

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCION Y TRANSPORTE DE
CACHAZA EN EL PROCESO DE ELABORACION DE MIELES Y
PANELA.**

LUIS EMILIO CASTILLO LOZADA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2004**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCION Y TRANSPORTE DE
CACHAZA EN EL PROCESO DE ELABORACION DE MIELES Y
PANELA.**

LUIS EMILIO CASTILLO LOZADA

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

**Director
ALFREDO PARADA C.
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2004

DEDICATORIA

A “El Dios que hizo el mundo y todas las cosas que en él hay...”,
A mi madre Teresa de Jesús, a mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre,

A mis familiares

y a todos los amigos que contribuyeron con el proyecto de grado.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1 MARCO TEORICO	5
1.1 ORIGENES	5
1.1.1 Origen de la planta.	5
1.1.2 Historia del gremio.	5
1.2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE MIELES Y PANELA	6
1.2.1 Molienda.	6
1.2.2 Limpieza de los jugos.	6
1.2.2.1 La prelimpieza.	7
1.2.2.2 Clarificación.	8
1.2.3 Evaporación.	10
1.2.4 Punteo de miel y panela.	10
1.2.5 Moldeo y empaque de la panela.	10
1.3 ESTADO ACTUAL: CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO	11
1.3.1 Estado actual.	11
1.3.2 Estudios realizados.	12
1.3.3 Posibles equipos para retirar la cachaza	13
1.3.3.1 Filtro de placas horizontales.	13
1.3.3.2 Filtro prensa.	13
1.3.3.3 Filtro de hojas a presión.	13
1.3.3.4 Filtro de discos.	14
1.3.3.5 Filtro de tambor giratorio con descarga por cuchilla.	14
1.3.4 Otros equipos.	16

2.	ANÁLISIS DE DISEÑOS PRELIMINARES.	18
2.1	Diseño Preliminar 1: SISTEMA DE BARRIDO CON ALETA FLOTADORA Y BOMBEO AL FINAL.	18
2.1.1	Ventajas	18
2.1.2	Desventajas	18
2.2	Diseño Preliminar 2: SISTEMA DE BARRIDO CON RECIPIENTE PARA ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE LA CACHAZA.	19
2.2.1.	Ventajas	19
2.2.2	Desventajas	20
2.3	Diseño Preliminar 3: SISTEMA DE BARRIDO LONGITUDINAL A BASE DE CADENAS	20
2.3.1	Ventajas	20
2.3.2	Desventajas	21
2.4	Diseño Preliminar 4: SISTEMA DE DESCACHAZADO LONGITUDINAL CON SISTEMA DE PALANCAS CON CONTRAPESO.	21
2.4.1	Ventajas	23
2.4.2	Desventajas	23
2.5	Diseño Preliminar 5: SISTEMA DE BARRIDO CON MALLA SUMERGIBLE.	24
2.5.1	Ventajas	24
2.5.2	Desventajas	24
2.6	Diseño Preliminar 6: SISTEMA DE BARRIDO LONGITUDINAL CON CANGILONES	25
2.6.1	Ventajas	25
2.6.2	Desventajas	25
2.7	Diseño Preliminar 7: SISTEMA DE DESCACHAZADO DE BARRIDO TRANSVERSAL Y CON RECIPIENTE DE ELEVACIÓN.	26

2.7.1	Ventajas	28
2.7.2	Desventajas	28
2.8.	Diseño Preliminar 8: SISTEMA DE BARRIDO LONGITUDINAL CON CANGILON DE ELEVACIÓN.	29
2.8.1.	Ventajas.	31
2.8.2.	Desventajas.	31
3.	ALTERNATIVA SELECCIONADA	32
3.1.	LA ALTERNATIVA DE DISEÑO PRELIMINAR NUMERO 8	32
3.2.	DISEÑO PERFECCIONADO CON SISTEMA DE GUÍAS PARA EL CANGILÓN.	32
4.	CÁLCULOS SISTEMA DE DESCACHAZADO.	37
4.1.	CÁLCULO DEL VOLUMEN PARA LA PAILA PUNTEADORA	38
4.2.	CÁLCULO DE LAS RAYAS PARA LA PAILA CLARIFICADORA.	40
4.3.	DISEÑO DE LAS GUÍAS	42
5.	SISTEMA DE ELEVACIÓN.	45
5.1.	CANGILÓN.	47
5.2.	SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR	50
5.3.	ANÁLISIS DE LA CARGA MÁXIMA EN ELEVACIÓN DEL CANGILON.	51
6.	SISTEMA DE TRANSPORTE.	53
6.1.	CALCULO DEL PESO DE LA CACHACERA	55
6.2.	ANÁLISIS DEL SELLADO DEL TAPÓN DE LA CACHACERA	56
6.3.	CALCULO DEL PESO DEL TAPÓN	58
6.4.	CÁLCULO DE LAS PALANCAS DE LA CACHACERA	59

7.	MODELAMIENTO COSMOS DESIGNSTAR.	62
7.1.	CANGILON	62
7.1.1.	Cangilón capacidad 22.2 litros (jugo: 26 grados brix)	62
7.1.2.	Cangilón capacidad 33 litros (jugo: 18 grados brix)	63
7.1.3.	Diseño mejorado pivote de topes de giro.	65
7.1.4.	Restricciones de movimiento y aplicación de cargas al cangilón.	65
7.1.5.	Deformación cangilón	66
7.1.6.	Detalle esfuerzo cangilón	67
7.2.	ANÁLISIS DE LA COLUMNA DEL PÓRTICO	69
7.2.1.	Aplicación de cargas en la columna que conforma el pórtico.	69
7.2.2.	Deformación columna que conforma el pórtico	69
7.2.3.	Esfuerzos en la columna que conforma el pórtico	70
7.3.	ANÁLISIS DEL PERFIL SUPERIOR DEL PORTICO	72
7.3.1.	Aplicación de cargas sobre el perfil superior del pórtico	72
7.3.2.	Deformación perfil superior del pórtico	72
7.3.3.	Esfuerzos perfil superior del pórtico	73
7.4.	ANÁLISIS DEL RIEL DE LA CACHACERA	74
7.4.1.	Aplicación de cargas riel de la cachacera	74
7.4.2.	Deformación riel de la cachacera	74
7.4.3.	Esfuerzos riel de la cachacera	75
7.5.	ANÁLISIS BASE RIEL DELANTERO	76
7.5.1.	Aplicación de cargas base riel delantero	76
7.5.2.	Deformación base riel delantero	77
7.5.3.	Esfuerzos base riel delantero	77
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Diagrama del proceso de elaboración de mieles y panela y vista general de una hornilla.	7
Figura 2.	Prelimpieza	7
Figura 3.	Etapa de clarificación	8
Figura 4.	Remellón	11
Figura 5.	Cachacera cilíndrica	11
Figura 6.	Cachacera semiesférica	11
Figura 7.	Filtro de Tambor Giratorio con Descarga por Cuchilla	15
Figura 8.	Sistema de barrido con aleta flotadora y bombeo al final.	18
Figura 9.	Sistema de barrido con compartimiento de cachaza.	19
Figura 10.	Sistema a base de cadenas.	20
Figura 11.	Fase a: inicial	21
Figura 12.	Fase b: fin del barrido en la Paila Clarificadora	22
Figura 13.	Fase c: fin de barrido en la Rampa y comienzo de la descarga	22
Figura 14.	Fase c: Final o descarga hacia Cachacera	23
Figura 15.	Sistema de Barrido con malla sumergible	24
Figura 16.	Sistema de Barrido Longitudinal con cangilones	25
Figura 17.	Vista general	26
Figura 18.	Vista del sistema de engranajes	27
Figura 19.	Vista de la polea de elevación	27
Figura 20.	Vista general del tambor, del sistema de engranajes y del recipiente de elevación	27
Figura 21.	Vista del brazo de elevación	28
Figura 22.	Etapa inicial	29
Figura 23.	Etapa de contacto	30
Figura 24.	Etapa de descarga	30
Figura 25.	Alternativa seleccionada.	32
Figura 26.	Partes principales del sistema con cangilón	32

Figura 27.	Etapa inicial	33
Figura 28.	Etapa de contacto	34
Figura 29.	Etapa de descarga	34
Figura 30.	Sistema de guías en las ruedas de la cachacera	35
Figura 31.	Cangilón	36
Figura 32.	Partes principales sistema propuesto	37
Figura 33.	Cálculo volumen paila punteadora	38
Figura 34.	Calculo de las rayas.	40
Figura 35.	Fuerza actuante sobre la aleta.	42
Figura 36.	Vista sistema de elevación.	45
Figura 37.	Etapa inicial modelo físico	46
Figura 38.	Etapa inicial modelo físico	46
Figura 39.	Etapa de descarga modelo físico	47
Figura 40.	Vista general del diseño del cangilón mejorado	48
Figura 41.	Volumen del cangilón para 26 grados brix	48
Figura 42.	Volumen del cangilón para 18 grados brix	49
Figura 43.	Volumen del cangilón para 14 grados brix	49
Figura 44.	Peso del cangilón	50
Figura 45.	Análisis de fuerzas para el Cangilón	51
Figura 46.	Vista explosionada de la cachacera.	53
Figura 47.	Vista ortogonal inferior	53
Figura 48.	Vista frontal	54
Figura 49.	Vista lateral	54
Figura 50.	Detalle de las ruedas y el sistema de guías	55
Figura 51.	Cálculo experimental para el sellado.	56
Figura 52.	Centro de masa cangilón volumen cachaza 22,2 litros	62
Figura 53.	Vista de lateral centro de masa cangilón con volumen de cachaza 22.2 litros	63

Figura 54.	Centro de masa cangilón volumen de cachaza de 33 litros	64
Figura 55.	Vista lateral centro de masa cangilón con volumen de cachaza 33 litros	64
Figura 56.	Diseño pivotes de giro	65
Figura 57.	Restricciones y aplicación de cargas cangilón	66
Figura 58.	Deformación cangilón	67
Figura 59.	Esfuerzos cangilón	68
Figura 60.	Detalle esfuerzos cangilón	68
Figura 61.	Aplicación de carga en la columna que conforma el pórtico.	69
Figura 62.	Deformación columna que conforma el pórtico.	70
Figura 63.	Esfuerzos de la columna que conforma el pórtico	71
Figura 64.	Detalle esfuerzos de la columna que conforma el pórtico	71
Figura 65.	Aplicación cargas sobre el perfil superior del pórtico	72
Figura 66.	Deformación perfil superior del pórtico	73
Figura 67.	Esfuerzos perfil superior del pórtico	73
Figura 68.	Aplicación cargas riel de la cachacera	74
Figura 69.	Deformación riel de la cachacera	75
Figura 70.	Esfuerzos riel de la cachacera	75
Figura 71.	Aplicación carga base riel delantero	76
Figura 72 .	Deformación base riel delantero	77
Figura 73 .	Esfuerzos base riel delantero	78

LISTA DE TABLAS

	Pág
TABLA 1. Cálculo de Rayas	41
TABLA 2. Esfuerzo Flexión Guías	44
TABLA 3. Características de Motorreductores	50
TABLA 4. Fuerza necesaria para abrir el tapón	57
TABLA 5. Esfuerzos Flexión Palanca	61

LISTA DE CUADROS

	Pág
CUADRO 1 Composición del precipitado obtenido por calentamiento del jugo de caña.	10
CUADRO 2 Correlación que se obtuvo para la curva de densidad en la cachaza de la variedad RD.	12

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE CACHAZA EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE MIELES Y PANELA.

Autor:

LUIS EMILIO CASTILLO LOZADA

Palabras claves: Panela, cachaza, mieles, Cachacera

Este sistema de descachazado consta de las siguientes etapas:

- Una etapa de barrido que posee correas planas para mover una aleta. Esta aleta barre la cachaza manualmente por medio de una manivela hasta el cangilón.

La aleta es elevada por medio de una palanca para no permitir la acumulación de cachaza en la etapa de retorno.

Esta etapa dura 4 segundos aproximadamente.

- Una segunda etapa de elevación, en donde se utilizan un par de motorreductores ubicados a lado y lado de la viga del pórtico con el fin de elevar el cangilón, quien eleva la cachaza y la deposita en la cachacera. Este verteo de la cachaza en la cachacera ocurre una vez hace contacto el cangilón con el tope. El brazo o distancia existente entre el tope y el punto de izaje permite el giro del cangilón. Los motorreductores dejan de actuar una vez hace contacto el cangilón con uno u otro fin de carrera.

Los topes superiores no permiten que el cangilón siga girando por efecto de la inercia.

En estas se ubican un par de guías con el fin de dirigir el cangilón.

La duración de esta segunda etapa es de 12 segundos.

- Una tercera y última etapa de transporte, empleando una cachacera que se mueve por medio de rieles hasta la Paila Pelotera. Esta cachacera está longitudinalmente dividida en dos compartimientos con el objetivo de no permitir las perturbaciones del fluido y poder así separar el jugo de la cachaza.

La cachacera tiene un par de palancas para destaponarla.

Esta etapa de transporte dura 11 segundos aproximadamente.

Cada uno de los elementos son de acero galvanizado excepto los Elementos como: el cangilón, la aleta, las guías de la aleta, el cajón de la cachacera, las cuales están hechas de acero inoxidable.

SUMMARY

TITLE

DESIGNING OF A COLLECTION AND TRANSPORTATION SYSTEM OF CACHAZA IN THE HONEYS AND PANELA ELABORATION PROCESS

AUTHOR

LUIS EMILIO CASTILLO LOZADA

Key words: Panela, cachaza, Honeys, Cachacera

DESCRIPTION

This putting out cachaza system is comprised of the following phases:

- A sweeping phase that possesses flat straps to move a flipper. This flipper sweeps the cachaza by hand through a handle to the pitcher. The flipper is raised through a lever for permit not the accumulation of cachaza in the return phase. Approximately this phase has a duration of 4 seconds.

- A second elevation phase, where a pair of motorreducing are used which are located to side and side of the beam of the portal in order to elevating the pitcher, which elevates the cachaza and places it in the cachacera. This depositing of the cachaza in the cachacera occurs once it does contact the buckets with the limit. The arm or existing distance among the limit and the izaje point permits the turn of the buckets. The motorreducing to stop acting once it does contact the buckets with one or another end of ladder.

The upper limits do not permit that the buckets continue rotating for effect of the inertia. In these a pair of guides are located in order to directing the pitcher.

The duration of this second phase is 12 seconds.

- A third and last phase of transportation, employing a cachacera that moves through slides as far as container melotera. This cachacera is lengthwise divided into two compartments with the objective of permit not the fluid disruptions and to be able thus to separate the cachaza juice. The cachacera has a pair of levers to unblock it. Approximately, this phase has a duration of transportation of 11 seconds. Each one of the elements are of steel galvanized except the elements as: the pitcher, the flipper, the flipper guides, the cachacera drawer, which are facts of stainless steel.

INTRODUCCIÓN

El sector rural en Colombia requiere de mucha atención para su desarrollo y uno de ellos es el de los paneleros. Estos se encuentran dentro de una de las principales actividades agrícolas de la economía nacional en estado incipiente.

La Ingeniería Mecánica es fundamental en la elaboración de alternativas tecnológicas que mejoren la producción de panela en aras del desarrollo de este importante sector. Una de estas alternativas es el diseño de un sistema de descachazado que mejore la calidad de las mieles y panela.

El sistema actual de descachazado (remoción de sólidos insolubles que floculan durante la clarificación) es muy artesanal y deficiente, en donde un solo operario realiza todo el proceso empleando mucho trabajo y tiempo.

Se concluyó que el mejoramiento de la limpieza de los jugos (específicamente en la etapa de clarificación) es una de las tareas que se puede minimizar y optimizar dentro del proceso de recolección de cachaza, reduciendo los tiempos de recolección y transporte con el fin de poder aumentar la velocidad de calentamiento en la paila recibidora. La calidad del producto se puede aumentar, disminuyendo el esfuerzo físico del trabajador.

Este proyecto de **Diseño de un Sistema de Descachazado** es novedoso y pretende ser un aporte muy significativo en la carrera de Ingeniería Mecánica para la solución de problemas de la industria de las mieles y panela.

En el capítulo 1 se hace una reseña histórica del origen de la planta de Caña de Azúcar y del gremio, a demás de las distintas etapas en la elaboración del producto como son: la molienda, la prelimpieza, la clarificación, la evaporación, punteo de miel, moldeo y empaque de la panela, a demás de la tecnología utilizada.

En el capítulo 2 y 3 se hace un análisis y selección de los diseños preliminares que fueron tenidos en cuenta para el inicio del proceso de diseño.

En el capítulo 4 se presentan los cálculos de diseño que corresponden a la alternativa seleccionada.

En el capítulo 5 y 6 se describen los sistemas de elevación y transporte respectivamente, los elementos que lo componen y tiempos de movimiento de la carga.

En el capítulo 7 se encuentra el análisis de las piezas o elementos más críticos. Estos análisis se hicieron utilizando el Solid Edge para el modelamiento de las piezas y el Cosmos Designstar para el análisis de esfuerzos y deformaciones.

En el capítulo 8 se hace un comentario de las conclusiones y recomendaciones del sistema de descachazado.

Este proyecto de grado se encuentra enmarcado dentro de los siguientes objetivos:

OBJETIVOS GENERALES

- Contribuir al mejoramiento en el sistema de recolección de la cachaza mediante el diseño de un sistema que aumente la eficiencia en la remoción de sólidos insolubles.
- Aplicar los conocimientos adquiridos en Ingeniería Mecánica y las herramientas computacionales como el **Solid Edge** y el **Cosmos** con el fin de diseñar una alternativa de descachazado más confiable y segura.
- Contribución con el desarrollo de la agroindustria panelera y el fortalecimiento de los vínculos Universidad-Industria.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Simulación en **Solid Edge** del sistema en general, de la Recolección, la Elevación y el Transporte de cachaza.
- Diseño de un modelo físico demostrativo, a escala que muestre el mecanismo de elevación y vaciado de la cachaza
- Diseñar una cachacera de tamaño real, de 47 cm. x 49 cm x 180 cm.
- Evaluación técnica en cuanto a :
 - **La confiabilidad.** Si el equipo no contamina los jugos, y si es de fácil operación.

- **Al mantenimiento.** Los elementos que requieran limpieza, lubricación y periodicidad de la inspección como: El Cangilón, la Cachacera o separador, soporte de rodamientos, etc.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ORÍGENES

1. 1. 1 **Origen de la planta.** La caña de azúcar es una planta de la familia de las monocotiledóneas que tienen tallos huecos divididos por nudos y flores en espigas.

Algunos consideran esta planta originaria de la India, o de Mesopotamia y algunos afirman que viene del archipiélago polinesio. Historiadores sostienen que Alejandro Magno la encontró y que a su regreso la hizo cultivar en Persia y de allí la llevaron los Árabes a Egipto y Siria. En el siglo IX - se agrega - los moros la introdujeron a España y ya por el siglo XII se la cultiva en muchas partes de la costa mediterránea. De Sicilia paso a las islas Canarias y Madeira y de esta ultima al Brasil, Santo Domingo, México, Martinica, Cuba y Venezuela.

En Colombia se cultivó por primera vez en 1510 en Santa María Antigua del Darién.

1.1.2 Historia del gremio. En cuanto a la historia del gremio de este importante sector, se encuentran una serie de constantes a través de su devenir histórico; un desarrollo todavía incipiente en algunas zonas del país e intermitente de acuerdo a las problemáticas del momento; ausencia de representatividad de las bases; interacción aguda con estructuras inadecuadas de mercadeo, lo cual afecta su capacidad financiera y por ende de aporte a los organismos asociativos.

El gremio se consolida o ve la necesidad de hacerlo cuando hay fenómenos críticos que lo afectan, depresiones acentuadas de precios, producción masiva de panela por parte de los ingenios azucareros o los llamados “derretideros”; pero paradójicamente en épocas de bonanza el desinterés es la constante. Las causas principales de esta situación son los bajos niveles de productividad, la dispersión de los productores en toda la geografía nacional, su poco poder adquisitivo la estructura minifundista, la falta de una planificación sectorial, el adolecer de muy poca conciencia de grupo y el tradicionalismo secular (Manrique, 2000, 4).

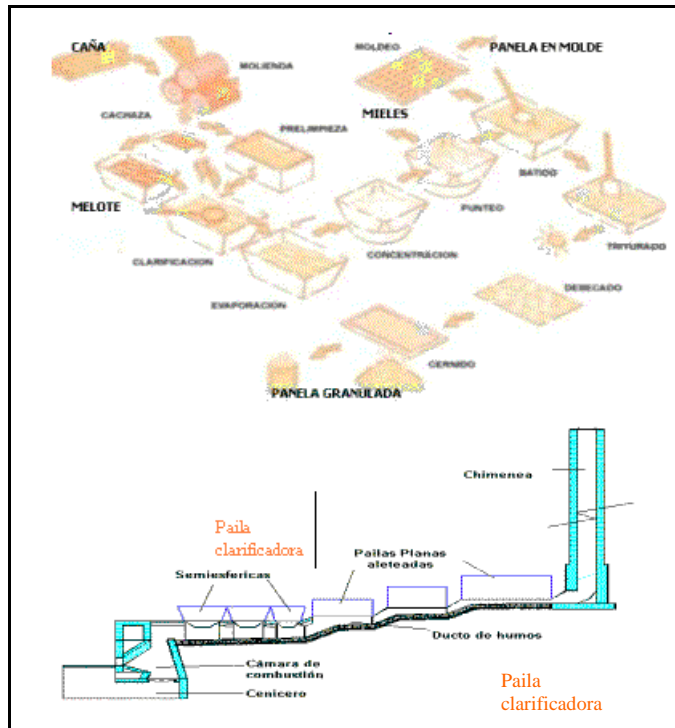
1.2 PROCESO DE ELABORACION DE MIELES Y PANELA

El proceso de la elaboración de la panela y mieles se observa en el diagrama de la figura 1.

1.2.1. Molienda. La molienda o extracción de los jugos es el paso de la caña a través del molino, obteniéndose un jugo o guarapo como producto principal y bagazo húmedo (verde) usado como combustible para la hornilla. Se realiza utilizando molinos que pasan la caña entre unos rodillos o masas que la comprimen fuertemente. La extracción en peso puede variar entre 40% y el 70% de acuerdo a la tecnología usada.

1.2.2. Limpieza de los jugos. El principal aspecto que afecta, no solamente la calidad sino la aceptabilidad del producto es la limpieza de los jugos de caña durante el proceso de producción de panela y mieles. Esta limpieza de los jugos comprende dos etapas: una en frío o prelimpieza y otra en caliente o clarificación.(Prada, 2000, 7).

Figura 1. Diagrama del proceso de elaboración de mieles y panela y vista general de una hornilla.



1.2.2.1 La prelimpieza. Consiste en eliminar por medios físicos y a temperatura ambiente el material grueso con el que sale el jugo de caña del molino. Durante la prelimpieza en frío (Figura 2) se elimina lodo, bagacillo, arena, etc.; Reduciendo de esta forma la cantidad de cachaza.

Figura 2. Prelimpieza



1.2.2.2 Clarificación. La etapa de clarificación (Figura 3) en el proceso de la panela difiere altamente del proceso azucarero debido a que en este último, se entiende por impurezas todas las sustancias diferentes a la sacarosa.

Figura 3. Etapa de clarificación



La industria azucarera utiliza decantadores continuos o clarificadores. Estos elementos consisten en tanques a los que se les hace llegar de manera regular y continua el jugo por decantar y que es lo suficientemente grande como para que la velocidad de escurrimiento y de circulación del jugo sea de un valor tan bajo que no impida que la decantación se realice. El jugo claro obtenido sale por la parte inferior del clarificador de manera regular y continua tal como lo hacen las cachazas por la parte superior. Los diversos clarificadores son análogos en sus principios de operación y no varían mas que en detalles. Los tipos de clarificadores más conocidos son: Clarificadores Dorr “Multifeed”, el Clarificador Graver, Clarificador Bachy y Clarificador “Rapidorr” (Hugot, E. 1982).

En el proceso panelero esta etapa se lleva a cabo en la paila clarificadora de la hornilla, donde algunos sólidos coloidales y colorantes, dispersos en los jugos, se aglutinan por efecto del calor en pequeñas masas

llamados flóculos; con el propósito de eliminarlos posteriormente por métodos físicos (8).

La Floculación es la formación de copos o flóculos causado por el choque de las partículas, que se hallan emulsionadas o en solución coloidal, a la cual precede la coagulación que consiste en la precipitación de las partículas sólidas las cuales sin fundirse unas en otras permanecen aprisionadas en la masa. Aun cuando los jugos de caña poseen en su composición los agentes químicos para que por efecto del calor se presente la floculación y coagulación de algunas de las impurezas, se hace necesario mejorar el proceso de clarificación con la adición de un agente aglutinante.(8). Las impurezas que flotan se denominan cachaza negra.

- **La cachaza.** La cachaza es un subproducto en el proceso de elaboración de la panela y de mieles. A través de las evaluaciones efectuadas directamente en los trapiches han revelado que, el 3 - 5% en peso del jugo extraído, corresponde a la cachaza, su constitución depende de muchos factores como son: la variedad de caña, cantidad de agentes aglutinantes utilizados en la clarificación etc.(Duran N. 1992). La composición fisicoquímica de la cachaza se presenta en el Cuadro 1.

Para retirar la cachaza de la paila recibidora se utiliza un “remellón” o “caso” y se la deposita en la cachacera, donde después de una hora aproximadamente, por diferencia de densidades se separa la cachaza del jugo. Esta es transportada en envases plásticos o con palas a la paila melotera donde se concentra hasta 45-50°Brix o directamente para el consumo de los animales; los jugos se devuelven a la Paila Clarificadora.

Cuadro 1. Composición del precipitado obtenido por calentamiento del jugo de caña.

Sustancia	mg / l
Sustancias cerosas	3 - 15
Pentosanas	3 - 5
Materias proteínicas	6 - 25
P ₂ O ₅	0.3 - 0.6
CaO	0.3 - 1.0
MgO	0.3 - 0.5
Fe ₂ O ₃ - Al ₂ O ₃	2 - 7
2SiO ₂	0.2 - 1
Insoluble en HCl (R ₂ O ₃) n(SiO ₂) _m	10 - 20

1.2.3 Evaporación. Es la etapa que sigue a la clarificación y donde el calor suministrado es aprovechado básicamente en el cambio de fase del agua (líquido a vapor) eliminándose cerca del 90% del agua presente, con lo cual se aumenta el contenido inicial de los sólidos solubles de aproximadamente 18°Brix hasta el punto de miel o panela. (13).

1.2.4 Punteo de miel y panela. El punto para mieles se obtiene entre 100°C o 102°C que corresponde a un porcentaje de sólidos solubles entre 66-70°Brix y para panela entre 118-125°C correspondientes a una concentración de sólidos solubles de 88-94°Brix .

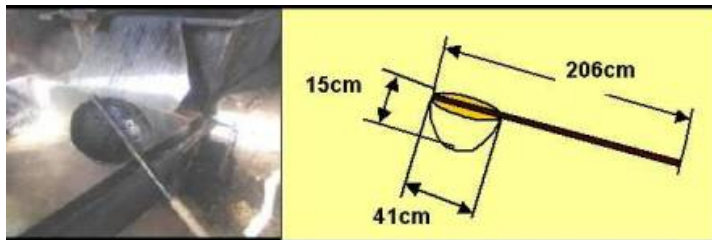
1.2.5 Moldeo y empaque de la panela. La panela líquida se deposita en una batea con el fin de que por acción del batido intensivo e intermitente se enfríe. El moldeo se realiza en unos recipientes denominados gaveras donde la panela se solidifica adquiriendo su forma definitiva. Cuando se trabaja con mieles es importante empacar el producto inmediatamente se puntea y reempacarlo posteriormente en empaques individuales si es posible .

1.3 ESTADO ACTUAL: CIENTIFICO Y TECNOLÓGICO

A pesar de los avances realizados en materia de combustión y extracción, siguen siendo sistemas abiertos en donde gran parte del calor transferido por los gases de combustión a los jugos se va a la atmósfera, además el proceso de retirar la cachaza es muy rudimentario.

1.3.1 Estado actual. Hasta el momento el sistema de remoción de cachaza es muy artesanal en las pailas Recibidora y Clarificadora se emplea un "caso" o "remellón", que es un casco adosado a la punta de una vara larga de aproximadamente 2 metros, pesa aproximadamente 2 Kg. Este elemento se muestra en la figura 4.

Figura 4. Remellón



Los tipos de cachaceras utilizadas tradicionalmente son(figuras 5, 6 y 7):

- Cilíndrica
- Casquete esférico
- Prisma invertido

Figura 5 : Cachacera cilíndrica



Figura 6: Cachacera semiesférica



No existen estudios de tiempos de separación de las dos fases en la cachacera, ni geometría apropiada para el proceso.

1.3.2 Estudios realizados. Recientemente el ingeniero Edilson Garnica elaboró un estudio, donde caracteriza las variables de diseño, como puede verse en el Cuadro 2; donde se describen los equipos que pueden emplearse en el proceso de remoción de la cachaza y recomendaciones en su elección.

Cuadro 2. Correlación que se obtuvo para la curva de densidad en la cachaza de la variedad RD.

Temperatura (°C)	Peso Vacío (g)	Peso Lleno (g)	Volumen (ml)	Densidad (g / ml)
28	19.7868	43.0336	25	0.9299
38	19.1051	46.165	25	1.0824
49	25.4451	77.4747	50	1.0406
61	25.1405	77.9759	50	1.0567
72	18.6671	45.6646	25	1.0799

FUENTE : Garnica E. 2001

En el estudio se concluyó que nuestro equipo tendrá que operar en el rango de densidad de 0.4330 a 1.1112 g / ml y en el rango de viscosidad de 0.55 a 2.5 dPa.s. Además tendrá que retirar entre 50 y 500 litros de cachaza durante un tiempo máximo de 15 minutos que es lo que tarda en comenzar a ebulir la paila después de haberse completado la raya, es decir, que tendrá que operar en el rango de temperaturas de 50 a 100°C, Se estableció como tiempo de trabajo 10 minutos y una velocidad de filtración de nuestro equipo será entre 5 y 50 litros / minuto.

1.3.3 Posibles equipos para retirar la cachaza

1.3.3.1 Filtro de placas horizontales. Consta de varias placas horizontales con un drenado circular y guías, apiladas dentro de una cubierta cilíndrica coaxial, y conectados en paralelo.

Las ventajas de los filtros horizontales a presión son su tamaño compacto, limpieza, facilidad de adaptación a la limpieza estéril y la posición horizontal de las placas que permite una deposición uniforme de la torta y un lavado eficaz. Las desventajas son el tamaño relativamente pequeño de los filtros, el espacio superior relativamente grande y el espacio de piso considerable que se requiere, además de la necesidad de mano de obra para retirar y limpiar el medio de filtración (aunque no necesariamente mayor que para los filtros prensa).

1.3.3.2 Filtro prensa. Estos filtros son un montaje alternado de placas cubiertas en ambos lados con un medio filtrante que, por lo general, es tela, y marcos huecos, que proporcionan el espacio necesario para la acumulación de la torta durante la filtración. Los filtros prensa tienen muchas ventajas y las principales son su simplicidad, bajo costo, flexibilidad y capacidad para funcionar a presiones elevadas, ya sea como filtro clarificador o de torta. Las necesidades de espacio superior y espacio de piso por unidad de capacidad de filtración son pequeñas.

1.3.3.3 Filtro de hojas a presión. A veces se les denomina filtros tanque y consisten en un ensamblaje de elementos planos de filtración (hojas) sostenidos verticalmente dentro de un casco a presión. Las hojas son circulares, con lados en forma de arco o rectangulares, y tienen superficies de filtración en ambas caras

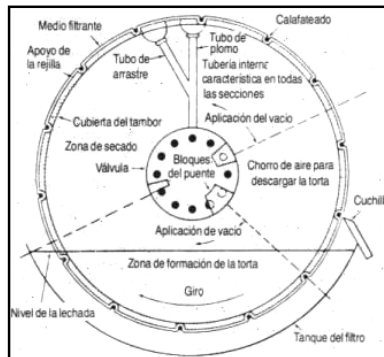
Las ventajas de los filtros de hojas a presión son su considerable flexibilidad (hasta el máximo permisible, se pueden formar sucesivamente tortas de diversos espesores), sus costos bajos de mano de obra, sobre todo cuando se puede rebanar la torta o descargarse tortas secas con limpieza, mediante un soplo de aire, la simplicidad básica de muchos diseños y su adaptabilidad a un lavado eficaz de desplazamiento. Sus desventajas son el requisito de una supervisión excepcionalmente inteligente y cuidadosa.

1.3.3.4 Filtro de discos. Estos filtros operan al vacío y constan de varios discos verticales, unidos a intervalos sobre un eje central hueco y horizontal que gira continuamente. Son los más baratos de entre los continuos; su bajo costo y su tamaño extremadamente pequeño constituyen sus principales ventajas. La mayor desventaja es su incapacidad para adaptarse a un lavado eficiente y la dificultad para cerrar totalmente el filtro en las operaciones que manejan materiales peligrosos.

1.3.3.5 Filtro de tambor giratorio con descarga por cuchilla. El autor del informe nos recomienda este equipo que se muestra en la figura 7, se caracterizan por un tambor cilíndrico sostenido en un tanque de extremo superior abierto o una tolva, de tal suerte que se permita la rotación del tambor en torno a su propio eje, que se encuentra en un plano horizontal. La posición del tambor en el tanque es de tal índole que su porción inferior queda confinada dentro de las paredes del tanque, mientras que la porción superior queda abierta hacia arriba. El tambor está cubierto en la porción cilíndrica por un medio filtrante, sobre una estructura de apoyo constituida por una rejilla que permite el drenado a los múltiples. Las dimensiones (en términos de las áreas de filtración) varían desde 0.37 hasta 93 m² (4 a 1000 ft²). Los materiales básicos de construcción pueden ser metálicos o de plástico.

La cuchilla sirve, principalmente, para dirigir la torta, desprendida por medio de retosoplado con aire, a la rampa de descarga, ya que el contacto real con el medio causaría su desgaste rápidamente.

Figura 7. Filtro de Tambor Giratorio con Descarga por Cuchilla



Según el estudio las ventajas de los filtros al vacío son:

- Se pueden diseñar como filtros continuos eficaces.
- Como tales, utilizan poca mano de obra y son adiciones eficientes para los procesos continuos.
- La superficie de filtración se puede abrir a la atmósfera y, por consiguiente, es fácil llegar a ella para efectuar inspecciones y reparaciones.
- Por lo común, los costos de mantenimiento son reducidos.

Las desventajas son:

- Se debe mantener un sistema al vacío.
- No se pueden usar filtros al vacío con filtrados volátiles, ya sea debido a un punto normal de ebullición bajo o a una temperatura de operación elevada.

- La mayoría de los filtros al vacío no pueden manejar sólidos compresibles cuya filtración es difícil.
- Los filtros continuos al vacío son inflexibles y no ofrecen un buen desempeño si su corriente de alimentación cambia con respecto a la velocidad, la consistencia o el carácter de los sólidos.

1.3.4 Otros equipos. Además de los equipos que hemos mencionado existen los siguientes que son utilizados en la industria azucarera:

Los diferentes tipos de clarificadores son análogos en sus principios de operación y no varía más que en detalles; por esta razón se describirá solamente el clarificador Dorr. Tiene un eje central que gira muy lentamente (12 Rev. /h) y que lleva laminas raspadoras que barren lentamente el fondo de los compartimientos . El jugo por decantarse llega tangencialmente a la parte superior de compartimiento en este lugar sobrenada un poco de espuma la que se elimina por medio de un raspador especial que empuja hacia un pequeño canal lateral de evacuación.

Los compartimientos se comunican entre si. En cada uno, la cachaza se deposita, se empuja lentamente hacia el centro, en donde cae por un orificio anular, al fondo del aparato descendiendo a lo largo y al exterior del tubo central. El jugo por decantar pasa del tubo central a los compartimientos por medio de ductos que atraviesan el espacio anular por el que descienden la cachaza.

Otros clarificadores existentes son:

- Clarificador Dorr "Multifeed"
- Clarificador Graver.

- Clarificador "rapidorr" (Dorr-Oliver)(Hugot, 1995, 294.)

Estos equipos tienen principalmente el inconveniente de ser muy costosos e interrumpir el proceso de fabricación.

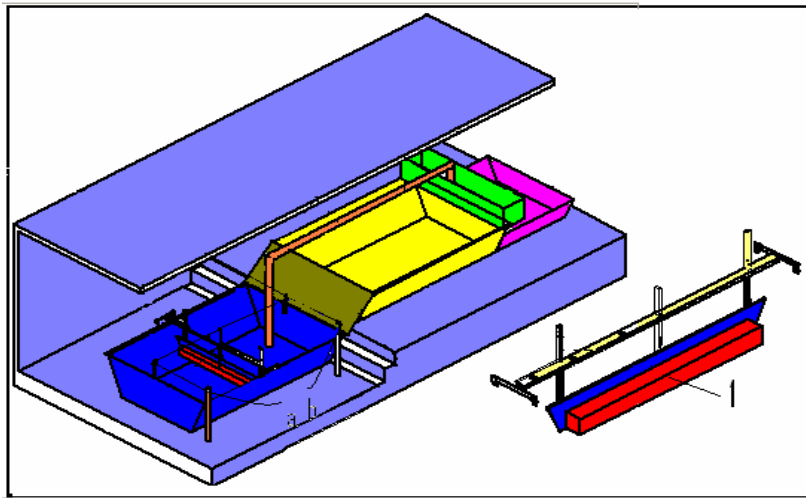
Estos equipos no son los más recomendables para los requerimientos de este proyecto, debido principalmente al costo, al mantenimiento y a los inconvenientes en la mezcla de los aglutinantes, ya que no van a permitir que esté libre la superficie del jugo.

2. ANALISIS DE DISEÑOS PRELIMINARES.

Debido a la escasez de información bibliográfica sobre el tema de descachazado, se optó por hacer en este proyecto un estudio de diseños preliminares con el fin de comparar alternativas y escoger las más adecuadas.

2.1. Diseño Preliminar 1: SISTEMA DE BARRIDO CON ALETA FLOTADORA Y BOMBEO AL FINAL.

Figura 8. Sistema de barrido con aleta flotadora y bombeo al final



La figura 8. muestra el dispositivo con aleta flotadora (1). Esta aleta es accionada manualmente por medio de guayas (2).

2.1.1 Ventajas

- La altura se adaptaría a la geometría.
- Sería práctico si se pudiera bombear la cachaza.

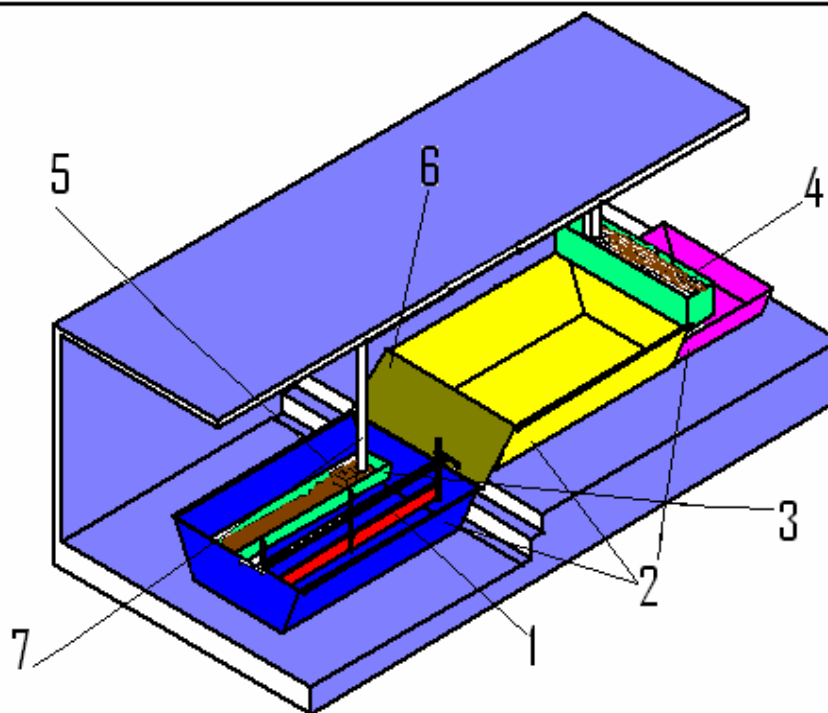
2.1.2 Desventajas

- Este sistema de aleta con flotador se hace poco estable.
- Muy costoso.
- Atraparía cachaza en su parte posterior en el regreso.

- Depende del fluido eléctrico.
- aumentan los costos en la construcción de la aleta.
- No es muy seguro.

2.2 Diseño Preliminar 2: SISTEMA DE BARRIDO CON RECIPIENTE PARA ALMACENAMIENTO Y BOMBEO DE LA CACHAZA.

Figura 9. Sistema de barrido con compartimiento de cachaza



1a
te

(3), en donde existe un sistema de bombeo (5 y 7) que la transporta a la cachacera (4). En la figura se puede apreciar claramente el babero (6) que existe entre las pailas (2)

2.2.1. Ventajas

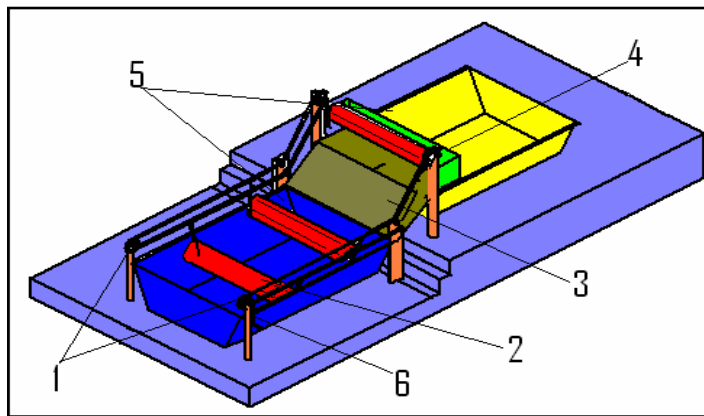
- El sistema sería muy práctico si existiera la posibilidad de diseñar el compartimiento y además bombear la cachaza.

2.2.2. Desventajas

- Se necesitarían diversos niveles para verter la cachaza, luego, el diseño se complicaría.
- A 96°C la bomba produciría cavltación
- La cachaza es 250 veces más viscosa que el agua y contiene arenilla o sílice sumado a los ácidos, corroen fácilmente la bomba y haría la bomba impractica.
- Depende del fluido eléctrico
- Muy costoso.

2.3. Diseño Preliminar 3: SISTEMA DE BARRIDO LONGITUDINAL A BASE DE CADENAS

Figura 10. Sistema a base de cadenas.



La figura 10 muestra el sistema. Este utiliza una manivela (6), la cual transporta un recipiente (2) hacia la cachacera (4), utilizando en este caso unas cadenas (1). Habría la necesidad de instalar una rampa (3) para transportar la cachaza hacia la cachacera.

2.3.1 Ventajas

- Sería práctico si fuese en una sola operación

2.3.2 Desventajas

- Los vapores a esas temperaturas corroen fácilmente las cadenas.
- Se necesita lubricación en las cadenas. Lo cual no es recomendable.
- La geometría no permitiría realizarla en una sola operación
- Se escaparía mucha cachaza a causa de la geometría.

2.4. Diseño Preliminar 4: SISTEMA DE DESCACHAZADO LONGITUDINAL CON SISTEMA DE PALANCAS CON CONTRAPESO.

Este sistema utiliza un mecanismo de barras pivotantes (2) con contrapesos (3) para mayor facilidad en el manejo del recipiente de arrastre (1). En las figuras 11, 12, 13 y 14 se observan las etapas del sistema para su funcionamiento.

Figura 11. Fase a: inicial

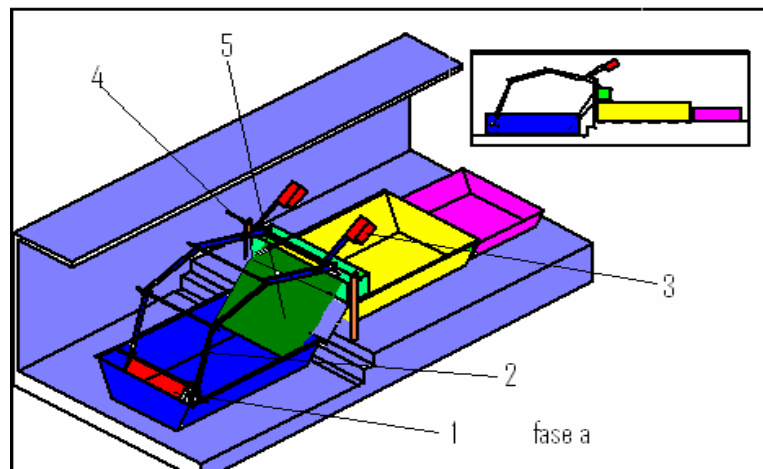


Figura 12. Fase b: fin del barrido en la Paila Clarificadora

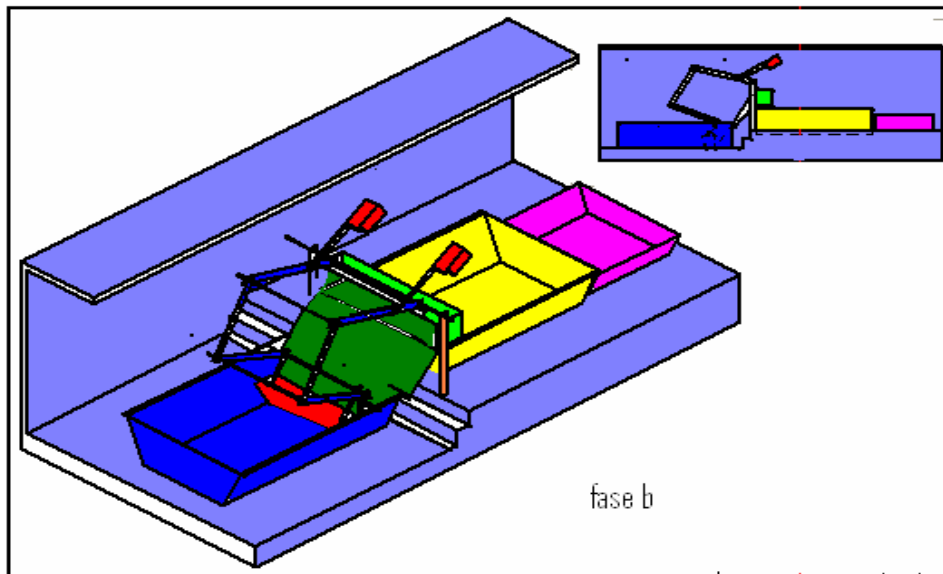


Figura 13. Fase c: fin de barrido en la Rampa y comienzo de la descarga

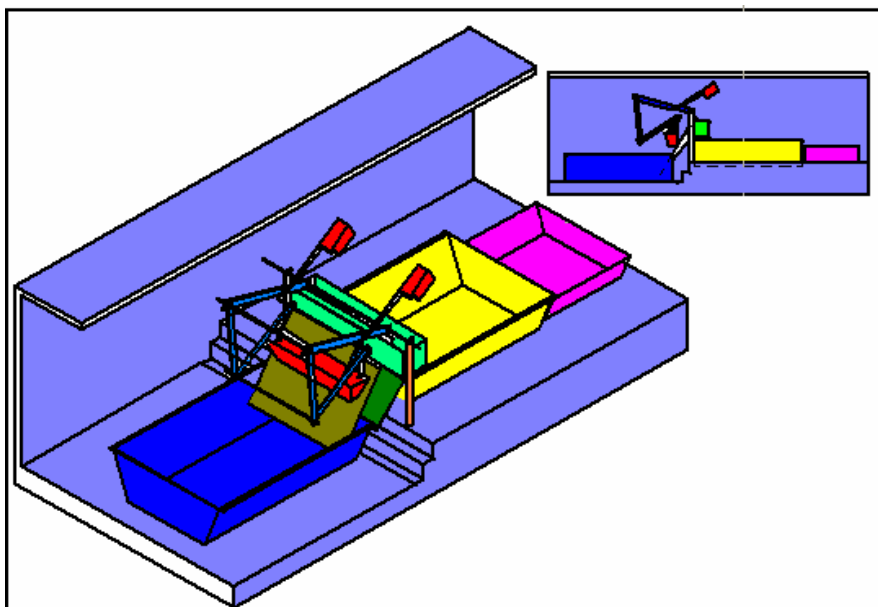
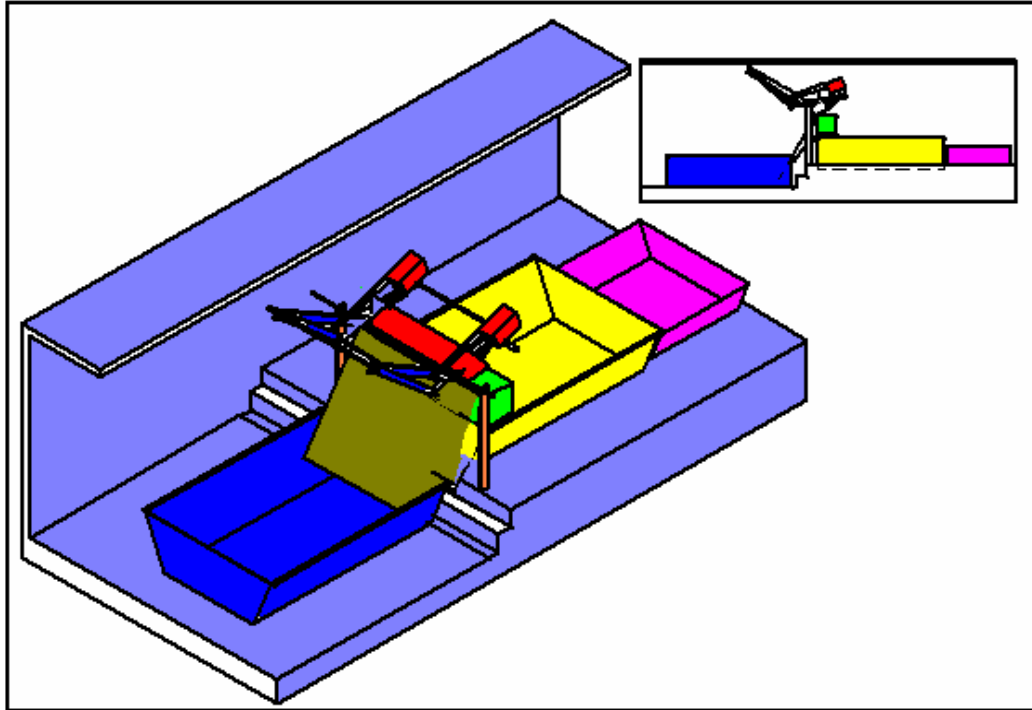


Figura 14. Fase c: Final o descarga hacia Cachacera



2.4.1 Ventajas

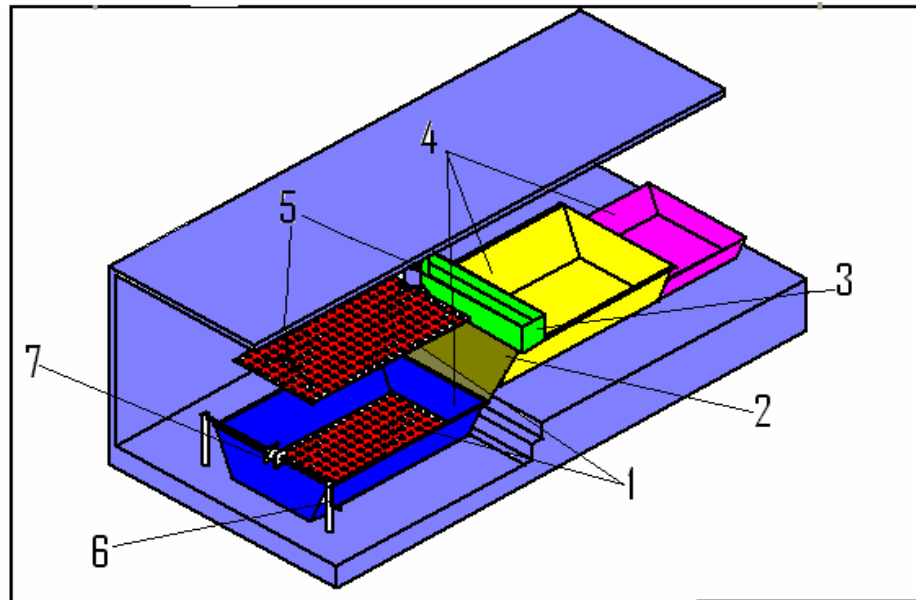
- Se haría en una sola operación.

2.4.2 Desventajas

- Se perdería casi la mitad de la cachaza a causa de la geometría.
- Sería poco práctico por los cambios de posición del operario.
- Habría mucho desgaste físico del operario.

2.5. Diseño Preliminar 5: SISTEMA DE BARRIDO CON MALLA SUMERGIBLE

Figura 15. Sistema de Barrido con malla sumergible



Este sistema utiliza una malla (1) que inicialmente esta en el fondo (1) de la paila (4). Esta malla es levantada por poleas (5) por medio de una manivela (6). Existiría la imposibilidad de depositar la cachaza en la Cachacera (3), así como el mantenimiento de la malla. Véase figura 15.

2.5.1. Ventajas

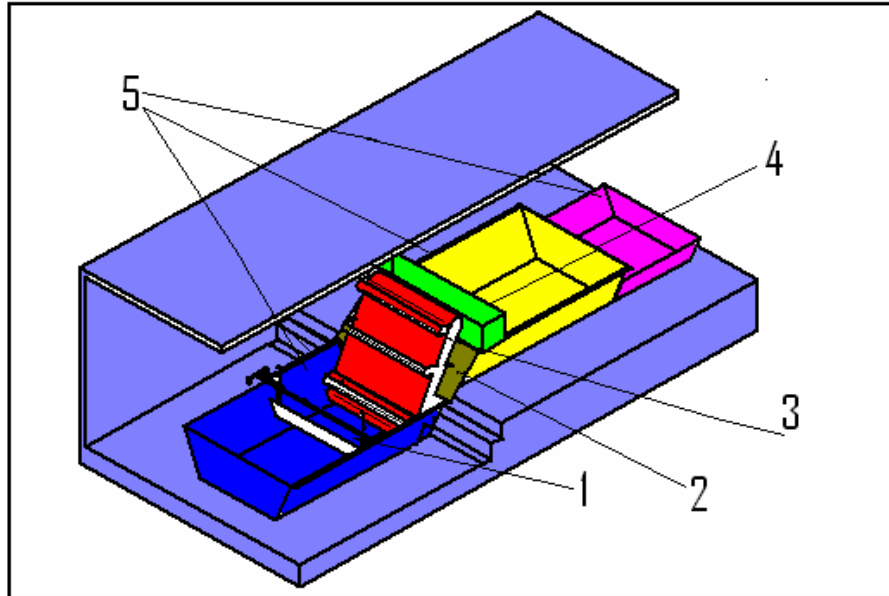
- Sería práctica en el desalojo del 60% de la cachaza

2.5.2 Desventajas

- La geometría de la paila no permitiría su utilización
- La limpieza de la malla sería dispendiosa.
- Dejaría de evacuarse aproximadamente el 40% de la cachaza.

2.6. Diseño Preliminar 6: SISTEMA DE BARRIDO LONGITUDINAL CON CANGILONES

Figura 16. Sistema de Barrido Longitudinal con cangilones



Es un sistema que arrastra la cachaza por medio de una aleta (1) hacia a una Transportadora por Cangilones (3) esta envía la cachaza hacia la cachacera (4). Esta Transportadora por Cangilones estaría ubicada en el lugar en donde se sitúa el Babero. Véase figura 16.

2.6.1. Ventajas

- Sería práctico si fuera en una sola operación.

2.6.2. Desventajas

- Sería muy demorada la evacuación de la cachaza. Por este motivo descartaría la posibilidad de llevarlo a cabo.

2.7. Diseño Preliminar 7: **SISTEMA DE DESCACHAZADO DE BARRIDO TRANSVERSAL Y CON RECIPIENTE DE ELEVACIÓN.**

Este sistema utiliza un recipiente de elevación (color rojo), elevado por medio de engranajes. Unas poleas ubicadas en la parte superior dirigen las guayas hasta un tope que obliga a inclinar el recipiente con el fin de depositar la cachaza en la Cachacera. Véase figura 17.

Figura 17. Vista general

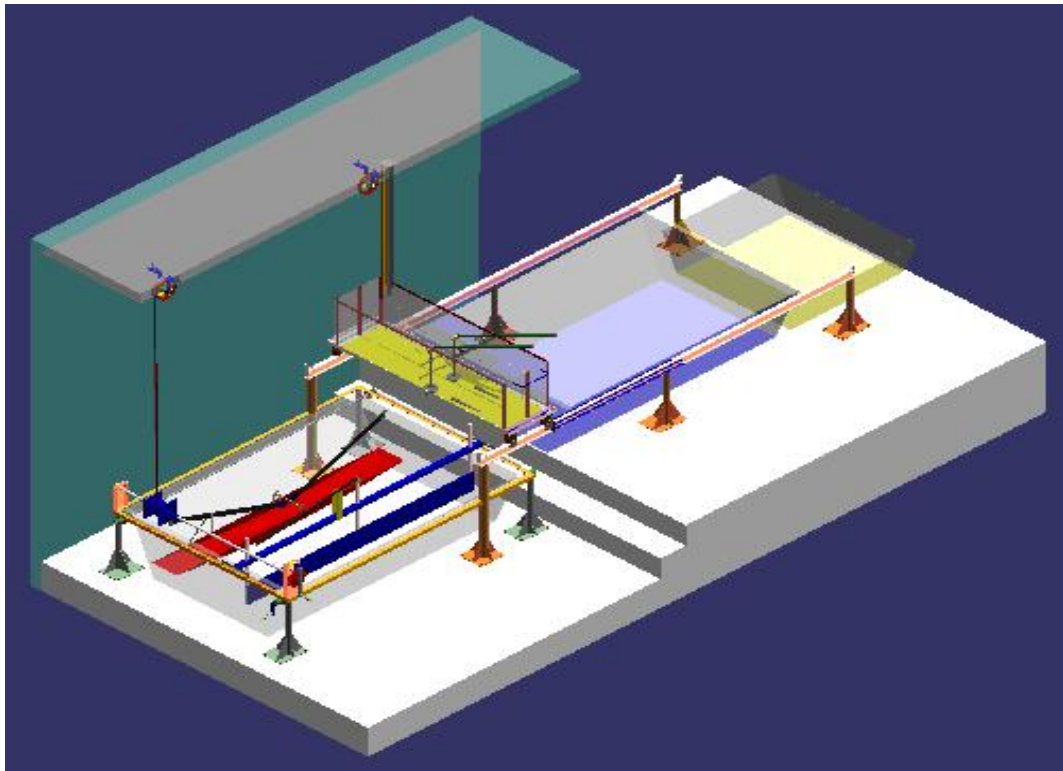


Figura 18. Vista del sistema de engranajes

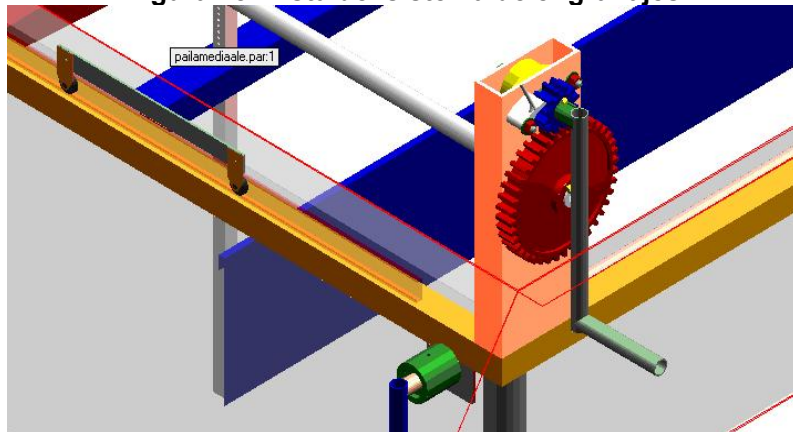


Figura 19. Vista de la polea de elevación

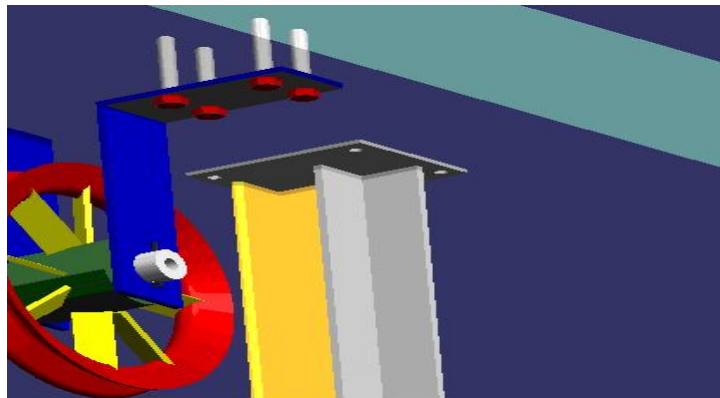


Figura 20. Vista general del tambor, del sistema de engranajes y del recipiente de elevación

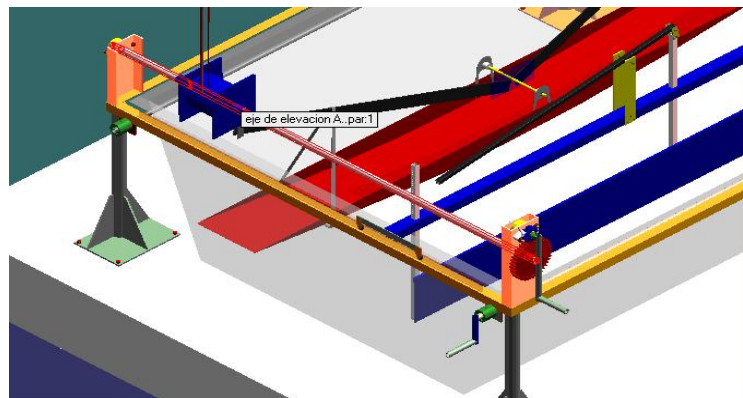
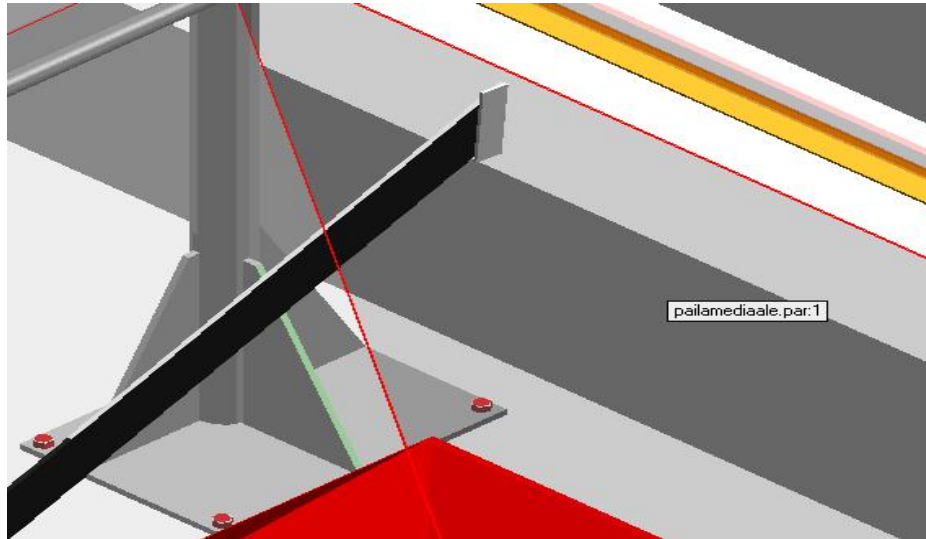


Figura 21. Vista del brazo de elevación



2.7.1. Ventajas

- No depende del fluido eléctrico.
- Desaloja toda la cachaza de la cochada en una sola operación

2.7.2 Desventajas

- El procedimiento es muy demorado debido a que es manual.
- El verteo de las cachaza es muy inestable.
- La construcción del Recipiente es muy complicada.
- Mucho desgaste físico del operario.
- Sería demorada la evacuación de la cachaza.
- El movimiento de la aleta en sentido transversal a la paila es poco práctico para el operario.

De las figuras 18 a la 21 se aprecian los detalles del sistema con recipiente de elevación.

2.8. Diseño Preliminar 8: SISTEMA DE BARRIDO LONGITUDINAL CON CANGILON DE ELEVACIÓN.

Propuesta del presente proyecto.

Este sistema consta de una etapa de **barrido**, una de **elevación** y una etapa de **transporte**.

En las figuras 22, 23 y 24 se observan las diferentes etapas en el movimiento del cangilón.

Figura 22. Etapa inicial

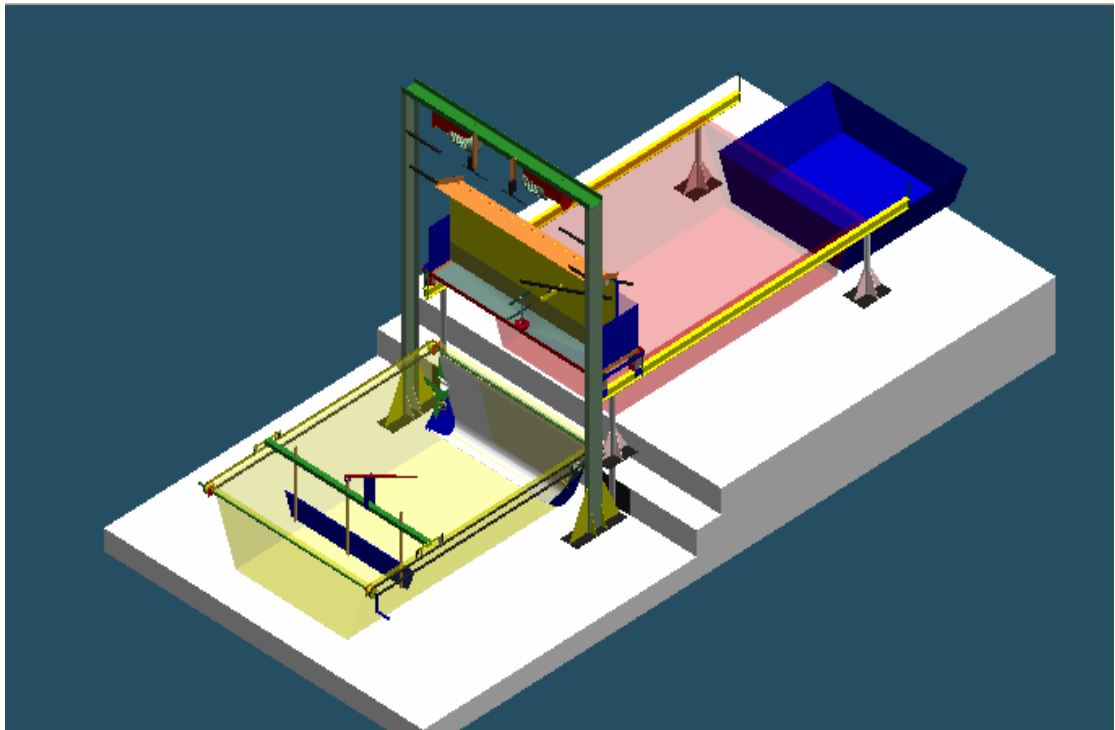


Figura 23. . Etapa de contacto

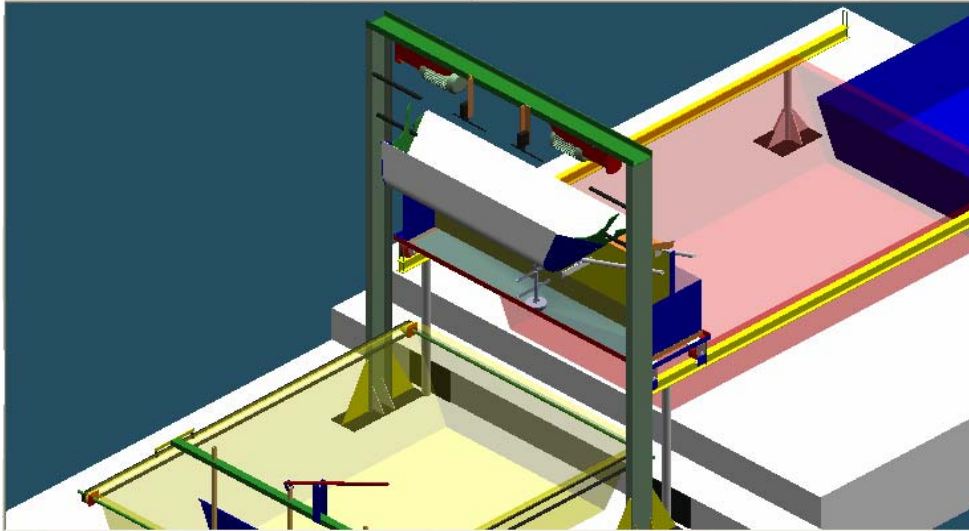
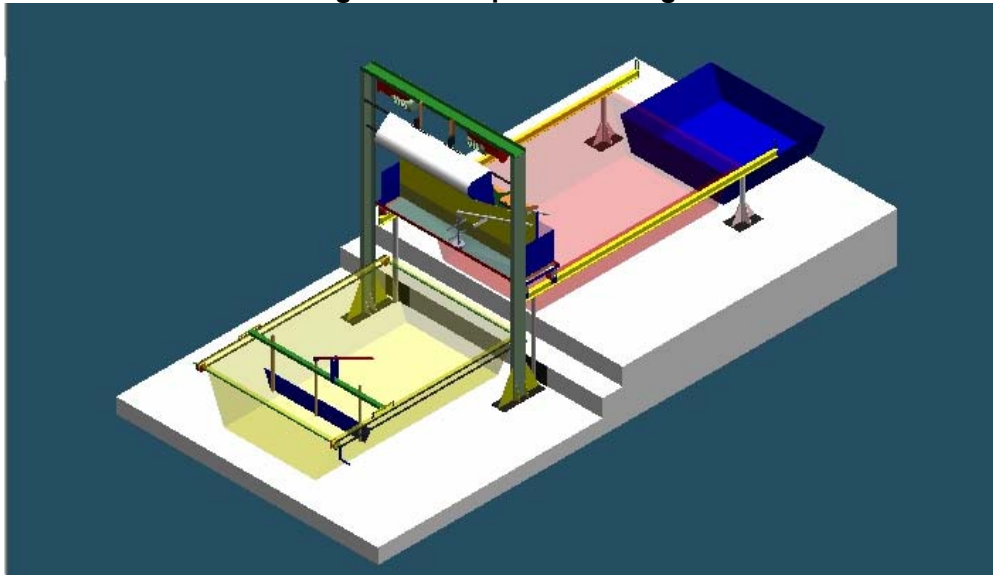


Figura 24. Etapa de descarga



2.8.1. Ventajas

- Se hace en una sola operación
- Es muy estable
- Es rápido y eficiente
- Se puede automatizar
- Es económico

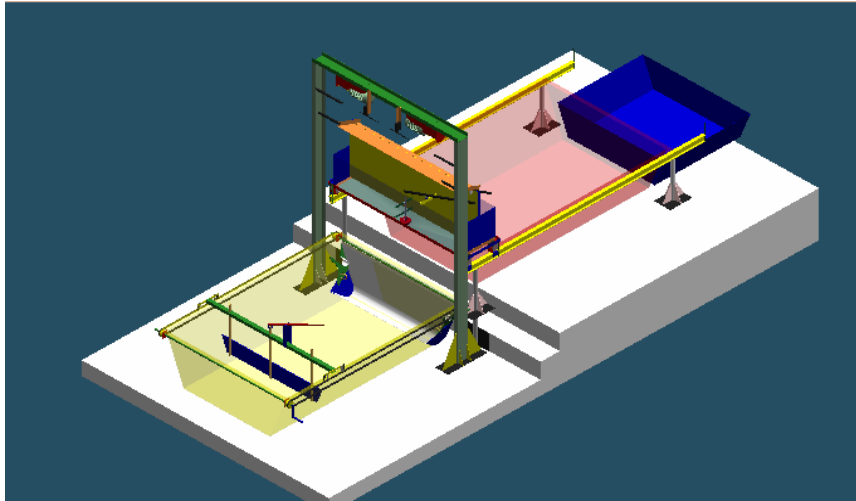
2.8.2 Desventajas

- Depende del fluido eléctrico.

3. ALTERNATIVA SELECCIONADA

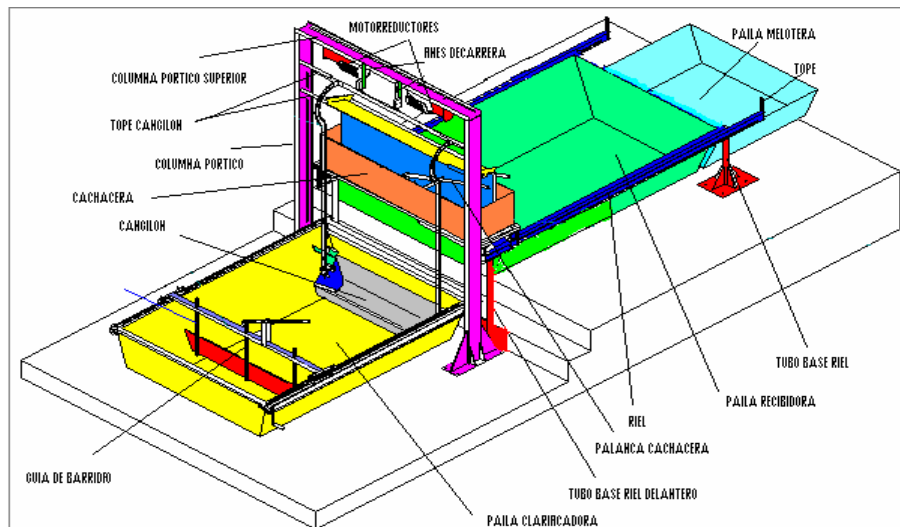
3.1. LA ALTERNATIVA DE DISEÑO PRELIMINAR NUMERO 8

Figura 25. Alternativa seleccionada.



3.2. Diseño Perfeccionado con sistema de guías para el cangilón

Figura 26. Partes principales del sistema con cangilón.



Este sistema de descachazado consta de las siguientes etapas:

- Una etapa de barrido que posee correas planas para mover una aleta. Esta aleta barre la cachaza hasta el cangilón
- Una segunda etapa de elevación, en donde un cangilón eleva la cachaza y la deposita en la cachacera por medio de un par de topes ubicados a lado y lado de las columnas. En estas se ubican un par de guías con el fin de dirigir el cangilón.
- Una tercera y última etapa de transporte, empleando una cachacera que se mueve por medio de rieles hasta la Paila Melotera.

Figura 27. Etapa inicial

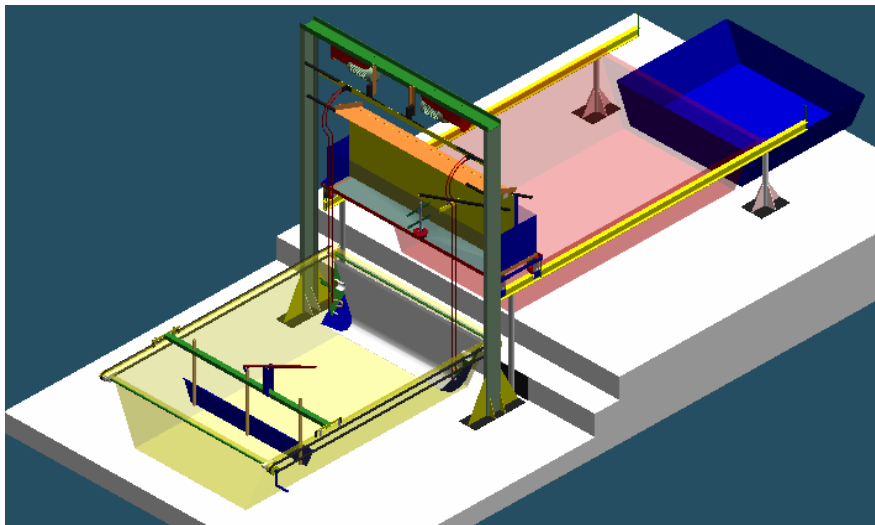


Figura 28. Etapa de contacto

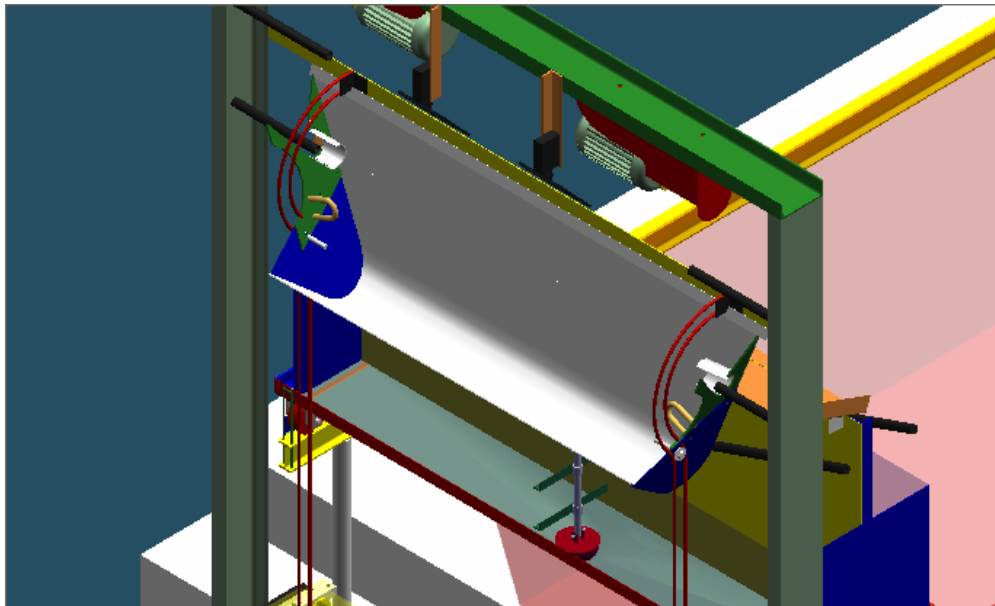
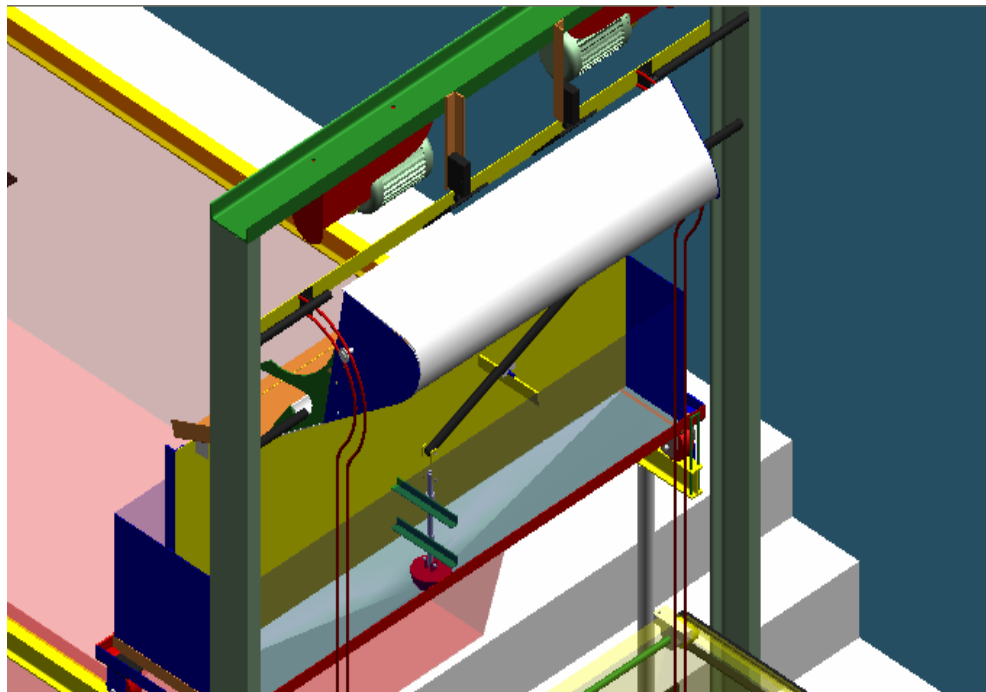


Figura 29. Etapa de descarga



Las figuras 27, 28 y 29 muestran las diferentes etapas en el movimiento del cangilón.

La siguiente figura muestra el sistema de guías en las ruedas de la cachacera. Este diseño permite disminuir la fricción durante el movimiento de la cachacera.

Figura 30. Sistema de guías en las ruedas de la cachacera

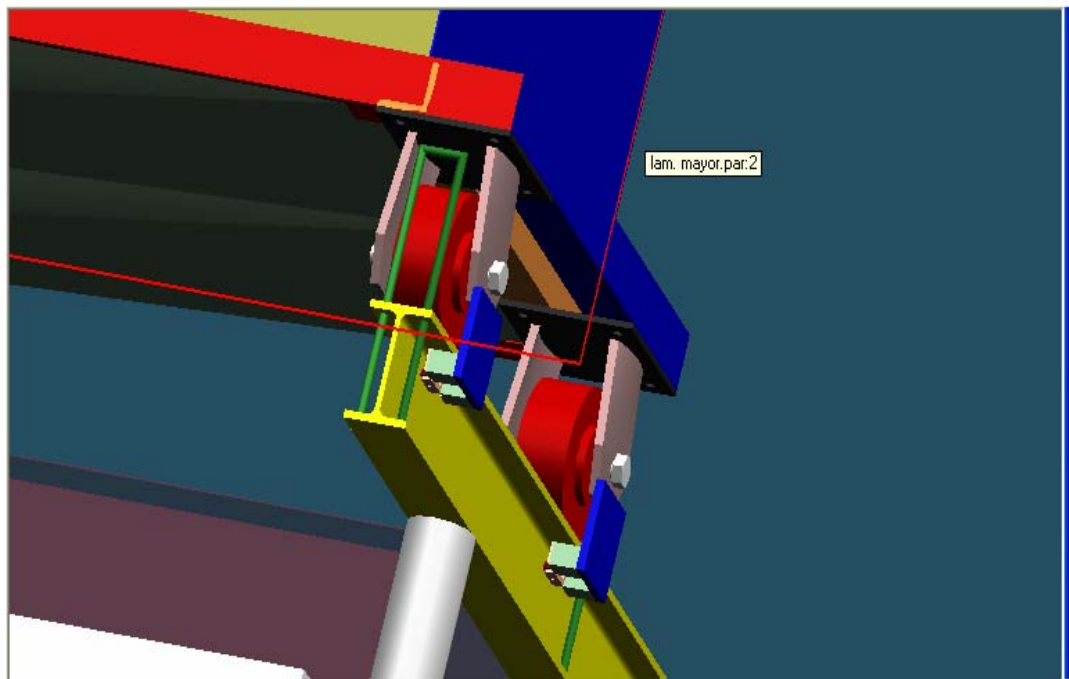
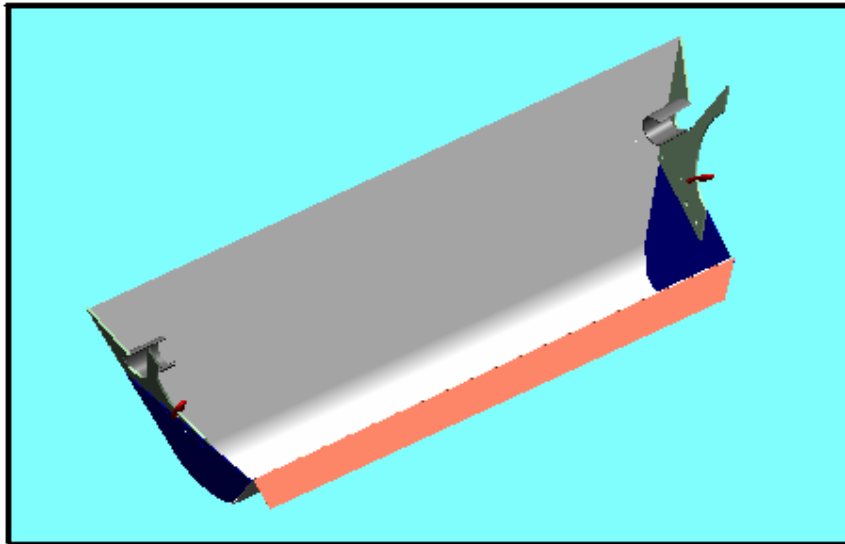


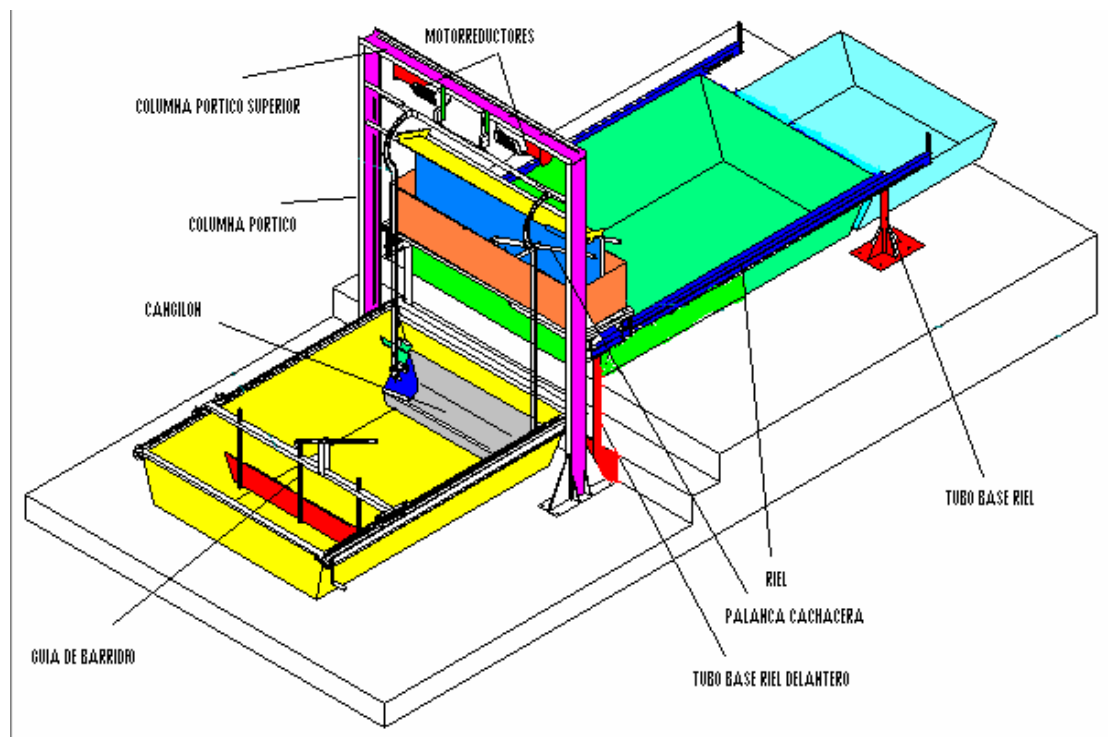
Figura 31. Cangilón



En la figura 31. se muestra una vista general del cangilón con un par de eslabones para el izaje del mismo.

4. CALCULOS SISTEMA DE DESCACHAZADO

Figura 32. Partes principales sistema propuesto

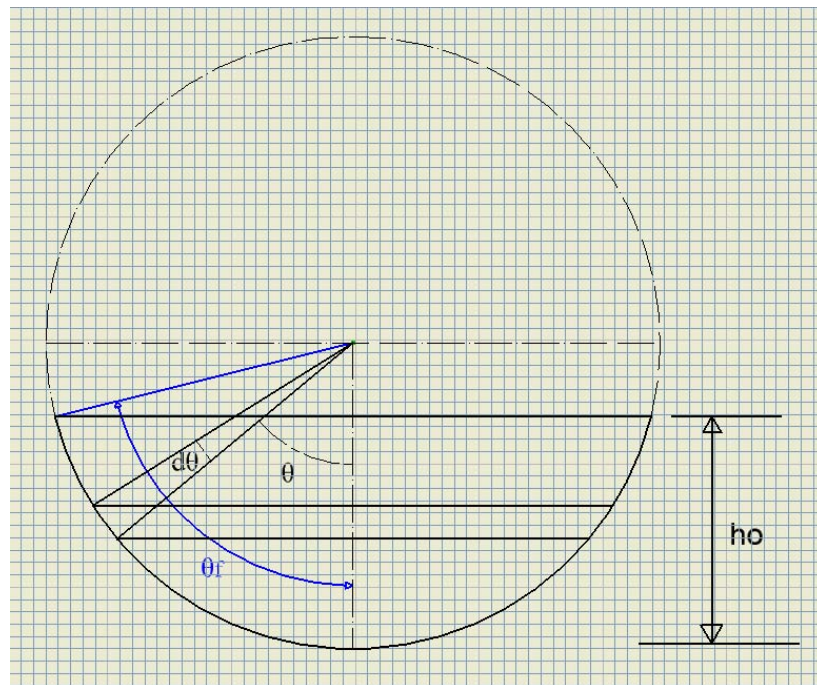


En la figura anterior se observa las partes mas relevantes en los cálculos y modelamiento en Solid Edge y Cosmos.

4.1 CÁLCULO DEL VOLUMEN PARA LA PAILA PUNTEADORA

En la siguiente figura se muestra un análisis diferencial para el calculo del volumen de la Paila Punteadora.

Figura 33. Cálculo Volumen Paila Punteadora



$$dv = \pi r^2 \cdot dh$$

$$dv = \pi r^2 (\text{sen } \theta \cdot ds)$$

$$dv = \pi (R \text{sen } \theta)^2 (\text{sen } \theta ds)$$

$$dv = \pi \cdot R^2 \text{sen}^3 \theta \cdot R d\theta$$

$$dv = \pi R^3 \text{sen}^3 \theta d\theta$$

$$\theta_f = 90^\circ - \text{Arctg} \frac{(0.41 - 0.3)}{0.41}$$

$$\theta_f = 74.98164^\circ$$

$$V = \int dv$$

$$V = \int \pi R^3 \text{sen}^3 \theta d\theta$$

$$V = \pi R^3 \int_0^{74.98164} \text{sen}^3 \theta d\theta$$

$$V = \pi R^3 \left[-\frac{1}{3} \cos \theta (\text{sen}^2 \theta + 2) \right]_0^{74.98164}$$

$$V = \pi R^3 \left[-\frac{1}{3} \cos 0 (\text{sen}^2 0 + 2) + \frac{1}{3} \cos \theta (\text{sen}^2 \theta + 2) \right]$$

$$V = 0.0895 m^3 (89.5 \text{lt}) \quad \text{Volumen para un trapiche.}$$

VOLUMEN PARA 14° BRIX

$$Vol_{\text{jugo}} = \frac{0.92 \cdot 0.0895}{0.14} = 0.58814 m^3 (588.14 \text{lt})$$

VOLUMEN PARA 26° BRIX

$$Vol_{\text{jugo}} = \frac{0.92 \cdot 0.0895}{0.26} = 0.3167 m^3 (316.7 \text{lt})$$

VOLUMEN PARA 18 BRIX

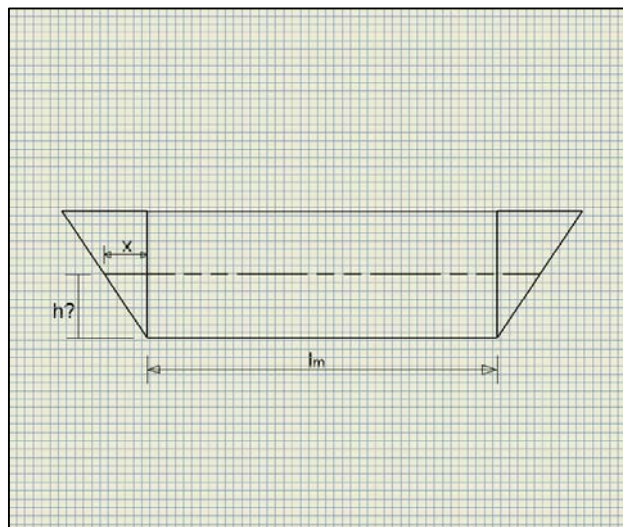
$$Vol_{\text{jugo}} = \frac{0.92 \cdot 0.0895}{0.18} = 0.4574 m^3 (457.4 \text{lt})$$

4.2. CÁLCULOS DE LAS RAYAS PARA LA PAILA CLARIFICADORA.

En la siguiente figura se observa el análisis geométrico para el cálculo del volumen para la paila punteadora.

En la tabla 1 se observan el cálculo definitivo para los tres casos de grados brix.

Figura 34. Cálculo de las Rayas



$$\frac{x}{h} = \operatorname{tg} \theta \Rightarrow x = h \cdot \operatorname{tg} \theta$$

$$\operatorname{Vol}_{\text{jugo}} = \frac{(lm + [lm + 2x])}{2} \cdot h \cdot L$$

$$2 \cdot \operatorname{Vol}_{\text{jugo}} = (2lm + 2x) \cdot h \cdot L$$

$$\operatorname{Vol}_{\text{jugo}} = (lm + x) \cdot h \cdot L$$

$$\operatorname{Vol}_{\text{jugo}} = (lm + h \cdot \operatorname{tg} \theta) \cdot h \cdot L$$

$$\operatorname{Vol}_{\text{jugo}} = hlm + h^2 \cdot L \cdot \operatorname{tg} \theta$$

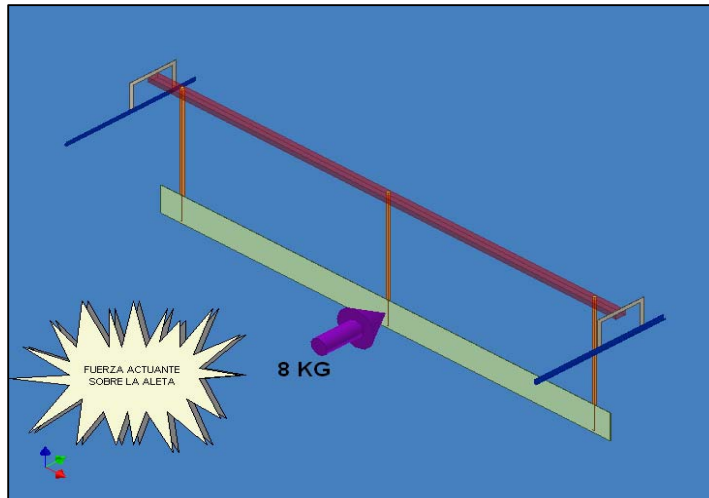
$$h^2 \cdot \operatorname{tg} \theta + hlm - \frac{\operatorname{Vol}_{\text{jugo}}}{L} = 0$$

Tabla 1. Cálculo de Rayas

L(m)	lm(m)	$\theta(^{\circ})$	Vol.jugo (m ³)	$h_{12} = \frac{-lm \pm \sqrt{lm^2 - 4(\operatorname{tg} \theta) \left(-\frac{\operatorname{Vol}_j}{L} \right)}}{2 \cdot \operatorname{tg} \theta}$
2.44	1.22	22	0.58814	14° Brix 0.1861 m (18.6 cm)
2.44	1.22	22	0.4574	18° Brix 0.10288 m (14.7cm)
2.44	1.22	22	0.3167	26° Brix 0.1465 m (10.3cm)

4.3. DISEÑO DE LAS GUÍAS

Figura 35. Fuerza Actuante sobre la Aleta



En pruebas realizadas en tres trapiches con una aleta igual a la del sistema propuesto se obtuvo una fuerza de arrastre máxima de 8kg. Véase figura 30.

- **ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS GUÍAS.**

Suponiendo que una sola guía soporta la fuerza de 8 kg. Si se asume empotrada tenemos:

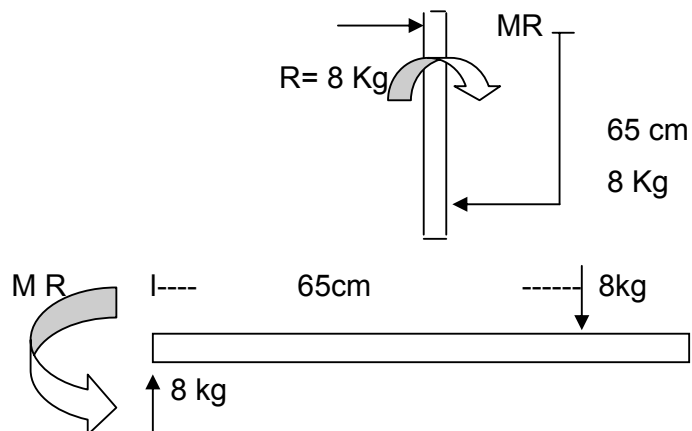


Diagrama de cortantes:

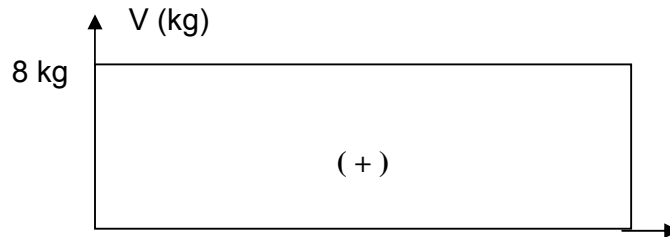
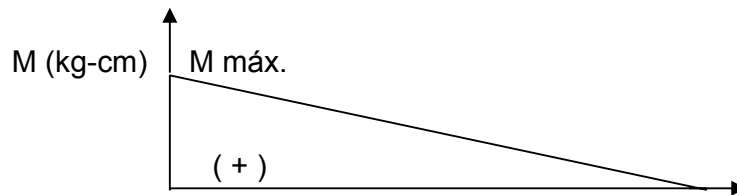


Diagrama de momentos:



$$M_{\max} = 8 (65)$$

$$M_{\max} = 520 \text{ Kg-cm}$$

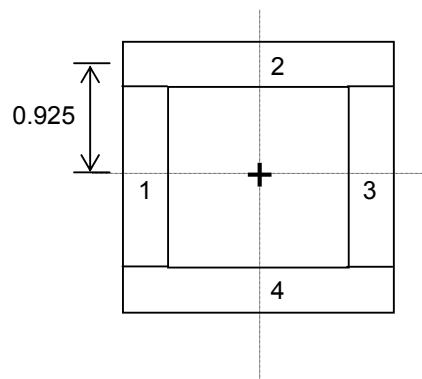
Seleccionando un tubo en aluminio 1100-H18 cuadrado de 2 cm y 1.5 mm de espesor, cuyo $\sigma_{Lp} = 1400 \text{ kg/cm}^2$

σ_{Lp} : Esfuerzo en el limite proporcional

• **Cálculo del momento de inercia de la sección transversal**

Espesor = 1,5 cm

Altura = 2 cm



$$I = 2(I_1 + I_2)$$

$$I_1 = \frac{bh^3}{12} + Ad^2$$

$$I_1 = \frac{0.15 \times 1.7^3}{12} + 0.15 \times 1.7(0.925)^2$$

$$I_1 = 0.2796 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = \frac{2 \times 0.15^3}{12} + 0.15 \times 2(0.925)^2$$

$$I_2 = 0.25725 \text{ cm}^4$$

$$I = 2(0.5368469) \text{ cm}^4$$

$$I = 1.0737 \text{ cm}^4$$

Tabla 2. Esfuerzo Flexión Guías

M (Kg-cm)	C (cm)	I(cm ⁴)	$\sigma = \frac{MC}{I}$
520	1	1.0737	484.31 Kg/cm ²

El esfuerzo sobre la guía es de 484.31 Kg/cm² . Ver tabla anterior

Para un aluminio de aleación 1100--H14 el esfuerzo es: $\sigma_{Lp} = 1000$ Kg/cm²

σ_{Lp} : Esfuerzo en el limite proporcional

$$\sigma_{perm.} = N \cdot \sigma \quad N=2,5$$

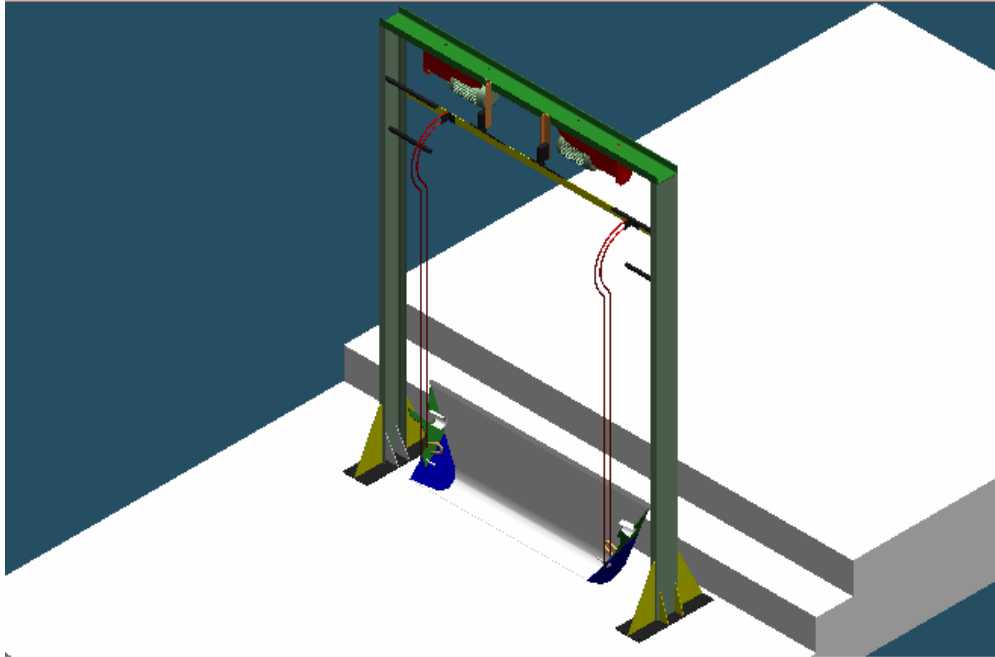
$$\sigma_{perm.} = 2,5 \cdot 484,31$$

$$\sigma_{perm.} = 1211 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{perm.} < \sigma_{Lp}$$

5. SISTEMA DE ELEVACION

Figura 36. Vista sistema de elevación



Este sistema consta de un pórtico, en donde están sujetos en la parte superior un par de motorreductores. Consta además de un cangilón para depositar la cachaza y un par de guías para una mayor estabilidad del cangilón.

Para evaluar la efectividad del diseño del mecanismo de elevación y verteo de la cachaza se construyó un modelo a escala 1:7, en lámina galvanizada calibre 18, vidrio y platinas de $\frac{3}{4}$ "* $\frac{1}{16}$ ". Véase figuras 37 38 y 39.

El ángulo crítico para la cachaza es de 18 grados. El ángulo óptimo para desalojar la cachaza es de 37 grados aproximadamente. Este ángulo fue encontrado con base en varias pruebas efectuadas.

Figura 37. Etapa inicial modelo real

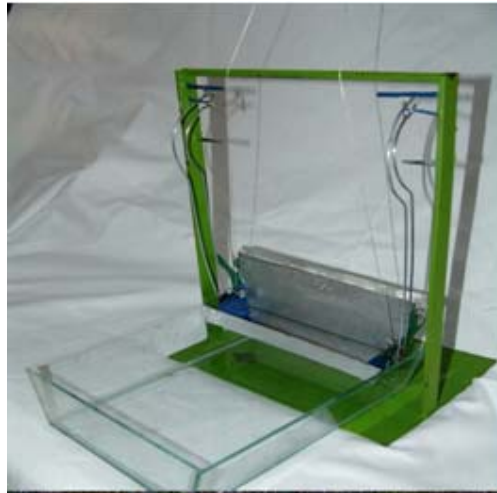


Figura 38. Etapa inicial modelo real



Figura 39. Etapa de descarga modelo real



5.1. CANGILÓN

En la siguiente figura se observa una vista general del diseño mejorado del cangilón. Este posee una aleta para que la cachaza no se vaya hacia la parte inferior del cangilón durante el barrido.

Figura 40. Vista general del diseño del cangilón mejorado

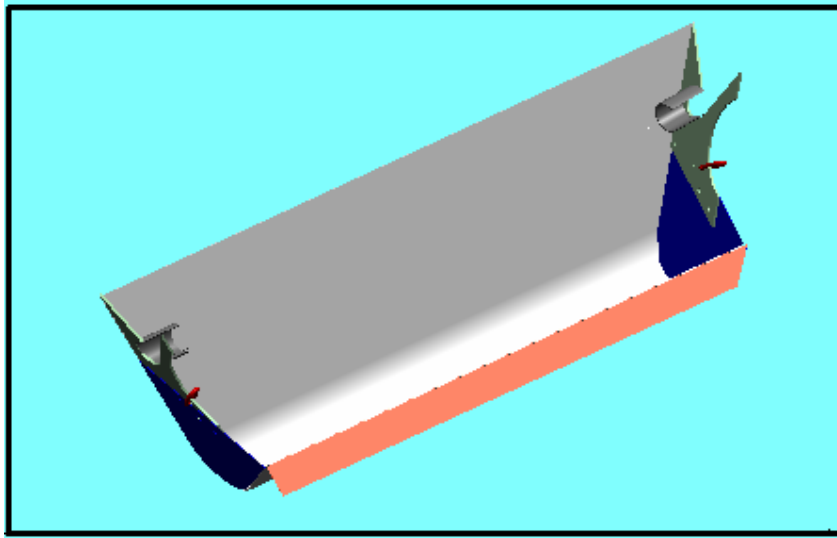


Figura 41. Volumen del Cangilón para 26 grados brix

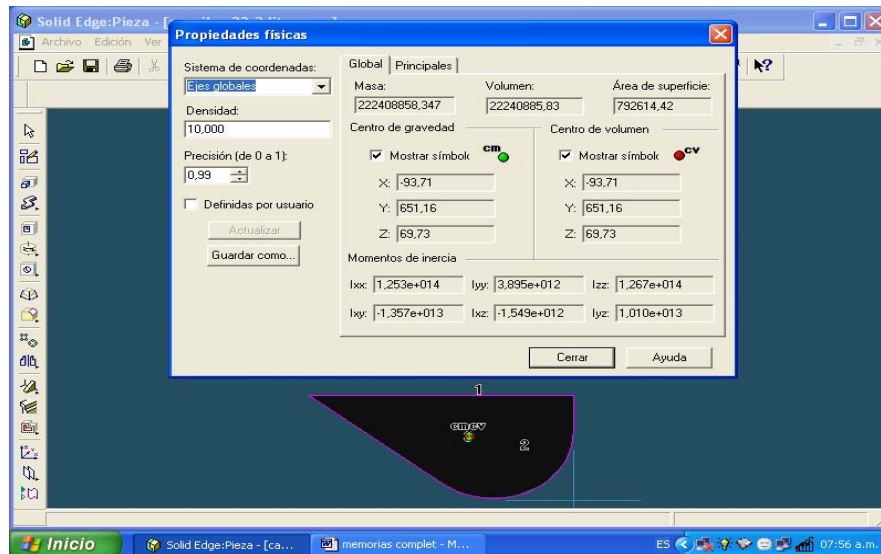


Figura 42. Volumen del Cangilón para 18 grados brix

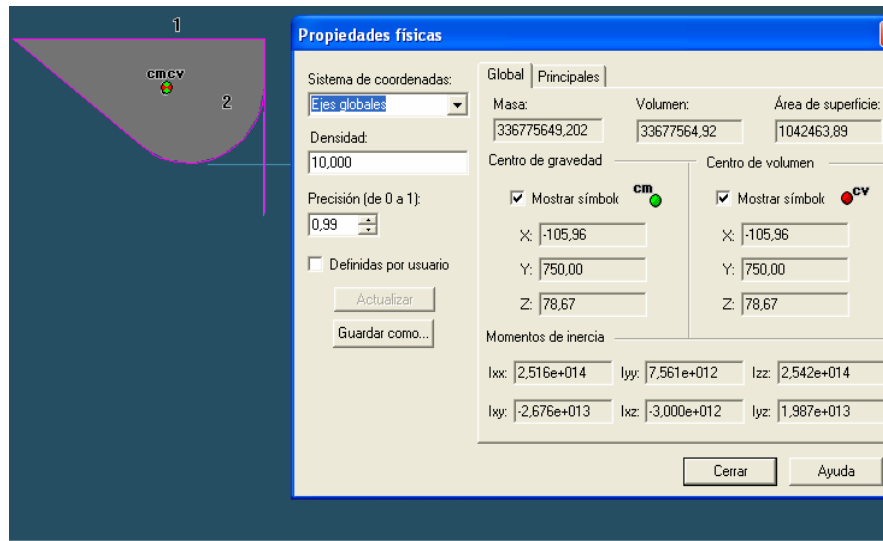
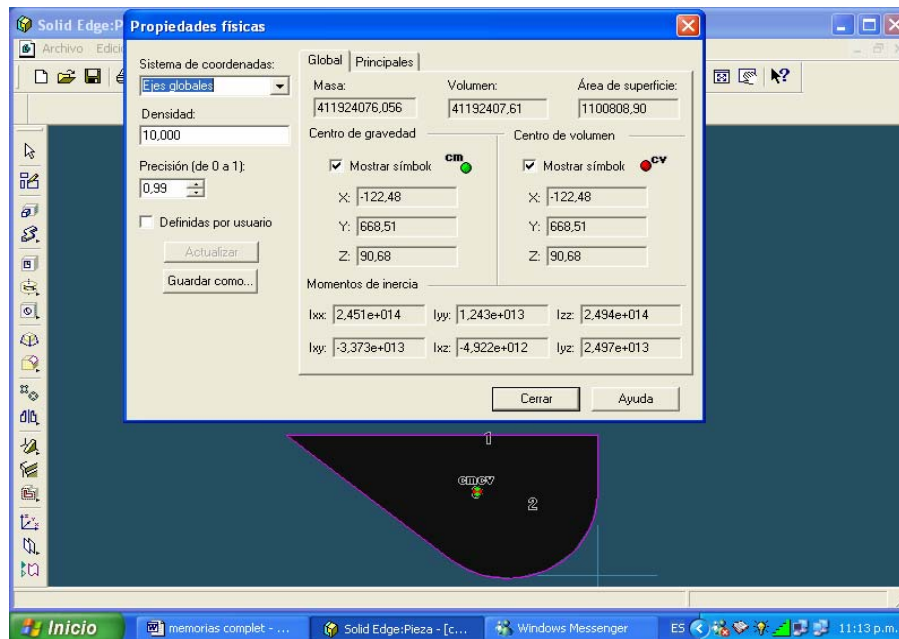
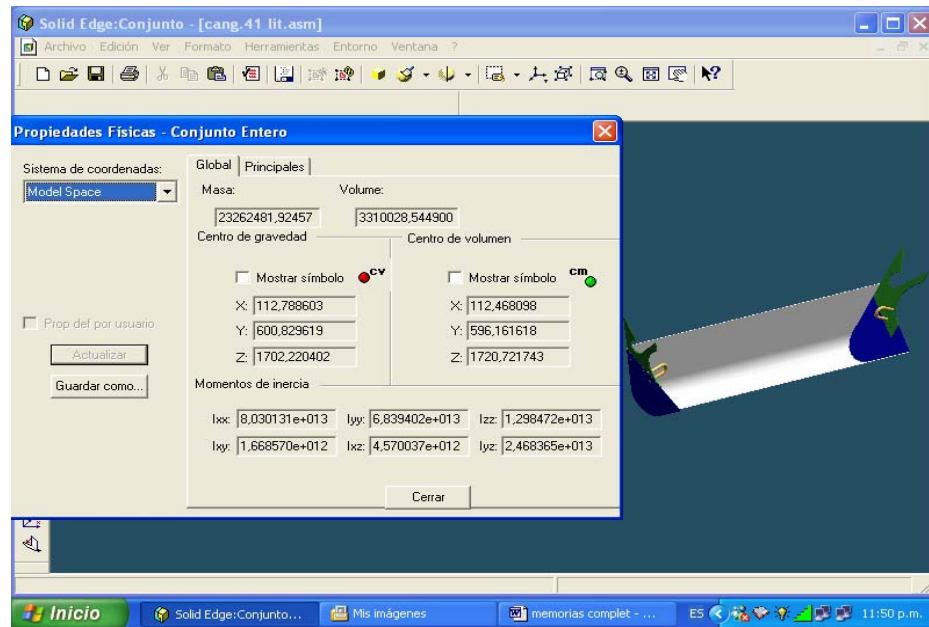


Figura 43. Volumen del Cangilón para 14 grados brix



Las figuras 41, 42 y 43 muestran el volumen del cangilón en 26, 18 y 14 grados brix respectivamente, utilizando Solid Edge como herramienta.

Figura 44. Peso del Cangilón



5.2. SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR

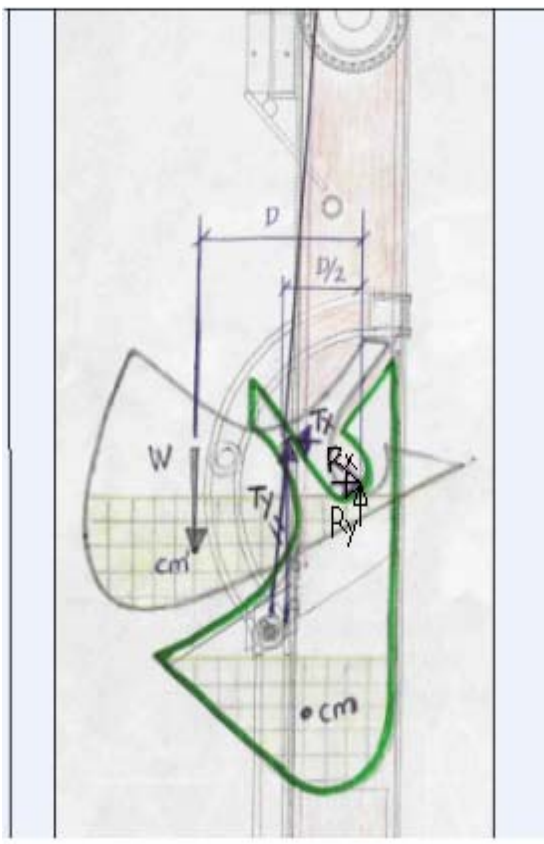
Tabla 3. Características de Motorreductores

Technical data	PA 200B		PA 250B		PA 300B		PA 400B		PA 500B		PA 600B	
	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable
Method of use	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable	Single cable	Double cable
Loading capacity	220 Lb	440 Lb	275 Lb	550 Lb	330 Lb	660 Lb	440 Lb	880 Lb	550 Lb	1100 Lb	660 Lb	1320 Lb
Lifting height	33'/min	16.5'/min	33'/min	16.5'/min	33'/min	16.5'/min	33'/min	16.5'/min	33'/min	16.5'/min	33'/min	6.5'/min
Lifting speed	3S'/min	19'/min	38'/min	19'/min	3S'/min	19'/min	38'/min	19'/min	3S'/min	19'/min	3S'/min	19'/min
cable diameter	1/8"		1/8"		1/8"		9/64"		9/64"		11/64"	
Service	5, 25% .10 min		5, 20%. 10 min		5, 25% -10 min		8, 25% - 10 min		8, 20%.10 min		8, 20%-10 min	
Voltage	120-60Hz		120-60Hz		120-60Hz		120-60Hz		120-60Hz		120-60Hz	
Power	460W		560W		660W		850W		1000W		1150W	

5.3. ANÁLISIS DE LA CARGA MÁXIMA EN ELEVACIÓN DEL CANGILON.

Durante la elevación del cangilón se presenta una carga máxima a lo largo del giro efectuado con el tope. Este diagrama de fuerzas se muestra en la siguiente figura.

Figura 45. Análisis de fuerzas para el Cangilón



Realizando sumatoria de momentos alrededor del tope de giro y suponiendo como significativos sólo los momentos producidos por la fuerza debida al peso (w) y la fuerza en el eje Y, debida a la tensión de la cuerda (T_y).

$$W * (D) = T_y * (D/2)$$

$$\text{Entonces } T_y = 2 * W$$

Como T_y está casi en dirección vertical entonces

$$T_y = T$$

T : tensión en el cable

W : peso del conjunto Cangilón - Cachaza

W : 32,5 Kg.

Luego **T = 65 Kg.**

La capacidad del cangilón es de 41 litros. Véase figura 40.

Multiplicando este volumen por la densidad de la cachaza (1 Kg / dm³)

El peso del conjunto cachaza- cangilón es igual a: 41 + 24= 65 Kg.

La capacidad de carga, según la tabla 3 es de 200 Kg. para los dos motorreductores.

La carga solicitada por el sistema es de 130 Kg. (ver figura 45), luego la capacidad de los motorreductores es superior a la requerida.

Se selecciona un motorreductor PA 200B, según la tabla 3, cuya capacidad es de 220 libras (100 kg).

Para el modelo PA 200B la velocidad de la carga es de 33 pies por minuto (10 metros por minuto). Esto indica que el tiempo de elevación de la carga es de unos 12 segundos aproximadamente.

6. SISTEMA DE TRANSPORTE

Figura 46. Vista explosionada de la cachacera.

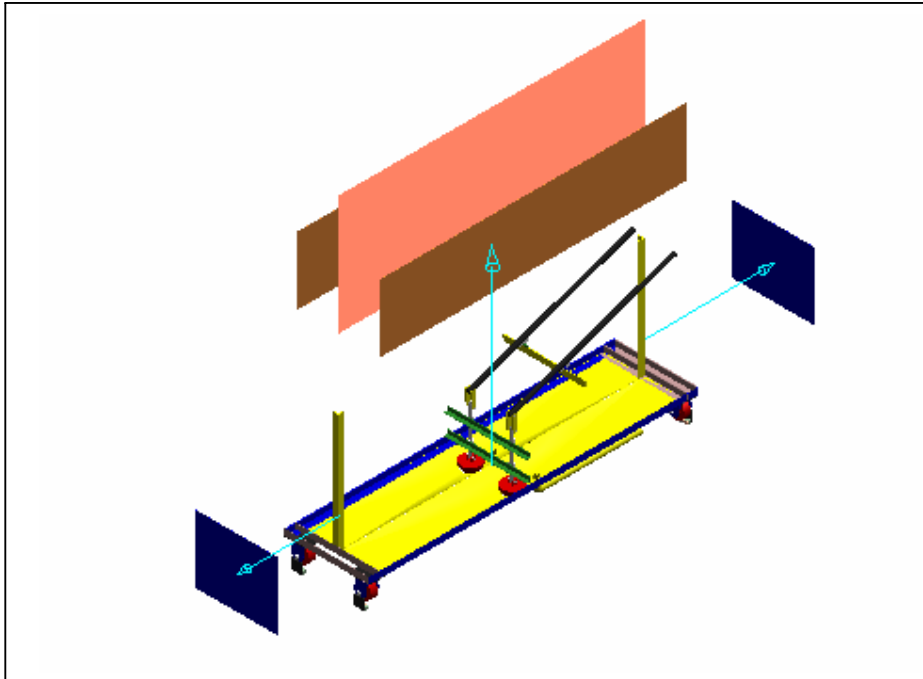


Figura 47. Vista ortogonal inferior

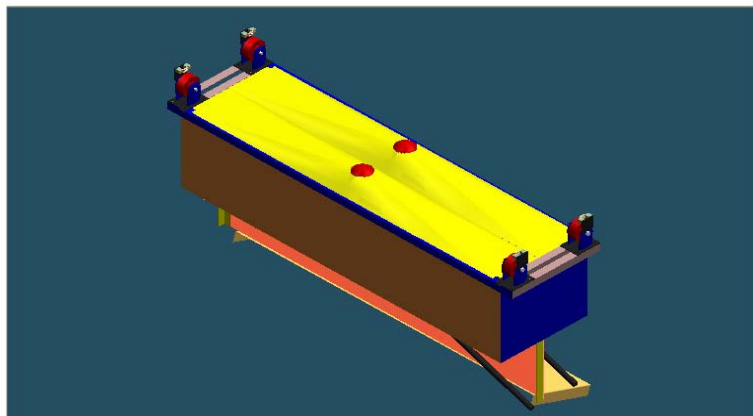


Figura 48. Vista frontal

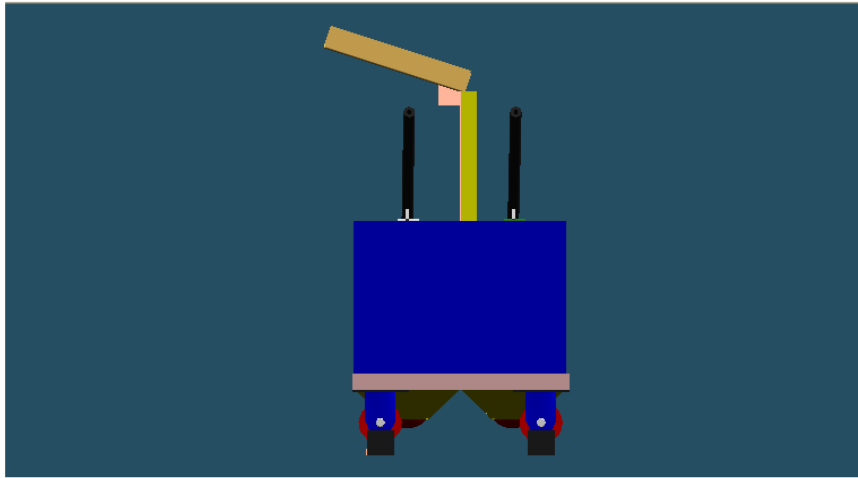
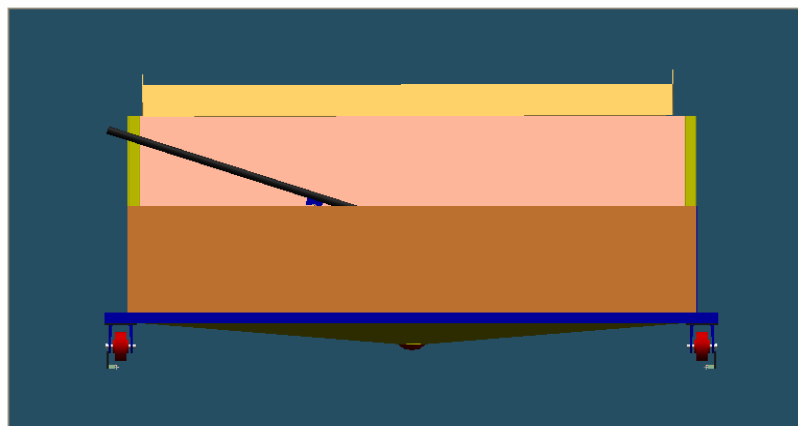


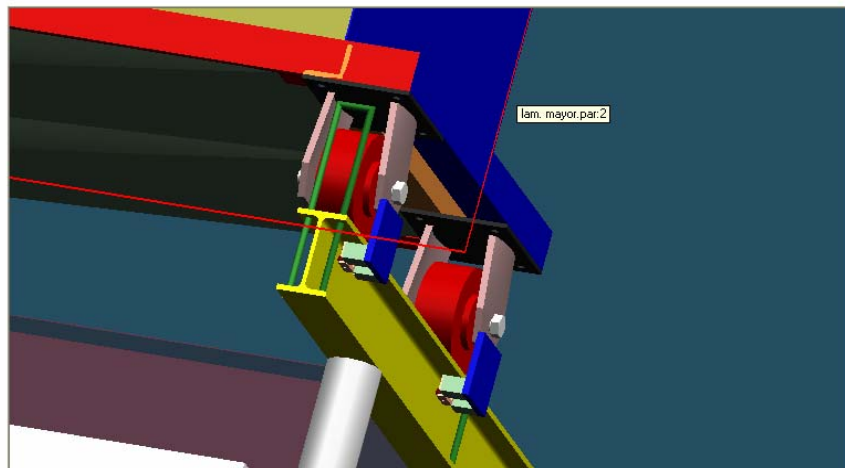
Figura 49. Vista lateral



En las figuras 41, 42, 43 y 44 se observan las vistas explosionada, ortogonal inferior frontal y lateral de la cachacera respectivamente. Se aprecian además las palancas y el canal.

En la figura 50 puede ver el sistema de ruedas con sus respectivas guías.

Figura 50. Detalle de las ruedas y el sistema de guías



6.1. CÁLCULO PESO CACHACERA

Suponiendo el peso de la cachaza equivalente a un 50% del peso total del conjunto: cachacera-cachaza, entonces el peso total sobre las cuatro ruedas es de:

$$\text{Volumen cachacera} = 0,36 \text{ m}^3$$

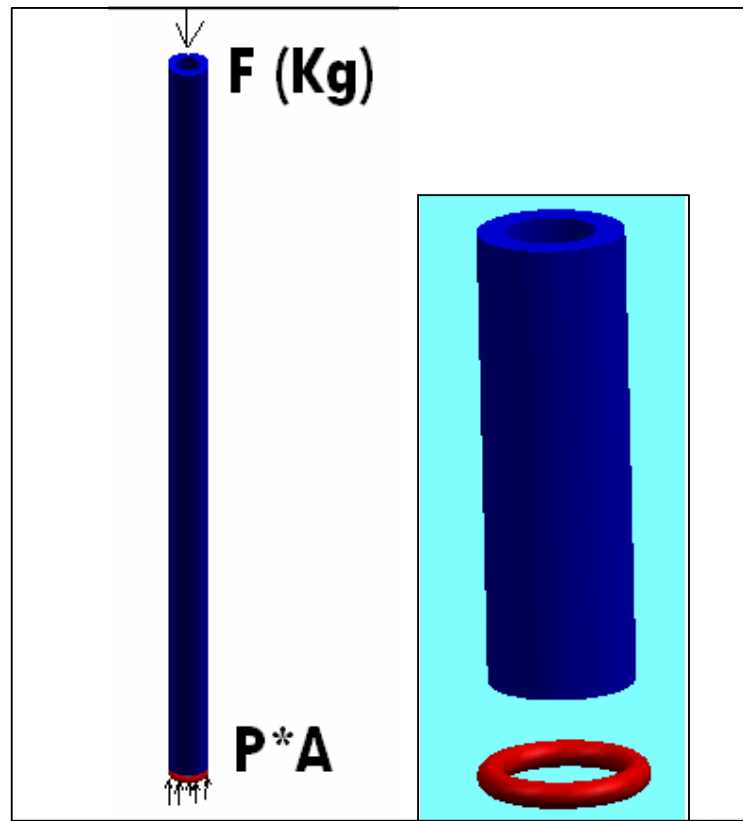
$$\text{Densidad de peso de la cachaza} = 1100 \text{ kg / m}^3$$

$$P \text{ TOTAL} = 2 * (1100 \text{ kg / m}^3 * 0,36 \text{ m}^3)$$

$$P \text{ TOTAL} = 800 \text{ Kg}$$

6.2. ANÁLISIS DEL SELLADO DEL TAPÓN DE LA CACHACERA

Figura 51. Cálculo experimental para el sellado.



Mediante un tubo de $\frac{3}{4}$ " y 40 cm de longitud y un sello en forma de toro de un polímero flexible, se procedió a llenar el tubo con agua. Se midió la fuerza requerida para que exista hermeticidad. Esta fuerza fue de 0,63Kg. En la figura 51 se puede observar el cálculo experimental de dicha fuerza. La presión alrededor de la cara del sello es :

$$P=F/A$$

Suponiendo un área de:

$$A=L \cdot e$$

$$L= \pi \cdot D$$

e= ancho aproximado al deformarse debido a la fuerza.

$$e= 3 \text{ mm (0.3cm)}$$

$$A= \pi \cdot D \cdot e$$

$$A= 1.25664 \text{cm}^2$$

Entonces la presión es igual a:

$$P=0,63/1.25664$$

$$P=0.5 \text{ kg /cm}^2$$

Para un tapón de 10 cm de diámetro y una columna de 40 cm de cachaza y teniendo en cuenta la presión anterior ($P=0.5 \text{ kg /cm}^2$).

$$P= F/A$$

$$A= \pi \cdot D \cdot e$$

$$A= 6.2832 \text{cm}^2$$

Entonces la fuerza:

$$F = 4,72 \text{ Kg.}$$

El peso del tapón sella la cachacera si su peso es superior a la fuerza calculada anteriormente, es decir, si es mayor a 4.72 Kg.

Tabla 4. Fuerza necesaria para abrir el tapón

P (kg/ cm²)	D(cm)	h(cm)	A= Π x D x h (cm²)	F = P x A (Kg)
0,5	10	0,3	9,43	4,72

En la tabla anterior se puede observar la fuerza mínima necesaria para sellar la cachacera.

6.3. CALCULO DEL PESO DEL TAPÓN

Para el cálculo del peso se tiene en cuenta el volumen de media esfera

Pe: peso del tapón

$$Pe = (4 \cdot \pi / 3) \cdot (D/2)^3 \cdot (\text{densidad del acero}) / 2$$

$$Pe = (4/3 \cdot \pi \cdot (D/2)^3 \cdot 8 \text{ kg/dm}^3) / 2$$

$$\mathbf{Pe = 2,71 \text{ Kg.}}$$

Donde:

$$D = 1,2$$

$$H = 4 \text{ dm}$$

Como $Pe < F$

El peso del tapón no es suficiente para sellar la cachacera.

Para el caso de la cachacera totalmente llena, se adiciona el peso hidrostático de la cachaza.

Ph: peso debido a la columna de cachaza.

Pt: peso total

$$\mathbf{\text{Peso total (Pt) = peso del tapón + Ph}}$$

$$\mathbf{\text{Peso total (Pt) = peso del tapón + peso de la columna de cachaza.}}$$

$$\mathbf{= 2,71 \quad + \text{ densidad de peso de cachaza} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{h}}$$

A: área de la sección transversal del tapón

h: altura de la columna de cachaza

$$\mathbf{A = (\pi \cdot D^2) / 4}$$

$$\mathbf{D = 12 \text{ cm}}$$

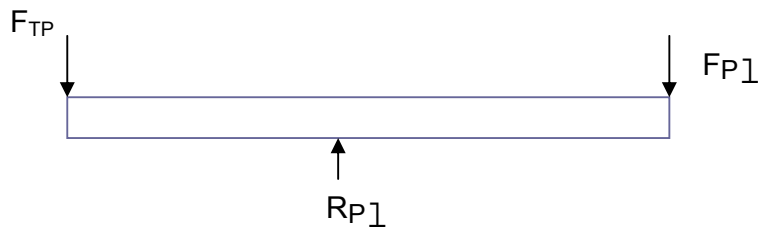
$$\mathbf{h = 40 \text{ cm}}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso total} &= 2,71 + 1100\text{kg} \cdot (\pi \cdot D^2) / 4 \cdot h \\ &= 2,71 \text{ kg} + 5,0 \text{ kg}. \end{aligned}$$

Peso total= 7,71 kg.

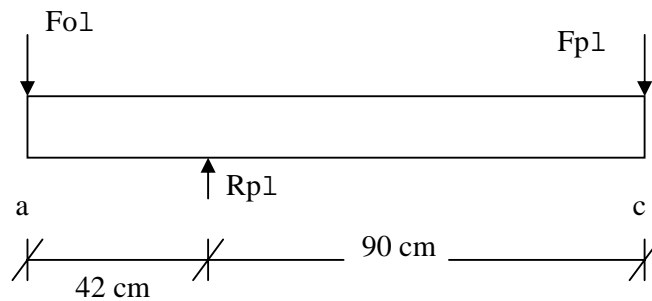
La hermeticidad se logra con la ayuda de la columna de cachaza.

6.4. CÁLCULO DE LAS PALANCA DE LA CACHACERA.



Entonces la fuerza necesaria para abrir el tapón de la cachacera es igual al **Peso total (7,71 kg)**.

DCL DE LA PALANCA



$$\Sigma M_b = 0 : F_{o1} = 7,71\text{kg}$$

$$F_{o1} = \frac{7,71 \times (42)}{(90)}$$

$$F_{p1} = 3,6 \text{ kg}$$

$$\Sigma F_y = 0:$$

$$3,6 - R_{pe} + 7,71 = 0$$

$$R_{pe} = 11,31 \text{ kg}$$

Diagrama de cortantes

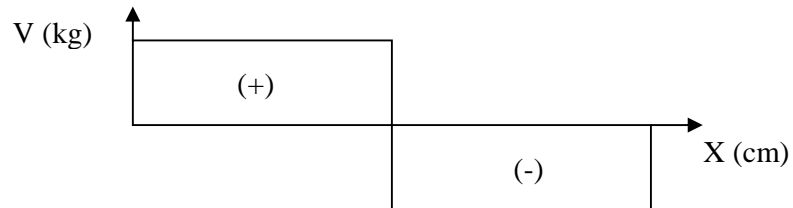
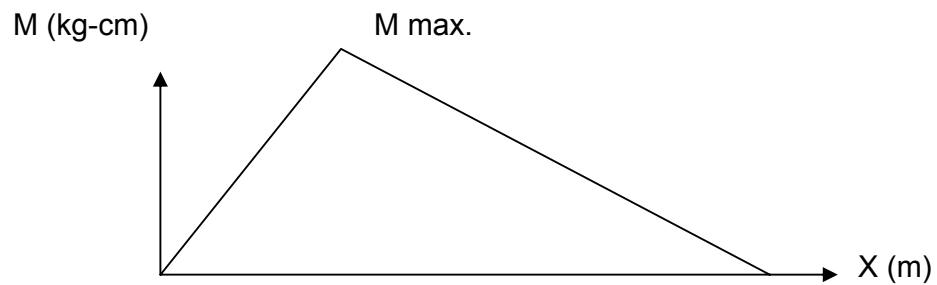


Diagrama De Momentos



$$M_{max} = 7,71 \times 42$$

$$M_{max} = 324 \text{ kg} - \text{cm}$$

Cálculo de Esfuerzos:

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I}$$

$$D_{ext} = 2,667 \text{ cm}$$

$$D_i = 1,1024 \text{ cm}$$

II

$$I = \frac{\pi}{64} (D_{ext}^4 - D_{i}^4)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (2,667^4 - 1,1024^4)$$

$$I = 2,411 \text{ cm}^4$$

Tabla 5. Esfuerzos Flexión Palanca.

M (kg – cm)	C (cm)	I (cm⁴)	$\sigma = \frac{M \times C}{I}$ (kg/cm²)
324	1,3	2,411	175

En la tabla 5 se puede apreciar el esfuerzo solicitado por la Palanca de la cահacera.

Para un tubo galvanizado el esfuerzo en el Limite Proporcional (σ_{LP})

es de 5000 Kg./cm²

$$\sigma_{perm.} = N \cdot \sigma$$

$$\sigma_{perm.} = 3 \cdot 170$$

$$\sigma_{perm.} = 510 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{perm.} < \sigma_{LP}$$

7. MODELAMIENTO COSMOS DESIGNSTAR

Para el modelamiento del sistema seleccionado como mejor alternativa se optó por utilizar el software SolidEdge y Cosmos Design Star para realizar el respectivo modelamiento de esfuerzos a los que se encuentran sometidos el cangilón, el Pórtico, y las columnas de los rieles.

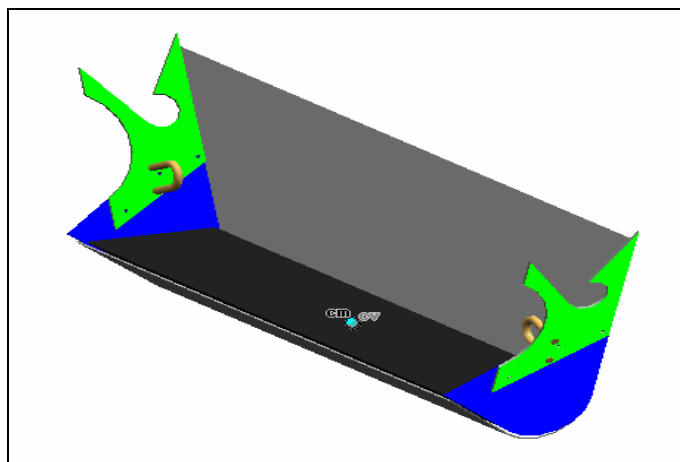
Para todas las piezas esfuerzo calculado es comparado con el **Esfuerzo en el Límite Proporcional del acero** (σ_{LPV}) (5000 Kg /cm^2) (70.000 lb/pulg^2) excepto para el cangilón cuyo diseño es en acero inoxidable $\sigma_{LP}= 2040 \text{ Kg /cm}^2$ (30.000 lb/pulg^2)

7.1 CANGILÓN

7.1.1 cangilón capacidad 22.2 litros (jugo: 26 grados brix)

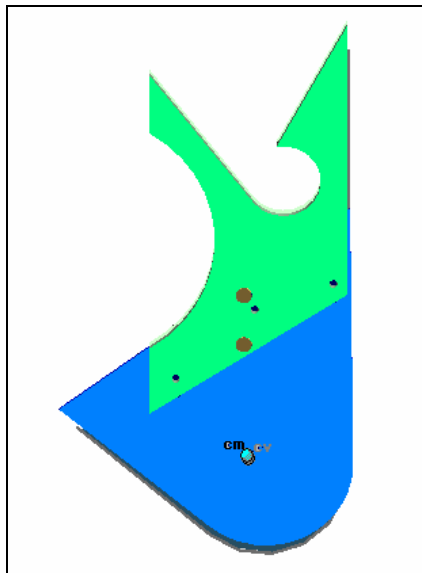
En la figura 52 se observa el modelado en SolidEdge del cangilón cargado con un volumen de 22.2 litros de cachaza. En color verde se logra visualizar el centro de masa del conjunto cangilón-cachaza.

Figura 52. Centro de masa cangilón volumen cachaza 22,2 litros



En la figura 53.muestra una vista lateral del centro de masa para el cangilón anterior:

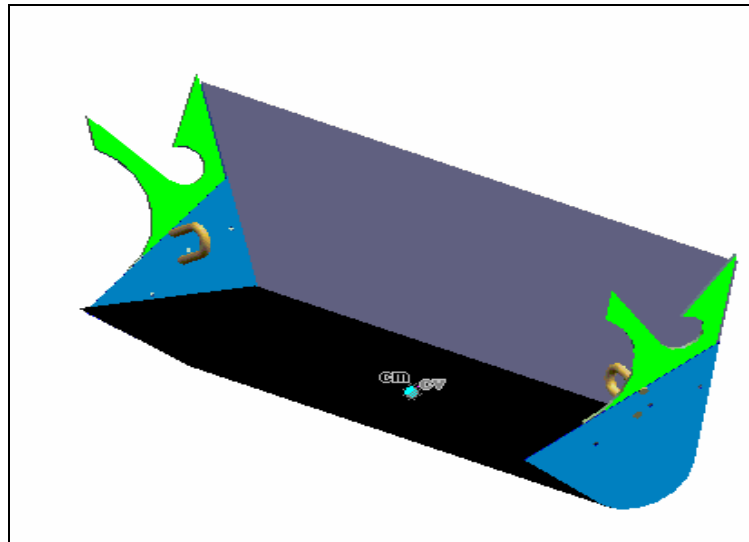
Figura 53. Vista de lateral Centro de masa cangilón con volumen de cachaza 22.2 litros



7.1.2 Cangilón capacidad 33 litros (jugo: 18 grados brix)

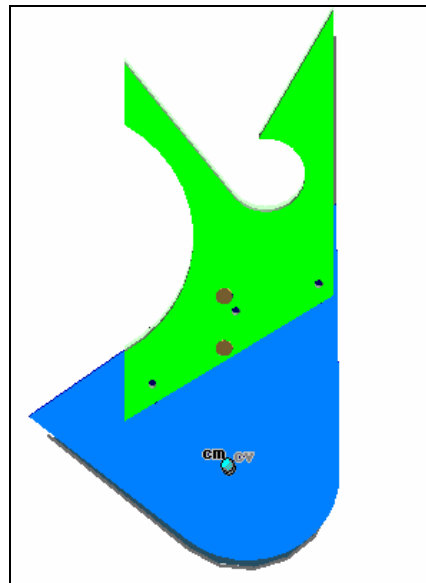
En la figura 54. se observa el modelado en Solid Edge del cangilón cargado con un volumen de 33 litros de cachaza. En color verde se logra visualizar el centro de masa del conjunto cangilón-cachaza.

Figura 54. Centro de masa cangilón volumen de cachaza de 33 litros



La siguiente figura muestra una vista lateral del centro de masa para el cangilón anterior:

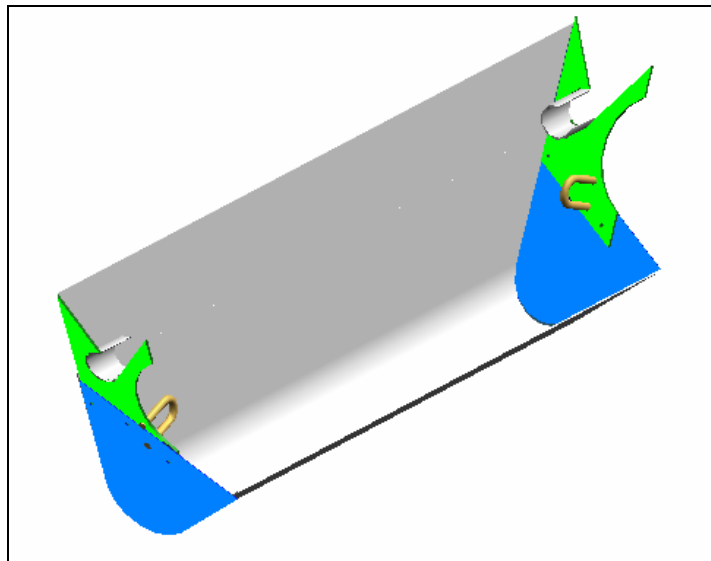
Figura 55. Vista lateral Centro de masa cangilón con volumen de cachaza 33 litros



7.1.3 Diseño mejorado pivote de tope de giro

En la figura 56. muestra un diseño mejorado del punto de apoyo del tope, con el fin de disminuir la concentración de esfuerzos. En este caso se utilizó un par de bujes abiertos.

Figura 56. Diseño pivotes de giro

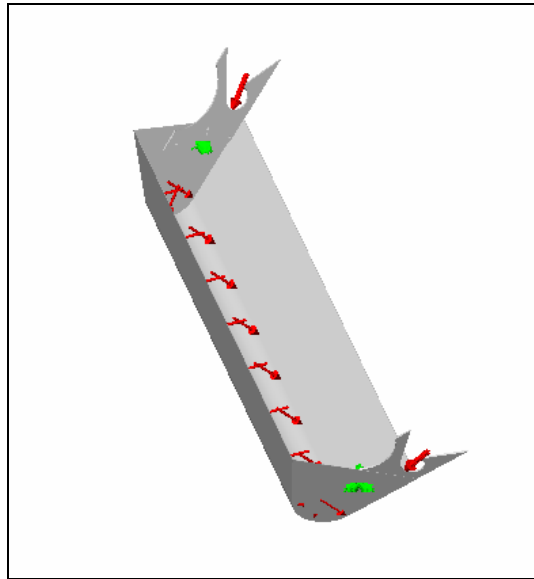


7.1.4 Restricciones de movimiento y aplicación de cargas al cangilón.

Para el modelamiento del cangilón se ubicaron los pivotes en ambos extremos haciendo que la línea que une los dos pivotes pase por el centro de masa del conjunto cangilón-cachaza. Esto con el fin de evitar que durante el ascenso del cangilón se produzca un giro y conlleve al derramamiento de la cachaza.

La siguiente figura muestra la carga aplicada de 65 Kg. en el punto de contacto con el tope y la distribución de presión por el efecto de la cachaza.

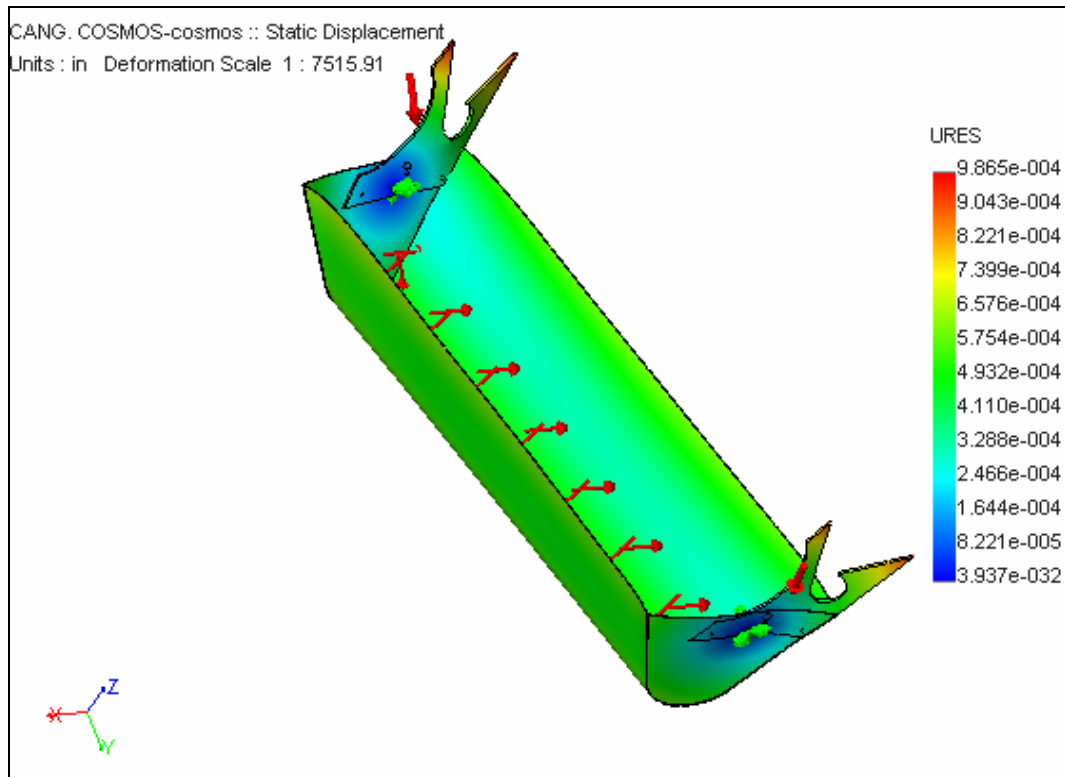
Figura 57. Restricciones y aplicación de cargas cangilón



7.1.5 Deformación cangilón

Para la carga aplicada se encontraron los siguientes resultados de desplazamiento mostrados en la figura 58. El máximo desplazamiento se presenta en los extremos donde se produce el movimiento guía del tope. El valor que se presenta es de 0.0009865 pulgadas

Figura 58. Deformación Cangilón



7.1.6 Esfuerzos cangilón

En las figuras 59 Y 60 se muestran la aplicación de la carga y el detalle del esfuerzo máximo producido respectivamente. Este esfuerzo tuvo un valor promedio de 1500 Psi.

Figura 59. Esfuerzos Cangilón

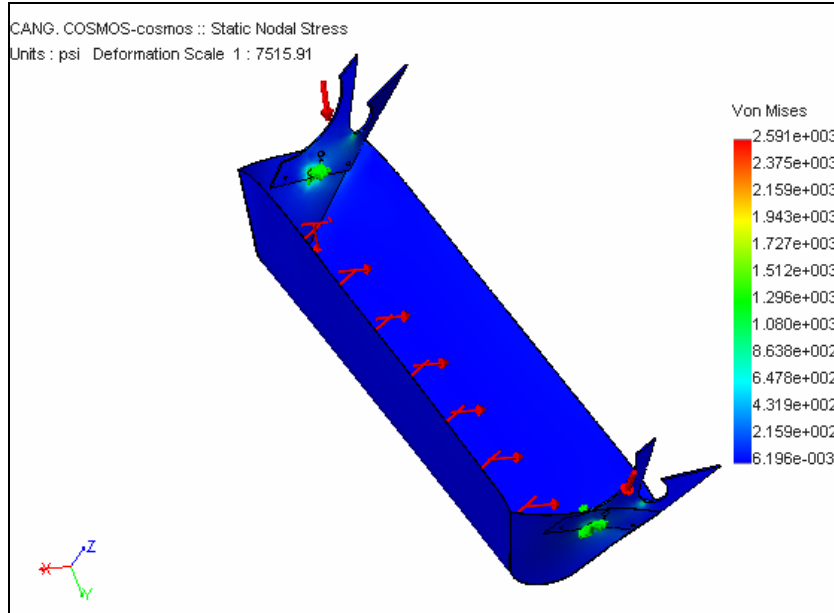
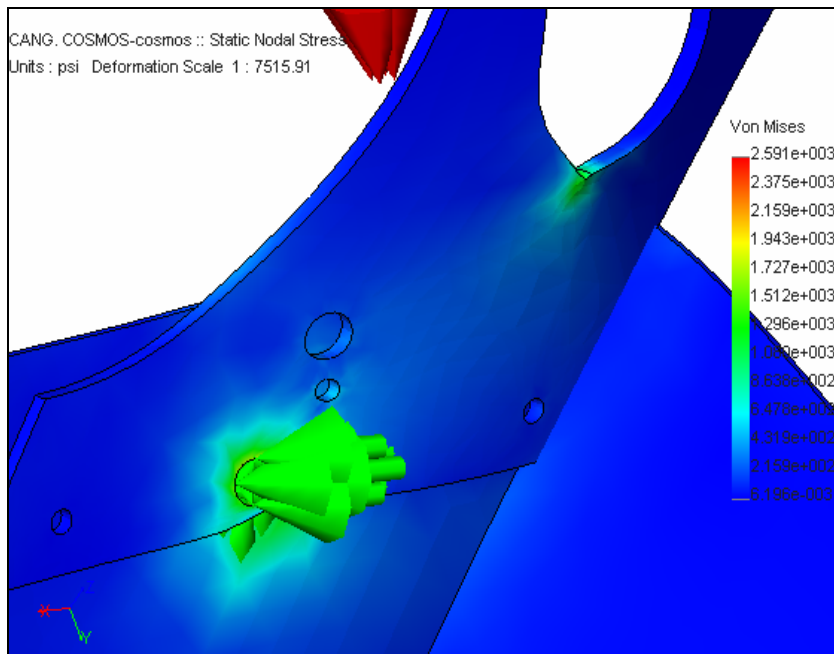


Figura 60. Detalle esfuerzos Cangilón

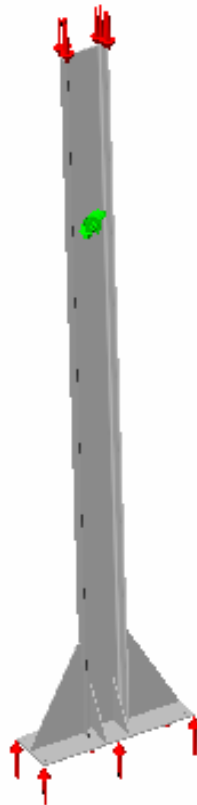


7.2 ANÁLISIS DEL PÓRTICO

7.2.1 Aplicación de cargas en la columna que conforma el pórtico

La carga aplicada a la columna fue de 75 kg, y 43,5 en la base. Los detalles se muestran en la figura 61.

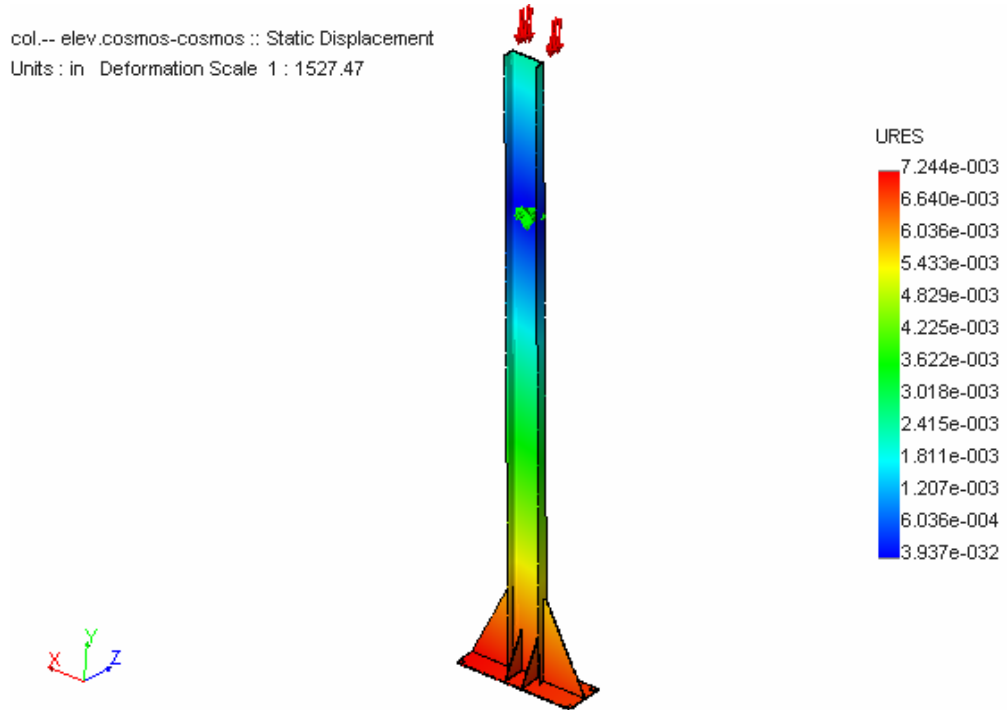
Figura 61. Aplicación de carga en la columna que conforma el pórtico.



7.2.2 Deformación columna que conforma el pórtico

El valor máximo de deformación es de 0.0072 pulgadas. Véase figura 62.

Figura 62. Deformación columna que conforma el pórtico



7.2.3. Esfuerzos columna que conforma el pórtico

Los esfuerzos presentan un máximo en el punto de contacto del tope con la columna con un valor de 700 psi., como se muestran en las figuras 63. y 64.

Figura 63. Esfuerzos de la columna que conforma el pórtico

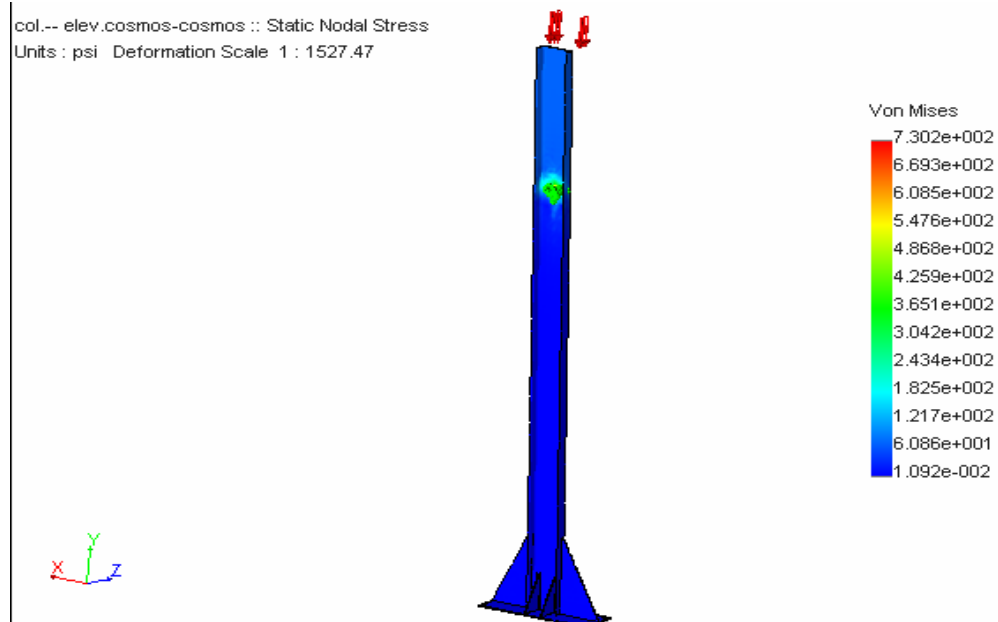
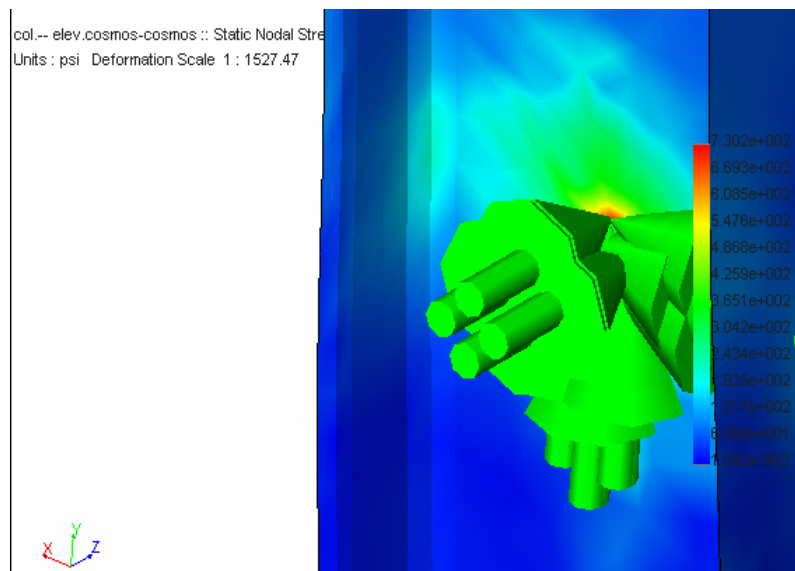


Figura 64. Detalle esfuerzos de la columna que conforma el pórtico



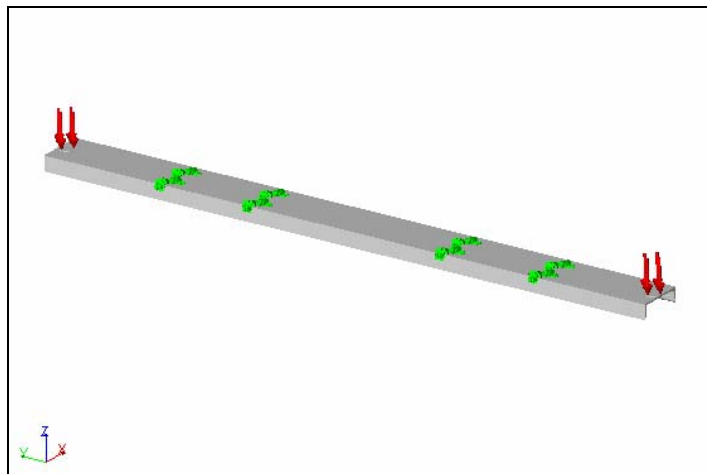
7.3 ANÁLISIS DEL PERFIL SUPERIOR DEL PORTICO

7.3.1 Aplicación de cargas sobre el perfil superior del pórtico

Las restricciones sobre el perfil se ubican a 30cm y 60cm respectivamente medidos desde el extremo del mismo.

La carga aplicada sobre el perfil se ubica sobre los extremos con un valor 65kg, como se muestra en la figura 65.

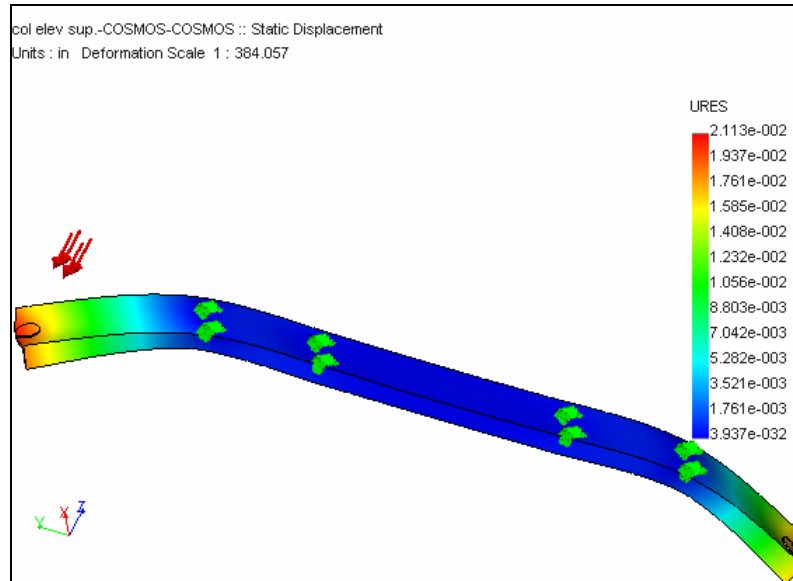
Figura 65. Aplicación cargas sobre el perfil superior del pórtico



7.3.2 Deformación perfil superior del pórtico

En la figura 66 se muestra la máxima deformación sobre los dos extremos del perfil con un valor promedio de 0.0211 pulgadas.

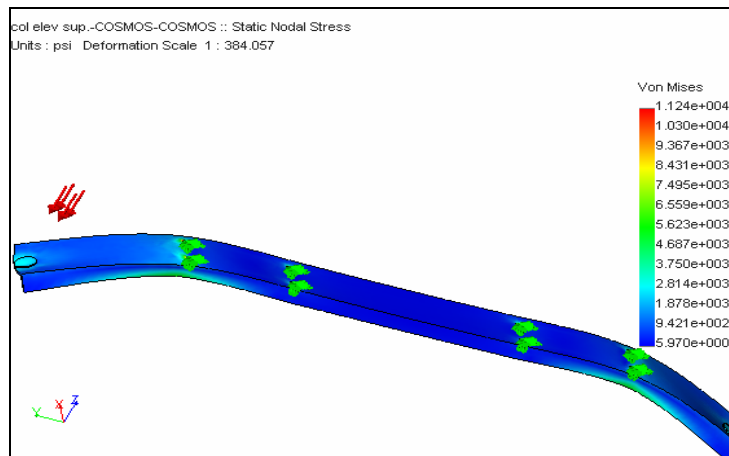
Figura 66. Deformación perfil superior del pórtico



7.3.3 Esfuerzos perfil superior del pórtico.

En la siguiente figura se muestra el máximo esfuerzo producido sobre la parte superior del perfil con un valor promedio de 4500 psi.

Figura 67. Esfuerzos perfil superior del pórtico

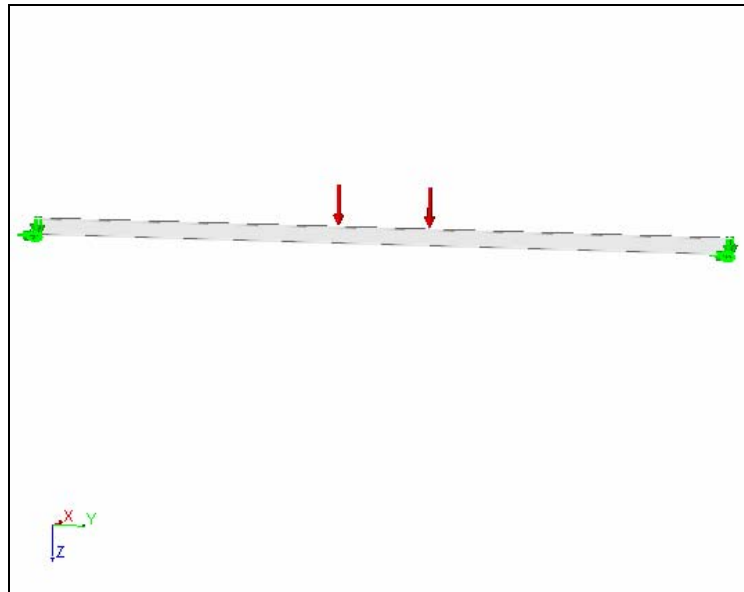


7.4 ANÁLISIS DEL RIEL DE LA CACHACERA

7.4.1 Aplicación cargas riel de la cachacera

En la figura 68 se puede apreciar las cargas aplicadas sobre el riel de la cachacera con un valor 200 Kg. individualmente y están aplicadas a 160 cm y 200 cm medidos del extremo del riel.

Figura 68. Aplicación cargas riel de la cachacera

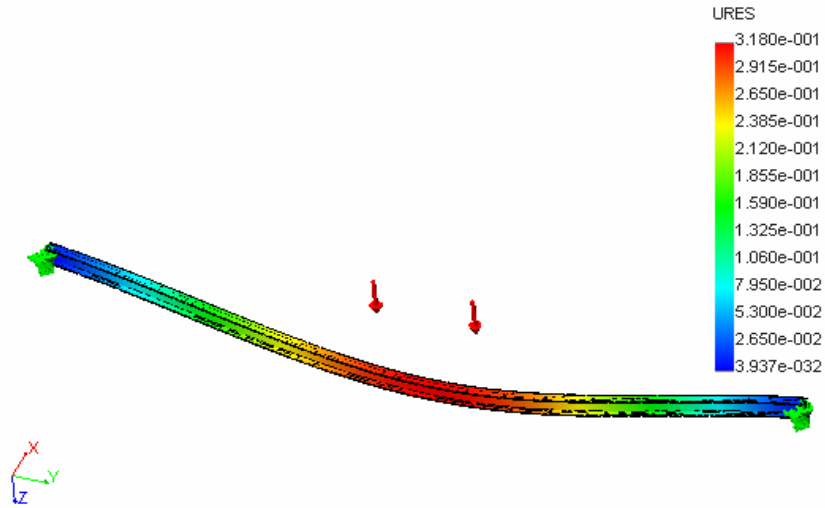


7.4.2 Deformación riel de la cachacera

La figura 64. muestra continuación el valor de la deformación máxima a 180cm del extremo del riel con un valor promedio de 0.3 pulgadas.

Figura 69. Deformación riel de la cachacera

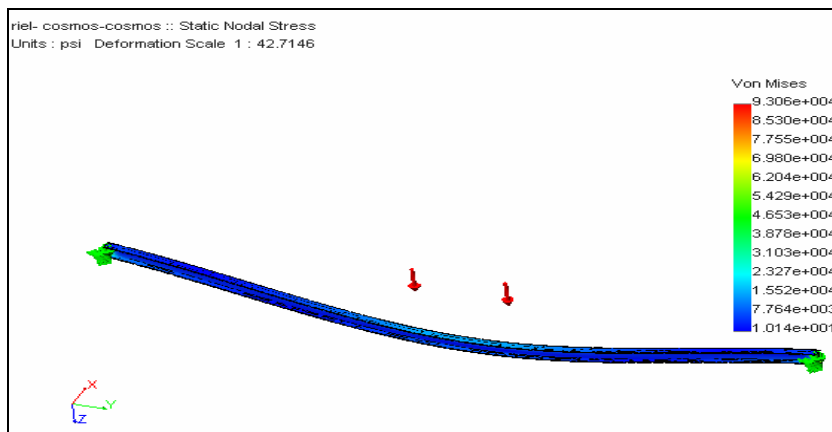
riel- cosmos-cosmos :: Static Displacement
Units : in Deformation Scale 1 : 42.7146



7.4.3 Esfuerzos riel de la cachacera

La figura anterior muestra los máximos esfuerzos con un valor de 23.270 psi

Figura 70. Esfuerzos riel de la cachacera.

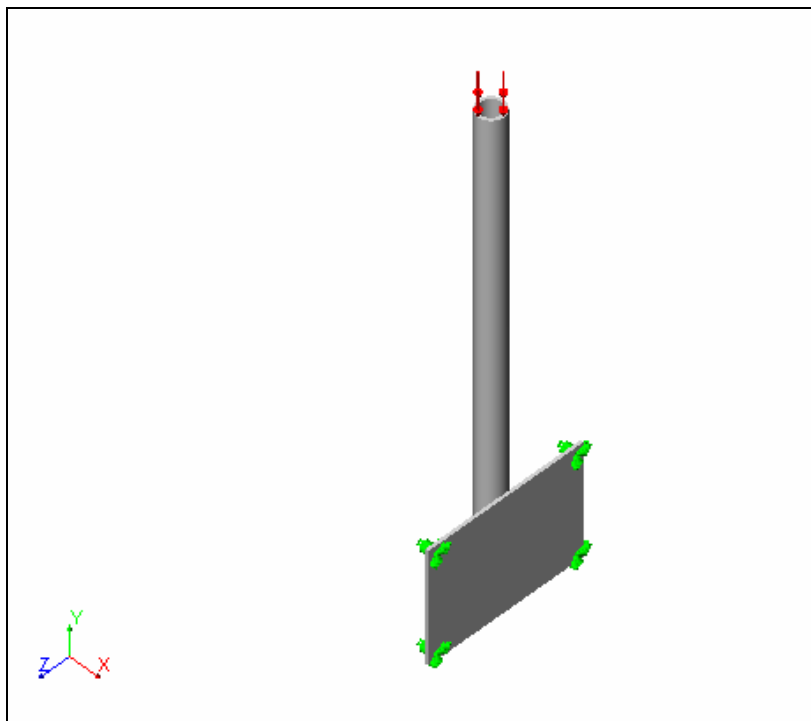


7.5. ANÁLISIS BASE RIEL DELANTERO

7.5.1 Aplicación carga base riel delantero

La carga aplicada sobre la base tiene un valor de 400kg. El contacto entre el tubo y la platina se produce en un área de 20cm².El contacto longitudinal entre la platina y el tubo es debido a problemas despacio. Véase siguiente figura.

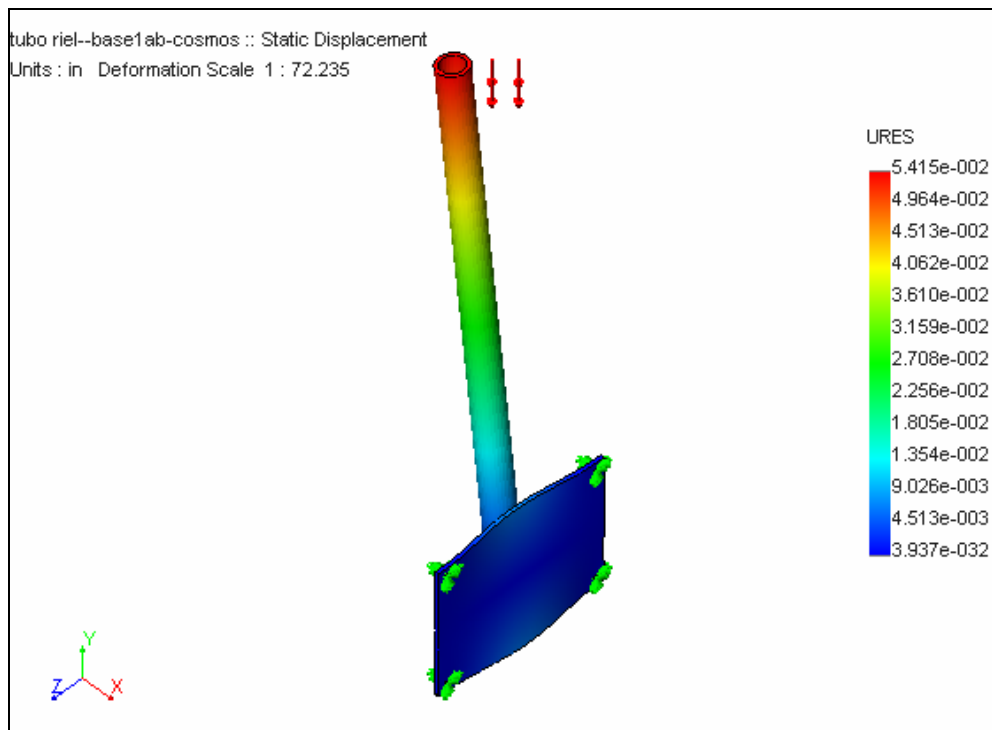
Figura 71. Aplicación carga base riel delantero



7.5.2 Deformación base riel delantero

La deformación que se presenta tiene un valor de 0.0541 pulgadas. Ver figura 67.

Figura 72. Deformación Base riel delantero



7.5.3 Esfuerzos base riel delantero

Las figuras 68. y 69. muestran el Máximo esfuerzo en los agujeros donde van alojados los tornillos con un valor de 10840 Psi.

Figura 73. Esfuerzos Base riel delantero

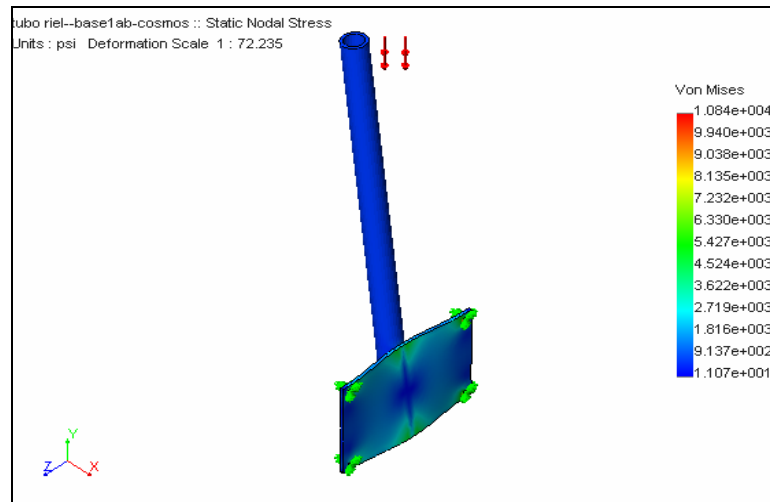
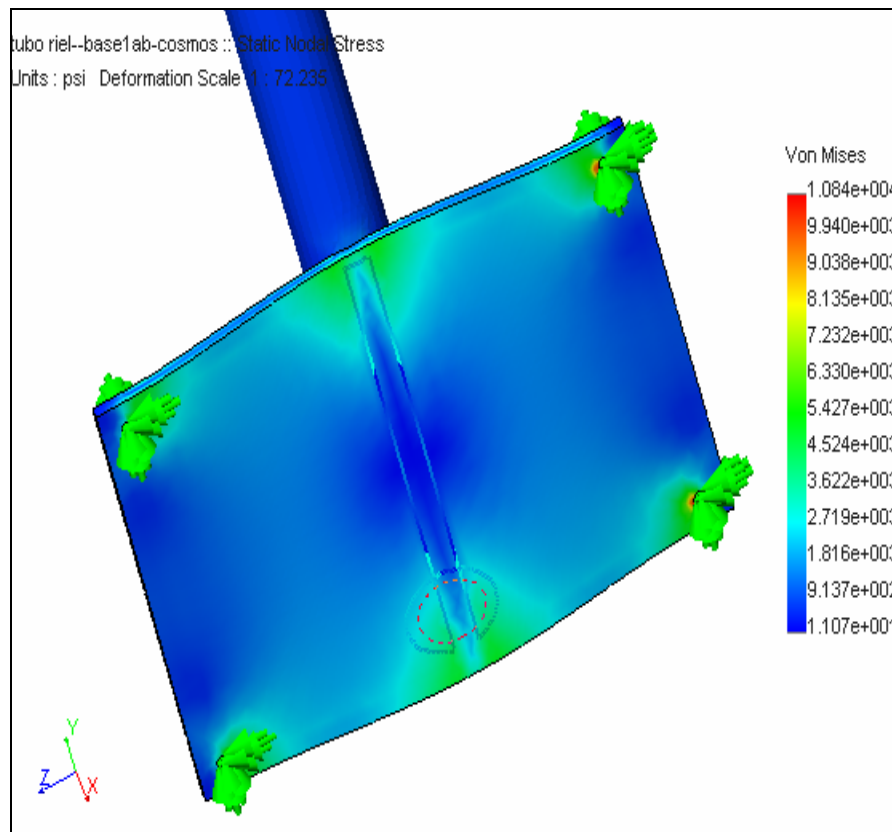


Figura 74. Detalle esfuerzos base riel delantero



8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ❖ El **sólido Edge** y el **Cosmos** son herramientas muy valiosas para prevenir posibles errores presentes en la construcción.
- ❖ Este **Sistema de Descachazado** es posible automatizarlo
- ❖ Se deben revisar periódicamente las guías, rieles, ruedas antes de usar el **Sistema**.
- ❖ Limpiar el **Cangilón, la Cachacera**, después de haber terminado la jornada de molienda.
- ❖ Con el **modelo demostrativo** se pudo comprobar la facilidad y rapidez en la elevación y evacuación de la cachaza.
- ❖ Además, con este **modelo demostrativo** se calculó un tiempo aproximado de 2 minutos para la evacuación de la cachaza sin chorrear las paredes del recipiente.