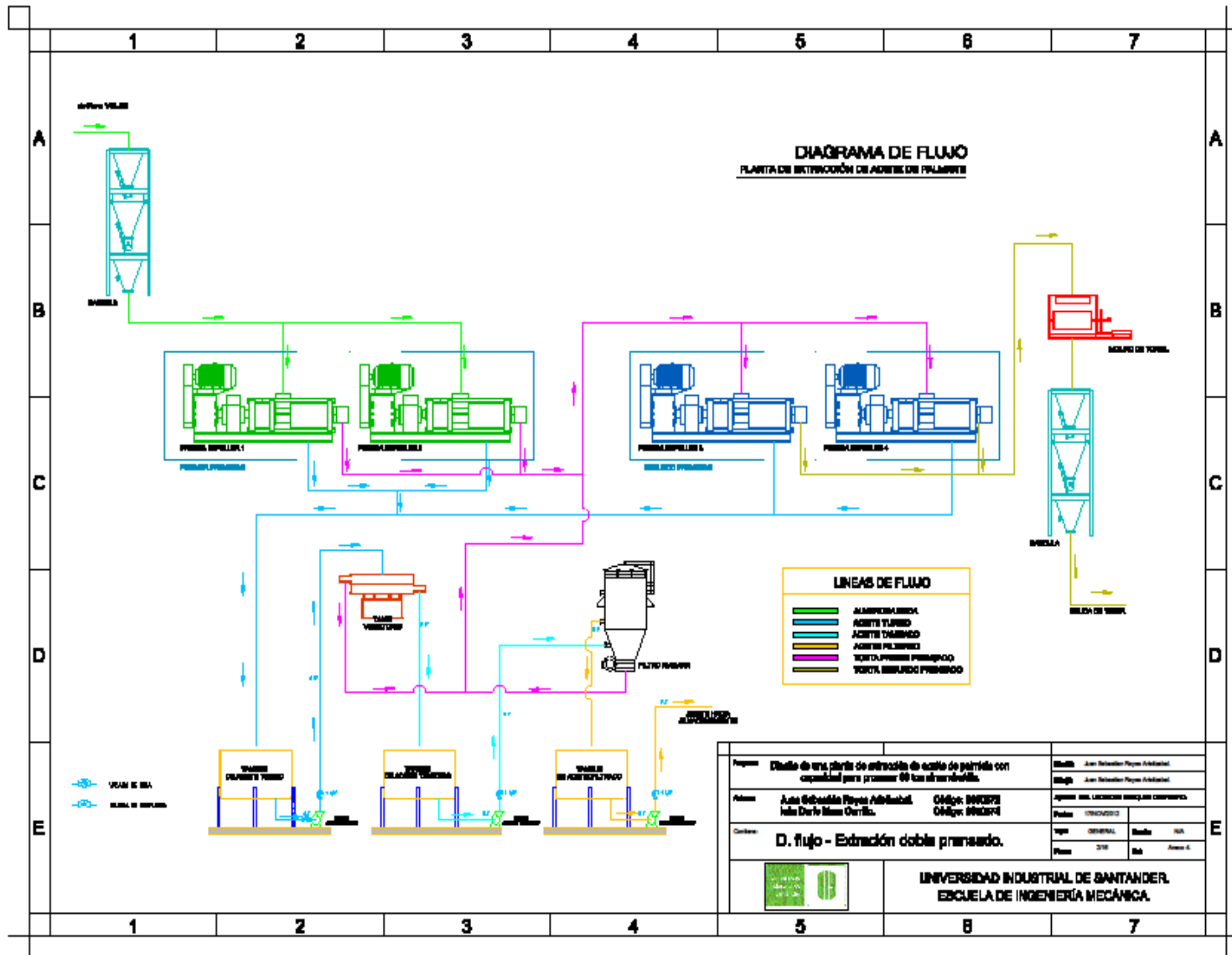
Fuente: Cortesía de Extractora del Sur de Casanare S.A.

El prensado mecánico puede ser efectuado en un sistema de simple o de doble prensado. La experiencia nos indica que con el prensado simple se puede obtener un residual de aceite impregnado en la torta de alrededor de un 12%, siempre que las partes del tornillo, la canasta y los conos no estén desgastadas excesivamente.

Con el fin de minimizar la pérdida y mejorar el porcentaje de extracción surgió el esquema doble prensado, con esta configuración se pueden obtener residuales de aceite en torta de entre 6 y 8 % además de mejorar la calidad de la torta.

El doble prensado consiste básicamente en prensar las almendras en una primera etapa hasta un residual de aceite de 18% y luego pasarlas por una segunda etapa de prensado hasta obtener un residual de 6-8%.

Para mayor claridad en cuanto al proceso de extracción de aceite de Palmiste se hace necesario analizar el diagrama de flujo contenido en el Anexo 4.



Las almendras llegan a la planta a través de una báscula de pasaje y control, de allí se transportan hacia las prensas de primer prensado, en estas prensas, el cono de presión se ajusta para que la torta que sale por el extremo de la prensa contenga un porcentaje de aceite residual entre 16 y 20%. Mientras tanto el licor de prensa se bombea hacia el tamiz y el filtro tal como se explicó anteriormente.

La torta proveniente de las prensas de primer prensado, así como los sólidos descargados por el tamiz y el filtro Niagara son transportados hacia las prensas de segundo prensado, estas prensas tienen una velocidad de rotación menor y la presión en el cono se ajusta en un rango mayor con el fin de minimizar el porcentaje de aceite residual en la torta que sale del segundo prensado, según los resultados consultados en las diferentes extractoras este porcentaje oscila entre 6 y 7%

#### **Ilustración 29. Torta de Palmiste.**



Fuente: <http://globalagro.en.busytrade.com/products/info/2188671/Palm-Kernel-Cake-expeller.html>

Una vez obtenidos, aceite y torta se alistan para su comercialización, el aceite se almacena en tanques y la torta generalmente se pulveriza en un molino y se empaca en sacos de para su comercialización.

### Ilustración 30. Sacos de torta de palmiste



Fuente: Cortesía de Aceites S.A.

### 3.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS TRES MÉTODOS DE EXTRACCIÓN.

**3.3.1 Extracción por medio de solventes.** Si partimos de 1 tonelada de almendras con un potencial de aceite en la almendra del 50% en peso, en un proceso ideal obtendríamos 500 Kg de aceite y 500 Kg de torta, si el residual de aceite en torta es del 1% tenemos que:

$$X + R + 500 = 1000 \text{ [Kg]} \quad Eqn (1)$$

$$\frac{R}{R + 500} * 100 = 1 \quad \text{[Kg]} \quad Eqn (2)$$

Dónde:

X = Aceite extraído [Kg]

R = Aceite residual en torta [Kg]

Reemplazando se tiene que:

$$X1 = 494,95 \text{ [Kg de aceite]}$$

Es decir se logra un porcentaje de extracción igual a:

$$\% Ext1 = \frac{X}{1000} * 100 = 49,49 \%$$

**3.3.2 Extracción por prensado mecánico de etapa simple.** En condiciones iguales a las anteriores pero con un residual de aceite en torta del 12% tenemos que:

$$X2 + R2 + 500 = 1000 \text{ [Kg]} \quad Eqn (1 *)$$

$$\frac{R2}{R2 + 500} * 100 = 12 \text{ [Kg]} \quad Eqn (2 *)$$

Reemplazando se tiene que:

$$X2 = 431,81 \text{ [Kg de aceite]}$$

Es decir se logra un porcentaje de extracción igual a:

$$\% Ext2 = \frac{X2}{1000} * 100 = 43,18 \%$$

En conclusión, partiendo de un potencial de aceite en la almendra del 50% en peso y suponiendo un diferencial de aceite residual en torta del 12%, la variación en la tasa de extracción con respecto a la extracción por solventes es equivalente a:

$$\Delta \%Ext1 - 2 = \%Ext1 - \%Ext2 = 6,31\%$$

Ahora, del numeral 2.1.2 sabemos que para nuestro caso la cantidad de almendra a procesar en el año es de 6.240 toneladas, partiendo de esto la diferencia final de aceite obtenido en un año es de:

$$\Delta Aceite = \frac{(6.240 * \Delta \%Ext)}{100} = 393,74 \left[ \frac{\text{Ton Aceite}}{\text{Año}} \right]$$

Calculando con base en un valor por tonelada de aceite de Palmiste de USD 2.200, se tiene que:

$$\Delta \$ = 393,74 * 2.200 = 866.288 \left[ \frac{USD}{Año} \right]$$

Según estos cálculos se hace necesario buscar alternativas para mejorar el porcentaje de extracción por prensado mecánico de lo contrario una planta de extracción por solventes sería una mejor solución.

**3.3.3 Extracción por prensado mecánico de dos etapas.** En condiciones iguales a las anteriores pero con un residual de aceite en torta del 6% tenemos que:

$$X3 + R3 + 500 = 1000 \text{ [Kg]} \quad Eqn (1 **)$$

$$\frac{R3}{R3 + 500} * 100 = 6 \quad \text{[Kg]} \quad Eqn (2 **)$$

Reemplazando se tiene que:

$$X3 = 468,1 \text{ [Kg de aceite]}$$

Es decir se logra un porcentaje de extracción igual a:

$$\% Ext3 = \frac{X3}{1000} * 100 = 46,81 \%$$

En conclusión, partiendo de un potencial de aceite en la almendra del 50% en peso y suponiendo un diferencial de aceite residual en torta del 6%, la variación en la tasa de extracción con respecto a la extracción por solventes es equivalente a:

$$\Delta \% Ext1 - 3 = \% Ext1 - \% Ext3 = 2,68\%$$

Si hacemos el mismo análisis que en el numeral anterior tenemos que:

$$\Delta \text{ Aceite} = \frac{(6.240 * \Delta \%Ext)}{100} = 167,23 \left[ \frac{\text{Ton Aceite}}{\text{Año}} \right]$$
$$\Delta \$ = 167,23 * 2.200 = 367.910 \left[ \frac{\text{USD}}{\text{Año}} \right]$$

Este valor corresponde aproximadamente a un 10% del monto de inversión total para la construcción de una planta de extracción por solventes de la capacidad mencionada, mientras que para una planta de extracción por prensado mecánico de dos etapas la inversión se reduce alrededor de un 50%. Además de esto los costos de operación de la planta de solventes son mayores debido al consumo (gasto) permanente de hexano. Así mismo los costos de mantenimiento se incrementan pues el mantenimiento es mucho más exigente, ya que se debe garantizar al máximo la hermeticidad de los procesos para evitar una posible explosión por fugas de hexano, adicional a esto se debe agregar que la torta residual se comercializa a un precio aproximadamente 15% menor dado el bajo contenido de aceite.

Finalmente se hace necesario agregar que el hexano es un insumo restringido por su utilización en actividades ilícitas y además está catalogado en la legislación colombiana como una sustancia peligrosa, por esta razón su comercialización, distribución y transporte se debe realizar bajo licencia y estrictos controles de seguridad.

Teniendo en cuenta que la planta de extracción de aceite de palmiste es un centro de beneficio adicional y contiguo a una planta de beneficio primario (aceite rojo) y que en algunos casos dichas plantas están alejadas de los cascos urbanos, es evidente que una planta de extracción por solventes NO es la solución para una planta de extracción de aceite de palmiste con capacidad para procesar 30 Ton

Almendra/día y por ende una combinación entre prensado mecánico y extracción por solventes tampoco lo es.

En conclusión el desarrollo de este proyecto será basado en un sistema de extracción por prensado mecánico de dos etapas.

### **3.4 EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA EXTRACCIÓN POR PRENSADO MECÁNICO DE DOS ETAPAS.**

Dentro del proceso de extracción por prensado mecánico de dos etapas se requiere diseñar o seleccionar los siguientes equipos:

- Un sistema de transporte neumático para almendras con capacidad de transportar 30 toneladas de almendras en 24 horas, alimentación desde el silo secador al transportador por medio de una esclusa, ventilador centrífugo colocado en posición de soplado, conductos de sección circular para los tramos rectos y codos de sección cuadrada con lámina de desgaste recambiable.
- Un Transportador del tipo de tornillo sinfín, para distribuir las almendras hacia las tolvas de alimentación de las prensas “expeller”, con capacidad de transportar 30 toneladas de almendras en 24 horas, el canal de transporte en lámina de acero al carbono, motor reductor eléctrico, extremos del eje montados sobre rodamientos auto – alineables y colgantes intermedios para evitar una flexión excesiva del eje.
- Tolvas para garantizar la alimentación homogénea y constante de las prensas provistas de una boca de alimentación con compuerta deslizante y los elementos de refuerzo necesarios para garantizar su estabilidad estructural, las

tolvas son cuadradas con fondo piramidal, cada una con una capacidad aproximada de 2 m<sup>3</sup>.

- Prensas monotornillo del tipo Expeller de primer y segundo prensado, para la extracción del aceite de Palmiste, la capacidad global de las prensas debe ser de 30 toneladas de almendra por día.
- Un transportador del tipo de tornillo sin fin para la torta extractada, con capacidad de transportar 15 toneladas de torta en 24 horas.
- Un elevador vertical para alimentar la torta extractada en el primer prensado al sin fin distribuidor de las prensas de segundo prensado, del tipo de cangilones con capacidad de transportar 15 toneladas de torta en 24 horas.
- Un molino para la rotura de los trozos grandes de harina saliendo de las prensas, con capacidad de triturar 15 toneladas de torta en 24 horas.
- Un elevador vertical para alimentar la harina de Palmiste a la tolva de empaque, con capacidad de transportar 15 toneladas de harina en 24 horas.
- Una tolva para empaque de harina de Palmiste.
- Un transportador de banda para transportar los sacos de harina de palmiste hasta el sitio de almacenamiento.
- Un Transportador de aceite turbio bajo las prensas, del tipo de tornillo sin fin con canal hermético y capacidad de transportar 15 toneladas de aceite turbio en 24 horas.

- Un tanque pulmón de aceite turbio con agitador, fabricado en lámina de acero al carbono, con sistema de agitación que evite la decantación natural de la mezcla.
- Una bomba para trasegar el aceite turbio al tamiz vibratorio, del tipo centrífugo, las partes en contacto con el aceite fabricadas en acero inoxidable.
- Un tamiz circular vibratorio para retirar los sólidos de mayor tamaño que se encuentran mezclados con el aceite, fabricado en acero inoxidable, montado sobre resortes, con una malla de separación.
- Un tanque pulmón de aceite tamizado con agitador, fabricado en lámina de acero al carbono, con sistema de agitación que evite la decantación natural de la mezcla.
- Una bomba para trasegar el aceite tamizado hacia el filtro tipo niagara.
- Un Filtro Niágara (de placas) para retirar la fracción sólida remanente en el aceite de Palmiste.
- Un tanque pulmón de aceite filtrado, fabricado en lámina de acero al carbono, para alimentar la bomba que conduce el aceite hacia el tanque de almacenamiento.
- Una bomba para aceite filtrado hacia los tanques de almacenamiento.
- Un tablero eléctrico para la operación de los motores de la planta.

- Estructuras y plataformas metálicas para soporte e inspección de operación y mantenimiento de la Planta.

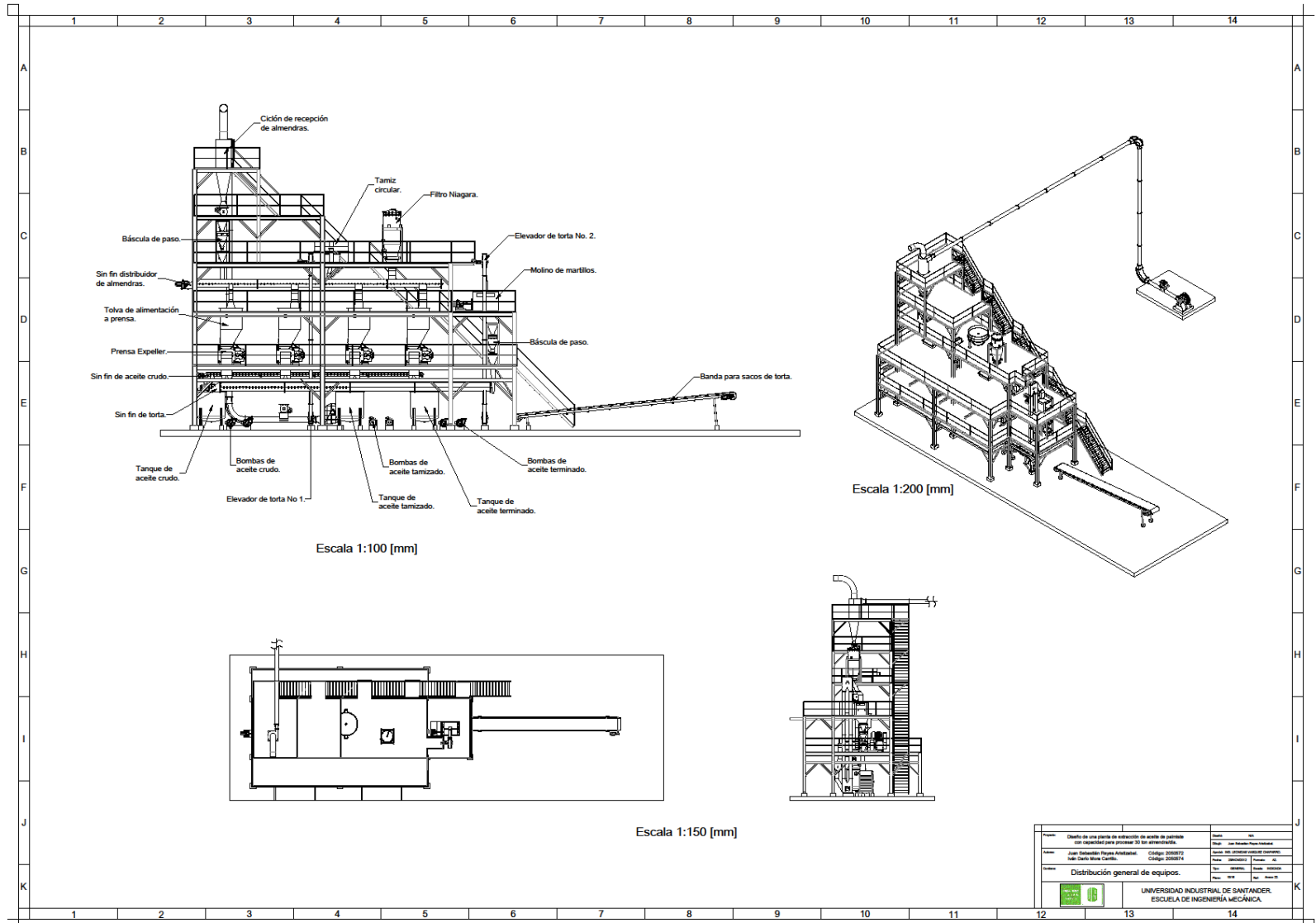
## **SEGUNDA FASE.**

### **4. SELECCIÓN Y CÁLCULO DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS**

En esta sección se presentan las conclusiones de los cálculos realizados para cada equipo, los detalles de cálculo se encuentran separadamente en los anexos. En algunos equipos similares, tales como bombas, transportadores de tipo sin fin y elevadores se realizaron ‘cálculos tipo’ para un solo equipo.

El proceso se concibe de forma vertical descendente desde la recepción de almendras en la parte alta a través del ciclón (Anexo 47, Ubicación B3), allí se descargan las almendras hacia la báscula de pesaje de almendras (Ubicación C2), una vez pesadas y registradas, las almendras que ingresan a la planta se distribuyen hacia las prensas 1 y 2 por medio de un transportador sin fin distribuidor (Ubicación D2), este transportador carga las tolvas de alimentación de prensas (Ubicación D2) y posteriormente la almendra ingresa a las prensas Expeller (Ubicación D2).

En la parte inferior se encuentran los transportadores de crudo y torta (Ubicación E2), estos transportadores recolectan el licor de prensa y la torta provenientes de cada una de las prensas; en el caso del licor de prensa, este es descargado en el tanque de aceite crudo (Ubicación F2) y desde allí se bombea al tamiz circular (Ubicación B4), el cual descarga los sólidos hacia el sin fin distribuidor por gravedad y el aceite tamizado hacia el tanque de aceite tamizado (Ubicación F5), posteriormente el aceite tamizado se bombea al filtro Niágara (Ubicación C5) que a su vez descarga los sólidos hacia el sin fin distribuidor y el aceite filtrado hacia el tanque de aceite terminado (Ubicación F6).



Volviendo a la torta descargada por las prensas 1 y 2, esta es transportada hacia el elevador No 1. (Ubicación F3), el elevador la entrega al sin fin distribuidor hacia las tolvas de alimentación de las prensas 3 y 4.

Finalmente la torta que sale de las prensas 3 y 4 va hacia el elevador No 2 (Ubicación C6), el cual alimenta el molino de trituración que a su vez descarga sobre la tolva de pesaje de torta. (Ubicación D6).

Por último la torta se empaqueta en sacos y se lleva hacia la zona de almacenamiento por medio de una banda transportadora. (Ubicación E8).

#### **4.1 CÁLCULO DE LOS TRANSPORTADORES REQUERIDOS.**

Para el cálculo de los transportadores de almendra, torta y aceite turbio se tiene como punto de partida la capacidad a transportar (30 Ton/24 h), con base en esto se procede a dimensionar los equipos y una vez se comprueba su capacidad de trasiego se procede con el dimensionamiento de la estructura de soporte.

##### **4.1.1 Transportador neumático de almendras secas.**

- Para transportar las almendras secas desde la parte baja del silo hasta el transportador principal de alimentación a las prensas.
- Alimentación y descarga hacia y desde el transportador por medio de esclusa o válvula rotatoria de 300 mm equipada con motor de 1 Hp.
- Ventilador centrífugo, con motor, poleas y correas para transmisión. Colocado en posición de soplado, caudal del ventilador 3.500 m<sup>3</sup>/H, 550 mm CA, sentido de orientación CW 0, potencia del motor 10,0 Hp.
- Conductos y codos para el transporte neumático de nueces hasta el ciclón en lámina de acero al carbono. Los codos de sección cuadrada con lámina de

desgaste recambiable; Diámetro de los conductos 250 mm, longitud aproximada 30 m en horizontal, 13 metros en vertical y 2 codos 90°.

- Ciclón tipo Lapple de diámetro primario 0,72 m y longitud total 2,88 m, el resto de dimensiones se especifican en la memoria de cálculo.
- Ver memoria de cálculo en el anexo 5.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 6. Conformación general. Transp. Neumático de Almendras.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 7. Ensamble general. Transp. Neumático de Almendras.

#### **4.1.2 Transportador distribuidor de almendras frescas del tipo Sin Fin.**

- Transportador del tipo de sinfín distribuidor de almendra hacia las prensas.
- La hélice y el canal fabricados en lámina de acero al carbono. El canal de transporte atornillado del tipo recambiable.
- Eje apoyado en sus extremos sobre rodamientos ref. FY\_25\_TF de SKF y soportes intermedios con bujes en bronce intercambiables (con luz máxima entre apoyos de 4 mts).
- Soportes metálicos acoplados a la plataforma de extracción, soportes del tipo “puente” para permitir el fácil recambio del canal de transporte.
- Motor – reductor de 4 HP de potencia, marca SEW ref. R97DRE100LC4, transmisión de potencia por acoplamiento directo a 24 RPM.
- Cuatro bocas de descarga hacia las prensas (2 a primera etapa de presando y dos a la segunda etapa de prensado)
- Diámetro del sinfín: 304,8 milímetros.
- Longitud aproximada: 12 metros.
- Ver memoria de cálculo en el Anexo 8. cap. 2

- Ver Plano en el archivo: Anexo 9. Conformación general del transportador Sin Fin de Almendra.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 10. Ensamble general transportador Sin Fin de Almendra.

#### **4.1.3 Transportador de crudo del tipo Sin Fin.**

- Transportador del tipo de sinfín de crudo hacia el tanque pulmón.
  - La hélice y el canal fabricados en lámina de acero al carbono. El canal de transporte atornillado del tipo recambiable.
  - Eje apoyado en sus extremos sobre rodamientos ref. FY\_30\_TR de SKF y soportes intermedios con bujes en bronce intercambiables (con luz máxima entre apoyos de 4 mts).
  - Soportes metálicos acoplados a la plataforma de extracción, soportes del tipo “puente” para permitir el fácil recambio del canal de transporte.
  - Motor – reductor de 1/2 HP de potencia, marca SEW ref. R47DRS71S4, transmisión de potencia por acoplamiento directo a 32 RPM.
  - Una boca de descarga hacia el tanque pulmón con salida libre.
  - Diámetro del sinfín: 152,4 milímetros.
  - Longitud aproximada: 10 metros.
- 
- Ver memoria de cálculo en el anexo 8. cap. 2
  - Ver Plano en el archivo: Anexo 11. Conformación general del transportador Sin Fin de crudo.
  - Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 12. Ensamble general transportador Sin Fin de crudo.

#### **4.1.4 Transportador de torta del tipo Sin Fin.**

- Transportador del tipo de sinfín de torta hacia la plataforma de empacado.
- La hélice y el canal fabricados en lámina de acero al carbono. El canal de transporte atornillado del tipo recambiable.
- Eje apoyado en sus extremos sobre rodamientos ref. FY\_25\_TF de SKF y soportes intermedios con bujes en bronce intercambiables (con luz máxima entre apoyos de 4 mts).
- Soportes metálicos acoplados a la plataforma de extracción, soportes del tipo “puente” para permitir el fácil recambio del canal de transporte.
- Motor – reductor de 6 HP de potencia, marca SEW ref. R97DRE132M4, transmisión de potencia por acoplamiento directo a 47 RPM.
- Dos bocas de descarga, las cuales van conectadas al respectivo elevador de torta de primero y segundo prensado.
- Diámetro del sinfín: 355,6 milímetros.
- Longitud aproximada: 15 metros.
  
- Ver memoria de cálculo en el Anexo 8 cap. 2.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 13. Conformación general del transportador Sin Fin de torta.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 14. Ensamble general transportador Sin Fin de torta.

#### **4.1.5 Un elevador para torta de Palmiste hacia el segundo prensado.**

- Del tipo vertical de cangilones montados sobre una banda de transporte. De dos cuerpos o columnas separadas.
- Rodillos superior e inferior con ejes montadas sobre rodamientos de bolas.; el rodillo inferior con sistema para tensionar la banda de transporte.

- La banda de transporte del tipo de trabajo pesado, con resistencia de acuerdo a la tensión determinada en la memoria de cálculo.
- Los cuerpos del elevador fabricados en lámina de acero al carbono con refuerzos en ángulo.
- Los cangilones fabricados en material plástico especial resistente a un material impregnado en aceite vegetal.
- Motor – reductor con freno anti-retorno (Backstop); acoplado directamente al eje del cabezal superior.
- Capacidad de transporte: 20 Ton de torta / día.
- Distancia entre centros de ejes: 10,3 metros.
- Especificaciones del motorreductor:  
Potencia: 0,745 Kw  $\approx$  1 HP.  
Velocidad de salida: 72 rpm
- Ver memoria de cálculo en el anexo 15.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 16. Conformación general. Elevador de torta No 1.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 17. Ensamble general. Elevador de torta No 1.

#### **4.1.6 Un elevador para torta de Palmiste hacia el molino de trituración.**

- Con las mismas especificaciones del elevador descrito en el ítem 4.1.5.
- Debido a que la capacidad de transporte es prácticamente la misma, el tamaño de la banda y los cangilones permanece constante, el único cambio se presenta en la altura del elevador.
- Buscando estandarizar los equipos de la planta y debido a que las variaciones en la altura y en los niveles de potencia y torque no son representativas, se mantiene el mismo elevador descrito en el ítem 4.1.5.

- Ver memoria de cálculo tipo en el anexo 15.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 16. Conformación General. Elevador de torta No 1. (Los elevadores son iguales).
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 17. Ensamble general. Elevador de torta No 1. (Los elevadores son iguales).

#### **4.1.7 Un transportador de banda para torta empacada.**

- Un transportador de banda para sacos de torta de Palmiste.
- Longitud aproximada entre centros de tambores: 10,0 m.
- Banda plana de 32" (800 mm) de ancho, de seis lonas, fabricada en caucho resistente a los aceites vegetales.
- Accionado con un motor reductor eléctrico, marca SEW ref.W47DRE112M4 de tipo SPIROPLAN, potencia del motor reductor: 4 HP.
- Soportes estructurales para apoyo al piso.
- Ver Anexo 18. Memoria de cálculo banda transportadora.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 19. Conformación general. Transportador de banda.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 20. Ensamble general. Transportador de banda.

#### **4.1.8 Estructura y plataforma para soporte e inspección de equipos.**

- Estructuras metálicas para soportar todos los equipos de la planta.
- Plataformas y pasarelas de 1 metro de ancho, necesarias para la correcta operación y mantenimiento de la planta.
- Construida sobre la base de perfiles de acero al carbono. Vigas en "H" de 8", canales de 8" y 6". Ángulos de 2" x ¼".

- Con plataformas en Lámina corrugada tipo alfajor de 1/8", escalera y barandas de protección en tubería de 3/4" tipo agua negra, guarda pié en ángulo de 2" x 3/16".
- Viga de servicio para fácil mantenimiento de las prensas.
- Ver memoria de cálculo en el anexo 21.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 22. Conformación general. Plataforma de soporte.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 23. Ensamble general. Plataforma de soporte.

#### **4.1.9 Tres tanques pulmón con agitador.**

- Del tipo cilíndrico vertical con fondo torisférico y conexión inferior bridada tipo purga de 1 1/2", fabricado en lámina de acero inoxidable calibre 3/16".
- En la parte superior del tanque se instala una brida perimetral en ángulo de 1.3 x 3/16" para atornillar la cubierta del mismo.
- Cubierta superior torisférica atornillada a la brida superior del tanque, con respiradero y filtro de aire, fabricada en acero inoxidable calibre 1/8".
- Con dos interruptores tipo flotador on / off, un flotador instalado 20 cm más abajo del nivel superior (Rebose), el segundo interruptor montado en la parte inferior de la zona cilíndrica del tanque.
- Con agitador interno para evitar la sedimentación y/o solidificación, eje y aspas en acero inoxidable.
- Velocidad del eje de agitación 75 r.p.m.
- Potencia del motor reductor del agitador: 1 Hp.
- Capacidad aproximada del tanque: 1,3 m3.
- Diámetro: 1,3 m
- Altura en la parte cilíndrica: 1,2 m.

- Ver memoria de cálculo tipo en el anexo 24.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 25. Conformación general. Tanque pulmón.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 26. Ensamble general. Tanque pulmón.

#### **4.1.10 Tolvas de alimentación a las prensas.**

- Cuatro tolvas pulmón para alimentación de almendras/torta a las prensas.
- Las tolvas son cuadradas con fondo piramidal, cada una con una capacidad aproximada de 2 m<sup>3</sup>.
- El cuerpo fabricado en lámina de acero al carbono de 3/16" de espesor, con ángulo perimetral de refuerzo superior e inferior.
- Anclaje a la estructura de soporte de equipos por medio de ménsulas fabricadas en ángulo.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 27. Conformación general. Tolva de alimentación a prensa.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 28. Ensamble general. Tolva de alimentación a prensa.

#### **4.2 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS.**

Los parámetros a tener en cuenta para la selección de los equipos requeridos durante el proceso son básicamente.

- Capacidad o cantidad de almendra a procesar, con base en el tiempo.
- Eficiencia y flexibilidad del equipo.
- Operación y grado de automatización.
- Mantenibilidad y criticidad de la operación.

#### **4.2.1 Cuatro prensas tipo Expeller para prensado de almendras.**

- Cuatro prensas para prensado de almendras de palma, dos prensas para primer prensado y dos para segundo prensado.
- Cada prensa con capacidad de 15 Ton Almendras/24 H.
- Diseño con reductor de engranajes con pre reducción.
- Prensas mono tornillo, estructura para el cuerpo fabricada en perfiles laminados en caliente y lamina de acero al carbono.
- Elementos para el tornillo de prensado, con endurecimiento superficial para mayor resistencia a la abrasión.
- Canasta de prensado soldada con barras calibradas, en acero al medio carbono, endurecidas y espaciadas convenientemente para evitar el paso de sólidos con el aceite.
- Cono de ajuste manual en la descarga de la prensa, para regulación de la presión del prensado.
- Accionamiento mediante motor eléctrico, con reductor de velocidad con poleas y correas en V.
- Capacidad nominal: 15 Ton de almendra/24 horas c/u.
- Dada la finalidad pedagógica de este trabajo no se seleccionó una prensa comercial y por lo tanto no se generaron planos detallados; se generó un modelo 3D esquemático con fines únicamente ilustrativos.
  
- Ver memoria de cálculo en el Anexo 29. Memoria de cálculo Prensas Expeller.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 30. Ensamble general. Prensa Expeller.

#### **4.2.2 Dos bombas de aceite crudo hacia el tamiz circular. (Una como stand By)**

- Para trasegar aceite de Palmiste crudo a 80°C, desde un tanque pulmón hacia el tamiz circular de separación de sólidos.
- Contenido máximo de sólidos en suspensión del 32% en volumen, solidos amorfos con tamaño inferior a 2 mm.
- Viscosidad cinemática del fluido:  $1,155 \times 10^{-4}$  [m<sup>2</sup>/s] (a 40°C)
- Succión: Positiva.
- Caudal: 3,5 m<sup>3</sup>/hora.
- Cabeza manométrica total: 17,00 m CA.
- Conexiones bridadas en admisión y descarga.
- Se sugiere una bomba roto dinámica de impulsor semi - abierto en acero inoxidable endurecido para evitar el desgaste prematuro, acoplamiento directo flexible al motor eléctrico.
- Dada la finalidad pedagógica de este trabajo no se seleccionó una bomba comercial y por lo tanto no se generaron planos detallados; se generó un modelo 3D esquemático con fines únicamente ilustrativos.
- Ver memoria de cálculo en el Anexo 31. Memoria del cálculo. Bomba de aceite crudo.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 32. Bomba de aceite crudo.<sup>4</sup>

#### **4.2.3 Tamiz circular vibratorio montado sobre resortes, de una sola malla (1 Deck).**

- Un bastidor de filtración de 60" de diámetro.

---

<sup>4</sup> Fuente: Biblioteca de Solidworks 2011.

- Soporte circular en acero al carbono y partes del cuerpo en contacto con el aceite en acero inoxidable tipo 304.
- Malla en acero inoxidable Mesh 40.
- Motor eléctrico y transmisión completos.
- Área de tamizado aproximada: 1.82 m<sup>2</sup>
- Potencia del vibro motor: 2,2 Kw
  
- Ver memoria de cálculo en el Anexo 33. Memoria de cálculo Tamiz.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 34. Conformación general. Tamiz Circular.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 35. Ensamble general. Tamiz circular.

#### **4.2.4 Dos bombas de aceite tamizado hacia el filtro. (Una como stand By)**

- Para trasegar aceite de Palmiste tamizado a 70°C, desde un tanque pulmón hacia el filtro de purificación de aceite.
- Contenido máximo de sólidos en suspensión del 10% en volumen, solidos amorfos con tamaño inferior a 400 micrones (Mesh 40).
- Viscosidad cinemática del fluido: 1,155 x 10<sup>-4</sup> [m<sup>2</sup>/s] (a 40°C)
- Succión: Positiva.
- Caudal: 3,5 m<sup>3</sup>/hora.
- Cabeza manométrica total: 130 Psi.
- Conexiones bridadas en admisión y descarga.
- Se sugiere una bomba de desplazamiento positivo del tipo de engranajes externos.
- Dada la finalidad pedagógica de este trabajo no se seleccionó una bomba comercial y por lo tanto no se generaron planos detallados; se generó un modelo 3D esquemático con fines únicamente ilustrativos.

- Ver memoria de cálculo en el Anexo 36. Memoria de cálculo. Bomba de aceite tamizado.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 37. Bomba de aceite tamizado.<sup>5</sup>

#### **4.2.5 Un filtro de placas (tipo Niagara) para aceite de Palmiste.**

- Capacidad de proceso de 1,6 m<sup>3</sup>/H.
  - Volumen del tanque de filtración 800 litros.
  - Generador de vibraciones para la descarga automática de los sólidos filtrados.
  - Completamente hermético para operación bajo presión.
  - Compuerta superior con soporte del tipo brazo giratorio para fácil mantenimiento.
  - Descarga de solidos por la parte inferior, tipo purga.
  - Operación automática del equipo.
- 
- Ver memoria de cálculo en el Anexo 38. Memoria de cálculo Filtro Niagara.
  - Ver Plano en el archivo: Anexo 39. Conformación general. Filtro Niagara.
  - Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 40. Ensamble general. Filtro Niagara.

#### **4.2.6 Dos bombas de aceite terminado hacia los tanques de almacenamiento. (Una como stand By)**

- Para trasegar aceite de Palmiste crudo a 65°C, desde un tanque pulmón hacia los tanques de almacenamiento.
- Contenido de sólidos en suspensión inferior al 1% en volumen.
- Viscosidad cinemática del fluido: 1,155 x 10<sup>-4</sup> [m<sup>2</sup>/s] (a 40°C)
- Succión: Positiva.
- Caudal: 3,5 m<sup>3</sup>/hora.

---

<sup>5</sup> Fuente: <http://grabcad.com/>

- Cabeza manométrica total: 14,00 m CA.
- Conexiones bridadas en admisión y descarga.
- Se sugiere utilizar el mismo tipo de bomba seleccionada para trasegar aceite crudo hacia el tamiz con el fin de estandarizar los repuestos y facilitar el mantenimiento.
- Dada la finalidad pedagógica de este trabajo no se seleccionó una bomba comercial y por lo tanto no se generaron planos detallados; se generó un modelo 3D esquemático con fines únicamente ilustrativos.
- Ver memoria de cálculo tipo en el Anexo 31.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 32. Bomba de aceite crudo.<sup>6</sup>

#### **4.2.7 Molino de martillos para torta extractada.**

- Un molino de martillos para trituración fina de la torta de Palmiste obtenida.
- Capacidad de proceso, 2000 Kg de Torta / Hora.
- Tamaño inicial de partícula mayor a 2 mm y menor a 5 mm.
- Densidad a granel inicial de la torta, 650 Kg/m<sup>3</sup> aproximadamente.
- Tamaño final de partícula requerido, menor a 1 mm.
- Martillos en material resistente al desgaste.
- Posibilidad de By-pass en caso de no requerir la trituración.
- Dada la finalidad pedagógica de este trabajo no se seleccionó un molino comercial y por lo tanto no se generaron planos detallados; se generó un modelo 3D esquemático con fines únicamente ilustrativos.
- Ver memoria de cálculo en el Anexo 41. Memoria de cálculo. Molino de martillos.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 42. Ensamble general. Molino de martillos.

---

<sup>6</sup> Fuente: Biblioteca de Solidworks 2011.

#### **4.2.8 Básculas de pesaje para control del proceso.**

- Una báscula para control y registro de almendras que ingresan al proceso. (Instalada en la esclusa de descarga del transportador neumático).
- Una báscula para control y registro de torta de Palmiste que sale de la planta. (instalada en la tolva de empaque de torta).
- Del tipo celda de carga con pre tolva y tolva de pesaje.
- Compuertas accionadas por medio de cilindros neumáticos con sistema de control y registro de datos con totalizador.

##### ***Para Almendras:***

- Capacidad: 5.000 Kg/ Hr.
- Densidad del material: 0,72 Ton/m<sup>3</sup>.

##### ***Para Torta:***

- Capacidad: 2.500 Kg/ Hr.
- Densidad del material: 0,55 Ton/m<sup>3</sup>.
  
- Ver memoria de cálculo en el Anexo 43. Memoria de cálculo. Báscula de paso.
- Ver Plano en el archivo: Anexo 44. Conformación general. Báscula de paso.
- Ver Modelo 3D en el archivo: Anexo 45. Ensamble general. Báscula de paso.

### 4.3 AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA Y ESTIMACIÓN DE PERSONAL.

**4.3.1 Automatización.** Para la automatización de la planta de palmiste, se presenta un diagrama Ladder de la posible secuencia de automatización general que puede tener la planta de palmiste, para ello se desarrolla de acuerdo a una secuencia de arranque siempre desde la última máquina del proceso a la primera, con enclavamientos de acuerdo a la matriz de arranque presentada en la tabla 4.3.1, y a las asignaciones lógicas de la tabla 4.3.2.

**Tabla 8. Matriz de tiempos en arranque de la planta de aceite de palmiste.**

MATRIZ DE SECUENCIA DE ARRANQUE												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bomba 3.	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Banda No 1.	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Filtro Niagara	F	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Rutina báscula No 2.	F	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Bomba 2.	F	F	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Molino No 1.	F	F	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Tamiz circular.	F	F	F	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Elevador No 2.	F	F	F	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Sin fin No 3.	F	F	F	F	V	V	V	V	V	V	V	V
Bomba 1.	F	F	F	F	V	V	V	V	V	V	V	V
Sin fin No 2.	F	F	F	F	F	V	V	V	V	V	V	V
Prensa No 4.	F	F	F	F	F	F	V	V	V	V	V	V
Prensa No 3.	F	F	F	F	F	F	F	V	V	V	V	V
Elevador No 1.	F	F	F	F	F	F	F	V	V	V	V	V
Prensa No 2.	F	F	F	F	F	F	F	F	V	V	V	V
Prensa No 1.	F	F	F	F	F	F	F	F	V	V	V	V
Sin fin No 1.	F	F	F	F	F	F	F	F	F	V	V	V
Rutina báscula No 1.	F	F	F	F	F	F	F	F	F	V	V	V
Esclusa No 2.	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	V	V
Ventilador No 1.	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	V	V
Esclusa No 1.	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	V

Fuente: Autores del proyecto

La matriz se forma con todos los equipos que constituyen la planta de aceite de palmiste, y se agrupan en 12 etapas que llamamos marcas (identificadas en el diagrama ladder como MX-XX). Agrupadas en su mayoría con equipos que trabajan en paralelo en el diagrama de flujo, o con equipos de poca potencia a consumir en el arranque.

Se debe estipular en el pre-comisionamiento, los tiempos de arranque para cada marca de la matriz, de acuerdo al pico de amperaje consumido en el inicio de un proceso, y alimentar este dato técnico en los temporizadores usados en el Ladder.

**Tabla 9. Variables de entrada y salida del proceso, y su identificación en la automatización.**

ENTRADA		SALIDA	
<i>Descripción</i>	<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>	<i>Nombre</i>
Parada de emergencia.	I0.1	Banda No 1.	O0.1
Conmutador Automático (on) / Manual (off).	I0.2	Molino No 1.	O0.2
Inicio de proceso.	I0.3	Elevador No 2.	O0.3
Fin de proceso.	I0.4	Actuador pre-tolva báscula No 2.	ET-BASC2
Nivel tanque 3 alto.	I0.5	Actuador báscula No 2.	
Nivel tanque 3 bajo.	I0.6	Sin fin No 3	O0.6
Nivel en tolva de almendras No 2.	I0.7	Bomba 3.	O0.7
Celda carga báscula No 1.	I0.8	Filtro Niagara rutina operación.	ET-FILTR
Celda carga báscula No 2.	I0.9	Filtro Niagara rutina Limpieza.	
Presión bomba de aceite tamizado.	I0.10	Bomba 2.	O0.10
Nivel tanque 2 alto.	I0.11	Tamiz circular.	O0.11
Nivel tanque 2 bajo.	I0.12	Bomba 1.	O0.12
Nivel tanque 1 alto.	I0.13	Sin fin No 2.	O0.13
Nivel tanque 1 bajo.	I0.14	Prensa No 4.	O0.14

ENTRADA		SALIDA	
<i>Descripción</i>	<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>	<i>Nombre</i>
Nivel Tolva No 2.	I0.15	Prensa No 3.	O0.15
Nivel Tolva No 4.	I0.16	Prensa No 2.	O0.16
		Prensa No 1.	O0.17
		Sin fin No 1.	O0.18
		Elevador No 1.	O0.19
		Actuador pre-tolva báscula No 1.	ET-BASC1
		Actuador báscula No 1.	
		Esclusa No 2.	O0.22
		Ventilador No 1.	O0.23
		Esclusa No 1.	O0.24

Fuente: Autores del proyecto

En las variables definidas existen algunas que no hacen parte del diagrama Ladder presentado, ya que son variables que hacen parte de controles que traen dichos equipos de fábrica, y que nombramos sencillamente para que sean tenidos en cuenta, tanto su utilidad como funcionamiento.

- Ver diagrama ladder en el archivo: Anexo 46. Diagrama de programación de automatización.

**4.3.2 Estimación de personal requerido.** La estimación de personal se hizo con base en la automatización planteada en el ítem 4.3.1 y el estimado de producción para el año, dicho estimado es de 7200 toneladas de almendra, esto implica que a una capacidad de 30 Ton / 24 Horas se requieran 5760 Horas de proceso efectivas.

Se estimaron 20 días de proceso efectivo dejando 4 días hábiles al mes para el mantenimiento de la planta.

La cantidad de personal requerido se estimó así:

- 3 turnos de 2 operadores c/u. (Rotación cada 8 horas)
- 2 turnos de un oficial mecánico y un oficial eléctrico para mantenimiento. (6am-2pm y 2pm-10pm).
- 1 Director de producción, 1 Director administrativo y 1 auxiliar administrativo. (8am-5pm)

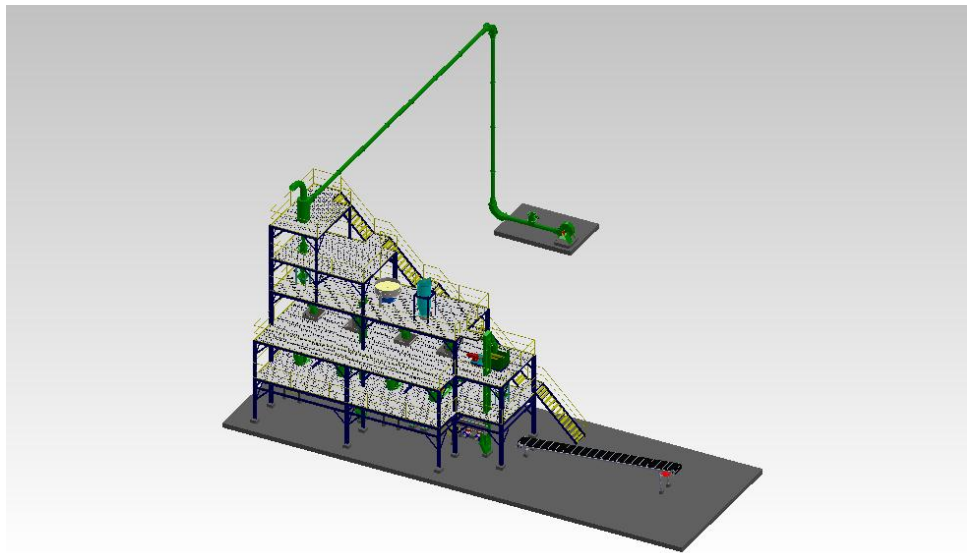
## TERCERA FASE.

### 5. ENSAMBLE Y PLANOS GENERALES DE LA PLANTA.

#### 5.1 CONFORMACIÓN GENERAL DE LA PLANTA.

Una vez diseñados y modelados todos los equipos que conformarán la planta extractora de aceite de Palmiste se procedió a ensamblar los mismos utilizando el software Solidworks. El proceso de extracción se concibió desde la parte alta hacia la planta inferior aprovechando en algunos casos el flujo por gravedad. En el modelo 3D generado no se modelaron las tuberías de flujo bombeado ni el cableado eléctrico para acometer motores, se modelaron únicamente los ductos de interconexión entre equipos con el fin de no saturar el modelo y hacerlo más entendible; las conexiones de los fluidos bombeados se pueden apreciar fácilmente en el diagrama básico de tubería. (Anexo4).

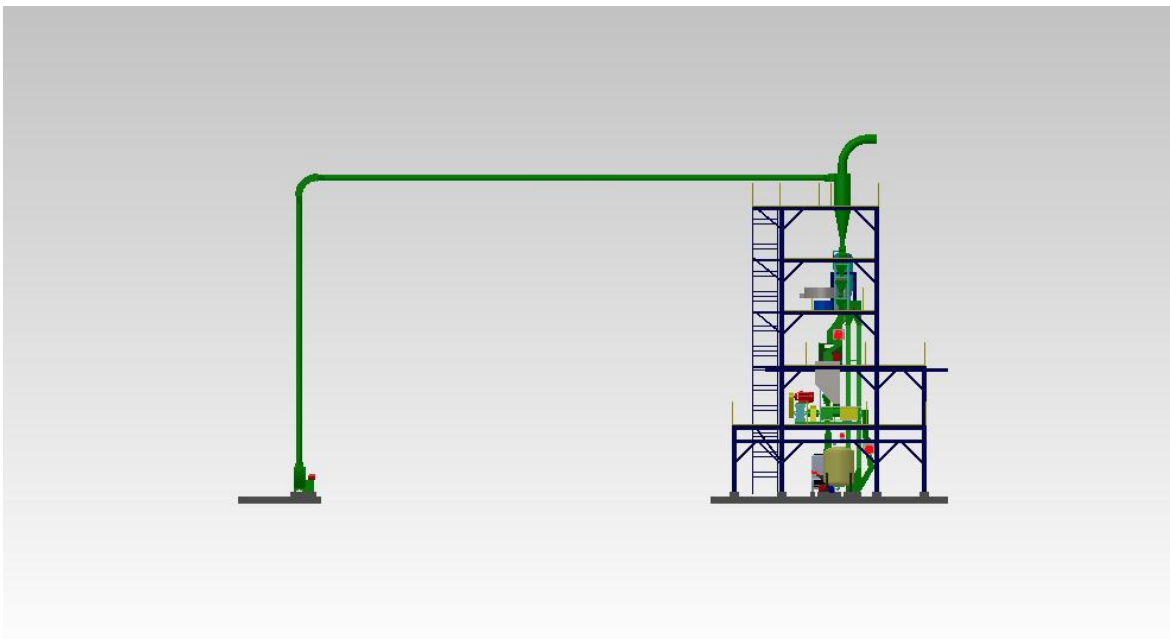
#### **Ilustración 31. Conformación general de la planta extractora de aceite de Palmiste.**



Fuente: Autores del proyecto

En la imagen anterior se aprecia la forma descendente que lleva el proceso; tal como se contempló desde el inicio la almendra llega a la planta por medio de un transportador neumático proveniente de la planta de extracción de aceite rojo, la cual debe garantizar que la almendra no contiene más del 7% de humedad y que las impurezas mezcladas con la misma son menores al 5% del total de almendras.

**Ilustración 32. Vista lateral, en la cual se aprecia la llegada de las almendras desde la planta de aceite rojo.**

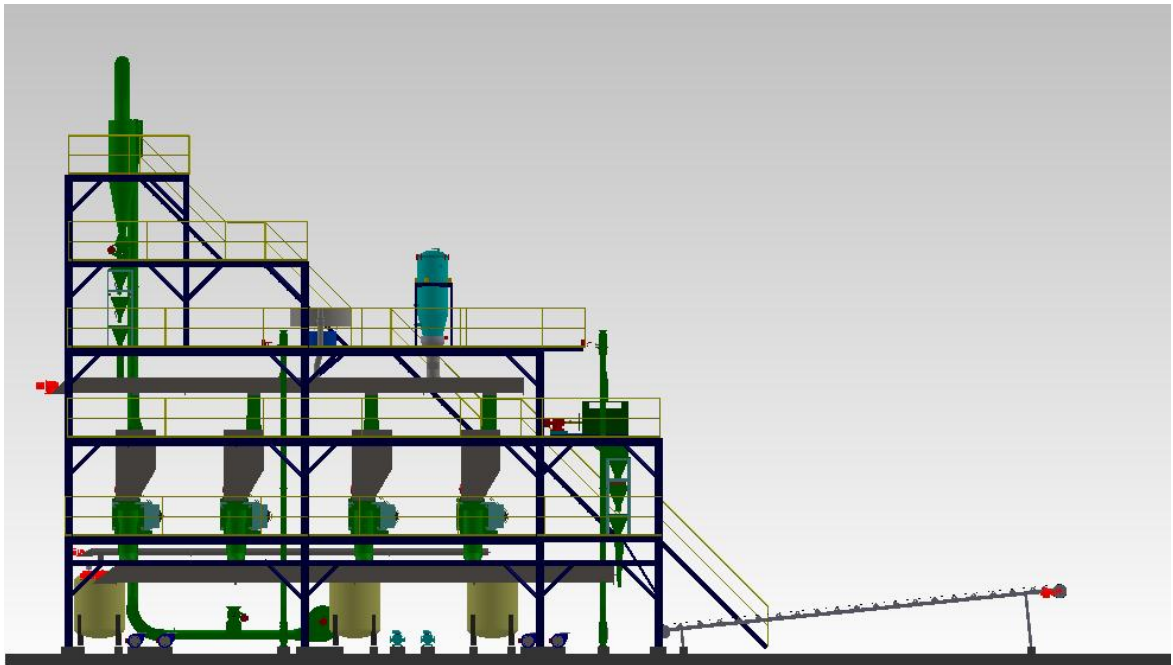


Fuente: Autores del proyecto

Como se mencionó antes, la distribución de planta con flujo vertical descendente se refleja en la ilustración 32, siendo básicamente constituida de 4 niveles, donde se comienza con la báscula dosificadora de almendra, y equipos de clarificación y filtración (nivel 4), se pasa al molino de martillo, y transportador sinfín de almendra (3° nivel) que conecta con las tolvas de prensado de primer y segunda etapa (que se encuentran en el 2° nivel), de allí como ya se ha explicado el aceite extraído pasa a los tanques de almacenamiento del 1° nivel por medio del transportador sinfín dedicado a este menester, y la torta por medio del transportador sinfín

diseñado va al molino de martillo. Para conectar la torta del primer prensado (2° nivel) al sinfín que distribuye a las tolvas de segundo prensado (3° nivel) y para elevar desde 1° nivel la torta desechada ya del 2° prensado al molino de martillo (3° nivel) se utilizan los dos cangilones mencionados en la 2° fase de este proyecto.

### **Ilustración 33. Vista frontal de la planta de extracción de CPKO.**



Fuente: Autores del proyecto

En esta imagen se puede ver claramente el desarrollo del proceso; En el tercer nivel se puede ver el transportador sin fin que distribuye la materia prima a las tolvas, las cuales alimentan las prensas que se ubican en el segundo nivel, se ven los elevadores de torta de primer y segundo prensado, los tanques pulmón, las bombas y todos los equipos de clarificación.

Por último se ve al final de la planta (costado derecho) la banda inclinada que servirá para la evacuación y almacenamiento de sacos de torta.

Anexos:

- Anexo 47. Plano general de distribución de equipos.
- Anexo 48. Modelo 3D. Distribución general de equipos.
- Anexo 49. Plano a nivel cero con información para obra civil.

## **5.2 CUADRO BÁSICO DE CARGAS ELÉCTRICAS.**

Para la construcción de la planta se requiere la fabricación de tableros eléctricos de potencia y CCM's (centro de control de motores); el control de la planta se prevé con la implementación de un sistema automático descrito en el ítem 4.3.1.

En este caso se consideró que la energía eléctrica se tomará desde un circuito de la red pública y se transformará de 34,7 KV o 13,2 KV a 440V como tensión de operación, adicionalmente algunos de los elementos seleccionados requieren un consumo mínimo a una tensión de 110 V según el fabricante consultado, en cada caso se dejó una anotación frente al equipo involucrado. La tensión de control se pre-seleccionó para 220V y se indicó la secuencia de enclavamientos necesaria para evitar atascamientos en caso de una parada inesperada de algún equipo.

En conclusión se calculó que el total de la potencia instalada es de 565.0 KW a 440 V para un total de 930.4 Amperios; Suponiendo que el factor de carga en motores estará alrededor del 60% se estima que la carga de operación será de 558.24 A, para un consumo específico de 446,5 A / Ton Almendra procesada.

Anexos:

- Anexo 50. Cuadro eléctrico - Planta Extracción de Aceite de Palmiste.

**CUARTA FASE.**  
**6. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.**

**6.1 PRESUPUESTO PRELIMINAR**

Para la elaboración del presupuesto se solicitaron cotizaciones a diferentes fabricantes especializados en los equipos requeridos, algunos equipos son importados y los precios consultados se liquidaron de dólares Americanos a pesos Colombianos con un dólar aduanero de \$2250 / 1 USD bajo el término D.D.P, otra parte de los equipos se fabrican en Colombia para los cuales se muestran los valores en pesos Colombianos bajo el término E.X.W.

En conclusión el presupuesto para la construcción de la planta es de mil cuatrocientos cincuenta millones y veintinueve mil pesos (**\$1'450.029.000**) este valor incluye el I.V.A. pues este se considera como parte del costo ya que no es descontable y por esta razón debe ser tenido en cuenta para el cálculo financiero de la tasa interna de retorno de la inversión.

Anexos:

- Anexo 51. Presupuesto Preliminar - Planta Extracción de Aceite de Palmiste.
- Anexo 52. Diagrama de Gantt para la ejecución del proyecto.
- Anexo 53. Cotización por parte de Metalteco.
- Anexo 54. Cotización por parte de Básculas Prometálicos.
- Anexo 55. Cotización por parte de Bombas Hydral.
- Anexo 55. Cotización por parte de Bombas Hydral.
- Anexo 56. Cotización por parte de PMT INDUSTRIES SDN BHD.

## 6.2 ANÁLISIS FINANCIERO

Para determinar la viabilidad económica del proyecto estimaron los ingresos y los egresos durante 10 años de operación normal de la planta, adicional a esto se tomó como punto de partida el presupuesto realizado y los precios del mercado del momento tanto para los ingresos (precio nacional para el CPKO y la torta de Palmiste) como para los egresos (salarios, costo promedio del KWH, costo de compra de la Almendra etc.)

**6.2.1 Discriminación de egresos.** Los egresos se calcularon de la siguiente manera.

**Tabla 10. Egresos característicos de una planta de CPKO**

Costo de inversión inicial	\$ 1.450.029.000	[\$]
Costo de compra MP <sup>7</sup>	\$ 798.000	[\$/Ton Alm]
Toneladas procesadas	7.200	[Ton/Año]
Costo absoluto MP	\$ 5.745.600.000	[\$/Año]
Costo Mano de Obra	\$ 294.678.000	[\$/Año]
Costo Kilovatio hora <sup>8</sup>	380	[\$/Kwh]
Kilovatios hora / mes	162.720	[Kwh/mes]
Costo Absoluto Energía	\$ 742.003.200	[\$/Año]
Costo de mantenimiento	\$ 124.570.750	[\$/Año]
Costos administrativos	\$ 72.000.000	[\$/Año]

Fuente: Autores del proyecto

MP: Materia Prima.

- La Cantidad de toneladas a procesar se estimó de la siguiente manera:

<sup>7</sup> Fuente: [www.fedepalma.org](http://www.fedepalma.org)

<sup>8</sup> Valor promedio del KWH industrial con interconexión a la red pública.

$$\begin{aligned} \text{Toneladas procesadas} &= \text{Capacidad} * \text{días laborados} * 12 \text{ meses} \\ &= 30 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{días}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} = 7.200 \frac{\text{Toneladas}}{\text{año}}. \end{aligned}$$

Se estimaron 20 días de proceso efectivo dejando 4 días al mes para mantenimiento de la planta.

El costo de la mano de obra se estimó sobre la base de 3 turnos de 2 operadores permanentes, 2 turnos de un oficial mecánico y un oficial eléctrico para mantenimiento, 1 Director de producción, 1 Director administrativo y 1 auxiliar administrativo.

**Tabla 11. Costos promedio anuales de personal interno.**

PERSONAL	CANT	SALARIO	C. PRESTACIONAL	TOTAL
1.53				
Operadores	6	\$ 750'000	\$ 1'147'500	\$ 6'885'000
Oficial mecánico	2	\$ 1'200'000	\$ 1'836'000	\$ 3'672'000
Oficial Eléctrico	2	\$ 1'200'000	\$ 1'836'000	\$ 3'672'000
Director de Producción	1	\$ 3'000'000	\$ 4'590'000	\$ 4'590'000
Director Administrativo	1	\$ 3'000'000	\$ 4'590'000	\$ 4'590'000
Auxiliar Administrativo	1	\$ 750'000	\$ 1'147'500	\$ 1'147'500
Subtotal mensual				\$ 24'556'500
Meses año				12
<b>Total Año</b>				<b>\$ 294'678'000</b>

Fuente: Autores del proyecto

- El consumo de potencia se estimó como el 60% del total de la potencia instalada según el cuadro eléctrico, de esta forma tenemos:

$$\sum Kwh = 565 Kw * 60\% * 20 \text{ días} * 24 \text{ horas} = 162.720 \frac{Kwh}{mes}$$

- El costo de mantenimiento anual se estimó como un porcentaje del valor de compra de cada equipo de acuerdo al presupuesto establecido:

**Tabla 12. Consolidado de costos por mantenibilidad de los activos de más representativos de la planta de CPKO**

#	Equipo	Cant	Vrl. Unit	% Manto	Vlr. Manto.
1	<i>Transp. Neumático de Almendras</i>	1	\$ 35.000.000	12,00%	\$ 4.200.000
2	<i>Báscula de paso</i>	2	\$ 18.400.000	10,00%	\$ 3.680.000
3	<i>Transp. Sin Fin distribuidor de Almendras</i>	1	\$ 16.300.000	15,00%	\$ 2.445.000
4	<i>Prensas Expeller</i>	4	\$ 50.625.000	20,00%	\$ 40.500.000
5	<i>Transp. Sin Fin de crudo</i>	1	\$ 8.250.000	10,00%	\$ 825.000
6	<i>Bomba de aceite crudo</i>	2	\$ 9.500.000	15,00%	\$ 2.850.000
7	<i>Tamiz circular</i>	1	\$ 20.925.000	15,00%	\$ 3.138.750
8	<i>Bomba de aceite tamizado</i>	2	\$ 5.800.000	12,00%	\$ 1.392.000
9	<i>Filtro Niagara</i>	1	\$ 51.300.000	15,00%	\$ 7.695.000
10	<i>Bomba de aceite terminado</i>	2	\$ 9.500.000	10,00%	\$ 1.900.000
11	<i>Transp. Sin fin de torta</i>	1	\$ 20.500.000	15,00%	\$ 3.075.000
12	<i>Elevador de torta No. 1</i>	1	\$ 20.000.000	15,00%	\$ 3.000.000
13	<i>Elevador de torta No. 2</i>	1	\$ 18.000.000	15,00%	\$ 2.700.000
14	<i>Molino de martillos</i>	1	\$ 33.300.000	15,00%	\$ 4.995.000
15	<i>Transp. de banda para sacos de torta</i>	1	\$ 20.500.000	10,00%	\$ 2.050.000
16	<i>Tanque pulmón con agitador para aceite</i>	3	\$ 9.350.000	10,00%	\$ 2.805.000
17	<i>Tolva de alimentación para prensa Expeller</i>	4	\$ 5.000.000	10,00%	\$ 2.000.000
18	<i>Estructura de soporte de equipos</i>	1	\$ 279.000.000	8,00%	\$ 22.320.000
19	<i>Automatización de la planta</i>	1	\$ 80.000.000	5,00%	\$ 4.000.000
20	<i>Tuberías válvulas y accesorios</i>	1	\$ 60.000.000	15,00%	\$ 9.000.000
				TOTAL	\$ 124.570.750

Fuente: Autores del proyecto

- Los Gastos administrativos se estimaron sobre la base de \$6'000.000 mensuales con el fin de cubrir los gastos de oficina, representación y demás.
- Se consideró que la inversión inicial (Costo de la planta) sería un único valor de egreso para el primer año pues se considera que la ejecución del proyecto tardará un año.
- Para estimar los egresos de los años siguientes se utilizó un incremento del 4% con respecto al valor de egreso del año inmediatamente anterior.

**Tabla 13. Proyección de egresos en la primera década de funcionamiento**

INVERSIÓN INICIAL AÑO 1	\$ 1.450.029.000
EGRESO AÑO 2	\$ 6.978.851.950
EGRESO AÑO 3	\$ 7.258.006.028
EGRESO AÑO 4	\$ 7.548.326.269
EGRESO AÑO 5	\$ 7.850.259.320
EGRESO AÑO 6	\$ 8.164.269.693
EGRESO AÑO 7	\$ 8.490.840.480
EGRESO AÑO 8	\$ 8.830.474.100
EGRESO AÑO 9	\$ 9.183.693.064
EGRESO AÑO 10	\$ 9.551.040.786

Fuente: Autores del proyecto

**6.2.2 Discriminación de Ingresos.** Los ingresos se calcularon de la siguiente manera.

**Tabla 14. Proyección de ingresos de una planta CPKO**

Toneladas procesadas	7.200	[Ton Alm / Año]
% de extracción Aceite <sup>9</sup>	43%	[Aceite/Almendra]
Toneladas de aceite	3096	[Ton Aceite/Año]
Toneladas de torta	4104	[Ton Torta/Año]
Valor Ton Aceite <sup>10</sup>	\$ 2.033.000	[\$ / Ton Aceite]
Valor Ton Torta <sup>11</sup>	\$ 250.000	[\$ / Ton Torta]
Ingresos por aceite	\$ 6.294.168.000	[\$ / Año]
Ingresos por torta	\$ 1.026.000.000	[\$ / Año]

Fuente: Autores del proyecto

Según lo anterior el valor total de los ingresos brutos será igual a la suma de los ingresos por aceite y torta.

<sup>9</sup> Porcentaje de extracción mínima estimada.

<sup>10</sup> Fuente: [www.indupalma.com](http://www.indupalma.com)

<sup>11</sup> Fuente: [www.indupalma.com](http://www.indupalma.com)

**Tabla 15. Proyección de ingresos en la primera década de funcionamiento**

Total Ingresos Año 2	\$ 7'320'168'000
Total Ingresos Año 3	\$ 7'612'974'720
Total Ingresos Año 4	\$ 7'917'493'709
Total Ingresos Año 5	\$ 8'234'193'457
Total Ingresos Año 6	\$ 8'563'561'195
Total Ingresos Año 7	\$ 8'906'103'643
Total Ingresos Año 8	\$ 9'262'347'789
Total Ingresos Año 9	\$ 9'632'841'701
Total Ingresos Año 10	\$ 10'018'155'369

Fuente: Autores del proyecto

- Para estimar los ingresos de los años siguientes se utilizó un incremento del 4% con respecto al valor de egreso del año inmediatamente anterior.

**6.2.3 Retorno de la inversión.** Para la realización del análisis financiero se calculó la tasa interna de retorno (**TIR**) estimando un flujo de caja a 10 años basado en los costos operacionales y no operacionales y los ingresos obtenidos por aceite y torta.

**Tabla 16. Proyección de balance y TIR para una planta de CPKO**

AÑO	INGRESOS	EGRESOS	BALANCE
AÑO 1	\$ 0	\$ 1'450'029'000	-\$ 1'450'029'000
AÑO 2	\$ 7'320'168'000	\$ 6'978'851'950	\$ 341'316'050
AÑO 3	\$ 7'612'974'720	\$ 7'258'006'028	\$ 354'968'692
AÑO 4	\$ 7'917'493'709	\$ 7'548'326'269	\$ 369'167'440
AÑO 5	\$ 8'234'193'457	\$ 7'850'259'320	\$ 383'934'137
AÑO 6	\$ 8'563'561'195	\$ 8'164'269'693	\$ 399'291'503
AÑO 7	\$ 8'906'103'643	\$ 8'490'840'480	\$ 415'263'163
AÑO 8	\$ 9'262'347'789	\$ 8'830'474'100	\$ 431'873'689
AÑO 9	\$ 9'632'841'701	\$ 9'183'693'064	\$ 449'148'637
AÑO 10	\$ 10'018'155'369	\$ 9'551'040'786	\$ 467'114'582
<b>TIR</b>			21.90%

% Oportunidad	16.00%
<b>VPN</b>	<b>\$ 329'751'931</b>

Fuente: Autores del proyecto

La tasa interna de retorno calculada es igual al 21,90% a 10 años.

Al calcular el valor presente neto frente a una tasa de oportunidad del 16% se obtuvo que  $VPN = \$329'751.931$ .

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- El proyecto desarrollado constituye una fase preliminar de acercamiento a la extracción de aceite de Palmiste, se estableció una secuencia de pasos y factores a tener en cuenta; por lo tanto, esta tesis constituye un anteproyecto, y se debe entender que para llegar a la ejecución de un proyecto de esta envergadura se debe llevar a cabo una ingeniería de detalle que permita precisar los detalles técnicos de la ejecución.
- Se logró determinar la forma sistemática de analizar la factibilidad de un proyecto de esta naturaleza, con base en una prospección de la materia prima requerida, haciendo referencia al área de la plantación productiva.
- Se analizaron las diferentes alternativas de extracción de aceite de Palmiste y sus implicaciones según condiciones específicas y de viabilidad en nuestro país; así mismo se determinó la configuración de proceso óptima para nuestro caso y se realizó el diseño de proceso teniendo en cuenta los parámetros comerciales en cuanto a la calidad de la almendra.
- Se realizó el pre-diseño de la planta de extracción de aceite de Palmiste teniendo en cuenta los diferentes factores que influyen sobre la construcción y operación de la misma.
- Se realizó el diseño de los equipos de transporte requeridos así como la selección de los equipos de construcción especializada.
- Se logró determinar las secuencias óptimas de inicio, parada y operación normal de la planta, plasmándolas en un diagrama de programación tipo '*ladder*' como base primaria de la automatización del proceso.

- Se estableció un listado preliminar del personal operativo de la planta con base en las tecnologías implementadas y las jornadas de trabajo requeridas para alcanzar una producción anual de 7.200 toneladas de almendra.
- Se generaron planos de conformación general y modelos 3D del complejo industrial, mediante los cuales se puede obtener una visión clara sobre el proceso y los equipos involucrados en el mismo.
- Se calculó que el total de la potencia instalada es de 565.0 KW a 440 V para un total de 930.4 Amperios; Suponiendo que el factor de carga en motores estará alrededor del 60% se estima que la carga de operación será de 558.24 A, para un consumo específico de 446,5 A / Ton Almendra procesada.
- En conclusión el presupuesto para la construcción de la planta es de mil cuatrocientos cincuenta millones y veintinueve mil pesos (**\$1'450.029.000**) este valor incluye el I.V.A.
- Al realizar el análisis financiero del proyecto se encontró que para el flujo de caja estimado, la tasa interna de retorno es igual al 21,90% a 10 años; Así mismo al calcular el valor presente neto frente a una tasa de oportunidad del 16% se obtuvo que VPN = \$329'751.931 para el mismo periodo de tiempo.
- Con base en las experiencias recopiladas durante la fase de investigación se recomienda que las almendras tengan un mayor periodo de secado para alcanzar niveles de humedad inferiores al 4% (base masa), el proceso debe ser hecho de manera gradual manteniendo unos gradientes de temperatura específicos que impidan la pérdida o degradación del aceite a causa de una extracción térmica espontánea.

- Se recomienda ser muy cuidadosos en la fase de análisis del área a influir y la disponibilidad de materia prima circunvecina; también es conveniente analizar el mercado objetivo, su ubicación y las facilidades de transporte del producto terminado.
- Se recomienda tener una capacidad de almacenamiento de torta equivalente a 30 días de proceso.
- Se recomienda realizar un análisis estructural a la plataforma de soporte teniendo en cuenta las cargas sísmicas y de viento que puedan afectar la misma.

## 8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] ALTING, Leo. Procesos para ingeniería de manufactura. 3a ed. Mexico D.F. : Alfaomega, 1996.
- [2] CONVEYOR EQUIPMENT MANUFACTURER ASSOCIATION, Standard #352 Norma internacional diseño de transportadores tipo sinfín. 37° ed. 2012.
- [3] CWS HARTLEY. The Oil Palm. C.E.C.S.A. 2da Ed. 1983.
- [4] FEDEPALMA. Revista Palmas. Fedepalma.
- [5] HIBBELER, Russell C. Mecánica de materiales. 8ª ed. Pearson Educación. 2011.
- [6] INTRODUCTION TO MATERIAL HANDLING, Siddhartha Ray. 2008
- [7] MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas. 2da ed. Mexico D.F.: Alfaomega. 2010.
- [8] McCORMAC, Jack C. Diseño de estructuras metálicas. 4ª ed. Mexico D.F.: Alfaomega. 1999.
- [9] OCHOA JARAMILLO, Doris y OSPINA, Martha luz. La Palma Africana. 1 ed. Bogotá D.C.: Fedepalma, 1998. Volumen 1 y 2.
- [10] R. VANDERWEYEN. Notions de Culture de L'elaeis au Congo Belge. 1 ed. Bruxelles: Direction de L'agriculture Belga. 1952.
- [10] SEW EURODRIVE. Catálogo Reductores Industriales. 9ª ed. 2007.

[11] SHIGLEY, Joseph E. Diseño en Ingeniería Mecánica. 6ª ed. Mc Graw Hill. 2002.

[12] SKF. Catálogo general. Ed Junio 2008.

[13] WAMBECK, Noel. Oil Palm Process Synopsis. 2 ed. Malaysia. : Palm Oil Research Institute of Malaysia, 2001.

## ANEXOS

### Anexo 1. Datos estadísticos de importancia del cultivo de palma de aceite.

Tabla 1.1 Evolución del cultivo de palma de aceite en Colombia, siembra, producción y desarrollo.

<b>ZONA ORIENTAL.</b>			
	AREA SEMBRADA (Hect.)	AREA EN PRODUCCIÓN.	AREA EN DESARROLLO.
<b>2004</b>	74823	52350	22473
<b>2005</b>	86411	53116	33295
<b>2006</b>	92324	54957	37367
<b>2007</b>	106317	63718	42599
<b>2008</b>	121135	73558	47577

<b>ZONA CENTRO.</b>			
	AREA SEMBRADA (Hect.)	AREA EN PRODUCCIÓN.	AREA EN DESARROLLO.
<b>2004</b>	57767	37736	20031
<b>2005</b>	62845	42348	20497
<b>2006</b>	74165	45703	28462
<b>2007</b>	77594	48839	28755
<b>2008</b>	87525	53561	33964

<b>ZONA NORTE.</b>			
	AREA SEMBRADA (Hect.)	AREA EN PRODUCCIÓN.	AREA EN DESARROLLO.
<b>2004</b>	78501	41893	36608
<b>2005</b>	88861	45646	43215
<b>2006</b>	92771	52717	40054
<b>2007</b>	97881	63153	34728
<b>2008</b>	106635	76353	30282

<b>ZONA OCCIDENTAL.</b>			
	<b>AREA SEMBRADA (Hect.)</b>	<b>AREA EN PRODUCCIÓN.</b>	<b>AREA EN DESARROLLO.</b>
<b>2004</b>	27835	21237	6598
<b>2005</b>	31909	22660	9249
<b>2006</b>	33309	24475	8834
<b>2007</b>	25086	23994	1092
<b>2008</b>	21661	17794	3867

Tabla 1.2 Estacionalidad de cosecha del cultivo en los últimos años, y representación gráfica con respecto a los años 2007 y 2008. (En porcentaje).

	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>Enero</b>	8,91	8,63	8,89	9,73	9,47
<b>Febrero</b>	9,93	9,3	9,1	9,41	9,67
<b>Marzo</b>	11,21	9,9	10,78	10,78	10,05
<b>Abril</b>	10,32	10,35	8,23	8,6	10,75
<b>Mayo</b>	8,1	8,02	7,71	8,6	8,91
<b>Junio</b>	7,46	7,88	7,39	8,16	8,19
<b>Julio</b>	8,14	7,8	7,49	8,56	8,9
<b>Agosto</b>	7,3	8,14	8,47	8,68	7,91
<b>Septiembre</b>	7,79	8,05	8,82	7,5	7,39
<b>Octubre</b>	7,51	7,37	8,1	7,42	7,04
<b>Noviembre</b>	6,65	7,35	7,8	6,25	5,88
<b>Diciembre</b>	6,67	7,21	7,22	6,31	5,84

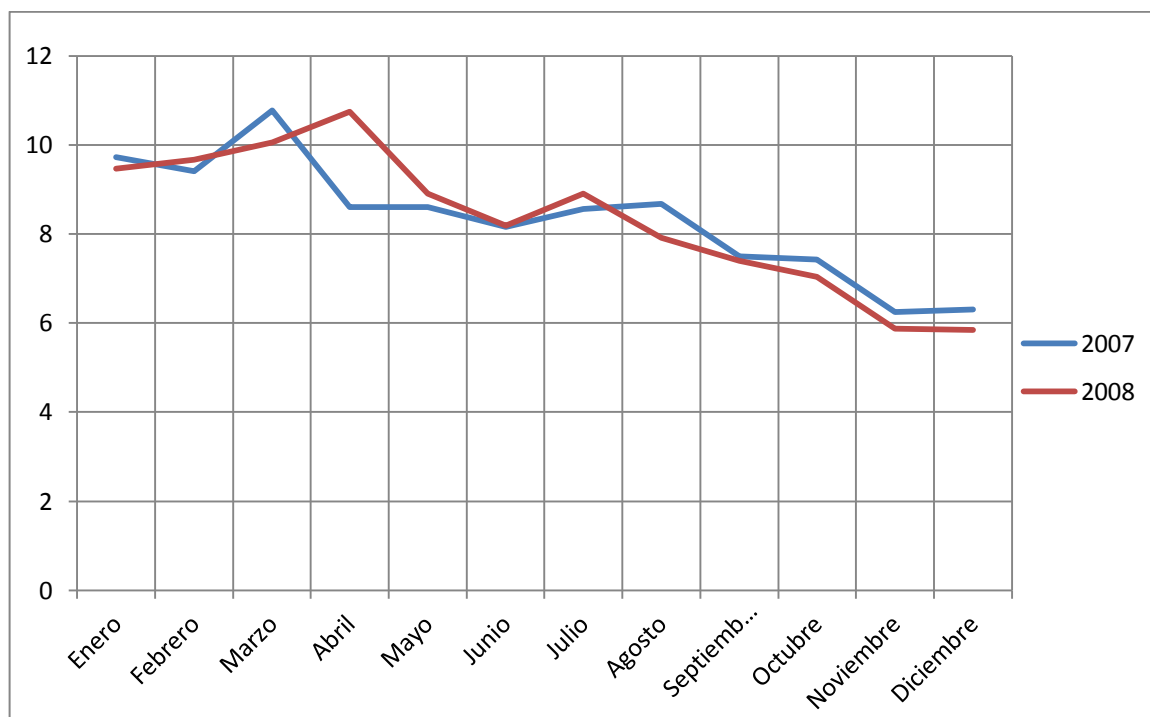


Tabla 1.3 Rendimiento en el proceso agroindustrial del cultivo, en toneladas por hectárea.

		2004	2005	2006	2007	2008
<b>FRUTO DE PALMA.</b>	<b>ORIENTAL</b>	19,56	18,44	19,29	16,33	14,76
	<b>NORTE</b>	21,44	20,73	18,48	17,05	15,15
	<b>CENTRAL</b>	20,42	20,85	21,71	22,4	23,48
	<b>OCCIDENTAL</b>	19,47	19,07	17,36	15,45	12,98
<b>% ALMEDRA DE PALMA. (Ton-Alm /Hectárea-año)</b>		<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
	<b>ORIENTAL</b>	0,88	0,92	0,93	0,78	0,72
	<b>NORTE</b>	1,03	1,05	0,9	0,82	0,72
	<b>CENTRAL</b>	1,04	1	0,97	1,09	1,14
	<b>OCCIDENTAL</b>	0,8	0,83	0,74	0,63	0,51
<b>% RENDIMIENTO CULTIVO (Recuperación Almendra/RF)*</b>		<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
	<b>ORIENTAL</b>	4,50%	4,99%	4,82%	4,78%	4,88%
	<b>NORTE</b>	4,80%	5,07%	4,87%	4,81%	4,75%
	<b>CENTRAL</b>	5,09%	4,80%	4,47%	4,87%	4,86%
	<b>OCCIDENTAL</b>	4,11%	4,35%	4,26%	4,08%	3,93%

		<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALMA. (Ton Aceite/Hectárea)</b>	<b>ORIENTAL</b>	3,95	3,91	3,99	3,39	3,08
	<b>NORTE</b>	4,39	4,26	3,87	3,51	3,2
	<b>CENTRAL</b>	4,15	4,29	4,45	4,57	4,98
	<b>OCCIDENTAL</b>	3,93	3,92	3,59	3,02	2,24
<b>% RENDIMIENTO CULTIVO (recuperación aceite/RFF)**</b>		<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
	<b>ORIENTAL</b>	20,19%	21,20%	20,68%	20,76%	20,87%
	<b>NORTE</b>	20,48%	20,55%	20,94%	20,59%	21,12%
	<b>CENTRAL</b>	20,32%	20,58%	20,50%	20,40%	21,21%
	<b>OCCIDENTAL</b>	20,18%	20,56%	20,68%	19,55%	17,26%

(\*) Hace refiere a el porcentaje en peso q se obtiene de almendra por cada tonelada de racimo fruto fresco (RFF) que se procesa en la planta.

(\*\*) Hace referencia al porcentaje en peso que se obtiene de aceite de palma al procesar una tonelada de fruto fresco (RFF).

## Anexo 2. Prospección del área de cultivo requerida.

Área mínima de cultivo necesaria para copar capacidad de procesamiento de la planta a diseñar (30 toneladas de almendra al día).

En este anexo se presentan los cálculos realizados con base en las estadísticas de los últimos cinco años del cultivo en Colombia. (Ver Anexo 1), con esto se pretende mostrar la mínima cantidad de área cultivada (en producción), necesaria para satisfacer las 30 ton/día de almendra.

### 2.1 Zona norte.

Partiendo de 30 ton Alm/día, se multiplica por 26 días de operación durante el mes pico, el resultado obtenido es la máxima capacidad de procesamiento durante la alta cosecha en toneladas de almendra por mes:

$$30 \frac{\text{Ton}}{\text{Día}} * 26 \text{ Días} = 780 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Mes}}$$

Ahora, el resultado obtenido es la cantidad de almendra procesada durante el mes pico, es decir que corresponde al total de almendras producidas en el año multiplicado por el porcentaje del mes de mayor productividad (Ver anexo 1, Tabla 1.2).

$$\text{Producción anual} * \% \text{ Mes pico} = 780 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Mes}}$$

De la Tabla 1.2 se observa que el mes de mayor producción del cultivo está aproximadamente en el 10,75% del total anual (Abril), reemplazando y despejando se obtiene el total de almendras procesadas al año.

$$\frac{780 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Mes}}}{10,75 \%} = \text{Producción anual} = 7256 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Año}}$$

Ahora, con base en el porcentaje de recuperación de almendra por cada hectárea en el año 2008, (Ver Anexo 1, Tabla 1.3), se puede calcular el número de hectáreas necesarias para garantizar el abastecimiento constante de materia prima a la planta extractora.

$$7256 \text{ Ton Alm} / 0,72 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Hct} - \text{A}} = 10.077 \text{ Hectáreas}$$

Entonces, Con base en los datos estadísticos de la región y sus condiciones históricas del cultivo, podemos concluir que es necesario tener asociadas 10 mil hectáreas en producción para satisfacer la almendra necesaria en todas las épocas del año.

Procedemos de forma análoga para obtener la cantidad de área cultivada requerida para las diferentes zonas.

## **2.2 Zona centro.**

Después de haber realizado el cálculo, se encontró que es necesario tener asociadas 6.365 mil hectáreas en producción para satisfacer la almendra necesaria en todas las épocas del año.

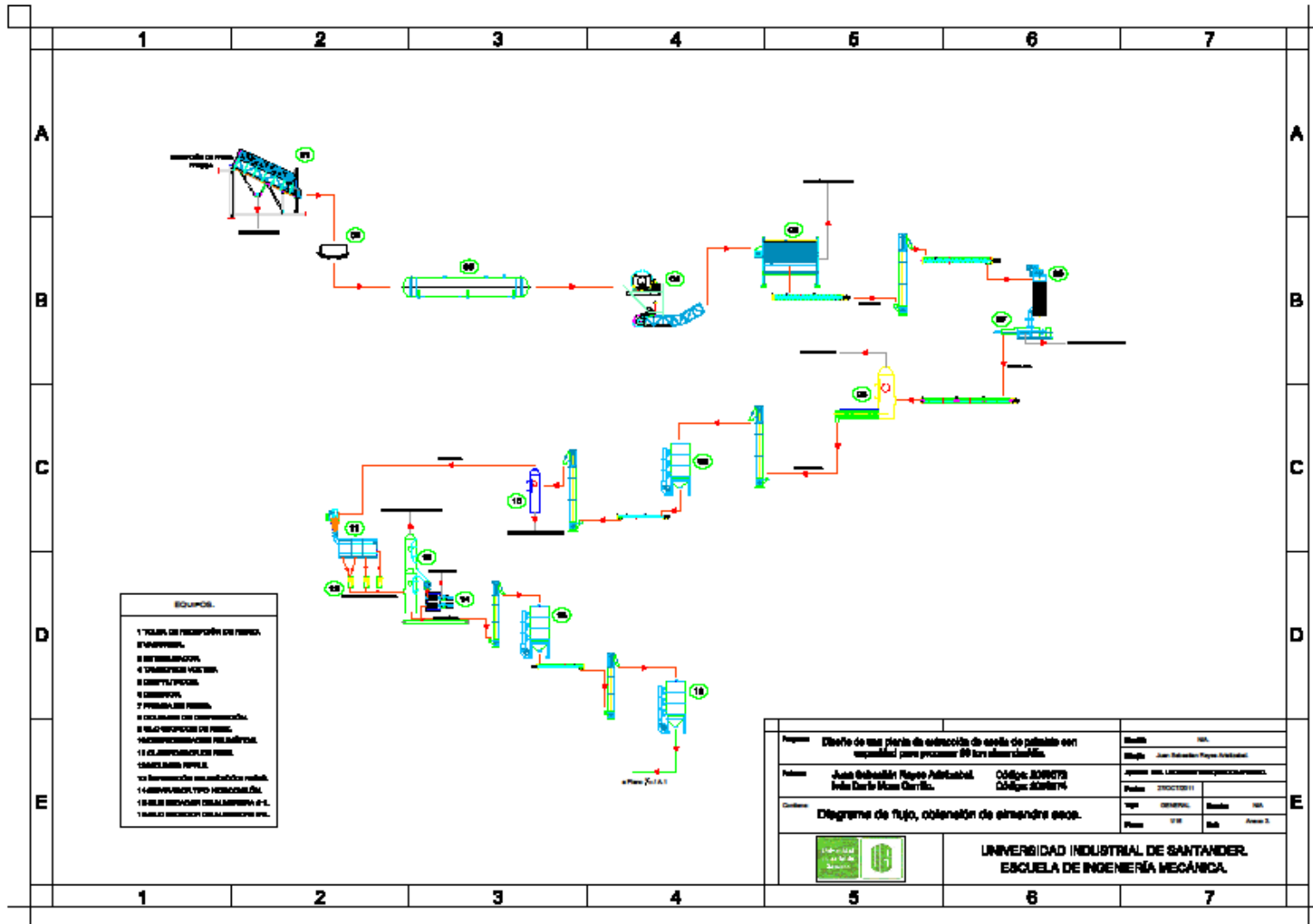
### **2.3 Zona oriental.**

Dado que los porcentajes de recuperación de almendra de la zona norte y la zona oriental son iguales, es claro que se requieren las mismas 10 mil hectáreas en producción para satisfacer la almendra necesaria en todas las épocas del año.

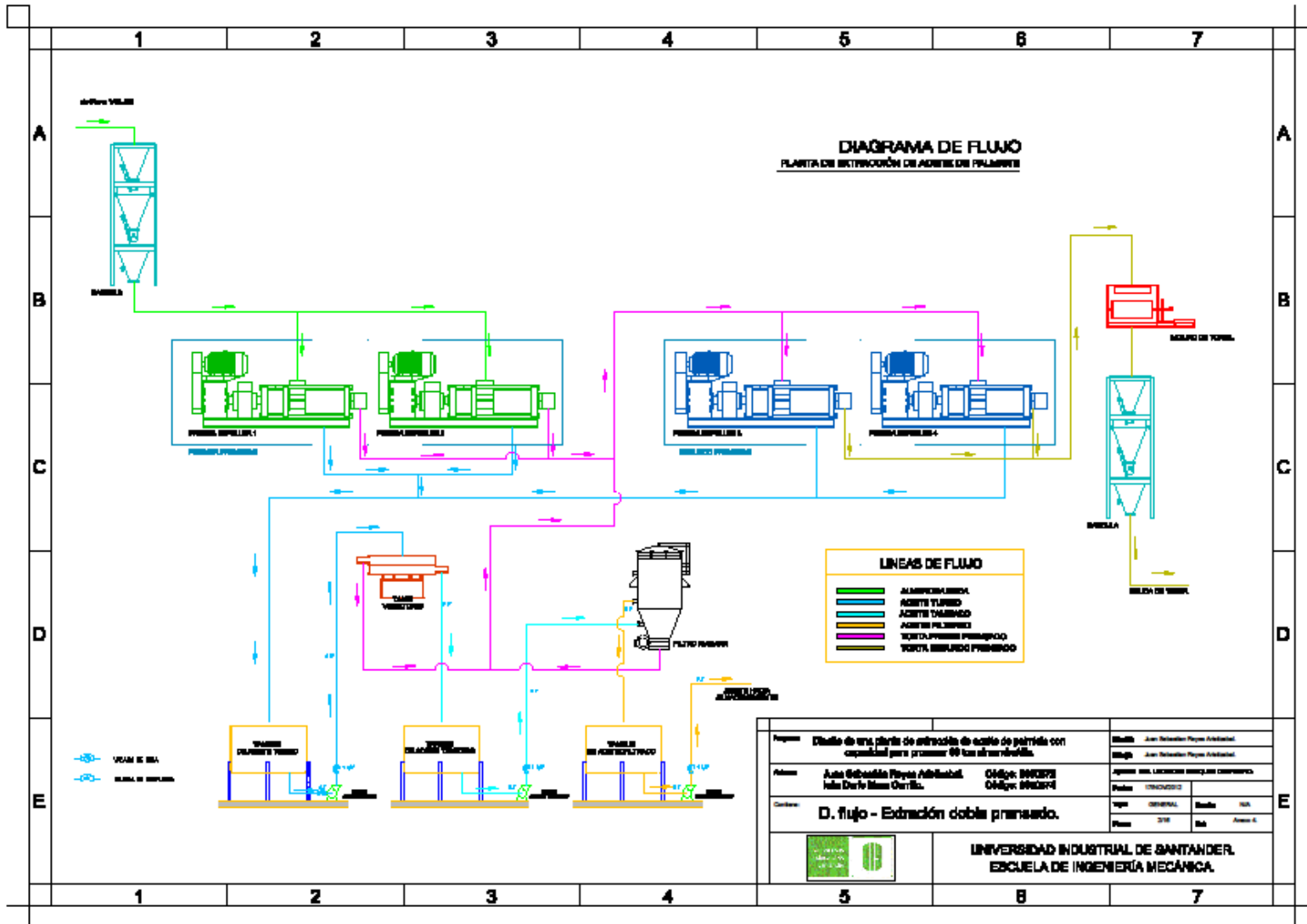
### **2.4 Zona occidental.**

Se encontró que es necesario tener asociadas 14 mil hectáreas en producción para satisfacer la almendra necesaria en todas las épocas del año.

### Anexo 3. Diagrama de flujo, obtención de almendra seca.



Anexo 4. Diagrama de flujo, extracción por doble prensado.



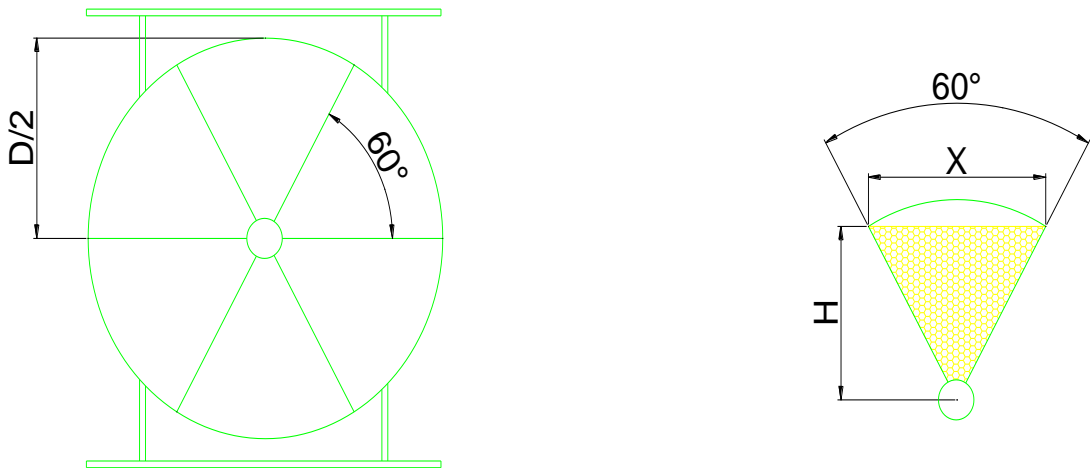
## Anexo 5. Memoria del cálculo del transportador neumático de almendras.

### 1. Cálculo de la válvula hermética rotatoria (esclusa):

- Cantidad a transportar ( $Q_r$ ):  $30 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Día}}$
- Factor de diseño ( $N_d$ ):  $2$
- Cantidad de diseño ( $Q_d$ ):  $Q_d = Q_r * N_d = 60 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Día}} = 2,5 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Hora}}$
- Densidad de la almendra ( $\delta$ ):  $0,72 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}$ .
- Volumen a transportar ( $V$ ):  $V = \frac{Q}{\delta} = 3,47 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

#### 1.1. Cálculo geométrico:

Figura 1. Conformación geométrica de una esclusa.



Volumen de un compartimento:

$$X = 2 * \frac{D}{2} * \text{Sen}(30^\circ)$$

$$H = \frac{D}{2} * \text{Cos}(30^\circ)$$

$$V_1 = H * X * L = \frac{D^2}{4} * L * \text{Sen}(30^\circ) * \text{Cos}(30^\circ) = 0,107 D^2 * L$$

$$V_{total} = V_1 * 6 = 0,65 D^2 * L$$

Donde L es la profundidad de la esclusa, por criterio de diseño D=L, entonces:

$$V = 0,65 D^3$$

Se asume un factor de cargue igual a 0,7, entonces la capacidad de transporte en una revolución es igual a,  $0,7 * 0,65 D^3 = 0,455 D^3 \frac{m^3}{rev}$

Dado que se trata de un equipo rotativo con alta fricción para garantizar el sello, se recomiendan velocidades de rotación bajas, iterando la siguiente ecuación con 10, 15, 20, 25 y 30 r.p.m. se obtienen los siguientes resultados:

$$Q = 0,455 D^3 * X \frac{rev}{min} * 60 \frac{min}{H} ;$$

**Tabla 1. Iteraciones r.p.m vs D**

X [r.p.m.]	>>>	D [m]
10	>>>	0,234
15	>>>	0,204
20	>>>	0,185
25	>>>	0,172
30	>>>	0,162

Se selecciona la opción 1, ahora, buscando minimizar el desperdicio constructivo se considera mínimo un metro de lámina de acero, entonces:

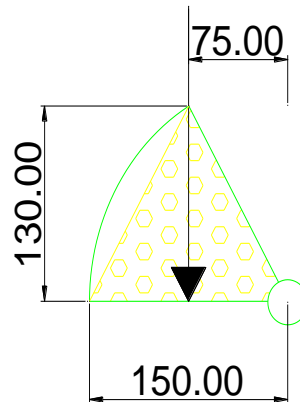
$$D = \frac{1}{\pi} = 0,318 m$$

Normalizando y considerando las puntas del corte de la lámina:

$$D \approx 300 \text{ mm} ; L \approx 300 \text{ mm}$$

1.2. Cálculo de potencia:

**Figura 2. Detalle compartimento esclusa.**



Se asume que los 6 compartimentos están llenos y que todos están generando un torque igual al de la posición mostrada en el dibujo. (Posición crítica)

Volumen1 ( $V_1$ ): 
$$V_1 = \frac{0,150 \cdot 0,130 \cdot 0,300}{2} = 0,002925 \text{ m}^3$$

Peso ( $W_1$ ): 
$$W_1 = V_1 \cdot \delta = 2,106 \text{ Kg}$$

Torque ( $T_1$ ): 
$$T_1 = 2,106 \cdot 0,075 = 0,157 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Torque Total ( $T_t$ ): 
$$T_t = T_1 \cdot 6 \approx 1 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Asumiendo la velocidad crítica como 30 r.p.m.

Potencia teórica ( $Hp$ ): 
$$Hp = T_t \cdot \omega = 1 \cdot 30 \cdot 2 \cdot \pi = 188,5 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{min}}$$

Ahora se asumen las siguientes eficiencias:

- Eficiencia de la mecánica de la esclusa:  $\eta_1 = 0,25$
- Eficiencia de la transmisión por piñones y cadenas:  $\eta_2 = 0,65$

- Eficiencia del reductor:  $\eta_3 = 0,70$
- Eficiencia del motor eléctrico:  $\eta_4 = 0,80$

Potencia real ( $H_{pr}$ ): 
$$H_{pr} = \frac{Hp}{\eta_{1-4}} = 2071,43 \text{ Kg} * \frac{m}{min} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Con un factor de seguridad igual a 2, la potencia requerida es de 1 Hp.**

En este caso seleccionamos el motor reductor SEW 1 Hp x 1745 Rpm x 30 rpm.

- Dimensiones de la flecha de salida: 23 x 50 mm ( $\phi$  x L).

## **2. Cálculo de la transmisión por medio de cadena y catalinas.**

Para la selección de las catalinas se utilizan las tablas de capacidad de la American Chain Association ACA; Se procede con la selección de las catalinas de transmisión partiendo desde la flecha del motor reductor y los requerimientos en cuanto a velocidad. Se emplean catalinas bajo norma ANSI No. 60 y paso 19.05 mm (3/4").

**Tabla 2. Tabla de capacidad de la American Chain Association.**

**TABLA DE CAPACIDAD**  
CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS No. 60 PASO 3/4"

No. de dientes piñón conductora	R.P.M DEL PIÑON CONDUCTOR																																			
	10	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000	2500	3000	3500	4000	4500											
9	0.15	0.33	0.62	1.16	1.67	2.16	3.12	4.04	4.94	5.82	6.68	7.54	8.38	9.21	9.99	8.77	6.96	5.70	4.77	4.08	2.92	2.22	1.76	1.44	1.21											
10	0.16	0.37	0.70	1.30	1.87	2.43	3.49	4.53	5.53	6.52	7.49	8.44	9.39	10.3	11.2	10.3	8.15	6.67	5.59	4.77	3.42	2.60	2.06	1.69	1.41											
11	0.18	0.41	0.77	1.44	2.07	2.60	3.87	5.02	6.13	7.23	8.30	9.36	10.4	11.4	12.5	11.9	9.41	7.70	6.45	5.51	3.94	3.00	2.38	1.95	1.63											
12	0.20	0.45	0.85	1.58	2.28	2.95	4.25	5.51	6.74	7.94	9.12	10.3	11.4	12.6	13.7	13.5	10.7	8.77	7.35	6.28	4.49	3.42	2.71	2.22	1.86											
13	0.22	0.50	0.92	1.73	2.49	3.22	4.64	6.01	7.34	8.65	9.94	11.2	12.5	13.7	14.9	15.2	12.1	9.89	8.29	7.08	5.06	3.85	3.06	2.50	0											
14	0.24	0.54	1.00	1.87	2.69	3.49	5.02	6.51	7.96	9.37	10.8	12.1	13.5	14.8	16.2	17.0	13.5	11.1	9.26	7.91	5.66	4.31	3.42	2.80	0											
15	0.25	0.58	1.08	2.01	2.90	3.76	5.41	7.01	8.57	10.1	11.6	13.1	14.5	16.0	17.4	18.8	15.0	12.3	10.3	8.77	6.28	4.77	3.79	3.10	0											
16	0.27	0.62	1.16	2.16	3.11	4.03	5.80	7.52	9.19	10.8	12.4	14.0	15.6	17.1	18.7	20.2	16.5	13.5	11.3	9.66	6.91	5.26	4.17	3.42	0											
17	0.29	0.66	1.24	2.31	3.32	4.30	6.20	8.03	9.81	11.6	13.3	15.0	16.7	18.3	19.9	21.6	18.1	14.8	12.4	10.6	7.57	5.76	4.57	3.74	0											
18	0.31	0.70	1.31	2.45	3.53	4.58	6.59	8.54	10.4	12.3	14.1	15.9	17.7	19.5	21.2	22.9	19.7	16.1	13.5	11.5	8.25	6.28	4.98	4.08	0											
19	0.33	0.75	1.39	2.60	3.74	4.85	6.99	9.05	11.1	13.0	15.0	16.9	18.8	20.6	22.5	24.3	21.4	17.5	14.6	12.5	8.96	6.81	5.40	4.42	0											
20	0.35	0.79	1.47	2.75	3.96	5.13	7.38	9.57	11.7	13.8	15.8	17.9	19.8	21.8	23.8	25.7	23.1	18.9	15.8	13.5	9.66	7.35	5.83	0	0											
22	0.36	0.86	1.55	2.90	4.17	5.40	7.78	10.1	12.3	14.5	16.7	18.8	20.9	23.0	25.1	27.1	24.8	20.3	17.0	14.5	14.4	7.91	6.28	0	0											
23	0.38	0.87	1.63	3.05	4.39	5.67	8.19	10.6	13.0	15.3	17.5	19.8	22.0	24.2	26.4	28.5	26.6	21.8	18.2	15.6	11.1	8.48	6.73	0	0											
24	0.40	0.92	1.71	3.19	4.60	5.96	8.59	11.1	13.6	16.0	18.4	20.8	23.1	25.4	27.7	29.9	28.4	23.3	19.5	16.7	11.9	9.07	7.19	0	0											
24	0.42	0.96	1.79	3.35	4.82	6.24	8.99	11.6	14.2	16.8	19.3	21.7	24.2	26.6	29.0	31.3	30.3	24.8	20.8	17.8	12.7	9.66	7.67	0	0											
25	0.44	1.00	1.87	3.50	5.04	6.52	9.40	12.2	14.9	17.5	20.1	22.7	25.3	27.8	30.3	32.7	32.2	26.4	22.1	18.9	13.5	10.3	8.15	0	0											
26	0.46	1.05	1.95	3.65	5.25	6.81	9.80	12.7	15.5	18.3	21.0	23.7	26.4	29.0	31.6	34.1	34.2	28.0	23.4	20.0	14.3	10.9	8.65	0	0											
28	0.50	1.13	2.12	3.95	5.69	7.37	10.6	13.8	16.8	19.8	22.8	25.7	28.5	31.4	34.2	37.0	38.2	31.3	26.2	22.4	16.0	12.2	0	0	0											
30	0.54	1.22	2.28	4.26	6.13	7.94	11.4	14.8	18.1	21.4	24.5	27.7	30.8	33.8	36.8	39.8	42.4	34.7	29.1	24.8	17.8	13.5	0	0	0											
32	0.57	1.31	2.45	4.56	6.57	8.52	12.3	15.9	19.4	22.9	26.3	29.7	33.0	36.3	39.5	42.7	46.7	38.2	32.0	27.3	19.6	14.9	0	0	0											
35	0.63	1.44	2.69	5.03	7.24	9.38	13.5	17.5	21.4	25.2	29.0	32.7	36.3	39.9	43.5	47.1	53.4	43.7	36.6	31.3	22.4	17.0	0	0	0											
40	0.75	1.67	3.11	5.81	8.37	10.8	15.6	20.2	24.7	29.1	33.5	37.7	42.0	46.1	50.3	54.4	62.5	53.4	44.7	38.2	27.3	0	0	0	0											
45	0.83	1.89	3.53	6.40	9.50	12.3	17.7	23.0	28.1	33.1	38.0	42.0	47.7	52.4	57.1	61.7	70.9	63.7	53.4	45.6	32.6	0	0	0	0											
	Lubricación Tipo A							Lubricación Tipo B							Lubricación Tipo C																					
<p>LUBRICACIÓN TIPO A: A mano, con aceitera o brocha.                      LUBRICACIÓN TIPO B: En baño de aceite o por sopleque.                      LUBRICACIÓN TIPO C: Al chorro bajo presión.</p> <p>La información contenida en estas tablas está basada en los estándares de la ASOCIACION AMERICANA DE FABRICANTES DE CADENAS ( American Chain Association). INFORMACIÓN INTERMEC</p> <p>* Para velocidades comprendidas dentro de la zona entre rayas punteadas, considérese el uso de la cadena silenciosa o Morse H<sub>2</sub> V<sub>0</sub>.</p>																																				
<p>Quando se trata de cadenas de hilera múltiple de este paso, multiplique la capacidad por:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No. DE HILERAS</th> <th>FACTOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>4</td><td>3.3</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.9</td></tr> <tr><td>6</td><td>4.6</td></tr> </tbody> </table>																									No. DE HILERAS	FACTOR	2	1.7	3	2.5	4	3.3	5	3.9	6	4.6
No. DE HILERAS	FACTOR																																			
2	1.7																																			
3	2.5																																			
4	3.3																																			
5	3.9																																			
6	4.6																																			

Fuente: INTERMEC S.A. [www.intermec.com.co](http://www.intermec.com.co)

Según la tabla de capacidad el mínimo número de dientes para transmitir 1 Hp a 25 rpm es de 25, sin embargo, al verificar las dimensiones piñón 60B25 encontramos que el diámetro máximo de la flecha es de 19,05 mm, esto no coincide con el requerimiento (flecha del motorreductor).

Se sigue recorriendo la tabla hasta encontrar un piñón más con un agujero máximo permisible mayor o igual a 23 mm, esto arroja como resultado el piñón 60B33.

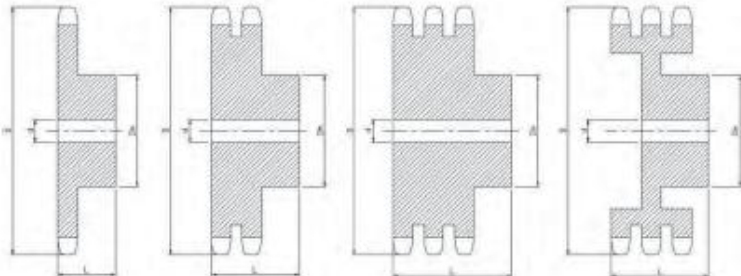
**Tabla 3. Tabla de piñones para cadena ANSI No. 60 de paso 3/4"**

INTERMEC www.intermec.com.co

**PIÑONES 3/4 (60)**

**TABLA DE DIMENSIONES**  
DE LOS PIÑONES INTERMEC PASO 3/4" (19.05 mm)  
para Cadena ANSI No. 60 Tipo B Sencillos, Dobles y Triples

**Dimensiones en Milímetros**



REF	D	SENCILLOS			REF	DOBLES			REF	TRIPLES		
		Dm	L	d		Dm	L	d		Dm	L	d
60B9 R	63,8	40	32	19,05	60-2B9	32	54	25,4	60-3B9	32	63	25,4
60B10 R	70,1	49	32	19,05	60-2B10	48	57	25,4	60-3B10	48	63	25,4
60B11 R	76,2	52	31	19,05	60-2B11	46	54	25,4	60-3B11	46	63	25,4
60B12 R	82,6	60	32	19,05	60-2B12	54	54	25,4	60-3B12	54	63	25,4
60B13	88,6	60	32	19,05	60-2B13	63	54	25,4	60-3B13	63	63	25,4
60B14	95,0	55	32	19,05	60-2B14	63	54	25,4	60-3B14	75	63	25,4
60B15	101,1	73	32	19,05	60-2B15	71	54	25,4	60-3B15	71	77	25,4
60B16	107,2	78	32	19,05	60-2B16	76	59	25,4	60-3B16	76	77	25,4
60B17	113,3	82	32	19,05	60-2B17	83	54	25,4	60-3B17	73	77	25,4
60B18	119,4	82	32	19,05	60-2B18	89	54	25,4	60-3B18	89	77	25,4
60B19	125,5	89	32	19,05	60-2B19	94	54	25,4	60-3B19	94	77	25,4
60B20	131,8	98	32	19,05	60-2B20	95	54	25,4	60-3B20	94	77	25,4
60B21	137,9	102	32	19,05	60-2B21	105	54	25,4	60-3B21	95	77	25,4
60B22	144,0	102	32	19,05	60-2B22	108	54	25,4	60-3B22	105	77	25,4
60B23	150,1	102	32	19,05	60-2B23	108	54	25,4	60-3B23	108	77	25,4
60B24	156,2	102	32	19,05	60-2B24	108	54	25,4	60-3B24	108	77	25,4
60B25	162,3	102	32	19,05	60-2B25	108	54	25,4	60-3B25	108	77	25,4
60B26	168,4	102	32	19,05	60-2B26	108	54	25,4	60-3B26	108	77	25,4
60B27	174,5	102	32	19,05	60-2B27	108	54	25,4	60-3B27	108	77	25,4
60B28	180,6	102	32	19,05	60-2B28	108	54	25,4	60-3B28	108	77	25,4
60B29	186,6	102	32	19,05	60-2B29	108	54	25,4	60-3B29	108	77	25,4
60B30	192,8	102	32	19,05	60-2B30	108	54	25,4	60-3B30	108	77	25,4
60B31	198,6	102	32	19,05	60-2B31	114	61	31,75	60-3B31	108	77	31,75
60B32	204,7	102	32	19,05	60-2B32	114	61	31,75	60-3B32	108	77	31,75
60B33	210,8	102	32	25,4	60-2B33	114	61	31,75	60-3B33	114	83	31,75
60B34	216,9	102	32	25,4	60-2B34	114	61	31,75	60-3B34	114	83	31,75
60B35	223,0	101	32	25,4	60-2B35	114	61	31,75	60-3B35	114	83	31,75

Fuente: INTERMEC S.A. [www.intermec.com.co](http://www.intermec.com.co)

$N_1 = 30$  rpm.

$N_2 = 30$  rpm.

$H_p = 1$  Hp  $\approx 4562,42$  Kg.m/min.

**Eje motriz** = 23 x 50 mm ( $\phi$  x L)

$d = 23,00$  mm

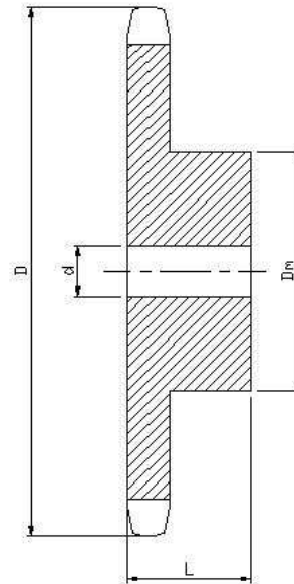
$L = 32$  mm

$D_m = 102$  mm

$D = 210,8$  mm

**Paso** = 19.05 mm (3/4")

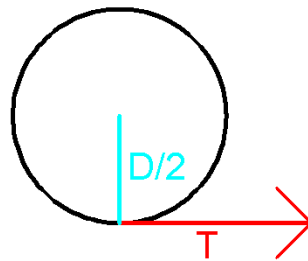
**Figura 3. Piñón 60B33.**



2.1. Cálculos de los requerimientos mínimos de la cadena.

Verificación de la resistencia mínima de la cadena para evitar la rotura de la misma en condiciones estables.

**Figura 4. Esquema geométrico piñón - cadena**



$$Potencia = Torque \times \omega = T * \frac{D}{2} * rpm * 2 * \pi$$

$$4562,42 \frac{Kg.m}{min} = T * 210,8 * \frac{1}{2} * 30 * 2 * \pi$$

$$T = \frac{4562,42}{0,2108 * 30 * \pi} = 229,65 Kg = 506,29 Lbs.$$

Ahora verificamos con la información de la tabla del fabricante.

**Tabla 4. Tabla de cadenas ANSI sencillas**

**TABLA DE DIMENSIONES  
DE LAS CADENAS ANSI SENCILLAS**

En pulgadas. El paso figura tanto en pulgadas como en milímetros. Para convertir a milímetros cualquier otra dimensión, multiplíquese por 25.4



DIMENSIONES									
CADENA NUMERO	PASO "P"	LARGO RODILLO "W"	DIAMETRO RODILLO "D"	DIAMETRO PASADOR "C"	GRUESO CHAPETA "F"	ANCHO CHAPETA "H"	M.	LIMITE DE ROTURA Lbs.	PESO Lbs. POR PIE 30.5 cms.
25	1/4" * 6.35 mm	0.125	0.130	0.0905	0.030	0.234	0.188	0.875	0.09
35	3/8" * 9.52 mm	0.187	0.200	0.141	0.050	0.350	0.267	2.100	0.21
40	1/2" * 12.7 mm	0.312	0.312	0.156	0.060	0.466	0.380	3.700	0.42
50	5/8" * 15.87 mm	0.375	0.400	0.200	0.080	0.584	0.460	6.100	0.69
60	3/4" * 19.05 mm	0.500	0.468	0.234	0.094	0.700	0.586	8.500	1.00

Fuente: INTERMEC S.A. [www.intermec.com.co](http://www.intermec.com.co).

El límite de rotura de la cadena es de 8.500 Lbs, este valor supera ampliamente el nivel de carga inducido en condiciones normales, por esta razón no se analizarán los efectos dinámicos de la carga durante el arranque y la parada de la esclusa.

## 2.2. Selección de los rodamientos.

Determinación de la carga dinámica del rodamiento.

Para determinar la carga dinámica a la cual se someterá el rodamiento, consideramos la flecha como una viga apoyada en soportes rígidos y que no está sometida a momento flector. La carga asumida es equivalente al peso propio de la flecha sumada al peso del rotor de la esclusa y el peso de las almendras transportadas. Se considera el momento crítico, en el cual los 3 compartimentos superiores están llenos de almendras.

$$Carga (C) = \text{Peso Flecha} + \text{Peso Rotor} + \text{Peso Almendras}$$

**Peso de la flecha ( $P_F$ )** = Inicialmente se asume un eje de 25,4mm de diámetro y 300 mm de longitud en acero 1045.

$$P_F = \pi * D^2 * L * \frac{\delta}{4 * 1000^3} = 3.1415 * 25.4^2 * 300 * 7870 / (4 * 1000^3) = 1.19 \text{ Kg}$$

**Peso del rotor ( $P_R$ )** = Se asume que el cuerpo del rotor será construido en tubería negra SCH 40 y las aspas en lámina HR de 6 mm de espesor.

$$P_R = \text{Peso Tubo} + \text{Peso Aspas} = 0.3 * 2.5 + 6 * 0.3 * 0.3 * 49.8 = 27.642 \text{ Kg}$$

**Peso de las almendras ( $P_A$ )** = según lo calculado anteriormente cada compartimento tiene una capacidad máxima de 2.106 Kg.

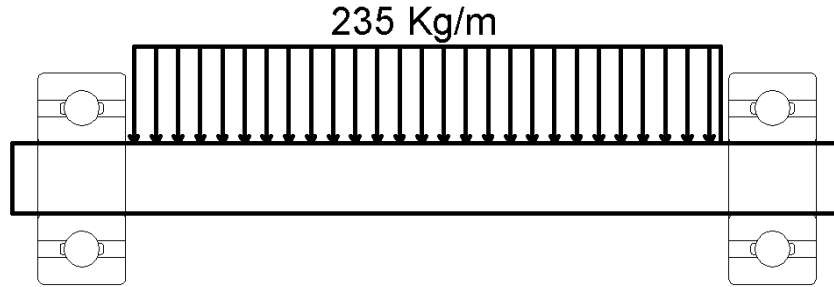
$$P_A = 3 * 2.106 = 6.318 \text{ Kg}$$

Entonces:

$$C = 1.19 + 27.642 + 6.318 = 35.15 \text{ Kg}$$

Asumimos que la carga esta uniformemente distribuida y la multiplicamos por un factor de seguridad de 2, por tanto:

**Figura 5. Carga estimada sobre la flecha.**



De lo anterior se obtiene que la carga soportada por cada rodamiento es equivalente a 35.15 Kg  $\approx$  0.305 KN.

Con base en la carga dinámica y la expectativa de vida deseada para el rodamiento (20.000 h) podemos determinar la carga dinámica equivalente del rodamiento por medio de la ecuación de SKF.

$$L_{10h} = \frac{\left(10^6 * \left(\frac{C}{P}\right)^p\right)}{60 * n} = 10^6 * \frac{\left(\frac{0.305}{P}\right)^3}{60 * 30} = 20.000$$

Dónde:

$L_{10h}$  = Vida nominal en horas de funcionamiento.

C = Capacidad de carga dinámica. KN

P = Carga dinámica equivalente del rodamiento KN.

n = Velocidad de rotación. RPM.

p = Exponente de la ecuación de vida; 3 para rodamientos de bolas; 10/3 para rodamientos de rodillos.

Despejando P obtenemos que:

$$P = 0.0923 \text{ KN.}$$

Nota: Se asumen condiciones óptimas de lubricación, limpieza y montaje.

Con la carga dinámica equivalente y el cálculo previo sobre los piñones de transmisión se procede con la selección del rodamiento.

Según la selección de los piñones descartaremos los rodamientos con diámetro interior menor a 23 mm.

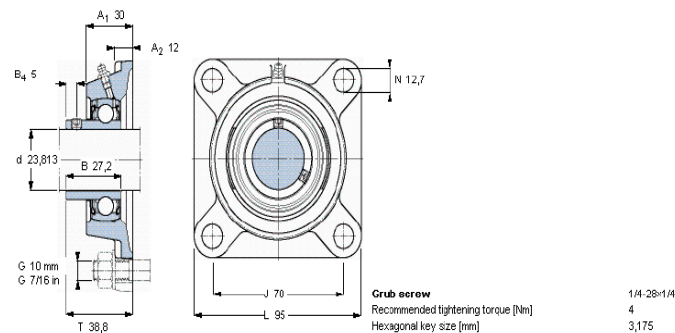
Del catálogo general de SKF seleccionamos el rodamiento FY 1516 RM.

**Figura 6. Información general rodamiento SKF – FY 1516RM.**

Y-bearing flanged units, cast housing, square flange, grub screw locking, inch bearings



Dimensions		Basic load ratings		Limiting speed with shaft tolerance h6	Mass	Designations Bearing unit	Housing	Bearing		
d	A <sub>1</sub>	J	L						T	C
mm					kN	r/min	kg	-		
23,813	30	70	95	38,8	14	7,8	0,75	FY 15/16 RM	FY 505 U	YAT 205-015

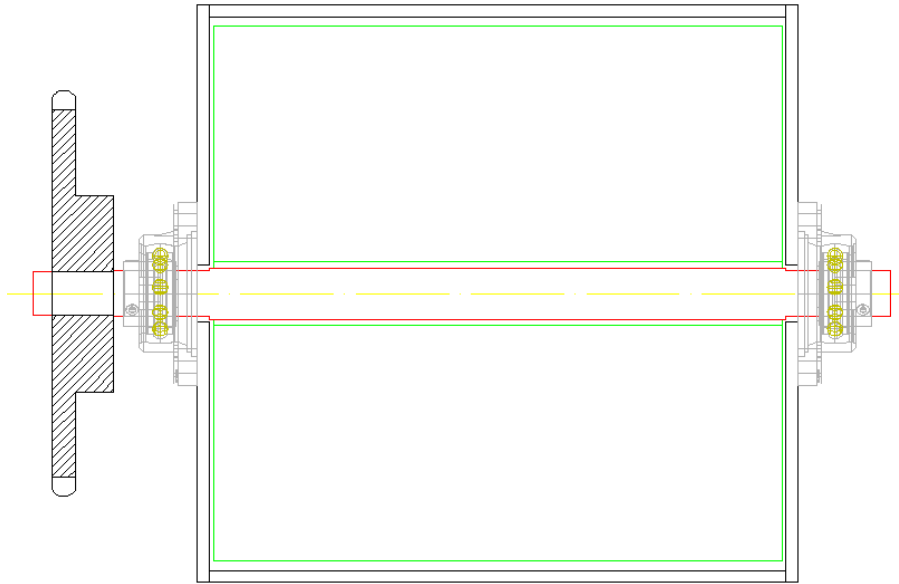


Fuente: SKF Group. [www.skf.com](http://www.skf.com)

### 2.3. Cálculo de la flecha.

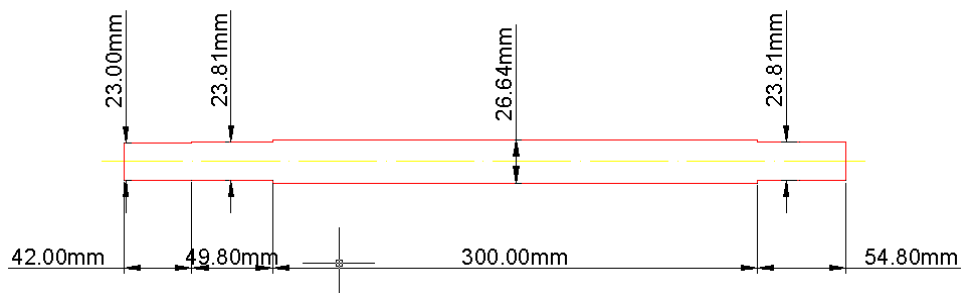
Una vez se ha dimensionado la transmisión y los rodamientos procedemos con la verificación de la flecha por esfuerzos y deformación.

**Figura 7. Conformación general esclusa.**



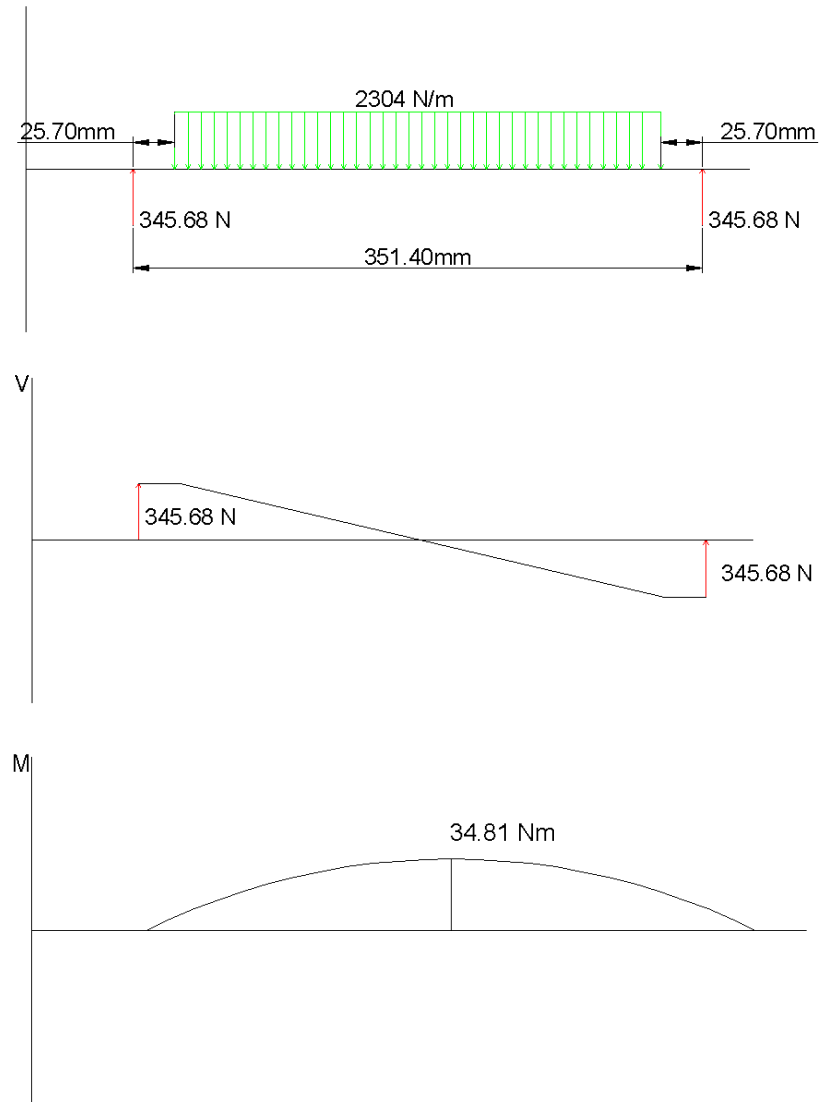
Con base en los requisitos geométricos de los elementos calculados anteriormente, las dimensiones de la flecha son:

**Figura 8. Esquema geométrico de la flecha.**



Procedemos entonces con la verificación por deformación de acuerdo al nivel de carga planteado con anterioridad.

**Figura 9. Diagramas de cargas sobre la flecha.**



Por simplicidad aplicaremos el modelo de una viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida, donde:

$$Y_{max} = -\frac{5\omega l^4}{384EI} = -0.036 \text{ mm}$$

Dónde:

$$\omega = 2304 \text{ N/m}$$

$$l = 0.3 \text{ m}$$

$$E = 207.0 \text{ GPa.}$$

$$I = 2.472 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \quad (d=26.64\text{mm})$$

Se concluye que la deformación es prácticamente nula.

Ahora verificamos por resistencia del material.

Para determinar el torque máximo aplicado a la flecha partimos de la potencia máxima del motor y la velocidad de rotación, de forma que:

$$\text{Potencia} = \text{Torque} \times \omega = Tm * rpm * 2 * \pi$$

$$44742,06 \frac{\text{N.m}}{\text{min}} = Tm * 30 * 2 * \pi$$

$$Tm = \frac{44742,06}{30 * 2 * \pi} = 237.364 \text{ N * m}$$

Para el esfuerzo máximo asumimos que el torque máximo se aplica en la sección transversal de menor diámetro, entonces:

$$\tau = \frac{16 Tm}{\pi d^3} = \frac{16 * 237.364}{\pi * 0.023^3} = 99.35 \text{ MPa.}$$

Ahora verificamos la deformación torsional del eje asumiéndolo como un eje de 300 mm de largo y sección transversal de 23 mm de diámetro.

$$\phi = \frac{T * L}{J * G} = \frac{237.364 * 0.3}{2.74 \times 10^{-8} * 75 \times 10^9} = 0.0345 \text{ rad} \approx 0.21^\circ$$

Queda así verificada la flecha por esfuerzo y deformación, debido a que los niveles de esfuerzo y deformación son demasiado bajos, no vale la pena realizar una simulación de cargas con asistencia CAE.

### 3. Cálculo de los ductos de transporte y selección del ventilador.

#### Datos iniciales:

- Cantidad a transportar ( $Q_R$ ): **30.000** Kg Alm / Día
- Cantidad de diseño ( $Q_D$ ):  $Qd = 1.250$  Kg Alm/H
- Densidad de la almendra ( $\delta$ ):  $0,72$  Toneladas/m<sup>3</sup>.
- Velocidad de sustentación de almendras grandes ( $V_{min}$ ):  $20$  m/seg.
- Densidad media del aire ( $\delta_{aire}$ ):  $1,2$  Kg/m<sup>3</sup>.
- Relación masa aire/producto (**RSA**):  $4,5$ .
- Longitud de diseño de los ductos:  $30$  metros H +  $13$  metros V +  $2$  Codos.
- Longitud equivalente de los ductos: ( $L_{eq}$ ):  $48$  metros.

#### 3.1. Cálculo de ductos, caudal y caída de presión.

Para transportar  $1.250$  Kg Alm/hora con una RSA =  $3,5$ , se requiere un caudal de aire:

$$Q_{m\acute{a}sico} = Qd * RSA = 4.375 \text{ Kg } \frac{\text{Aire}}{\text{Hora}} ;$$

$$Q = Q_{m\acute{a}sico} * (1 / \delta_{aire}) = 3.645 \text{ m}^3 / \text{H.}$$

$$\text{Normalizando; } Q = 3.500 \text{ m}^3 \text{ aire/H.}$$

Entonces:

$$\text{Velocidad en la tubería } V_{tub} = V_{min} = 20 \text{ m/seg.}$$

De lo cual se obtiene que:

$$D^2 = \frac{4 * Q}{\pi * V} = \frac{4 * 0,972}{\pi * 20} = 0,0618$$

$$D = 0,248 \text{ m}$$

Normalizando para evitar el desperdicio de lámina; **D** = 0,25 m.

Ahora se calcula la caída de presión a lo largo de la tubería.

Cálculo del número de Reynolds,

$$Re = V_{tub} * \frac{D}{\nu} = 20 * \frac{0,25}{16,03 \times 10^{-6}} = 311.915$$

Donde  $\nu$  es la viscosidad cinemática del aire a 30° C.

Según el resultado se puede concluir que el régimen es totalmente turbulento, entonces para calcular la caída de presión en la tubería utilizamos la ecuación de Darcy – Weisbach:

$$H_{rp} = \lambda * \frac{L_{eq}}{D} * \frac{V_{tub}^2}{2 * g} = \lambda * \frac{48}{0,25} * \frac{20^2}{2 * 9,81} = 3.914,37 * \lambda$$

Dónde:

$\lambda$  es el coeficiente de fricción.

$L_{eq}$  es la longitud equivalente en metros. (48 metros)

**D** es el diámetro de la tubería. (0,25 metros)

$V_{tub}$  es la velocidad en la tubería. (20 m/seg)

**g** es la gravedad que afecta el sistema. (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Ahora calculamos el coeficiente de fricción  $\lambda$  por medio de la segunda ecuación de Prandtl, según la cual:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 * \log \left[ \frac{D}{2 * K} \right] + 1,74$$

Dónde:

**K** corresponde a la rugosidad del material.

Para nuestro caso tomaremos acero laminado nuevo con **K = 0,03**

Despejando se obtiene:  $\lambda = 0,112$

Por tanto:  $H_{rp} = 3914,37 * \lambda = 438,41$

Ahora para hallar el  $\Delta P$  de la tubería tenemos que:

$$\begin{aligned} H_{rp} * \delta_{aire} * g &= \Delta P = 438,41 \text{ m} * 1,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5.160,96 \frac{\text{Kg} * \text{m}}{\text{s}^2} * \frac{1}{\text{m}^2} \\ &= 5.160,96 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 5.160,96 \text{ Pa} = 526 \text{ mmCA.} \end{aligned}$$

3.2. Cálculo de la potencia del motor:

$$P_{ot} = Q * \Delta P = 3.500 \frac{\text{m}^3}{\text{H}} * 5.160,96 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 18.063,4 \text{ KN} * \frac{\text{m}}{\text{H}} = 18.063 \frac{\text{KJ}}{\text{H}} = 6,72 \text{ HP}$$

Considerando un factor de diseño de 1,5;

**La potencia del motor eléctrico debe ser de 10,0 Hp.**

Nota: La potencia indicada corresponde a la potencia entregada por el ventilador, para determinar la potencia instalada requerida se hace necesario solicitar una cotización oficial de un proveedor especializado.

3.3. Cálculo del ciclón de recepción:

Para el cálculo del ciclón nos basaremos en el diseño de un ciclón tipo Lapple, partiremos calculando la velocidad de descarga del material por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{des} = \sqrt{\delta} * C_2 + A * L_{eq}^2$$

Dónde:

$C_2$  es un coeficiente que depende del tamaño de la partícula, tomaremos 17 según la tabla:

**Tabla 5. Valores del coeficiente  $C_2$**

Material	Tamaño Max. De la part.	$C_2$
Pulverulento	1 a 1000 $\mu\text{m}$	10-16
Granular homogéneo	1- 10 mm	17-20
Homogéneo en trozo pequeños	10 – 20 mm	17-22
Homogéneo en trozos medianos	40 – 80 mm	22-25

Fuente: Memorias de clase, Diseño de máquinas III, Universidad Industrial de Santander, COLOMBIA.

$A$  es un coeficiente entre  $2 \times 10^{-5}$  y  $5 \times 10^{-5}$ , para nuestro caso tomaremos  $5 \times 10^{-5}$ .

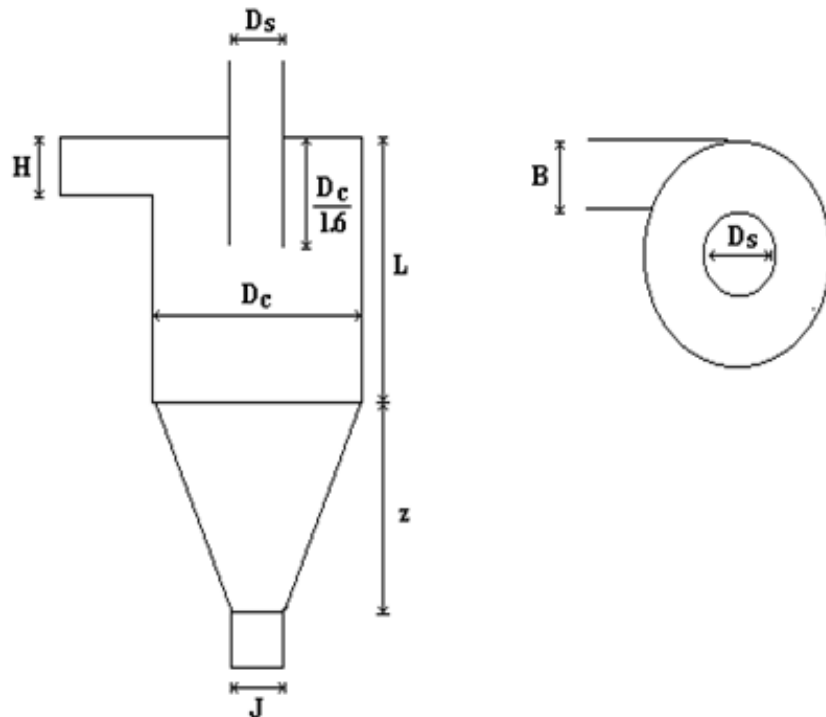
De acuerdo con los datos anteriores tenemos que:

$$V_{des} = \sqrt{0,72 * 17 + 5 \times 10^{-5} * 40^2} = 14,43 \frac{m}{s}$$

$$Area\ de\ entrada = Q/V = 0,972/14,43 = 0,067\ m^2$$

Entonces las dimensiones del ciclón son:

**Figura 10. Geometría básica de un ciclón tipo Lapple**



Fuente: Memorias de clase, Diseño de máquinas III, Universidad Industrial de Santander, COLOMBIA.

**Dimensiones del ciclón (Tipo Lapple):**

*Sección de entrada: Alto = 2 \* Ancho ;  $H = 0,36$  ;  $B = 0,18$*

*Diámetro del ciclón;  $D_c = 4 * Ancho = 0,72$*

*Altura del cuerpo cilíndrico:  $L = 2 * D_c = 1,44$*

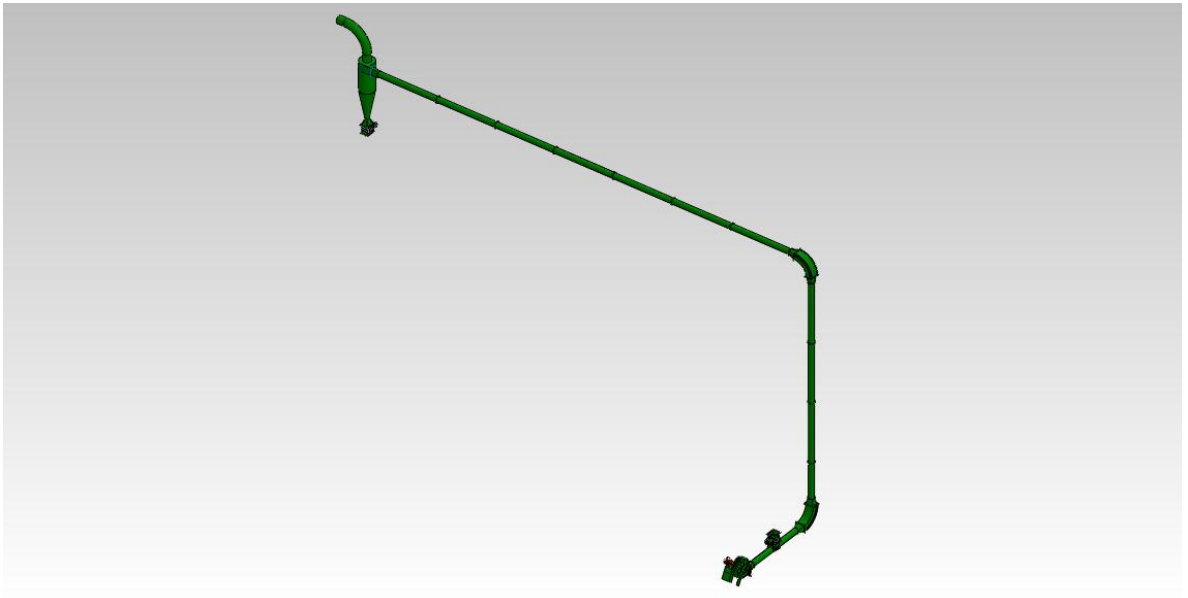
*Altura del cono:  $Z = 2 * D_c = 1,44$*

*Diámetro y altura del vortex:  $D_s = \frac{D_c}{2} = 0,36$  ;  $H_v = \frac{D_c}{1,6} = 0,46$*

*Diámetro de la descarga inferior:  $J = \frac{D_c}{4} = 0,18$*



## Anexo 7. Ensamble General. Transp. Neumático de Almendras.



## **Anexo 8. Memoria de cálculo de transportadores tipo sinfín.**

### **1. Diseño de los transportadores tipo sinfín.**

Este ítem se dedica al diseño de los transportadores tipos sinfín, necesarios en la actividad agroindustrial del aceite de palmiste. Para lo cual se ha tratado de llevar el diseño según las indicaciones de la asociación americana *CEMA* (Conveyor Equipment Manufacturers Association), a la par del libro *Manejo y Transporte de Materiales Aparatos de Transporte Continuo*, del ingeniero Raúl Posso Soto como parte del aseguramiento de la calidad de nuestros cálculos y diseño final.

Para facilitar el diseño de un transportador sinfín, a continuación se anexa un cuadro con las etapas fundamentales de diseño, descripción y ecuaciones que se necesiten para cada ítem.

**Tabla 1 Cuadro paso a paso diseño de transportador sinfín**

ÍTEM	PASO	DESCRIPCION	FORMULA
1	Caracterización del material a transportar, cálculo de capacidad requerida del sistema, y cálculo de la capacidad equivalente del sistema.	Significa la capacidad que se relaciona con factores según los diferentes tipos de diseño existentes en el mercado para ajustarlo a como si fuera el diseño de un transportador de tornillo estándar.	<p>Ecuación para calcular la capacidad requerida en el diseño:</p> $CR = \frac{veloc. transporte}{densidad producto transportado}$ <p>Ecuación para calcular la capacidad equivalente del sistema:</p> $CS = (Capacidad requerida)(Cf1)(Cf2)(Cf3)$ <p>Donde Cf1, Cf2 y Cf3 son factores relacionados con la geometría del tornillo transportador. <sup>(1)</sup></p>
2	Estandarización del diámetro adecuado del sinfín y su velocidad de trabajo según porcentaje de carga nominal de la artesa.	Las diversas cargas al corte transversal mostradas en el ítem 1.2 de capacidades de los transportadores de tornillo sinfín, son para transportadores estandarizados y se emplean donde la operación de transporte está controlada con alimentadores volumétricos o donde el material sea	<p>Para seleccionar uno de los transportadores enlistados, se debe seguir el procedimiento descrito a continuación: <sup>(2)</sup></p> <p>Buscamos en la columna de "Capacidad a máximas rpm", aquel valor mayor o igual al de la "Capacidad real" anteriormente calculada, y en esa fila obtendremos el diámetro del Sinfín recomendado.</p>

ÍTEM	PASO	DESCRIPCION	FORMULA
		uniformemente alimentado a la cubierta del transportador y descargado de él (carga uniforme).	<p>Una vez obtenida la capacidad real del material (en pie<sup>3</sup> / h), para transportadores de Tornillo Sinfín con helicoidales que tengan espirales de paso estándar, la velocidad del transportador puede ser calculada de la siguiente manera:</p> $N = \frac{CAPACIDAD\ REAL}{CAPACIDAD\ A\ 1rpm}$
3	Estandarización del diámetro del transportador sinfín según limitaciones del tamaño del material a transportar.	El tamaño de un transportador de tornillo no sólo depende de la capacidad requerida, sino también en el tamaño y la proporción del grumo del material que se quiera transportar. El tamaño de un grumo es la dimensión máxima que tiene. Si un grumo tiene una dimensión mucho más larga que su sección transversal, el largo o la longitud la determina el tamaño del grumo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Clase 1: Una mezcla de grumos y partículas finas en las que no más del 10% son masas que van desde el tamaño máximo a la mitad del máximo, y 90% son pequeños trozos menores a la mitad del tamaño máximo.</li> <li>•Clase 2: Una mezcla de grumos y partículas finas en las que no más del 25% son masas que van desde el tamaño máximo a la mitad de la máxima; y el 75% son pequeños trozos de la mitad del tamaño máximo.</li> <li>•Clase 3: Una mezcla de masas única en el que el 95% o más de los grumos van desde el tamaño máximo a la mitad del tamaño máximo y el 5% o menos son grumos menor de una décima parte del tamaño máximo.</li> </ul>

ÍTEM	PASO	DESCRIPCION	FORMULA
			<p>El procedimiento para hallar el diámetro acorde según el tamaño del material, comienza categorizándolo según los 3 tipos de clase que describe la norma CEMA, y ubicándose en la tabla según el máximo tamaño a encontrar en el material a transportar, ubicamos el diámetro adecuado del sinfín y el diámetro externo de la viga soporte del transportador, como la distancia de separación entre el ducto transportador y el fondo de la artesa. <sup>(3)</sup></p>
4	Evaluación de la deflexión del sinfín.	<p>Cuando se utilicen secciones del Sinfín de tamaño estándar, la deflexión no es un problema. No obstante Cuando sea necesario utilizar secciones más largas que los estándares y sin usar colgantes intermedios, hay que tener cuidado que por efecto de una deflexión excesiva, el volado del Sinfín haga contacto o roce con el fondo de la artesa, ya que ocasionaría un gran desgaste en ambas piezas.</p>	<p>La deflexión en la longitud media de un Sinfín puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:</p> $D = \frac{5 * W * L^3}{384 * E * I}$ <p>Dónde:</p> <p>D: La deflexión en la longitud media de un Sinfín (pulg)</p> <p>W: Peso total del helicoide (lbs).</p> <p>L: Longitud del helicoide (pulg).</p> <p>I: Momento de inercia del tubo (pulg<sup>4</sup>).</p> <p>E: Módulo de elasticidad del material del Sinfín (psi).</p>

ÍTEM	PASO	DESCRIPCION	FORMULA
5	Análisis por expansión térmica.	<p>Los transportadores de Tornillo Sinfín en ocasiones se emplean para transportar materiales calientes, lo cual provocará en este una expansión térmica. A medida que se transporta el material caliente, aumenta la temperatura en el transportador, haciendo que el tamaño del Sinfín y de la artesa se incremente y cause un aplastamiento o deformación permanente en sus componentes.</p>	<p>El cambio en la longitud del transportador helicoidal puede ser calculado con la siguiente fórmula:</p> $DL = L * (T1 - T2) * C$ <p>Dónde:</p> <p>DL: Incremento en el cambio de longitud (pulg)  L: Longitud total del transportador (pulg)  T1: Límite superior de temperatura (°F)  T2: Límite inferior de temperatura (°F) (mínima temperatura ambiente esperada)  C: Coeficiente de expansión lineal (1 / °F)</p>
6	Calculo de potencia de motor exigida por el transportador.	<p>La potencia requerida para operar un transportador de Tornillo Sinfín horizontal se basa en la configuración y carga uniforme del mismo.</p> <p>Los factores siguientes determinan el requisito de potencia de un transportador Sinfín que opera bajo estas condiciones:</p>	<p>Los requisitos de potencia (HP) son la suma total de la potencia necesaria para superar la fricción (HPf) de los componentes transportadores y potencia requerida para transportar el material (HPm) multiplicado por el factor de sobrecarga de potencia (Fo) y dividido por factor de eficiencia de la transmisión seleccionada (et), expresado de la siguiente manera:</p>

ÍTEM	PASO	DESCRIPCION	FORMULA
		<p>CS: Capacidad real en pie<sup>3</sup> / h</p> <p>et: Factor de eficiencia de la transmisión.</p> <p>Fb: Factor de rodamiento intermedio. <sup>(4)</sup></p> <p>Fd: Factor de diámetro del Sinfín. <sup>(5)</sup></p> <p>Ff: Factor de helicoidal del Sinfín. <sup>(6)</sup></p> <p>Fm: Factor de Material.</p> <p>Fp: Factor de paletas del Sinfín. <sup>(7)</sup></p> <p>Fo: Factor de sobrecarga. <sup>(8)</sup></p> <p>L: Longitud Total del Sinfín (pie).</p> <p>N: velocidad (rpm).</p> <p>W: Peso de material (pulg / pie<sup>3</sup>).</p> <p>HPf: Potencia para operar en vacío.</p> <p>HPm: Potencia para mover el material en plano horizontal (Hp).</p>	$HPf = \frac{Fd * Fb * L * N}{1'000.000}$ $HPm = \frac{Ff * Fp * L * Fm * W * C}{1'000.000}$ $HP = HPf + HPm$ <p>Un factor de sobrecarga Fo es utilizado para corregir la potencia calculada HP si esta es menor que 5. Este factor es utilizado para prevenir cualquier sobrecarga en motores pequeños (menores a 5 hp):</p> $HP = \frac{(HPf + HPm) * Fo}{et}$

ÍTEM	PASO	DESCRIPCION	FORMULA
		<p>HPlift: Potencia para mover el material en plano inclinado (Hp).  H: Altura de inclinación (pies).  HP: Potencia total (Hp).</p>	
7	Calculo de torque crítico de diseño.	<p>Los transportadores de Tornillo Sinfín están limitados en su diseño global por la cantidad de torque que puede ser transmitido con seguridad a través de los tubos, ejes y pernos para ensamblar.</p>	<p>En la tabla del ítem <sup>(9)</sup> se combina los diversos rangos de torsión admisible en tubos, ejes y tornillos de ensamble para facilitar la comparación de rangos de torque de las partes del Sinfín estándar sometidas a esfuerzos. Cada fila de esta tabla corresponde a un juego de ejes, tubos y pernos de acoplamiento satisfactorios para la carga dada.</p> <p>Con el torque calculado, buscamos fila por fila en la Tabla, comparando el torque calculado con los rangos de torque para tubos, ejes y tornillos de acople, hasta encontrar que estos rangos sean mayores o iguales al torque calculado. Así pues el rango de torsión más pequeño para cualquier componente será el que determine cuanto torque puede ser transmitido con seguridad.</p> <p>Las múltiples perforaciones en el tubo del transportador helicoidal y en los ejes son para acoplar los tramos de Sinfines a los ejes</p>

ÍTEM	PASO	DESCRIPCION	FORMULA
			<p>conectores, así pues se tienen de 2 y de 3 perforaciones por extremo de cada tramo de Sinfín, según las exigencias de torque en el diseño.</p> <p>Cuando el torque transmitido es mayor que el tamaño del tubo, debe usarse un tubo más grande o uno de pared más gruesa.</p>

(1) [Anexo 1.1. Factores relacionados con la geometría del tornillo.](#)

(2) [Anexo 1.2. Figura ilustrativa de porcentajes de carga para obtención de la velocidad estándar.](#)

(3) [Anexo 1.3. Figura ilustrativa de la verificación del diámetro nominal del Screw por el tamaño del material a transportar.](#)

(4) (5) (6) (7) (8) [Anexo 1.4 Factores que intervienen en la obtención del cálculo de la potencia requerida del sistema.](#)

(9) Anexo 1.5 Análisis de carga torsional de tubería soporte y pernos de acuerdo a estándares permitidos según norma CEMA 1018.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Tabla de diseño típico de transportadores sinfín, extraído de la norma C-350 CEMA

### 1.1 Factores relacionados con la geometría del tornillo.

- CF1: Factor que hace referencia a la distancia de separación entre alas del transportador.<sup>13</sup>

**Tabla 2. Factor de capacidad diametral del transportador**

PITCH	DESCRIPCIÓN	CF1
ESTANDAR	Pitch= Diámetro del sinfín	1,00
CORTO	Pitch= 2/3* Diámetro del sinfín	1,50
MEDIO	Pitch= 1/2* Diámetro del sinfín	2,00
LARGO	Pitch= 1 1/2* Diámetro del sinfín	0,67

- CF2: Referente a la capacidad de carga del transportador con respecto al diseño del ala.<sup>14</sup>

**Tabla 3. Factor De Capacidad Del Ala Del Transportador**


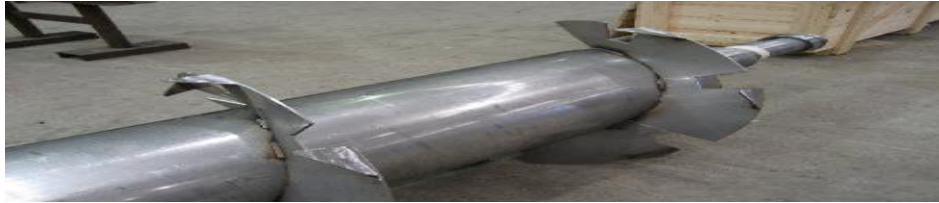
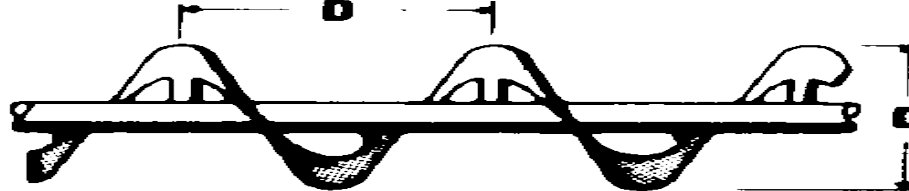
TIPO DE ALA	% CARGA TRANSPORTADA		
	15%	30%	45%
ALA RECORTADA EN SUS PUNTAS -CUT FLIGHT-	1,95	1,57	1,43
ALA RECORTADA Y PLEGADA EN SUS PUNTAS -CUT & FOLDED FLIGHT-	N.R	3,75	2,54
ALA RECORTADA EN SU CENTRO SOPORTADA POR CINTA -RIBBON FLIGHT-	1,04	1,37	1,62

N.R: no recomendada

<sup>13</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-18

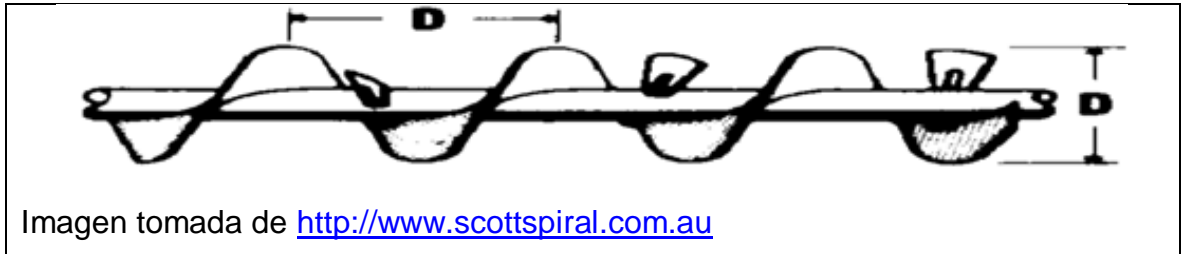
<sup>14</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-18

**Tabla 3. Descripción de los distintos tipos de screw existentes.**

TIPO DE SCREW	IDENTIFICACION VISUAL.
<p>ALA RECORTADA: Tiene en la periferia del ala del tornillo una muesca para complementar la acción de comunicar con una acción de mezcla moderada.</p>	 <p>Imagen tomada de <a href="http://www.scottspiral.com.au">http://www.scottspiral.com.au</a></p>
<p>ALA RECORTADA Y PLEGADA: Dispone en la periferia del ala un doblez que ayuda al arrastre de materiales con viscosidad media-alta, a su vez del recorte o muesca detallada en el ítem anterior.</p>	 <p>Imagen tomada de <a href="http://www.screwflights.com.au">http://www.screwflights.com.au</a></p>
<p>ALA CON SOPORTE UNICO EN CINTA: Tipo de ala recortada en su centro con único soporte cada tanto. Son excelentes para los materiales viscoso o pegajoso, donde la brecha entre el tornillo y el tubo previene la acumulación de material.</p>	 <p>Imagen tomada de <a href="http://www.scottspiral.com.au">http://www.scottspiral.com.au</a></p>

- CF3: Hace referencia a diseños especiales con paletas que se categorizan según la cantidad por paso diametral de su construcción. <sup>15</sup>





**Tabla 4. Transportador Sinfín Especiales –Con Paletas-**



	PALETAS POR PASO DIAMETRAL				
	Nada	1	2	3	4
Factor CF3	1.0	1.08	1.16	1.24	1.32

<sup>15</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-18

1.2 Figura ilustrativa de porcentajes de carga para obtención de la velocidad estándar.<sup>16</sup>

	Trough Loading	Screw Dia. Inch	Capacity Cubic Feet Per Hour (Full Pitch)		Max. RPM
			At One RPM	At Max RPM	
<b>45%</b>		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
	30	323.00	29070	90	
<b>30% A</b>		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
	30	216.00	12960	60	
<b>30% B</b>		4	0.41	29	72
		6	1.49	90	60
		9	5.45	300	55
		10	7.60	418	55
		12	12.90	645	50
		14	20.80	1040	50
		16	31.20	1400	45
		18	45.00	2025	45
		20	62.80	2500	40
		24	109.00	4360	40
	30	216.00	7560	35	
<b>15%</b>		4	0.21	15	72
		6	0.75	45	60
		9	2.72	150	55
		10	3.80	210	55
		12	6.40	325	50
		14	10.40	520	50
		16	15.60	700	45
		18	22.50	1010	45
		20	31.20	1250	40
		24	54.60	2180	40
	30	108.00	3780	35	

<sup>16</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-19

**Figura ilustrativa para verificación del diámetro nominal del SCREW por el tamaño del material a transportar.<sup>17</sup>**

Maximum Lump Size Table					
Screw Diameter Inches	Pipe *O.D. Inches	Radial Clearance Inches Δ	Class I 10% Lumps Max. Lump, Inch	Class II 25% Lumps Max. Lump, Inch	Class III 95% Lumps Max. Lump, Inch
6	2½	2⅞	1¼	¾	½
9	2½	3⅞	2¼	1½	¾
9	2½	3⅞	2¼	1½	¾
12	2½	5⅞	2¼	2	1
12	3½	4¼	2¼	2	1
12	4	4¼	2¼	2	1
14	3½	5¼	3¼	2½	1¼
14	4	5¼	2½	1¼	1¼
16	4	6¼	3¼	2¼	1½
16	4½	6¼	3¼	2¼	1½
18	4	7¼	4¼	3	1¼
18	4½	7¼	4¼	3	1¼
20	4	8¼	4¼	3¼	2
20	4½	8¼	4¼	3¼	2
24	4½	10¼	6	3¼	2½
30	4½	13¼	8	5	3

\*For special pipe sizes, consult factory.

ΔRadial clearance is the distance between the bottom of the trough and the bottom of the conveyor pipe.

<sup>17</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-20

### 1.3 Figuras ilustrativas y tablas de factores que intervienen en el cálculo de la potencia necesaria en el transportador sinfín.

#### 1.3.1 Factor de rodamiento intermedio. $F_b$ <sup>18</sup>

**Tabla 5. Factor por tipo de rodamiento en los soportes.**

TIPO DE RODAMIENTO	Fb
BOLAS	1.0
BRONCE	2.0
BRONCE – GRAFITO. MELANINA. ACEITE IMPREGNADO EN BRONCE. ACEITE IMPREGNADO EN MADERA. NYLATRON. NYLON. TEFLON. UHMW.	2.0
HIERRO FUERTE. CERAMICO. ESTELITA	4.4

#### 1.3.2 Factor diámetro nominal del sinfín. $F_d$ <sup>19</sup>

**Tabla 6. Factor Por Diametro Del Sinfín**

DIAMETRO SINFÍN (pulg.)	FACTOR $F_d$	DIAMETRO SINFÍN (pulg.)	FACTOR $F_d$
4	12	14	78
6	18	16	106
9	31	18	135
10	37	20	165
12	55	24	235

<sup>18</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-24

<sup>19</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-24

1.3.3 Factor de forma del tipo de helicoidal, según porcentaje de carga transversal diseñada.  $F_f$  <sup>20</sup>

**Tabla 7. Factor de forma según tipo helice.**

TIPO DE ALA DEL SINFÍN	FACTOR SEGÚN PORCENTAJE DE CARGA TRANSVERSAL DEL TRANSPORTADOR – $F_f$ -			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.0	1.0	1.0	1.0
Ala recortada	1.1	1.15	1.2	1.3
Ala recortada y plegada	N.R*	1.5	1.7	2.2
Ala con soporte único en “cinta”	1.05	1.14	1.2	-
	* NO RECOMENDADO			

1.3.4 Factor según el número de paletas que disponga el screw por paso diametral.  $F_p$  <sup>21</sup>

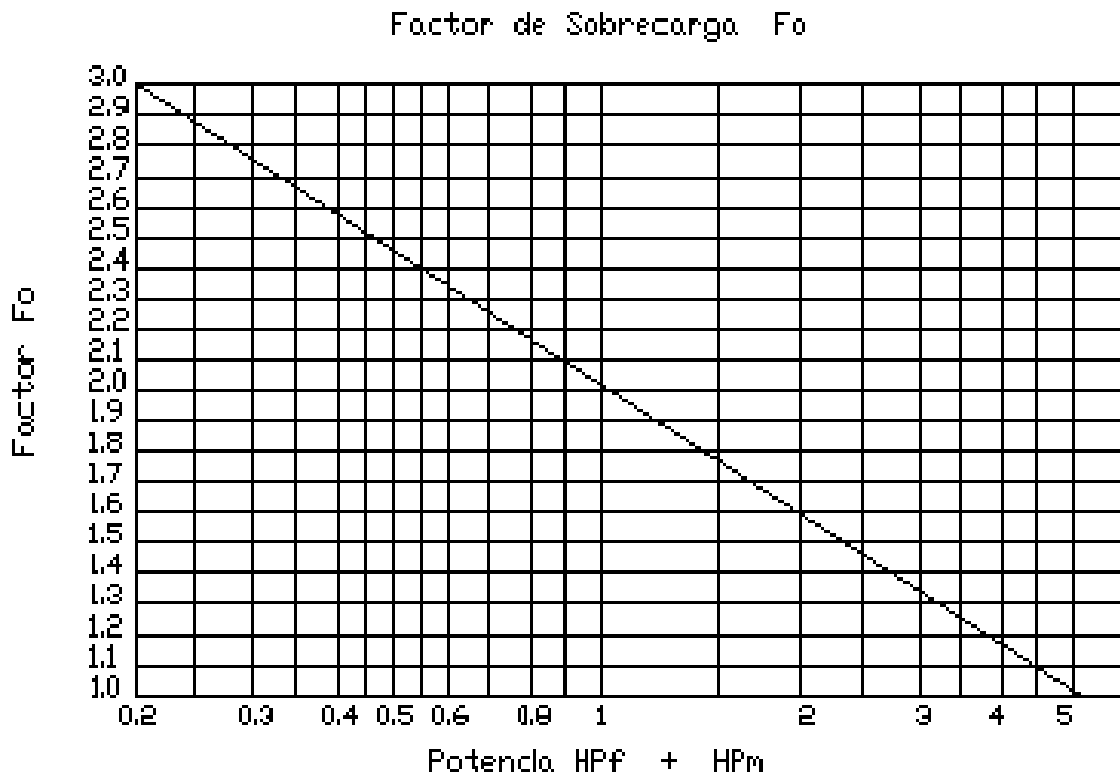
**Tabla 8. Factor por paletas en el diseño**

Paletas a espacio estándar por pitch.					
Numero de paletas por PITCH	0	1	2	3	4
$F_p$	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

<sup>20</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-25

<sup>21</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-25

1.3.5 Figura ilustrativa para la obtención del factor de sobrecarga.  $F_o$  <sup>22</sup>



**1.4 Análisis de carga torsional de tubería soporte y pernos de acuerdo a estándares permitidos según norma CEMA 1018.**

El torque transmitido en los acoplamientos entre ejes y los pernos sujetadores de estos acoples está calculado al máximo de su capacidad en la tabla que se presenta a continuación. Siendo esta importante para comparar con el torque que debe ser transmitido a la potencia efectiva hallada. <sup>23</sup>

<sup>22</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-25

<sup>23</sup> SCREW CONVEYOR DESIGN PROCEDURE, Martins Sprocket and Gear INC. (<http://www.martinsprocket.com/>), p. H-27

Coupling	Pipe		Couplings		Bolts				
	Sch. 40		Torque in Lbs.*		Bolt Dia. In.	Bolts in Shear in Lbs. ▲		Bolts in Bearing in Lbs.	
	Shaft Dia. In.	Size In.				Torque In. Lbs.	No. of Bolts Used		No. of Bolts Used
			CEMA Std. (C-1018)	<i>Martin</i> Std. (C-1045)			2	3	2
1	1½	3,140	<u>820</u> **	999	¾	1,380	2,070	1,970	2,955
1½	2	7,500	<u>3,070</u> **	3,727	½	3,660	5,490	5,000	7,500
2	2½	14,250	<u>7,600</u> **	9,233	¾	7,600	11,400	7,860	11,790
2½	3	23,100	15,090	18,247	¾	<u>9,270</u> **	13,900	11,640	17,460
3	3½	32,100	28,370	34,427	¾	16,400	24,600	<u>15,540</u> **	23,310
3	4	43,000	28,370	34,427	¾	<u>16,400</u> **	24,600	25,000	37,500
3½	4	43,300	42,550	51,568	¾	25,600	38,400	<u>21,800</u> **	32,700

## 2 Memoria de cálculo de transportadores sinfín.

Los transportadores sinfín requeridos en el proceso del aceite de palmiste, son los utilizados para el transporte de almendra, crudo y torta en su respectivo orden dentro del diagrama de flujo del proceso. Para su diseño, se empleara los pasos reseñados en el comienzo de este anexo, que se integraran en una tabla con los resultados de los cálculos o la selección según sea su caso.

### 2.1 Caracterización del material a transportar, cálculo de capacidad requerida del sistema, y cálculo de la capacidad equivalente del sistema.

Calculada según la ecuación de la tabla 1, ítem 1.

Ejemplo del cálculo realizado:

Tomamos como ejemplo el cálculo para el transportador sinfín de almendra.

- La velocidad máxima de nuestro diseño va a ser 30 TON/día, que según estadísticas de producción anual del cultivo sería para la cosecha entre los meses de marzo y abril. Recordando también que el proceso productivo se realiza las 24 horas de lunes a sábado, dejando el día domingo para las labores de ingeniería de mantenimiento.
- La densidad promedio según *MANUAL WAMBECK* para la almendra es de 0,653 TON/m<sup>3</sup>.<sup>24</sup>

$$CR = \frac{1.25 \frac{TON}{HORA}}{0.653 \frac{TON}{M^3}}$$

$$CR = 1.914 \frac{M^3}{HORA}$$

$$CR = 67.6 \frac{ft^3}{HORA}$$

Conociendo la capacidad requerida (pie<sup>3</sup>/h), calculamos la capacidad real o equivalente (CS):

- Según el capítulo 1 de este anexo, se escoge los factores de ajuste según las diferentes características de diseño posible, para este diseño se escoge, para todos los transportadores sinfín, condiciones estándar (referente a factores 1,0).

$$CS = 67.6 * (1.0) * (1.0) * (1.0)$$

$$CS = 67.6 \frac{ft^3}{hora}$$

---

<sup>24</sup> MANUAL WAMBECK "Sinopsis del proceso de la palma de aceite". Fedepalma, p. 19, cap. 10

**Tabla 9. Resultados de cálculos típicos, caracterización del material a transportar.**

<b>USO SINFÍN</b>	<b>DENSIDAD (TON/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CAPACIDAD REQUERIDA EN EL SISTEMA (ft<sup>3</sup>/hora)</b>	<b>CAPACIDAD EQUIVALENTE A DISEÑO DE SINFÍN ESTANDAR (ft<sup>3</sup>/hora)</b>
ALMENDRA (1,25 TON/h)	0,653	67,6	67,6
CRUDO 47% en peso (0,587 TON/h)	0,900	23,03	23,03
TORTA 53% en peso (0,663 TON/h)	0,650	36,02	36,02

Difiere en el cálculo de diseño, la densidad de cada producto, y la capacidad requerida que para extracción por tornillo sería de 47% de crudo y el resto en torta con un 6% de aceite de palmiste residual, desprendiéndose de ahí el análisis individual de la respectiva necesidad de transporte.

**2.2 Estandarización del diámetro adecuado del sinfín y su velocidad de trabajo según porcentaje de carga nominal de la artesa.**

Según la figura del capítulo 1.2 y siguiendo los pasos descritos en el ítem 2 de la tabla 1 del capítulo 1, se normaliza por velocidad de trabajo los sinfines necesarios en este proyecto a las siguientes condiciones:

**Tabla 10. Resultados de cálculos típicos, estandarización del diámetro y velocidad de trabajo según porcentaje de carga en artesa.**

	% carga artesa	Cap. Real /max. Rpm	Diámetro normalizado artesa	Velocidad del transportador (rpm aprox.)
<b>Almendra</b>	15%	150 ft <sup>3</sup> /h	9"	25
<b>Crudo</b>	15%	45 ft <sup>3</sup> /h	6"	31
<b>Torta</b>	15%	45 ft <sup>3</sup> /h	6"	48

### 2.3 Estandarización del diámetro del transportador sinfín según limitaciones del tamaño del material a transportar.

Según las características físicas visuales de los tres materiales a transportar, se cataloga la almendra como clase III, el crudo como clase I y torta como clase III, de acuerdo a la figura del capítulo 1.3 de este anexo.

#### 2.3.1 Almendra.

El tamaño promedio de la almendra del fruto de la palma es de 1", ya con este dato según la figura del capítulo 1.3 de este anexo, el diámetro de la artesa y del diámetro por tamaño del material a transportar queda en la siguiente forma:

**TABLA 2.3.1 Estandarización datos típicos según el tamaño promedio del material a transportar.**

Diámetro SCREW CONVEYOR	OD-tubería soporte-	Distancia de separación entre extremo tubería de soporte a artesa.	Tamaño máximo del 95% de las partículas.
12 pulg.	$2\frac{7}{8}$ pulg.	$5\frac{1}{16}$ pulg	1 pulg.

### 2.3.2 Crudo.

El crudo es en su mayor parte un líquido viscoso con impurezas que no superan un tamaño de 1" y estas son menos del 10% del crudo a transportar (clase I).

**TABLA 2.3.2 Estandarización datos típicos según el tamaño promedio del material a transportar.**

Diámetro SCREW CONVEYOR	OD-tubería soporte-	Distancia de separación entre extremo tubería de soporte a artesa.	Tamaño máximo del 10% de las partículas.
6 pulg.	$2\frac{3}{8}$ pulg.	$2\frac{5}{16}$ pulg	$1\frac{1}{4}$ pulg

### 2.3.3 Torta.

La torta por ser la acumulación del desecho del prensado con poca acumulación de aceite, puede llegar a formar tamaños grandes pero frágiles o fácilmente quebradizos al transportarlos. Tomaremos como promedio del tamaño  $1\frac{1}{4}$  pulg.

**Tabla 2.3.3 Estandarización datos típicos según el tamaño promedio del material a transportar.**

Diámetro SCREW CONVEYOR	OD-tubería soporte-	Distancia de separación entre extremo tubería de soporte a artesa.	Tamaño máximo del 95% de las partículas.
14 pulg.	$3\frac{1}{2}$ pulg.	$5\frac{3}{4}$ pulg.	$1\frac{1}{4}$ pulg

Nota: Las medidas típicas (diámetro screw, diámetro tubería soporte, entre otras.) se escoge las máximas medidas recomendadas entre los ítems 2.2 y 2.3.

## 2.4 Evaluación de la deflexión del sinfín.

El resultado de la deflexión del sinfín nos determinará la distancia máxima permitida de separación entre apoyos para que la deflexión del sinfín no supere la holgura de  $\frac{1}{2}$ " que se deja entre artesa y tornillo.

### 2.4.1 Almendra.

Datos básicos:

- Diámetro del screw: 12"
- Diámetro exterior del tubo: 2 7/8"
- Módulo de elasticidad del acero estructural: 2E+11 GPa
- Densidad del acero: 7850 Kg/m<sup>3</sup> (0,28 Lb/in<sup>3</sup>)

La siguiente tabla resume los cálculos necesarios e identifica la mínima distancia requerida entre apoyos que no excede la holgura máxima, tanto para sch40 y sch80.

**TABLA 2.4.1 Deflexión de tubería soporte, a distintas luces.**

Momento de inercia I (Pipe sch40 2,5")			6,36834E-07	
Longitud (mL)	carga N/mt	E*I (N/m <sup>2</sup> )	desviación (pulg)	Cumple condición
6	110,6	127366,82	0,57674	NO
5	110,6	127366,82	0,27813	SI
4	110,6	127366,82	0,11392	SI
3	110,6	127366,82	0,03605	SI
2	110,6	127366,82	0,00712	SI

Momento de inercia I (Pipe sch80 2,5")			7,99164E-07	
longitud	carga N/mt	E*I (N/m2)	desviación (pulg)	Cumple condición
6	110,6	159832,87	0,45959	SI
5	110,6	159832,87	0,22164	SI
4	110,6	159832,87	0,09078	SI
3	110,6	159832,87	0,02872	SI
2	110,6	159832,87	0,00567	SI

#### 2.4.2 Crudo.

Datos básicos:

- Diámetro del screw: 6"
- Diámetro exterior del tubo: 2 3/8"
- Módulo de elasticidad del acero estructural: 2E+11 GPa
- Densidad del acero: 7850 Kg/m<sup>3</sup> (0,28 Lb/in<sup>3</sup>)

La siguiente tabla resume los cálculos necesarios e identifica la mínima distancia requerida entre apoyos que no excede la holgura máxima.

Nota. Solo se informa resultados para pipe sch40, por cumplir condiciones a cualquier tramo.

**Tabla 2.4.2 Deflexión de tubería soporte, a distintas luces.**

Momento de inercia I (Pipe sch40 2")			2,7721E-07	
Longitud (mL)	carga N/mt	E*I (N/m2)	desviación (pulg)	Cumple condición
6	24,7	55442,03	0,29635	SI
5	24,7	55442,03	0,14291	SI
4	24,7	55442,03	0,05854	SI
3	24,7	55442,03	0,01852	SI
2	24,7	55442,03	0,00366	SI

### 2.4.3 Tarta.

Datos básicos:

- Diámetro del screw: 14”
- Diámetro exterior del tubo: 3 1/2”
- Módulo de elasticidad del acero estructural: 2E+11 GPa
- Densidad del acero: 7850 Kg/m<sup>3</sup> (0,28 Lb/in<sup>3</sup>)

La siguiente tabla resume los cálculos necesarios e identifica la mínima distancia requerida entre apoyos que no excede la holgura máxima.

Nota. Solo se informa resultados para pipe sch40, por cumplir condiciones a cualquier tramo.

**Tabla 2.4.3 Deflexión de tubería soporte, a distintas luces.**

Momento de inercia I (Pipe sch40 3")			1,25702E-06	
Longitud (mL)	Carga N/mt	E*I (N/m <sup>2</sup> )	Desviación (pulg)	Cumple condición
6	119,7	251403,78	0,31644	SI
5	119,7	251403,78	0,15260	SI
4	119,7	251403,78	0,06251	SI
3	119,7	251403,78	0,01978	SI
2	119,8	251403,78	0,00391	SI

Queda entonces esta información general, adaptarla a la condición de diseño que se necesite en campo, como las distancias requeridas de transporte de cada material, y la condición técnico-económica que disponga el ingeniero de proyectos a cargo.

## 2.5 Análisis por expansión térmica.

El análisis del fenómeno de expansión térmica del acero al carbono, material con el cual se recomienda por su economía y por sus excelentes propiedades mecánicas para este diseño, se efectúa de acuerdo a la ecuación de la tabla 1, ítem 5, de este anexo.

$$\Delta L = L * (T1 - T2) * C$$

Del cual, el rango de temperatura más alto que se puede encontrar en los 3 materiales a transportar (almendra, crudo y torta), se encuentra justo después de los productos que surgen del prensado (crudo y torta), precisamente por el fuerte aplastamiento que ocurre en esta etapa; En el cual según datos de campo la temperatura suele llegar hasta los 80°C, y la mínima es la temperatura ambiente que en este caso se toma en 25°C.

El coeficiente de expansión térmica del acero al carbón es de  $12,8 \cdot 10^{-6}$  (1/°F).  
Queda entonces:

$$\frac{\Delta L}{L} = (176 - 77)^{\circ}F * (12,8 * 10^{-6}) 1/^{\circ}F$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1,2 \text{ mm}}{1 \text{ mt}}$$

Siendo entonces, que de cada un metro de este diseño, al transportar material a la temperatura más alta (80°C), el material se dilatara 1,2 milímetros.

Con este dato queda entonces recomendar espaciamiento en las uniones de las vigas soporte del tornillo sinfín con capacidad de absorber la máxima dilatación y en el extremo que une a la caja motriz una junta de dilatación.

## 2.6 Cálculo de potencia de motor exigida por el transportador.

Para el cálculo de la potencia del motor de cada transportador, se divide este análisis en la potencia necesaria a las condiciones iniciales escogidas del diseño de cada transportador, como lo es, el porcentaje de carga en la artesa. Y el análisis de potencia necesaria para movilizar el tornillo sinfín a plena carga, sopesando acumulación de material en estos, ya sea por falla en la coordinación en la apertura de compuertas de descarga, previniendo de esta manera intervención humana en este proceso, que puede ser un factor de riesgo importante mitigado. Para ello se utiliza la carta de diseño para artesa con 95% de material<sup>25</sup>, hallando en ella la capacidad (ft<sup>3</sup>/h) a la velocidad de diseño y con ello recalculan el caballaje necesario en cada unidad motriz, siendo este en últimas el que define las características de la unidad a adquirir.

### 2.6.1 Cálculo de potencia para capacidad máxima 15% de artesa.

Se anexa la tabla de cálculo de potencia para el porcentaje de carga indicado, de acuerdo a los factores explicados en el capítulo 1.4.5 de este anexo.

#### 2.6.1.1 Transportador sinfín para almendra.

ALMENDRA				
	L= 39,37 ft	Fd=55	Ff=1,0	W= 40,76 Lb/ft <sup>3</sup>
	N= 25 rpm	Fb=2.0	Fp= 1,0	C= 67,6 ft <sup>3</sup> /h
HPf	0,11 hp			
HPm	0,271 hp			
(HPf + HPm)*Fo	(0,381)*2,65= 1 hp			

<sup>25</sup> Manejo y Transporte de Materiales, Raul Posso, pag. 144.

### 2.6.1.2 Transportador sinfín para crudo.

CRUDO				
	L= 32,81 ft	Fd= 18	Ff=1,0	W= 56,18 Lb/ft <sup>3</sup>
	N= 31 rpm	Fb=2.0	Fp= 1,0	C= 23,03 ft <sup>3</sup> /h
HPf	0,05 hp			
HPm	0,04 hp			
(HPf + HPm)*Fo	(0,09)*3= 0,3 hp			

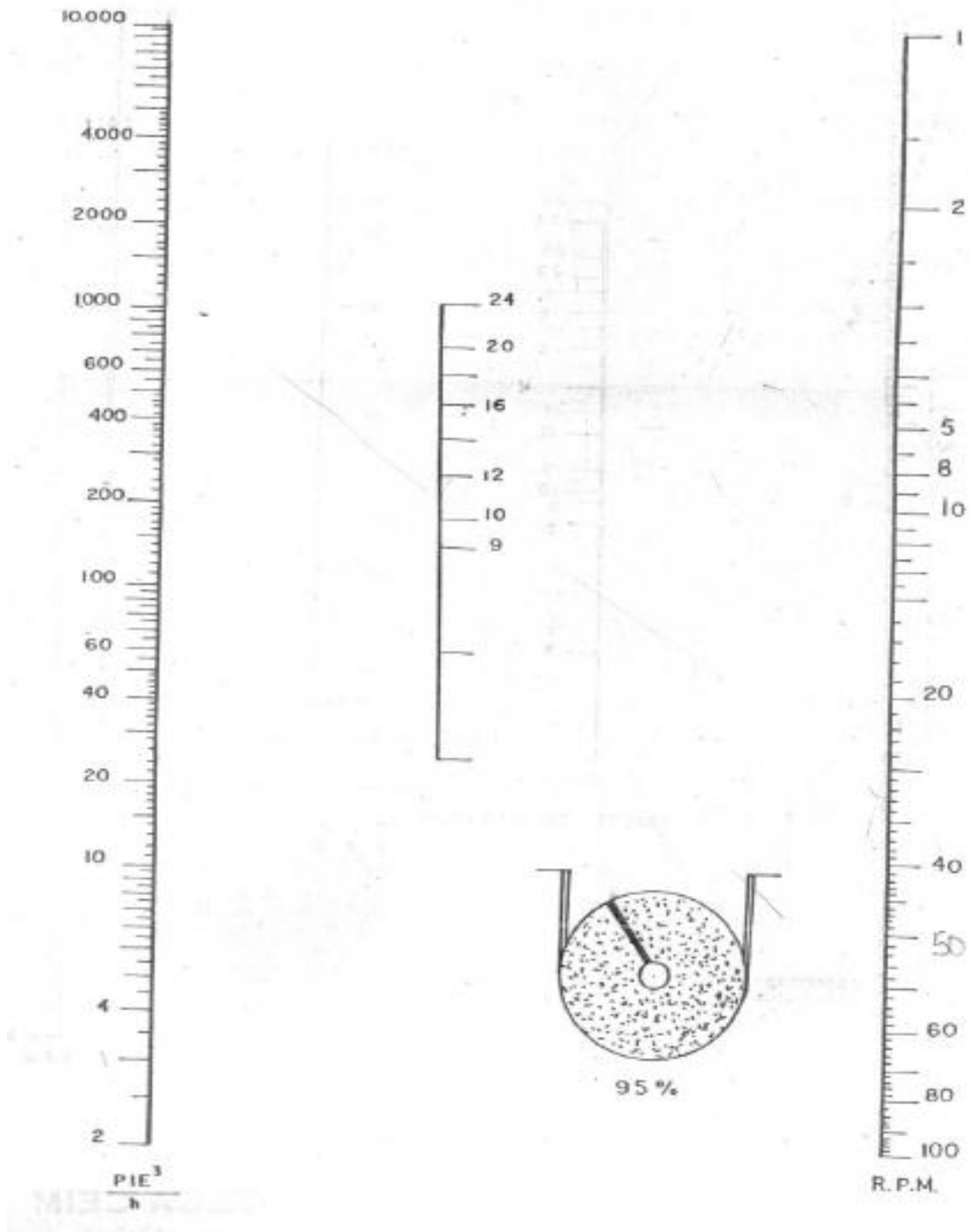
### 2.6.1.3 Transportador sinfín para crudo.

TORTA				
	L= 49,21 ft	Fd= 78	Ff=1,0	W= 40,6 Lb/ft <sup>3</sup>
	N= 48 rpm	Fb=2.0	Fp= 1,0	C= 36,02 ft <sup>3</sup> /h
HPf	0,37 hp			
HPm	0,15 hp			
(HPf + HPm)*Fo	(0,52)*2,5= 1,3 hp			

### 2.6.2 Calculo de potencia para capacidad al 95% de la artesa.

Se anexa la tabla de cálculo de potencia para el porcentaje de carga 95% a cada transportador diseñado, de acuerdo a los factores explicados en el capítulo 1.4.5 de este anexo y teniendo en cuenta la fig. 2.6.2 que se muestra a continuación, la cual nos da la capacidad transportada a este porcentaje de artesa, según el diámetro del screw.

Fig 2.6.2 Regleta para cálculo de velocidad a 95% de llenado de la artesa.



**2.6.2.1 Transportador sinfín para almendra.**

<b>ALMENDRA</b>				
	L= 39,37 ft	Fd=55	Ff=1,0	W= 40,76 Lb/ft <sup>3</sup>
	N= 25 rpm	Fb=2.0	Fp= 1,0	C= 900 ft <sup>3</sup> /h
HPf	0,11 hp			
HPm	3,61 hp			
(HPf + HPm)	3,72 hp aprox.			

**2.6.2.2 Transportador sinfín para crudo.**

<b>CRUDO</b>				
	L= 32,81 ft	Fd= 18	Ff=1,0	W= 56,18 Lb/ft <sup>3</sup>
	N= 31 rpm	Fb=2.0	Fp= 1,0	C= 110 ft <sup>3</sup> /h
HPf	0,05 hp			
HPm	0,21 hp			
(HPf + HPm)	0,3 hp aprox.			

**2.6.2.3 Transportador sinfín para torta.**

<b>TORTA</b>				
	L= 49,21 ft	Fd= 78	Ff=1,0	W= 40,6 Lb/ft <sup>3</sup>
	N= 48 rpm	Fb=2.0	Fp= 1,0	C= 1300 ft <sup>3</sup> /h
HPf	0,37 hp			
HPm	5,2 hp			
(HPf + HPm)	6 hp aprox.			

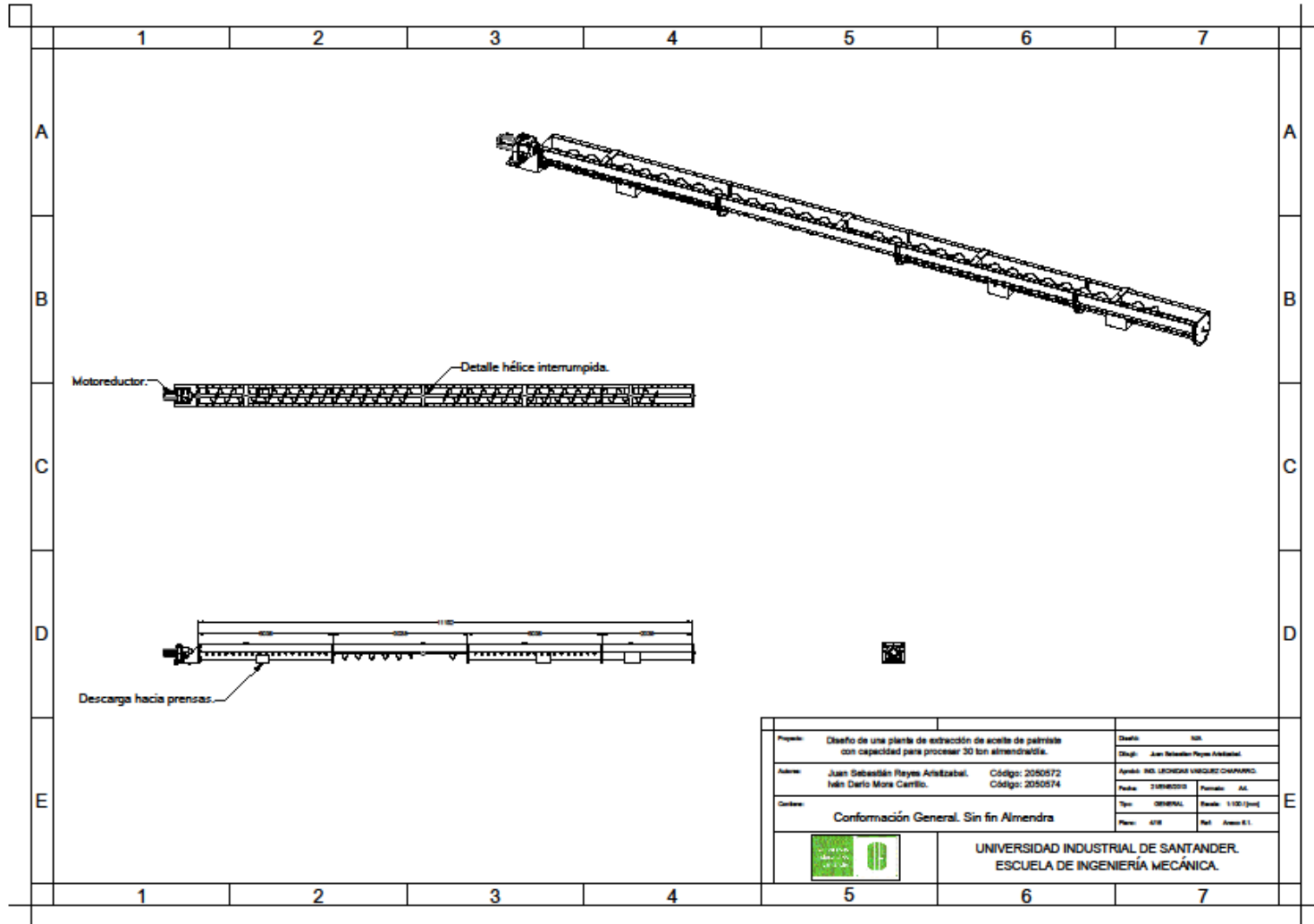
## 2.7 Análisis de carga torsional transmitida.

Tomando como ejemplo el transportador sinfín de almendra, el torque de diseño es:

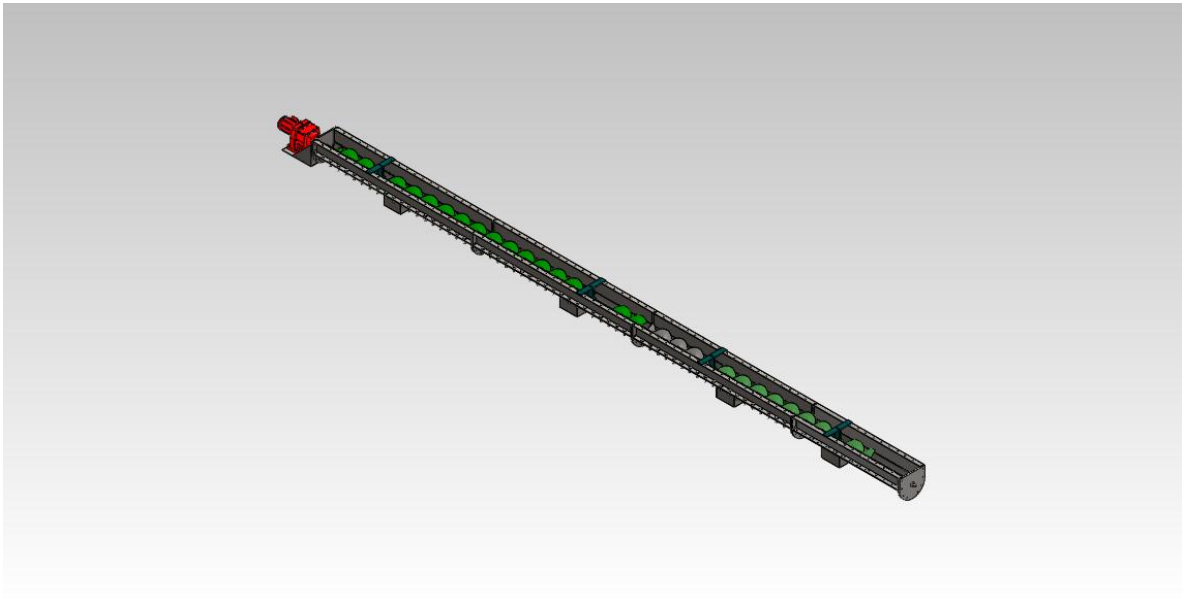
$$T = \frac{4 Hp * 63.025}{25 rpm} = 10.084 Lb * pulg$$

Que si se compara con la tabla de torques admisibles de los componentes críticos de estos sistemas de transporte, entendemos que se está muy sobredimensionado. Por tal aseguramos que los diámetros de ejes y acoples, y los pernos escogidos (2 en uniones de ejes) cumplirán su función a cabalidad.

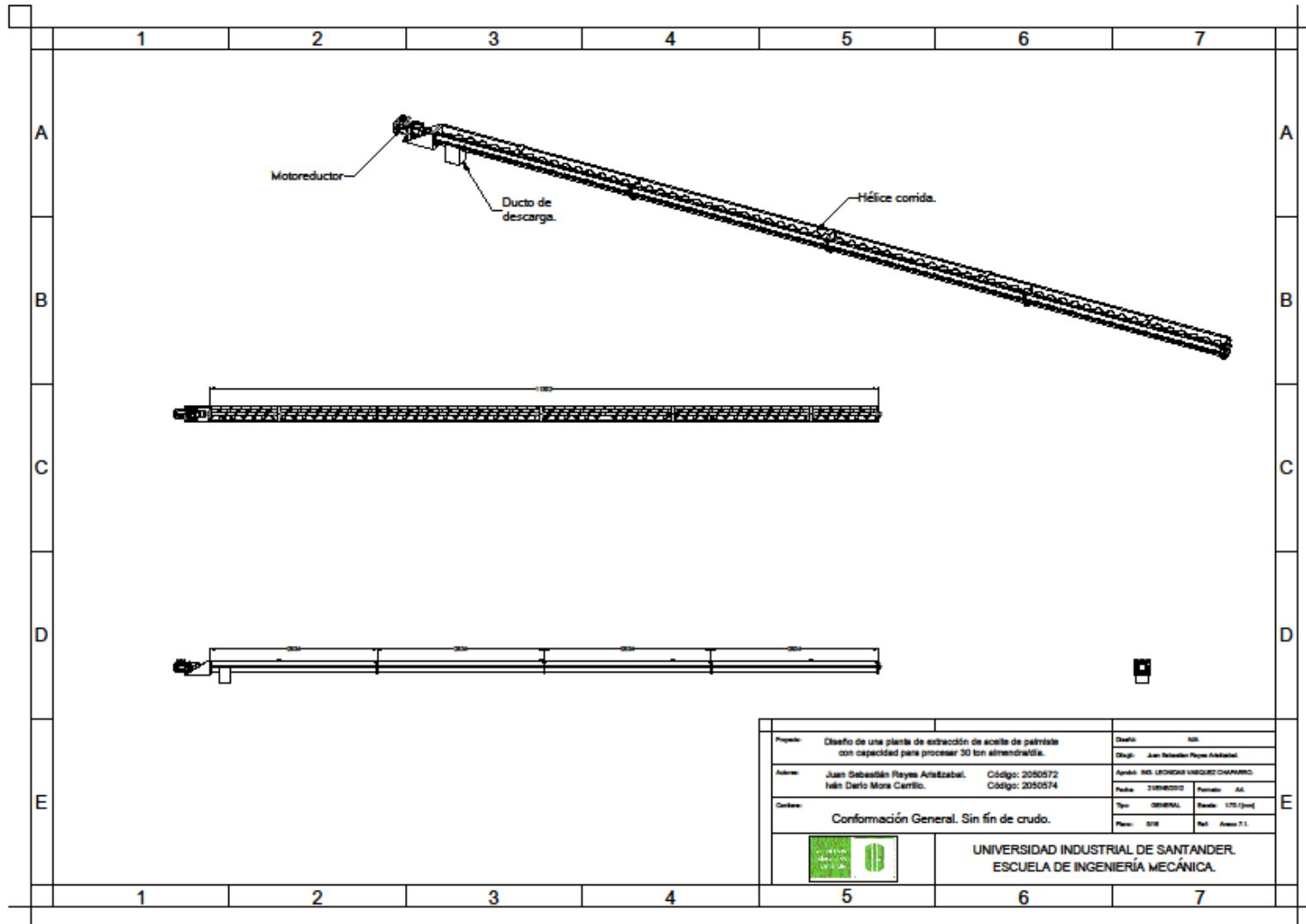
## Anexo 9. Conformación general del transportador Sin Fin de Almendra.



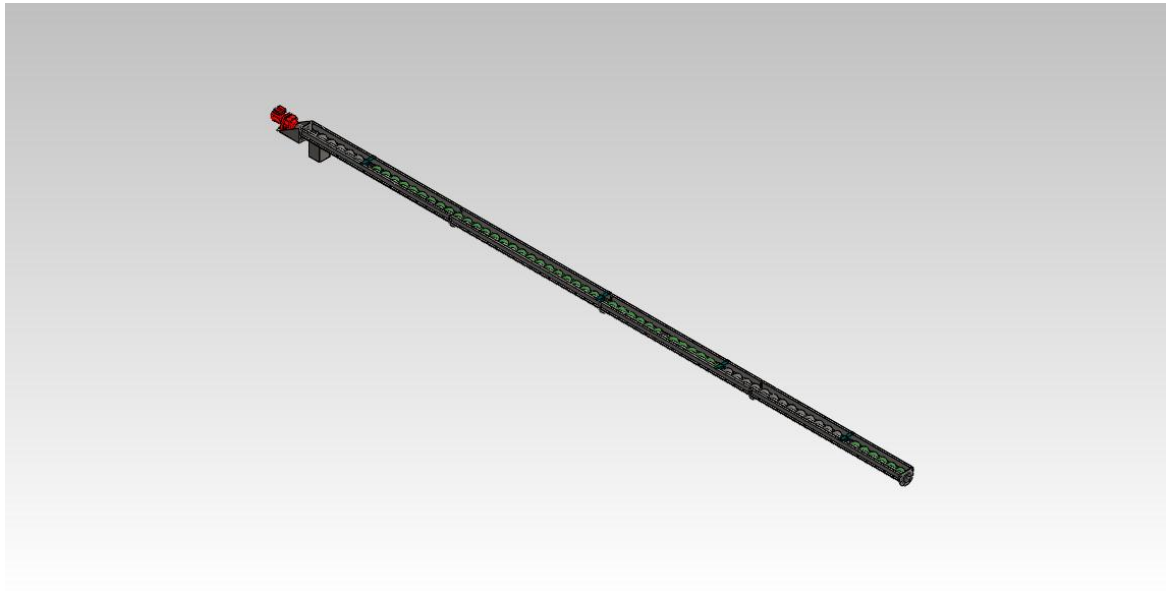
**Anexo 10. Ensamble general transportador Sin Fin de Almendra.**



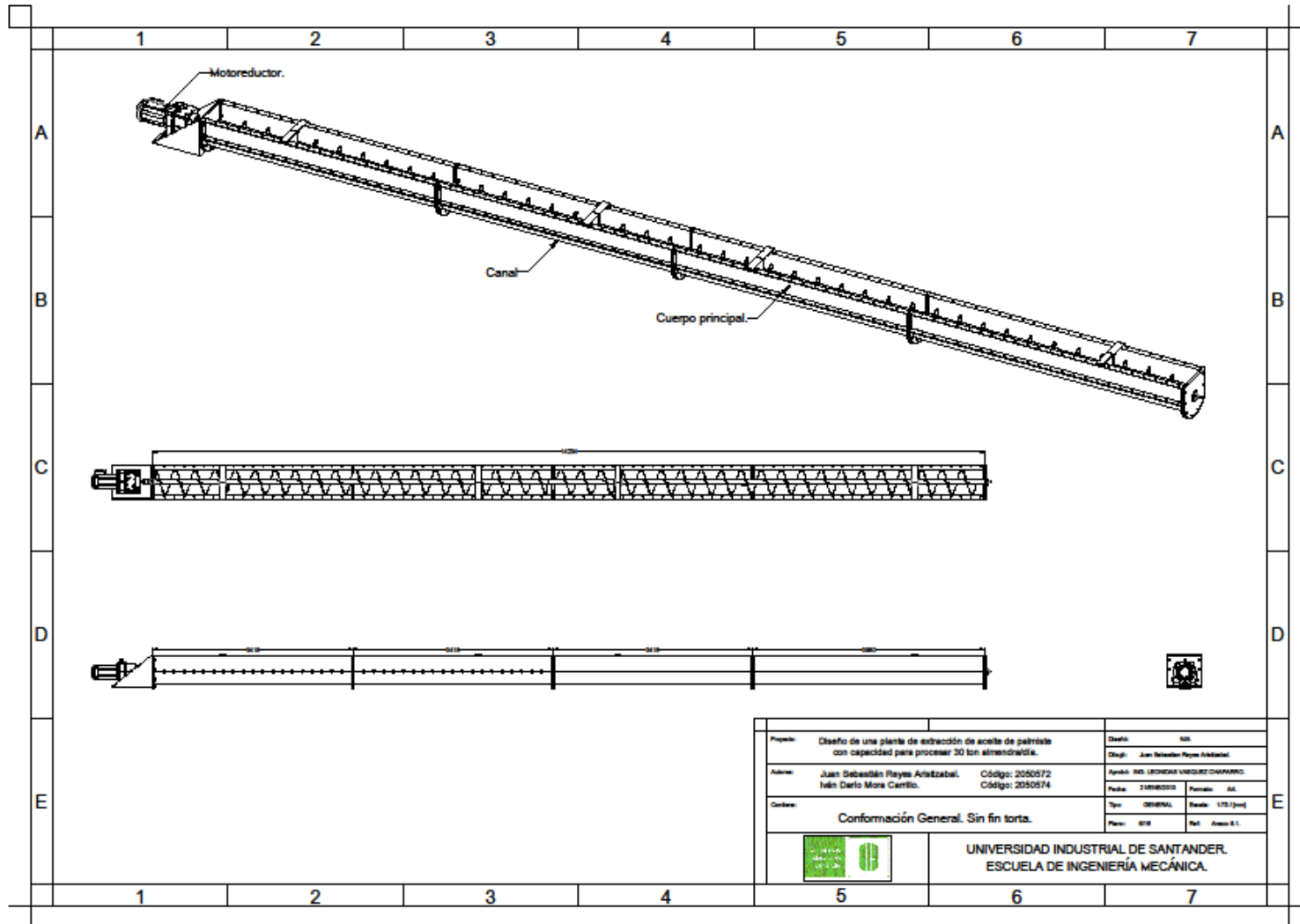
## Anexo 11. Conformación general del transportador Sin Fin de crudo.



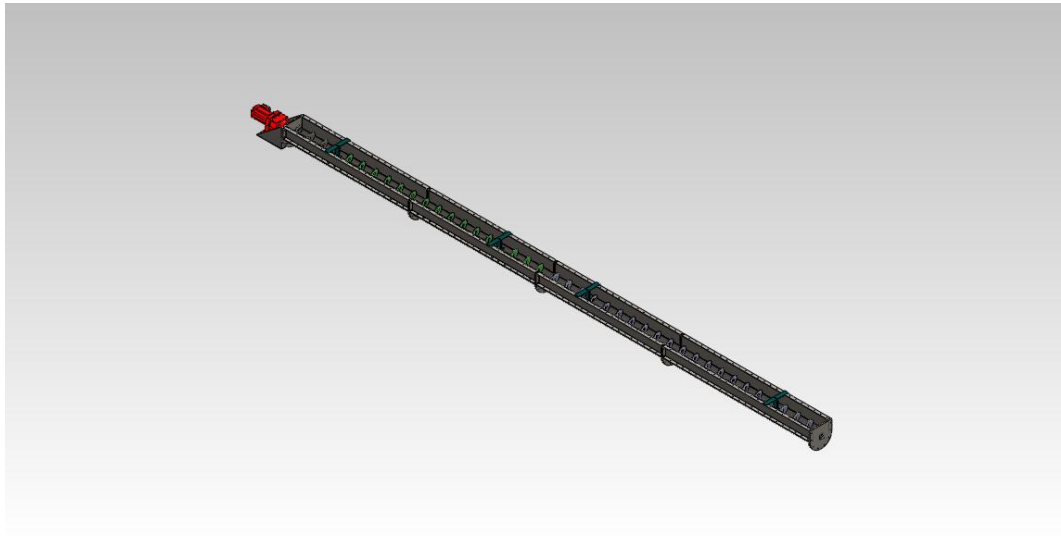
**Anexo 12. Ensamble general transportador Sin Fin de crudo.**



### Anexo 13. Conformación general del transportador Sin Fin de torta.



**Anexo 14. Ensamble general transportador Sin Fin de torta.**



## Anexo 15. Memoria del cálculo del elevador de torta prensada.

### CÁLCULO TIPO.

#### 1. Cálculo del volumen a transportar:

- Cantidad a transportar ( $Q_r$ ):  $20 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Día}}$
- Factor de diseño ( $N_d$ ): 2
- Cantidad de diseño ( $Q_d$ ):  $Q_d = Q_r * N_d = 40 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Día}} = 1,6 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Hora}}$
- Densidad de la torta ( $\delta$ ):  $0,6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}$
- Volumen a transportar ( $V$ ):  $V = \frac{Q}{\delta} = 2,66 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 7,403 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

#### 1.1. Cálculo geométrico:<sup>26</sup>

#### Selección del cangilón.

$$Q_d = V_{ol.cang} * V_{elocidad.cang} * F_{cargue}$$

Como criterio de diseño tenemos que:

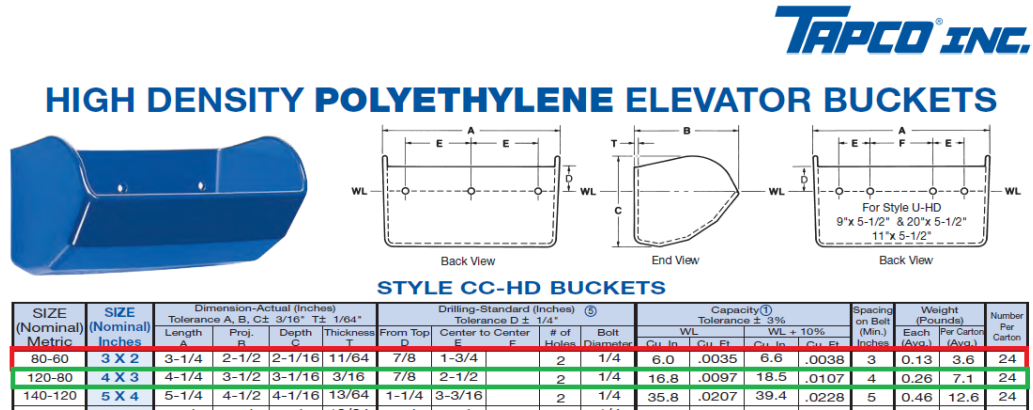
- Velocidad de la banda: 1,4 m/s. = 1400 mm/s.
- Factor de cargue (Llenado): 70%

---

<sup>1</sup> TAPCO Inc. es un fabricante reconocido de cangilones plásticos para la industria, la oficina encargada del mercado latinoamericano es: Tapco Inc. 225 Rock Industrial Park Dr. St. Louis, MO 63044, USA. [info@tapcoinc.com](mailto:info@tapcoinc.com)

Ahora verificamos con cangilones estándar:

Tabla 1. Cangilones estándar TAPCO INC.



Para el cangilón de menor capacidad se tiene que:

- Altura del Cangilón (C) = 2 1/16" = 58.4 mm.
- Distancia mínima entre cangilones / Paso (P) = 3" = 76.2 mm.

Entonces calculamos la velocidad en cangilones por segundo:

$$V_{\text{velocidad.cang}} = \frac{V_{\text{banda}}}{(C + P)} = \frac{1.400 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]}{134.6 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{cang}} \right]} = 10.40 \left[ \frac{\text{Cang}}{\text{s}} \right]$$

Ahora verificamos la capacidad de transporte del cangilón pre seleccionado:

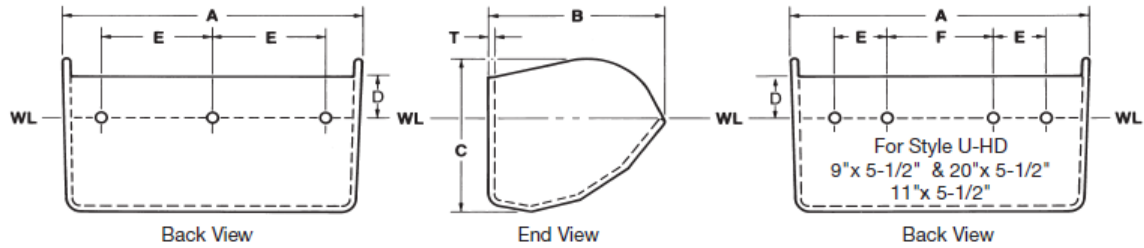
$$Q_d = 9.83 \times 10^{-5} * 10.40 * 70\% = 7.16 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$7.16 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} < 7.403 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Se concluye que el cangilón pre seleccionado es muy pequeño.

Se verifica de forma análoga con el siguiente cangilón hasta llegar al tamaño adecuado, queda seleccionado el cangilón de medidas 120 x 80 mm.

**Figura 1. Conformación geométrica de un cangilón TAPCO INC.<sup>27</sup>**



- Altura del Cangilón (**C**) =  $3 \frac{1}{16}'' = 77.78 \text{ mm}$ .
- Distancia mínima entre cangilones / Paso (**P**) =  $4'' = 101.6 \text{ mm}$ .

Entonces calculamos la velocidad en cangilones por segundo:

$$V_{\text{velocidad.cang}} = \frac{V_{\text{banda}}}{(C + P)} = \frac{1.400 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]}{179.38 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{cang}} \right]} = 7.804 \left[ \frac{\text{Cang}}{\text{s}} \right]$$

Ahora verificamos la capacidad de transporte del cangilón pre seleccionado:

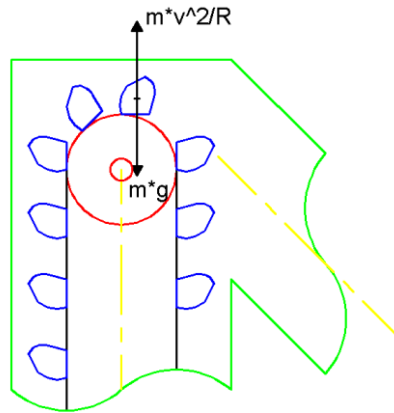
$$Q_d = 2.753 \times 10^{-4} * 7.804 * 70\% = 1.504 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$1.504 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} > 7.403 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

<sup>27</sup> Fuente: [www.tapcoinc.com](http://www.tapcoinc.com)

## 1.2. Velocidad de descarga.

Figura 2. Esquema de funcionamiento de un elevador.



Para garantizar una descarga favorable, se debe cumplir que:

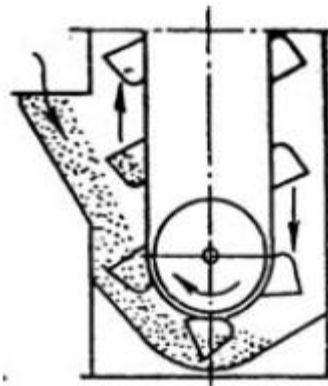
$$\frac{m * V^2}{R} = m * g$$
$$R = \frac{V^2}{g} = \frac{\left(1.4 \frac{m}{s}\right)^2}{9.8 m/s^2} = 0.2 = 200 \text{ mm}$$
$$V_{\text{velocidad.angular}}: \frac{1,4 \frac{m}{s}}{0,2 \text{ m}} = 7 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 67 \text{ rpm.}$$

## 2. Cálculo de potencia:<sup>28</sup>

Se asume que el cargue del elevador se realizará por medio de dragado:

<sup>28</sup> Fuente: [http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/elevadores\\_cangilones.pdf](http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/elevadores_cangilones.pdf)

Figura 3. Esquema, dragado de un elevador.<sup>3</sup>



Para este tipo de alimentación se asume un factor de corrección o altura ficticia:

Tabla 2. Corrección por altura ficticia según el sistema de carga.<sup>3</sup>

Sistema de carga	Tamaño del material	Valor de $H_0$ (m)
Desde tolva		3.8
Por dragado	Pequeño	7.6
	Mediano	11.4
	Grande	15.3

Para este caso tomamos el factor de corrección por dragado pequeño, entonces la potencia requerida por el elevador es de:

$$P_{ot} = \frac{Q_d * \delta * g * (H + H_0)}{0.75}$$

Dónde:

$Q_d$  es el volumen transportado:  $1.504 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$

$\delta$  es la densidad de la torta:  $0.6 \text{ Ton}/m^3$ .

$H$  es la altura del elevador: 11 metros.

$H_0$  es la altura ficticia: 7.6 metros.

**0.75** es un factor adimensional que tiene en cuenta el peso de los cangilones, sus elementos de acople y las pérdidas en la banda.

$$P_{ot} = \frac{1.504 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} * 600 \frac{Kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * (11 + 7.6)}{0.75} = 219.58 \text{ [watts]}$$

Ahora se asumen las siguientes eficiencias:

- Eficiencia del reductor:  $\eta_1 = 0,70$
- Eficiencia del motor eléctrico:  $\eta_2 = 0,80$

Potencia real ( $H_{pr}$ ):  $H_{pr} = \frac{H_p}{\eta_{1-2}} = 392.017 \approx \frac{1}{2} H_p$

**Con un factor de seguridad igual a 2, la potencia requerida es de 1 Hp.**

En este caso seleccionamos el motor reductor SEW R27DRS80S4; 1 Hp x 1710 Rpm x 72 rpm.

- Dimensiones de la flecha de salida: 25 x 50 mm ( $\phi$  x L).

### 3. Selección de los rodamientos.

Determinación de la carga dinámica del rodamiento.

Para determinar la carga dinámica a la cual se someterá el rodamiento, consideramos la flecha como una viga apoyada en soportes rígidos y que no está sometida a momento flector. La carga asumida es equivalente al peso propio de la flecha sumada al peso del tambor y la tensión transmitida por la banda debido al peso de la torta transportada. Se considera el momento crítico, en el cual una altura de cangilones equivalente a  $H + H_o$  están llenos de torta.

$$Carga (C) = \text{Peso Flecha} + \text{Peso tambor} + \text{tensión de la banda}$$

**Peso de la flecha ( $P_F$ )** = Inicialmente se asume un eje de 25,4mm de diámetro y 300 mm de longitud en acero 1045.

$$P_F = \pi * D^2 * L * \frac{\delta}{4 * 1000^3} = 3.1415 * 25.4^2 * 300 * 7870 / (4 * 1000^3) = 1.19 \text{ Kg}$$

**Peso del tambor ( $P_T$ )** = Se asume que el cuerpo del tambor de 400 mm / 200 mm (diámetro / longitud) será construido en lámina de acero calibre 6mm; las tapas laterales en discos de 500 mm de diámetro x 6 mm de espesor.

$$P_R = P_{eso \text{ cuerpo}} + P_{eso \text{ tapas}} = \left( \pi * 0.4 * 0.2 * 0.006 + \pi * \frac{0.5^2}{4} * 0.006 \right) * 7870$$

$$= 21.14 \text{ Kg}$$

**Tensión de la banda ( $T_B$ )** = según los datos del fabricante, el volumen de cada cangilón seleccionado es de 16.8 pulgadas<sup>3</sup>  $\approx 2.753 \times 10^{-3}$ .

Además según el inciso **a** se tiene que C+P = 179.38 mm; por tanto se calcula que en 18.6 metros (**H + Ho**) hay aproximadamente 104 cangilones.

$$C_{ant. \text{ Cang. Cargados}} = \frac{18600 \text{ mm}}{179.38 \frac{\text{mm}}{\text{cangilón}}} = 103.69 \approx 104 \text{ cangilones}$$

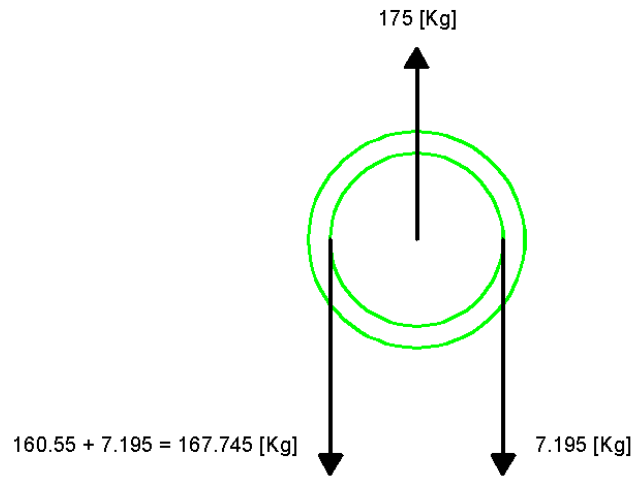
Entonces se calcula el peso del material transportado:

$$P_{eso \text{ torta}} = 104 * 2.753 \times 10^{-3} * 600 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 160.55 \text{ Kg}$$

$$P_{eso. \text{ Cang. Vacíos}}: \frac{11000 \text{ mm} * 2}{179.38 \frac{\text{mm}}{\text{cangilón}}} * 0.117 \frac{\text{Kg}}{\text{Cangilón}} = 14.39 \text{ Kg}$$

Entonces la tensión inducida en la banda y la reacción en el eje es igual a:

**Figura 4. Esquema de cargas sobre el eje motriz.**

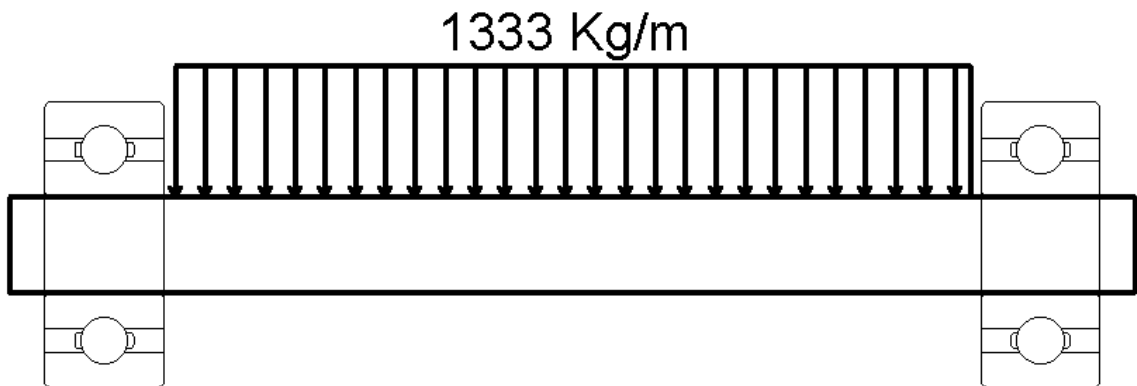


Por lo tanto, la ecuación principal queda de la siguiente manera:

$$C_{carga} (C) = 1.19 + 21.14 + 175 = 197.33 \approx 200 [Kg]$$

Asumimos que la carga esta uniformemente distribuida y la multiplicamos por un factor de seguridad de 2, por tanto:

**Figura 5. Distribución de carga sobre el eje motriz.**



De lo anterior se obtiene que la carga soportada por cada rodamiento es equivalente a 200 [Kg]  $\approx$  1962 [N] = 1.962 [KN]

Con base en la carga dinámica y la expectativa de vida deseada para el rodamiento (20.000 h) podemos determinar la carga dinámica equivalente del rodamiento por medio de la ecuación de SKF.

$$L_{10h} = \frac{\left(10^6 * \left(\frac{C}{P}\right)^p\right)}{60 * n} = 10^6 * \frac{\left(\frac{1.962}{P}\right)^3}{60 * 70} = 20.000$$

Dónde:

$L_{10h}$  = Vida nominal en horas de funcionamiento.

C = Capacidad de carga dinámica. KN

P = Carga dinámica equivalente del rodamiento KN.

n = Velocidad de rotación. RPM.

p = Exponente de la ecuación de vida; 3 para rodamientos de bolas; 10/3 para rodamientos de rodillos.

Despejando P obtenemos que:

$$P = 0.4479 \text{ KN.}$$

Nota: Se asumen condiciones óptimas de lubricación, limpieza y montaje.

Con la carga dinámica equivalente y el diámetro tentativo del eje se procede con la selección del rodamiento.

Según la estimación preliminar del eje, descartaremos los rodamientos con diámetro interior menor a 25 mm.

Del catálogo general de SKF seleccionamos el rodamiento 6305 y la chumacera SNL 506 TA.

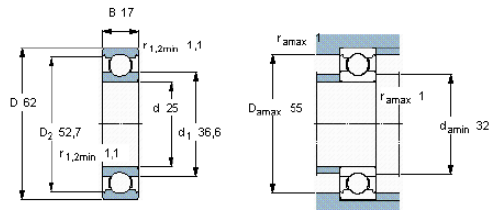
**Tabla 3. Ficha técnica rodamiento SKF Explorer 6305.<sup>29</sup>**

**Deep groove ball bearings, single row, unsealed**  
Product information



Tolerances, see also text  
Radial internal clearance, see also text  
Recommended fits  
Shaft and housing tolerances

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit $P_u$	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	$C_0$		Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min		kg	* - SKF Explorer bearing
25	62	17	23,4	11,6	0,49	24000	16000	0,23	6305 *



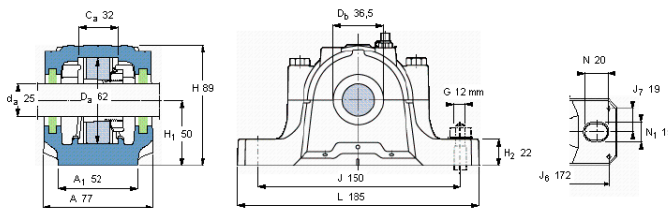
**Calculation factors**  
 $k_f$  0,03  
 $f_0$  12

**Tabla 4. Ficha técnica Chumacera SKF SNL 506-605.<sup>4</sup>**

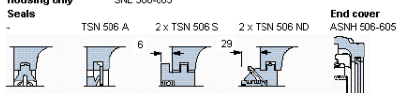
**Split plummer block housings, SNL series for bearings on an adapter sleeve, with standard seals, housings for metric shafts**  
Product information



Shaft $d_s$	Appropriate bearings (basic designation)			Housing Principal dimensions				Mass	Designations Housing only	Housing complete with					
	Self-aligning ball bearings	Spherical roller bearings	CARB bearing	A	L	H	$H_1$			lip seals	V-ring seals	labyrinth seals	Taconite seals		
mm	-	-	-	mm				kg	-	-	-	-	-	-	
25	1206 K	2206 K	22206 K	C 2206 K	77	185	89	50	2,00	SNL 506-605	-	-	SNL 506 TA	SNL 506 TS	SNL 506 TND



**Order designations**  
Housing only SNL 506-605



**Cap bolts**

Size [mm] M 10x40  
Rec. tightening torque [Nm] 50  
Max. permissible load [N]  
 $F_{120^{\circ}}$  50  
 $F_{150^{\circ}}$  30  
 $F_{180^{\circ}}$  25

**Breaking loads, housing [kN]**

$P_{0^{\circ}}$  130  
 $P_{55^{\circ}}$  170  
 $P_{90^{\circ}}$  100  
 $P_{120^{\circ}}$  80  
 $P_{150^{\circ}}$  65  
 $P_{180^{\circ}}$  35  
 $P_3$  55



The limit for  $P_{0^{\circ}}$  applies only when the housing is not supported over its entire base area

**Appropriate attachment bolts**

Size [mm] 12  
Rec. tightening torque [Nm] 80

**Dowel dimensions**

Diameter (max) 5  
Centre distance  $J_6$  172  
Centre distance  $J_7$  19

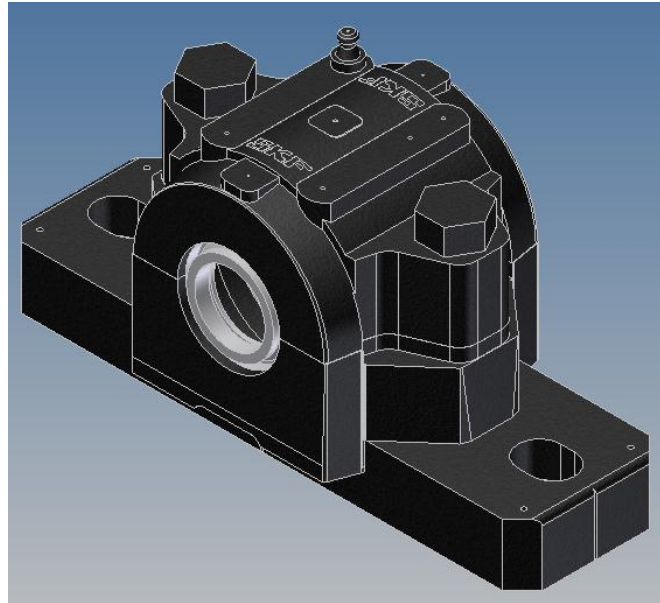
**Grease quantities [kg]**

Initial fill 0,04  
Regreasing 0,005

Appropriate SKF bearings and accessories	Adapter sleeve	Locating rings
Bearing	H 206	2 x FRB 6/62
1206 EKTN9	H 306	2 x FRB 6/62
2206 EKTN9	-	-
-	-	-
22206 EK	H 306	2 x FRB 6/62
C 2206 KTN9	H 306 E	2 x FRB 6/62

<sup>29</sup> Fuente: www.skf.com

**Figura 6. Conformación general Rodamiento / Chumacera.<sup>30</sup>**

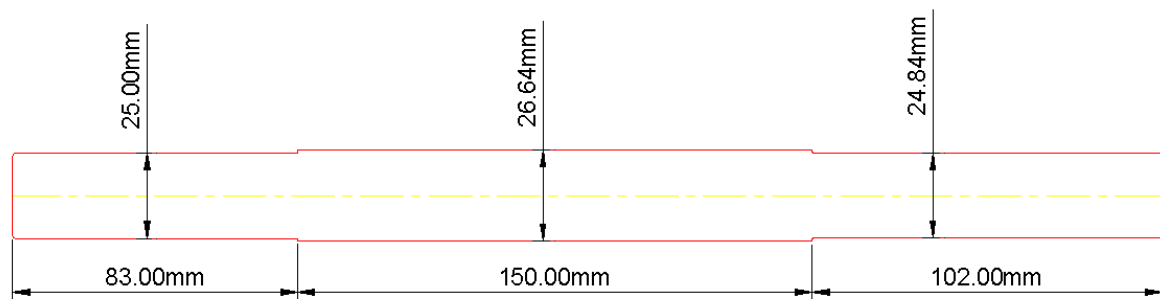


#### **4. Cálculo de la flecha.**

Una vez se han dimensionado los rodamientos procedemos con la verificación de la flecha por esfuerzos y deformación.

Con base en los requisitos geométricos de los elementos calculados anteriormente, las dimensiones de la flecha son:

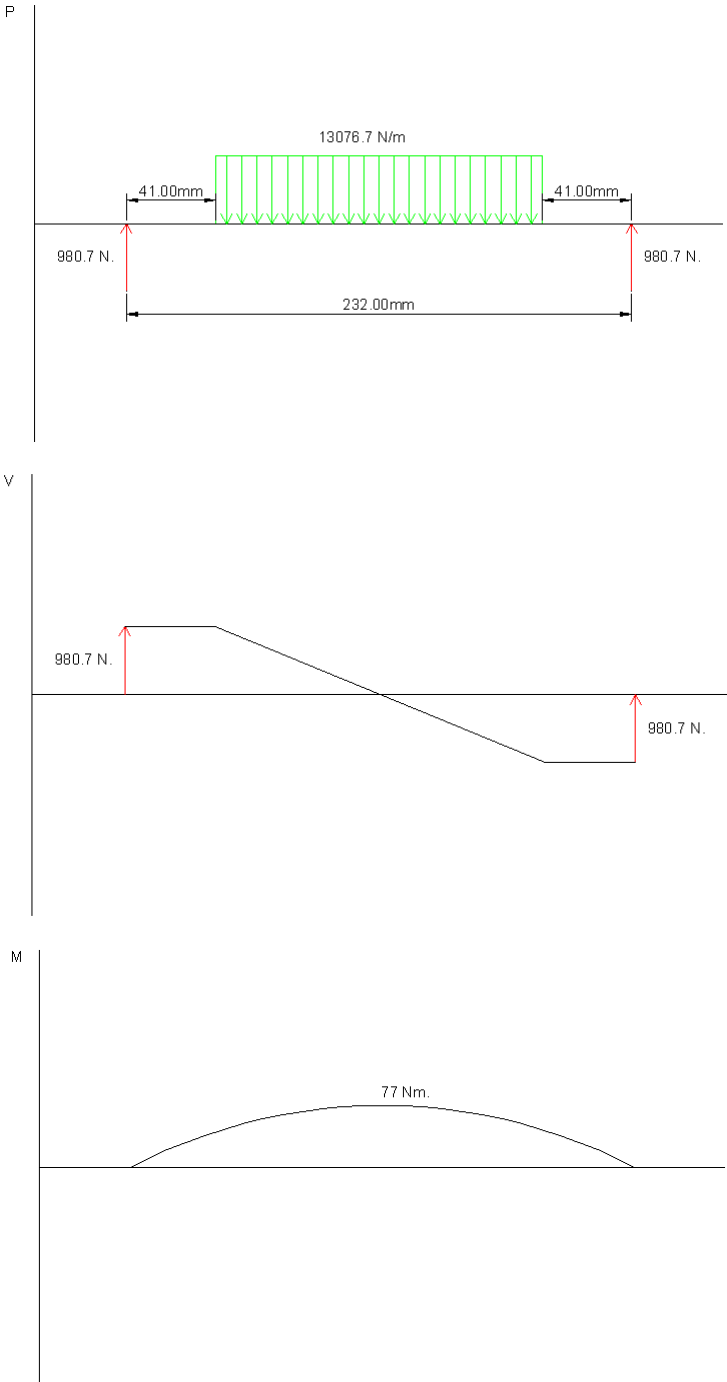
**Figura 7. Esquema geométrico de la flecha.**



<sup>30</sup> Fuente: [www.skf.com](http://www.skf.com)

Procedemos entonces con la verificación por deformación de acuerdo al nivel de carga planteado con anterioridad.

**Figura 8. Diagramas de carga sobre la flecha.**



Por simplicidad aplicaremos el modelo de una viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida, donde:

$$Y_{max} = -\frac{5\omega l^4}{384EI} = -0.013 \text{ mm}$$

Con los siguientes valores:

$$\omega = 13076.7 \text{ N/m}$$

$$l = 0.150 \text{ m}$$

$$E = 207.0 \text{ GPa. (Acero al carbono)}$$

$$I = 2.472 \times 10^{-8} \text{ m}^4 \quad (d=26.64\text{mm})$$

Se concluye que la deformación es prácticamente nula.

Ahora verificamos por resistencia del material.

Para determinar el torque máximo aplicado a la flecha partimos de la potencia máxima del motor y la velocidad de rotación, de forma que:

$$P_{otencia} = T_{orque} \times \omega = T_m * rpm * 2 * \pi$$

$$44742,06 \frac{N \cdot m}{min} = T_m * 70 * 2 * \pi$$

$$T_m = \frac{44742,06}{70 * 2 * \pi} = 101.727 \text{ N} \cdot m$$

Para el esfuerzo máximo asumimos que el torque máximo se aplica en la sección transversal de menor diámetro, entonces:

$$\tau = \frac{16 T_m}{\pi d^3} = \frac{16 * 101.727}{\pi * 0.025^3} = 33.157 \text{ MPa.}$$

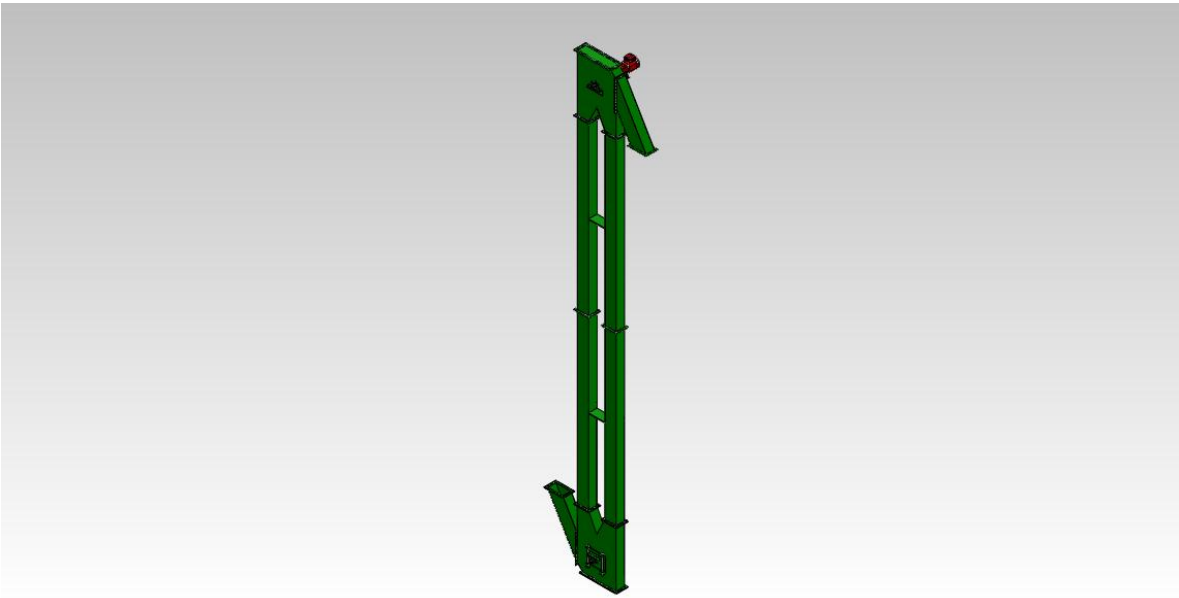
Ahora verificamos la deformación torsional del eje asumiéndolo como un eje de 335 mm de largo y sección transversal de 25 mm de diámetro.

$$\phi = \frac{T * L}{J * G} = \frac{101.727 * 0.335}{3.83 \times 10^{-8} * 75 \times 10^9} = 0.0118 \text{ rad} \approx 0.074^\circ$$

Queda así verificada la flecha por esfuerzo y deformación, debido a que los niveles de esfuerzo y deformación son demasiado bajos, no vale la pena realizar una simulación de cargas con asistencia CAE.



**Anexo 17. Ensamble general. Elevador de torta No 1.**



## **Anexo 18. Memoria de cálculo del transportador de banda.**

Una banda transportadora de torta de palmiste, empacada en sacos de 50Kg con medidas aproximadas de 100\*60 cm, y con una necesidad de aproximadamente 15 ton/día de este subproducto (Que es utilizado para usos alimenticios de ganado), son las condiciones iniciales para el diseño de este método de transporte.

La torta como “desecho” de la obtención del aceite de palmiste corresponde entre 48 - 53% de la materia prima (en peso), por tal para esta planta de capacidad de 30 Ton/día de almendra, se manejaría hasta 15 Ton/día de torta de palmiste, con un valor comercial alto.

Proponer acondicionar una tolva de cargue con capacidad mínima de 1 día de producción de torta de palmiste (15 Ton/ día), en la cual la labor de empacado se reduzca a solo dos horas al día, es imposible, debido a que esta torta en este tiempo de reposo se aglomera y dificulta la tarea de empaque. No quedaría más que presentar el diseño de una banda transportadora para ser utilizada todo el día en el transporte de bultos, a una distancia no menor de 10mts a la bodega o área que se asigne para su almacenaje, quedando a una aprobación de factibilidad económica el uso de esta sistema de transporte, o hacerlo con transporte por estibas, no sin antes mencionar la restricción por normativa de 25kg máximo de peso a cargar por persona.

### **1. Calculo de velocidad requerida y velocidad máxima.**

La producción de un saco de 50 kg estaría dada por:

$$\frac{15000 \text{ kg / dia}}{12 \text{ horas / dia}} = 1250 \frac{\text{kg}}{\text{hora}}$$

$$\frac{1250 \text{ kg/hora}}{50 \text{ kg /bulto}} = 25 \frac{\text{bultos}}{\text{hora}}$$

Relación de 2,5 minutos por bulto aproximadamente.

El ancho de la banda está sujeto a el ancho de la carga a transportar más 200 mm por lo cual en este caso seria 800 mm (ancho tomado del saco más recomendación de 200 mm).<sup>31</sup>

La velocidad máxima recomendada por norma estaría dada por un factor de velocidad que se define como:

$$\begin{aligned} & \textit{factor de velocidad} \\ & = \textit{factor tamaño terron o bulto} \\ & + \textit{factor de volatilidad del material} + \textit{factor de abrasividad} \end{aligned}$$

Estos factores y la tabla de recomendación de máximas velocidades para anchos de banda correspondientes, se muestran en las figuras 1, 2, y 3.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> INTRODUCTION TO MATERIALS HANDLING, Referencia de diseño tomada de este libro, pág. 69.

<sup>32</sup> INTRODUCTION TO MATERIALS HANDLING, pág. 70. (Como parte de la norma ISO 5048:1989, Belt conveyors with carrying idlers — Calculations of operating power and tensile forces).

**Fig. 1.1 Factores de tamaño y volatilidad del material a transportar.**

Material	Lump Size	Lump Size Factor	Air Borne Factor
Fine Grain to Dust	< 10 mm	0	4
Granular	< 25 mm	1	0
Sized and Unsized	Quantity of largest lump is < 20 per cent of maximum permissible lump size (for the selected belt width)	2	0
Sized	Quantity of largest lump is < 60 per cent of maximum permissible lump size (for the selected belt width)	3	0
Unsized	Largest lump does not exceed maximum permissible lump size (for the selected belt width)	4	0

**Fig. 1.2 Factor de abrasividad del material a transportar**

Abrasiveness	Type of Material	Abrasiveness Factor
Non Abrasive	Free flowing materials, such as cereal grains, wood, chips, wood pulp, fullers earth, flue dust, soda lime, char, loam sand, ground gravel.	1
Mildly Abrasive	Materials, such as aggregate, run-of-bank sand and gravel, slate, coal, salt, sand stone.	2
Abrasive	Materials, such as slag, spar, limestone concentrates, pellets.	3
Very Abrasive	Iron ores, taconite, jasper, heavy minerals, flint rock, glass cullet, granite, traprock, pyrites, sinter, coke etc.	4

**Fig. 1.3 Factor de velocidad. Máxima velocidad recomendada en el diseño de bandas transportadoras según el ancho de banda. (m/s)**

Belt Width, mm \ Speed Factor	Upto 500	600 to 650	750 to 800	950 to 1050	1200 to 2000
1	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
2	2.30	2.75	3.20	3.65	4.12
3-4	2.00	2.38	2.75	3.15	3.55
5-6	1.65	2.00	2.35	2.65	3.00
7-8	1.45	1.75	2.05	2.35	2.62

Donde los valores de cada factor tomados para este diseño son:

- Factor tamaño → 4
- Factor volatilidad → 0
- Factor abrasividad → 2

Definiendo así nuestro factor de velocidad en 6, que para un ancho de banda de 800 mm recomienda como velocidad máxima 2.35 m/s. Para este caso se tomó inicialmente una velocidad de 2 m/s.

## 2. Estimación de la tensión efectiva en el tambor motriz.

De la ley de fricción de Euler, y con la necesidad de no deslizamiento entre correa y tambor, se obtiene una relación entre las dos tensiones de la correa. Siendo la tensión neta o efectiva la diferencia de estas dos tensiones, que se halla por medio de la ecuación descrita a continuación:<sup>33</sup>

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\alpha}$$

$$T_e = T_1 - T_2$$

$$T_e = fLg \{m_c + m_r + (2m_b + m_G) * \cos \delta\} + R_s + R_{sp1} + R_{sp2} + m_G gL * \sin \delta$$

Siendo:

- f: Coeficiente de fricción entre rodillos soporte y banda al avance (f=0,02 para bandas horizontales).
- L: Longitud del transportador.
- M<sub>c</sub>: Peso de los rodillos de avance por metro de longitud.
- M<sub>r</sub>: Peso de los rodillos de retorno por metro de longitud.
- M<sub>b</sub>: Peso de la banda por metro de longitud.
- M<sub>G</sub>: Peso del material a cargar por metro de longitud.

---

<sup>33</sup> INTRODUCTION TO MATERIALS HANDLING, Referencia de diseño, pág. 71.

- $\delta$ : Angulo de inclinación del transportador.
- $R_s$ : Resistencia secundaria (ver ítem 2.1)
- $R_{sp1}$  y  $R_{sp2}$ : Resistencias especiales (ver ítem 2.2)

2.1 Cálculos de la Resistencia secundaria  $R_s$  :

$$R_s = R_a + R_w + R_{ska} + R_b$$

Siendo:

- $R_a$ : Resistencia inercial y de fricción de la carga a transportar. Obtenida del producto de la capacidad volumétrica por la densidad del material a transportar y por la velocidad relativa del material en el momento de cargue o impacto con la banda.

$$R_a = Q * 1000 * \rho * (V - V_o)$$

$$R_a = 5,31 * 10^{-4} \left[ \frac{m^3}{s} \right] * 1000 \left[ \frac{Kg}{TON} \right] * 0,65 \left[ \frac{TON}{m^3} \right] * (2 - 0) \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$R_a = 0,7 \left[ Kg \frac{m}{s^2} \right]$$

- $R_w$ : Resistencia al derrape entre banda y tambor. Calculada cuando ya se tiene datos de tensiones por la fórmula:

$$R_w = 9B \left[ 140 + 0,01 * \frac{T_1 - T_2}{B} \right] * \frac{t}{D}$$

Y para cálculos preliminares por medio de la siguiente regla de diseño <sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> INTRODUCTION TO MATERIALS HANDLING, Referencia de diseño. pág. 72.

Localización de la polea	Angulo de abrace	Resistencia al abrace (N)
Lado tensionado	150° a 240°	230
Lado suelto	150° a 240°	175
Otras poleas	150° a 240°	140

Asumiendo un valor para  $R_w$  igual a 230 N.

- $R_{ska}$  y  $R_b$ : Son resistencias menores o secundarias, que son tenidas en cuenta cuando se adiciona plancha o borde guía para material a transportar ( $R_{ska}$ ) y limpiador de banda ( $R_b$ ). En nuestro caso son despreciadas.

Por tal la resistencia secundaria queda:

$$R_s = 0,7 [N] + 230[N]$$

$$R_s = 231 [N]$$

2.2 Obtención de masas de banda, rodillos y carga del material a transportar.

### 2.2.1 Masa de la banda por metro de longitud.

Utilizando las tablas adjuntas, que son del método de caracterización de la banda a utilizar por el cliente de la casa fabricante LinkBelt y utilizadas en el libro del ing. Raul Posso, se encuentra una referencia importante del peso de la banda recomendable a este diseño.<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> MANEJO Y TRANSPORTE DE MATERIALES Y APARATOS DE TRANSPORTE CONTINUO, pág. 65.

Figura 2.2.1 Número máximo y mínimo de lonas recomendadas según ancho de banda.

ANCHO DE LA BANDA (PULGADAS)	MATERIALES		CARBON		CARBON		MINERALES GRUESOS Y OTROS MINERALES PESADOS (TROZOS GRANDES)		MAXIMO NUMERO DE LONAS											
	28	32	4"	3"	20"	8"	6"	20°	45°											
16	3	3	4	4				4	4											
18	3	3	4	4	3	3			4	4	3	3								
20	4	4	4	4	3	3			5	5	4	3	3							
24	4	4	4	4	4	4	5	4	5	5	4	4	4							
30	4	4	5	5	5	4	6	6	5	4	4	4	4	5	5	4				
36	4	4	6	5	5	4	6	6	5	5	5	5	5	6	6	4				
42	4	4	6	5	5	5	7	7	6	6	6	6	6	7	6	5	4			
48	4	4	6	5	5	5	8	8	7	7	7	7	7	8	7	6	5	4		
54	4		7	6	6	6	8	8	7	7	8	8	8	9	8	7	6	5		
60	4		7	7	7	7	8	8	7	7	8	8	9	10	9	8	7	6	5	

Figura 2.2.2 Pesos de banda según número de lonas.

		PESO DE LA BANDA												
		En lbs X pulgada de ancho X pie de longitud.												
Especificación de la banda	Espesor por lona, en pulgadas.	Espesor total de los recubrimientos.	NUMERO DE LONAS											
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
28 ONZAS	0.045	3/16	.176	.201	.225	.250	.274	.299	.324	.348				
		1/4	.210	.235	.259	.284	.309	.333	.356	.382				
32 ONZAS	0.053	5/16	.244	.269	.293	.318	.343	.367	.392	.416				
		3/16	.184	.211	.238	.265	.293	.318	.346	.373	.400			
		1/4	.218	.245	.272	.299	.326	.353	.380	.407	.434			
		5/16	.225	.279	.306	.333	.360	.387	.414	.441	.468			
36 ONZAS	0.056	3/16	.188	.216	.245	.273	.302	.330	.359	.387	.416	.444		
		1/4	.222	.250	.279	.307	.336	.364	.393	.421	.450	.478		
		5/16	.256	.285	.313	.341	.370	.398	.427	.455	.484	.512		
		3/8	.290	.318	.347	.375	.404	.432	.461	.484	.518	.546		
42 ONZAS	0.063	3/16	.196	.227	.259	.290	.321	.353	.384	.415	.447	.478		
		1/4	.230	.261	.293	.324	.355	.387	.418	.449	.481	.512		
		5/16	.264	.295	.327	.358	.389	.421	.452	.483	.515	.546		
		3/8	.298	.329	.361	.392	.423	.455	.486	.517	.549	.580		
48 ONZAS	0.069	3/16		.238	.272	.306	.340	.374	.408	.442	.476	.510		
		1/4		.272	.306	.340	.374	.408	.442	.476	.510	.544		
		5/16		.306	.340	.374	.408	.442	.476	.510	.544	.578		
		3/8		.340	.374	.408	.442	.476	.510	.544	.578	.612		

Pasos a seguir:

De la tabla 4 podemos observar que para anchos de banda entre 30" y 36" (intervalo en el que se encuentra ancho de 800 mm), el número de lonas mínimo es 4 y el máximo no pasa de 6, para un material transportado de tamaño grano mediano. Escogiendo 6 lonas de un peso de 36 onzas cada una.

De la tabla 6, para lonas de 36 onzas y con recubrimientos de 3/8" (1/4" lado superior y 1/8" lado inferior) se obtiene un peso de banda aproximado de 19,4 Kg/mL.

### **2.2.2 Masa de los rodillos de avance y retorno.**

De tablas de fabricante de rodillos para esta aplicación PRECISION PULLEY AND INDLER INC. Se toma un modelo para banda plana con la capacidad volumétrica más cercana por arriba al de este diseño. Siendo su peso igual a 3 Kg por rodillo.

De la tabla que se presenta a continuación se tiene un dato inicial de espaciamiento entre rodillos para la banda transportadora de acuerdo al ancho de banda y al tipo (banda plana o tipo artesa).<sup>36</sup> El cual para 800 mm de ancho y tipo plana es de 1000 mm de separación máxima en rodillos de avance y 3000 mm de separación en los rodillos de retorno.

---

<sup>36</sup> Referencia de diseño tomado del libro INTRODUCTION TO MATERIALS HANDLING, pág. 77.

**Tabla 2.2.2 Espaciamiento recomendado para rodillos de avance y retorno según ancho de banda y tipo.**

Belt Width	Troughed Belt		Flat Belt	Return Idler Sets
	Carrying Idler Sets for Materials of Bulk Density ( $t/m^3$ )			Troughed and Flat Belt
	0.40 to 1.20	1.20 to 2.80		-
	Recommended Spacings, mm			
300 400 500 650	1500	1200	1000	3000
800 1000	1200	1000		
1200 1400 1600 1800 2000	1000	1000	750	

- Para Retorno: se escoge un espaciamiento de 1000 mm. Siendo entonces el peso de 3 Kg/mL de los rodillos de retorno.
- Para Avance: se escoge un espaciamiento de 500 mm. Siendo entonces el peso de 6 Kg/mL de los rodillos de avance.

### 2.3 Cálculo de carga del material a transportar por unidad de longitud.

Suponiendo carga uniforme a lo largo de la banda de sacos cargados con 50 kg de producto, distribuidos a lo largo de sus medidas, 1 mts de largo, la densidad de carga es de 50 Kg/mL, y asumiendo un factor de sobrecarga de 4 (asumiendo condiciones distintas de carga) quedaría en 200 Kg/mL.

2.4 Calculo de la tensión equivalente o efectiva y tensión T1 y T2.

$$T_e = 0,02 * 10 \text{ mL} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \left[ 6 \frac{\text{Kg}}{\text{mL}} + 3 \frac{\text{Kg}}{\text{mL}} + 2 * 19,4 \frac{\text{Kg}}{\text{mL}} + 200 \frac{\text{Kg}}{\text{mL}} \right] + 231 \text{ N}$$

$$T_e = 650 \text{ N}$$

Entonces,

$$T_2 = \frac{650 \text{ N}}{e^{0,35 * \frac{7\pi}{6}}} = 180 \text{ N}$$

$$T_1 = T_e + T_2 = 830 \text{ N}$$

Escogiendo un ángulo de abrace de 210° y un coeficiente de fricción de 0,35 (recomendado para condiciones de humedad media y tambor en poliuretano).<sup>37</sup>

### 3. Calculo de las tensiones T1 y T2 mínimas requeridas por deflexión.

Se chequea la tensión mínima requerida para evitar excesivas deflexiones a lo largo de la banda en carga y en retorno, con las siguientes ecuaciones:<sup>38</sup>

- Por zona de carga.

$$T_{c \text{ min.}} \geq \frac{I_c^2 (m_b + m_G) * g}{8 * S}$$

Siendo "Ic" la separación elegida entre rodillos en zona de carga. Y "S" la deflexión máxima admisible (entre 0.005 a 0.02 mts).

$$T_{c \text{ min.}} = \frac{0,5^2 \text{ m}^2 * \left( 19,4 \frac{\text{Kg}}{\text{mL}} + 50 \frac{\text{Kg}}{\text{mL}} \right) * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{8 * 0,015 \text{ m}}$$

$$T_{c \text{ min.}} = 1,5 \text{ KN}$$

<sup>37</sup> INTRODUCTION TO MATERIALS HANDLING, Referencia de diseño. pág. 73.

<sup>38</sup> INTRODUCTION TO MATERIALS HANDLING, Ecuación de diseño. pág. 73.

- Por zona de retorno.

$$T_{r \min.} \geq \frac{l_r^2 * m_b * g}{8 * S}$$

Siendo “ $l_r$ ” la separación elegida entre rodillos en zona de retorno. Y “ $S$ ” la deflexión máxima admisible (entre 0.005 a 0.025 mts).

$$T_{r \min.} = \frac{1^2 \text{ m}^2 * 19.4 \text{ Kg/mL} * 9.8 \text{ m/s}^2}{8 * 0.025 \text{ m}}$$

$$T_{r \min.} = 950.6 \text{ N}$$

Por ser mayores a los valores calculados en el ítem 2.4 de este anexo, estos serán los nuevos valores de T1 (1.5 KN) y de T2 (950.6 N) para los nuevos cálculos que se lleven de aquí en adelante. También serán los valores mínimos de tensión requeridos en el sistema, lo cual servirá para la selección del tipo de ajuste de la banda, sea por husillo o por pesas.

### 3.1 Reevaluación del ángulo de abrace a tambor principal.

Como se tiene nuevas tensiones en el sistema se reevalúa con la ecuación del cap. 2 de este anexo, el ángulo de abrace necesario a estas nuevas condiciones.

$$\frac{T1}{T2} = e^{\mu\alpha}$$

$$\alpha = \frac{\text{Ln} \left( \frac{1.5}{0.95} \right)}{0.35} = 1.305$$

$$\alpha \approx 75^\circ$$

Estando muy por debajo al seleccionado ( $210^\circ$ ), dejando entonces el mismo ángulo de abrace y con la tensión superior T1 a la hallada, siendo entonces la tensión T2 requerida para este ángulo de apenas de 450 N.

#### 4. Diseño de la banda transportadora.

Ya con los datos calculados anteriormente es posible definir la resistencia de la banda necesaria para esta operación, y con ello definir la referencia exacta a solicitar en cualquier casa fabricante.

Para ello se define la tensión máxima requerida, que no es más que la tensión  $T_1$  hallada anteriormente, por un factor de arranque (depende del tipo de arranque configurado al motor eléctrico y de su acoplamiento). Este factor que se simboliza por “ $\xi$ ”, tiene valores que van de 1.8 a 2.2 para conexión directa del motor a acople tipo pin bush, y de 1.2 para configuración de arranque tipo estrella-triángulo con acoplamiento flexible o tipo hidrodinámico.

En este caso se tomara previniendo las peores configuraciones de arranque y de acoplamiento ( $\xi=2.2$ ), la cual según la ecuación que se presenta a continuación nos brindara la tensión admisible de la banda a comprar: <sup>39</sup>

$$T_{1\ max} = T_e * \xi * \left\{ \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - 1} \right\}$$
$$T_{1\ max} = 1.05\ KN * 2.2 * \left\{ \frac{e^{0,35 * \frac{7\pi}{6}}}{e^{0,35 * \frac{7\pi}{6}} - 1} \right\}$$
$$T_{1\ max} = 3.2\ KN$$

Siendo el esfuerzo permisible mínimo de la banda a escoger igual a: (según características seleccionadas en el ítem 2.2 de este anexo)

$$\sigma = \frac{T_{1\ max}}{A_{transv.}} = \frac{3.2\ KN * 1000}{800\ mm * 9.525\ mm}$$
$$\sigma = 0.42\ KPa$$

---

<sup>39</sup> INTRODUCTION TO MATERIALS HANDLING, Referencia de diseño. pág. 74.

## 5. Diámetro de tambores (pie, cabeza).

Con las características antes definidas de la banda a utilizar (6 lonas mínimo, con cubierta de espesor 3/8", material algodón y carcasa de 2.4 mm), es posible por medio de la norma ISO 3684-1990 definir el diámetro mínimo a utilizar en los tambores de pie y cabeza. Esta norma provee la tabla que se presenta a continuación, que puede trabajarse con los datos antes mencionados (asumiendo una máxima tensión de la banda entre 60-100%) arrojando un diámetro mínimo de 200 mm.

**Fig. 5 Tabla de recomendación del diámetro mínimo de los tambores de cola y cabeza.<sup>40</sup>**

**Table 8 Recommended Minimum Pulley Diameters**  
( Clause J-2.3 )

Carcass Thickness, in mm						Recommended Minimum Diameter in mm for Percentage of RMBT <sup>1)</sup> Used								
Cotton		100 Percent Polyamide		Polyester Polyamide		Over 60 Up to 100 Percent Type of Pulley			Over 30 Up to 60 Percent Type of Pulley			Up to 30 Percent Type of Pulley		
From	To	From	To	From	To	A	B	C	A	B	C	A	B	C
—	1'2	—	1'1	—	0'9	100	—	—	—	—	—	—	—	—
1'3	1'5	1'2	1'3	1'0	1'1	125	100	—	100	—	—	—	—	—
1'6	2'0	1'4	1'7	1'2	1'4	160	125	100	125	100	—	100	100	—
2'1	2'5	1'8	2'2	1'5	1'8	200	160	125	160	125	100	125	125	100
2'6	3'1	2'3	2'7	1'9	2'3	250	200	160	200	160	125	150	160	125
3'2	3'9	2'8	3'5	2'4	2'9	315	250	200	250	200	160	200	200	160
4'0	5'0	3'6	4'4	3'0	3'7	400	315	250	315	250	200	250	250	200
5'1	6'2	4'5	5'5	3'8	4'6	500	400	315	400	315	250	315	315	250
6'3	7'8	5'6	7'0	4'7	5'8	630	500	400	500	400	315	400	400	315
7'9	10'0	7'1	8'8	5'9	7'4	800	630	500	630	500	400	500	500	400
10'1	12'5	8'9	11'1	7'5	9'2	1 000	800	630	800	630	500	630	630	500
12'6	15'6	11'2	13'8	9'3	11'5	1 250	1 000	800	1 000	800	630	800	800	630
15'7	17'5	13'9	15'5	11'6	12'9	1 400	1 250	1 000	1 250	1 000	800	1 000	1 000	800
17'6	20'0	15'6	17'7	13'0	14'8	1 600	1 250	1 000	1 250	1 000	800	1 000	1 000	800
		17'8	20'0	14'9	16'6	1 800	1 400	1 250	1 400	1 250	1 000	1 250	1 250	1 000
				16'7	18'5	2 000	1 600	1 250	1 600	1 250	1 000	1 250	1 250	1 000

<sup>1)</sup> RMBT — Recommended maximum belt tension.

A — Driving pulleys and pulleys exposed to high belt tension.

B — Snub pulleys in the return run under lower belt tension.

C — Bend pulleys for a change of direction of the belt of less than 30°.

<sup>40</sup> NORMA ISO 3684- 1990. Tabla Diámetro mínimo recomendado para los tambores de cabeza y cola.

## 6. Potencia de diseño.

La potencia requerida en este diseño, para el transporte de la torta de palmiste empacada está dada por la fórmula: <sup>41</sup>

$$P_d = \frac{T_e * V}{1000} [KW]$$

Donde,

- Te: Tensión efectiva (N)
- V: Velocidad de la banda. (m/s)
- Pd: Potencia efectiva en el tambor (KW)

Siendo entonces la potencia efectiva necesaria para esta banda igual a:

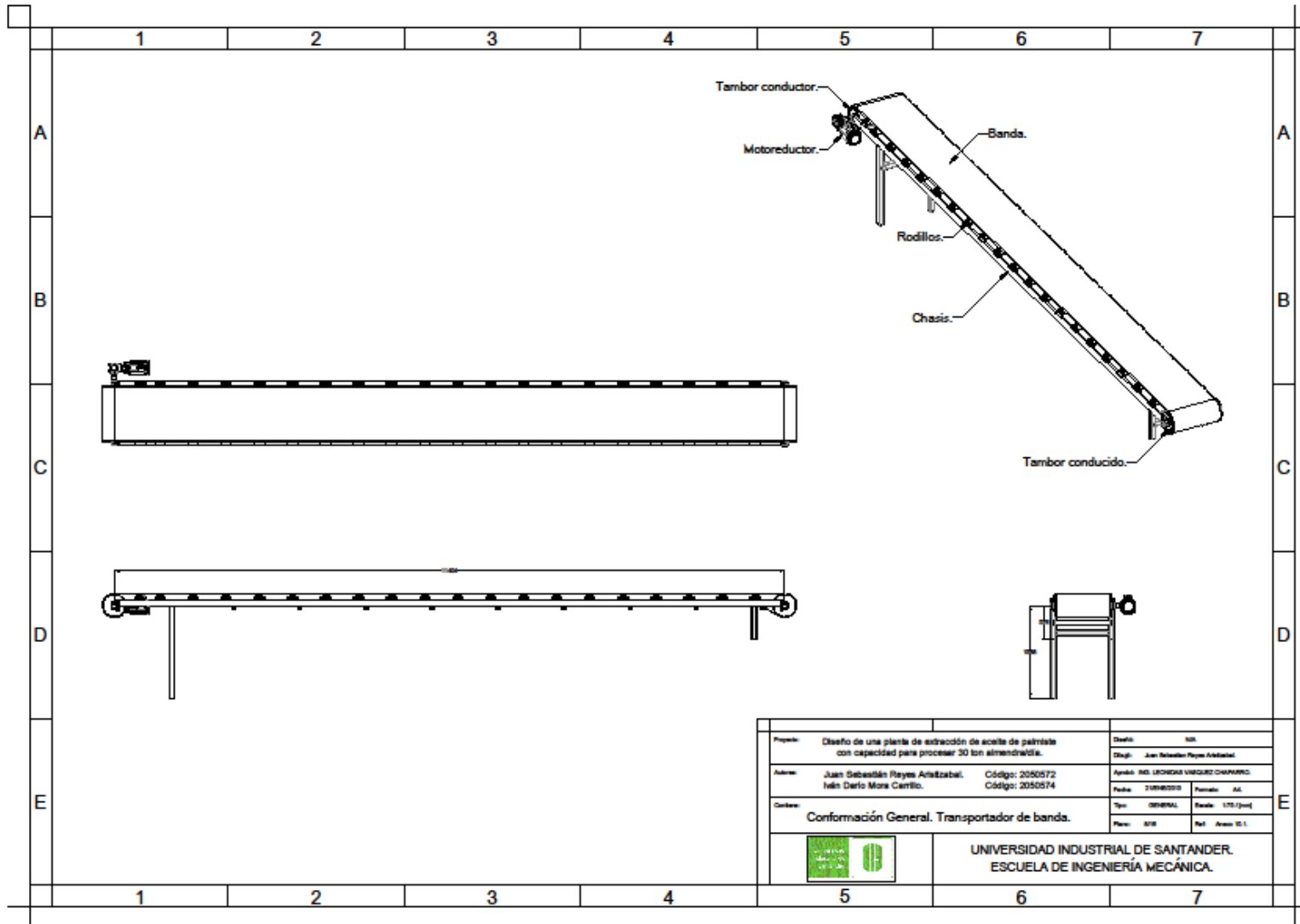
$$P_d = \frac{1050 N * 2 \frac{m}{s}}{1000} = 2.1 KW$$

Asumiendo una pérdida en la transmisión de un 15%, la potencia del motor es de 2.45 KW (3.3 HP).

---

<sup>41</sup> INTRODUCTION TO MATERIALS HANDLING, Referencia de diseño. pág. 75.

### Anexo 19. Conformación general. Transportador de banda.



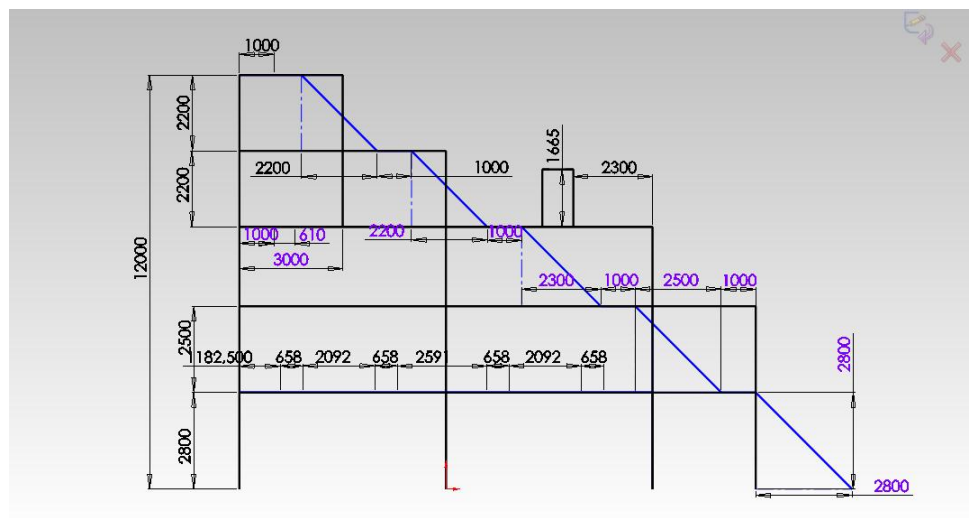
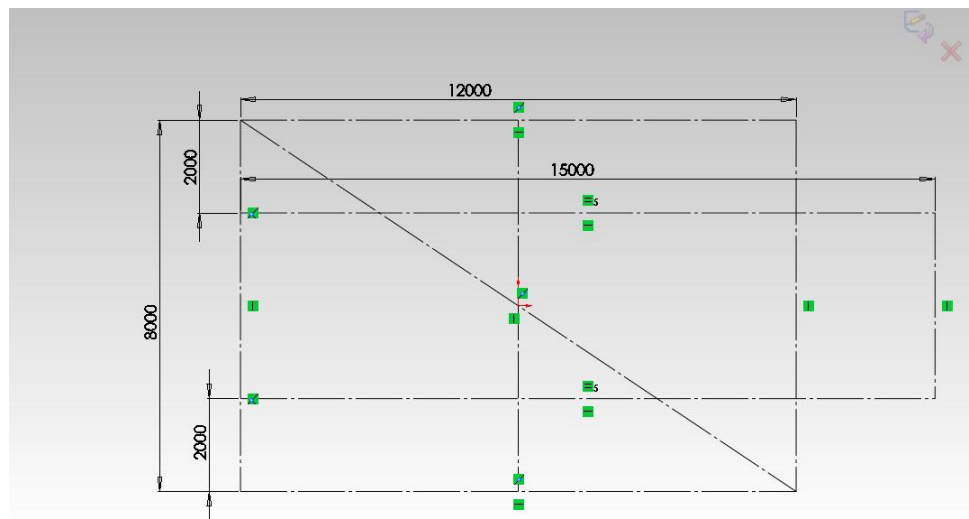
**Anexo 20. Ensamble general. Transportador de banda.**

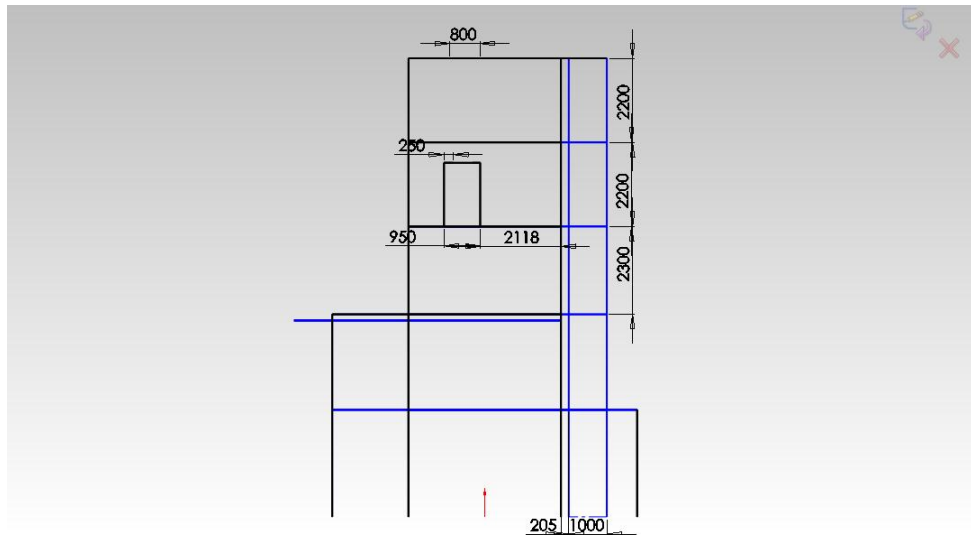


## Anexo 21. Memoria del cálculo de la plataforma de soporte.

### 1. Diseño arquitectónico.

Inicialmente se plantea la distribución de equipos teniendo en cuenta los aspectos arquitectónicos como espacios de circulación, alturas libres requeridas, continuidad del proceso, espacios para mantenimiento, etc.





En esta etapa el diseño consideraron accesos peatonales a todos los equipos de la planta, pasillos de circulación con ancho no menor a 1 metro, inclinación máxima en escaleras de 45°, plataforma frontal y trasera en el nivel de prensas previendo el mantenimiento de las mismas. (Cambio de caracoles y canasta de prensado, ejes, rodamientos etc. En la parte posterior se dejó un espacio adicional para el mantenimiento del conjunto motor, reductor y su respectiva transmisión).

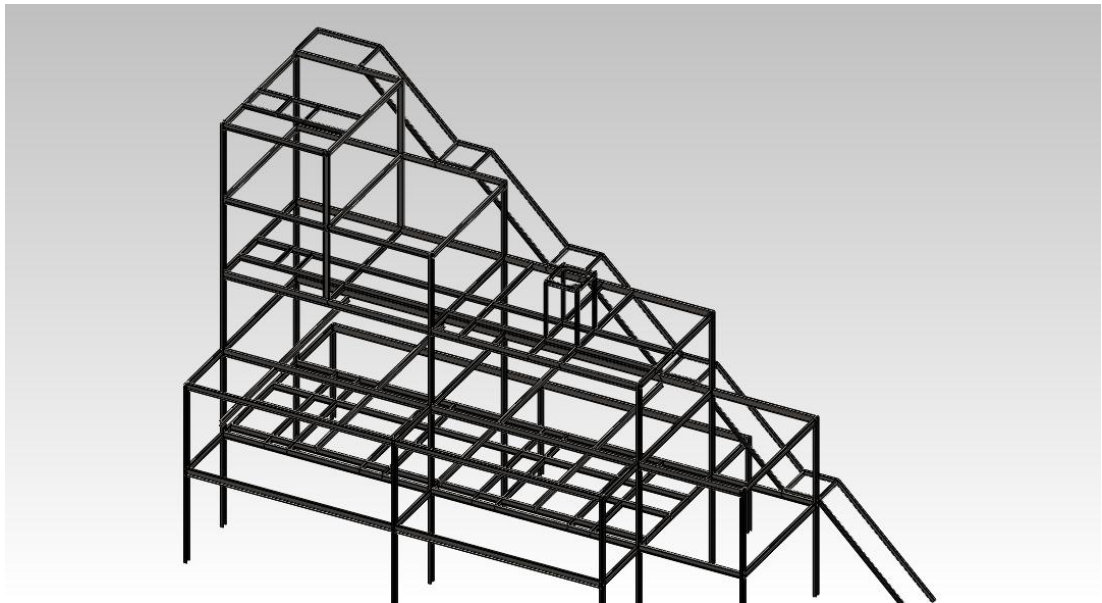
El proceso se concibe desde la parte alta de la plataforma hacia en nivel inferior, las etapas del proceso que tienen ascenso de material son la elevación de torta y el bombeo de aceite crudo y tamizado. La torta se eleva para alimentar las prensas de segunda etapa y el molino de trituración; así mismo los flujos de aceite crudo y tamizado se envían a un tercer nivel con el fin de descargar la fase sólida separada en el tamiz y el filtro Niágara sobre el transportador sin fin de alimentación a prensas y recuperar el aceite impregnado en la torta filtrada.

## 2. Selección de perfiles estructurales.

Durante esta etapa del diseño se procedió con la asignación de perfiles estructurales según lo observado en diferentes plantas extractoras, la metodología de diseño empleada se fundamenta en la iteración continua de tres pasos:



### 2.1 Asignación de perfiles.



Inicialmente se modeló la estructura con columnas y vigas principales en perfil SB 160 X 18, vigas de amarre en canal C 200 x 25 y 180 x 18, los refuerzos de piso se modelaron en canal C 120 x 12 y ángulo de lados iguales 50 x 6.

## 2.2 Simulación bajo carga.

Para proceder con esta etapa es necesario considerar las cargas que actúan sobre la plataforma, las cargas aplicadas al modelo se describen a continuación y se basan en un instante crítico durante la operación.

*Cargas debidas a la operación de los equipos.*

### **a.** Ciclón de recepción de almendras:

- Peso propio del equipo: 465 Kg.
- Peso de almendras (falla crítica, ciclón totalmente lleno de almendras): 654 Kg.
- Reacción horizontal por el choque tangencial de las almendras en la pared del ciclón durante el transporte. 100 Kg.
- Peso de la esclusa totalmente llena. 125 Kg.

Total carga vertical:  $1244 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 12203.6 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida en cuatro puntos de apoyo:  $12203.6 \times 2 / 4 = 6101.82 \text{ [N]}$

Total carga Horizontal:  $100 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 981 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida en dos puntos de apoyo:  $981 \times 2 / 2 = 981 \text{ [N]}$

### **b.** Báscula de paso de almendras:

- Peso propio del equipo: 265 Kg.

- Peso de almendras en condición de falla crítica: 113 Kg.

Total carga vertical:  $378 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 3708.18 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida en cuatro puntos de apoyo:  $3708.18 \times 2 / 4 = 1854.09 \text{ [N]}$

**c. Tamiz Circular:**

- Peso propio del equipo: 292 Kg.
- Peso de una capa de agua de 10 cm: 182 Kg.
- Reacción omnidireccional:  $\text{Peso total} / 2 = 237 \text{ Kg.}$

La reacción omnidireccional se debe a la vibración natural generada por el equipo para simplificar el cálculo, modelamos como una carga estática equivalente a la suma del peso total del equipo más una capa de agua de 10 cm de espesor dividida en 2, en el modelo la aplicaremos de forma horizontal en ambos sentidos con el fin de ver el comportamiento de la estructura.

Total carga vertical:  $474 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 4649.94 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida en cuatro puntos de apoyo:  $4649.94 \times 2 / 4 = 2324.97 \text{ [N]}$

Total carga Horizontal:  $237 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 2324.98 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida en un punto de apoyo:  $2324.98 \times 2 = 4649.96 \text{ [N]}$

**d. Filtro Niagara:**

- Peso propio del equipo: 750 Kg.
- Peso del volumen interno en agua: 1000 Kg.

Total carga vertical:  $1750 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 17167.5 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida en cuatro puntos de apoyo:  $17167.5 \times 2 / 4 = 8583.75$  [N]

**e.** Transportador Sin Fin de Almendras:

- Peso propio del equipo: 750 Kg.
- Peso de almendras al 100% de carga en el equipo: 785 Kg.

En este caso, por tratarse de potencia y velocidad de rotación baja podemos despreciar el efecto dinámico del equipo sobre la plataforma.

Total carga vertical:  $1535$  [Kg]  $\times$   $9.81$  [m/s<sup>2</sup>] =  $15058.4$  [N]

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida en diez puntos de apoyo:  $15058.4 \times 2 / 10 = 3011.68$  [N]

**f.** Tolvas de alimentación de Almendras:

- Peso propio del equipo: 50 Kg.
- Peso de almendras: 1440 Kg.

Total carga vertical:  $1490$  [Kg]  $\times$   $9.81$  [m/s<sup>2</sup>] =  $14616.9$  [N]

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida en cuatro puntos de apoyo:  $14616.9 \times 2 / 4 = 7308.45$  [N]

**g.** Prensa Expeller para Almendras:

- Peso aproximado del equipo: 5000 Kg.
- Peso de almendras: 200 Kg.
- Fuerza estimada por torque reactivo: 3780 Kg.

*Nota: Aplicada sobre cada viga del chasis pero en sentidos contrarios.*

En este caso consideramos el torque máximo del reductor (74.0 KN), adicionalmente por tratarse velocidad de rotación baja despreciamos el efecto dinámico del equipo sobre la plataforma.

Total carga vertical viga 1:  $(2500 + 100 + 3780) \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 62587.8 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida sobre la viga longitudinal No 1.:  $62587.8 \times 2 = 125176.6 \text{ [N]}$

Total carga vertical viga 2:  $(2500 + 100 - 3780) \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = -11575.8 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida sobre la viga longitudinal No 2.:  $-11575.8 \times 2 = -23151.6 \text{ [N]}$

- Fuerza horizontal estimada por torque reactivo: 7560 Kg.

Total carga horizontal vigas 1 y 2:  $7560 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 74163.6 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida sobre cada viga longitudinal:  $74163.6 \times 2/2 = 74163.6 \text{ [N]}$

\*Al contemplar la alternativa con la máquina apagada, tenemos las siguientes fuerzas aplicadas.

Total carga vertical viga 1 y 2:  $(5000 + 200) \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 51012 \text{ [N]}$

Factor de diseño: 2

Total carga distribuida sobre cada viga longitudinal:  $51012 \times 2 / 2 = 51012 \text{ [N]}$

**h. Transportador Sin Fin de crudo:**

- Peso propio del equipo: 480 Kg.
- Peso de aceite al 100% de carga en el equipo: 373 Kg.

En este caso, por tratarse de potencia y velocidad de rotación baja podemos despreciar el efecto dinámico del equipo sobre la plataforma.

$$\text{Total carga vertical: } 853 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 8367.93 \text{ [N]}$$

Factor de diseño: 2

$$\text{Total carga distribuida en ocho puntos de apoyo: } 8367.93 \times 2 / 8 = 2091.98 \text{ [N]}$$

i. Transportador Sin Fin de torta:

- Peso propio del equipo: 1650 Kg.
- Peso de torta al 100% de carga en el equipo: 1650 Kg.

En este caso, por tratarse de potencia y velocidad de rotación baja podemos despreciar el efecto dinámico del equipo sobre la plataforma.

$$\text{Total carga vertical: } 3300 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 32373 \text{ [N]}$$

Factor de diseño: 2

$$\text{Total carga distribuida en doce puntos de apoyo: } 32373 \times 2 / 12 = 5395.5 \text{ [N]}$$

j. Molino de martillos para torta:

- Peso propio del equipo: 2300 Kg.

En este caso tomaremos un factor de diseño de 4 que contempla la carga dinámica generada por el equipo; Adicional a esto consideraremos una reacción horizontal de igual magnitud a la vertical.

$$\text{Total carga vertical: } 2300 \text{ [Kg]} \times 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 22563 \text{ [N]}$$

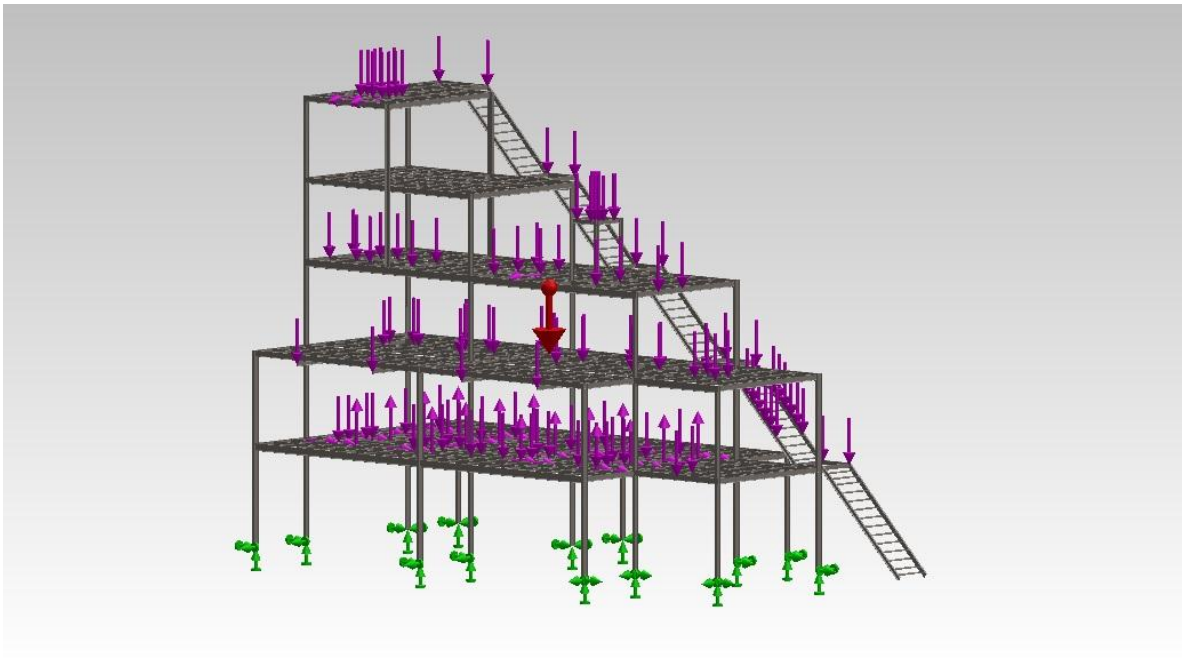
Factor de diseño: 4

$$\text{Total carga vertical y horizontal distribuida en cuatro vigas de apoyo: } 22563 \times 4 / 4 = 22563 \text{ [N]}$$

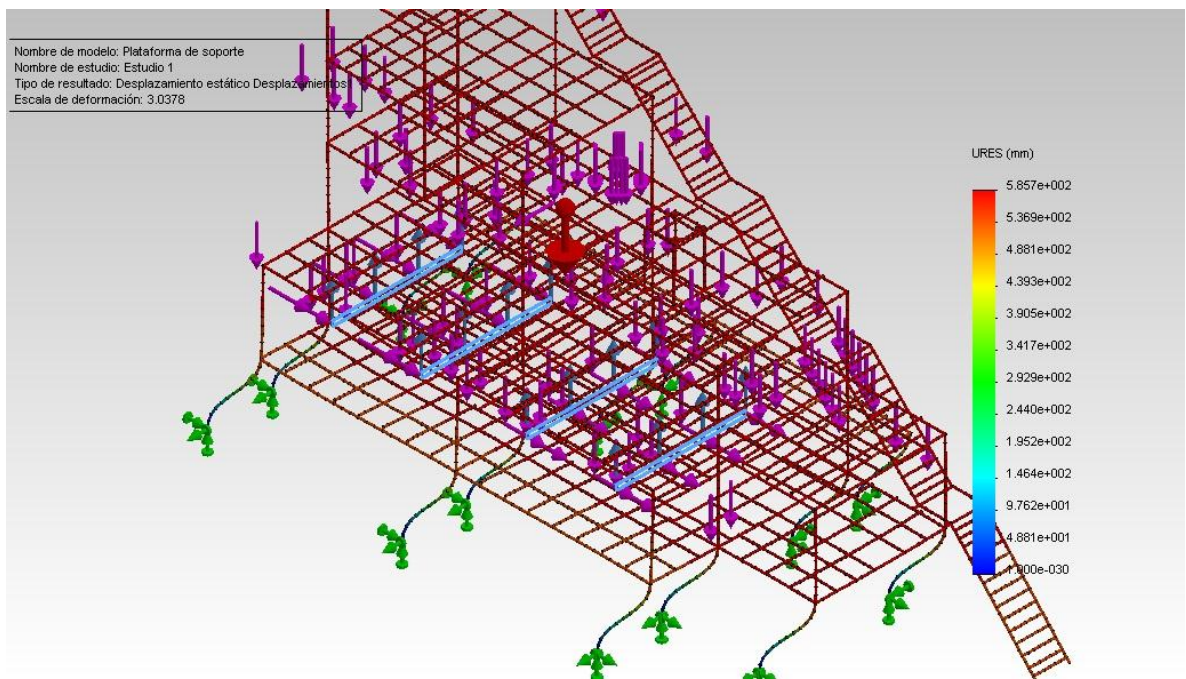
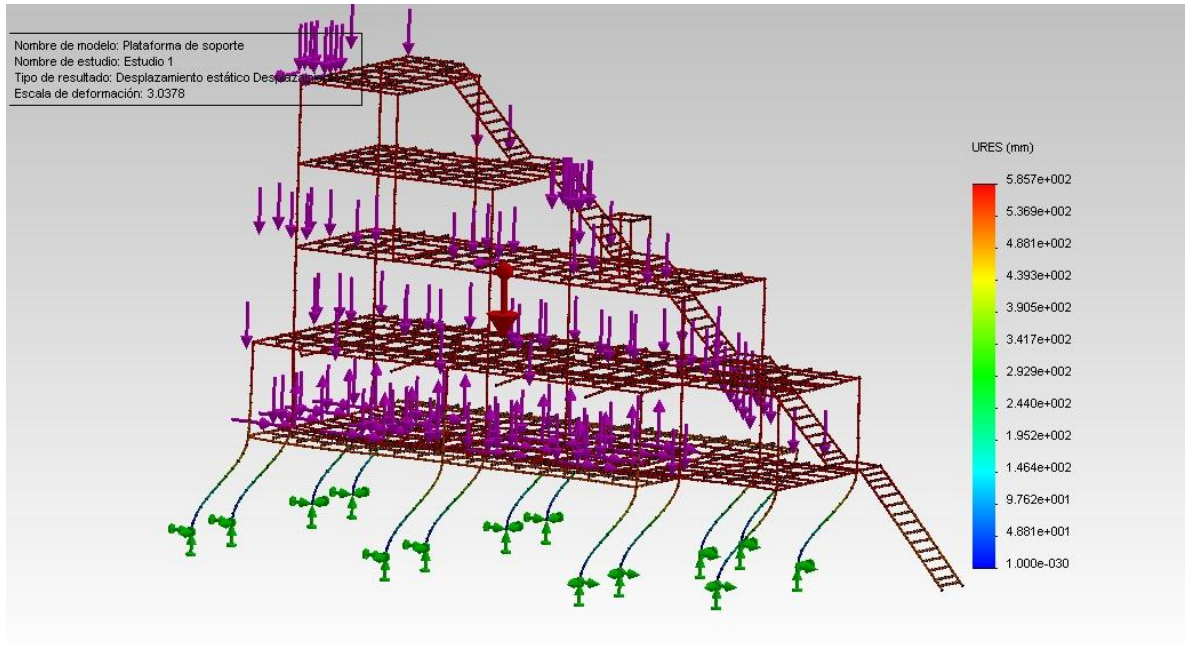
*Cargas aplicadas independientes de los equipos.*

- ✓ Carga aplicada en seis escalones consecutivos de 100 Kg c/u.
- ✓ Carga aplicada en los descansos de las escaleras de 200 Kg. c/u.
- ✓ Carga puntual sobre las vigas de mantenimiento de 1000 Kg. c/u.

Una vez determinadas las cargas que se aplicarán sobre el modelo 3D se procede con la primera simulación, la simulación se realizó con base en deformación excesiva con un factor de seguridad de 2.



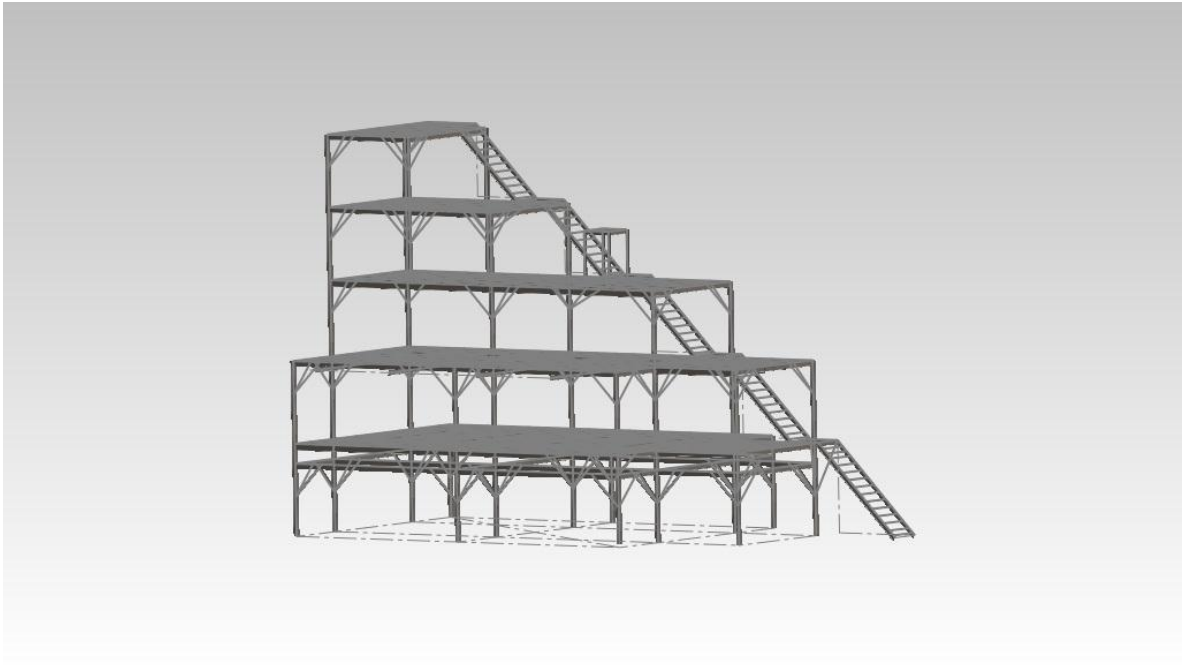
El primer resultado fue el siguiente:



Se encontró una deformación lateral excesiva (52 mm) en el primer nivel; la deformación se debe principalmente a la reacción horizontal estimada por el

torque reactivo; Se procede a reforzar la estructura y realizar nuevamente la simulación bajo carga.

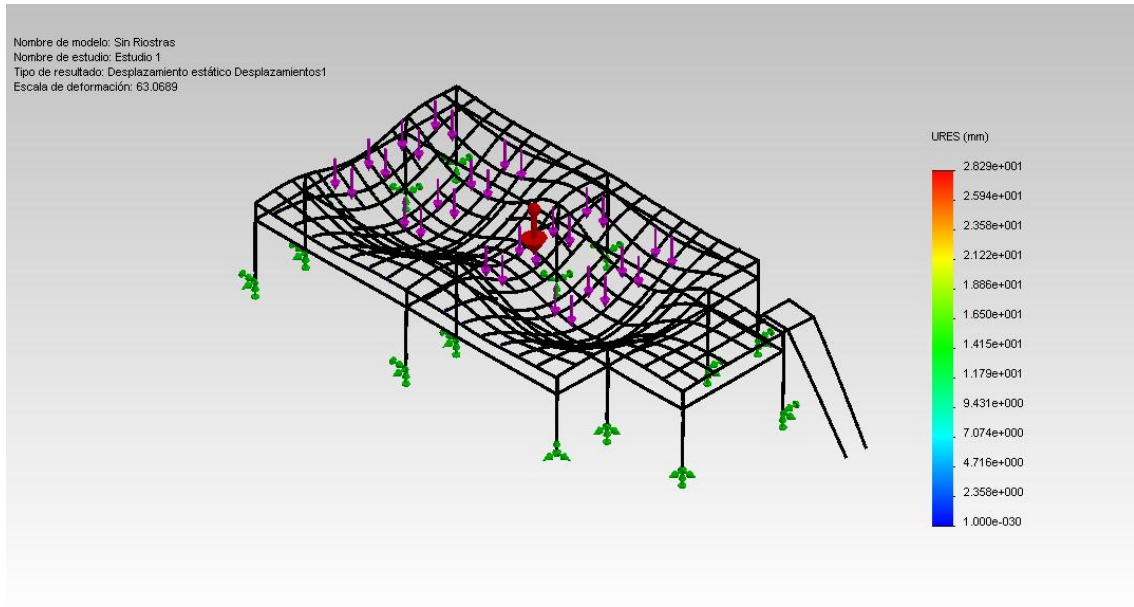
Se realizaron los refuerzos con un anillo de vigas de amarre en canal C 120 x 12 y riostras de refuerzo en ángulo de lados iguales de 75 x 9.



Con el fin de simplificar el estudio y basados en los resultados de la simulación anterior, se aisló el primer nivel para realizar una simulación únicamente de la primera planta; La simulación se dividió en dos:

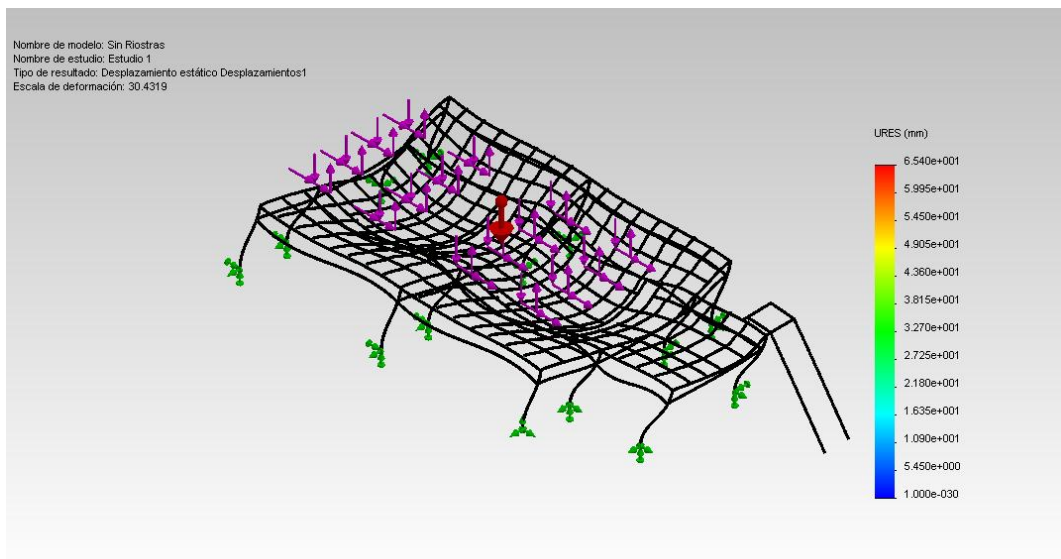
- Estudio estático con planta apagada.
- Estudio dinámico en condición crítica de torque máximo en todas las prensas de forma simultánea.

El primer estudio estático arrojó el siguiente resultado:



La deformación máxima es de 28.5 mm en la viga principal de soporte de prensa, esto corresponde aproximadamente al 0,5% de la longitud de la viga y por lo tanto se da por aceptada.

El primer estudio dinámico arrojó el siguiente resultado:

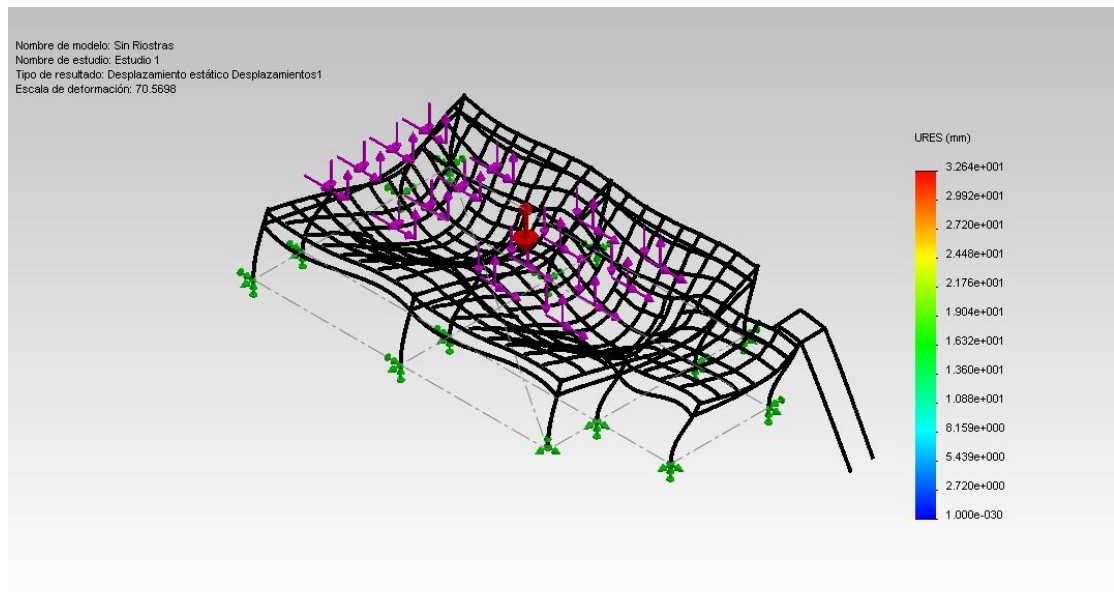


La deformación máxima en columnas es de 50 mm, adicional a esto, las vigas de soporte de prensas llegan a deformarse 65 mm, este nivel de deformación es muy alto, sin embargo es un caso demasiado crítico que tal vez nunca ocurra; además, hay que tener en cuenta que el modelo se simuló sin las riostras de refuerzo.

Se procede incrementando el perfil de las columnas y las vigas de amarre principales del primer nivel.

Las columnas se llevaron a perfil SB 180 x 22 y las vigas de amarre principales de primer nivel se llevaron a perfil SB 180 x 22.

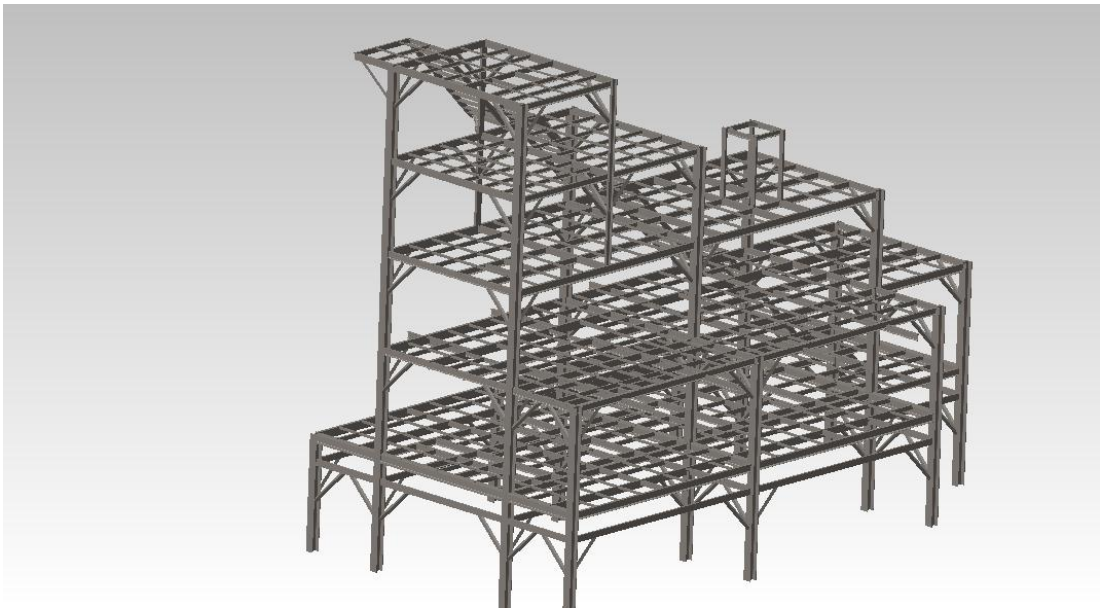
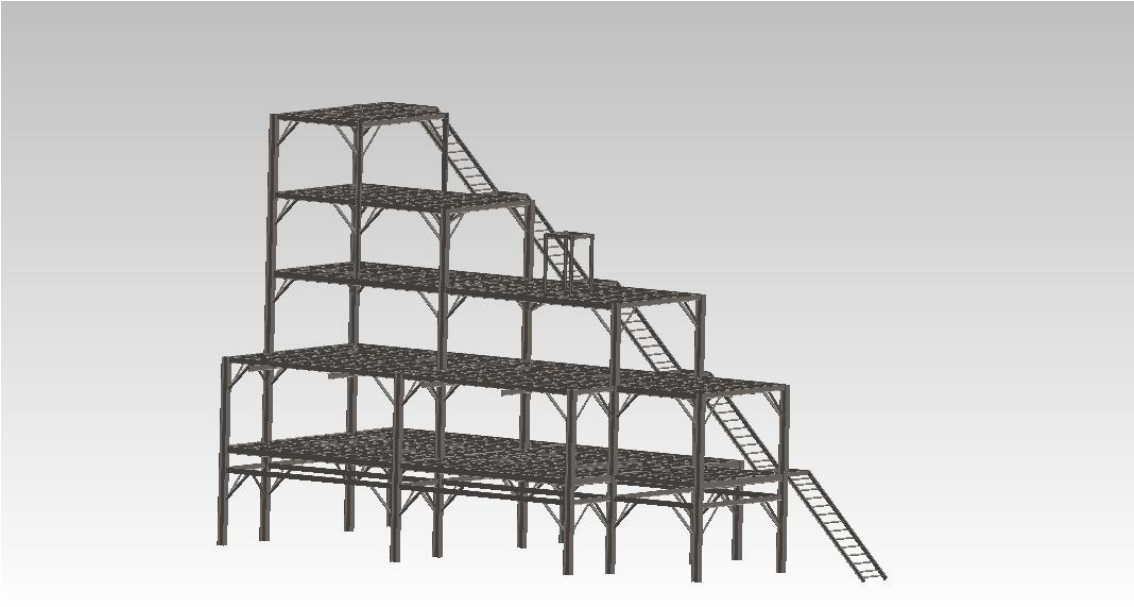
El segundo estudio dinámico arrojó el siguiente resultado:

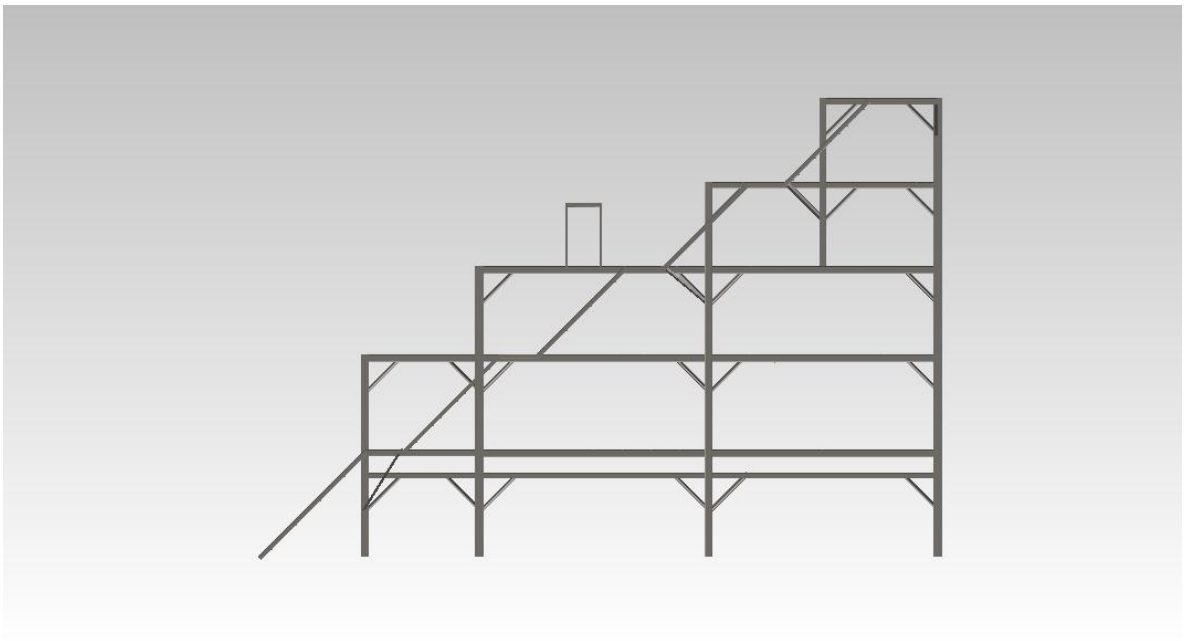
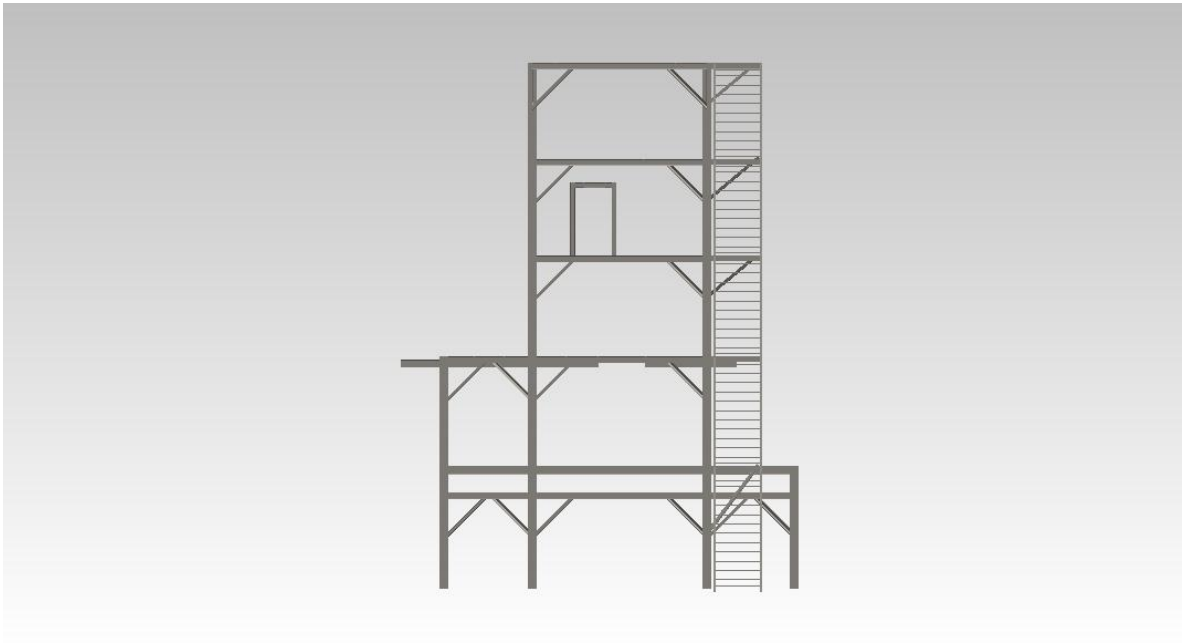


La deformación máxima en columnas es menor a 20 mm, la máxima deformación de la estructura se presenta en las vigas de soporte de prensas, la deformación es de 32 mm; a este nivel se considera que el modelo es bastante seguro, adicionalmente se puede asumir que las riostras de refuerzo reducirán drásticamente el nivel de deformación. (Las riostras no se simularon debido a la complejidad de la malla).

De acuerdo con los resultados del estudio, se obtuvo una estructura preliminar que sirve como base para un proceso posterior de optimización del diseño. En dicho proceso se deberán considerar cargas sísmicas, de viento, repentinas y demás; por tratarse de un estudio tan complejo este tema no se cubrirá en este trabajo.

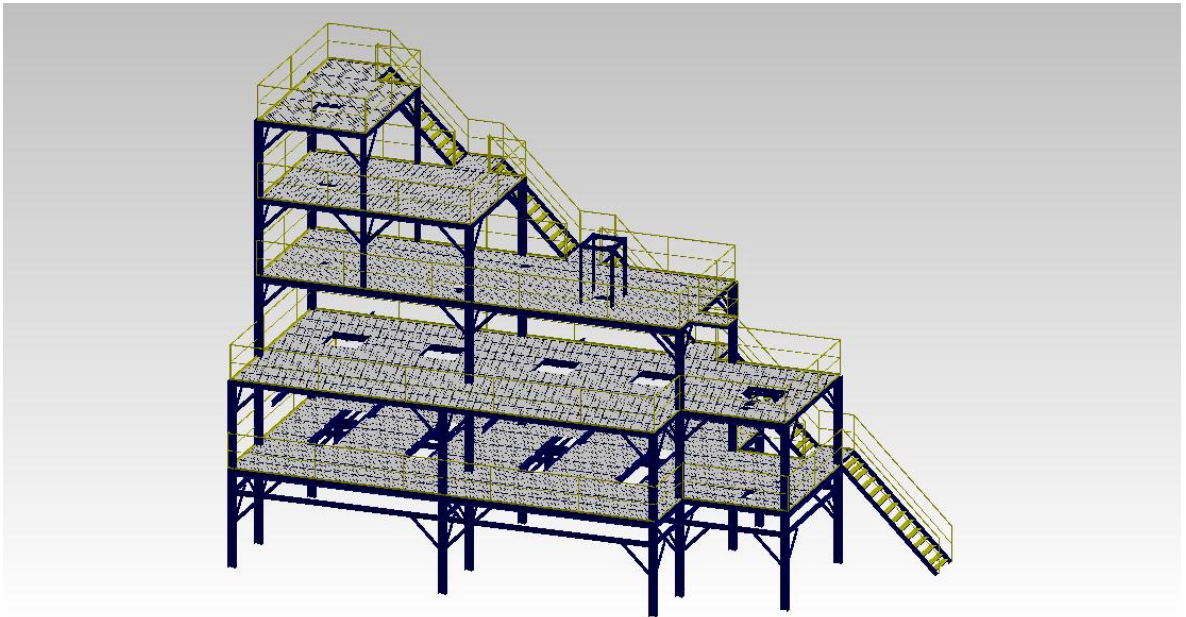
Aspecto Final de la Plataforma:







**Anexo 23. Ensamble general. Plataforma de soporte.**



## Anexo 24. Tanque Pulmón de Aceite Crudo.

El tanque pulmón de aceite de crudo, cumple la función de generar el buen funcionamiento de la bomba de crudo (Anexo 16), preservando siempre una cabeza de succión. Para ello se le debe adicionar un sensor de nivel máximo y mínimo (se recomienda por sencillez y mantenimiento prácticamente nulo, del tipo flotador), un filtro para despresurizarlo, un moto reductor con sus respectivas paletas (para evitar asentamientos de sólidos).

La altura manométrica a vencer por la bomba de crudo tiene como variable la presión de entrada o de succión ( $P_1$ ), en un rango de metros de columna de agua entre 0 - 2 mts.

El tiempo de residencia de bombeo (tiempo que tarda el tanque en vaciarse) viene dado por:

$$Q = \frac{V}{t}$$
$$t = \frac{1.3 \text{ m}^3}{9,72 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 1337,4 \text{ seg} = 22,29 \text{ min}$$

- ✓ El tanque de desocupa en 22 minutos de abastecimiento a la bomba a carga plena.

El tiempo de residencia de proceso (tiempo que tarda el tanque en llenarse) se calcula así:

$$\text{Caudal de proceso} = \frac{\text{Cap. proceso} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} * \% \text{extracción máx}}{\text{Densidad Aceite}}$$

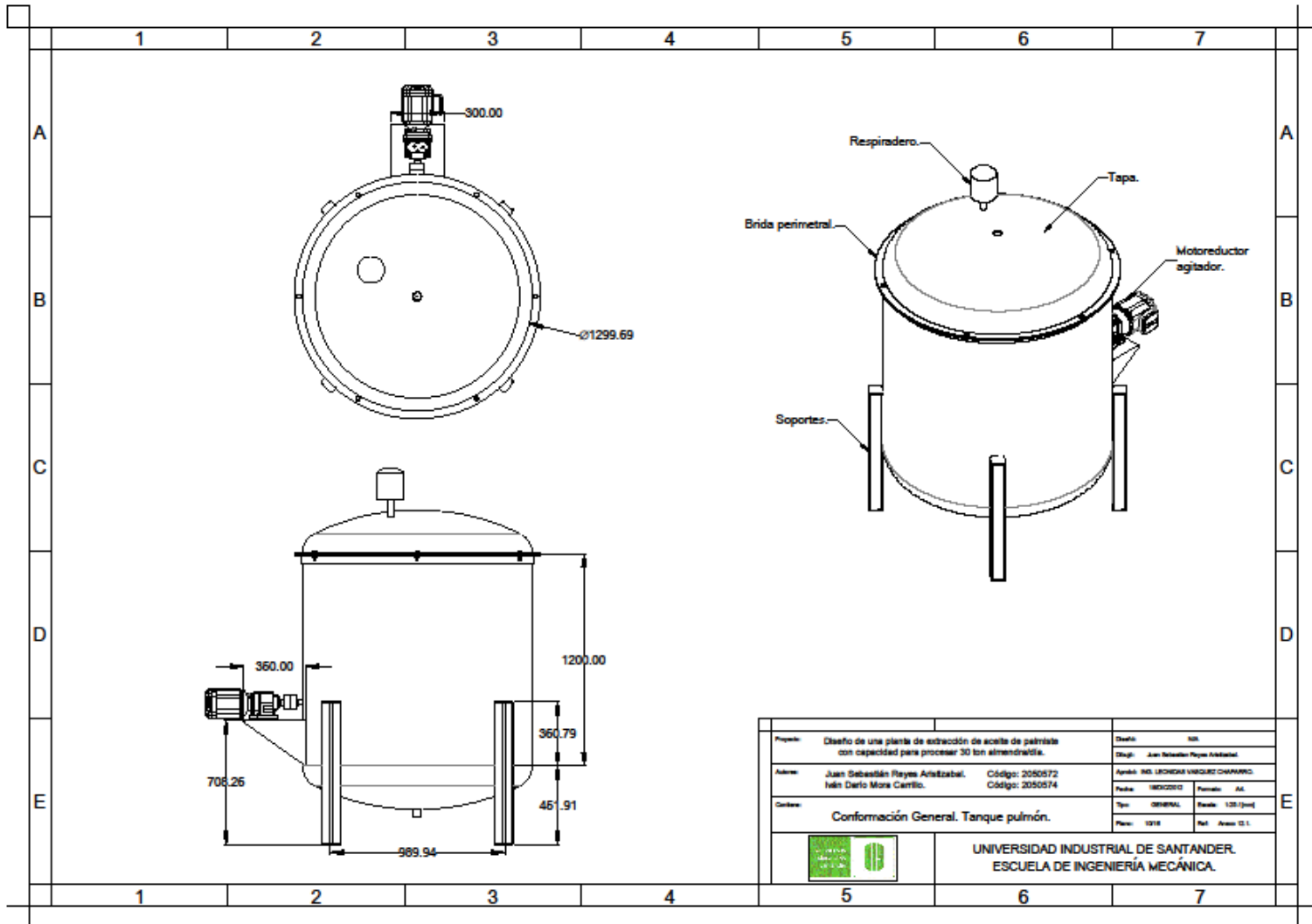
$$= \frac{30 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} * 50\%}{0,892 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}} = 0,0116 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 1,93 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = \frac{V}{t}$$

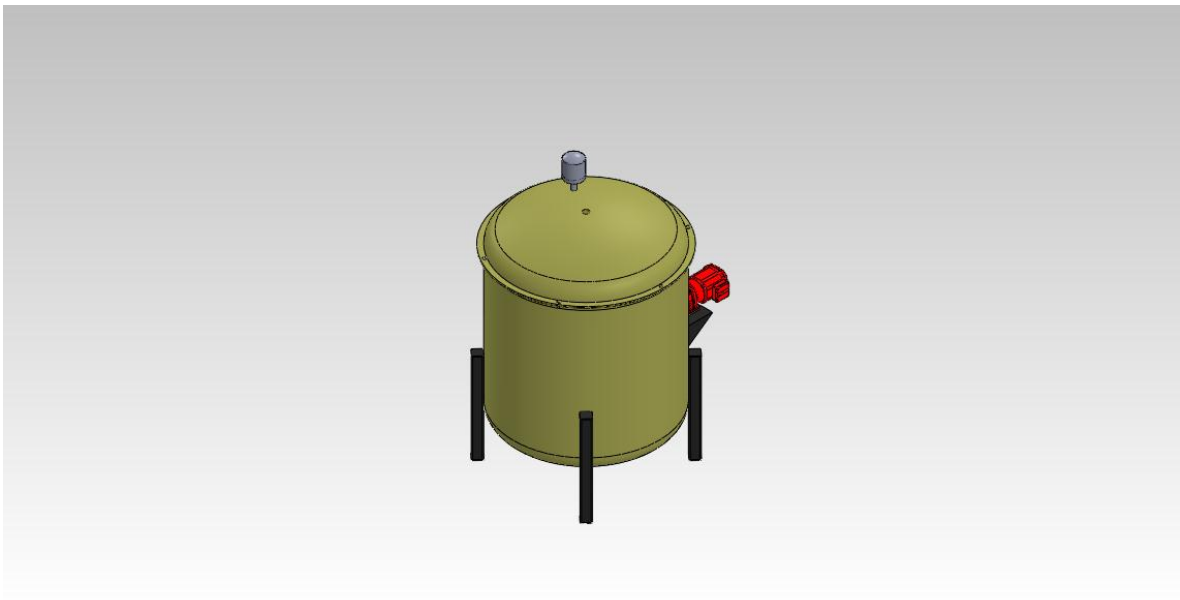
$$t = \frac{1.3 \text{ m}^3}{1,93 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 6735,75 \text{ s} = 112,2 \text{ min} = 1 \text{ h} : 52 \text{ min}$$

- ✓ El tanque de llena en 112 minutos de prensado a carga plena.

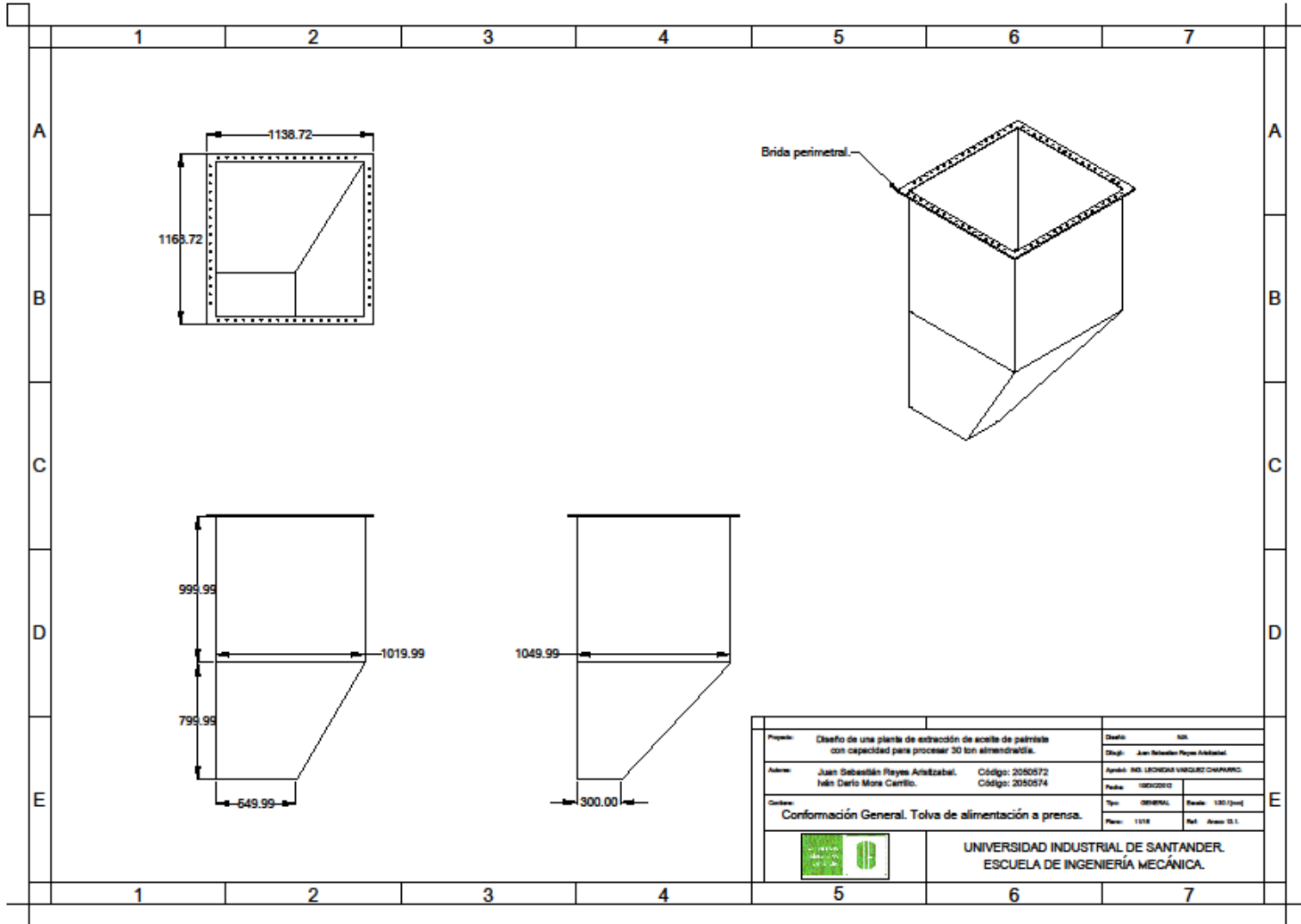
## Anexo 25. Conformación general. Tanque pulmón.



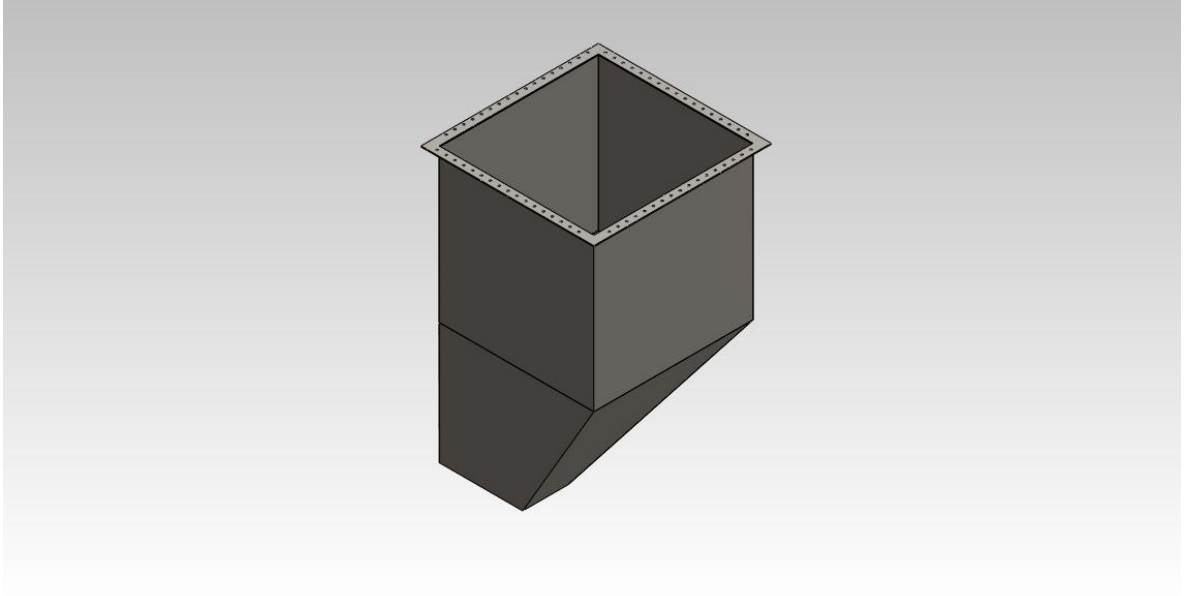
**Anexo 26. Ensamble general. Tanque pulmón.**



## Anexo 27. Conformación general.Tolva de alimentación a prensa



**Anexo 28. Ensamble general. Tolva de alimentación a prensa.**



## Anexo 29. Memoria del cálculo Prensas Expeller

El prensado es la operación que debe limitar la capacidad de procesamiento dado su elevado costo en comparación con las demás operaciones como el transporte, filtrado o tamizado.

Para la selección de las prensas se toma como punto de partida la capacidad máxima de procesamiento, es decir la capacidad de procesamiento que debe tener la planta durante el pico de cosecha, periodo en el cual se asume que la planta operará las 24 horas del día durante 6 días a la semana, reservando el día 7 para mantenimiento general.

Las prensas para extracción de aceite de Palmiste son fabricadas por empresas especializadas en la construcción de este tipo de máquinas, las capacidades estándar son:

- ✓ 10 Ton Almendra/24 Horas. Tipo A
- ✓ 15 Ton Almendra/24 Horas. Tipo B
- ✓ 20 Ton Almendra/24 Horas. Tipo C

### 1. Aplicación del criterio No 1; Capacidad.

Bajo un esquema de doble prensado se tiene lo siguiente como punto de partida:

$$Q = 30 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} ; \quad X_{\text{aceite}} = 50\% \quad ; \quad \eta_{\text{ext1}} = 80\%$$

Es decir que la cantidad de masa a prensar en la segunda etapa ( $Q''$ ) es:

$$Q'' = Q - (Q * X_{\text{aceite}} * \eta_{\text{ext1}}) = 30 - 12 = 18 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$$

Dónde:

$X_{\text{aceite}}$  corresponde al potencial de aceite contenido en la almendra.

$\eta_{ext1}$  corresponde a la eficiencia de extracción durante el primer prensado.

Según lo anterior se sabe que para el segundo prensado la masa a procesar es menor, sin embargo el número y tamaño de prensas debe ser igual a las de primer prensado debido a que la velocidad de rotación de los equipos de segundo prensado es menor pues se requiere mayor presión para extraer el aceite residual. Entonces para el primero y segundo prensado se tienen las siguientes alternativas:

- ✓ 6 prensas tipo A. **(Opción 1)**
- ✓ 4 prensas tipo B. **(Opción 2)**
- ✓ 2 prensas tipo A + 2 prensas tipo C. **(Opción 3)**

## 2. Aplicación del criterio No 2, 3 y 4; eficiencia, operación y mantenibilidad.

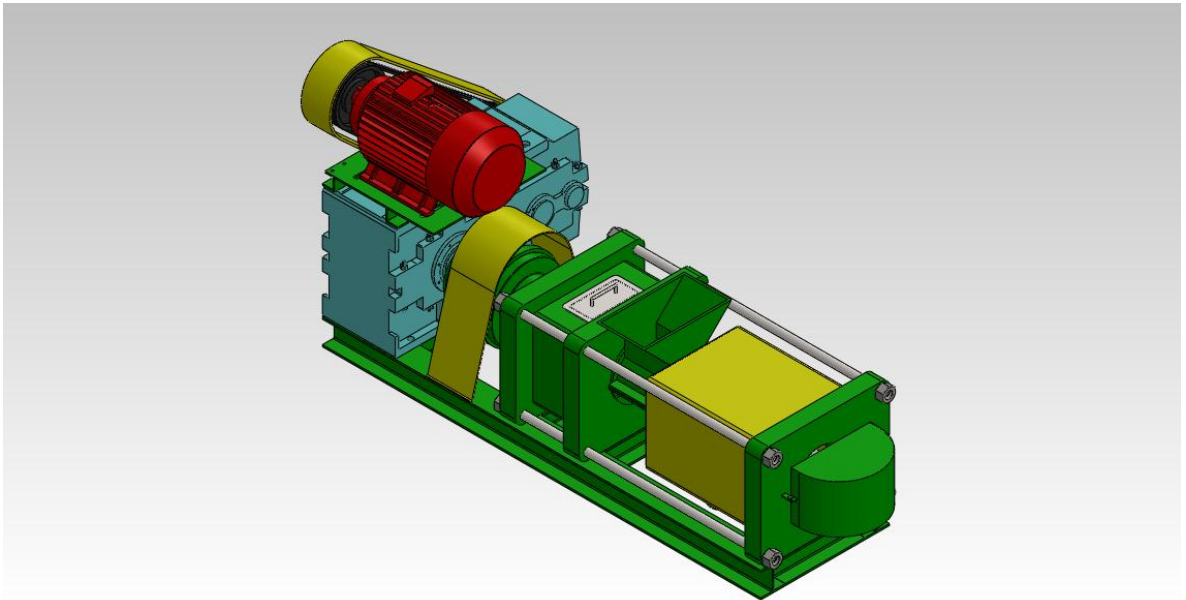
Para la aplicación de estos criterios se realiza un análisis cuantitativo por medio de la matriz de calidad QFD.

**Tabla 1. Matriz de calidad QDF.**

	OPCIÓN	Valor	OP. 1	OP. 2	OP. 3
	PARAMETRO				
<b>Operación</b>	Eficiencia de extracción	5	9	9	9
	Fácil operación	5	3	9	1
	Grado de automatización	3	3	3	3
	Consumo eléctrico	3	1	3	3
<b>Mantenimiento</b>	Estandarización de repuestos	4	9	9	1
	Horas hombre requeridas	4	1	9	9
	Facilidad de mantenimiento	4	3	9	1
	Posibilidades de falla	4	1	3	3
	Criticidad de falla en una unidad	4	9	3	1
<b>Total Ponderación</b>					
			164	240	128

Según el resultado de la matriz QFD es evidente que la opción 2 es la mejor alternativa, entonces la planta deberá operar con cuatro prensas para prensado de almendras de palma, dos prensas para primer prensado y dos para segundo prensado.

**Anexo 30. Ensemble general. Prensa Expeller.**



## Anexo 31. Memoria del cálculo. Bomba de aceite crudo.

### CÁLCULO TIPO

#### 1. Aplicación del criterio No 1; Capacidad.

Para la selección del sistema de bombeo partimos de la capacidad de operación de la planta y realizamos un balance de masas con el fin de encontrar el caudal que debe ser bombeado.

$$Q = 30 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} = 1.250 \frac{\text{Kg}}{\text{H}} \quad ; \quad X_{\text{aceite}} = 50\% \quad ;$$

Dónde:

**Q** es la capacidad de procesamiento de la planta.

**X<sub>aceite</sub>** es el potencial de aceite de la almendra.

De lo anterior tenemos que la cantidad máxima de aceite extraíble está dada por la ecuación:

$$Q_{\text{max1}} = Q * X_{\text{aceite}} = 1.250 \frac{\text{Kg}}{\text{H}} * 50\% = 625 \frac{\text{Kg}_{\text{aceite}}}{\text{H}}$$

Adicional a esto tenemos que una parte de la torta residual logra pasar a través de la canasta de prensado y se mezcla con el aceite. La cantidad de sólidos que logran atravesar la canasta es bastante variable, depende principalmente del desgaste que se presente en la canasta; para hacer un cálculo confiable podemos asumir que en un caso crítico el 30% del total de la torta logrará atravesar la canasta, caso en el cual los equipos de filtrado empezarán a fallar por sobrecarga. En conclusión podemos decir que la cantidad máxima de torta que se mezclaría con el aceite sería:

$$Q_{\text{max2}} = Q * X_{\text{torta}} * 30\% = 188 \frac{\text{Kg}_{\text{torta}}}{\text{H}}$$

Dónde:

$Q$  es la capacidad de procesamiento de la planta.

$X_{torta}$  es la cantidad máxima de torta teórica;  $X_{torta} = 1 - X_{aceite}$ .

Según lo expresado anteriormente podemos decir que flujo másico a bombear estará definido de la siguiente manera.

$$m' = Q_{max1} + Q_{max2} = 625 + 188 = 813 \frac{Kg}{H}$$

La densidad de la mezcla será:

$$\delta_{mezcla} = \frac{Q_{max1} + Q_{max2}}{\frac{Q_{max1}}{\delta_1} + \frac{Q_{max2}}{\delta_2}} = 781,7 \frac{Kg}{m^3}$$

Dónde:

$\delta_1$  es la densidad del aceite de Palmiste = 892 Kg/m<sup>3</sup>

$\delta_2$  es la densidad de la torta de Palmiste = 550 Kg/m<sup>3</sup>

Por lo tanto el caudal a bombear se puede definir como:

$$Q_{bomb} = \frac{m'}{\delta_{mezcla}} = \frac{813}{781,7} \approx 1,04 \frac{m^3}{H} = 2,88 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Ahora,

La composición volumétrica estará dada por:

$$\%_{aceite} = \frac{\frac{Q_{max1}}{\delta_1}}{Q_{bomb}} = \frac{\frac{625}{892}}{1,04} \approx 67,3\%$$

$$\%_{torta} = \frac{\frac{Q_{max2}}{\delta_2}}{Q_{bomb}} = \frac{\frac{188}{550}}{1,04} \approx 32,7\%$$

Sin embargo, este tipo de equipos no pueden representar la capacidad límite de proceso de la planta, estos equipos deben ser sobre diseñados con el fin de generar confiabilidad y flexibilidad en la operación de la planta.

En conclusión aplicaremos un factor de diseño de 3 para el caudal de la bomba, por lo tanto.

$$Q_{total} = 3 * Q_{bomba} = 3,12 \frac{m^3}{H} = 8,66 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

## 2. Aplicación del criterio No 2; Cabeza manométrica.

De acuerdo con el diseño de proceso y la distribución de equipos, sabemos que el aceite virgen se bombeará hacia el tercer nivel de la plataforma en donde se hará pasar por un tamiz circular encargado de remover los sólidos de mayor tamaño.

El punto de admisión del tamiz se encuentra aproximadamente 12 metros por encima el nivel de la bomba y a 4 metros de distancia en sentido horizontal, adicional a esto debemos dimensionar la tubería para mantener una velocidad de flujo baja con el fin de evitar el desgaste prematuro debido al alto contenido de sólidos.

Para este caso tomaremos como punto de partida una velocidad del flujo en la tubería igual a 0,5 m/s.

Entonces:

$$Q_{total} = A_{rea\ tub.} \times V_{el.flujo.}$$
$$A_{real.\ tub.} = \frac{Q_{bomba}}{V_{el.flujo.}} = \frac{8,66 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0,5} = 1,73 \times 10^{-3} m^2 = 17,3 cm^2$$

Despejando el diámetro interno tenemos que:

$$\Phi = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = 4,69 \text{ cm}$$

Normalizando tenemos que la tubería que más se ajusta es:

- Tubería en acero al carbono sin costura de diámetro nominal 2", SCH 40; Diámetro interno / externo: 5,24 / 6,03 cm.

Según esto la velocidad real del flujo al interior de la tubería será:

$$V_{el. \text{ real. flujo.}} = \frac{Q_{total}}{A_{real. \text{ tub.}}} = \frac{8,66 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0,00215 m^2} = 0,4 \frac{m}{s}$$

Ahora, según la ecuación de Bernoulli tenemos que:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{r_{1-2}} + H_b = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Dónde:

$\rho$  es la densidad del fluido.

$\frac{P_1}{\rho g}$  y  $\frac{P_2}{\rho g}$  son las alturas de presión en los puntos 1 y 2.

$Z_1$  y  $Z_2$  son las alturas geodésicas en los puntos 1 y 2.

$H_{r_{1-2}}$  son las pérdidas hidráulicas entre los puntos 1 y 2.

$H_b$  es el incremento de altura proporcionado por la bomba.

Según lo anterior sabemos que:

- La tubería es la misma a durante todo el trayecto, por lo tanto  $V_1 = V_2$ .
- La altura de presión en el punto 2 se asume igual a cero pues la descarga es atmosférica.  $P_2 = 0$ .
- La altura de presión en el punto 1 es variable pues depende del nivel de llenado del tanque pulmón, para nuestro cálculo asumiremos el caso crítico (tanque vacío),  $P_1 = 0$ .

Es decir que para este caso la ecuación de Bernoulli se reduce a:

$$H_b = Z_2 - Z_1 + H_{r_{1-2}} = 12 - 0 + H_{r_{1-2}}$$

Ahora procedemos con el cálculo de  $H_{r_{1-2}}$ :

Inicialmente determinamos el número de Reynolds, **Re**.

$$Re = V_{tub} * \frac{D}{\nu} = 0,4 * \frac{0,0524}{1,155 \times 10^{-4}} = 181.472$$

Donde  $\nu$  es la viscosidad cinemática del aceite de Palmiste, para la cual se tienen los siguientes valores:<sup>42</sup>

**CPKO a 40°C** = 115,55 [cst] = 1,155 [cm<sup>2</sup>/s] = 1,155 x 10<sup>-4</sup> [m<sup>2</sup>/s] (Caso Crítico).

**CPKO a 100°C** = 8,10 [cst] = 0,810 [cm<sup>2</sup>/s] = 8,10 x 10<sup>-6</sup> [m<sup>2</sup>/s]

Según el resultado se puede concluir que el régimen es totalmente turbulento, entonces para calcular la caída de presión en la tubería utilizamos la ecuación de Darcy – Weisbach:

$$H_{r_{1-2}} = \lambda * \frac{L_{eq}}{D} * \frac{V_{tub}^2}{2 * g} = \lambda * \frac{27,70}{0,0524} * \frac{0,4^2}{2 * 9,81} = 4,310 * \lambda$$

Dónde:

$\lambda$  es el coeficiente de fricción.

$L_{eq}$  es la longitud equivalente en metros. (27,70 metros)

$D$  es el diámetro de la tubería. (0,0524 metros)

$V_{tub}$  es la velocidad en la tubería. (0,4 m/seg)

$g$  es la gravedad que afecta el sistema. (9,81 m/s<sup>2</sup>)

---

<sup>42</sup> Federal University of technology, Minna, Nigeria. John J Musa. Evaluation of the lubricating properties of Palm Kernel Oil.

Ahora calculamos el coeficiente de fricción  $\lambda$  por medio de la segunda ecuación de Prandtl, según la cual:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 * \log \left[ \frac{D}{2 * K} \right] + 1,74 = 2 * \log \left[ \frac{0,0524}{2 * 0,04} \right] + 1,74 = 1,37$$

Dónde:

**K** corresponde a la rugosidad del material.

Tomaremos tubería de acero al carbono si costura SCH 40 con **K = 0,04**

Despejando se obtiene:  $\lambda = 0,532$

Por tanto:  $H_{r_{1-2}} = 4,310 * \lambda = 2,29 [m]$

Ahora, retomando nuestra ecuación de Bernoulli reducida obtenemos que:

$$H_b = 12 + 2,29 = 14,29 [m]$$

Con este dato convertimos la altura obtenida para expresarla en metros de columna de agua (m.CA).

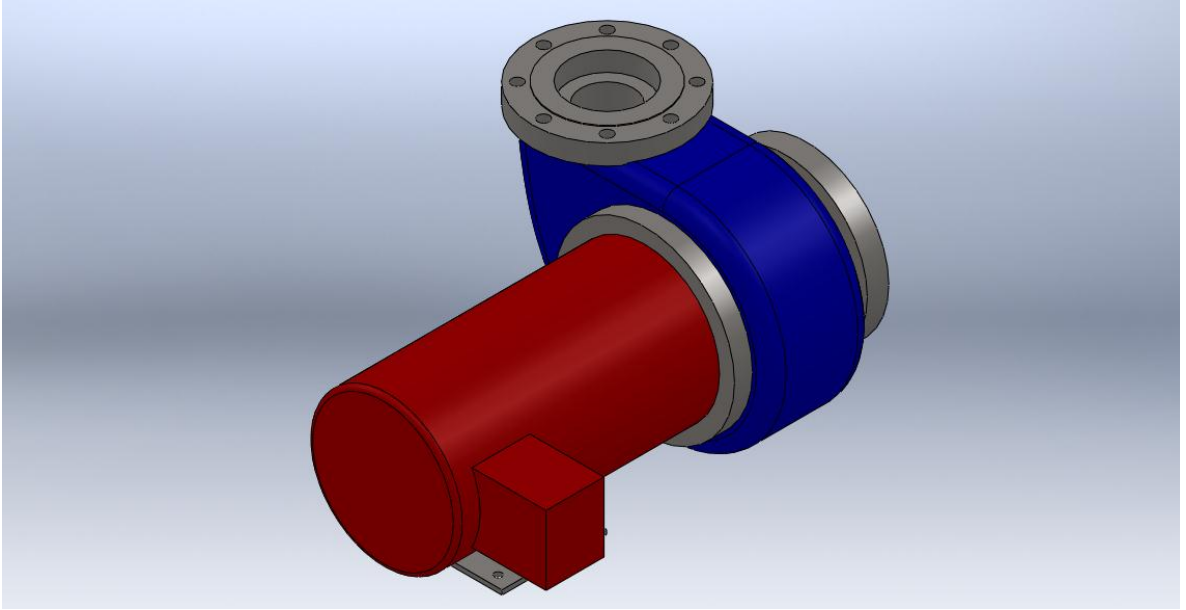
$$\rho_{aceite} * g * h_{aceite} = \rho_{agua} * g * h_{agua}$$

$$h_{agua} = \frac{781,7 \frac{Kg}{m^3} * 14,29 m}{1004 \frac{Kg}{m^3}} = 11,12 [m]$$

Aplicando un factor de seguridad de 1,5 concluimos que la cabeza manométrica de la bomba debe ser igual a:

$$H_{b.real} = 11,12 * 1,5 \approx 16,68 [m. CA]$$

**Anexo 32. Bomba de aceite crudo.**



### Anexo 33. Memoria del cálculo Tamiz.

El fluido proveniente de las prensas se compone de aceite y partículas sólidas que logran atravesar la canasta de prensado. La primera operación para retirar dichos solidos es el filtrado (tamizado), en esta operación el aceite crudo se hace pasar por un tamiz, que tiene como objetivo separar las partículas sólidas de tamaño superior a los agujeros de la malla.

Los primeros tamices que se fabricaron eran bastante rudimentarios, en estos equipos el bastidor rectangular se acciona por medio de un motor eléctrico, el motor actúa sobre un eje con una contrapesa que genera la vibración necesaria para descargar los sólidos filtrados hacia un extremo del tamiz. Estos tamices han venido desapareciendo debido a que presentan bastantes problemas de rompimiento de malla y ejes debido a que no es posible controlar de forma precisa la vibración del equipo.

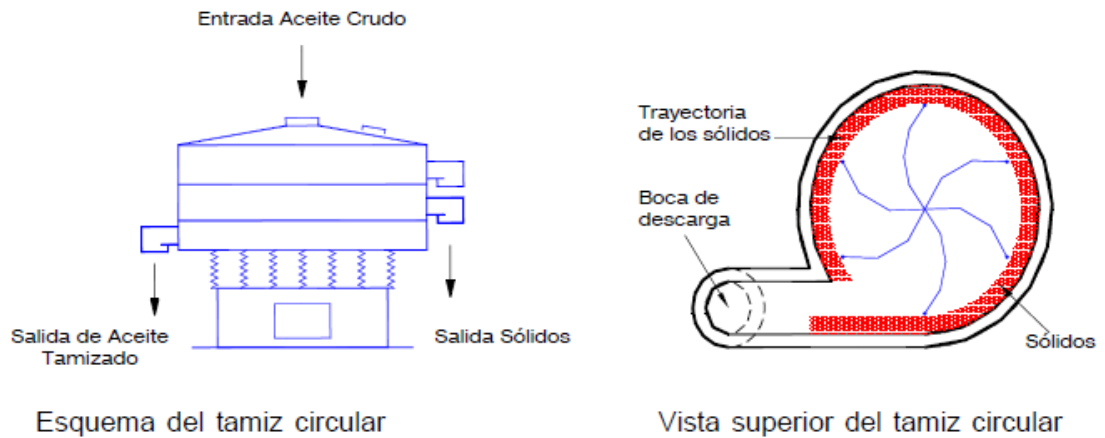
**Figura 1. Conformación general de un tamiz rectangular.<sup>43</sup>**



<sup>43</sup> Cortesía de PALMALLANO S.A. – Meta - COLOMBIA.

Actualmente se fabrican tamices de tipo circular, en los cuales el líquido se alimenta en el centro de las mallas. Las partículas de mayor tamaño se mueven hacia la periferia debido a la acción de un vibromotor. Las partículas de menor tamaño y el aceite pasan rápidamente a través de la malla y son recolectados por la parte inferior para ser conducidos hacia el tanque de aceite tamizado.

**Figura 2. Conformación general de un tamiz circular.**



Fuente: Sinopsis del proceso de la palma de aceite, FEDEPALMA 2005.

Los tamices se clasifican con base en el diámetro útil (superficie de tamizado) y la cantidad de bastidores de filtrado (mallas), comercialmente se encuentran tamices de 48" y 60" de diámetro, estos pueden ser de malla doble o malla simple según la aplicación, así mismo las mallas se clasifican de acuerdo a la escala Mesh, las más comunes son las mallas 20,30 y 40 Mesh, es decir que tienen 20, 30 y 40 agujeros por pulgada lineal en ambas direcciones respectivamente.

Según la experiencia de las plantas extractoras visitadas se sabe que la malla ideal para remover los sólidos suspendidos en el aceite crudo es de 40 Mesh pues se encontró que mallas más finas generan taponamiento, entonces según lo anterior se puede concluir que el tamaño de partícula a remover es superior a 0,400 [mm].

Para determinar el área requerida para realizar la filtración nos basamos en el criterio según el cual no debería haber partículas sólidas sobrepuestas, es decir que la capa de líquido a filtrar no debe superar los 0,6 mm de espesor, de esta forma se garantiza que los sólidos no se ubiquen unos encima de otros.

Entonces partimos del caudal enviado por la bomba de aceite crudo en un segundo, calculamos el área requerida y despejamos el diámetro de la malla:

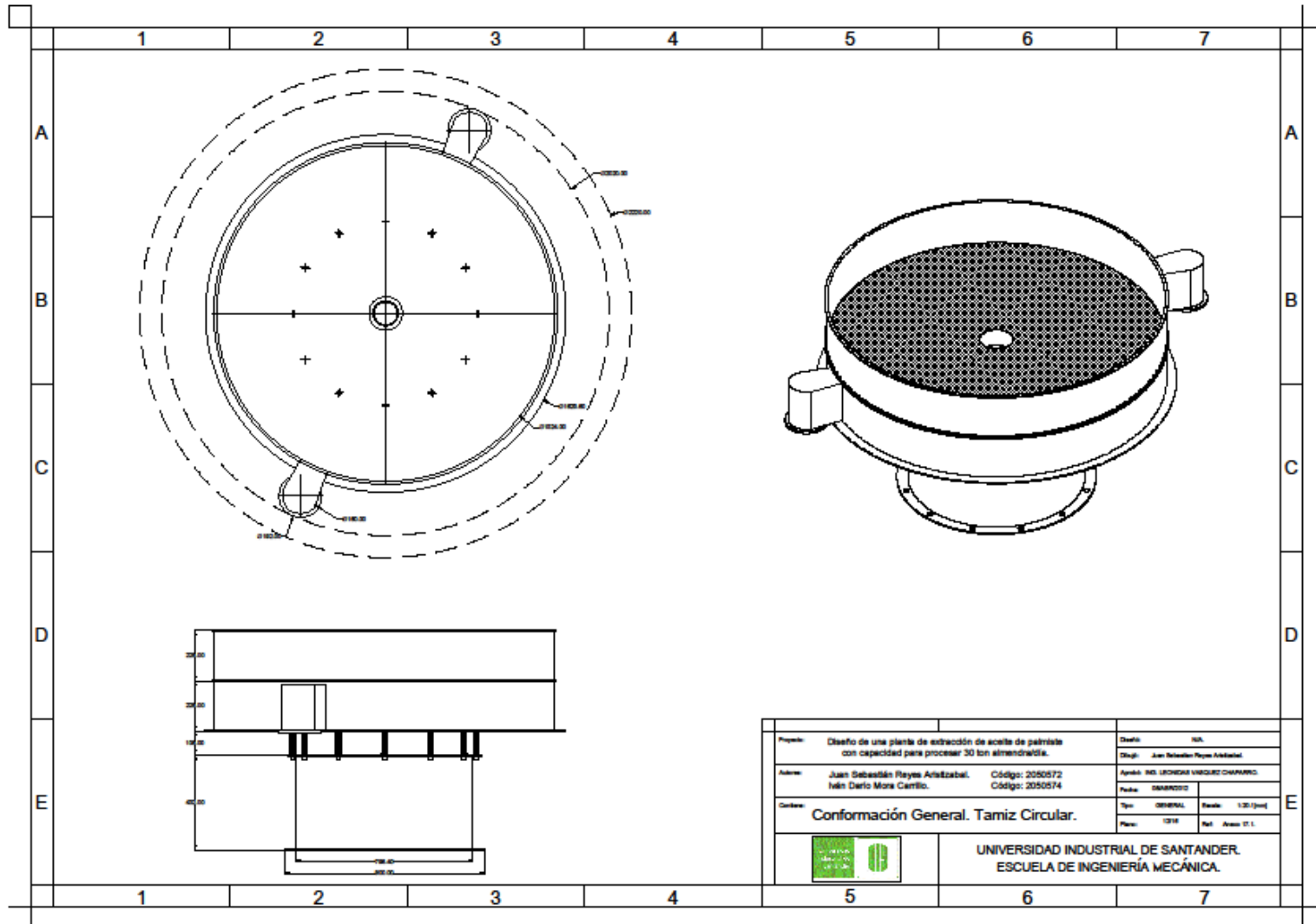
$$V_{\text{volumen}} = Q_{\text{total}} * 1 \text{ s} = 8,66 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1 \text{ s} = 0,000867 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{rea. requerida}} = \frac{V_{\text{volumen}}}{\left(\frac{0,6}{1000}\right)} = 1.445 \text{ m}^2$$

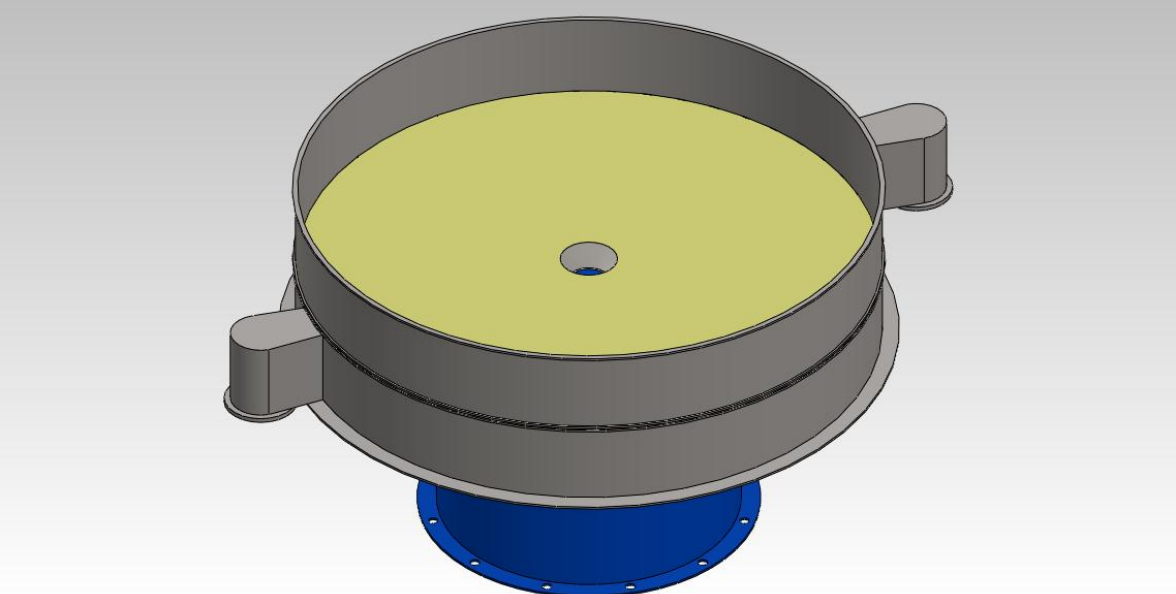
$$D_{\text{diámetro}} = \sqrt{\frac{1.445 * 4}{\pi}} = 1.35 \text{ m} \approx 53.14 \text{ in}$$

De acuerdo con lo anterior se concluye que el equipo requerido es un tamiz circular de 60" de diámetro con un solo bastidor de filtrado, la malla debe ser Mesh 40 en acero inoxidable.

### Anexo 34. Conformación general. Tamiz Circular.



**Anexo 35. Ensemble general. Tamiz circular.**



## Anexo 36. Memoria de cálculo. Bomba de aceite tamizado.

### 1. Aplicación del criterio No 1; Capacidad.

Para la selección del sistema de bombeo partimos de la capacidad de operación de la planta, para esto asumimos el mismo caudal de la bomba de aceite crudo, con el fin de evitar un cuello de botella en el sistema de filtrado y bombeo.

$$Q_{total} = 3 * Q_{bomba} = 3,12 \frac{m^3}{H} = 8,66 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

### 2. Aplicación del criterio No 2; Cabeza manométrica.

De acuerdo con el diseño de proceso y la distribución de equipos, sabemos que el aceite tamizado se bombeará hacia el tercer nivel de la plataforma en donde se hará pasar por un filtro de hojas tipo Niágara o alternativamente un filtro prensa convencional.

El aceite tamizado se descarga por gravedad hacia un tanque pulmón ubicado a nivel del suelo, desde allí se bombeará el flujo para hacerlo pasar por el filtro seleccionado, el punto de admisión del filtro se encuentra aproximadamente 12 metros por encima el nivel de la bomba y a 4 metros en sentido horizontal.

Para este caso mantendremos los valores de tubería y velocidad de flujo calculados en el anexo 16.

- Tubería en acero al carbono sin costura de diámetro nominal 2", SCH 40; Diámetro interno / externo: 5,24 / 6,03 cm.
- Velocidad media del flujo en la tubería:  $V_{el. real. flujo} = 0,4 \frac{m}{s}$

Ahora, según la ecuación de Bernoulli tenemos que:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - Hr_{1-2} + H_b = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Sabemos que:

- La tubería es la misma a durante todo el trayecto, por lo tanto  $V_1 = V_2$ .
- Según los fabricantes de filtros para esta aplicación, la presión máxima de operación del filtro es igual a 0,5 MPa.  $P_2 = 500.000[N/m^2]$ .
- La altura de presión en el punto 1 es variable pues depende del nivel de llenado del tanque pulmón, para nuestro cálculo asumiremos el caso crítico (tanque vacío),  $P_1 = 0$ .

Es decir que para este caso la ecuación de Bernoulli se reduce a:

$$H_b = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 - Z_1 + Hr_{1-2} = 65,13 + 12 + Hr_{1-2}$$

Ahora tomaremos el valor de  $Hr_{1-2}$  calculado en anexo 16.

$$Hr_{1-2} = 4,310 * \lambda = 2,29 [m]$$

Ahora, retomando nuestra ecuación de Bernoulli reducida obtenemos que:

$$H_b = 65,13 + 12 + 2,29 \approx 80 [m]$$

Con este dato convertimos la altura obtenida para expresarla en metros de columna de agua (m.CA).

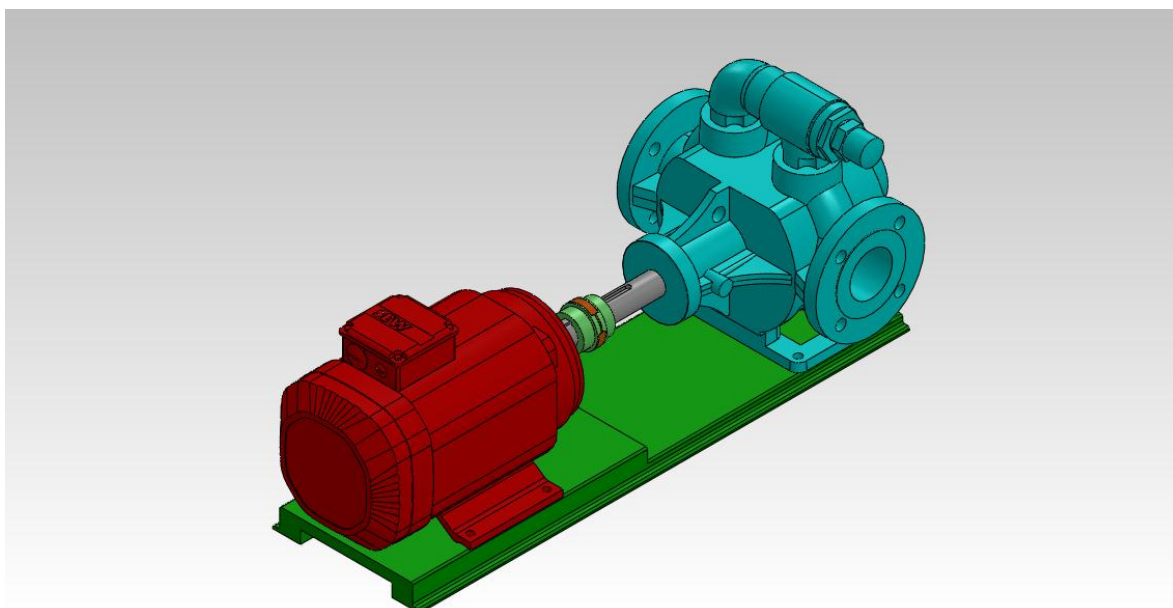
$$\rho_{aceite} * g * h_{aceite} = \rho_{agua} * g * h_{agua}$$

$$h_{agua} = \frac{781,7 \frac{Kg}{m^3} * 80 m}{1004 \frac{Kg}{m^3}} = 62,28 [m] \approx 90 [Psi]$$

Aplicando un factor de seguridad de 1,5 concluimos que la cabeza manométrica de la bomba debe ser igual a:

$$H_{b.real} = 62,28 * 1,5 \approx 93,42 [m.CA] \approx 130 [Psi]$$

### Anexo 37. Bomba de aceite tamizado.



## **Anexo 38. Memoria del cálculo. Filtro Niagara.**

Después de haber realizado el primer proceso de filtrado en el tamiz circular algunas partículas sólidas logran atravesar la malla de tamizado y continúan suspendidas en el aceite como impurezas. Para retirar dichos sólidos se realiza un filtrado bajo presión en el cual el medio filtrante son las mismas impurezas suspendidas en el aceite, es decir, el flujo se hace pasar a través de un textil muy fino que retiene las partículas de mayor tamaño, estas se acumulan en la superficie y conforman una barrera más y más fina.

Resulta evidente que este proceso es discontinuo y cada cierto intervalo de tiempo se requiere la evacuación de las impurezas retenidas, en caso contrario se acumularían demasiados sólidos en las superficies de filtrado y esto generaría un atascamiento.

En la actualidad se utilizan dos tipos de maquinaria para la realización de este proceso:

- ✓ Filtro prensa.
- ✓ Filtro de hojas. (Filtro Niagara).

### **1. Filtro Prensa:**

El filtro prensa es un separador de líquidos y sólidos a través de filtración por presión. Consiste en una serie de bastidores de acero sostenidos por rieles y barras de soporte que sostienen una tela o malla. Las placas filtrantes usualmente están hechas de polipropileno, y las mallas pueden ser de tipo selladas o no selladas.

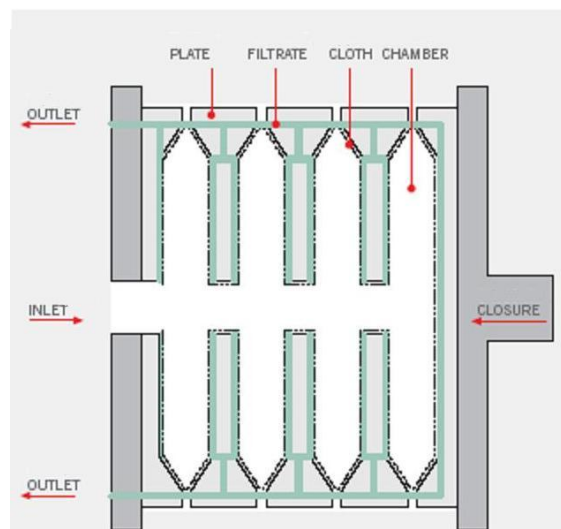
Durante la operación el aceite es bombeado hacia las cámaras que se encuentran rodeadas por telas filtrantes. Al bombear la presión se incrementa y el aceite es forzado a atravesar las telas, provocando que los sólidos se acumulen y formen una pasta seca. Posteriormente, las cámaras se comprimen una contra otra por medio de un actuador hidráulico o un tornillo manual de prensado. El aceite filtrado pasa a través de las lonas y es dirigido hacia los canales de las placas y puertos de drenaje del filtro.<sup>44</sup>

**Figura 1. Filtro – prensa, para aceite tamizado.**



Fuente: <http://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-23843.htm>

**Figura 2. Filtro – prensa, esquema interno de funcionamiento.**



Fuente: <http://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm>

<sup>44</sup>Fuente: <http://www.quiminet.com/articulos/el-funcionamiento-del-filtro-prensa-23843.htm>

Este tipo de filtro es el más utilizado en la actualidad, sin embargo debido a su geometría son bastante voluminosos con respecto al área de filtrado obtenida y generan bastantes fugas de partículas y aceite en el lugar donde se encuentran instalados, adicional a esto son equipos de operación manual que requieren un operador permanente.

**Figura 3. Vista frontal de un filtro prensa para Aceite de Palmiste**



Fuente Cortesía de Extractora del sur de Casanare. S.A. – Casanare – COLOMBIA.

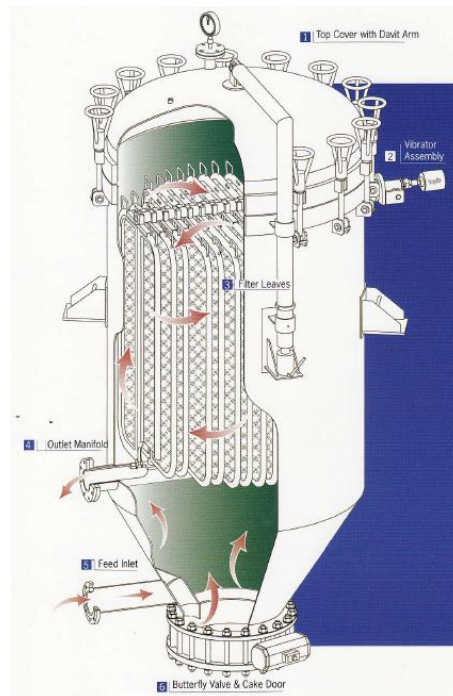
## **2. Filtro Niagara:**

Un filtro Niagara es un recipiente hermético vertical dentro del cual se encuentra un número de hojas (fundas) de material filtrante, las fundas están orientadas verticalmente y a través de ellas se hace pasar el fluido; la parte interna de las fundas está conectada a un tubo recolector que es común para todas las fundas y desde allí se obtiene el fluido filtrado.

El proceso de filtración inicia algunos minutos después de haber iniciado el bombeo de aceite, las partículas sólidas conforman una capa filtrante en la parte externa de las fundas, este proceso permite que se extraiga el aceite de los sólidos filtrados, el aceite filtrado pasa a través de las fundas y es descargado por medio del tubo colector que une todas las fundas. El proceso de limpieza de sólidos se realiza por medio del generador de vibraciones, este hace que las partículas sólidas se precipiten hacia la parte baja de filtro y posteriormente se descarguen por medio de una válvula tipo mariposa.

Este tipo de filtro representa ventajas en cuanto a que la operación es automática y se pueden obtener grandes áreas de filtrado en un volumen mucho menor en comparación con los tradicionales filtros prensa, adicional a esto por ser hermético es bastante higiénico y no genera fugas de producto al ambiente.

**Figura 4. Filtro Niagara, conformación genera**



Cortesía de PMT - Dong Yuan Industries Sdn Bhd, Malaysia. [pmt.dy.enquiry@wascoenergy.com](mailto:pmt.dy.enquiry@wascoenergy.com)

**Figura 5. Filtro Niagara**



Cortesía de Unipalma S.A. – Meta – COLOMBIA.


Para nuestro caso utilizaremos un filtro Niágara que cumpla con los requerimientos de capacidad de procesamiento, según el Anexo 16 tenemos que:

$$Q_{bomb} = 1,04 \frac{m^3}{H} \approx 2,88 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Aplicando un factor de seguridad y operación igual a 1.5 tenemos que la capacidad de proceso del filtro debe ser igual a:

$$Q_{filtro} = 1,5 \times 1,04 \frac{m^3}{H} \approx 1,6 \frac{m^3}{H}$$

Con base en lo anterior se seleccionó el filtro NYB-10 según el catálogo del fabricante PMT - Dong Yuan Industries Sdn Bhd.

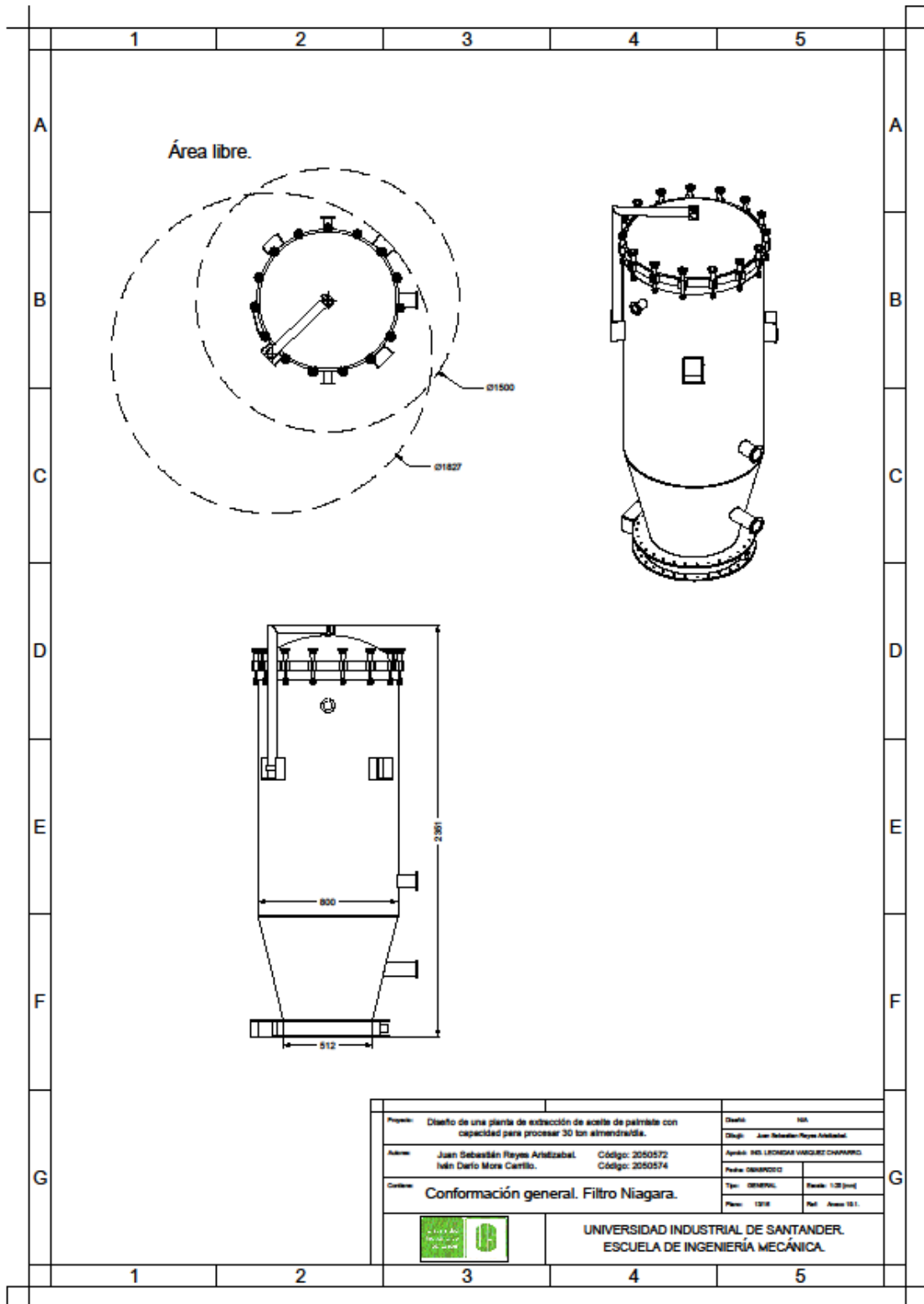


**NYB SERIES**  
HIGH EFFICIENCY PRESSURE FILTER

**MAIN SPECIFICATION & TECHNICAL PARAMETERS**

Model	Filter Area (m <sup>2</sup> )	Cake Volume (L)	Filtering Capacity (t/h)			Working Pressure (Mpa)		Working Temp. (°C)	Volume of Filter Tank (L)	Weight of Filter Body (kg)
			Oil	Resin	Beverage	Rated Pressure	Max Pressure			
NYB-2	2	30	0.4 - 0.6	1.0 - 1.5	1.0 - 3.0			120	300	
NYB-4	4	60	0.5 - 1.2	2.0 - 3.0	2.0 - 5.0			250	400	
NYB-7	7	105	1.0 - 1.8	3.0 - 6.0	4.0 - 7.0			420	600	
NYB-10	10	150	1.6 - 3.0	5.0 - 8.0	6.0 - 9.0			800	900	
NYB-15	15	300	3.0 - 5.0	7.0 - 12	10 - 13			1300	1300	
NYB-20	20	400	4.0 - 6.0	9.0 - 15	12 - 17			1680	1700	
NYB-25	25	500	5.0 - 7.0	12 - 19	16 - 21			1900	2000	
NYB-30	30	600	6.0 - 8.0	14 - 23	19 - 25	0.1 - 0.4	0.5	≤ 150	2300	2500
NYB-35	35	720	7.0 - 9.0	16 - 27	23 - 31				2650	3000
NYB-40	40	900	8.0 - 11	21 - 34	30 - 36				3200	3500
NYB-50	50	1040	9.0 - 13	24 - 39	36 - 44				3800	4000
NYB-60	60	1200	10 - 15	27 - 45	42 - 51				4500	4500
NYB-70	70	1400	11 - 17	30 - 52	48 - 60				5800	5500
NYB-80	80	1600	12 - 19	36 - 60	56 - 68				5860	6000
NYB-90	90	1800	13 - 21	40 - 68	64 - 78				6700	6500

### Anexo 39. Conformación general. Filtro Niagara.



## Anexo 40. Ensamble general. Filtro Niagara.



#### Anexo 41. Memoria de cálculo molino de martillos.

Posterior a la extracción de aceite de Palmiste se obtiene un sub-producto conocido como torta de Palmiste, este sub-producto se utiliza en la mayoría de los casos como alimento para ganado o como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para animales.

Para su utilización directa como alimento para ganado no se requiere trituración alguna pues el tamaño de partícula adecuado (menor o igual a 5 mm), sin embargo, para su utilización como materia prima para concentrados se requiere triturar la torta hasta alcanzar un tamaño de partícula inferior a 1 mm.

Según lo anterior y pensando en tener mayor flexibilidad en la operación de la planta se optó por la instalación de un molino de martillos que eventualmente permita hacer un by-pass de la torta según el requerimiento del momento, la capacidad de proceso del molino es determinada según lo siguiente:

$$Q = 30 \frac{\text{Ton Almendras}}{\text{día}} = 1.250 \frac{\text{Kg}}{\text{H}} ; \quad X_{\text{torta}} = 50\% \quad ;$$
$$Q_{\text{max1}} = Q * X_{\text{torta}} = 1.250 \frac{\text{Kg}}{\text{H}} * 50\% = 625 \frac{\text{Kg}_{\text{torta}}}{\text{H}}$$

Según la naturaleza del equipo se sabe que la capacidad de proceso disminuye de acuerdo al desgaste que se presente en los martillos de trituración, según esto se estima un factor de seguridad de 3 con el fin de disminuir la frecuencia de mantenimiento y evitar que el equipo se convierta en un cuello de botella durante el proceso.

$$Q_{\text{nom}} = Q_{\text{max1}} * 3 = 1.875 \frac{\text{Kg}}{\text{H}} \approx 2.000 \frac{\text{Kg}_{\text{torta}}}{\text{H}}$$

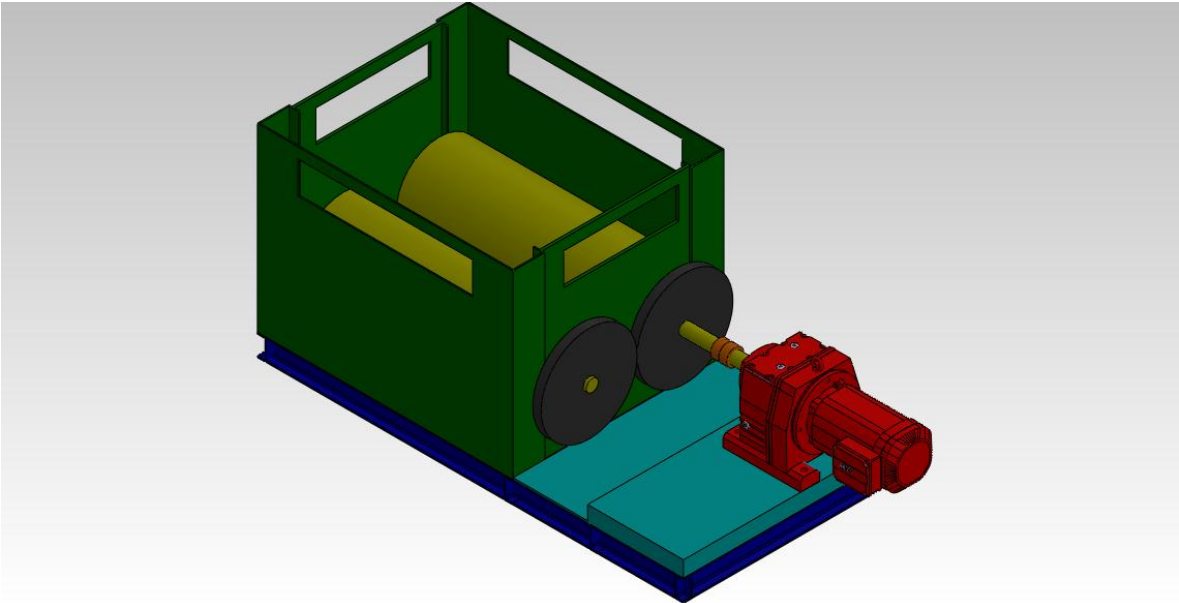
Las características del material a triturar están definidas por el ajuste en los conos de presión y la tolerancia de la canasta de las prensas Expeller de segundo prensado, según lo encontrado en las plantas visitadas el tamaño de partícula de la torta no supera los 5 mm.

Por último se debe anotar que la gravedad específica de la torta de Palmiste sin prensar es de aproximadamente  $550 \text{ Kg/m}^3$  y que la densidad a granel de la misma es de  $650 \text{ Kg/m}^3$ .<sup>45</sup>

---

<sup>45</sup> Oil Palm Process Synopsis, Noel Wambeck, 2<sup>nd</sup> Edition, 3<sup>rd</sup> March 2001.

**Anexo 42. Ensamble general. Molino de martillos.**



### **Anexo 43. Memoria de cálculo báscula de paso.**

Durante el proceso de extracción de aceite de Palmiste existen tres indicadores de producción fundamentales, estos son:

- ✓ Capacidad de proceso efectiva.
- ✓ Tasa de extracción de aceite de Palmiste.
- ✓ Tasa de extracción de torta de Palmiste.

Para poder determinar estos indicadores es necesario conocer 3 variables con respecto al tiempo.

- ✓ Cantidad de almendras que ingresan al proceso.
- ✓ Cantidad de aceite extraído.
- ✓ Cantidad de torta obtenida.

La cantidad de aceite extraído se calcula de acuerdo a la variación del nivel de llenado del(los) tanque(s) de almacenamiento y su geometría respectiva.

Sin embargo para calcular la cantidad de almendras que ingresan a la planta existen mayores dificultades; Recordemos que la materia prima proviene de dos fuentes principales, una planta de extracción de aceite crudo de Palma contigua, o desde otras plantas extractoras de aceite de Palma que no se encuentran dentro del mismo complejo industrial; En la práctica ambas fuentes se combinan antes de ingresar a la planta y es casi imposible hacer un control preciso de la masa real que ingresa, por esta razón los factores de incertidumbre en los indicadores de producción son altísimos.

La mejor solución que se observó es la instalación de básculas de paso justo antes de ingresar al proceso, es decir justo antes del transportador sin fin que alimenta las prensas expeller.

Las básculas de mayor precisión no funcionan de forma continua, es decir, funcionan por baches; para la implementación de estos sistemas se requiere una pre tolva de alimentación, esta pre tolva será la encargada de alimentar una segunda tolva que está montada sobre celdas de carga de tipo Shear Beam; el sistema de dosificación entre tolvas posee una compuerta tipo cuchara que es controlada neumáticamente, el sistema cuenta con llenado por gravedad rápido y lento (compuerta con cierre a dos pasos), este sistema le permite al dispositivo limitar el paso del material cuando se llegue al valor programado del bache. Una vez se alcance el valor programado del bache la compuerta de la pre tolva debe estar cerrada y posterior a esto la compuerta inferior se abre para dejar pasar el bache recién pesado y comenzar el ciclo nuevamente.

**Figura 1. Conformación general de una báscula de paso por baches en la admisión de un transportador neumático de almendras**





Cortesía de AEXAV. Cia. Ltda. – Quinindé - ECUADOR

Para la selección de estos equipos solo requerimos la capacidad de proceso de la planta extractora y la densidad del material a pesar, de esta forma los fabricantes especializados calculan el volumen necesario de las tolvas y la capacidad de las celdas de carga requeridas, para nuestro caso tenemos:

**Para Almendras:**

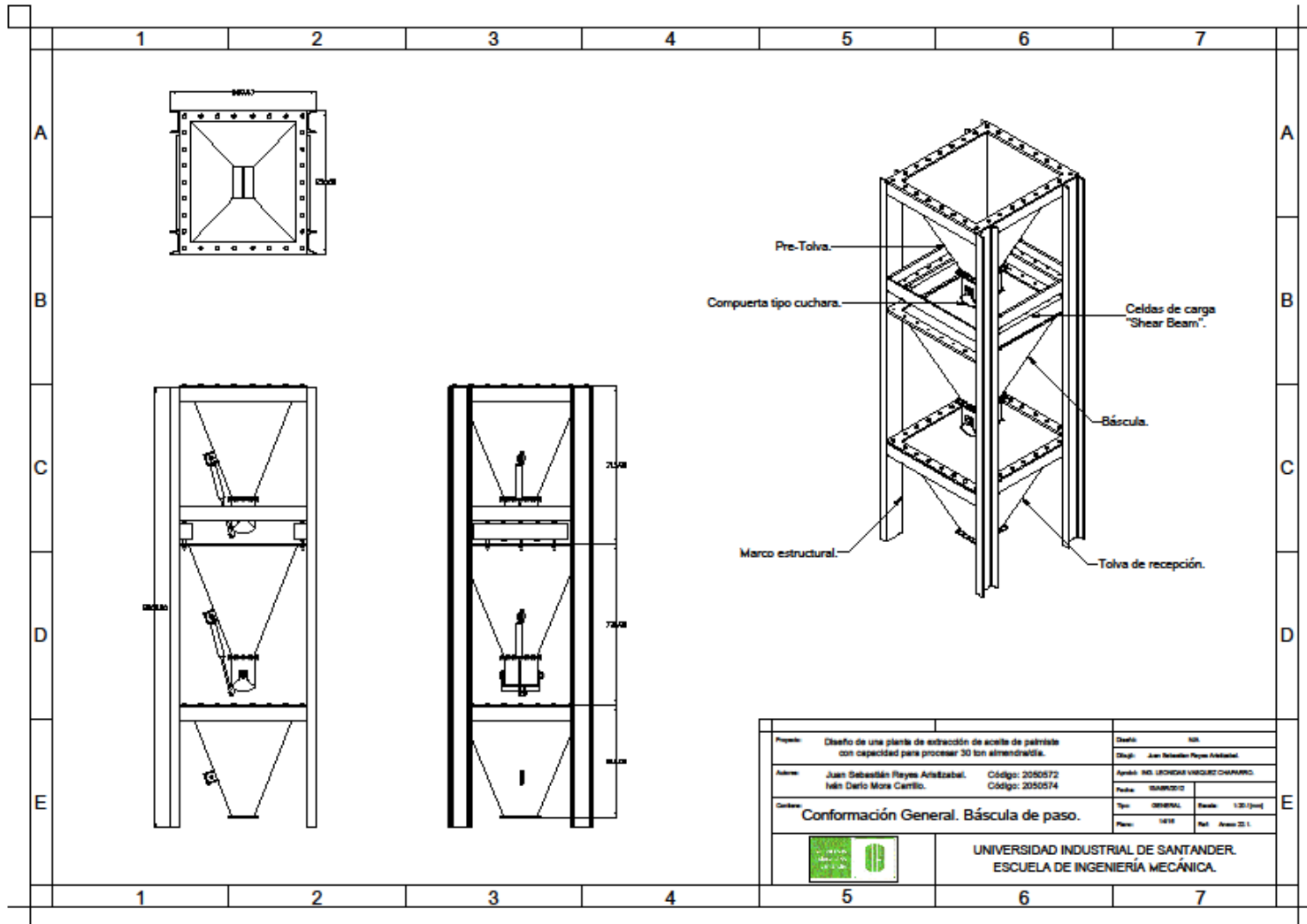
$$\begin{aligned} \text{Capacidad nominal de la planta } (Q_d): & \quad 30 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Día}} \\ \text{Factor de diseño } (N_d): & \quad 4 \\ \text{Capacidad de diseño } (Q_d): Q_d = Q_r * N_d = & \quad 120 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Día}} = 5 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Hora}} \\ \text{Densidad de la almendra } (\delta): & \quad 0,72 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}. \end{aligned}$$

**Para torta de Palmiste:**

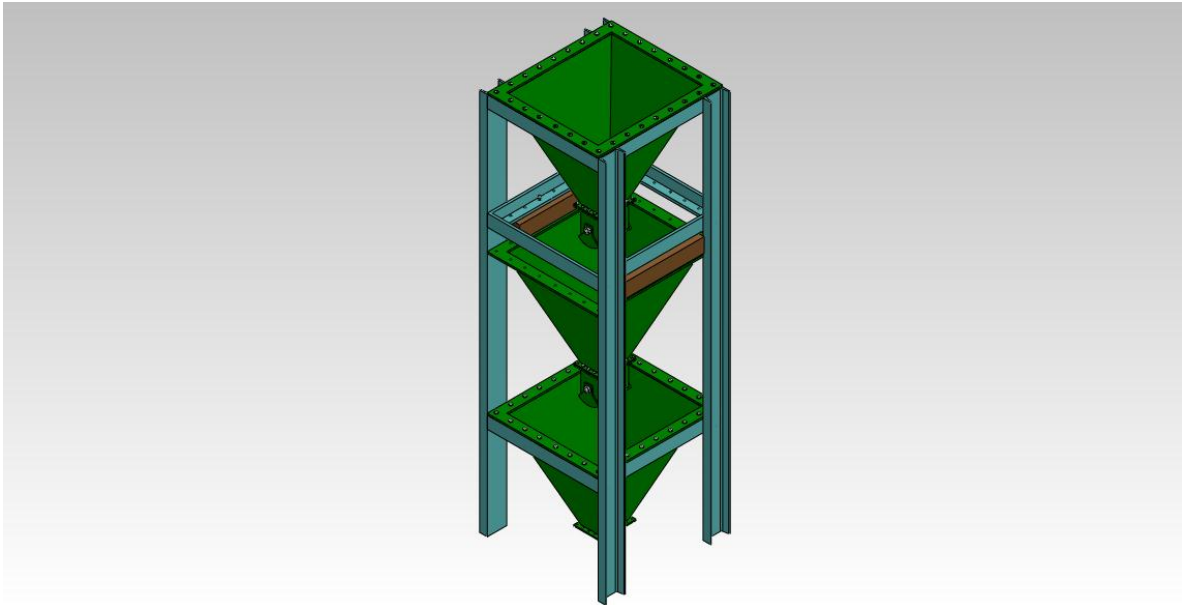
$$\begin{aligned} \text{Potencial de extracción de torta } (X_t): & \quad 50\% \\ \text{Capacidad de diseño } (Q_d): Q_d = Q_r * N_d * X_t = & \quad 60 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Día}} = 2,5 \frac{\text{Ton Alm}}{\text{Hora}} \\ \text{Densidad de la torta } (\delta): & \quad 0,55 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}. \end{aligned}$$

El factor de diseño es elevado pues este equipo no puede representar un cuello de botella del proceso, adicional a esto por tratarse de un equipo que funciona por baches se estimó un factor de seguridad elevado para aumentar la confiabilidad del proceso.

### Anexo 44. Conformación general. Báscula de paso.

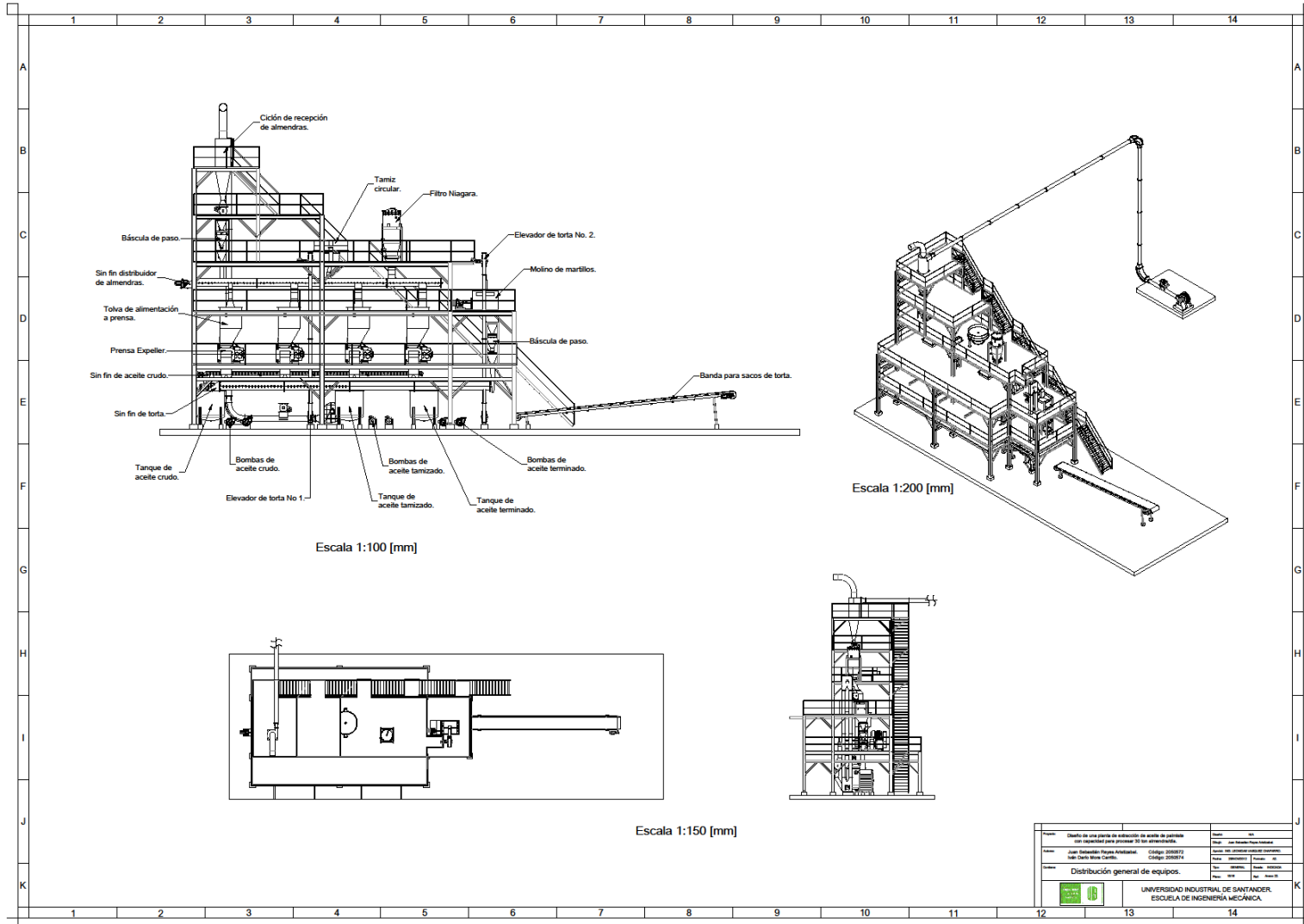


**Anexo 45. Ensamble general. Báscula de paso.**

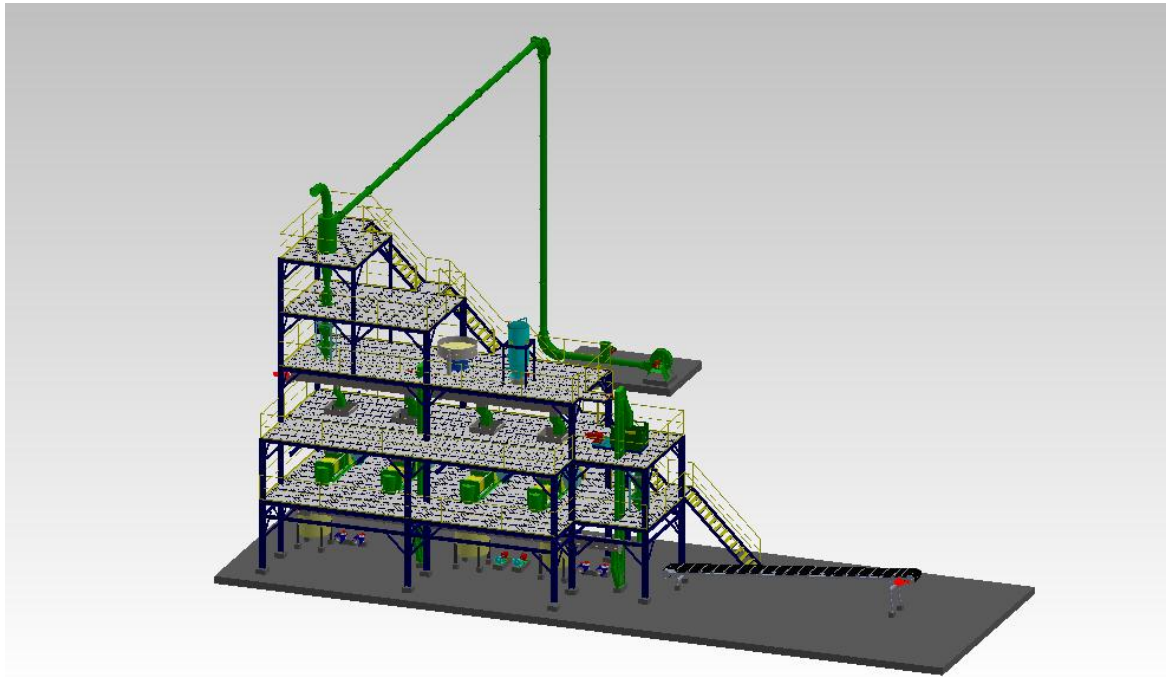




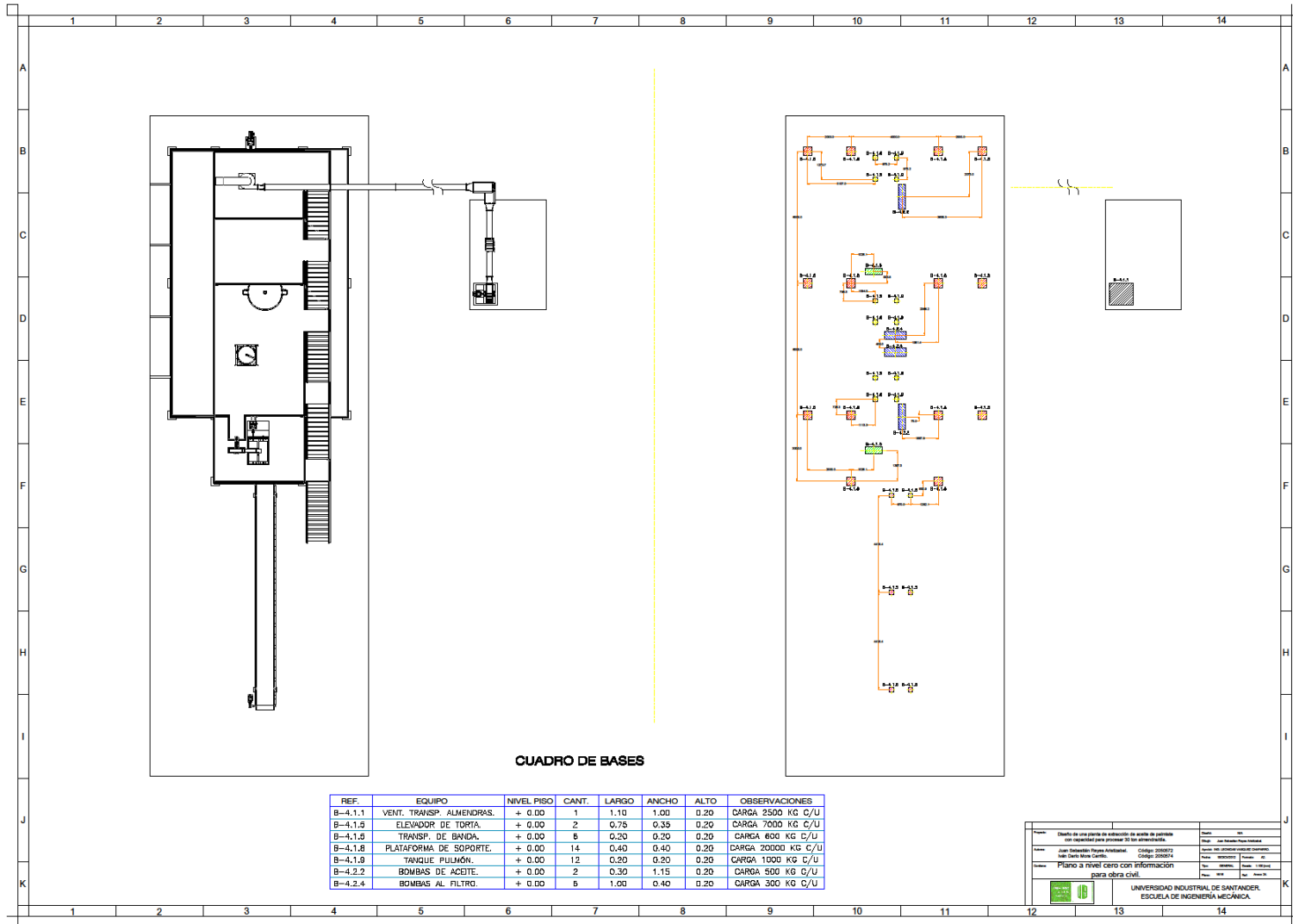
## Anexo 47. Plano general de distribución de equipos.



**Anexo 48. Modelo 3D. Distribución general de equipos.**



## Anexo 49. Plano a nivel cero con información para obra civil.



## Anexo 50. Cuadro eléctrico - Planta Extracción de Aceite de Palmiste.

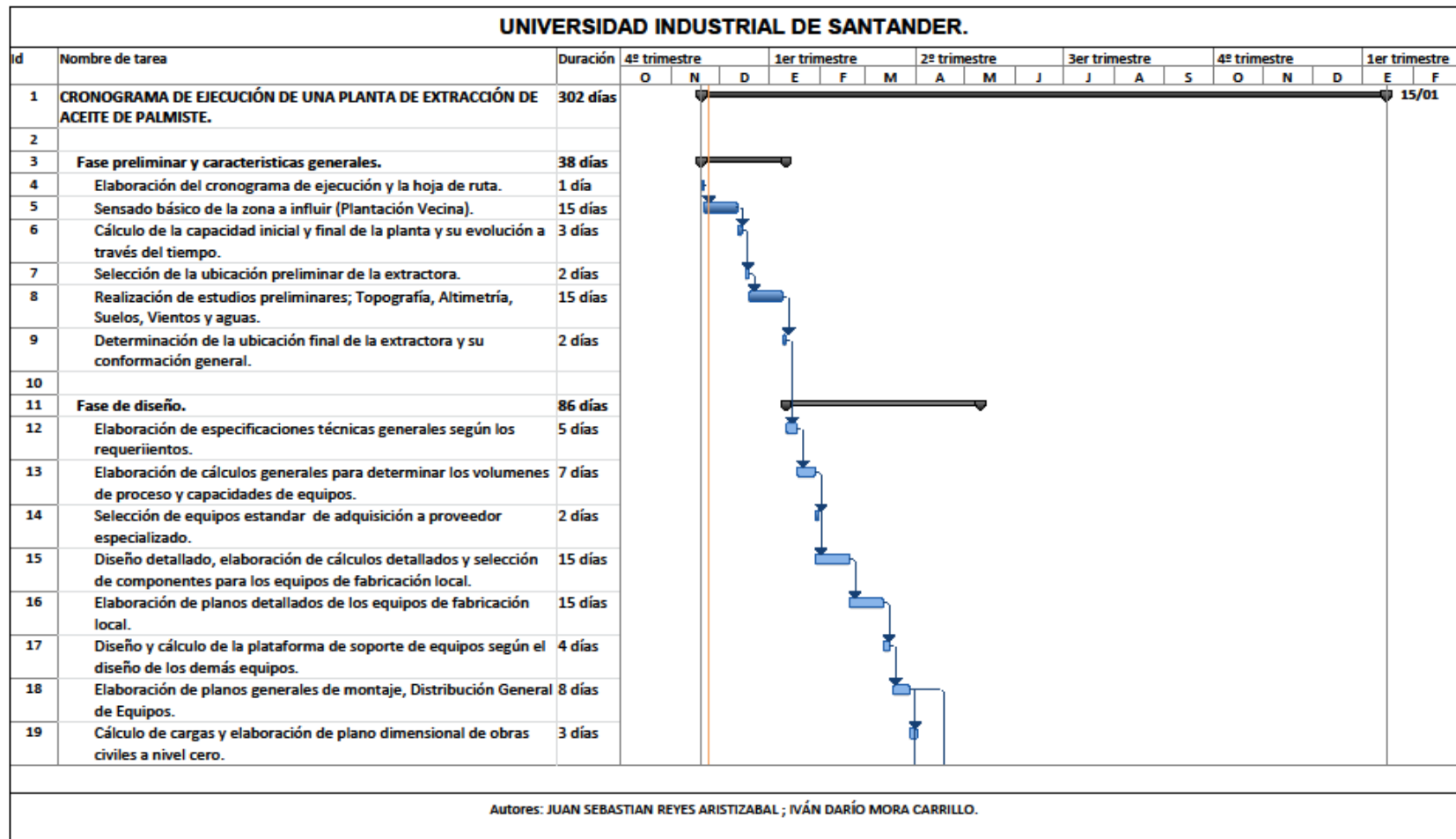
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.									
Proyecto: Diseño de una planta de extracción de aceite de palmiste con capacidad de procesar 30 ton almendra/día.									
Autores: Juan Sebastian Reyes Aristizabal. Cod: 2050572 ; Iván Darío Mora Carrillo. Cod: 2050574.									
CUADRO ELECTRICO BASICO DE CARGAS PARA TABLEROS, 440 V, 60 Hz									
Item	Descripción	Encl.	Cant. Motor.		kW	Amp	kW	Amp	Observaciones
			Prim.	Resp.	cmot	cmot	total	total	
Planta de extracción de aceite de Palmiste.							565,0	930,4	
1	<b>Transp. Neumático de Almendras</b>								
	Esclusa de admisión de almendras	15	1	0	0,75	1,67	0,75	1,67	Arranque directo / Control por PLC
	Ventilador 3500 m3/h x 450 mmCA	14	1	0	7,5	13,5	7,5	13,5	Arranque directo / Control por PLC
	Esclusa de descarga de almendras.	14	1	0	0,75	1,67	0,75	1,67	Arranque directo / Control por PLC
2	<b>Báscula de paso</b>	13	-	-	-	-	0,18	0,55	Incluir regulador de voltaje y transformador a 110 V
3	<b>Transp. Sin Fin distribuidor de Almendras</b>	12	1	0	3	5,8	3	5,8	Arranque directo / Control por PLC
4	<b>Prensas Expeller</b>	7,8,10,11	4	0	129	209	516	836	Incluir arrancador suave / Control por PLC
5	<b>Transp. Sin Fin de crudo</b>	6	1	0	0,37	1,06	0,37	1,06	Arranque directo / Control por PLC
6	<b>Agitador de tanque pulmón de aceite crudo</b>	5	1	0	0,37	1,06	0,37	1,06	Arranque directo / Control por PLC

CONTINUA

## Anexo 51. Presupuesto Preliminar - Planta Extracción de Aceite de Palmiste.

<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.</b>						
<b>Proyecto: Diseño de una planta de extracción de aceite de palmiste con capacidad de procesar 30 ton almendra/día.</b>						
<b>Autores: Juan Sebastian Reyes Aristizabal. Cod: 2050572 ; Iván Darío Mora Carrillo. Cod: 2050574.</b>						
<b>PRESUPUESTO PRELIMINAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA EXTRACTORA.</b>						
<b>#</b>	<b>Descripción.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor U.</b>	<b>Valor T.</b>	<b>Proveedor Consultado.</b>	<b>Observaciones.</b>
1	<i>Transp. Neumático de Almendras</i>	1	\$ 35.000.000	\$ 35.000.000	METALTECO LTDA. - C.I.	
2	<i>Báscula de paso</i>	2	\$ 18.400.000	\$ 36.800.000	BASCULAS PROMETÁLICOS S.A.	El proveedor ofrece un sistema de monitoreo y control que no se consideró pues este se implementará en la automatización propia de la planta.
3	<i>Transp. Sin Fin de Almendras</i>	1	\$ 16.300.000	\$ 16.300.000	METALTECO LTDA. - C.I.	
4	<i>Prensas Expeller</i>	4	\$ 50.625.000	\$ 202.500.000	PMT INDUSTRIES SDN BHD. (Malasia)	Equipo para importación, se liquidó con un dólar aduanero de \$2250 / USD ; Valor F.O.B. USD 22.500,00
5	<i>Transp. Sin Fin de crudo</i>	1	\$ 8.250.000	\$ 8.250.000	METALTECO LTDA. - C.I.	
6	<i>Bomba de aceite crudo</i>	2	\$ 9.500.000	\$ 19.000.000	BOMBAS HYDRAL LTDA.	
7	<i>Tamiz circular</i>	1	\$ 20.925.000	\$ 20.925.000	PMT INDUSTRIES SDN BHD. (Malasia)	Equipo para importación, se liquidó con un dólar aduanero de \$2250 / USD ; Valor F.O.B. USD 9.300,00
8	<i>Bomba de aceite tamizado</i>	2	\$ 5.800.000	\$ 11.600.000	BOMBAS HYDRAL LTDA.	
9	<i>Filtro Niagara</i>	1	\$ 51.300.000	\$ 51.300.000	PMT INDUSTRIES SDN BHD. (Malasia)	Equipo para importación, se liquidó con un dólar aduanero de \$2250 / USD ; Valor F.O.B. USD22.800,00
10	<i>Bomba de aceite terminado</i>	2	\$ 9.500.000	\$ 19.000.000	BOMBAS HYDRAL LTDA.	

## Anexo 52. Diagrama de Gantt para la ejecución del proyecto.



## Anexo 53. Cotización por parte de Metalteco.

# METALTECO

## INDUSTRIA METALMECÁNICA



Bucaramanga, sábado, 15 de septiembre de 2012

OFERTA: **2012510A**

Ingeniero  
**GUILLERMO ALFONSO BERNAL CASTILLO**  
 Gerente  
**AIC INTERNACIONAL S.A.S.**  
 Calle 161 A No. 21-17  
 Bogotá  
 guillermoabernal@gmail.com

GUSTOSAMENTE PRESENTAMOS A SU CONSIDERACION NUESTRA OFERTA DE:

Descripción de la oferta **EQUIPOS PARA PLANTA DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE**

Item	Cant	EQUIPO:	Vr.Unitario	Vr.Item	Vr.Sección
<b>SECCION</b>					<b>\$ 186,600,000</b>
01	1	TRANSPORTADOR NEUMATICO DE ALMENDRA SEGA	\$ 35,000,000	\$ 35,000,000	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para transportar las almendras secas desde la parte baja del silo hasta el transportador principal de alimentación a las prensas.</li> <li>- Alimentación y descarga hacia y desde el transportador por medio de esclusa o válvula rotatoria de 300 mm equipada con motor de 1 Hp.</li> <li>- Ventilador centrífugo, con motor, poleas y correas para transmisión. Colocado en posición de soplado, caudal del ventilador 3.500 m<sup>3</sup>/H, 450 mm CA, sentido de orientación CW 0, potencia del motor 7,5 Hp.</li> <li>- Conductos y codos para el transporte neumático de nueces hasta el ciclón en lámina de acero al carbono. Los codos de sección cuadrada con lámina de desgaste recambiable; Diámetro de los conductos 250 mm, longitud aproximada 30 m en horizontal, 5 metros en vertical y 2 codos 90°.</li> <li>- Ciclón tipo Lapple de diámetro primario 0,72 m y longitud total 2,88 m.</li> </ul>			
02	1	TRANSPORTADOR DISTRIBUIDOR DE ALMENDRAS FRESCAS DEL TIPO SINFIN	\$ 16,300,000	\$ 16,300,000	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transportador del tipo de sinfín distribuidor de almendra hacia las prensas.</li> <li>- La hélice y el canal fabricados en lámina de acero al carbono.</li> </ul>			

Página 1 de 5

Kilómetro 6 Vía a Girón, Bucaramanga - Colombia - P.B.X.: (7) 6469411 Fax: (7) 6463218 E. Mail: info@metalteco.com - www.metalteco.com

## Anexo 54. Cotización por parte de Básculas Prometálicos.



CONMUTADOR: 8864148 – 8864009  
8865668 - 8865790  
TELEFAX: (6) 8866384  
A.A.: 526  
DIRECCION: Cra. 21 N° 72-04  
MANIZALES - COLOMBIA

Manizales, Agosto 13 de 2012.

Elec-2013-0813-1

Sres. AIC - Internacional S.A.S.  
Atn. Ing. Juan Sebastián Reyes Aristizabal  
e-mail: [j.reyes@aic-internacional.com](mailto:j.reyes@aic-internacional.com)  
Móvil: 0571-474 7111  
Bogotá

Atendiendo su amable solicitud, presentamos a consideración propuesta de sistema de báscula de paso de flujo libre, con un régimen de trabajo de 2 a 10 toneladas/hora, con pretolva de 600kg de capacidad.

EL SISTEMA DE BÁSCULA DE PASO CONSTA DE:

(1)TOLVA DE ALIMENTACION:	Tolva de alimentación con capacidad máxima para 400kg, posee un punto neumático en la boca de descargue.
(1)TOLVA PESADORA:	Capacidad máxima 60kg, va soportada sobre celdas de carga, las que están conectadas a un Indicador Digital el cual regula los baches de llenado de acuerdo a la programación que se le dé. También posee un punto neumático en la boca de descargue.
(2) CELDAS DE CARGA:	Celdas de carga tipo SHEAR BEAM de 100kg c/u. de máxima capacidad IP 67. Ambientalmente protegidas.
(1)TARJETA DE UNION:	Tarjeta de unión de celdas con caja de protección en Acero Inoxidable para acoplar la señal en el indicador de peso.
(2)PUNTOS NEUMATICOS:	(Incluye electro válvulas, cilindros, racores, regulador de caudal, unidad de mantenimiento y accesorios) Marca FESTO. Un punto neumático va en la boca de salida de la pre-tolva o tolva de alimentación del sistema de báscula de paso, el otro punto neumático va instalado en la boca de descargue de la tolva Báscula.
(1) INDICADOR DIGITAL DE PESO 820i:	Con caja en acero inoxidable, display LCD, con programa para sistema de báscula de paso, acumulado de producto, contador de baches realizados, calculo de rendimiento del proceso, transmisión de reportes por cada bache realizado o total acumulados con hora y fecha del evento, herramientas para, borrar, seleccionar e imprimir reportes mediante teclas rápidas asociadas por funciones en el display. Manejo de 8 entradas-salidas optoacopladas para control de compuerta de alimentación, compuerta de descargue y pilotos de estado de proceso.
(1) GABINETE DE CONTROL:	Armario metálico con pintura electrostática con modulo de control de entradas y salidas digitales opto-Acopladas para manejo de cargas a 110VAC Max. 6Amp. Bomeras de conexión para Indicador de peso, alimentación de actuadores del sistema, pilotos de estado del proceso.
(2)SENORES DE NIVEL	Sensores de nivel rotativos para control de nivel en tolva de alimentación y tolva de recibo.

PRODUCTOR – IMPORTADOR – EXPORTADOR  
NIT: 890.800.999-4

INTERNET:  
<http://www.prometalicos.com>  
e-mail: [prometal@prometalicos.com](mailto:prometal@prometalicos.com)

## Anexo 55. Cotización por parte de Bombas Hydral.



**BOMBAS HYDRAL LTDA.**  
www.bombashydral.com

Cra 36 No. 11A - 04  
PISX: 247.5910  
Fax: 247.6231 - Telefax: 247.5940  
Bogotá, D.C. - Colombia S.A.

**BOMBAS**

VACIO  
CALDERAS  
PULPA - ACEITES  
IND. QUIMICA  
ACUEDUCTOS  
MINERIA

Bogotá, junio 28, 2012

Señores:

AIC INTERNACIONAL S.A.

Atn: Ing. Juan Sebastián Reyes Aristizabal

Fax/Tel: 4747070

Dir: [j.reyes@aic-internacional.com](mailto:j.reyes@aic-internacional.com)

Ciudad: BOGOTA

País: COLOMBIA

COTIZACION Nº 18476

SU REFERENCIA:


PAGINA: 1

**ATENDIENDO A SU AMABLE SOLICITUD NOS PERMITIMOS COTIZAR A UD(S) LO SIGUIENTE:**

ITEM	CAN	DESCRIPCION	VALOR U.	VALOR T.
1	2	BOMBA HYDRAL	9.500.000	19.000.000
		TIPO: Centrífuga horizontal de una etapa		
		MODELO: BEP-8		
		CONSTRUCCION		
		CARCASA: Acero inoxidable AISI-304		
		IMPULSOR: Acero inoxidable AISI-304		
		Semiabierto diámetro 205 mm		
		CUBIERTA: Acero inoxidable AISI-304		
		EJE: Acero inoxidable AISI-304		
		SISTEMA AJUSTE IMP: Tuerca exterior en fundición gris		
		SOPORTE DE RODA: Fundición gris		
		RODAMIENTOS: Radiaxiales lubricados por grasa		
		SELLAMIENTO: Mecánico caras duras y vitón		
2	2	ACOPLAMIENTO	INCLUIDO	
		ACOPLE: Flexible Rexnord Omega E-3		
		BASE: Acero estructural		
		GUARDACOPLE: Lámina de acero expandida		
3	2	MOTOR	INCLUIDO	
		TIPO: Eléctrico trifásico		
		MARCA: E-line eficiencia premium		
		HP: 1,5		
		RPM: 1800		
		EJECUCION: B-3 / TEFC		
		VOLTAJE: 208-230-460		
		PROTECCION: IP-55		
<b>SUB TOTAL</b>			19.000.000	
<b>I.V.A. 16%</b>			3.040.000	
<b>TOTAL</b>			22.040.000	

OBSERVACIONES:

Anexo 56. Cotización por parte de PMT INDUSTRIES SDN BHD.

 <b>PMT INDUSTRIES SDN BHD</b>		<small>Lot 1929, Jln Bukit Kemuning, Sec.32, 40450 Shah Alam, Selangor D.E., Malaysia. Tel: 603-5122 5522 Fax: 603-5122 5533 e-mail: pmt@pmtindustries.com</small>		
<b>Customer Details:-</b> AIC Colombia  Attn : Mr Guillermo/Mr Sebastian		<b>NO:</b> 0110/ckh/12  <b>DATE:</b> 16-ago-12  <b>Your Ref</b>		
<b>PROFORMA INVOICE</b>				
Item	Description	Qty/UOM	U/Price USD	Amount
1	Palm Kernel Oil Machinery c/w Industrial gearbox and squirrel-cage electric motor without Worm & Collar. Model: DY20-EM-IG Crushing Capacity : 2nd Stage Pressing - 12 mt to 14 mt per 24 hours, Residue Oil Content: 2nd Stage Pressing - 5.5% to 7.5 % RPM : 2nd Stage Pressing - 14rpm Gearbox:- Brand: SEW-Eurodrive Model: M3PSF60KPD Rated Output Torque: 74000Nm Actual Reduction Ratio: 55rpm Mechanical Power Rating: 139kw <b>Electric Motor:-</b> Brand: Westin or Equivalent Type & rating: Squirrel-cage/ S1 Continuous Standard: IEC Standard Power: 55kw/75hp/60Hz/440v Speed: 1000rpm	2 uni	22'500.00	45'000.00
2	Palm Kernel Oil Machinery c/w Industrial gearbox and squirrel-cage electric motor Model: DY20-EM-IG Crushing Capacity: 1st Stage Pressing - 20mt to 22mt per 24 hours, Residual Oil Content: 1st Stage Pressing - 12% to 14 % RPM: 1st Stage Pressing - 20rpm Coupling - 12 teeth gear coupling Conditioned : Machined & Hardened Bearing : Type - Spherical roller thrust bearing 29426 NSK /SKF Base : I-Beam Mild steel. Size 6" x 6" I-Beam Worms & Collar - Stainless steel, Hard faced. Main Shaft - Assab Steel 70S, ø120mm. <b>Gearbox:-</b> Brand: SEW-Eurodrive Model: M3PSF60KPD Rated Output Torque: 74000Nm Actual Reduction Ratio: 55rpm Mechanical Power Rating: 139kw <b>Electric Motor :-</b> Brand: Westin or equivalent Type & rating: Squirrel-cage/ S1 Continuous Standard: IEC Standard Power: 55kw/75hp/60Hz/440v Speed: 1000rpm	2 uni	22'500.00	45'000.00

Lot 1929, Jln Bukit Kemuning, Sec. 32, 40450 Shah Alam, Selangor D.E., Malaysia.  
Tel: 603-5122 5522 Fax: 603-5122 5533 e-mail:pmt@pmtindustries.com