



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA QUE
OPTIMICE EL DOBLADO Y ENSAMBLAJE DE TUBOS
DOBLES PARA LOS SISTEMAS DE ESCAPES DE
MOTOCICLETAS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE
LA EMPRESA INDIMA S.A**

AUTOR: PLASENCIA MÉNDEZ MANUEL ALEJANDRO

DIRECTOR: ING. CORTEZ, BYRON

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificó que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA QUE OPTIMICE EL DOBLADO Y ENSAMBLAJE DE TUBOS DOBLES PARA LOS SISTEMAS DE ESCAPES DE MOTOCICLETAS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA INDIMA S.A”*** realizado por el señor ***PLASENCIA MÉNDEZ MANUEL ALEJANDRO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar al señor ***PLASENCIA MÉNDEZ MANUEL ALEJANDRO*** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 28 de julio del 2016



Ing. Byron Cortez. MSc

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **PLASENCIA MÉNDEZ MANUEL ALEJANDRO**, con cédulas de identidad N° 171727796-4, declaro que este trabajo de titulación "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA QUE OPTIMICE EL DOBLADO Y ENSAMBLAJE DE TUBOS DOBLES PARA LOS SISTEMAS DE ESCAPES DE MOTOCICLETAS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA INDIMA S.A**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 28 de julio del 2016

Manuel Alejandro Plasencia Méndez

CI: 171727796-4



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **PLASENCIA MÉNDEZ MANUEL ALEJANDRO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA QUE OPTIMICE EL DOBLADO Y ENSAMBLAJE DE TUBOS DOBLES PARA LOS SISTEMAS DE ESCAPES DE MOTOCICLETAS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA INDIMA S.A”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 28 de julio del 2016

Manuel Alejandro Plasencia Méndez

CI: 171727796-4

DEDICATORIA

A mis padres que me han acompañado a lo largo de este camino, que han hecho que mis objetivos y metas tengan un apoyo incondicional.

A mi hermano por estar siempre junto a mí para seguir adelante.

A mi esposa Taty y a mi hijo Emilio que ha sido un pilar importante y que son la razón para cada objetivo de mi vida.

Manuel Alejandro Plasencia Méndez.

AGRADECIMIENTOS

A mi Madre Dolorosa y a Dios por darme la dicha y la bendición de concluir este objetivo tan importante para mí.

A mi madre Silvy por hacer que su amor incondicional, sus mimos y sus regaños, me conviertan en la persona que hoy soy. Te amo Mami

A mi padre Manuelito por darme ese ejemplo de lucha, esa perseverancia y ese amor incomparable. Gracias Papayito.

A mi hermano Leonardo por estar siempre conmigo, por ser ese amigo, y por ser el mejor hermano del Mundo. Te quiero Pinchito.

A mi Esposa Taty, la mujer de mis ojos, la persona que ha compartido mis éxitos como mis fracasos, pero, que siempre me acompaña a conquistar el mundo. Te Amo Guapa.

A mi hijo Emilio, que es la principal razón de lucha y de éxito, Te adoro Papo, “Haces mi vida brillar”.

A la ESPE, por ser la institución que me formo académicamente durante todo este tiempo, gracias por la sabiduría y lo aprendido en cada uno de sus materias, gracias a cada uno de los Ingenieros que me brindaron sus conocimientos.

A mis Directores de Tesis Ing. Víctor Erazo e Ing. Byron Cortez, muchas gracias por su apoyo y su conocimiento.

A la empresa Indima S.A por brindarme esa gran acogida y respaldo en cuanto al desarrollo de este proyecto, gracias por confiar en mí.

Manuel Alejandro Plasencia Méndez.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Definición del problema.....	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Justificación e importancia	4
1.5 Alcance del proyecto.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Vibración	7
2.1.1 Compactación por vibración.....	7
2.2 Arena.....	8
2.2.1 Propiedades mecánicas de las arenas compactadas.	10
2.3 Granulometría	11
2.4 Tubos	12
2.5 Doblado.....	13

2.5.1	Técnica de doblado.....	16
2.5.1.1	Redondeado de tubos.....	16
2.5.1.2	Variables que intervienen en el doblado.....	18
2.5.1.3	Manejo de materiales en el doblado.....	20
CAPÍTULO 3.....		23
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....		23
3.1	Consideraciones para establecer las especificaciones técnicas.....	23
3.2	La casa de la calidad.....	23
3.2.1	Voz del usuario.....	24
3.2.2	Voz del ingeniero.....	24
3.2.3	Resultado.....	25
3.2.4	Conclusiones de la casa de la calidad.....	26
3.3	Especificaciones técnicas.....	27
3.4	Análisis funcional.....	28
3.4.1	Determinación de las funciones primarias y secundarias.....	29
3.4.2	Determinación de módulos.....	30
3.4.3	Soluciones para cada módulo.....	31
3.4.3.1	Módulo 1.....	31
3.4.3.2	Módulo 2.....	32
3.4.4	Evaluación y selección para cada módulo.....	34
3.4.4.1	Evaluación y selección para el módulo 1.....	34
3.4.4.2	Evaluación y selección para el módulo 2.....	36
3.4.4.3	Conclusión de evaluación.....	37
CAPÍTULO 4.....		39
DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS.....		39
4.1	Selección de parámetros.....	39
4.1.1	Arena.....	39
4.1.2	Mangueras de distribución de arena.....	45
4.1.3	Moto Vibrador.....	48
4.2	Diseño mecánico.....	50
4.2.1	Diseño tolva.....	50
4.2.2	Diseño estructura.....	60
4.2.3	Mesa de vibración (simulación).....	66
4.2.4	Cálculo de resortes.....	68

CAPÍTULO 5.....	72
CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA..	
5.1 Documentación para la manufactura.....	
5.2 Procesos de manufactura empleados en cada elemento fabricado	72
5.2.1 Tolva	72
5.2.2 Estructura.....	73
5.2.3 Mesa de vibración	73
5.3 Pruebas de funcionamiento.....	74
5.3.1 Análisis de resultados	75
CAPÍTULO 6.....	77
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	77
6.1 Análisis económico.....	77
Tabla 28.....	78
Costos de materiales directos.....	78
6.2 Análisis financiero	81
CAPÍTULO 7.....	85
7.1 CONCLUSIONES	85
7.2 RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFÍA	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de experiencia para tubos de acero	17
Tabla 2. Especificaciones técnicas	27
Tabla 3. Simbología para la estructura funcional	28
Tabla 4. Alternativas para el módulo 1	32
Tabla 5. Alternativas para el módulo 2.....	33
Tabla 6. Ponderación de criterios de selección para módulo 1.....	34
Tabla 7. Evaluación de alternativas para módulo 1.	35
Tabla 8. Conclusiones para el módulo 1	35
Tabla 9. Ponderación de criterios de selección para módulo 2.....	36
Tabla 10. Evaluación de alternativas para módulo 2.....	36
Tabla 11. Conclusiones para el módulo 2.....	37
Tabla 12. Retención de arena en cada malla.....	41
Tabla 13. % de retención arena blanca sin cernir.....	42
Tabla 14. % de retención arena blanca cernida.....	43
Tabla 15. % de retención arena gris sin cernir.....	44
Tabla 16. % de retención arena gris cernida.....	44
Tabla 17. Especificaciones Moto Vibrador	49
Tabla 18. Dimensiones de tubería de diferentes modelos.	50
Tabla 19. Características físicas de la tolva.....	55
Tabla 20. Resultado del estudio de tensiones de la tolva	55
Tabla 21. Resultado del estudio de factor de seguridad en la tolva.	56
Tabla 22. Factores para el cálculo de la resistencia a la fatiga.....	58
Tabla 23. Factor de efecto superficial – maquinado (Ka).....	58
Tabla 24. Características físicas del perfil de la estructura.	64
Tabla 25. Resultado del estudio de tenciones del perfil de la estructura.....	65

Tabla 26. Resultado de estudio de tensiones de placa de masa de vibración.....	67
Tabla 27. Costos de materiales directos	
Tabla 28. Costos de mano de obra	
Tabla 29. Total de costos directos	79
Tabla 30. Total de costos directos	79
Tabla 31. Costos de mano de obra indirecta	80
Tabla 32. Gastos de fabricación	80
Tabla 33. Total costos indirectos	80
Tabla 34. Costo total asumido por INDIMA.....	81
Tabla 35. Flujo de caja proyectado en meses y resultados.	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Productos fabricados por Indima S.A.....	2
Figura 2. Clientes de Indima S.A	3
Figura 3. Compactación de arena por vibración	8
Figura 4. Diferencia de comportamientos arena suelta y compactada ..	10
Figura 5. Tamices Superpuestos	11
Figura 6. Términos en el doblado de un tubo.....	14
Figura 7. Naturaleza del Doblado	15
Figura 8. Curvado en tubo redondo	16
Figura 9. Arco tubular a 90°	18
Figura 10. Distorsión tubo cuadrado	22
Figura 11. Casa de la calidad	25
Figura 12. Análisis funcional nivel 0	29
Figura 13. Análisis funcional nivel 1	29
Figura 14. Análisis funcional nivel 2	30
Figura 15. Determinación de módulos	30
Figura 16. Módulo 1	31
Figura 17. Módulo 2	31
Figura 18. Esquema de la solución B de máquina compactadora	38
Figura 19. Máquina Granulométrica.....	40
Figura 20. Grafica % de retención.	42
Figura 21. Grafica & de retención	43
Figura 22. Manguera utilizada en Experimento 1.....	46
Figura 23. Manguera utilizada en Experimento 1 – Resultado Negativos.	46
Figura 24. Manguera utilizada en Experimento 2.....	47

Figura 25. Experimento 2 – Acumulación de arena para verificación de su fluidez.	47
Figura 26. Manguera Experimento 2 – Resultado Positivos.	48
Figura 27. Pruebas en Empac Machine.	
Figura 28. Esquema de tubería interior, exterior y arena	50
Figura 29. Tolva dibujada en programa CAD/CAE	52
Figura 30. Esquema de cálculo de volumen de tolva.	52
Figura 31. Esquema de unión soldadura de tolva y plancha de distribución	57
Figura 32. Estructura metálica simulada en un programa CAD/CAE	60
Figura 33. Perfil de estructura	61
Figura 34. Mesa de Vibración	66
Figura 35. Peso de gaveta y accesorios	67
Figura 36. Resorte helicoidal	68
Figura 37. Esfuerzos cortantes de diseño	71
Figura 38. Ensamble tolva.	73
Figura 39. Ensamblaje de estructura.	73
Figura 40. Ensamble de la mesa de vibración	74
Figura 41. Tubos compactados.....	76
Figura 42. Tubería posterior al llenado y compactado de arena	76

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Planos constructivos

ANEXO 2. Plano eléctrico

ANEXO 3. Manual de operación y funcionamiento

ANEXO 4. Carta de aceptación de la empresa

RESUMEN

INDIMA es una empresa de fabricación de autopartes que ha buscado el desarrollo de nuevos proyectos, lo cual le ha permitido incursionar en la fabricación de sistemas de escape para motocicletas. El presente proyecto tiene como finalidad diseñar y construir una máquina que permita la compactación de arena dentro de los tubos dobles del sistema de escape, los cuales posteriormente va a ser doblados. Este tipo de técnica es utilizada para evitar el corrugado de tubos al momento de doblarlos como también ayuda a obtener el ángulo correspondiente. Para iniciar el desarrollo, se estableció con INDIMA, varios parámetros a cumplir con el fin de satisfacer las necesidades del proceso. El diseño se efectuó considerando los parámetros requeridos y óptimos, establecidos por la empresa INDIMA, además se utilizó herramientas CAD/CAE para la simulación y verificación del diseño de la máquina. La construcción y ensamble, se realizó mediante los planos, aprobados y establecidos, teniendo en cuenta además la adquisición de componentes ya diseñados que complementan la construcción final de esta máquina. Finalmente se realizaron las pruebas de funcionamiento correspondientes para para verificar su funcionamiento y desempeño.

PALABRAS CLAVE

- TOLVA
- DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINA
- MESA DE VIBRACIÓN

ABSTRACT

INDIMA is an automobile parts manufacturing company who has been working on various expansion projects, one of which is the development and production of motorcycle exhaust systems. The current project has an end goal of designing and manufacturing a machine that will allow the compacting of sand within an exhaust double tube allowing for an even bend of inner and outer tubes. This type of technique is used to avoid tube corrugation at the time of bend resulting in an evenly desired angle.

In order to commence the development of this machine, INDIMA has provided the requirements needed to satisfy the process. The design has been developed based on the requirements provided. Additionally, software tools like CAD/CAE were used to simulate and verify the machine design.

The design and construction was done based on the approved blueprints, keeping in mind other existing components, in which complements the final development of this machine.

Finally, product testing was performed by the machine, to validate the requirements, functionality and design performance.

KEYWORDS

- HOPPER
- MACHINE ELEMENTS IN MECHANICAL DESING
- VIBRATION TABLE

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Las diferentes empresas autopartistas del Ecuador como parte de un crecimiento industrial, han decidido implementar nuevos productos para el beneficio tanto industrial como productivo.

INDIMA S.A. posee una larga trayectoria en cuanto a la fabricación de sistemas de escapes para las diferentes marcas de autos, camionetas, camiones, etc. Siendo así una de las pioneras y más importantes a nivel nacional en cuanto a escapes se refiere.

La empresa como parte de su desarrollo e implementación de nuevos productos ha desarrollado un nuevo sistema de escape, el cual dentro de su proceso es necesario la utilización de máquinas que complementen ciertas características, por este motivo se llevara a cabo el diseño y construcción de una máquina compactadora.

INDIMA S.A nace en 1990 en la ciudad de Quito-Ecuador con el objetivo de satisfacer una demanda en el mercado de autopartes nacionales e internacionales, para equipo original (ensambladoras). Las autopartes son fabricadas de acuerdo a los requerimientos técnicos de diseño, usando materiales locales e importados que cumplen las especificaciones requeridas y son homologados por las marcas dueñas de su desarrollo.

En el año 1999 se inicia con la comercialización de sistemas de escape para el mercado de reposición ecuatoriano a través de su cadena de comercialización Tecnoescape, la misma que tiene presencia a nivel nacional.

Indima tiene un acuerdo de Asistencia Técnica con Sejong Industrial Co., Ltd. (Corea) desde julio del 2009. Sejong Industrial Co., Ltd. es diseñador y fabricante de sistemas de escape para Kia y Hyundai Motor Company, con un volumen anual de 1´000.000 sistemas de escape.

Entre los productos que fabrica la empresa Indima S.A está (ver Figura 1):

- Sistema de escape
- Rollbar
- Protectores de Carter
- Barras de tiro
- Parrilla para motos
- Cuadros de Bicicleta
- Montacargas
- Movigas
- Manubrios de bicicleta y motocicleta
- Base para cocina de inducción



Figura 1 Productos fabricados por Indima S.A

Fuente: (INDIMA S.A, 2014)

Los principales clientes de Indima S.A son: GM-OBB, Maresa ensambladora, Aymesa, Ciauto, Kywi, Metaltronic, Casabaca, Elasto, Ecobike, Cardepot, Preindec, Mareauto y Assemblymotos S.A. (ver Figura 2)



Figura 2 Clientes de Indima S.A

Fuente: (INDIMA S.A, 2014)

1.2. Definición del problema

El diseño de un sistema de escape para motocicleta está compuesto por varios elementos, siendo el doblado uno de los más importantes. El cual para obtener las características de curvatura debe ser llenado y compactado mediante arena, la misma que se la introduce entre el espacio de los tubos, ya que este tipo de sistema de escape posee un tubo interno y un tubo externo. Esta técnica de doblado en frío se la utiliza con el uso de herramienta tanto manual como automático.

Para optimizar la compactación de arena entre el tubo interior y el tubo exterior procederemos, mediante vibración a compactar el elemento seleccionado como aporte para optimizar este proceso.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina que optimice el doblado y ensamblaje de tubos dobles para los sistemas de escapes para motocicletas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar las características y propiedades de la arena que faciliten tanto el llenado como la compactación.
- Diseñar y seleccionar elementos y componentes para la construcción de la maquinaria.
- Describir los procesos para la construcción de la compactadora.
- Realizar las pruebas correspondientes para garantizar el funcionamiento de la máquina.
- Evaluar el proyecto tanto en la parte económica como su factibilidad.

1.4 Justificación e importancia

ECONÓMICA

Esta máquina se considera económicamente rentable para la empresa en virtud de que permitirá optimizar el proceso de doblado de tubos dobles, disminuyendo el reproceso y el scrap que se presentan actualmente en su producción y constituye un cuello de botella por el tiempo que implica el desarrollo de estas actividades.

Con esta optimización se mejorará el costo de producción del producto y se contribuirá a incrementar el número de unidades por lote de producción. Así también se optimizará recursos, ya que el 80% de los materiales de

construcción de la máquina son reciclables o existe un stock alto de estos dentro de los inventarios de la empresa.

TÉCNICA

Indima S.A. enmarcada en procesos de mejora continua y comprometida con el cambio de la matriz productiva impulsada por el gobierno ha incursionado en la fabricación de diversos tipos de sistemas de escapes para: autos, motocicletas, generadores, etc., razones por las cuales requiere mejorar el tiempo de sus procesos de producción de los sistemas de escape para motocicletas mediante el diseño y construcción de una máquina que facilite el doblado y el ensamble de tubos dobles.

La idea preliminar del proyecto es aplicar mejoras al proceso de doblado de los tubos dobles para los sistemas de escape de motocicletas, disminuyendo los tiempos de producción y cumpliendo las normativas relacionadas con el grado de curvatura y los estándares de calidad en cuanto a durabilidad de la tubería.

Para poder mejorar este proceso de doblado se estudiará la utilización de arena con cierto grado de granularidad, la cual será introducida mediante un sistema de vaciado a un lote de 46 tubos que posteriormente mediante vibración, compactará la arena y continuará con el proceso de doblado. La vibración de estos elementos será realizada mediante un dispositivo mecánico que genera la fuerza requerida para alcanzar la vibración adecuada y la compactación necesaria de la arena para el correcto doblado.

Se utilizará la instrumentación respectiva para el control de encendido, apagado de la máquina y paro por emergencia.

ACADÉMICA

En la ejecución del presente proyecto están inmersos varios ámbitos de la Ingeniería Mecánica: principalmente el Diseño de Elementos de Máquinas que se aplica para el diseño de: sistema mecánico de vibración, mesa donde se colocaran los tubos dobles en conjunto con la arena para su posterior compactación, tolva donde se capta la arena. El ámbito Estructural se aplica

en la ubicación de los elementos y los Procesos de Manufactura para la construcción en general de la máquina.

La simulación computarizada es un método de comprobación del diseño que permite aproximarse a la realidad, siempre y cuando se especifiquen los parámetros adecuados. Para el diseño, análisis detallado y la simulación de las partes críticas o de posible fallo en el presente proyecto se utiliza la herramienta CAD.

Usando todos estos conocimientos, el proyecto permite afianzar y desarrollar los conocimientos de Ingeniería Mecánica adquiridos a lo largo de la carrera, a la vez que permita potenciar la capacidad creativa e innovadora que requiere un ingeniero mecánico en el ejercicio profesional.

1.5 Alcance del proyecto

Esta máquina tendrá como finalidad compactar arena del interior de 46 tubos los cuales serán parte de un lote y medio de producción. La máquina debe satisfacer, además la cantidad de lotes establecidos por la empresa y por el cliente. Por ultimo debe ayudar a que el tiempo de producción total sea mínimo, ya que este es el proceso anterior al de doblado, siendo este último un proceso que toma un tiempo alto en el total de producción.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Vibración

Es el movimiento de vaivén que ejercen las partículas de un cuerpo debido a una excitación. Para que un cuerpo o sistema pueda vibrar debe poseer características potenciales y cinéticas. Si un cuerpo no tiene la capacidad de vibrar se puede unir a otro y formar un sistema que vibre, siendo el caso una masa y resorte donde la masa posee características cinéticas, y el resorte, características potenciales.

2.1.1 Compactación por vibración

Los sistemas de vibrado son los más óptimos en cuanto a partículas de arena se refiere, permitiendo que estas puedan ser compactadas por métodos manuales, semiautomáticos y automáticos.

Siendo el compactado el procedimiento de aplicar energía a una cantidad estimada de partículas, en este caso arena, para eliminar espacios vacíos, aumentando así su capacidad de soporte y estabilidad.

Mediante una mesa de vibración, Schaffner (Castillo, 2005) pudo verificar la compactación de arena y observando además la disminución de espacios en relación de la aceleración. (Ver Figura 3)

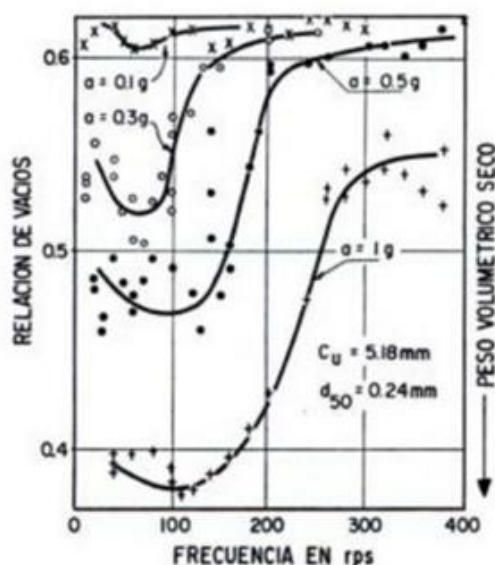


Figura 3 Compactación de arena por vibración

Fuente: (Castillo, 2005)

Se debe tomar en cuenta que la frecuencia óptima de vibración es inversamente proporcional al tamaño del grano o partículas de la mezcla y que la amplitud es directamente proporcional al tamaño de éstos (entre mayor el tamaño de grano menor vibración o menor tamaño de grano mayor vibración). La frecuencia angular de vibrado varía entre 1,500 a 5,000 revoluciones por minuto; esto se debe a que inicialmente las partículas de la mezcla están bastante apartadas y el movimiento inducido tiene que ser de una magnitud correspondiente a la separación de las partículas de la mezcla a compactar. La amplitud debe oscilar entre 8 y 15 mm, dependiendo de los materiales que componen la mezcla. Entre mayor sean los granos mayor será la amplitud (Castillo, 2005).

2.2 Arena

La arena es un elemento granular que se encuentra en la naturaleza, siendo además un conjunto de partículas de rocas separadas o disgregadas. La arena está formada principalmente por silicatos que son producto de la combinación de varios elementos metálicos con los elementos más comunes de la corteza terrestre: el oxígeno y el silicio. Los silicatos, por lo tanto, son el

grupo mineral más variado y extenso en la tierra. Su densidad es media, son duros, translúcidos y transparentes. El silicio presente en la arena, generalmente, se encuentra en la forma de cuarzo, que es el mineral más resistente a las condiciones climáticas.

Otros componentes de la arena con las micas, las magnetitas, y otros se puede observar el color de las partículas. Por ejemplo, la mica se presenta de color amarillo pálido; el cuarzo no presenta color; el feldespato puede ser rojo, blanco, rosado, amarillo y verde; finalmente, la magnetita, es negra de brillo metálico. El color de la arena es determinado por el mineral predominante.

Cuando la arena recién se forma, las partículas tienden a ser puntiagudas y angulosas. Con el tiempo, y debido a la fricción provocada por el agua y el viento, las partículas van adquiriendo las formas redondeadas que las personas acostumbramos a ver.

La arena es muy utilizada por el ser humano, debido a sus características físico-químicas, especialmente por su pequeño tamaño. Uno de los mayores usos se lo da en la elaboración de concreto, así como es el componente principal para la producción de vidrio, para fabricar ladrillos, para dar textura a las paredes y techos y para crear suelos no resbaladizos.

2.2.1 Propiedades mecánicas de las arenas compactadas.

Para verificar las propiedades mecánicas de la arena dentro del proceso de compactación, se deberá tener en cuenta la arena suelta y la arena compactada. Para una arena suelta sometida a prueba, la resistencia al esfuerzo cortante, se obtendrá mediante la curva esfuerzo – deformación, y estará representada con la línea continua (ver Figura 4). Para arena muy compactada mostrara la curva esfuerzo – deformación con línea discontinua.

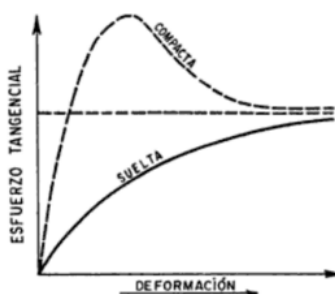


Figura 4 Diferencia de comportamientos arena suelta y compactada

Fuente: (Castillo, 2005)

Como se puede observar se necesita esfuerzo creciente para aumentar la deformación, pero una vez pasado el esfuerzo máximo, este puede disminuir sin que la deformación deje de crecer, este se le denomina comportamiento frágil. Esto nos indica que en arena compactada es preciso vencer el rozamiento entre los granos, esto conlleva a que las partículas de arena tengan movimiento giratorio entre ellas.

Por lo contrario, en arena suelta, la estructuración inicial es débil e inestable y es fácil iniciar movimiento, sin embargo producirá estructuras cerradas, haciendo que la resistencia de la arena crezca de forma paulatina, siendo casi igual a la estructura de la arena compactada.

2.3 Granulometría

La granulometría es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la cantidad de los correspondientes (granos) a cada uno de los tamaños, los cuales tienen una referencia en cuanto a la escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

El método de determinación granulométrico se realiza por medio de una serie de mallas de distintos anchos, que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices (ver Figura 5).

Para su realización, se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original (suelo o sedimento mezclado) y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices (Conservación de la Masa).



Figura 5 Tamices Superpuestos

Fuente: (American Society for Testing and Materials, 2003)

Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas.

2.4 Tubos

Es un conducto que cumple la función de transportar desde fluidos hasta gases, siendo el más común e importante, para usos estructurales. Estos están compuestos de diversas composiciones dependiendo el uso principalmente acero.

Los tubos de acero tienen múltiples aplicaciones. En muchos casos los tubos de acero requieren ser doblados para así cumplir su función.

Algunos ejemplos de uso de tubo doblado son:

- Tubos para bicicletas
- Tubos para muebles
- Tubos para barras de ejercicio
- Tubos para conducción de agua
- Tubos para automóviles
- Tubos para intercambiadores de calor
- Tubos para lámparas
- Tubos para exhibidores
- Tubos para estructuras metálicas
- Tubos para barras de autobús
- Tubos para estructuras livianas
- Tubos para motocicletas

2.5 Doblado

Durante el proceso de doblado de tubos debemos tener muy en cuenta los dos principios básicos que ocurren simultáneamente:

Por un lado, el material en el interior de la curva se comprime; por el otro, en el exterior del eje se tensa.

Esta combinación de esfuerzos causa adelgazamiento, elongación de la pared externa, engrosamiento y acortado de la pared interna, como consecuencia hay una tendencia de aplanamiento del tubo en el doblado.

En general, el objetivo es evitar que ocurra tanto la ruptura como el aplanamiento, lo cual no presenta inconveniente cuando tubo tiene un grosor de pared ancho y se dobla en un radio amplio, pero cuando la pieza es delgada y es necesario realizar una curva muy cerrada, aumentan los riesgos de fractura y los defectos por el hundimiento interno. En este sentido, para lograr el doblado correcto, es muy importante analizar todos los factores que entran en juego en la operación.

El diámetro interior y exterior del tubo, el espesor de la pared nominal y el eje neutral son características inherentes de la pieza. El ángulo y radio de doblado dependen de los requerimientos de fabricación y el uso final del tubo. Por su parte, la pared interior y exterior en el área de la curva dependen del ángulo y radio generados, además del proceso y máquina (prensa o dobladora) utilizada. (Ver Figura 6)

Básicamente, los tubos son más débiles cuanto mayor es el diámetro o menor es su espesor de pared, así mismo cuando el radio de curvatura disminuye las fuerzas que actúan sobre el tubo aumentan exponencialmente de manera significativa y pueden ocasionar graves deformaciones en el material. Por su parte, cuando el diámetro del tubo es pequeño y la pared es relativamente gruesa casi ningún apoyo se necesita para realizar el doblado.

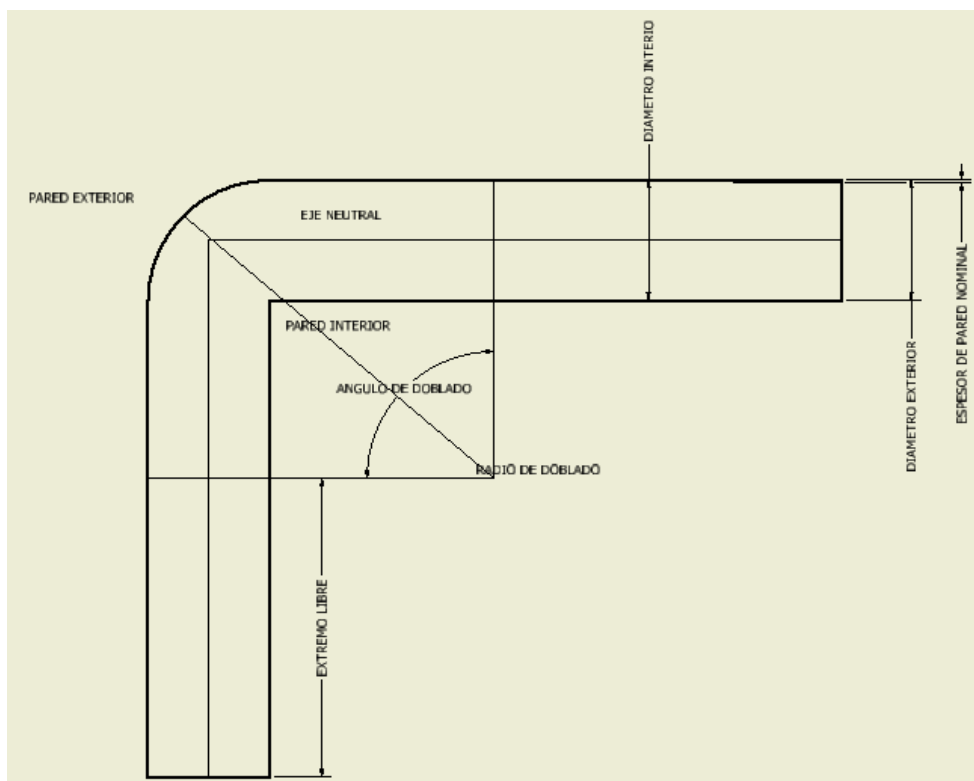


Figura 6 Términos en el doblado de un tubo

Fuente: (DOYLE, 1980)

Para determinar si la pared de un tubo es delgada o gruesa, es necesario comparar el espesor de la misma (t) con el diámetro externo del cilindro (D), dividiendo el radio de curvatura con el diámetro externo del tubo, a esto se le llama factor de la pared del tubo (WF). La correcta relación de dimensión del tubo con el radio de curvado debe ser uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta. Para evitar el hundimiento o aplastamiento de la zona interior de la curva, el radio mínimo del doblado (R) al cual se puede doblar el tubo debe ser alrededor de 1.5 veces el diámetro (D) cuando se usa un mandril, herramienta empleada para apoyar el interior del tubo y así mejorar la calidad de la curva, y 3.0 veces D cuando no se usa el mandril. (Ver Figura 7)

Valores más altos de WF aumentan el radio mínimo del doblado; esto determina que el doblado de tubos es más difícil para las paredes delgadas. La ductilidad del material de trabajo es también un factor importante en el proceso. Determinar la dificultad del doblado; es decir, si es simple o complejo,

depende especialmente de la relación que hay entre el diámetro exterior del tubo (\varnothing_e) y el radio de la curva después del proceso (R_c), a esto se le conoce como factor de curvatura (F_c), el cual sirve para hallar el radio mínimo que se le puede dar al material sin afectarlo con hendiduras, grietas o arrugas. La fórmula para establecer el factor de curvatura sería: $F_c = R_c/\varnothing_e$, los valores entre 1 y 2 muestran que el doblado es de alta dificultad, por lo tanto es necesario utilizar elementos de soporte como los mandriles. El valor recomendado del factor de curvatura está en un rango de 2.5 a 3.5, en el cual el doblado se considera simple. En algunos casos se emplean procesos manuales, tales como el relleno del tubo con resina o arena seca para evitar que se produzcan defectos de calidad. Adicionalmente se recomienda considerar el límite elástico del material, ya que todos los tubos, una vez finalizan la fuerza de flexión, tienden a manifestar cierta recuperación elástica. Si se hace un doblado hasta cierto ángulo puede esperarse que regrese hasta un ángulo un poco menor cuando se deja libre el material. Este retroceso es mayor para radios más pequeños, materiales más gruesos, ángulos de doblado más grandes y materiales endurecidos. Por lo general se devuelven entre 2° y 4° . Por ello, en operaciones de precisión, es necesario dar un ángulo o curvatura más cerrada de la necesaria como para que después de la recuperación elástica la pieza que de la forma deseada.

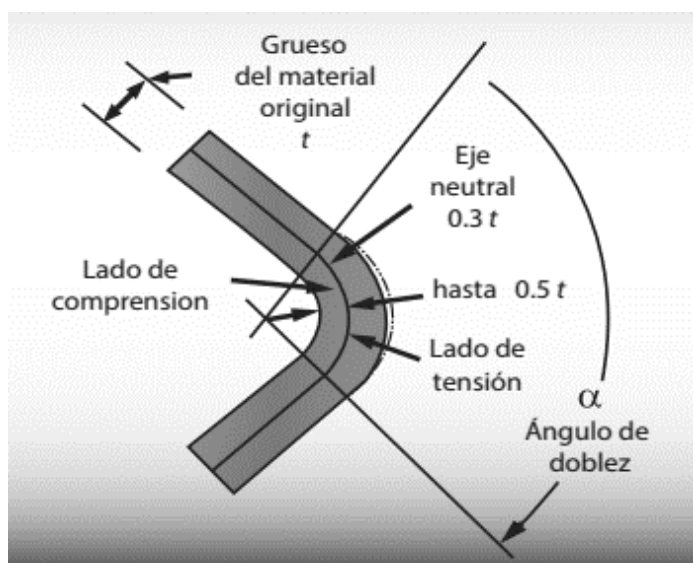


Figura 7 Naturaleza del Doblado

Fuente: (DOYLE, 1980)

2.5.1 Técnica de doblado

2.5.1.1 Redondeado de tubos

El curvado en redondo de tubos exige medidas especiales con el fin de evitar el presionamiento plano indeseado en el punto de la flexión.

Las contramedidas para evitar el punto de flexión es el calentamiento alterno local de la pared del tubo en el punto de flexión durante el proceso de doblado. Llenado del tubo (arena de cuarzo, colofonia, plomo). (Ver Figura 8)

Los tubos de acero con un diámetro de más de 1/2 pulgada se deben doblar llenos en estado caliente. En los tubos soldados se debe prestar atención de que el cordón de soldadura se encuentre al lado del radio de flexión, ya que allí corre la fibra neutra y con ello no se pueda romper el cordón de soldadura.

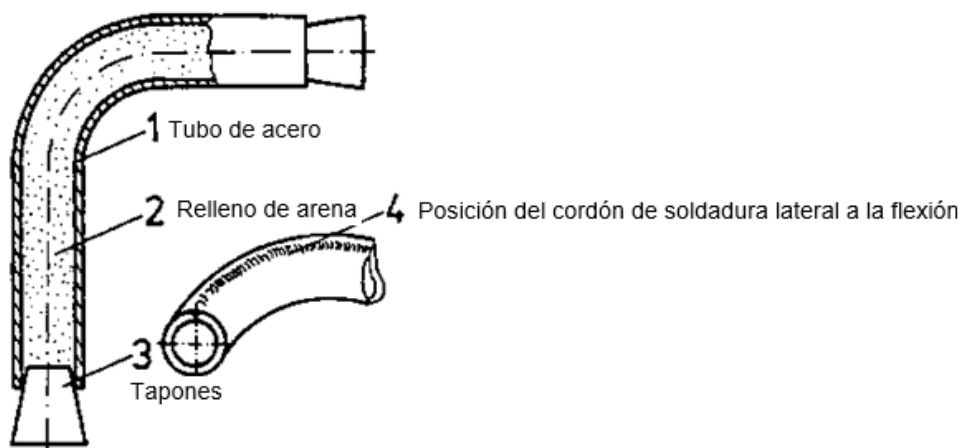


Figura 8 Curvado en tubo redondo

Fuente: (DOYLE, 1980)

Para el doblado en caliente se debe emplear solamente arena seca para el relleno, ya que si se utilizaría arena húmeda forma vapor de agua en el calentamiento, el cual expulsa los tapones de cierre en las bocas del tubo. Los tubos se calientan el punto de flexión al rojo claro incandescente (aprox. 900°).

En los tubos de paredes delgadas se calienta el lado interior de la flexión más que el lado exterior, de tal forma que el aplastamiento en el lado interior se puede realizar más fácilmente. En los tubos de mayores diámetros se calienta y se dobla con secuencia una parte tras otra de la sección de doblado.

Los tubos rellenos pueden ser doblados manualmente de forma exacta solamente con aparatos para doblar tubos y dispositivos de flexión.

Tanto en las dos técnicas para el doblado de tubos se debe mantener un radio de doblado determinado mínimo. (Tabla 1)

Tabla 1
Valores de experiencia para tubos de acero

DOBLADO EN CALIENTE	R = 2 x DIAMETRO
DOBLADO EN FRIO	R= 10 X DIAMETRO

Fuente: (DOYLE, 1980)

Para el doblado en caliente se debe calcular antes la longitud del arco. Esta resulta en un ángulo de flexión de 90° del perímetro del círculo con aproximadamente el 1,5 veces del radio.

La longitud del arco que se debe calentar se divide en dos campos de medición, los cuales se encuentran en una relación determinada entre sí.

$$\textit{longitud del arco} = \textit{ala de medida} + \textit{ala de doblado}$$

El ala de medida equivale a 2/3 de la longitud del arco, mientras que el ala de doblado equivale a 1/3 de la longitud del arco. Para recortar la longitud del arco en el tubo se debe partir de la longitud de medida del tubo. Esta representa la medida desde el comienzo del tubo hasta la mitad de la punta del tubo a doblar. Partiendo de la longitud de medida en el tubo sin doblar, se

traza de un lado el ala de medida y por el otro lado el ala de doblado. Con ello se fija la longitud del arco a calentar. (Figura 9)

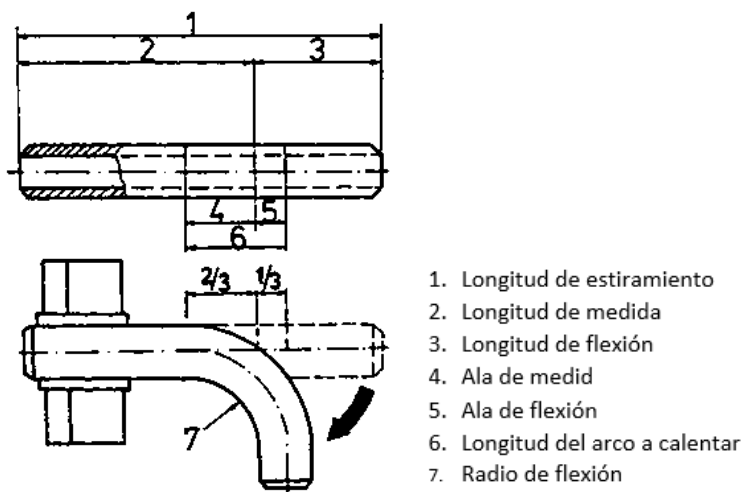


Figura 9 Arco tubular a 90°

Fuente: (DOYLE, 1980)

2.5.1.2 Variables que intervienen en el doblado

Existen diferentes variables a tomar en cuenta, la manera más sencilla y puntual del manejo de las variables (Want, 2006) que intervienen en el doblado de tubos son las siguientes:

- **Manufacturabilidad**

Todo el trabajo invertido en el diseño es un desperdicio si el ingeniero ignoró la factibilidad de manufacturarlo. Hay que tener cuidado en comprometerse con una parte que no puede manufacturarse de manera rentable.

- **Material**

Confirmar siempre que el tubo que reciba, sea el que ordenó, por ello es importante tener proveedores que le ofrezcan respaldo y servicio técnico postventa.

- **Dobladora**

El tipo, el herramental, la condición y la capacidad (tamaño del tubo y ritmo de producción) están entre las consideraciones más importantes.

- **Herramental**

Conviene revisar con detenimiento su diseño y construcción. Hacer arreglos para la reparación o el reemplazo. Es una buena idea tener un juego de repuesto.

- **Personal**

Conviene evaluar:

¿Qué tanta pericia (aptitud mecánica, capacitación, experiencia, y la capacidad de juntar todo esto) tiene cada operador?

¿Puede cada uno de ellos articular problemas exitosamente para resolverlos rápidamente?

¿Qué hay acerca del equipo de trabajo?

¿Los operadores están deseosos de compartir soluciones?

¿Estos rasgos son consistentes entre todos los turnos? Si no, las partes pueden no ser consistentes de turno en turno.

- **Producción**

Calcular el ritmo de producción esperado y comprar con las expectativas del cliente. Poner atención al nivel de supervisión que el personal puede

proporcionar a los operadores. Elaborar un plan de respaldo para manejar contingencias para que pueda mantener el calendario de entrega requerido a pesar de las interrupciones. Básicamente, doblar tubos no es una operación sencilla debido a las múltiples variables que intervienen en el proceso, por ello conviene conocer muy bien y controlar eficazmente los pormenores del doblado. En este caso, para obtener excelentes resultados, es necesario armonizar el método de conformado y las características del tubo con los requerimientos de producción, esto evita costos adicionales y fallas en la manufactura. Hoy en día, la tendencia más aceptada es a entender las condiciones del doblado no como elementos aislados de la pieza, en este caso el tubo analizado de forma individual, sino del conjunto que integran el propio tubo como tal, junto a las características del proceso y las condiciones en las que se desempeñara.

2.5.1.3 Manejo de materiales en el doblado

Debemos tener en cuenta para el proceso de doblado de tubos, es el conocimiento de las características del material: forma, tamaño, aleación, límite de elasticidad, resistencia a la tensión, ductilidad, y otros más. Debemos tener en cuenta que la resistencia al doblar un tubo de acero al carbono, es totalmente diferente que doblar uno de acero inoxidable, siendo el inoxidable un material que es más resistente a la flexión, y con los diámetros pequeños de curvatura aumenta el riesgo que genere arrugas e imperfecciones.

Una técnica exitosa para un mejor doblado de la tubería de acero inoxidable en la industria, es usar aceite a través del mandril para mejorar el enfriamiento y la lubricación de la herramienta en el momento de desplazamiento.

Por su parte, los materiales no ferrosos como el aluminio y el cobre, algunas veces no se pueden doblar en frío, ya que vienen endurecidos, por

ello requieren de un proceso de calentamiento previo a través de forja o soplete.

En cuanto a la tubería de acero negro, en referencia a su diámetro y espesor. Debemos tener en cuenta que es un tubo para estructuras tipo hot rolled, el cual se utiliza sobre todo para pasamanos y construcciones de alto tráfico, donde las piezas van a sufrir presión y esfuerzo. Aunque por lo general esta tubería es muy resistente y manejable, al doblar tubo de acero negro conviene seguir estrictamente las tablas técnicas de curvatura mínima provistas por los fabricantes.

Así mismo, los tubos cold rolled es relativamente sencilla, lo que permite emplearlos en la fabricación de muebles, conducción de fluidos, estanterías, carrocerías, perfilería y estructuras livianas. No obstante conviene cuidar la presión (tonelaje) para realizar el doblado ya que es un material más blando que el tubo hot rolled.

En materia de formas de sección, aunque la redonda es la forma más común de tubo, la industria utiliza tubos no redondos en múltiples aplicaciones. Los tubos cuadrados, rectangulares y ovalados o elípticos, los cuales tienen más resistencia comparados con el tubo redondo. Una gran diferencia es que los tubos redondos tienden a auto soportarse durante el proceso de doblado, por el contrario un tubo cuadrado o rectangular no se auto soporta; y por ello tiene más probabilidad de aplanarse o torcerse en el área de doblado.

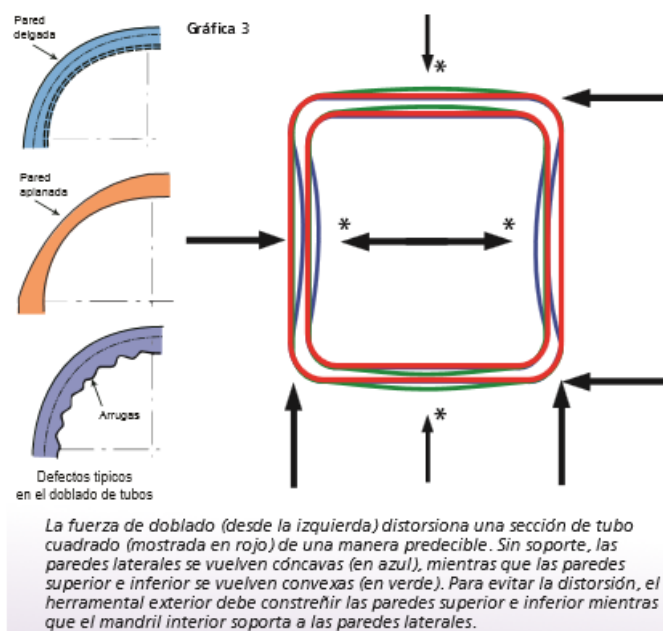


Figura 10 Distorsión tubo cuadrado

Fuente: (ALVARADO, 2002)

Las paredes que son paralelas al plano de doblez brindan más resistencia a la fuerza de doblado que las paredes laterales (ver Figura 10). Para evitar torcedura o aplanamiento, el tubo necesita soporte interno y externo. Es decir, requiere de un excelente juego de herramental matriz, zapata y mandril, para lograr dobleces perfectos. Con referencia de la tubería cuadrada, lo mejor es utilizar un mandril de bolas para realizar la flexión. Cuando se emplean estas herramientas es necesario asegurarse que el tubo y el mandril interno están firmemente sujetos por la abrazadera y no hay riesgo de deslizamientos, si no, podrían ocurrir arrugas o roturas, igualmente es conveniente emplear suficiente lubricación, ya que puede romperse. Por otro lado, si el mandril no está lo suficientemente hacia adelante o se tiene lubricación en exceso, podría generar arrugas. Además, es importante mantener la presión adecuada para evitar que el tubo se deslice sobre el troquel de curva. Así mismo, se recomienda observar la orientación de la costura de soldadura en los tubos cuadrados, rectangulares y elípticos, y explica que es más seguro cargar o soportar el tubo contra el troquel de curva o la matriz por el lado de la costura, ya que esta cara tiende a ser más frágil. También es importante recordar que hay que dejar cierta distancia prudente entre cada doblez, y una holgura entre el mandril y el tubo de 0.5 a 1.0 mm, aproximadamente.

CAPÍTULO 3

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1 Consideraciones para establecer las especificaciones técnicas

INDIMA S.A, como parte de su mejora continua, ha implementado dentro del proceso previo al doblado de tubos una máquina compactadora de arena para tubos dobles

Para establecer las especificaciones que debe cumplir la máquina, se realizar un análisis de las principales características que demandan los usuarios, de modo que se obtenga un diseño que cumpla con los estándares de calidad.

3.2 La casa de la calidad

Esta herramienta permite determinar las demandas de los usuarios para luego traducirlos a requerimientos técnicos mediante la incorporación de matrices que identificará las prioridades y preferencias del usuario para responder de forma práctica y técnica a dichas demandas.

Para elaborar la casa de la calidad es necesario ejecutar 6 pasos:

1. Voz del usuario: Describir las demandas (requerimientos y deseos) de los usuarios.
2. Análisis de competitividad: Describir, según el usuario, el grado de satisfacción que proporcionan los productos o servicios de la empresa respecto a los de la competencia.
3. Voz del ingeniero: Describir los requerimientos técnicos que deberán articularse para satisfacer las necesidades de los usuarios.

4. Correlaciones: Establecer las correlaciones entre la voz de los usuarios y la voz del ingeniero.
5. Comparación técnica: Comparar el producto de la empresa con los de la competencia.
6. Compromisos técnicos: Establecer los compromisos técnicos potenciales entre las diferentes características técnicas del producto. (Riba, 2002)

3.2.1 Voz del usuario

De acuerdo a los requerimientos del Departamento de Ingeniería y Producción de la empresa Indima S.A las características más importantes de la máquina son las siguientes:

1. Buen llenado y compactación.
2. Selección de arena.
3. Proceso rápido.
4. Fácil de operar.
5. Variedad de modelos de llenado.
6. Tipo de arena.

3.2.2 Voz del ingeniero

Una vez establecidos los requerimientos del usuario, se procede a traducirlos en características técnicas:

1. Tipo de descarga.
2. Potencia.
3. Tipo de arena.
4. Número de unidades a llenar.
5. Bajo tiempo de ciclo.
6. Diferente diámetro de tubos.
7. Granulometría.

3.2.3 Resultado

Para el desarrollo de la casa de la calidad se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

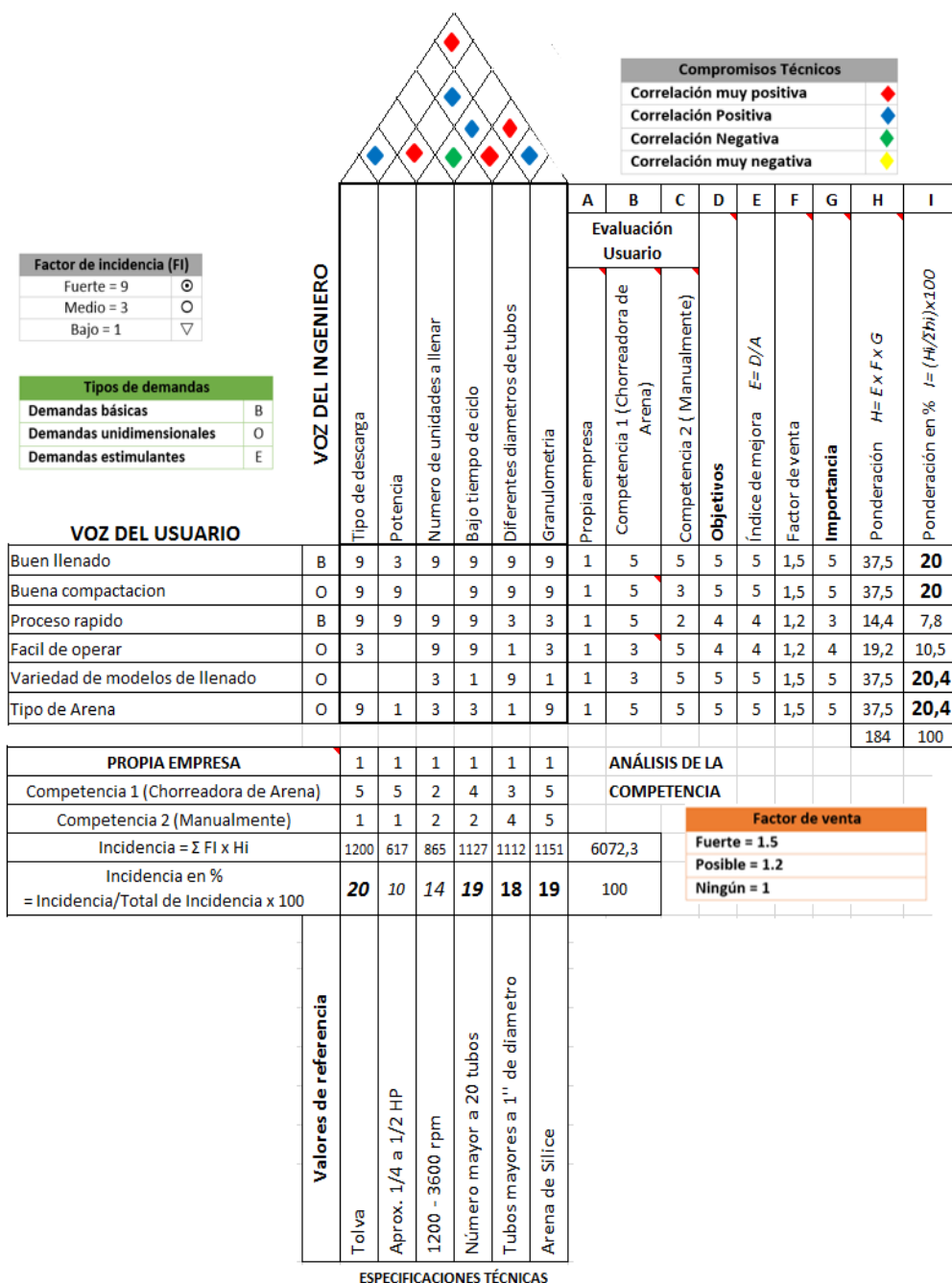


Figura 11 Casa de la calidad

- En la evaluación del usuario (columna A) y el análisis de la competencia de la propia empresa se calificó con un valor de 1, debido a que INDIMA nunca antes ha realizado el diseño y construcción de una máquina compactadora de arena para tubos dobles.
- La evaluación de las competencias se realizó tomando como referencia al proceso manual y al de una máquina chorreadora de arena.
- El desarrollo de la casa de la calidad se realizó en base al procedimiento descrito en el libro diseño concurrente de Carles Riba.

3.2.4 Conclusiones de la casa de la calidad

Una vez concluida la casa de la calidad, nos ayudará a determinar las características técnicas principales que son las siguientes:

- **Tipo de descarga.**- El diseño debe contar con un sistema de vaciado y de acumulación de arena rápido y de fácil de recarga.
- **Bajo tiempo de ciclo.**- La velocidad, en conjunto con el tiempo, debe conllevar a un llenado y compactado óptimo, teniendo en cuenta la capacidad de la máquina y la producción establecida.
- **Diferentes diámetros de tubos.**- Los diferentes tipos de tubería, deberán estar dentro de las especificaciones para su correcto proceso.
- **Granulometría.**- El tipo de arena deberá cumplir con los requisitos establecido, esta deberá ser de sílice.

3.3 Especificaciones técnicas

Obtenidos los resultados de la casa de la calidad, en la siguiente tabla se establecerán las especificaciones técnicas de la máquina moledora.

Tabla 2.
Especificaciones técnicas

Empresa / Cliente:		Producto		Fecha inicial: 19-01-2016
INDIMA S.A		Máquina Compactadora		Última revisión:01-03-2016
Diseñador / Diseñadores				Página 1/1
Alejandro Plasencia				
Especificaciones				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función		I	R	Llenar tubos dobles de con arena de sílice.
		I	R	Compactar arena de sílice en los tubos dobles.
		C+R	R	Llenado y compactado para diferentes modelos.
Dimensiones		D	R	Altura máxima de 2 m
		D	D	Largo: 500 mm
		D	D	Ancho= 500 mm
		C+D	R	Tubería de 25.4mm, 31.8mm y 38.1mm
Movimientos		I	R	Posicionamiento vertical
		I	D	Velocidad de revolución 3600 rpm
Energía		C	R	Eléctrica
Materiales		C	R	Tubería y láminas acero negro
		I	R	Arena de Sílice
Señales de control		C+D	R	Pedal de accionamiento
		C+D	D	Paro de emergencia
Fabricación y montaje		C	R	Según lo establecido en el diseño
		C	R	Montaje y pruebas de funcionamiento
Mantenimiento		C+D	D	Cada 3 meses
Seguridad y ergonomía		D	D	Altura adecuada
		D	R	Operación fácil y rápida
Propone: C= Cliente; I= Ingeniería; R/D: R= Requerimiento; D=Deseo; MR= Modificación requerimiento; NR= Nuevo requerimiento				

3.4 Análisis funcional

El análisis funcional consiste en determinar la función principal de la máquina e identificar las acciones que efectúa la misma, a fin de que cumpla con el objetivo para el que fue concebido y se obtenga diversas soluciones.




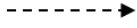

Una de las herramientas más importante para el desarrollo del diseño conceptual es la estructura funcional, que es la representación de las funciones del equipo mediante diagramas de bloques interrelacionadas a través de líneas que representan flujos de energía, materiales y señales, que permiten determinar la contribución de cada componente físico al funcionamiento de la máquina.

Para el desarrollo de dicha estructura se debe:

- Identificar la función principal de la máquina.
- Desplegar las funciones de forma detallada, disminuyendo el grado de complejidad y acrecentando las posibles soluciones. Para facilitar el diseño se debe subdividir en subfunciones y si es necesario establecer funciones auxiliares.

Los símbolos utilizados en la estructura funcional para representar las funciones, subfunciones y sus flujos son los siguientes:

Tabla 3.
Simbología para la estructura funcional

Función	Rectángulo de línea continua	
Flujo de material y dirección	Flecha de doble línea continua	
Flujo de energía y dirección	Flecha de línea continua	
Flujo de señal y dirección	Flecha de línea discontinua	
Sistema, subsistema, módulo	Polígono de línea de punto y raya	

Fuente: (Riba, 2002)

3.4.1 Determinación de las funciones primarias y secundarias

Para el nivel 0, se mostrará la función global que cumple la máquina que será “compactar arena dentro de tubos dobles” y además se presentará las principales interfaces requeridas como tubería, energía y señal de control.

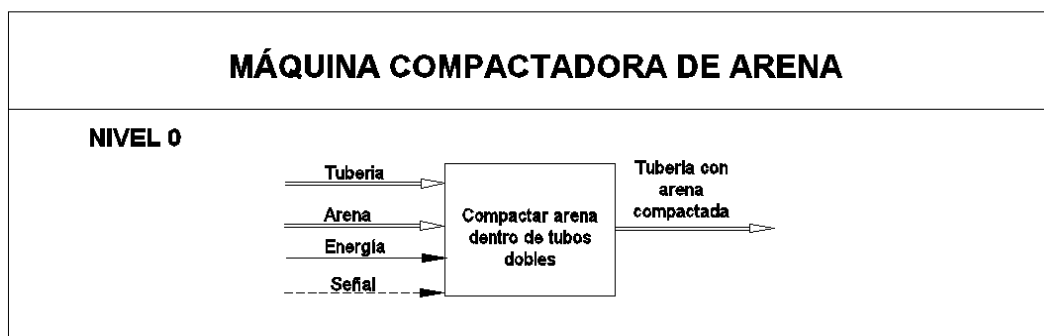


Figura 12. Análisis funcional nivel 0

Para el nivel 1, se despliega en forma general las diferentes funciones de la máquina para comprender como se relacionan los bloques de las funciones.

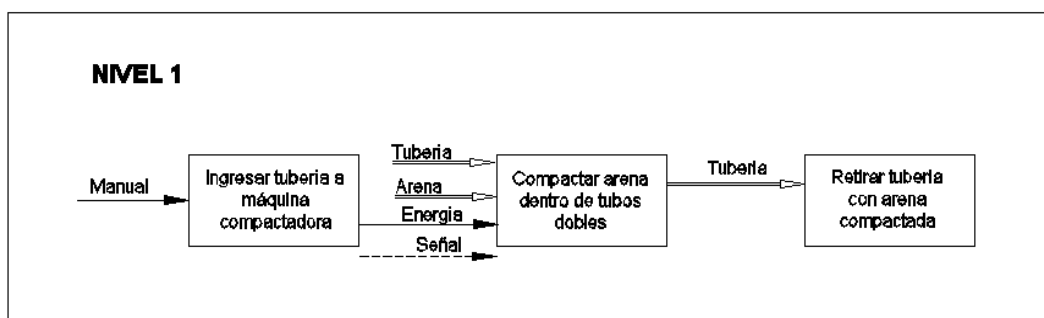


Figura 13. Análisis funcional nivel 1

En el nivel 2, se define de forma más detallada varias acciones que son indispensables para el funcionamiento de la máquina y que no se establecieron en el nivel anterior.

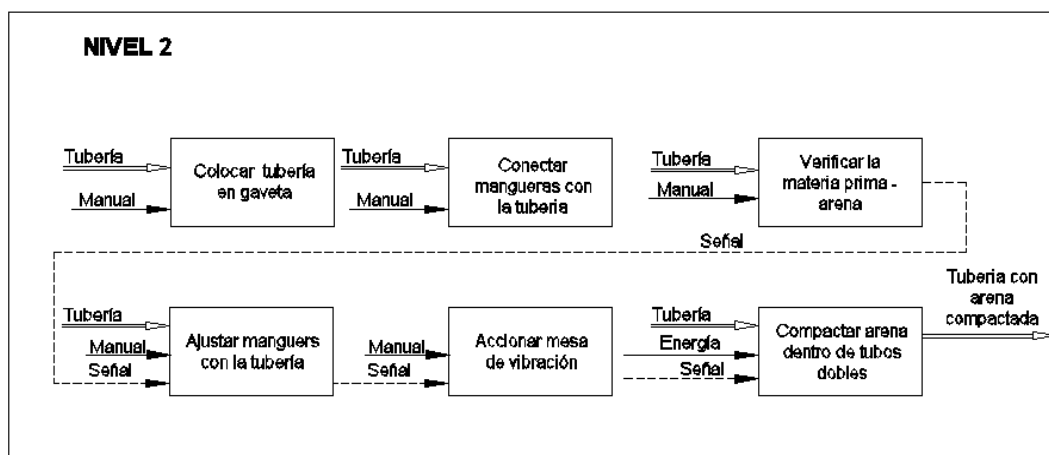


Figura 14. Análisis funcional nivel 2

3.4.2 Determinación de módulos

Para reducir la complejidad del diseño se ha agrupado en las funciones en dos módulos fácilmente identificables

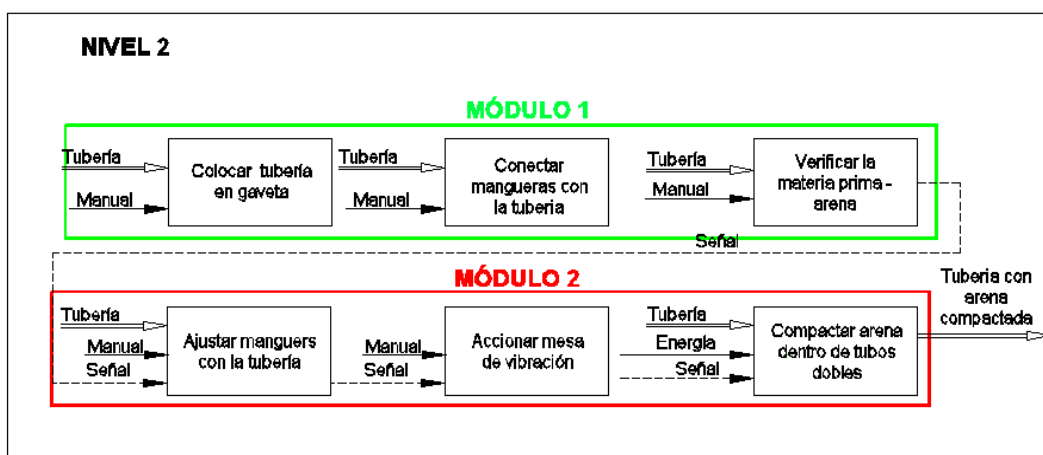


Figura 15. Determinación de módulos

MÓDULO 1

El primer módulo cumple la función de proporcionar la fijación del tubo que será llenado y compactado con arena.

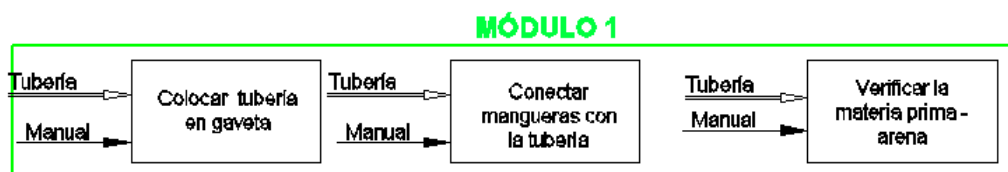


Figura 16. Módulo 1

MÓDULO 2

El segundo módulo que se estableció tiene la función de transmitir la vibración emitida por la mesa de vibración para el compactado de la arena dentro de los tubos.

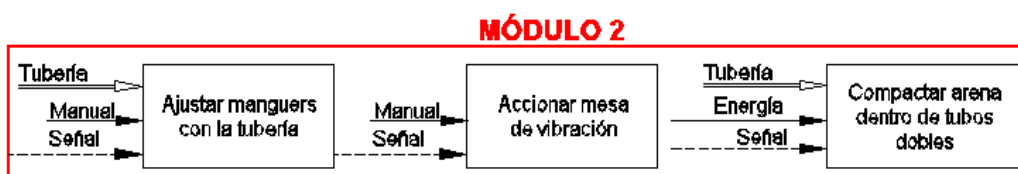


Figura 17. Módulo 2

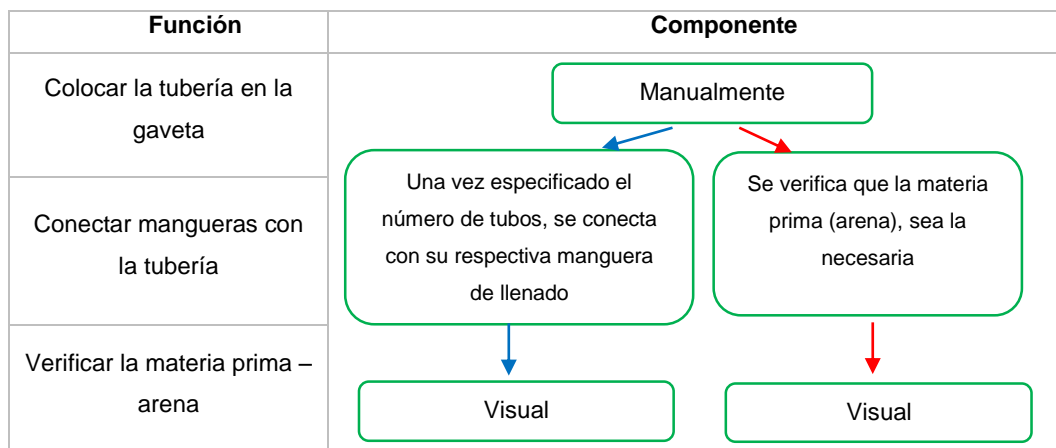
3.4.3 Soluciones para cada módulo

3.4.3.1 Módulo 1

El siguiente módulo comprende las siguientes funciones

- Colocar tubería en la gaveta
- Conectar mangueras con la tubería
- Verificar la materia prima - arena

Tabla 4.
Alternativas para el módulo 1.



Función colocar tubería en la gaveta

Conforme al diagrama funcional en el nivel 2, esta función se lo realizará de forma manual por los operarios, dado que no es una función complicada.

Función conectar mangueras con la tubería

Conforme al diagrama funcional en el nivel 2, esta función se lo realizará de forma manual por los operarios, dado que no es una función complicada.

Función de verificar la materia prima - arena

Conforme al diagrama funcional en el nivel 2, esta función se lo realizará de forma manual por los operarios, dado que no es una función complicada.

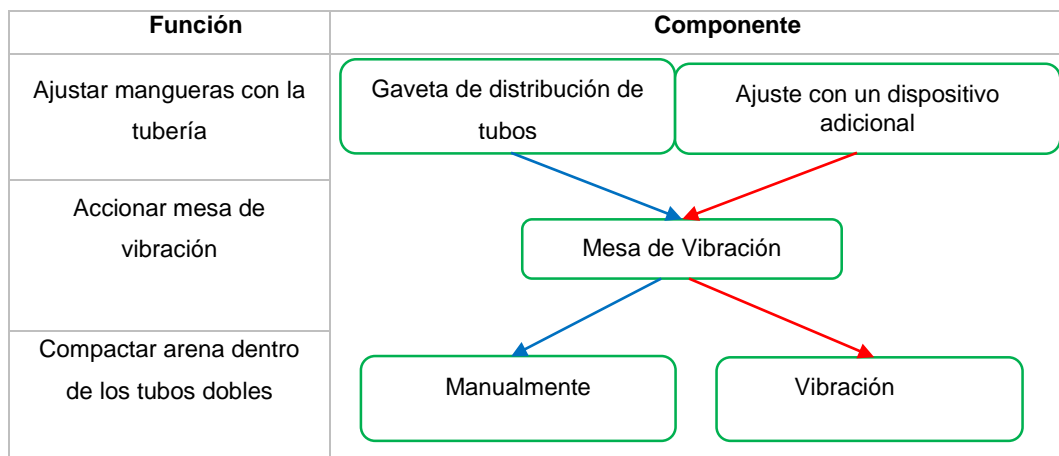
3.4.3.2 Módulo 2

El siguiente módulo comprende las siguientes funciones

- Ajustar mangueras con la tubería

- Accionar mesa de vibración
- Compactar arena dentro de los tubos dobles

Tabla 5
Alternativas para el módulo 2.



Función ajustar mangueras con la tubería

Conforme al diagrama funcional en el nivel 2, esta función se lo realizará de forma manual por los operarios, dado que no es una función complicada. Sin embargo hay que tener en cuenta el ajuste de este, por este motivo se debe llegar a un ajuste mediante pulso, el cual debe llegar a un punto hermético pero de fácil retiro. El complemento de un buen ajuste será la correcta colocación de los tubos.

Accionar mesa de vibración

Conforme al diagrama funcional en el nivel 2, esta función se lo realizará de forma manual por los operarios.

Compactar arena dentro de los tubos dobles

Conforme al diagrama funcional en el nivel 2, esta función la mesa de vibración.

3.4.4 Evaluación y selección para cada módulo

Con el objetivo de establecer la mejor opción para la empresa Indima, se utilizará el método ordinal corregido de criterios ponderados como instrumento de evaluación de los diferentes módulos establecido en el libro de Riba.

3.4.4.1 Evaluación y selección para el módulo 1

Los criterios de evaluación son los siguientes:

- Buena Compactación
- Fácil Montaje
- Mantenimiento
- Bajo Costo

Tabla 6.

Ponderación de criterios de selección para módulo 1.

Buena Compactación > Fácil Montaje > Mantenimiento > Bajo Costo						
Criterio	Buena Compactacion	Fácil Montaje	Mantenimiento	Bajo Costo	$\Sigma +1$	Pond.
Buena Compactacion	1	1	1	1	4	0,400
Fácil Montaje	0	1	1	1	3	0,300
Mantenimiento	0	0	1	1	2	0,200
Bajo Costo	0	0	0	1	1	0,100
				Suma	10	1

Tabla 7.

Evaluación de alternativas para módulo 1.

Solución B > Solución A				
Buena Compactación	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

Solución B > Solución A				
Fácil Montaje	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

Solución B > Solución A				
Mantenimiento	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
		Suma	3	1

Solución B = Solución A				
Bajo Costo	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0,5	1,5	0,500
Solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

Tabla 8.

Conclusiones para el módulo 1.

Conclusión	Costo	Fácil ajuste	Disponibilidad	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Solución A	0,4*0,33	0,3*0,33	0,2*0,33	0,1*0,5	0.347	2
Solución B	0,4*0,67	0,3*0,67	0,2*0,67	0,1*0,5	0.653	1
B > A						

3.4.4.2 Evaluación y selección para el módulo 2

Los criterios de evaluación son los siguientes:

- Buena Compactación
- Fácil Ajuste
- Fácil Operación
- Fácil Mantenimiento

Tabla 9.

Ponderación de criterios de selección para módulo 2.

Buena Compactación > Fácil Ajuste > Fácil Operación > Fácil Mantenimiento						
Criterio	Buena Compactación	Fácil Ajuste	Fácil Operación	Fácil Mantenimiento	$\Sigma +1$	Pond.
Buena Compactación		1	1	1	4	0,444
Fácil Ajuste	0		1	1	3	0,333
Fácil Operación	0	0		1	2	0,222
Fácil Mantenimiento	0	0	0		1	0,111
				Suma	9	1

Tabla 10.

Evaluación de alternativas para módulo 2.

Solución B > Solución A				
Buena Compactación	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
			Suma	3
				1

Solución B > Solución A				
Fácil Ajuste	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0,333
Solución B	1		2	0,667
			Suma	3
				1

Tabla 11.

Evaluación de alternativas para módulo 2.

Solución A > Solución B

Fácil Operación	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		1	2	0,667
Solución B	0		1	0,333
		Suma	3	1

Solución A = Solución B

Fácil Mantenimiento	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0,5	1,5	0,500
Solución B	0,5		1,5	0,500
		Suma	3	1

Tabla 12.

Conclusiones para el módulo 2.

Conclusión	Costo	Disponibilidad	Fácil operación	Fácil mantenimiento	Σ	Prioridad
Solución A	0,44*0,33	0,33*0,33	0,22*0,67	0,11*0,5	0.457	2
Solución B	0,44*0,67	0,33*0,67	0,22*0,33	0,11*0,5	0.644	1
B > A						

3.4.4.3 Conclusión de evaluación

En la evaluación realizada tanto en el módulo 1 y 2 se determina que la mejor opción es la solución B que está dispuesta de la siguiente manera: la sujeción de la tubería se lo realiza ingresándola manualmente en el dispositivo de distribución y anclaje. Posteriormente las mangueras se conectan a cada uno de los tubos a distribuir la arena, finalmente se procede a activar la mesa de vibración y se culmina con la compactación.

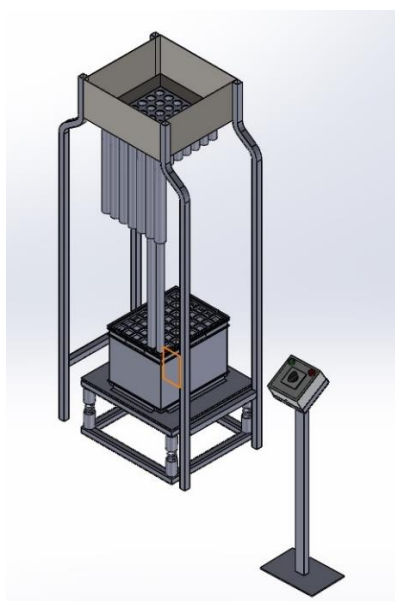


Figura 18. Esquema de la solución B de máquina compactadora

CAPÍTULO 4

DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

4.1 Selección de parámetros

Para la selección de parámetros del diseño se consideró las especificaciones técnicas obtenidas a través de la casa de la calidad y algunas variables que pueden influir en el diseño de la máquina. Entre los parámetros principales se tiene los siguientes:

4.1.1 Arena

ENSAYO

Para realizar el ensayo granulométrico, se toma dos tipos de arena: blanca y gris; estas arenas fueron escogidas basándose en los factores de accesibilidad y precio. En la Universidad Salesiana, en el laboratorio de suelos del departamento de Ingeniería Ambiental, con el apoyo del Bqf. Carlos Ulloa, profesor de dicha institución, se tomaron las muestras y se procedió a aplicar el método de análisis mecánico propuesto por la organización mundial ASTM por triplicado; el mismo que consiste en hacer pasar la muestra a través de mallas o tamices con numeración establecida usando agitación mecánica (ver Figura 19), para determinar el porcentaje de distribución de tamaño de partículas retenida en cada una de los tamices.

Los resultados de la prueba se grafican junto con los límites que especifican los porcentajes aceptables para cada tamaño, a fin de verificar si la distribución de tamaños es adecuada. En la norma de la ASTM C 33 se estipulan los requisitos que permiten una relativa amplitud de variación en la granulometría del agregado

PROCEDIMIENTO

1. Tomar las muestras.
2. Pesar la cantidad necesaria de muestra.
3. Acoplar los tamices en forma manual en el aparato mecánico (vibrador) por un periodo suficiente, hasta que no más del 1% en peso del retenido en el tamiz pase por este en un minuto de cribado manual continuo.
4. Efectuar cálculos y gráficas.
5. Comparar resultados con las especificaciones.



Figura 19. Máquina Granulométrica

Tabla 13.
Retención de arena en cada malla

U.S.A STANDARD TESTING SIEVE	ABERTURA DE MALLA EN MILLÍMETROS	TIPO DE ARENA
16	1.190	ARENA MUY GRUESA
18	1.000	ARENA MUY GRUESA
45	0.350	ARENA GRUESA
60	0.250	ARENAS MEDIANAS
70	0.210	ARENAS FINAS
200	0.074	ARENAS MUY FINAS
270	0.053	ARENAS MUY FINAS
Fin	-----	-----

Nota: Cada imagen dentro de la tabla es la representación gráfica real de la retención de partícula en cada malla o Sieve posterior al análisis.

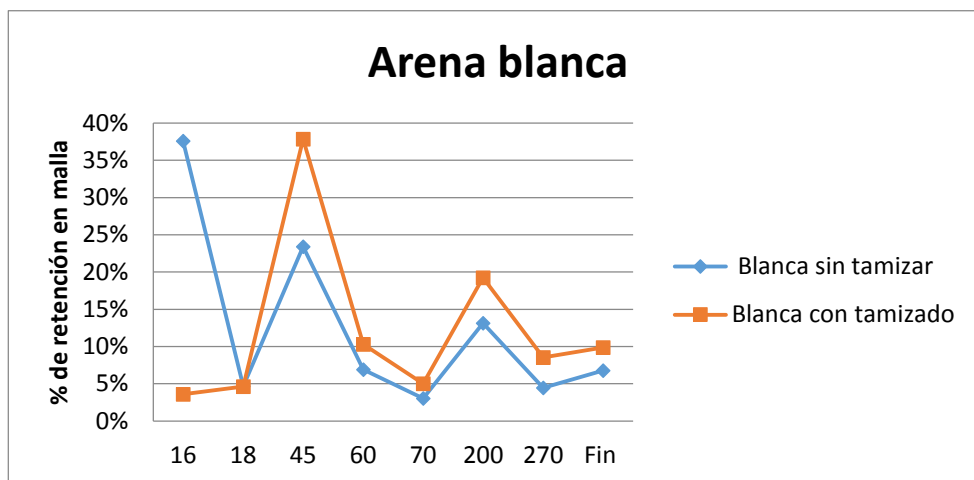


Figura 20. Grafica % de retención.

Tabla 14.
% de retención arena blanca sin cernir.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Muestra : ARENA BLANCA SIN CERNIR	
U.S.A STANDARD TESTING SIEVE	% (Retención)
16	37,61
18	4,65
45	23,40
60	6,92
70	3,02
200	13,14
270	4,47
Fin	6,79

Tabla 15.
% de retención arena blanca cernida

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Muestra : ARENA BLANCA CERNIDA	
U.S.A STANDARD TESTING SIEVE	% (Retención)
16	3,59
18	5,62
45	37,85
60	10,29
70	5,01
200	19,23
270	8,53
Fin	9,88

De acuerdo a los datos y como se observa en la figura 20 extracto de las tablas 13 y 14 se determina que la arena blanca sin tamizar presenta un 42,26 % de tamaño de partículas entre 1.00 a 1.190 milímetros de retención en malla Sieve 16 y 18 (muy gruesa) y que luego del tamizado se logra un 90.79% de arena útil para el proceso.

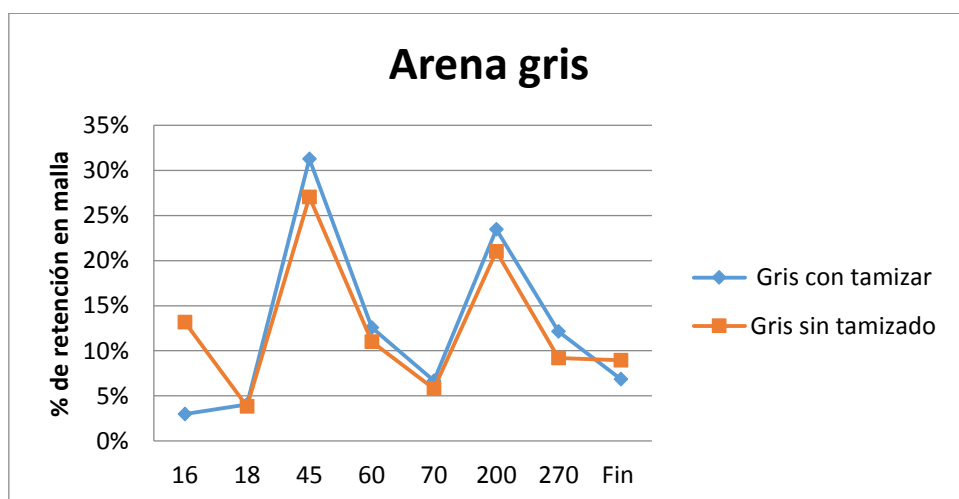


Figura 21. Grafica & de retención

Tabla 16.
% de retención arena gris sin cernir

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Muestra : ARENA GRIS SIN CERNIR	
U.S.A STANDARD TESTING SIEVE	% (Retención)
16	13,19
18	3,85
45	27,06
60	10,99
70	5,77
200	21,02
270	9,20
Fin	8,93

Tabla 17.
% de retención arena gris cernida

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Muestra : ARENA GRIS CERNIDA	
U.S.A STANDARD TESTING SIEVE	% (Retención)
16	2,99
18	4,04
45	31,28
60	12,57
70	6,68
200	23,46
270	12,13
Fin	6,85

De acuerdo a los datos y como se observa en la figura 21 extracto de las tablas 15 y 16 se determina que la arena gris sin tamizar presenta un 17.04 % de partículas entre 1.00 a 1.190 milímetros que se retienen en la malla Sieve 16 y 18 (muy gruesa) y que luego del tamizado se logra un 92.97% de arena útil para el proceso.

Por los datos obtenidos en el ensayo se concluye que la arena recomendada utilizar para el proceso de doblado es la arena gris la cual

cumple con las características de arena de sílice, ya que esta presenta mayor uniformidad en su granulometría antes y después del tamizado.

4.1.2 Mangueras de distribución de arena

Mediante el proceso de experimentación se llevó a cabo la correcta selección de las mangueras que cumplen la función de trasladar la arena del acumulador (tolva) a los diferentes tubos donde se verterá la arena.

El experimento consistió en una prueba de caída de arena con diferentes curvas y con dos tipos de mangueras, para facilidad de su selección, se estipulo un rango, el cual nos ayuda a determinar la mejor opción, teniendo en cuenta que el rango será del 1 al 10, siendo 10 el más óptimo y 1 el menos óptimo.

La primera selección fue una manguera corrugada, (figura 22), la cual en su flexibilidad se estipulo un 8 de acuerdo al rango estipulado.

Sin embargo al momento de acumular la arena, como se puede ver en la figura 23, esta no descendió. Obteniendo un 5 de acuerdo al rango estipulado.



Figura 22. Manguera utilizada en Experimento 1



Figura 23. Manguera utilizada en Experimento 1 – Resultado Negativos.

La segunda selección fue una manguera completamente lisa, se puede observar en la figura 24, sin embargo en el mercado este tipo de mangueras (lisas) poseen un espesor dentro de los tres a cuatro milímetros, lo que hace que esta manguera dentro de su rango de flexibilidad este en 3.

A pesar de esto esta segunda selección fue la más eficiente en cuanto a la fluidez de la caída de la arena, como nos muestra la figura 25 y 26, obteniendo un 8 dentro del rango estipulado.



Figura 24. Manguera utilizada en Experimento 2.



Figura 25. Experimento 2 – Acumulación de arena para verificación de su fluidez.



Figura 26. Manguera Experimento 2 – Resultado Positivos.

Por lo tanto la selección de la manguera óptima es una manguera flexible y completamente lisa.

4.1.3 Moto Vibrador

El moto vibrador es uno de los parámetros iniciales para el diseño de la máquina compactadora, ya que de este depende la correcta compactación de arena dentro de los tubos dobles.

Para la correcta selección de este se realizó la visita a la empresa EMPAC MACHINE, la cual es una empresa en la que construye máquinas industriales para el empaquetado de diferentes productos alimenticios. En ella pudimos constatar realizando pruebas con la arena gris y blanca, véase en la figura 27, que la utilización de este tipo de moto vibrador sería el más óptimo.

Se puede ver el video del experimento en la siguiente referencia:

Autor: Alejandro Plasencia

Nombre de usuario del autor: Alejandro Plasencia

Fecha de publicación: 11/09/2015

Título del video: Pruebas Moto Vibrador

Url del vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=UpAnKXyyQCw>



Figura 27. Pruebas en Empac Machine.

El moto vibrador que se adquirió tiene las siguientes especificaciones. (Ver tabla 17)

**Tabla 18.
Especificaciones Moto Vibrador**

Tipo	Moto Vibrador
Referencia	ZF-T2-200
Fuerza	0,25 HP
Voltaje	220/440 V
Fuerza Centrifuga	200 Kg

Fuente: (Inalred)

4.2 Diseño mecánico

4.2.1 Diseño tolva

Calculo de volumen de la tolva

Para calcular el volumen de la tolva se tomará en cuenta el volumen de arena de sílice que necesita para cada tubo para ser llenado, para esto se seleccionará el modelo de tubería con mayores dimensiones.

Como se puede observar, en la tabla 18, el modelo con mayores dimensiones tanto en diámetro externo y diámetro interno es el TK-7.

Tabla 19.

Dimensiones de tubería de diferentes modelos.

Modelo	Longitud	Diámetro externo	Espesor	Diámetro interno	Espesor
TK -7	750	38.1	1.5	22.2	1.5
TK 150	660	38.1	1.5	22.2	1.5
PRUSS 200	600	31.8	1.5	22.2	1.5
PASEO	580	25.4	1.5	19.1	1.5

En la figura 28 se puede apreciar un esquema del posicionamiento del tubo exterior e interior, las cuales están separados la arena de sílice.

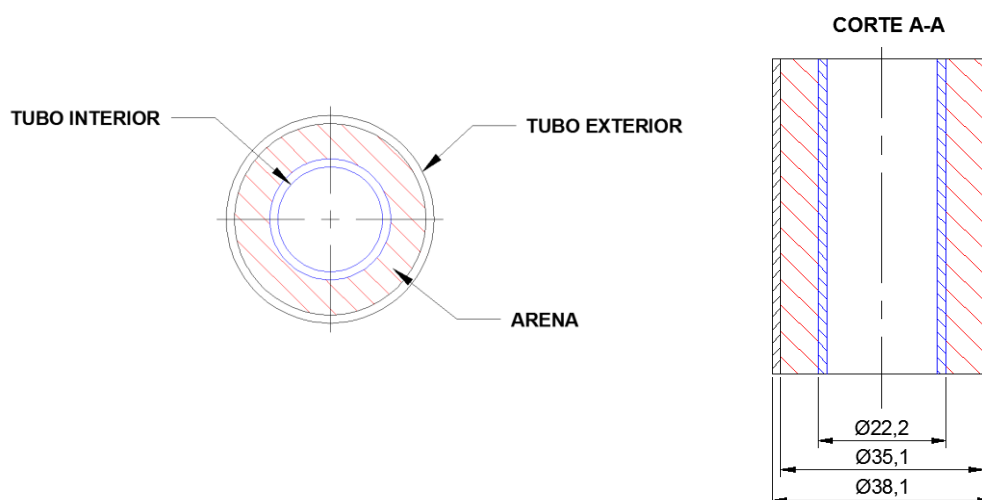


Figura 28. Esquema de tubería interior, exterior y arena

$$A1 = \pi(R^2 - r^2) \quad \text{Ec. 4.1 (Shigley \& Mischke, 2002)}$$

$$A1 = \pi(17,55^2 - 11,1^2)$$

$$A1 = 580,54 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Una vez calculada el área se podrá calcular el volumen de toda que se necesita para llenar el tubo modelo TK-7

$V_{\text{arena en un tubo}} = \text{Área de la sección} * \text{logitud del tubo}$ **Ec. 4.2** (Mott, 2006)

$$V_{\text{arena en un tubo}} = 580,54 \text{ [mm}^2\text{]} * 750 \text{ [mm]}$$

$$V_{\text{arena en un tubo}} = 435.407,07 \text{ [mm}^3\text{]} = 0,00043 \text{ [m}^3\text{]}$$

Como se prevé llenar un total de 49 tubos se podrá calcular el valor total mínimo de volumen para llenar todos estos tubos

$$V_{\text{total}} = 0,00043 \text{ [m}^3\text{]} * 49$$

$$V_{\text{total}} = 0,02107 \text{ [m}^3\text{]}$$

Una vez calculado el volumen mínimo se realiza un diseño de la tolva en un programa de CAD/CAE (Figura 29). Las dimensiones tentativas que se colocará son las siguientes 455 x 455 x 200 mm (ancho x profundidad x altura), en lo que respecta la base y para la pirámide truncada será las siguientes 381 x 381 x 30 mm.

El material seleccionado es una plancha de acero negro laminado de espesor de 2mm.

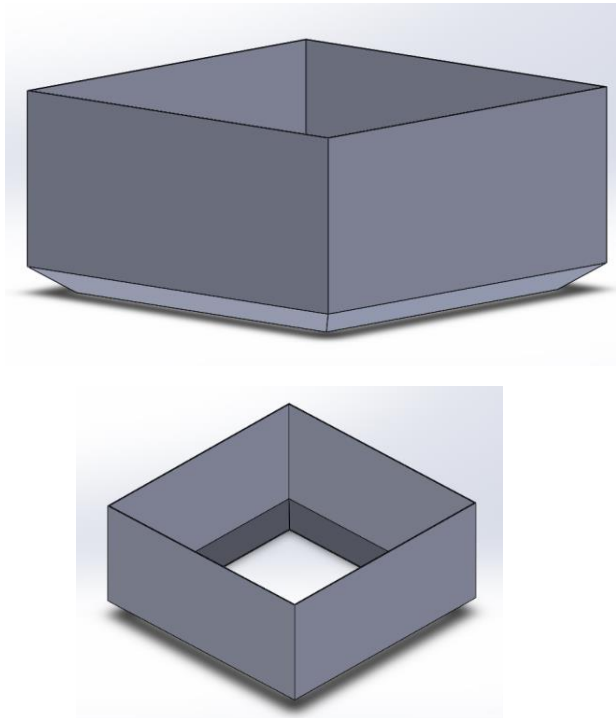


Figura 29. Tolva dibujada en programa CAD/CAE

El cálculo del volumen de la tolva realizará en dos partes como se indica en la figura 30.

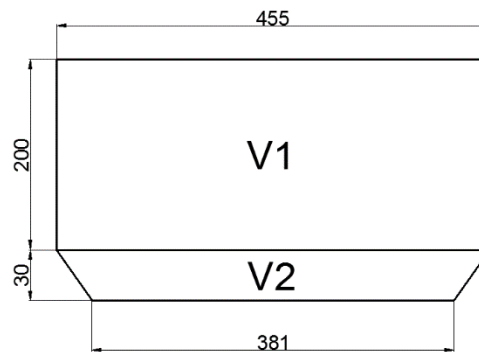


Figura 30. Esquema de cálculo de volumen de tolva.

$$V_{tolva} = V_1 + V_2$$

En el cálculo del primer volumen V1 tenemos:

$$V_1 = \text{Área de base} * \text{altura} \quad \text{Ec. 4.3 (Norton, 1999)}$$

$$V_1 = (455 * 455) * 200$$

$$V_1 = 41'405.000 [mm^3]$$

$$V_1 = 0,04140 [m^3]$$

Para el cálculo del tronco de la tolva (V2) se lo realiza con la siguiente formula:

$$V_2 = \frac{h}{3} (B + b + \sqrt{B}\sqrt{b}) \quad \text{Ec. 4.4 (Norton, 1999)}$$

Donde:

h: Altura del tronco de la piramide

B: Área de la base mayor

b: Área de la base menor

$$V_2 = \frac{30}{3} [(455 * 455) + (381 * 381) + \sqrt{(455 * 455)}\sqrt{(381 * 381)}]$$

$$V_2 = \frac{30}{3} [(207025) + (145161) + \sqrt{(207025)}\sqrt{(145161)}]$$

$$V_2 = \frac{30}{3} [(352186) + 455 * 381]$$

$$V_2 = \frac{30}{3} [(352186) + 173355]$$

$$V_2 = 5'255.410 [mm^3]$$

$$V_2 = 0,00525 [m^3]$$

Por lo tanto, la capacidad de la tolva diseñada es:

$$V_{tolva} = 0,04140 + 0,00525 [m^3]$$

$$V_{tolva} = 0,04665 [m^3]$$

Realizando una comparación entre el volumen de la tolva y el volumen total se puede concluir que la tolva está llena un 43% para los 49 tubos que se requiere llenar, dando así una tolerancia bastante alta si se coloca un exceso de arena de sílice.

$$V_{tolva} > V_{total}$$

$$0,04665 [m^3] > 0,02107 [m^3]$$

Una vez verificado el volumen que va contener la tolva se calcula el peso que genera la arena de sílice.

$$\delta = \frac{M}{V} \quad \text{Ec. 4.5 (Norton, 1999)}$$

$$1500 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] = \frac{M}{0,02107 [m^3]}$$

$$M = 31,605 [Kg]$$

El peso mínimo que se necesita para llenar la totalidad de los tubos.

$$P_{min} = m * g \quad \text{Ec. 4.6 (Norton, 1999)}$$

$$P_{min} = 31,605 [Kg] * 9,81 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$P_{min} = 310,04 [N]$$

Simulación de tolva

Una vez conociendo la fuerza que ejerce el peso, se procede a realizar el análisis por simulación y verificar si la tolva puede fallar. En la tabla 19 se indica las características y propiedades de la pieza

Dibujando se aplica la fuerza calculada y se observa el comportamiento de la tolva y sus diferentes resultados (ver tablas 20 y 21):

Tabla 20.
Características físicas de la tolva

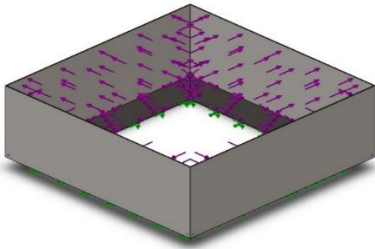
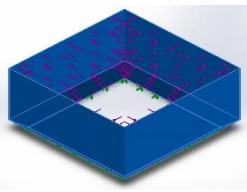
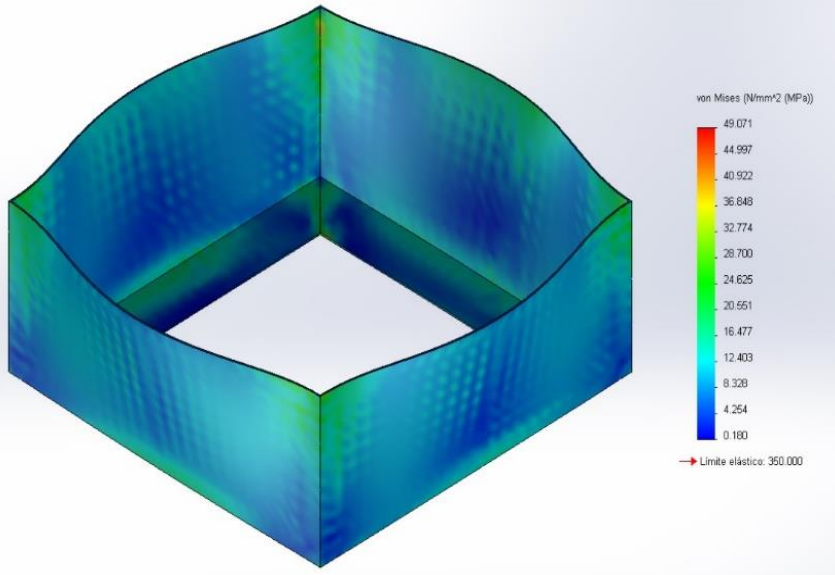
			
Nombre del modelo: Tolva			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Propiedades
	Sólido	Masa: 7.02357 kg Volumen: 0.000892 448 m ³ Densidad: 7870 kg/m ³ Peso: 68.8309 N	Nombre: AISI 1020 Acero laminado en frío Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal. Límite elástico: 350 N/mm ² Límite de tracción: 420 N/mm ²

Tabla 21.
Resultado del estudio de tensiones de la tolva

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	0,179961 N/mm ² (MPa) Nodo: 8138	49,0707 N/mm ² (MPa) Nodo: 1853



Como se puede observar en la tabla 20, se tiene que el esfuerzo máximo es de 49,07 MPa, por lo tanto se podrá calcular su factor de seguridad

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{350}{49,7} = 7,14 \quad \text{Ec. 4.7 (Mott, 2006)}$$

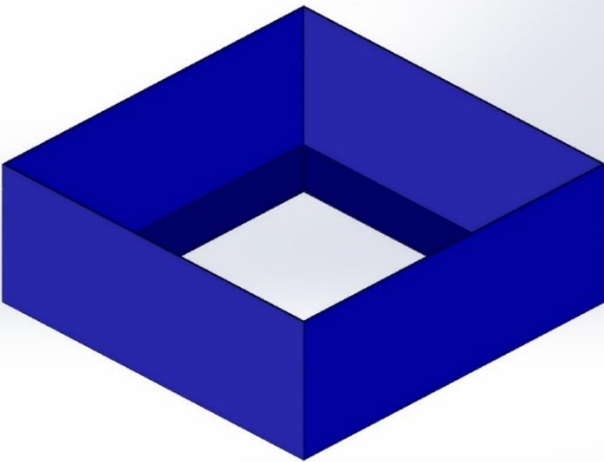
Se observa el factor mínimo de seguridad es igual a 7,14, el cual es mayor a 2, por lo tanto la tolva resiste el peso acumulado de la arena de sílice y se justifican todas sus dimensiones.

En la Tabla 21, se observa que en el material resiste el esfuerzo aplicado y no existen puntos críticos de falla del material.

Tabla 22.

Resultado del estudio de factor de seguridad en la tolva.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	7.13256 Nodo: 1853	1944.87 Nodo: 8138



Diseño de soldadura en la tolva

Para la unión entre la tolva y la plancha de distribución, se lo realiza por medio de cordones de soldadura alrededor de ambas partes (ver Figura 31). Es importante determinar si el cordón (garganta de soldadura) de soldadura a realizar podrá soportar la carga generada por las partes y la arena de sílice.

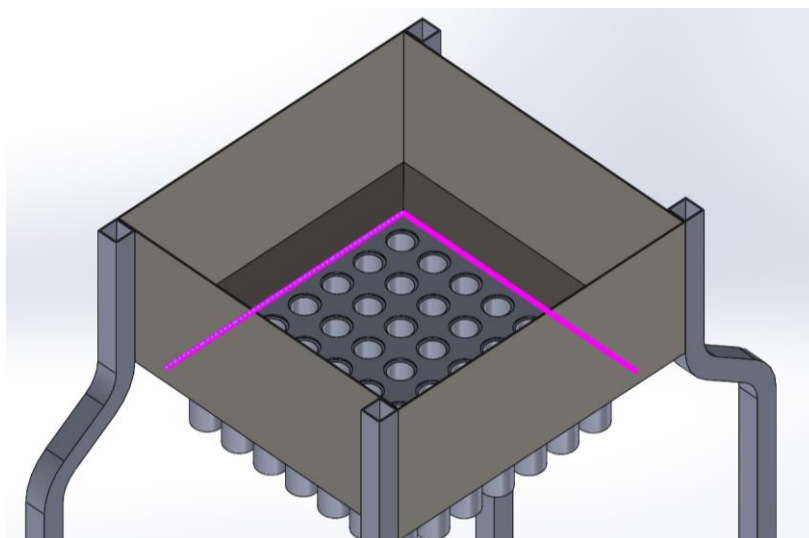


Figura 31. Esquema de unión soldadura de tolva y plancha de distribución

$$\text{Área de suelda} = l * h * 0.701 \quad \text{Ec. 4.8 (Mott, 2006)}$$

Donde:

l: Longitud de soldadura

h: Garganta de soldadura

$$\text{Área de suelda} = 379 \text{ [mm]} * 2 \text{ [mm]} * 0.701$$

$$\text{Área de suelda} = 535.91 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Al ser dos materiales diferentes se toma los valores de resistencia del material base más débil. Las propiedades del material a soldar suministradas por el proveedor son las siguientes:

- **Resistencia a la tensión** $S_u = 320$ [Mpa]
- **Resistencia a la fluencia** $S_y = 180$ [Mpa]

Para la unión de las dos partes se utilizará una soldadura GMAW, debido a que son placas delgadas y además nos proporciona una buena apariencia. La selección los valores del material antes descrito para los cálculos correspondientes (ver Tabla 22).

Tabla 23.
Factores para el cálculo de la resistencia a la fatiga

Constante de efecto superficial- maquinado (Tabla 23)	$ka = aSu^b$ $a = 4.51$ y $b = -0.265$ $ka = 4.51(320)^{-0.265}$ $ka = 0.978$
Factor de tamaño	$kb = 1$ (para un esfuerzo cortante uniforme sobre la garganta)
Factor de temperatura	$kc = 0.59$ (torsión y cortante)
Límite de resistencia a la fatiga	$Se' = 0.5Su = 0.5(320)$ $Se' = 160$ MPa
Factor de confiabilidad	$kconf = 0.75$

Tabla 24.
Factor de efecto superficial – maquinado (Ka)

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

Fuente. (Shigley & Mischke, 2002)

Con los datos de la tabla 22 se obtiene la resistencia a la fatiga.

$$Se = Se' * ka * kb * kc * kconf \quad \text{Ec. 4.9 (Mott, 2006)}$$

$$Se = 160 * 0.978 * 1 * 0.59 * 0.75$$

$$Se = 92.31 \text{ MPa}$$

La carga que soporta los cordones de soldadura es el peso total que se necesita para llenar los 49 tubos y además se suma un peso de sobrecarga de operación por seguridad.

$$P \text{ total} = P_{min} + P_{sobrecarga}$$

$$P \text{ total} = 310,04 [N] + 200[N]$$

$$P \text{ total} = 510,04 [N]$$

Al ser una carga estática el peso de la arena de sílice su esfuerzo alternante y medio se calcula de la siguiente forma:

$$\tau_a = \tau_m = \frac{K_f * F}{A} = \frac{K_f * P \text{ total}}{A \text{ de suelda}} \quad \text{Ec. 4.10 (Mott, 2006)}$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{2 * 510.04}{535.9}$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{2 * 510.04[N]}{535.9[mm^2]}$$

$$\tau_a = \tau_m = 1.903 [MPa]$$

Con el criterio de falla por fatiga por esfuerzos cortantes de Gerber se calcula el factor de seguridad:

$$FS = \frac{1}{2} \left(\frac{0.67 S_u}{\tau_m} \right)^2 \left(\frac{\tau_a}{Se} \right) \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 \tau_m * Se}{0.067 S_u * \tau_a} \right)^2} \right] \quad \text{Ec. 4.11 (Mott, 2006)}$$

$$FS = \frac{1}{2} \left[\frac{0.67 * 1.903}{1.903} \right]^2 \left(\frac{1.903}{92.31} \right) \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 * 1.903 * 92.31}{0.067 S_u * 1.903} \right)^2} \right]$$

$$FS = 41.8$$

Se concluye que el cordón de soldadura resiste la carga generada por el peso de la arena.

4.2.2 Diseño estructura

En el diseño de la estructura se realiza una simulación tomando en cuenta las longitudes de los tubos y la ergonomía para este proceso de trabajo al momento de colocar la arena de sílice en la tolva (ver Figura 32).

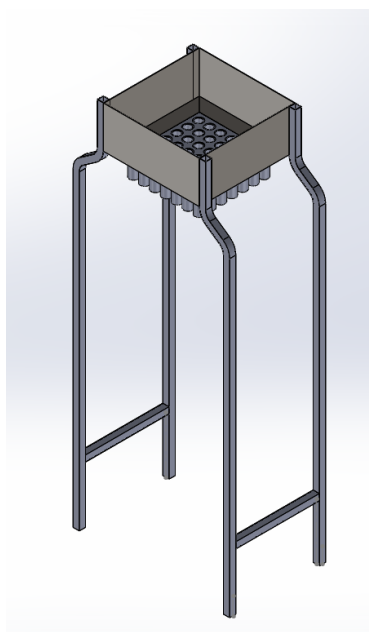


Figura 32. Estructura metálica simulada en un programa CAD/CAE

Para el cálculo nos ayudamos con el tema de columnas (ver Figura 33) y así poder determinar si el perfil seleccionado puede soportar el peso generado por la arena de sílice y la tolva.

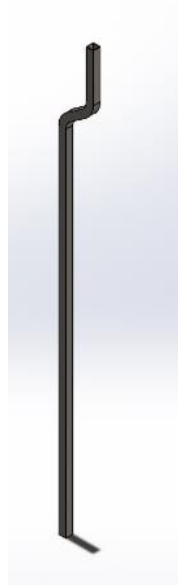


Figura 33. Perfil de estructura

Se inicia calculando la longitud efectiva, para lo cual el factor de K que se utilizara será el de Empotrada-libre, por sus características similares de fijación de un extremo. Para la simulación se determinó, que la distancia adecuada de la longitud de los perfiles será de 1830mm.

$$Le = KL \quad \text{Ec. 4.12 (Mott, 2006)}$$

$$Le = 2 * 1830 \text{ [mm]}$$

$$Le = 3660 \text{ [mm]}$$

Una vez determinada la longitud efectiva se calculó el radio de giro. Para el desarrollo de esta fórmula se necesitó determinar la forma y dimensiones del perfil, el cual se seleccionó un perfil comercial de 30 x 30 x 2 mm.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{Ec. 4.13 (Mott, 2006)}$$

Donde

I = El momento de inercia I de la sección transversal

A = El área de la sección transversal

El momento y el área del perfil cuadrado se lo encuentra en las características mecánicas de del catálogo del proveedor del perfil.

$$r = \sqrt{\frac{2.71[\text{cm}^4]}{2.14[\text{cm}^2]}} \quad \text{Ec. 4.14 (Mott, 2006)}$$

$$r = 1.1253 [\text{cm}] = 11.25 [\text{mm}]$$

Para conocer el método de análisis se determina la relación de esbeltez.

$$\text{relación de esbeltez} = \frac{Le}{r} \quad \text{Ec. 4.15 (Mott, 2006)}$$

$$\text{relación de esbeltez} = \frac{3660 [\text{mm}]}{11.25 [\text{mm}]}$$

$$\text{relación de esbeltez} = 325.33$$

Una vez determinado se calcula la relación de esbeltez de transición (constante de la columna) para poder determinar el tipo de método de análisis de columnas cortas o largas.

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Sy}} \quad \text{Ec. 4.16 (Mott, 2006)}$$

Donde

Cc = Relación de esbeltez de transición (constante de la columna).

E = Módulo de elasticidad del material de la columna.

Sy = Resistencia de fluencia del material ASTM A 500. $Sy = 268 [\text{Mpa}]$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Sy}}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2(207 * 10^9 [\text{Pa}])}{268 * 10^6}}$$

$$Cc = 123$$

Una vez determinado la constante de la columna se la comparará con la relación de esbeltez para verificar el tipo de procedimiento de análisis de columnas.

$$\frac{KL}{r} > Cc \quad \text{Ec. 4.17 (Mott, 2006)}$$

$$325.33 > 123$$

En este caso, se tiene que la relación de esbeltez es mayor que la constante de la columna por lo tanto se utiliza la fórmula de Euler para conocer cuál es la carga crítica en el perfil.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 (207 \cdot 10^9 [Pa]) \cdot (21.4 [mm^2])}{(325.33)^2} \quad \text{Ec. 4.18 (Mott, 2006)}$$

$$P_{cr} = 413' 081 397 N$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 (207 \cdot 10^9 [Pa])}{(325.33)^2}$$

$$\sigma_{cr} = 19'302 869 [Pa]$$

$$\sigma_{cr} = 19,30 [MPa]$$

El cálculo del esfuerzo admisible se lo realiza con el peso total distribuido en los cuatro perfiles, lo que no da un valor igual a:

$$\sigma_{adm} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 4.19 (Mott, 2006)}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\frac{510}{4} [N]}{2,14 [cm^2]} = \frac{127 [N]}{214 [mm^2]} = 0.59 Mpa$$

Por lo tanto el factor de seguridad es:



$$FS = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{adm}} \quad \text{Ec. 4.20 (Mott, 2006)}$$

$$FS = \frac{19.30}{0.59} = 32$$

Simulación de perfil de estructura

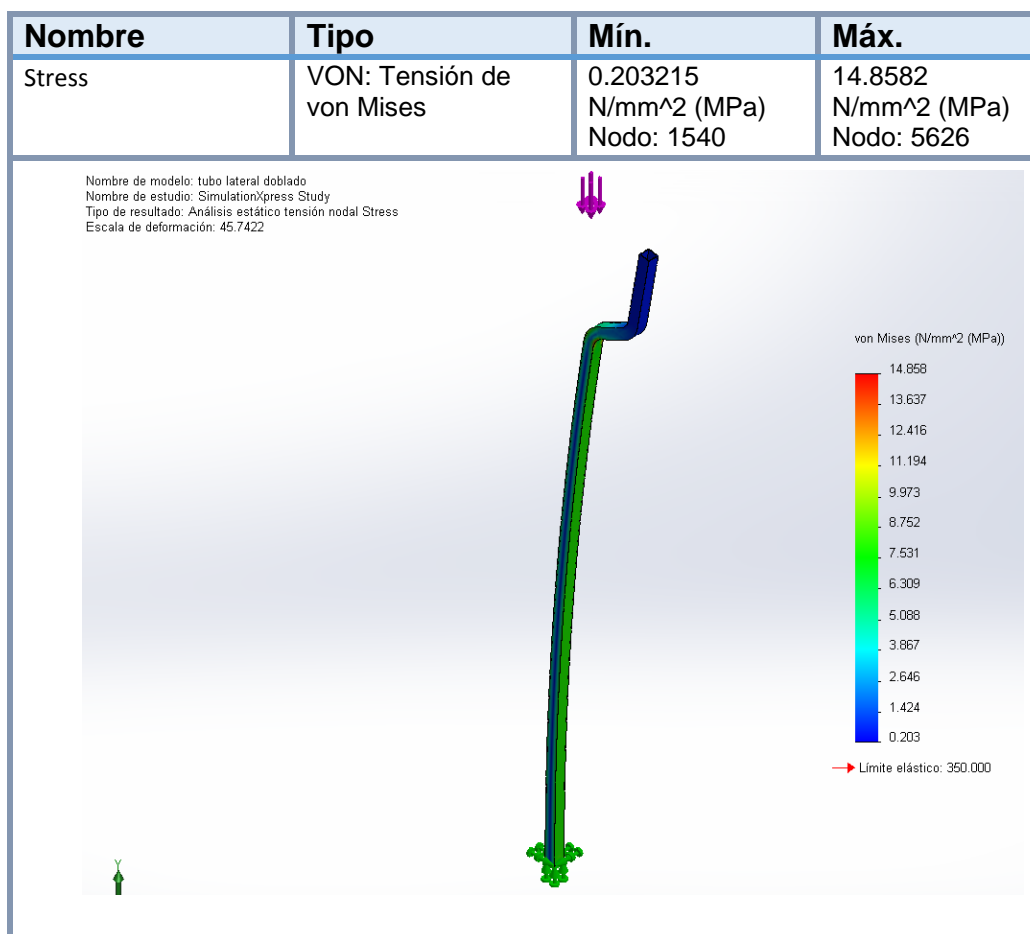
Una vez calculado de forma teórica el factor de seguridad de los perfiles de la estructura se realiza una simulación. (Ver Tabla 24).

Tabla 25
Características físicas del perfil de la estructura.

 <p>Nombre del modelo: tubo lateral doblado</p>			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Propiedades
	Sólido	Masa: 3.31443 kg Volumen: 0.000421147 m ³ Densidad: 7870 kg/m ³ Peso: 32.4814 N	Nombre: ASTM A 500 A Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal. Límite elástico: 268 N/mm ² Límite de tracción: 310 N/mm ²

Dibujado se aplica la fuerza del peso total dividido para el número de perfiles que soportan el peso, que en este caso con de 4 unidades. Se observa el comportamiento de la tolva con los diferentes resultados (ver Tabla 25):

Tabla 26.
Resultado del estudio de tensiones del perfil de la estructura.



En la Tabla 25 se tiene que el esfuerzo máximo simulado en el programa CAD/CAE es de 14,85 MPa, por lo tanto se podrá calcular su factor de seguridad

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{350}{14.85} = 25 \quad \text{Ec. 4.21 (Mott, 2006)}$$

Como se observa el factor mínimo de seguridad es igual a 25 el cual es mayor a 2, por lo tanto los perfiles de la estructura no falla por pandeo por tanto todas sus dimensiones están justificadas.

4.2.3 Mesa de vibración (simulación)

Para realizar la simulación de la mesa de vibración se realiza el análisis en el elemento donde se concentra la mayoría de fuerzas externas de la mesa.

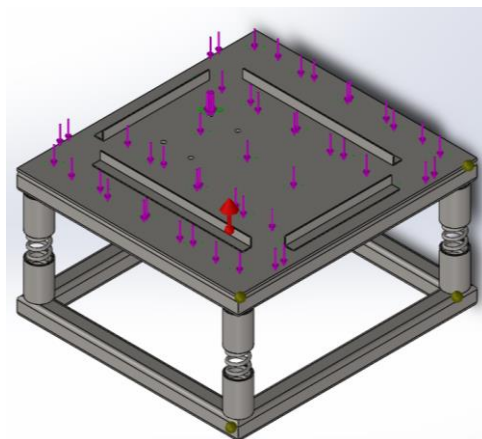


Figura 34. Mesa de Vibración

En la figura 34 indica, las fuerzas, los pesos de la tubería, peso total de arena colocado en la cada tubería y el peso de las gavetas incluido sus accesorios se concentra en la parte superior de la mesa.

Para el cálculo de los pesos antes mencionados se los detalla a continuación.

Peso de la tubería, al ser un total de 49 tubos dispuesto en la mesa se calcula el peso generado por todos ellos, el peso de tubería por metro es de 1.68 Kg/m, al tener un longitud máxima de 750mm obtendremos que el peso por cada tubo es de 1.26 Kg y al ser 49 tubo tendremos un peso total 61.74 kg. Al transformar a Newton se obtiene un total de 605.05 N

Peso de arena de sílice en tubería, este peso se calculó anteriormente en el diseño de la tolva teniendo así un peso de 310.04 N.

Peso de gaveta y accesorios, para el cálculo de los pesos generados de la gaveta y sus accesorios se utiliza una simulación realizada en el programa

de CAD/CAE en donde nos indica que el peso total es de 2570 gr. Al transformar a Newton se obtiene un total de 25.2 N (ver Figura 35)

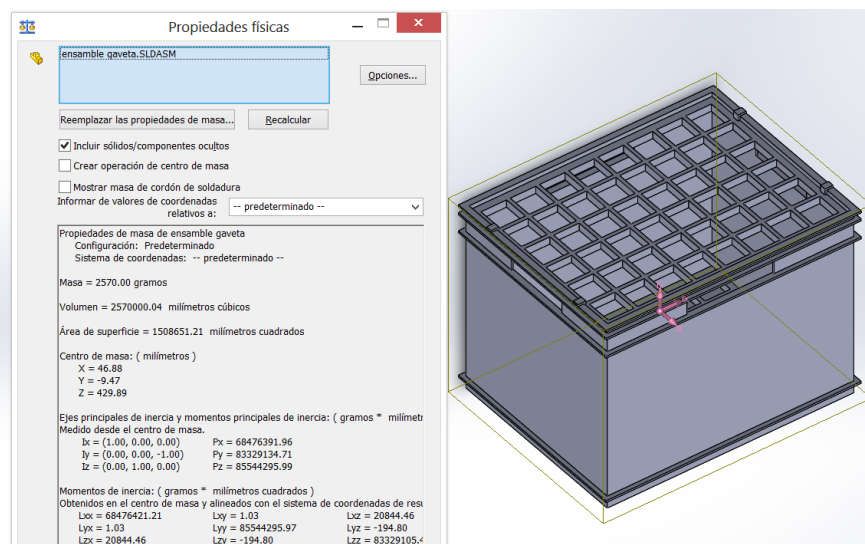
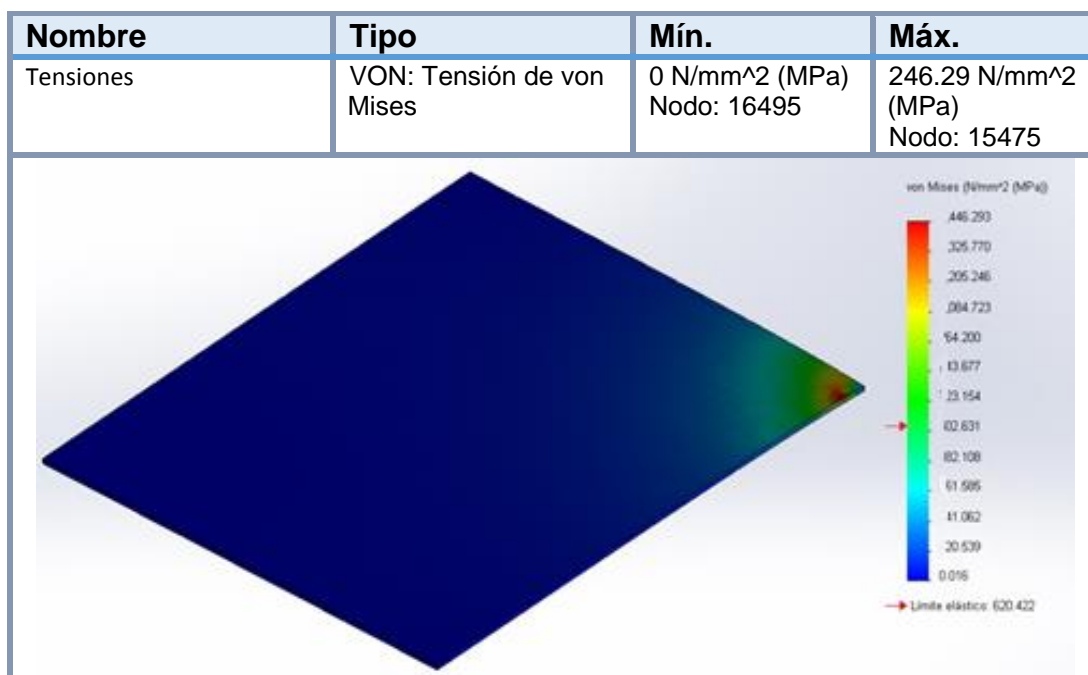


Figura 35. Peso de gaveta y accesorios

Por lo tanto la carga o peso total que soportará la mesa será de 940.29 N. Una vez determinado la fuerza que soportara la placa de la mesa de vibración se procederá a realizar el estudio de tensiones (ver Tabla 27).

Tabla 27.
Resultado de estudio de tensiones de placa de masa de vibración.



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.

En la tabla 26 se tiene que el esfuerzo máximo simulado en el programa CAD/CAE es de 14,85 MPa, por lo tanto se podrá calcular su factor de seguridad

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{620}{246} = 2.5 \quad \text{Ec. 4.22 (Mott, 2006)}$$

Como se observa el factor mínimo de seguridad es igual a 2.5 el cual es mayor a 2, por lo tanto la placa de la estructura no fallará por tanto todas sus dimensiones están justificadas.

4.2.4 Cálculo de resortes

Para el cálculo de resortes helicoidales a compresión (ver Figura 36) que soporta el peso y la vibración efectuada por la mesa, se considera algunas variables para el diseño.

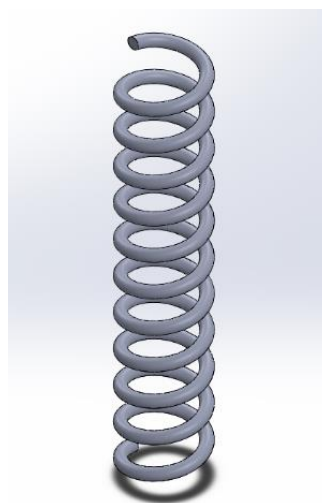


Figura 36. Resorte helicoidal

El material comercial y recomendado por los fabricantes de resortes es el acero ASTM-A31 el cual tiene un valor de $G=11\ 200\ 00$ [psi].

Las fuerzas que actúan en los resortes es el siguiente:

Fuerza instalada, que es la fuerza de la mesa y la gaveta sin las tuberías

$$F_i = P_{\text{mesa}} + P_{\text{gaveta}} \quad \text{Ec. 4.23 (Mott, 2006)}$$

$$F_i = (2.29 \text{ [kg]} + 25.2 \text{ [kg]}) * 9.81$$

$$F_i = 47.67 \text{ [N]}$$

Fuerza de operación, que es el peso de la tubería rellena de arena de sílice.

$$F_o = P_{\text{tubos}} + P_{\text{arena}} \quad \text{Ec. 4.24 (Mott, 2006)}$$

$$F_o = 605.05 \text{ [kg]} + 310.04 \text{ [kg]}$$

$$F_o = 915.09 \text{ [N]}$$

Las longitudes que se deben comprimir se asumen en la simulación las cuales son las siguientes:

Longitud instalada: $L_i = 170 \text{ [mm]}$

Longitud de operación: $L_o = 90 \text{ [mm]}$

Para el cálculo de la constante de resorte se emplea la siguiente formula:

$$k = \frac{F_o - F_i}{L_i - L_o} = \frac{915.09 - 47.67}{170 - 90} = 12 \text{ [N/mm]} \quad \text{Ec. 4.25 (Mott, 2006)}$$

En el cálculo de longitud libre

$$L_f = L_i + \frac{F_i}{k} = 170 + \frac{47.67}{12} = 174 \quad \text{Ec. 4.26 (Mott, 2006)}$$

Se considera el que el diámetro medio (D_m) será menor al diámetro exterior (D_e) y mayor al diámetro interno (D_i). El diámetro medio es de 36mm.

Para el cálculo tentativo del diámetro se tomara en cuenta la siguiente formula:

$$Dw = \left[\frac{8 * k * Fo * Dm}{\pi * \tau} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 4.27 (Mott, 2006)}$$

$$Dw = \left[\frac{8 * 12 * 915.09 * 36}{\pi * 896} \right]^{1/3} = 10.39$$

Al no existir un diámetro de alambre de 10 se considera tomar un diámetro de 6mm.

$$Dw = 6 [mm]$$

Una vez calculado el diámetro del alambre calcularemos los valores del Índice de resorte (C) y factor de Wahl (K)

$$C = \frac{Dm}{Dw} = \frac{36}{6} = 6 \quad \text{Ec. 4.28 (Mott, 2006)}$$

Este ratifica que el diámetro de alambre es el adecuado, ya que es recomendable tener un valor de k mayor a 5, ya que si son menores, la formación de las espiras es complicada.

$$K = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \quad \text{Ec. 4.29 (Mott, 2006)}$$

$$K = \frac{4(6) - 1}{4(6) - 4} + \frac{0.615}{6} = 1.10$$

Una vez calculado estos factores se calcula el esfuerzo real debido a la fuerza de operación Fo con la siguiente ecuación:

$$\tau_o = \frac{8 * K * Fo * Dm}{\pi * Dw^3} \quad \text{Ec. 4.30 (Mott, 2006)}$$

$$\tau_o = \frac{8 * 1.10 * 915.09 * 36}{\pi * 6^3} = 427 [Mpa]$$

Al comparar con el esfuerzo de diseño que para servicio promedio será de 723 [Mpa], se determina que es seguro (ver Figura 37).

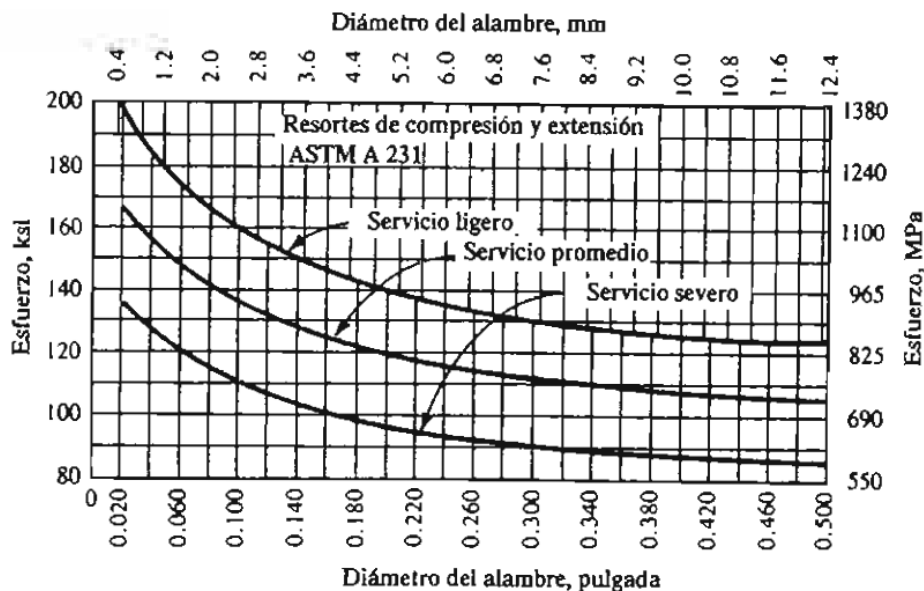


Figura 37. Esfuerzos cortantes de diseño

Fuente: (Mott, 2006)

Para el cálculo total de espiras se lo realiza con la siguiente formula:

$$N = \frac{G \cdot D \cdot W}{8 \cdot k \cdot C^3} \quad \text{Ec. 4.31 (Mott, 2006)}$$

$$N = \frac{81000 \text{ [Mpa]} \cdot 6 \text{ [mm]}}{8 \cdot 12 \cdot 6^3} = 23.43$$

Se obtiene que el número total de espiras serán igual a 23.

Finalmente para finalizar se calcula el diámetro exterior e interior de las espiras para su fabricación

$$\text{Diámetro exterior: } D_e = D_m + D_w \quad \text{Ec. 4.32 (Mott, 2006)}$$

$$D_e = 36 \text{ [mm]} + 6 \text{ [mm]} = 42 \text{ [mm]}$$

$$\text{Diámetro Interior: } D_i = D_m - D_w \quad \text{Ec. 4.33 (Mott, 2006)}$$

$$D_i = 36[mm] - 6[mm] = 30[mm]$$

CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA

5.1 Documentación para la manufactura

La fabricación de cada uno de los elementos que conforman la máquina se llevó a cabo de acuerdo al diseño y los planos realizados, el procedimiento de manufactura para cada uno de sus elementos se detalla en el Anexo

5.2 Procesos de manufactura empleados en cada elemento fabricado

5.2.1 Tolva

La tolva cumple con la función de tanque de almacenamiento y de un recipiente de distribución. La construcción de esta, estuvo distribuida en dos etapas, siendo la primera la más importante (ver Figura 38), la cual es una placa de acero negro lamiando en frío de 2mm. Se cortó con una distribución simétrica de 49 orificios cuya medida es 38.1mm Una vez concluida, esta etapa se realizaron los cortes las láminas mediante guillotina y posteriormente se soldó tanto la forma de la tolva como las adaptadores donde se colocaran las mangueras.



Figura 38. Ensamble tolva.

5.2.2 Estructura

La estructura se realiza con tubos cuadrados como se determinó en el diseño, los cuales fueron cortados a una medida de 2000 mm en la sierra de banco, posteriormente se realiza un doblaje en la dobladora de tubos cuadrados con ángulos especificados en su lamina de fabricación (ver Anexo 1) y finalmente se soldó a la tolva pre-ensamblada. (Ver Figura 39)



Figura 39. Ensamblaje de estructura.

5.2.3 Mesa de vibración

La mesa de vibración está dividida en tres etapas. La primera etapa estuvo conformado por el corte de la de lámina superior. La segunda etapa se realiza

el corte de los tubos cuadrados, los cuales forman la estructura de la mesa superior e inferior, adicionalmente se corta cuatro tubos cilíndricos los cuales se soldaron a los cuatro extremos de la parte superior e inferior de la mesa.

La última etapa se coloca el moto vibrador y bajo la placa superior de la mesa con pernos y para finalizar se colocan los resortes helicoidales calculados en el diseño mecánico. (Ver tabla 41)

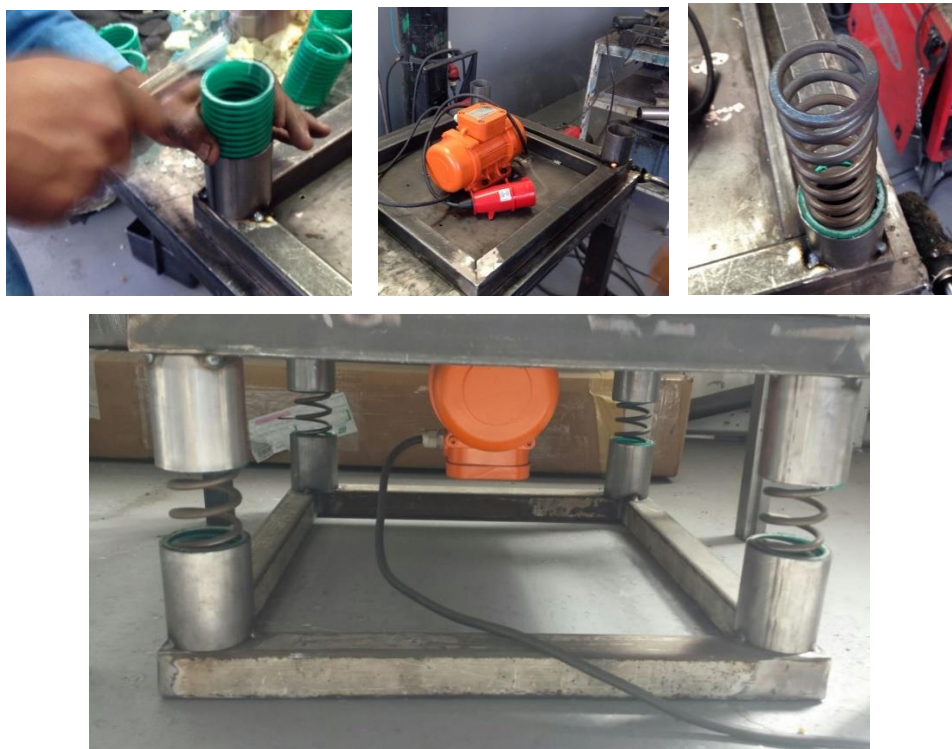


Figura 40. Ensamble de la mesa de vibración

5.3 Pruebas de funcionamiento

Una vez ensamblada la máquina compactadora se realiza pruebas de desempeño para validar los resultados del compactado en cada uno de los tubos.

Procedimiento de pruebas de funcionamiento

- Verificar que todas las conexiones eléctricas (cables, toma corriente, etc.) se encuentren en buenas condiciones para evitar cualquier accidente.
- Encender la máquina para comprobar que todos los elementos se encuentre debidamente acoplados, además escuchar que no exista ruidos fuera de lo normal.
- Cabe recalcar que cuando la máquina se enciende por primera, presenta vibración moderadamente alta y esto es normal debido a que todos los elementos se están acoplando por primera vez.
- Realizar pruebas para el cálculo de potencia real, donde se puede observar el máximo de la capacidad del moto vibrador, para así verificar en cuanto a la capacidad por número de tubos establecidos por lote.
- Compactar tubos de la producción establecida por la orden de compra, en este caso tubos de 1". Realizar inspección visual de los tubos compactados.
- Toma de tiempos.

INSPECCIÓN VISUAL

Se realizó una inspección visual del tubo compactado teniendo en cuenta las características de calidad del cliente. Las características del cliente son:

- Compactación buena.

5.3.1 Análisis de resultados

TIEMPO TOTAL DE COMPACTADO

El mayor tiempo de compactado por unidad, es de 120 segundos, con lo cual se cumpliría la expectativa de que el tiempo máximo de compactado ya que la máquina está diseñada en compactar múltiples tubos, por lo tanto cumpliría los tiempos establecidos. (Ver Figura 41)



Figura 41. Tubos compactados.

INSPECCIÓN VISUAL

El tubo debe estar lleno de arena, casi a su límite, verificado que la arena este de una manera fija y dura. (Ver Figura 42)



Figura 42. Tubería posterior al llenado y compactado de arena

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

Para determinar los gastos efectuados en la máquina compactadora, se realiza un análisis de todos los costos tanto en el diseño, construcción y montaje. Al fin de realizar el análisis económico y financiero donde se verificará que el proyecto tenga el beneficio esperado en la empresa INDIMA S.A.

6.1 Análisis económico

En el análisis económico financiero se determina los costos tanto directos como indirectos del presente proyecto y posteriormente se realiza un análisis financiero.

Para los costos directos que son los costos que están directamente relacionados con el proceso de producción del equipo, se toma en cuenta los costos de los materiales, las piezas y/o partes adquiridas y las piezas fabricadas. (Ver tabla 27)

Tabla 28.
Costos de materiales directos

COSTOS DE MATERIALES					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	P. UNIT	P. TOTAL
PIEZAS O PARTES ADQUIRIDAS EN BUEN ESTADO					
1	MOTOVIBRADOR MVE 700/3	u	1	\$ 1434	\$ 1434
PIEZAS FABRICADAS					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	P. UNIT	P. TOTAL
2	Resortes helicoidales de compresión	U	4	\$ 18	\$ 72
ACCESORIOS					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	P. UNIT	P. TOTAL
3	Magueras de abastecimiento	M	23	\$ 20	\$ 460
4	Pernos avellanados M8 x 50mm	U	4	\$ 0.2	\$ 0.8
5	Tuercas M8	u	4	\$ 0.1	\$ 0.4
6	Enchufe polarizado	u	1	\$ 2.85	\$ 2.85
7	Cable sucre de 3 cables	m	5	\$ 2.5	\$ 12.5
8	Cable sucre de 4 cables	m	3	\$ 3	\$ 9
9	Interruptor 3 posiciones	u	1	\$ 15.36	\$ 15.36
TOTAL DE MATERIALES DIRECTOS					\$ 2006.91

En los costos de mano de obra directa (ver tabla 28), se especifica los profesionales que participaron en el ensamble y construcción de la máquina compactadora, siendo así un soldador y un electricista.

Tabla 29.
Costos de mano de obra

MANO DE OBRA DIRECTA				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Horas/ Hombre	COSTO UNITARIO USD/HH	COSTOS (USD)
1	Soldador	16	\$ 5.55	\$ 88.8

2	Electricista	16	\$ 4.31	\$ 68.96
TOTAL MANO DE OBRA				\$ 157.76

Para finalizar, se realizará la sumatorias de costos de materiales directos e indirectos para tener el total generados de Costos Directos de proyecto. (Ver tabla 29)

Tabla 30.
Total de costos directos

TOTAL COSTOS DIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	TOTALES
MATERIALES DIRECTOS	\$ 2006.91
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 157.76
TOTAL	\$ 2164.67

Para los costos de indirectos, se divide en tres tablas. La primera de los costos de materiales indirectos de fabricación (ver tabla 30), la segunda de los costos de mano de obra indirecta (ver tabla 31) y la tercera de gastos de fabricación (ver tabla 32).

Tabla 31.
Total de costos directos

MATERIALES INDIRECTOS DE FABRICACIÓN					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P. UNIT	P. TOTAL
1	Tubería cuadrado acero 30 x 30 x 2mm	M	8	\$ 2.5	\$ 20
2	Tubería cuadrado acero 40 x 40 x 2mm	M	5	\$ 2.5	\$ 12.5
3	Tubería acero negro 2"	M	2	\$ 6	\$ 12
4	Tubería acero negro 1 1/2"	M	2	\$ 5	\$ 10
5	Plancha A366 2mm	U	1	\$ 6	\$ 6
6	Plancha A366 5mm	U	1	\$ 8	\$ 8
TOTAL GASTOS FABRICACIÓN					\$ 60.5

Tabla 32.
Costos de mano de obra indirecta

MANO DE OBRA INDIRECTA				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	HH	COSTO UNITARIO USD/HH	P. TOTAL
1	Tesista	80	\$ 10	\$ 800
2	Director del proyecto	32	\$ 25	\$ 800
TOTAL MANO DE OBRA INDIRECTA				\$ 1,600.00

Tabla 33.
Gastos de fabricación

GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P. UNIT	P. TOTAL
1	Movilización y Transporte	-	-	\$300	\$300
2	Papelería y útiles	-	-	\$150	\$150
3	Teléfono e Internet	-	-	\$60	\$60
4	Energía eléctrica	KWh	3,000.00	\$0.1	\$300
5	Otros Gastos Indirectos	-	-	\$300	\$300
TOTAL GASTOS FABRICACIÓN					\$ 1110

Una vez finalizado el cálculo de las tres tablas mencionadas, se realizará la sumatoria de los totales de cada una de ellas para determinar el total generados de costos totales incurridos (Ver tabla 33) .

Tabla 34.
Total costos indirectos

OTAL COSTOS INDIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	TOTALES
GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	\$1110

MATERIALES INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	\$60.5
MANO DE OBRA INDIRECTA	\$1,170.50

6.1.3 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA COMPACTADORA

Finalizando se calcula el costo total de la máquina compactadora tomando en cuenta los costos que están directamente relacionados con el proceso de producción del equipo serán asumidos por INDIMA (Ver tabla 34).

Tabla 35.
Costo total asumido por INDIMA

COSTO TOTAL	
DESCRIPCIÓN	TOTALES
MATERIALES DIRECTOS	\$ 2,006.91
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 157.76
MATERIALES INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	\$ 60.5
TOTAL	\$ 2,225.17

6.2 Análisis financiero

Considerando el presente proyecto necesita una inversión inicial, se analiza por medio de indicadores como el VAN, TIR, TMAR, B/C la viabilidad de la implementación de esta máquina dentro del proceso productivo de INDIMA.

El indicador financiero TMAR es una medida de rentabilidad y representa la tasa de descuento que se utiliza para evaluar el proyecto. El cálculo del TMAR se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$TMAR = i + f + pr \quad \text{Ec. 6.1 (Horngren, 2007)}$$

Donde:

$i = 8\% = \text{Tasa de interés de bonos a largo plazo}$

$f = 3\% = \text{Tasa de riesgo (máx. 3\%)}$

$pr = 3.16\% = \text{Inflación de acuerdo a las estadísticas del banco central}$

$TMAR = (0.08 + 0.03 + 0.0316) * 100\%$

$TMAR = 14.16$

Es uno de los criterios utilizados para establecer la rentabilidad de un proyecto. Para esto se compara con la tasa de descuento (TMAR), si se verifica que el TIR es mayor, se determina que el proyecto es deseable, ya que el rendimiento del proyecto es mayor al requerido.

Comparando los valores obtenidos del TIR y TMAR, se concluye que el proyecto es rentable dado que tiene valor de 21% y 15% respectivamente (ver Tabla 35)

Valor actual neto (van). El valor actual neto es la diferencia entre los valores presentes en el flujo de caja y la inversión inicial. Por medio de este indicador se determina si el proyecto produce ganancias, si el VAN es positivo se recomienda aceptar el proyecto.

En la Tabla 35 en el cuadro de resultados, se determina que el valor es favorable, ya que tiene un valor 3837.6

Factor beneficio costo (b/c). La relación beneficio/costo es el resultado de dividir el valor actualizado de los ingresos entre el valor actual de los costos de inversión. Según el análisis, cuando el factor B/C es mayor que la unidad se dice que el proyecto es rentable (ver Tabla 35).

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Total de ingresos actualizados}}{\text{Total de costos de inversión}} \quad \text{Ec. 6.2 (Horngren, 2007)}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\$6062.81}{\$2525.17} = \$2.72$$

Del resultado obtenido se concluye que el proyecto es rentable, ya que por cada dólar invertido en el proyecto se obtiene una ganancia de \$2.72.

CAPÍTULO 7

7.1 CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio del proceso de llenado para tubos dobles, tomando en cuenta los diámetros, el tipo de tubería y las diferentes técnicas, determinando que el proceso requerido es de vibración por compactación debido a su facilidad al momento de realizar el proceso así como el tiempo empleado en el proceso.
- Los parámetros de diseño se determinaron basándose en las necesidades del proceso como las del cliente, tanto interno como externo, obteniendo una máquina cuyas características técnicas cumplen con lo establecido.
- Las condiciones para que el proceso se realice de manera efectiva, es la correcta selección de arena que mediante el estudio de granulometría se estableció usar arena de sílice, así como la cantidad necesaria de esta para el completo llenado del número establecido de tubos, otro parámetro importante es el tiempo en que la mesa de vibración realizará para culminar el proceso de compactado.
- Se realizó el diseño mecánico de la máquina compactadora basándose los parámetros seleccionados y los requerimientos de INDIMA, en cumplimiento con el presupuesto asignado para el presente proyecto.
- Para la fabricación de los elementos de la máquina se seleccionaron materiales que tengan un alto grado de maquinabilidad y que se encuentren fácilmente en el mercado.

- Los factores de seguridad obtenidos son mayores a 1.5, lo que nos indica que el elemento diseñado resistirá las cargas consideradas con cierto grado de incertidumbre.
- La simulación y análisis de los elementos de la máquina se realizó con los softwares CAD/CAE, mediante los cuales se verificó que los resultados obtenidos son satisfactorios.
- La construcción de la máquina se realizó conforme al diseño mecánico, basándose en los planos, diagramas de flujo y hojas de procesos de cada elemento, la selección y adquisición de los elementos mediante catálogo fue realizada de tal manera que éstos puedan ser acoplados a la máquina sin interferencia de ningún tipo.
- Para validar la máquina se realizó pruebas de funcionamiento en los diferentes diámetros de tubería en INDIMA S.A, donde el compactado cumplió con los requerimientos establecidos por el cliente.
- Mediante el análisis económico y financiero se logró determinar que el proyecto es rentable, ya que sus indicadores obtuvieron los siguientes resultados; VAN es positivo, TIR es de 21% y la relación beneficio/costo es 2.72.

7.2 RECOMENDACIONES

- Todo trabajo invertido en el diseño es un desperdicio si se ignora la manufacturabilidad. Se debe tomar en cuenta que los elementos seleccionados pueden manufacturarse de manera óptima y rentable.
- Para la construcción del equipo se seleccionó materiales de la empresa INDIMA S.A las cuales estaban en stock de producción, por lo tanto en

caso de falla, se pueda realizar el cambio o el reemplazo de manera rápida.

- Es necesario realizar mantenimiento periódico de los componentes y accesorios de la máquina especialmente del moto vibrador para así aumentar su vida útil.
- Es necesario verificar que todos los elementos mecánicos y eléctricos se encuentren a punto, y en buen estado.
- La primera vez que se enciende la máquina existirán vibraciones debido a que sus elementos se están acondicionando para la operación por lo que solo se deberá tomar medidas si el problema persiste.
- Analizar las ventajas económicas que se tendrá si se realiza la automatización de la máquina construida.

BIBLIOGRAFÍA

Inalred. (s.f.). *Especificacion Moto Vibrador*.

ALVARADO, C. (2002). Análisis numérico del proceso de conformado de tubos por flexión.

American Society for Testing and Materials. (2003).

Castillo, R. D. (2005). *La ingeniería de los Suelos*.

DOYLE. (1980). *Fundamentos del doblado de metales*.

Horngren, C. (2007). *Contabilidad de Costos*. México: Pearson educación.

INDIMA S.A. (2014). *Presentacion INDIMA Español 2014*. Quito.

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson educación.

Norton, R. (1999). *Diseño de máquinas*. México: Pearson Educación.

Riba, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalán.

Salesiana, L. U. (s.f.). *Estudio Granulometrico*.

Shigley, J., & Mischke, C. (2002). *Diseño en ingeniería mecánica* (Sexta ed.). México: Mc Graw-Hill.

Want, B. (2006, 12 s.f). *Home: Bending*. Obtenido de The Fabricator Web site: www.thefabricator.com