

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“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.”**

**PLASENCIA MÉNDEZ MANUEL ALEJANDRO**

**TUTOR: ING. CORTEZ, BYRON**

**SANGOLQUÍ, AGOSTO DEL 2016**



# CAPITULO 1

- **GENERALIDADES**



# DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Indima S.A. preocupada por la mejora continua y el cambio de matriz productiva impulsada por el gobierno, ha incursionado en el diseño y fabricación de un sistema de escape para motocicleta.

El diseño de un sistema de escape para motocicleta está compuesto por varios elementos, siendo el doblado uno de los más importantes. El cual previamente debe ser llenado y compactado mediante arena, ya que este tipo de tubería a utilizar, es tubería doble y al momento de doblar debe conservar sus características tanto en el tubo interno así como en el tubo externo.

Para optimizar la compactación de arena entre el tubo interior y el tubo exterior procederemos, mediante vibración a optimizar este proceso.



# OBJETIVOS

## GENERAL

- ▶ Diseñar y construir una máquina que optimice el doblado y ensamblaje de tubos dobles para los sistemas de escapes para motocicletas, para la empresa Indima S.A.

## 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.



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En la actualidad 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 49 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.

Este proyecto es rentable, dado que ayudará a mejorar los tiempos de producción suprimiendo los costos y tiempos de embarque, además del transporte que conlleva la subcontratación.



# CAPITULO 2

## • MARCO TEÓRICO

# DOBLADO

El doblado de tubos es un proceso complejo e implica retos especiales porque la pieza tiende a romperse o deformarse en el proceso de flexión. Sin importar la técnica, el mayor desafío al doblar tubería metálica está dado por 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 y elongación de la pared externa, y engrosamiento y acortado de la pared interna, como consecuencia hay una tendencia de aplanamiento del tubo en el doblez.

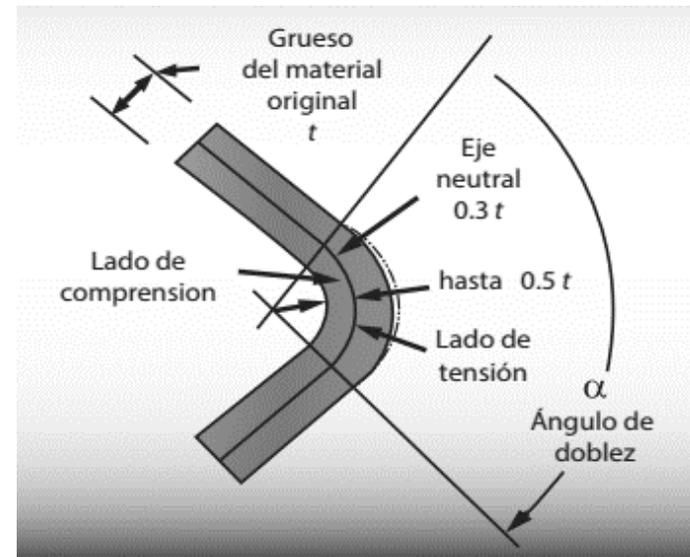
## Técnica de doblado

### Mediante Calentamiento

- Para evitar el punto de flexión del material.
- La soldadura del tubo al doblar debe estar en e radio de flexión.

### Mediante llenado

- Debe ser llenados con arena (seca).
- Solo se puede utilizar dispositivos de flexión para esta técnica.



Donde  $t$  es el espesor



# VIBRACION

## 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.

## Schaffner

- Entre mayor el tamaño de grano menor vibración o menor tamaño de grano mayor vibración.



# GRANULOMETRIA

## Concepto

- La granulometría es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes 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

## Procedimiento

- 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.



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.

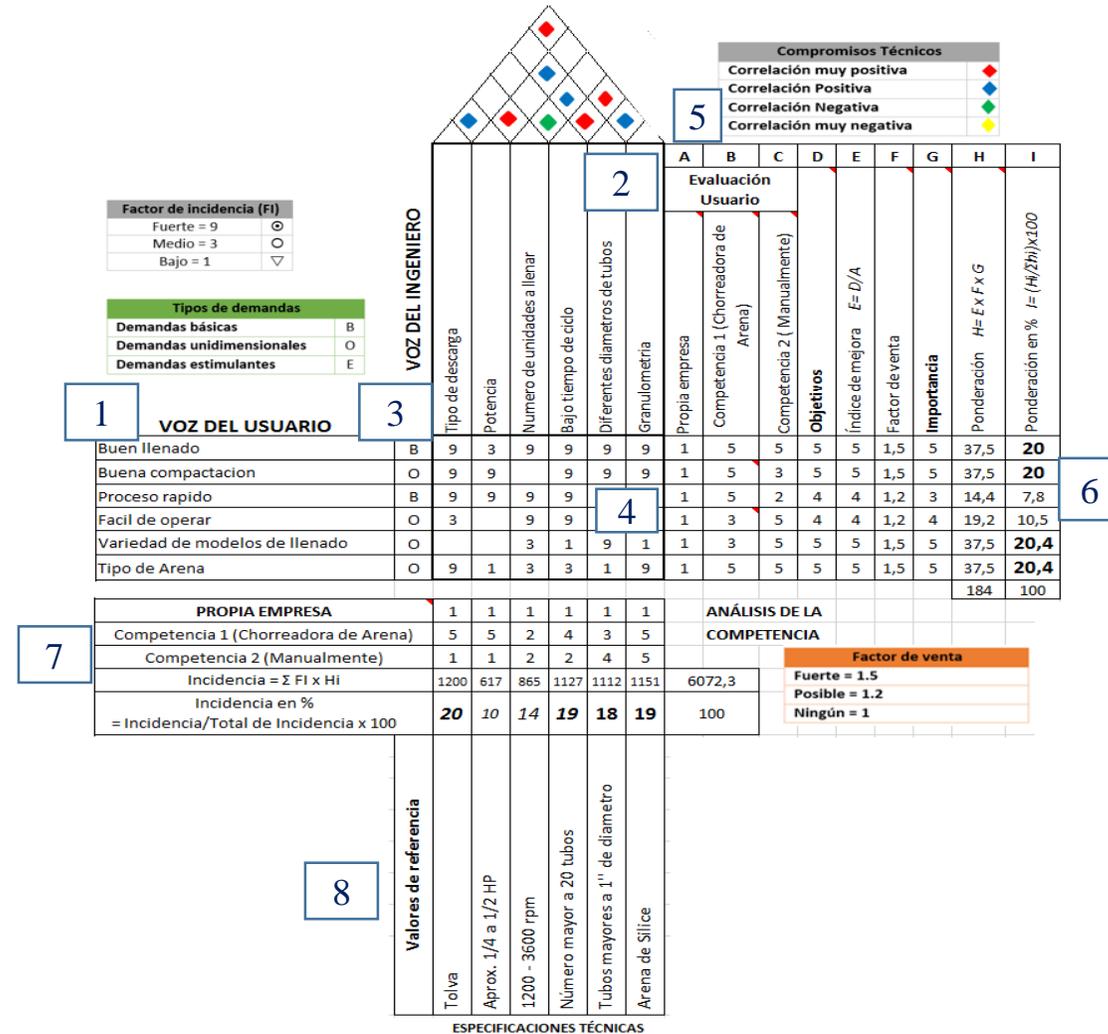


# CAPITULO 3

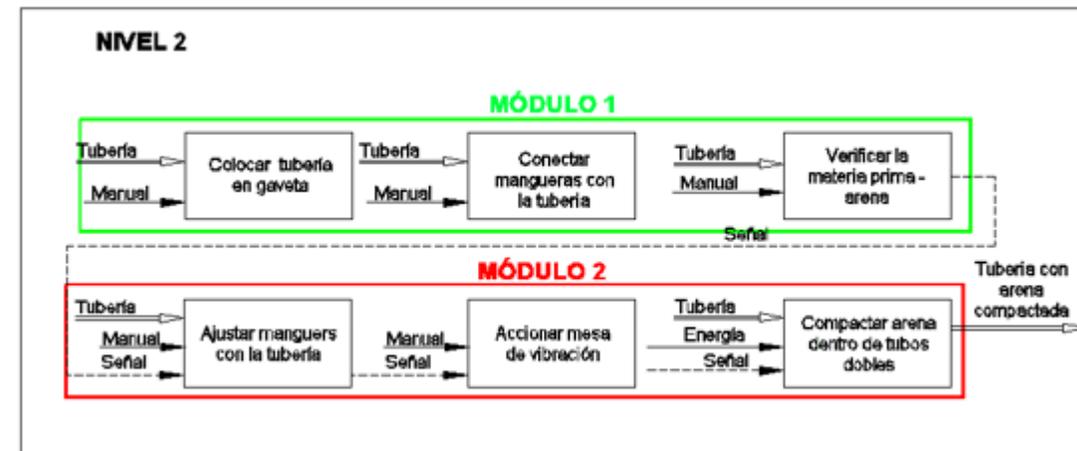
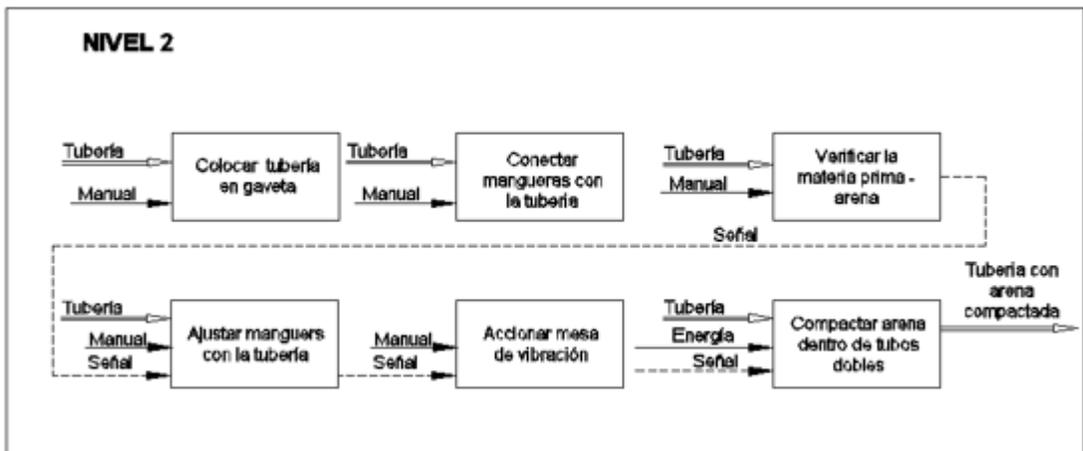
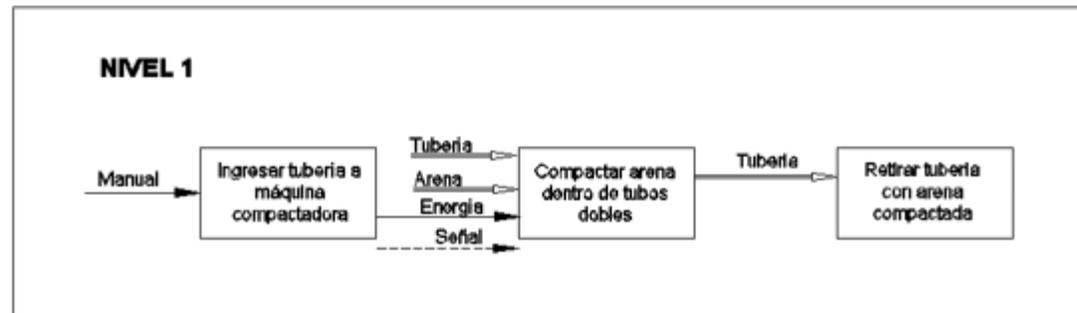
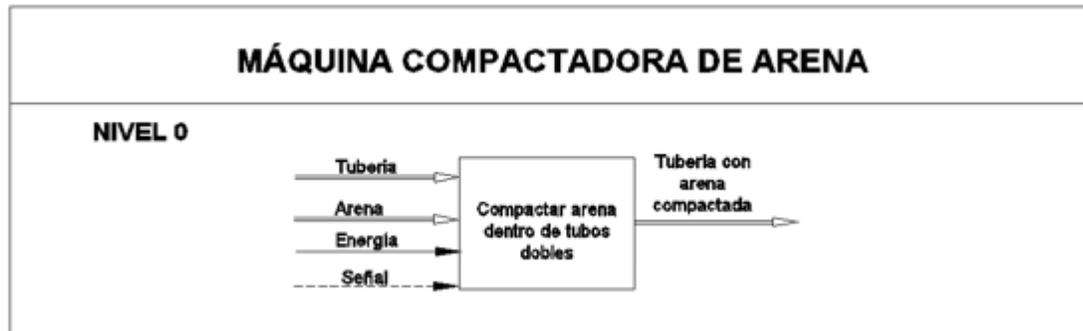
## • SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS



- Herramienta que traduce las demandas de los usuarios en requerimientos técnicos del producto
- Permite identificar de mejor forma las prioridades de los clientes y buscar cómo responder de forma innovadora a dichas necesidades.



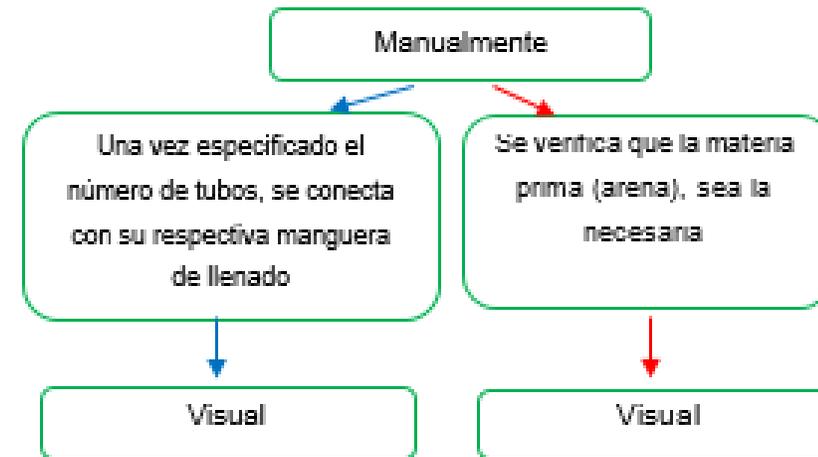
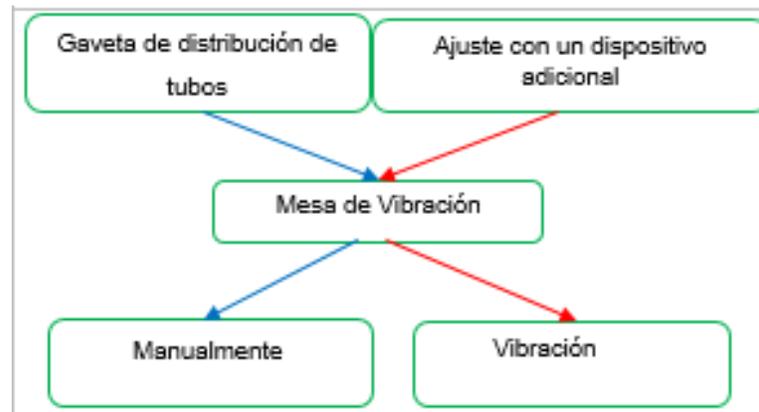
# ANÁLISIS FUNCIONAL



# DIVISIÓN MODULAR Y ALTERNATIVAS

## MÓDULO 1

Función de proporcionar la fijación del tubo que será moleteado a la máquina.



## MÓDULO 2

Función de transmitir el movimiento rotatorio de la máquina a la tubería



# EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

## ► MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS

### 1. Selección de criterios

1. Buena Compactación.
2. Fácil Montaje.
3. Mantenimiento.
4. Bajo Costo.

### 2. Ponderación de criterios

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



# EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

► MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS

3. Evaluación de soluciones

Solución B > Solución A				
Costo	Sol. A	Sol. B	$\Sigma +1$	Pond.
Solución A		0	1	0.333
Solución B	1		2	0.667
		<b>Suma</b>	3	1

4. Conclusión

Conclusión	Costo	Fácil ajuste	Disponibilidad	Mantenimiento	$\Sigma$	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>B &gt; A</b>						

MÓDULO 1



MÓDULO 2

Conclusión	Costo	Disponibilidad	Fácil operación	Fácil mantenimiento	$\Sigma$	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>B &gt; A</b>						



# CAPITULO 4

## DISEÑO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS



# SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

## SELECCIÓN DE ARENA

### GRANULOMETRIA

Se procedió a aplicar el método de análisis mecánico ASTM, el mismo que consiste en hacer pasar la muestra a través de mallas o tamices con numeración establecida usando agitación mecánica para determinar el porcentaje de distribución de tamaño de partículas retenida en cada una de los tamices.

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

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

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

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



# SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

## Capítulo 4: DISEÑO Y SELEC. DE ELEMENTOS

### SELECCIÓN DE MANGUERAS DE DISTRIBUCION DE ARENA

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.



**CORRUGADA**



**LISA**



# SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

## Capítulo 4: DISEÑO Y SELEC. DE ELEMENTOS

### SELECCIÓN DE 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.



PRUEBAS REALIZADAS CON EL TIPO DE ARENA SELECCIONADA EN LA EMPRESA EMPAC MACHINE.

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



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

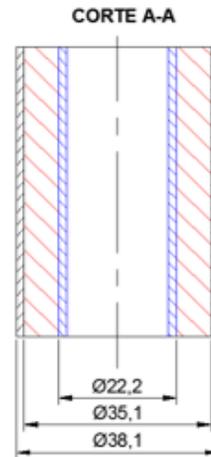
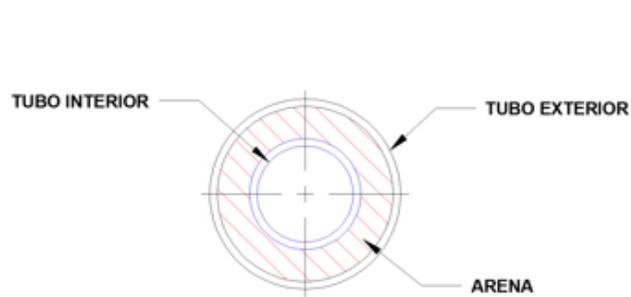
Fuente: ( Inalred)



## DISEÑO DE A 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 selecciona el modelo de tubería con mayores dimensiones.

Modelo	Longitud	Diametro externo	Espesor	Diametro 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



### Calculo del volumen de arena para cada tubo

- Para obtener el volumen de arena de un tubo, calculamos la sección del tubo.

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

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

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

- Una vez calculada la sección procedemos al calculo del volumen.

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

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

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

- Se llenara 49 tubos por los tanto.

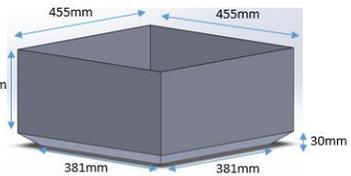
$$V_{\text{total}} = 0,00043 \text{ [m}^3\text{]} * 49$$

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



# DISEÑO DE A TOLVA

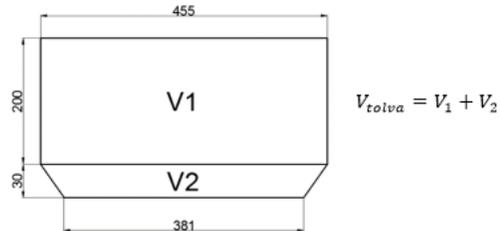
Calculo del volumen de la tolva de acuerdo a las dimensiones establecidas.



EL MATERIAL SELECCIONADO ES ACERO NEGRO DE 2mm - AISI 1020 ACERO LAMINADO EN FRIO.

## Calculo del volumen de la tolva

- Para obtener el volumen separamos en dos secciones.



- Procedemos al calculo del V1.

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

$$V_1 = (455 \cdot 455) \cdot 200$$

$$V_1 = 41'405.000 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$V_1 = 0,04140 \text{ [m}^3\text{]}$$

## Calculo del volumen de la tolva

- Procedemos al calculo del V2.

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

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

Donde:

*h*: Altura del tronco de la piramide

*B*: Área de la base mayor

*b*: Área de la base menor

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

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

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

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

$$V_2 = 5'255,410 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$V_2 = 0,00525 \text{ [m}^3\text{]}$$

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

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

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

## Calculo del peso

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

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

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

$$M = 31.605 \text{ [Kg]}$$

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

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

$$P_{\min} = 31.605 \text{ [Kg]} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

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

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

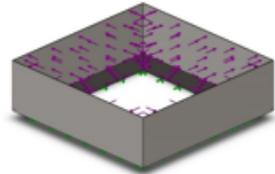
$$0,04665 \text{ [m}^3\text{]} > 0,02107 \text{ [m}^3\text{]}$$



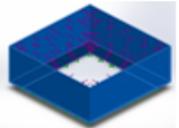
# DISEÑO DE A TOLVA

## Simulación

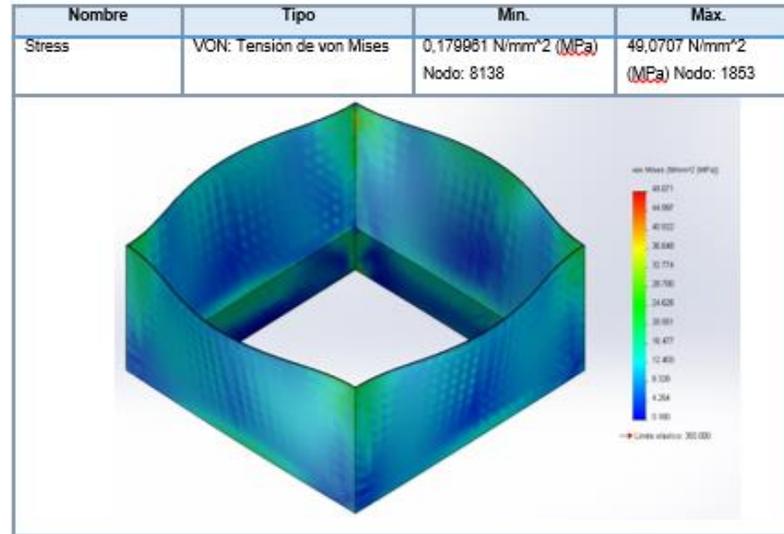
### Características físicas de la tolva



Nombre del modelo: Tolva

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Propiedades
	Sólido	Masa: 7.02357 kg Volumen: 0.000892 448 m <sup>3</sup> Densidad: 7870 kg/m <sup>3</sup> Peso: 88.8309 N	Nombre: AISI 1020 Acero laminado en frío Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal. Límite elástico: 350 N/mm <sup>2</sup> Límite de tracción: 420 N/mm <sup>2</sup>

### Resultado del estudio de tensiones de la tolva



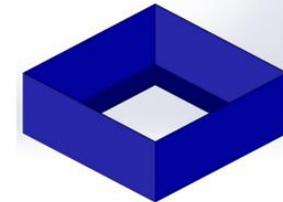
### Calculo factor de seguridad

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.

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



## DISEÑO DE SOLDADURA

Para la unión entre la tolva y la plancha de distribución, se lo realiza por medio de cordones de soldadura alrededor de ambas partes. 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.

### Calculo de soldadura.

- Obtenemos el área de soldadura

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

Donde:

$l$ : Longitud de soldadura  
 $h$ : Garganta de soldadura

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

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

- Tenemos en cuenta las propiedades del material a soldar suministradas por el proveedor

- Resistencia a la tensión  $S_u = 320 \text{ [Mpa]}$
- Resistencia a la fluencia  $S_y = 180 \text{ [Mpa]}$

- Resistencia a Fatiga

Factores para el cálculo de la resistencia a la fatiga

Constante de efecto superficial- maquinado (Tabla 23)	$k_a = a S_u^b$ $a = 4.51$ y $b = -0.265$ $k_a = 4.51(320)^{-0.265}$ $k_a = 0.978$
Factor de tamaño	$k_b = 1$ (para un esfuerzo cortante uniforme sobre la garganta)
Factor de temperatura	$k_c = 0.59$ (torsión y cortante)
Límite de resistencia a la fatiga	$S_e' = 0.5 S_u = 0.5(320)$ $S_e' = 160 \text{ MPa}$
Factor de confiabilidad	$k_{conf} = 0.75$

Factor de efecto superficial – maquinado (Ka)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_u$ kpsi	$S_u$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.38	-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)

### Calculo de soldadura.

- Teniendo en cuenta los datos establecidos.

$$S_e = S_e' * k_a * k_b * k_c * k_{conf} \quad \text{Ec. 4.9 (Mott, 2006)}$$

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

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

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.

$$P_{total} = P_{min} + P_{sobrecarga}$$

$$P_{total} = 310.04 \text{ [N]} + 200 \text{ [N]}$$

$$P_{total} = 510.04 \text{ [N]}$$

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

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

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

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

$$\tau_a = \tau_m = 1.903 \text{ [MPa]}$$

### Calculo de soldadura.

- Utilizando Gerber.

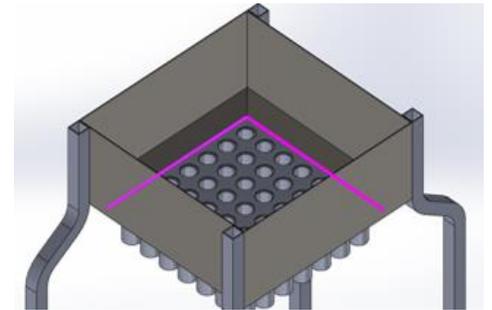
Con el criterio de falla por fatiga por esfuerzos cortantes de Gerber se calcula el factor de seguridad:

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

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

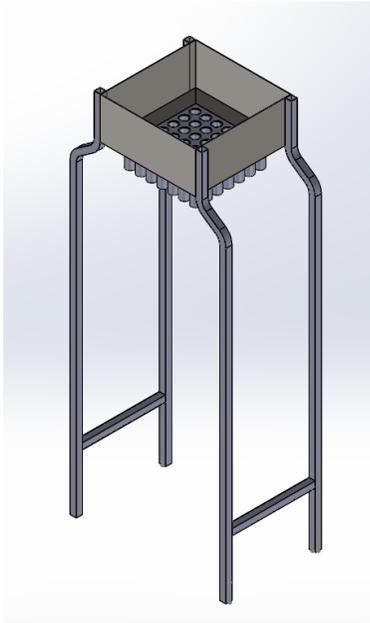
$$FS = 41.8$$

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



## DISEÑO ESTRUCTURAL

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



### Calculo

- Calculamos la longitud efectiva

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

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

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

Calculamos el radio de giro, teniendo en cuenta las características del 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.

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

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

### Calculo

- Relación de esbeltez

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

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

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

- Para poder determinar el tipo de método de análisis de columnas cortas o largas, se calcula la relación de esbeltez de transición (constante de la columna)

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

Donde

$C_c$  = Relación de esbeltez de transición (constante de la columna).

$E$  = Módulo de elasticidad del material de la columna.

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

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

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

$$C_c = 123$$

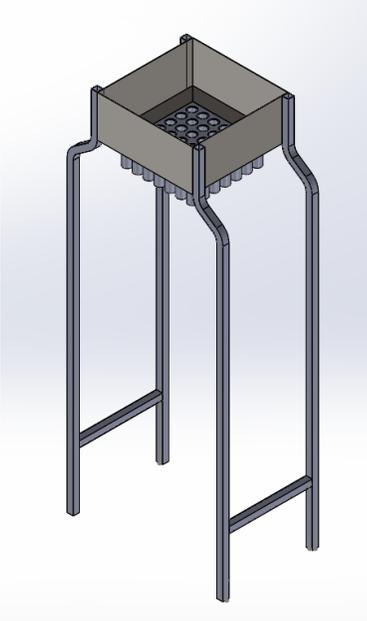
$$\frac{KL}{r} > C_c \quad \text{Ec. 4.17 (Mott, 2006)}$$

$$325.33 > 123$$



## DISEÑO ESTRUCTURAL

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



### Calculo

#### •Carga crítica – Euler

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

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

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

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

$$\sigma_{cr} = 19.30 [MPa]$$

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:

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

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

Por lo tanto el factor de seguridad es:

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

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



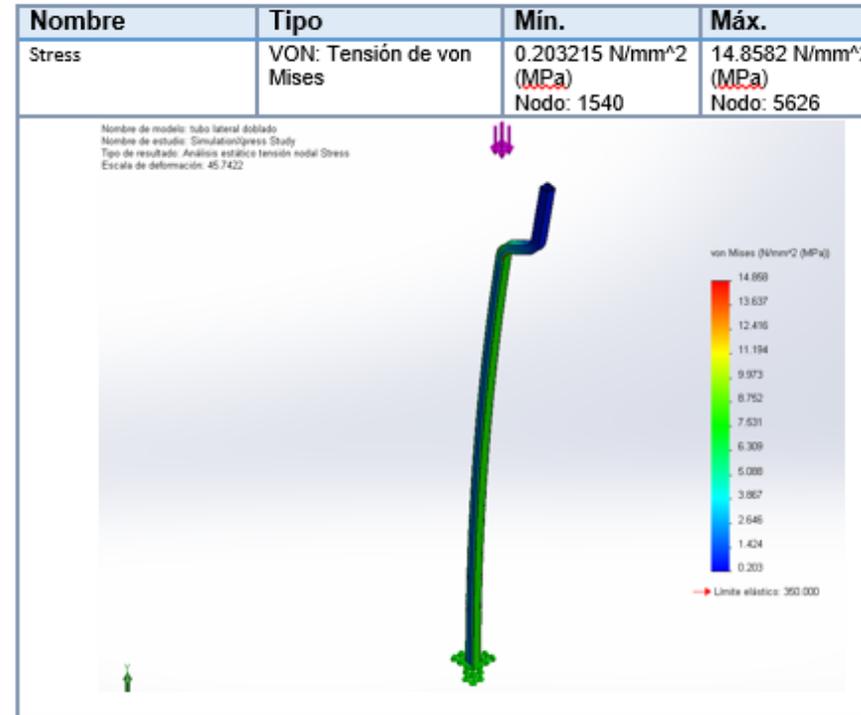
# DISEÑO DE A TOLVA

## Simulación

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	<p>Masa: 3.31443 kg</p> <p>Volumen: 0.00042114 7 m<sup>3</sup></p> <p>Densidad: 7870 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso: 32.4814 N</p>	<p>Nombre: ASTM A 500 A</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal.</p> <p>Límite elástico: 268 N/mm<sup>2</sup></p> <p>Límite de tracción: 310 N/mm<sup>2</sup></p>

Resultado del estudio de tensiones del perfil de la estructura.



### Calculo factor de seguridad

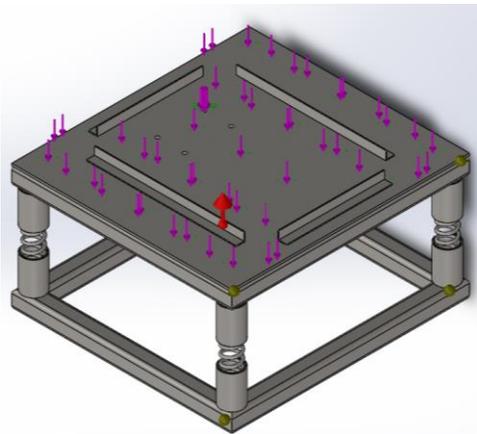
$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{350}{14.85} = 25 \quad \text{Ec. 4.21 (Mott, 2006)}$$

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.



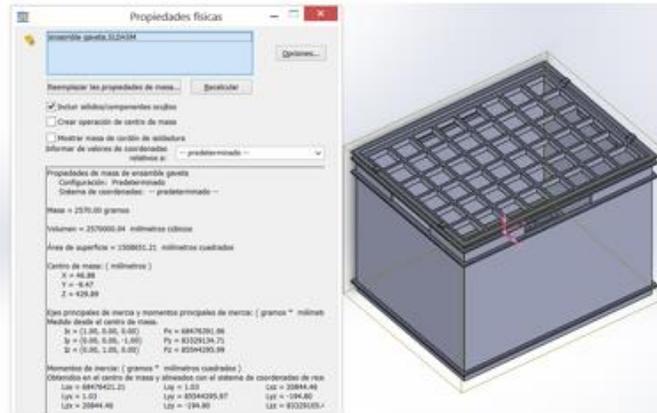
# MESA DE VIBRACION

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.



## Calculo

- Pesos totales  
**Peso tubería:** Al transformar a Newton se obtiene un total de 605.05 N
- Peso de arena de sílice en tubería:** 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.

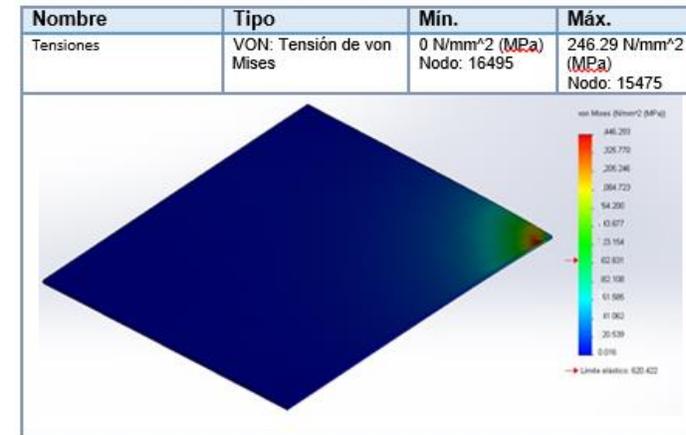


Por lo tanto la carga o peso total que soportará la mesa será de 940.29 N.

## Calculo

- Simulación

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



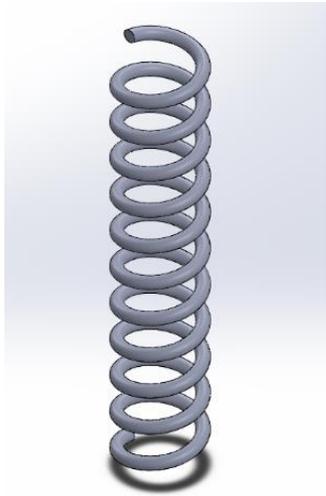
$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{620}{246} = 2.5$$

Ec. 4.22 (Mott, 2006)



# DISEÑO RESORTE

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



ASTM-A31 G=11 200 00 [psi].

## Calculo

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

## Calculo

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 (Dm) será menor al diámetro exterior (De) y mayor al diámetro interno (Di). El diámetro medio es de 36mm.

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

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

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

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

$$D_w = 6 \text{ [mm]}$$



# DISEÑO RESORTE

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

## Calculo

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.

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

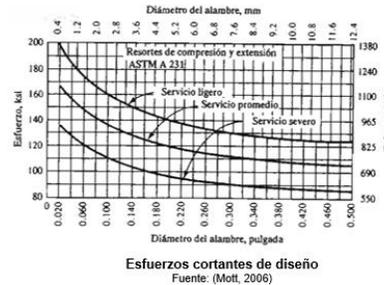
$$K = \frac{4(6) - 1}{4(6) - 4} + \frac{0.615}{6} = 1.10$$

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

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

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

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



## Calculo

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

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

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

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

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

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

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

$$D_i = 36 \text{ [mm]} - 6 \text{ [mm]} = 30 \text{ [mm]}$$



# CAPITULO 5

## CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE LA MÁQUINA

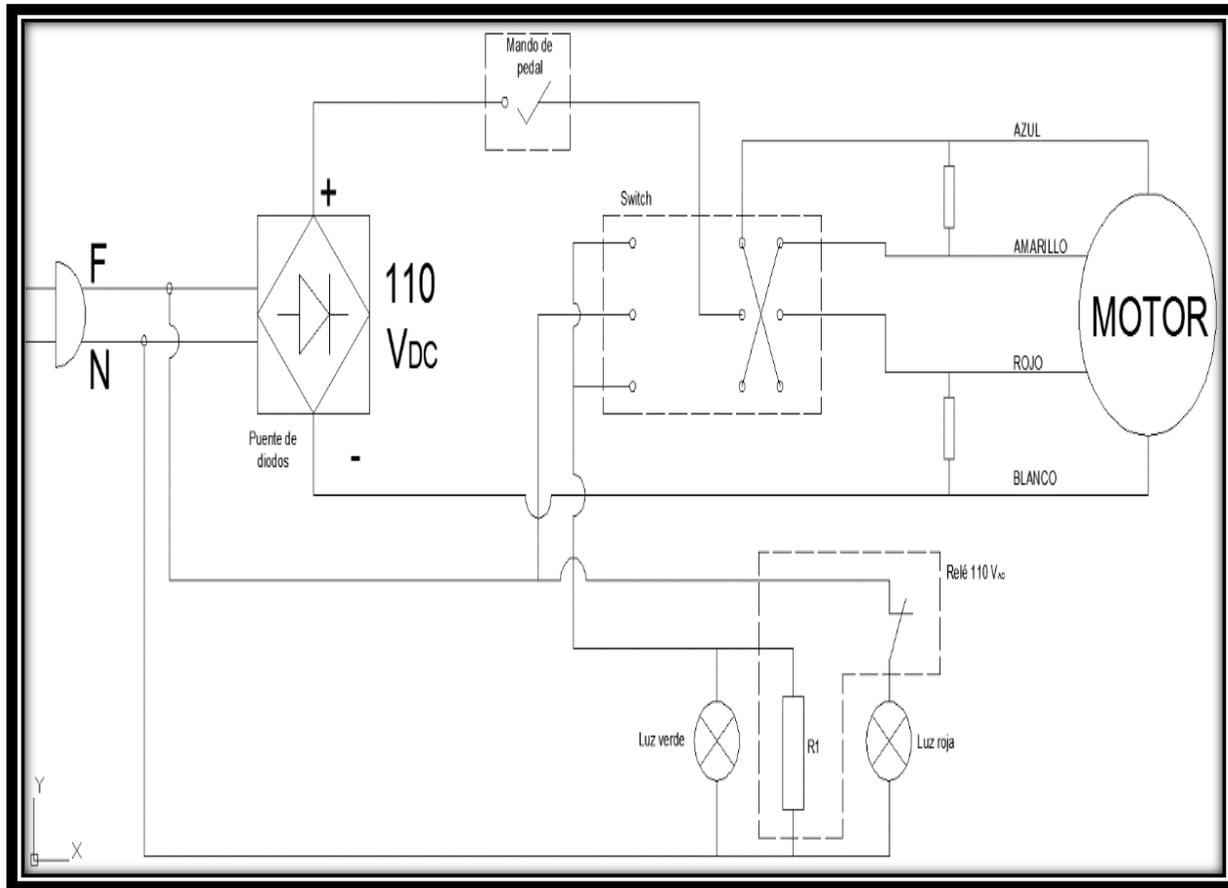


# PROCESOS DE MANUFACTURA EMPLEADOS EN CADA ELEMENTO FABRICADO

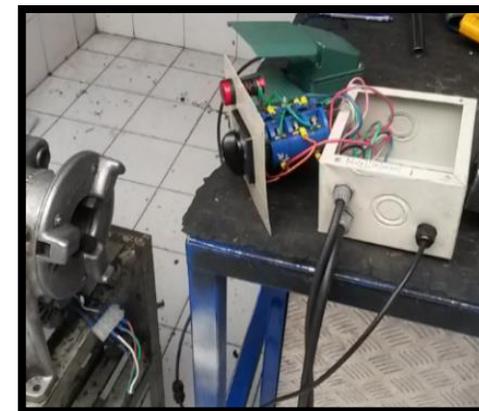
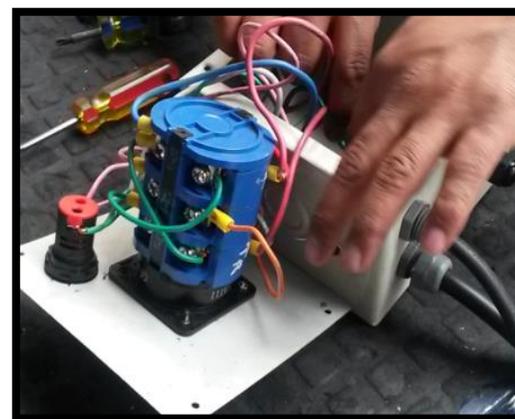


# INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Esquema eléctrico de la máquina



Instalación eléctrica



# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Se realizo las pruebas de funcionamiento a un lote de producción de 30 unidades.

- Tiempo total 120 segundos



- Inspección de compactado



# CAPITULO 6

## ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO



# ANÁLISIS DE COSTOS

TOTAL COSTOS DIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	TOTALES
MATERIALES DIRECTOS	\$ 2006.91
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 157.76
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2164.67</b>

TOTAL COSTOS INDIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	TOTALES
GASTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	\$1110
MATERIALES INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	\$60.5
MANO DE OBRA INDIRECTA	<b>\$1,170.50</b>

COSTO TOTAL ASUMIDO POR INDIMA	
DESCRIPCIÓN	TOTALES
MATERIALES DIRECTOS	\$ 2,006.91
MANO DE OBRA DIRECTA	\$ 157.76
MATERIALES INDIRECTOS DE FABRICACIÓN	\$ 60.5
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2,225.17</b>



# ANÁLISIS FINANCIERO

Flujo de caja proyectado en meses y resultados.

DESCRIPCIÓN	MESES												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>INGRESOS Y BENEFICIOS</b>													
Beneficio por ahorro de utilización de maquina		\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00	\$ 800.00
Beneficio por ahorro de operarios (2 operarios)		\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)	\$ (123.20)
<b>Total Ingresos y Beneficios</b>		\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80	\$ 676.80
<b>INVERSIONES Y COSTOS</b>													
Costo Maquina Moleteadora	\$ (2.225.17)												
Costos por mantenimiento		\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)	\$ (40.00)
Gasto de Operario (1 operario)		\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)	\$ (61.60)
Gasto Luz eléctrica		\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)	\$ (30.00)
Depreciación maquinaria		\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)	\$ (12.63)
<b>Total Egresos</b>	\$ (2.225.17)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)	\$ (144.23)
<b>Total Inversión y Costos</b>	\$ (2.225.17)	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57	\$ 532.57

PERIODO	RESULTADOS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VALOR ACTUAL	\$ (2.225.17)	\$ 528.24	\$ 523.94	\$ 519.68	\$ 515.45	\$ 511.26	\$ 507.10	\$ 502.98	\$ 498.88	\$ 494.83	\$ 490.80	\$ 486.81	\$ 482.85
VALOR ACTUAL NETO (VAN)		3837.6											
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)		21%											
TOTAL DE INGRESOS ACTUALIZADOS	\$ 6.062.81												
TOTAL DE COSTOS DE INVERSION	\$ 2.225.17												
FACTOR COSTO BENEFICIO (B/C)		2.72											

3837.6  
VAN positivo

TMAR = 14.16  
TIR = 21%  
TIR > TMAR

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

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

Por cada dólar invertido en el proyecto se obtiene una ganancia de \$2.72.



# CAPITULO 7

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- 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.



- 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.



GRACIAS

