

INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR AERONAUTICO

ESCUELA DE MECANICA AERONAUTICA

**CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA
DETERMINAR LAS AMPLITUDES DE UN SISTEMA DE
VIBRACION LIBRE DE UN GRADO DE LIBERTAD**

POR:

CBOS. TEC. AVC. BASANTES CULQUI MIGUEL FABRICIO

Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del Título de:

TECNOLOGO EN MECANICA AERONAUTICA

2002

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. CBOS. TEC.AVC. BASANTES CULQUI MIGUEL FABRICIO como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNOLOGO EN MECANICA AERONAUTICA.

20 de Marzo del 2002

Sr. Ing. Mayo. López Francisco
DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a mis amados padres Miguel Eduardo Basantes Chasi y Fanny Lucrecia Culqui Sinchiguano, hermanos Wladimir, Holger y Jonathan, así como también familiares quienes con su afán y sacrificio hicieron posible la culminación de este difícil pero no imposible trabajo investigativo el mismo que servirá como material de aporte didáctico para los estudiantes de promociones venideras.

Cbos. Téc. Avc. Basantes Miguel

AGRADECIMIENTO

Deseo antes que nada agradecer a Dios por permitirme seguir en este mundo y poder saborear una meta mas alcanzada en mi vida, así como también un agradecimiento sincero a la Fuerza Aérea Ecuatoriana y dentro de esta al Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico, distinguida Institución que supo instruirme de una manera acertada para alcanzar cada día nuevas metas con sacrificio y responsabilidad.

A mis padres y hermanos que con su presencia llenan de alegría mi vida, familiares y amigos que de una u otra forma aportaron con un granito de arena para la exitosa culminación de este trabajo investigativo.

Cbos. Téc. Avc. Basantes Miguel

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
Resumen.....	1
Introducción.....	2
Definición del problema.....	2
Objetivos	2
Alcance y Justificación.....	3
 CAPITULO 1 GENERALIDADES	
1.1 Concepto de vibraciones y movimiento oscilatorio.....	4
1.1.1 Vibración.....	4
1.1.2 Movimiento oscilatorio.....	6
1.2 Tipos de vibraciones.	16
1.2.1 Vibraciones libres.....	18
1.2.2 Vibraciones amortiguadas.....	22
1.2.3. Vibraciones forzadas.....	24
1.2.4. Vibraciones forzadas y amortiguamiento.....	26
1.3. Gráficos para evaluar los parámetros de la vibración.....	27
1.3.1 Descripción del sistema masa resorte con una coordenada lineal..	27
Constante k de elasticidad.....	28
1.3.2 Descripción sistema péndulo simple coordenada angular.....	29

CAPITULO 2 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

2.1.	Identificación de las alternativas.....	30
2.1.1	Análisis técnico.....	31
2.1.2	Primera alternativa.....	31
2.1.3.	Segunda alternativa.....	32
2.1.4.	Tercera alternativa.....	33
2.2.	Análisis de factibilidad.....	35
2.2.1.	Primera alternativa.....	35
2.2.2.	Segunda alternativa.....	36
2.2.3	Tercera alternativa.....	37
2.3.	Selección de la mejor alternativa.....	38
2.3.1	Estudio técnico.....	38
2.4.	Evaluación de parámetros.....	41
2.4.1	Alternativa seleccionada.....	42

CAPITULO 3 CONSTRUCCION

3.1	Diagrama de procesos.....	57
3.2	Diagrama de montaje.....	69
3.2.1	Digrama de ensamble.....	70
3.3	Pruebas de funcionamiento.....	71

CAPITULO 4 ENSAYOS Y CONTROL DE CALIDAD

4.1.	Descripción general.....	73
4.2.	Características.....	80
4.3.	Determinación de datos.....	82
4.4.	Clasificación y análisis de datos.....	82
4.5.	Evaluación e interpretación de resultados.....	83
4.6.	Implementación de manuales de mantenimientos de ensayos.....	84

CAPITULO 5 ESTUDIO ECONOMICO

5.1	Presupuesto.....	91
5.2	Análisis económico y financiero.....	91

CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones.....	96
6.2	Recomendaciones.....	96

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA1.1 Vaivén de un resorte siguiendo una misma trayectoria
- FIGURA1.2 Desplazamiento vs. El tiempo de una partícula que describe un movimiento oscilatorio.
- FIGURA1.3 Demostración del Periodo
- FIGURA1.4 Movimiento oscilatorio
- FIGURA1.5 Masa unida a un resorte con libertad para vibrar en la dirección vertical
- FIGURA1.6 Coordenada o variable en x y θ
- FIGURA1.7 Partícula desplazada de 0 a x_+ y $-x$
- FIGURA1.8 Deflexión del resorte
- FIGURA1.9 Resorte con movimiento sobre una superficie horizontal
- FIGURA1.10 Fuerzas que actúan al largo de la longitud muelle
- FIGURA1.11 Movimiento vibratorio u oscilatorio de un sistema masa resorte
- FIGURA1.12 Onda senoidal que describe el desplazamiento
- FIGURA1.13 Relación entre dos sistemas de un grado de libertad
- FIGURA2.1 Banco de pruebas por medio de una sola coordenada lineal
- FIGURA2.2 Banco de pruebas por medio de una coordenada angular
- FIGURA2.3 Banco de pruebas por medio de un rodillo expuesta a una fuerza de torsión
- FIGURA2.4 Esquema del banco de pruebas
- FIGURA3.1 Acero de transmisión
- FIGURA 3.2 Poliamida
- FIGURA3.3 Diámetros efectivos
- FIGURA3.4 Cálculo de banda de transmisión
- FIGURA3.5 Teorema de Pitagoras

FIGURA3.6 Torque del rodillo

FIGURA4.1 Onda senoidal con dos ciclos completos

FIGURA4.2 Onda senoidal con un ciclo completo

LISTA DE TABLAS

TABLA1.1	Puntos de una onda senoidal
TABLA2.1	Evaluación de parámetros
TABLA3.1	Resultado de onda senoidal obtenido con polea de diámetro 105
TABLA3.2	Resultado de onda senoidal obtenido con polea de diámetro 64
TABLA5.1	Materiales utilizados en la construcción de la máquina
TABLA5.2	Costo de utilización por hora de cada máquina
TABLA5.3	Costo del ensamble
TABLA5.4	Otros costos
TABLA5.5	Costo total

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A: Planos generales de la construcción del banco de pruebas de un sistema de vibración libre de un grado de libertad.

ANEXO B: Planos en despiece de cada uno de los elementos del banco de pruebas para su elaboración.

NOMENCLATURA

- 1.1 F = Fuerza
- 1.2 Desplazamiento vs. el tiempo del movimiento armónico simple
- 1.3 T = Período
- 1.4 f = frecuencia
- 1.5 ω = Frecuencia angular
- 1.6 v = velocidad en el movimiento armónico simple.
- 1.7 a = aceleración en el movimiento oscilatorio
- 1.9 }
1.10 } $v_{\max.}$ $a_{\max.}$ = valores máximos de la velocidad y aceleración
- 1.12 F = Fuerza lineal de restitución
- 1.14 Ecuación diferencial del sistema masa – resorte
- 3.1 Transmisión sencilla
- 3.2 L1 = Longitud de arco L1
- 3.3 L1' = Longitud de arco L1'
- 3.4 L2 = Longitud de arco L2
- 3.5 L2' = Longitud de arco L2'
- 3.6 r = Diferencia de radios

FORMULAS

$$1.1 \quad F = m \cdot a$$

$$1.2 \quad x = A \cdot \cos(w \cdot t + \delta)$$

$$1.3 \quad T = \frac{2 \cdot \pi}{w}$$

$$1.4 \quad f = \frac{1}{T} = \frac{w}{2 \cdot \pi}$$

$$1.5 \quad 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

$$1.6 \quad v = \frac{dx}{dt} = -A \cdot w^2 \cdot \cos(w \cdot t + \delta)$$

$$1.7 \quad a = \frac{dv}{dt} = -A \cdot w^2 \cdot \cos(w \cdot t + \delta)$$

$$1.8 \quad x = a = -w^2 \cdot x$$

$$1.9 \quad v_{max} = \pm Aw$$

$$1.10 \quad a_{max} = \pm Aw^2$$

$$1.11 \quad x_s = \frac{w}{k}$$

$$1.12 \quad F = -Kx$$

$$1.13 \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$1.14 \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0$$

$$1.15 \quad F = k(x_1 - x_2)$$

$$3.1 \quad \Phi_1 n_1 = \Phi_2 n_2$$

$$3.2 \quad L_1 = \pi \cdot r_1$$

$$3.3 \quad L_1 = \alpha \cdot r_2$$

$$3.4 \quad L_2 = \pi \cdot r_2$$

$$3.5 \quad L_2 = \alpha \cdot r_2$$

$$3.6 \quad r = r_2 - r_1$$

RESUMEN

Por la carencia en los laboratorios de Mecánica Aeronautica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico de material didáctico para la enseñanza y el aprendizaje de la materia de Vibraciones, me llena de satisfacción el poder ayudar con la implementación del laboratorio con un banco de pruebas que determina las amplitudes de vibración de un sistema de vibración libre de un grado de libertad.

Para la elaboración de este banco de pruebas fue necesario tomar tres alternativas de construcción: un banco de pruebas para determinar las amplitudes de un sistema de vibración libre de un grado de libertad de una sola coordenada lineal ,un banco de pruebas para determinar las amplitudes de un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de una coordenada angular y un banco de pruebas para determinar las amplitudes de un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de un rodillo expuesto a una fuerza de torsión.

El banco consta de una fuente de poder, un rodillo, un sistema masa resorte y un sistema de marcación, la fuente de poder transmite movimiento hasta un sistema receptor el cuál recibe este movimiento, dando como resultado que por medio de las R.P.M, el rodillo, sistema masa resorte y un sistema de marcación se pueda determinar diferentes amplitudes iniciales de la onda, frecuencia, periodo, así como también número de ciclos completos o incompletos que esta onda pueda describirnos en la hoja de datos.

Cada elemento que consta en este banco de prueba son de diseño propio.

INTRODUCCION

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Falta de un banco de pruebas para realizar prácticas de vibraciones en los laboratorios del I.T.S.A.

OBJETIVOS:

OBJETIVO GENERAL

Construir el banco de pruebas para determinar las amplitudes de un sistema de vibración libre de un grado de libertad.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el tipo de vibración en el banco de prueba y determinar las amplitudes de vibración
- Establecer los requerimientos técnicos para este ensayo
- Analizar y seleccionar la alternativa más adecuada basándose en un estudio técnico y económico.
- Construir la alternativa seleccionada
- Realizar pruebas de operabilidad eficiencia y funcionamiento

- Desarrollar manuales de mantenimiento y operación del banco de pruebas

ALCANCE

- Brindar ayuda técnica y práctica en la formación de los alumnos del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.
- Aumentar la capacidad de presentación de servicios de los laboratorios de mecánica Aeronáutica del I.T.S.A.

JUSTIFICACIÓN

El banco de pruebas a desarrollar servirá como aporte didáctico para las promociones venideras en el área de vibraciones con la Tecnología de Mecánica Aeronáutica del I.T.S.A.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 CONCEPTO DE VIBRACIONES Y MOVIMIENTO OSCILATORIO

1.1.1 VIBRACION.- Es un término que describe la oscilación de un sistema mecánico. Se define por la *frecuencia (frecuencias)* y la *amplitud*.

En sentido genérico, **vibración** es el movimiento de un objeto físico o estructura o bien la fuerza de oscilación aplicada a un sistema mecánico.

La evolución temporal de la vibración puede considerarse en forma senoidal o armónica simple.

La Frecuencia se define en términos de ciclos por unidad de tiempo.

Ciclo.- es cuando un cuerpo va de una posición extrema a otra y regresa a la posición inicial.

La Amplitud es el valor máximo de la cantidad senoidal.

Las vibraciones encontradas en la práctica no suelen tener este modelo regular, pueden consistir en una combinación de varias cantidades senoidales, cada una teniendo diferente frecuencia y amplitud. Si cada frecuencia componente es un múltiplo entero de una

frecuencia más baja, la vibración se repite después de un determinado intervalo de tiempo y se llama *periódica*.

Si no hay una relación entera entre las frecuencias componente, no hay periodicidad y la vibración se dice *compleja*.

La vibración puede describirse como *determinística* o como *aleatoria*.

Si es *determinística* obedece a un modelo establecido de manera que el valor de la vibración en cualquier instante futuro es completamente predecible a partir de la historia pasada.

Si la vibración es *aleatoria*, su valor futuro es impredecible excepto sobre una base probabilística. La vibración aleatoria se define en términos estadísticos, el análisis de las vibraciones aleatorias implica ciertos conceptos físicos que son diferentes de los aplicados para el análisis de las vibraciones determinísticas.

1.1.2 MOVIMIENTO OSCILATORIO

Es un movimiento repetitivo de vaivén de un ente en función de una posición central de equilibrio siguiendo una misma trayectoria.

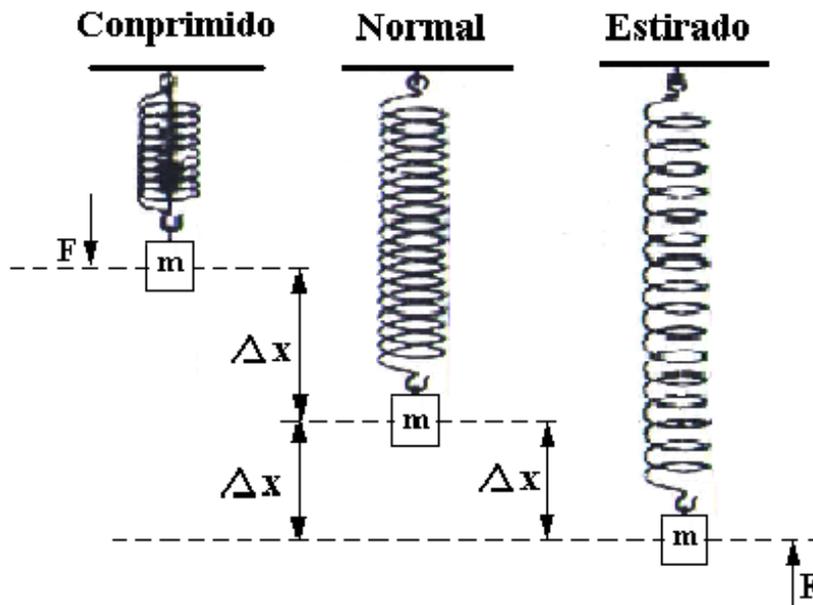


Fig.1.1 vaivén de un resorte siguiendo una misma trayectoria

Donde:

F = fuerza

m = masa

dt = variación de (tiempo)

En la cual tenemos la relación:

$$F = m \cdot a \quad (1.1)$$

Donde:

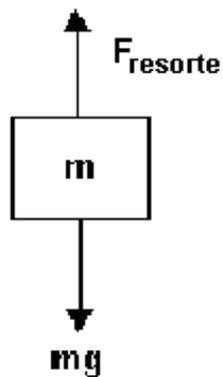
F = Fuerza

m = masa

a = aceleración

De la fig. 1.1 tenemos un diagrama de cuerpo libre donde:

Análisis Estático



$$F_{\text{resorte}} = k \delta_{\text{est.}}$$

$$\sum F = 0$$

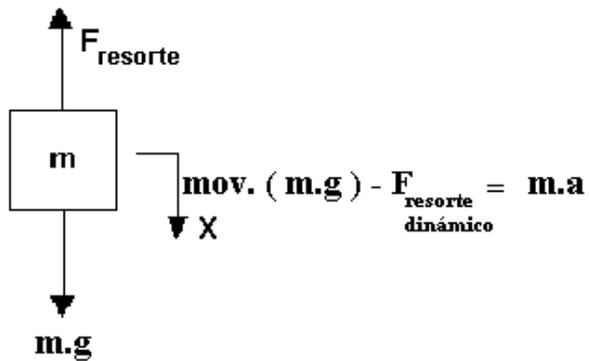
$$F_{\text{resorte}} - mg = 0$$

estático

$$k \delta_{\text{est}} - mg = 0$$

$$\delta_{\text{est}} = \frac{mg}{k}$$

Análisis Dinámico



conocemos que:

$$x = f(t)$$

$$x = v$$

$$x = a$$

$$\sum F = m \cdot a$$

$$m \cdot g - F_{\text{resorte dinámico}} = m \cdot x$$

podemos reemplazar F_e , ya que: ($F_e = k \cdot x_T$)
y x_T por $(x + \delta_{\text{est}})$ quedandonos

$$mg - k(x + \delta_{\text{est}}) = m \cdot x$$

$$mg - kx - k \cdot \delta_{\text{est}} = m \cdot x$$

sabemos que: ($mg = k \delta_{\text{est}}$) los podemos eliminar

$$-kx = m \cdot x$$

$$m \cdot x + kx = 0$$

$$x + \frac{k}{m}x = 0$$

Ecuación diferencial del movimiento de vibración libre de 1 grado de libertad

Una partícula en movimiento a lo largo del eje x tiene un movimiento armónico simple cuando su desplazamiento respecto al equilibrio, x , varía con el tiempo según la relación

$$x = A \cos (\omega t + \delta) \quad (1.2)$$

En donde A , ω , y δ son constantes del movimiento.

Conociendo a:

A = amplitud de movimiento

ω = frecuencia angular

δ = ángulo de fase

Para dar significado físico a estas constantes trazaremos la gráfica de x , como una función de tiempo t .

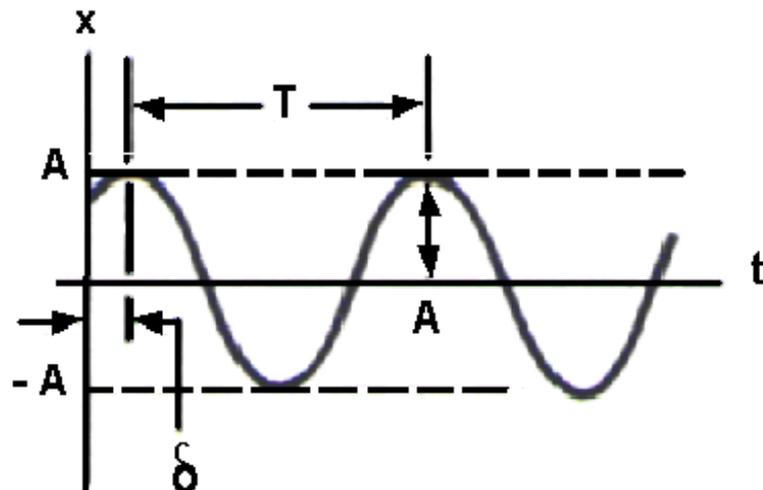


Fig.1.2. desplazamiento vs. el tiempo de una partícula que describe un movimiento oscilatorio la amplitud del movimiento es A y el periodo es T .

Podemos observar que A conocida como la **amplitud** de movimiento, simplemente es el **desplazamiento máximo** de la partícula, ya sea en la dirección x positiva o negativa.

La constante w llamada frecuencia angular, el ángulo δ , junto con la amplitud queda determinado de manera única por el desplazamiento y velocidad iniciales de la partícula.

La constante δ da a conocer cuál fue el desplazamiento en el instante $t = 0$.

La cantidad $(wt + \delta)$ se conoce como fase del movimiento y resulta útil al comparar los movimientos de dos sistemas de partículas.

Observe que la función x es periódica y se repite cuando wt aumenta en 2π radianes, el tiempo t que tarda la partícula en recorrer un ciclo completo de su movimiento se llama período y se representa con la letra **T**.

Es decir, el valor de x en el instante t es igual al valor de x en el instante $t + T$.

Se puede demostrar que el período del movimiento es $T = 2\pi / w$ aplicando el hecho de que la fase se incrementa en 2π radianes, en un determinado tiempo t .

DEMOSTRACIÓN DEL PERIODO

$$\mathbf{T = 2\pi / w} \qquad (1.3)$$

Donde:

T = período

ω = frecuencia angular

De la ecuación (1.2):

$$x = A \cos (\omega t + \delta)$$

Se da valores tanto a (x) como a (t)

- $x = A \text{ sen } (\omega t + \delta)$
- $\delta = 0$
- $\frac{dx}{dt} = 0$
- $\frac{dx}{dt} = -A \text{ sen } (\omega t + \delta)$
- $\omega t + \delta = 0$
- $\omega t = 0$
- $t = 0$

En la Fig. (1.3.) se puede observar como se va formando una onda senoidal según se cambia el tiempo.

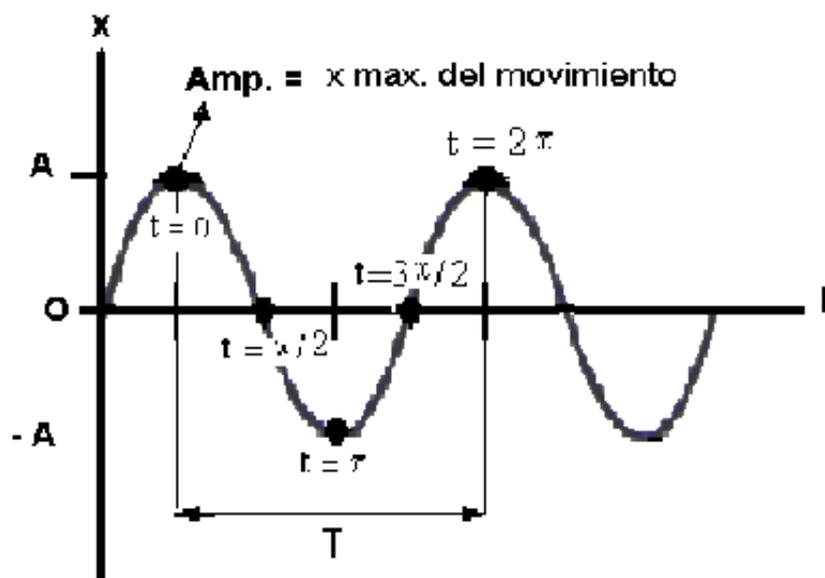


Fig 1.3 Demostración del periodo $T = 2\pi$

En la siguiente tabla se puede apreciar los puntos de la fig. 1.3

Tabla 1.1 apreciación de los puntos que forman una onda senoidal

Nº	Ecuación	Tiempos	Puntos de la figura
1	$x = A \cos(\omega t)$	$T = 0$	A
2	$x = A \cos(\omega t)$	$T = \pi/2$	0
3	$x = A \cos(\omega t)$	$T = \pi$	-A
4	$x = A \cos(\omega t)$	$T = 3\pi/2$	0
5	$x = A \cos(\omega t)$	$T = 2\pi$	A

El recíproco del período se llama *frecuencia del movimiento*, f .

La frecuencia representa el número de oscilaciones que realiza la partícula por unidad de tiempo.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (1.4)$$

Las unidades de f son ciclo/s es decir hertz (Hz).

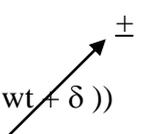
Ordenando la ecuación (1.4)

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (1.5)$$

En donde la constante ω recibe el nombre de frecuencia angular y sus unidades son:

rad / s.

Existe la posibilidad de obtener la velocidad de una partícula que efectúa un movimiento oscilatorio si se deriva la ecuación (1.2) del desplazamiento con respecto al tiempo:

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega (\text{sen} (\omega t + \delta)) \quad (1.6)$$


La aceleración de la partícula está dada por dv / dt :

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cos (\omega t + \delta) \quad (1.7)$$

Como $x = A \cos (\omega t + \delta)$ se puede expresar la ecuación 6 en la forma

$$x = a = -\omega^2 x \quad (1.8)$$

A partir de la ecuación (1.6), se ve que, como las funciones seno y coseno oscilan entre ± 1 , los valores extremos de v son iguales $v = \pm Aw$.

La ecuación (1.7) afirma que los valores extremos de la aceleración son: $a = \pm Aw^2$.
por lo tanto los valores máximos de la velocidad y aceleración se obtiene de

$$v \text{ máx.} = \pm Aw \quad (1.9)$$

$$a \text{ máx.} = \pm Aw^2 \quad (1.10)$$

La proyección de un punto que se mueve con movimiento circular uniforme, sobre una circunferencia de referencia de radio A , también se mueve de manera senoidal en un plano.

De la Fig. 1.4 b y 1.4 c se ilustran las curvas de la velocidad y aceleración vs. el tiempo.

Estas curvas muestran que la fase de la velocidad difiere de la del desplazamiento en $\pi / 2$ rad, es decir 90° lo que se quiere decir es que cuando x es máximo o mínimo, la velocidad es cero, del mismo modo, cuando x es cero la rapidez es máxima.

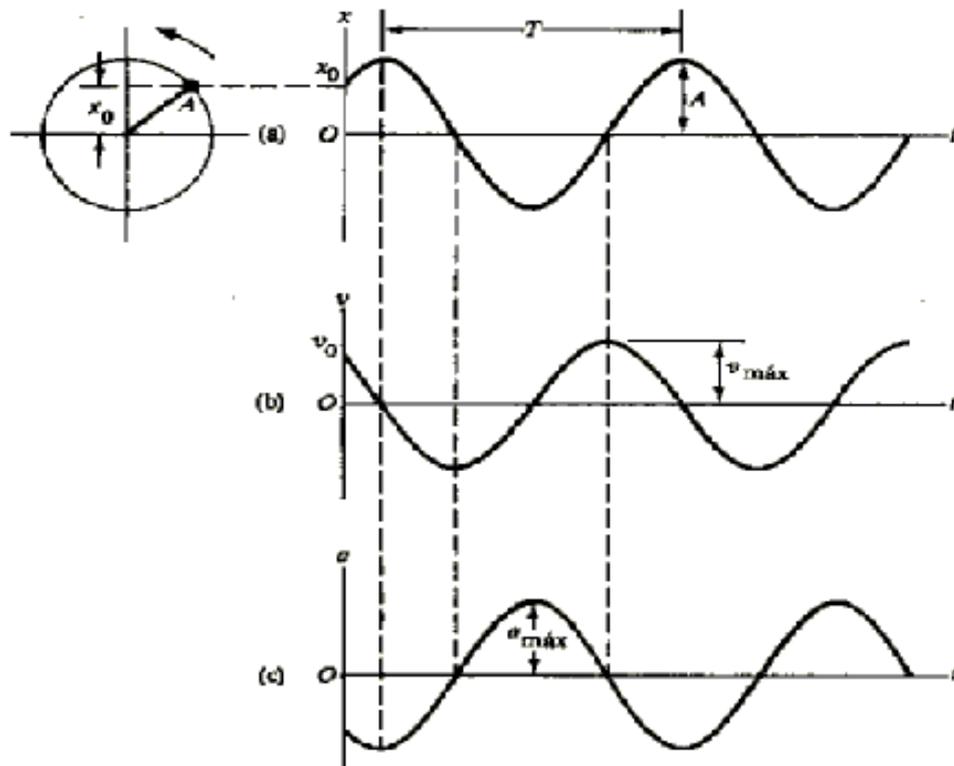


Fig.1.4 En el gráfico se puede observar el movimiento oscilatorio

Donde:

- (a) desplazamiento vs el tiempo.
- (b) velocidad vs el tiempo.
- (c) aceleración vs el tiempo.

observe que la velocidad está 90° fuera de fase respecto al desplazamiento y la aceleración está 180° fuera de fase respecto al mismo desplazamiento.

Se puede observar además que la fase de la aceleración difiere de la correspondiente al desplazamiento en π radianes que es 180° , es decir, cuando x es máximo, a es mínimo y viceversa.

1.2 TIPO DE VIBRACIONES DE UN SOLO GRADO DE LIBERTAD

Vibración de un solo grado de libertad es el movimiento que puede ser descrito por una sola coordenada

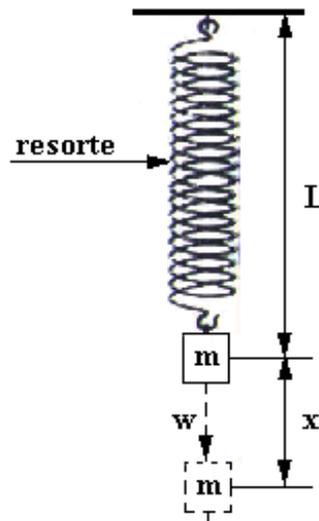


Fig. 1.5. Se puede observar como la masa unida al resorte tiene libertad para vibrar en la dirección vertical

Si consideramos en la (Fig. 1.5) la disposición del conjunto es tal que solo puedan ocurrir desplazamientos verticales del peso (w) y la masa del resorte sea pequeña en comparación con la del peso, se estima que el sistema tiene ***un grado de libertad.***

En la (figura 1.5) también se puede observar que su configuración queda completamente

determinada por el *desplazamiento vertical del peso*.

Donde:

w = peso

m = masa

L = longitud del resorte

x = desplazamiento de la masa

Podemos encontrar vibraciones de un solo grado de libertad en coordenada variable en x y θ respectivamente.

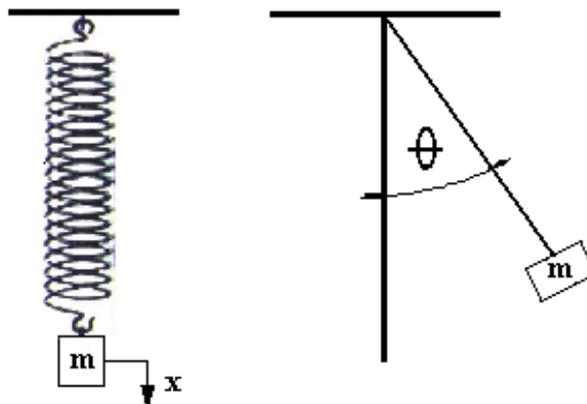


Fig. 1.6 Coordenada o variable en x y θ respectivamente

1.2.1 VIBRACIONES LIBRES

Se lo denomina también como NATURALES, este tipo de vibraciones se encuentran sometidas, únicamente por la fuerza elástica del resorte.

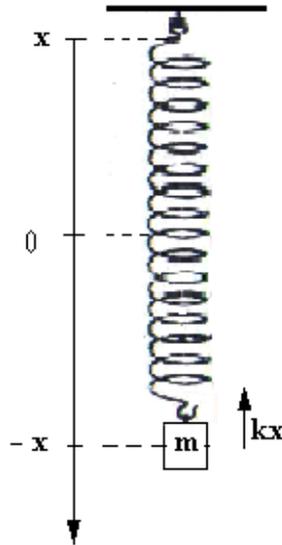


Fig.1.7 Cuando la partícula está desplazada x de la posición de equilibrio actúa sobre ella una fuerza elástica que es proporcional a x , y de sentido contrario, tal como se muestra en la fig. la ecuación del movimiento se escribe $ma = -kx$

En la fig.1.7 sea k el símbolo que denota la carga necesaria para producir un alargamiento unitario del resorte esta cantidad se denomina como la constante de resorte.

Ejemplo:

Si medimos:

- la carga en kilogramos y
- el alargamiento en centímetros

la constante de resorte se obtendrá en kilogramos / centímetro, $k = \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$

la desviación o deflexión estática del resorte bajo la acción del peso (w) es:

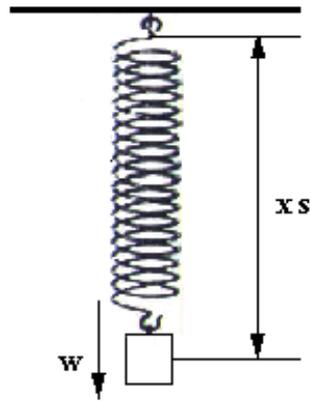


Fig. 1.8 deflexión del resorte

$$x_s = \frac{w}{k} \quad (1.11)$$

Donde:

x_s = deflexión estática del resorte

w = peso

k = constante del resorte

Para un sistema que consta de una masa sujeta al extremo de un resorte, en donde la masa puede moverse sobre una superficie horizontal y sin fricción, se sabe que un sistema de este tipo oscilará libremente hacia uno y otro lado, si se lo perturba (moverlo) respecto a la posición de equilibrio, $x = 0$, que es en donde el resorte está sin deformación alguna, se adquirirá una vibración libre.

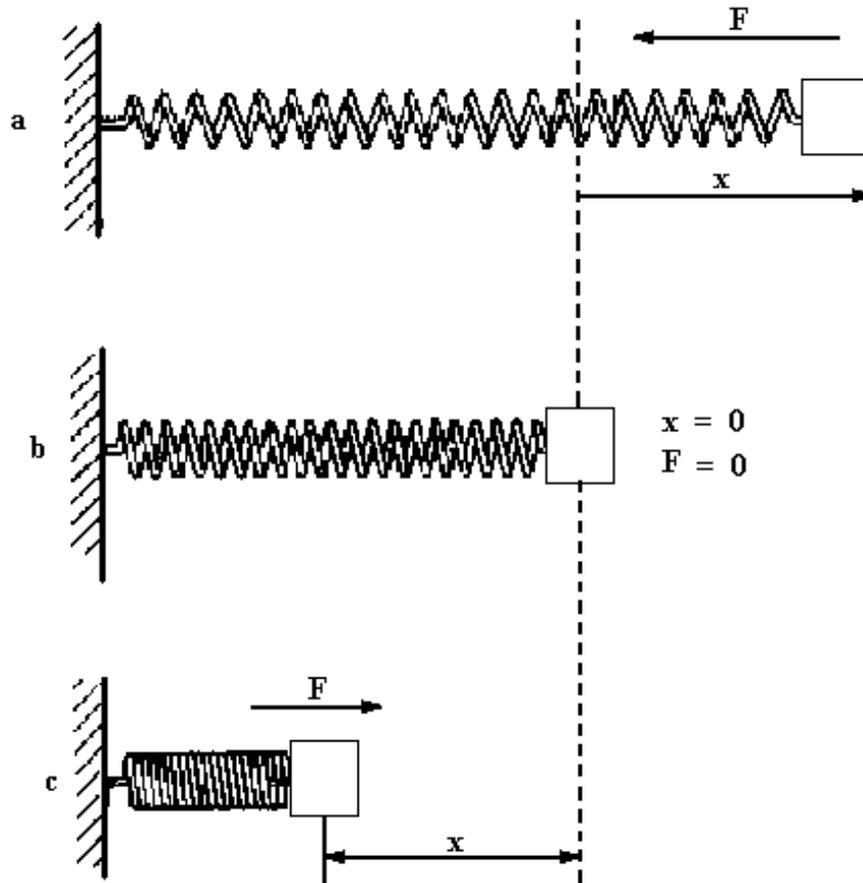


Fig. 1.9 resorte con movimiento sobre una superficie horizontal

Cuando la masa se desplaza una pequeña distancia x respecto al equilibrio, el resorte ejerce una fuerza sobre m , dada por la ley de Hooke

$$F = -k x \quad (1.12)$$

En donde:

k = es la constante de fuerza del resorte

A una fuerza así se le conoce como fuerza lineal de restitución , ya que es linealmente proporcional al desplazamiento y está dirigida siempre hacia la posición de equilibrio,

opuesto a este desplazamiento, es decir, cuando:

- la masa se desplaza hacia la derecha (fig. 1.9), x es positiva y la fuerza de restitución está dirigida hacia la izquierda .
- Si la masa se desplaza hacia la izquierda de $x = 0$, entonces x es negativa y F está dirigida hacia la derecha.
- Si aplicamos la Segunda Ley de Newton en donde :

$$F = m \cdot a$$

Al movimiento de m en la dirección se obtiene:

$$F = -k \cdot x = m a$$

$$a = -\frac{k}{m} x$$

1.2.1.1 Aceleración para el sistema masa – resorte es proporcional al desplazamiento

Si recordamos que :

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (1.13)$$

podemos expresar la siguiente ecuación:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = a = -\frac{k}{m} x$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0 \quad (1.14)$$

1.2.2 VIBRACIONES AMORTIGUADAS

Los sistemas vibratorios están constituidos por elementos para *almacenar energía potencial* (muelle), elementos para *almacenar energía cinética* (masa, inercia o velocidad) y elementos mediante los cuales la energía se disipa gradualmente (amortiguador).

1.2.2.1 A continuación se explica brevemente (muelle, masa, amortiguador)

MUELLE.- En un muelle el cambio de longitud es proporcional a la fuerza que actúa a lo largo de su longitud.

El muelle ideal se considera desprovisto de masa, así, la fuerza que actúa en un extremo es igual a la fuerza que actúa en el otro extremo. La constante de proporcionalidad k se denomina *constante del muelle o rigidez*.

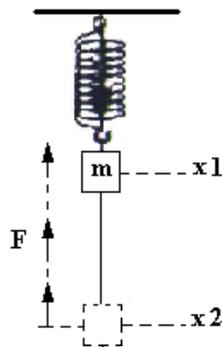


Fig. 1.10 fuerzas que actúan a lo largo de su longitud (en un muelle)

$$F = k (x_1 - x_2) \quad (1.15)$$

Donde:

- F = fuerza que actúa a lo largo de su longitud
 k = constante de proporcionalidad (o constante de muelle o rigidez)
 $x_1 - x_2$ = desplazamiento de la masa

MASA.- La masa de un cuerpo rígido cuya aceleración es $\frac{d^2x}{dt^2}$

de acuerdo con la segunda ley de Newton es proporcional a la fuerza resultante de todas las fuerzas que actúan sobre la masa.

AMORTIGUADOR.- En un amortiguador viscoso, la fuerza aplicada es proporcional a la velocidad relativa de sus puntos de unión.

Un amortiguador ideal se considera que no tiene masa, de esa manera la fuerza aplicada en cada uno de sus extremos es igual y opuesta a la fuerza en el otro extremo.

La vibración de un sistema implica la transferencia alternativa de energía entre las formas potencial y cinética, en un sistema amortiguado una parte de la energía se disipa en cada ciclo de vibración y debe ser reemplazada desde una fuente externa si se desea mantener una vibración estacionaria.

Aunque una única estructura física puede almacenar tanto energía cinética como potencial y puede disipar energía, se van a considerar elementos simples tales como muelles ideales, masas y amortiguadores en los cuales cada elemento tiene una sola función.

En *movimiento traslacional*, los desplazamientos se definen como distancias lineales.

En *movimiento rotacional*, los desplazamientos se definen como giros angulares.

1.2.3 VIBRACIONES FORZADAS

Por contraposición a la vibración libre, se mantiene en condiciones estacionarias puesto que continuamente se suministra energía al sistema para compensar la que se disipa en el sistema por efecto del amortiguamiento, lo que se quiere decir es que la energía de un oscilador amortiguado disminuye con el tiempo, como resultado de la fuerza disipativa Ejm. La fricción

Es posible compensar esta pérdida de energía aplicando una fuerza externa que realice trabajo positivo sobre el sistema. En cualquier instante es posible agregar energía al sistema por medio de una fuerza aplicada que actúe en la dirección del movimiento del oscilador.

En general, la frecuencia a la cuál se suministra energía (frecuencia de la fuerza) aparece en la vibración del sistema.

La vibración forzada puede ser determinista o aleatoria. (determinista motivos no sospechados, aleatoria, que no depende de otros motivos).

En ambos casos, la vibración del sistema depende de la relación de excitación o función de la fuerza y las propiedades del sistema, esta relación es una característica preeminente (ventaja) de los aspectos analíticos de la vibración.

Una cierta relación con la vibración es el impacto en la cuál la excitación es no periódica en la vibración, tal como un pulso, un escalón o una vibración transitoria la palabra impacto implica un grado de repentización (una sola lectura) y severidad.

Estos términos son relativos en vez de medidas absolutas de la característica.

Desde el punto de vista analítico, la característica importante del impacto es que el movimiento del sistema sobre el cuál actúa el impacto incluye la frecuencia del impacto de excitación y la frecuencia natural del sistema, si la excitación es breve, la duración del movimiento del sistema es la vibración libre a la frecuencia natural.

La tecnología del impacto y de la vibración incluye aspectos teóricos y experimentales, así, los métodos de análisis y los instrumentos para la medición del impacto y de la vibración tiene una importancia primordial, los resultados del análisis y de la medición se usan para evaluar el impacto y la vibración.

El impacto y/o la vibración pueden ser ambos deseados o no deseados, dependiendo de las circunstancias.

Ejemplo:

La vibración incluye el modo primario de funcionamiento de una máquina cribadora.

Sin embargo, más frecuentemente, el impacto y la vibración son no deseados, entonces el objetivo es eliminar o reducir su severidad o, alternativamente diseñar equipos que reduzcan sus efectos.

Estos procedimientos son los que constituyen la base para controlar el impacto o la vibración.

1.2.4 VIBRACIONES FORZADAS Y AMORTIGUAMIENTO

Cuando el movimiento es mantenido únicamente por las fuerzas de restitución lo denominaremos como una vibración libre.

Cuando se aplique una fuerza al sistema el movimiento resultante lo denominaremos como una vibración forzada.

Cuando los efectos del rozamiento pueden despreciarse denominamos a estas vibraciones como no amortiguadas.

Una vibración forzada amortiguada dura tanto como dura la aplicación de la fuerza periódica que produce la vibración, pero la amplitud de la vibración se modifica por el efecto de las fuerzas de amortiguamiento.

1.3 GRAFICOS PARA EVALUAR LOS PARÁMETROS DE LA VIBRACION

1.3.1 Descripción del sistema masa resorte con una coordenada lineal

Movimiento vibratorio u oscilatorio de un sistema masa-resorte.

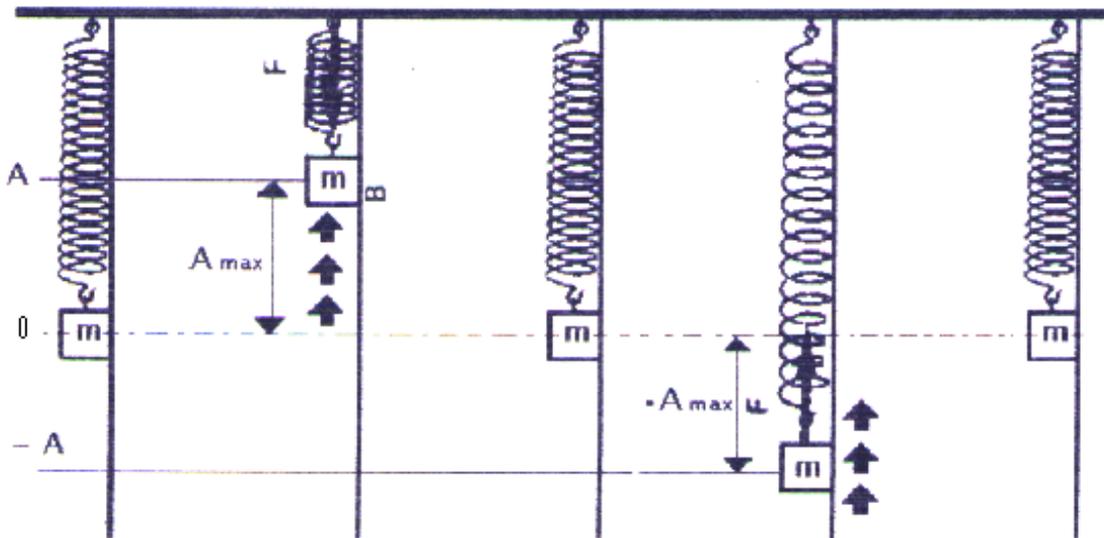


Fig. 1.11 movimiento vibratorio u oscilatorio de un sistema masa-resorte

A continuación en la fig.1.12 tenemos :

- Desplazamiento vs t .
- Velocidad vs t
- Aceleración. vs t

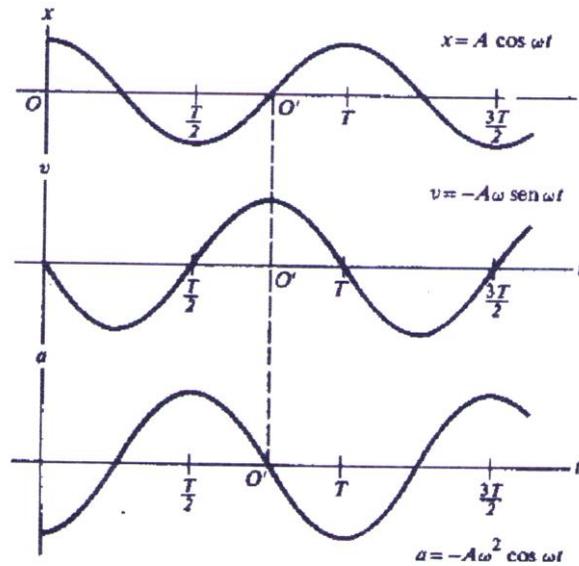
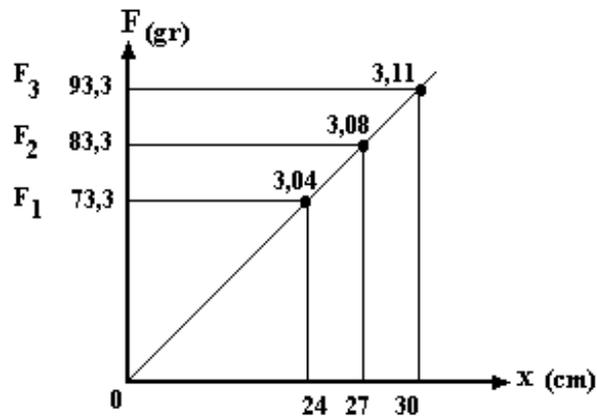


Fig. 1. 12 se puede observar la onda senoidal que describen el desplazamiento, velocidad y aceleración vs el tiempo de un sistema masa-resorte

Constante k de elasticidad



$$F = kx$$

$$k = \frac{F(\text{gr})}{x(\text{cm})}$$

$$k = \frac{F_1}{x_1} = \frac{73,3}{24} = 3,04 \text{ gr/cm}$$

$$k = \frac{F_2}{x_2} = \frac{83,3}{27} = 3,08 \text{ gr/cm}$$

$$k = \frac{F_3}{x_3} = \frac{93,3}{30} = 3,11 \text{ gr/cm}$$

1.3.2. Descripción del sistema péndulo simple coordenada angular

Movimiento oscilatorio de un péndulo

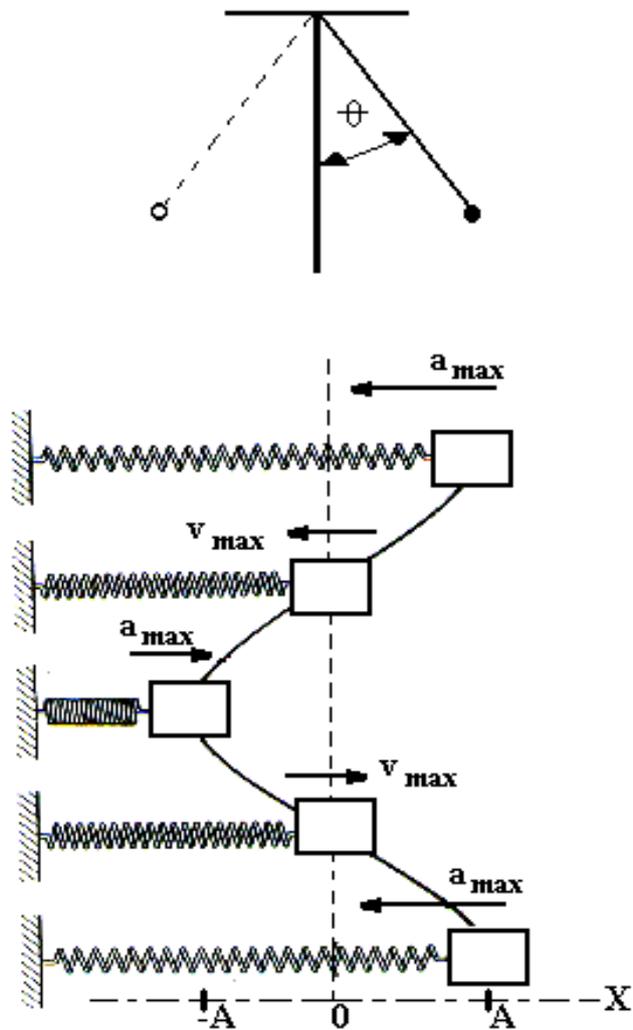


Fig.1.13 Relación entre dos sistemas de un grado de libertad

CAPITULO II

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

2.1. IDENTIFICACION DE LAS ALTERNATIVAS

Para la identificación de las alternativas se han escogido los siguientes tipos de bancos de pruebas para determinar las amplitudes de un sistema de vibración tomando en cuenta los requerimientos técnicos necesarios y su correcto funcionamiento.

- Banco de pruebas para determinar las amplitudes en un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de una sola coordenada lineal (masa - resorte).

- Banco de pruebas para determinar las amplitudes en un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de una coordenada angular (movimiento de un péndulo simple).

- Banco de pruebas para determinar las amplitudes en un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de un rodillo expuesto a una fuerza de torsión, una coordenada angular.

2.1.1 ANALISIS TECNICO

Para la realización del banco de pruebas se realizará un análisis técnico de cada uno de los bancos expuestos como alternativas de construcción aumentando de esta manera la capacidad de captación del presente tema, así como también se analizarán los diferentes tipos de materiales a utilizarse considerando además el factor económico de los mismos.

2.1.2 PRIMERA ALTERNATIVA

Como primera alternativa se tiene un banco de pruebas para determinar las amplitudes en un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de una sola coordenada lineal (masa - resorte) la misma que consta de los siguientes elementos:

- Resorte
- Masa
- Graficador (rodillo)
- Rayador

En este tipo de banco de pruebas se consigue determinar ondas senoidales horizontales como se muestra en la figura siguiente.

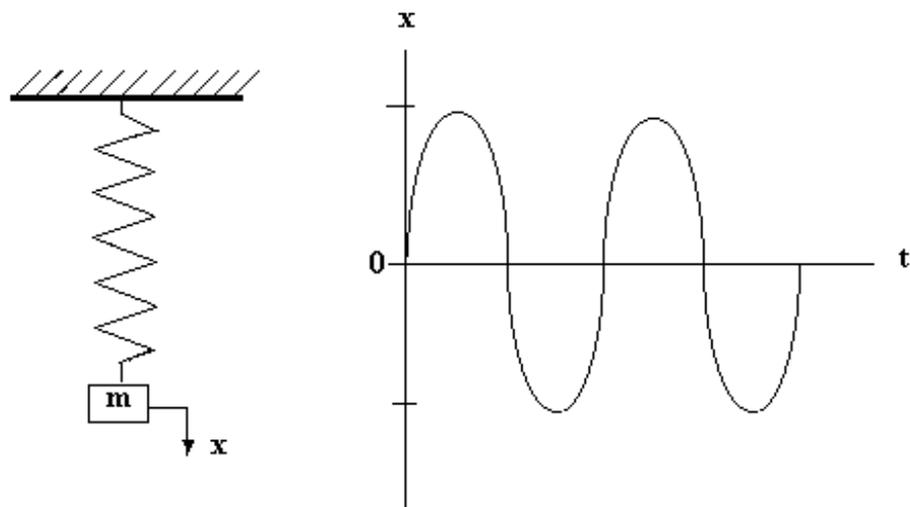


Fig 2.1 Banco de pruebas por medio de una sola coordenada lineal masa - resorte

Esta alternativa consta de una masa (las cuales pueden ser variables, como constantes) la misma que se encuentra sujeta en el extremo de un resorte (el cual puede ser variable o constante).

2.1.3 SEGUNDA ALTERNATIVA

En nuestra segunda alternativa tenemos un banco de pruebas para determinar las amplitudes en un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de una coordenada angular (movimiento de un péndulo simple), este banco contiene los siguientes elementos:

- Una masa
- Una cuerda ligera
- Graficador

Con este banco de pruebas se conseguirá determinar ondas senoidales verticales como se muestra en la figura siguiente:

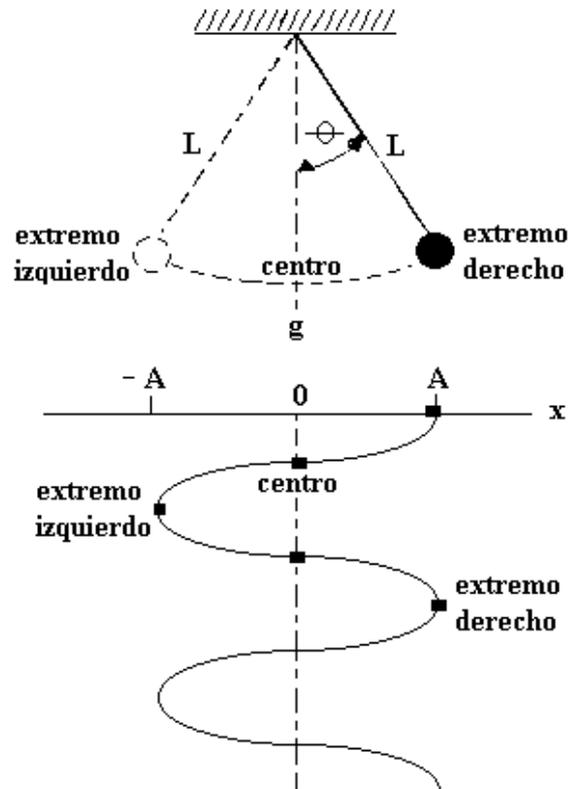


Fig.2.2 Banco de pruebas por medio de una coordenada angular (péndulo)

Nuestra segunda alternativa consta de una masa la misma que se encuentra suspendida en una cuerda ligera de longitud L y por su otro extremo superior se encuentra fijo.

2.1.4 TERCERA ALTERNATIVA

La tercera alternativa habla sobre un banco de pruebas para determinar las amplitudes en un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de un rodillo con una masa en un extremo expuesto a una fuerza de torsión, una coordenada angular, este banco

de pruebas consta de los elementos siguientes:

- Disco sólido
- Indicador

A continuación se muestra el gráfico de la tercera alternativa para la construcción del banco de pruebas.

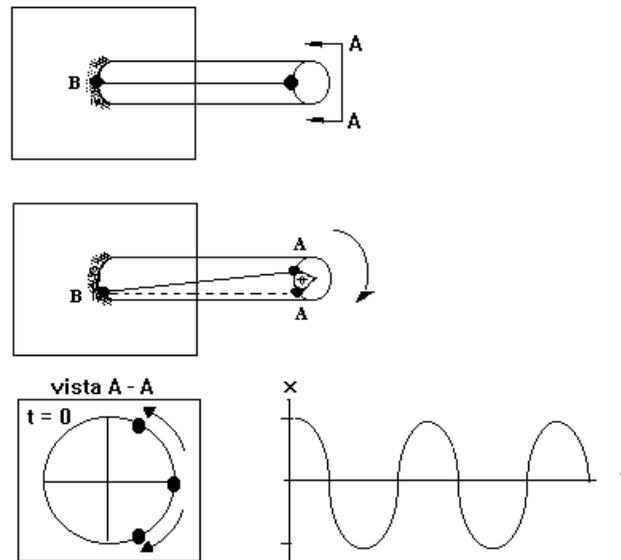


Fig.2.3 Banco de pruebas por medio de un rodillo expuesto a una fuerza de torsión

Esta alternativa está provista de una varilla de \emptyset pequeño el cuál se encuentra en forma horizontal y fijo en uno de sus extremos sobre una pared.

2.2 ANALISIS DE FACTIBILIDAD

En este tema de análisis de factibilidad se revisa cada una de las alternativas, sus respectivas ventajas como desventajas y luego poder seleccionar la mejor de ellas, determinando además los mejores requerimientos técnicos del mismo con la finalidad de elaborar el banco de pruebas más adecuado.

2.2.1 PRIMERA ALTERNATIVA

Banco de pruebas para determinar las amplitudes de un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de una sola coordenada

VENTAJAS

- Se podrá observar las ondas senoidales del sistema de vibración libre en este banco de pruebas de manera didáctica.
- Se podrá observar de una manera muy clara en la onda senoidal el desplazamiento vs el tiempo con la ayuda de diferentes velocidades que este banco de pruebas posee con sus respectivas amplitudes.
- El banco posee una forma didáctica de aprendizaje.
- Sus componentes son fáciles de adquirir en el mercado
- El costo para la elaboración de este banco es aceptable.
- Su mantenimiento de operación es económicamente bajo.

DESVENTAJAS

- Se debe tener un absoluto control de los diferentes equipos utilizados en el banco de pruebas por la facilidad que se tiene para extraérselos.

2.2.2 SEGUNDA ALTERNATIVA

Banco de pruebas para determinar las amplitudes en un sistema de vibración libre de un grado de libertad por medio de un ángulo θ , movimiento de un péndulo.

VENTAJAS

- La elaboración de este banco de pruebas es de un costo aceptable.
- Sus componentes son fáciles de adquirir.

DESVENTAJAS

- Para esta alternativa se debe tener en cuenta que su ángulo θ , tiene que ser siempre pequeño.
- Presenta mucha dificultad en el momento que se deba establecer la forma de marcado en el papel
- Por el movimiento oscilatorio que este banco de pruebas posee se puede determinar la onda senoidal sólo para desplazamientos angulares pequeños.
- Se necesita de un espacio muy alto para la colocación de un péndulo, esto implica que

tendremos material desperdiciado en grandes cantidades.

- Su construcción es un poco dificultosa.

2.2.3 TERCERA ALTERNATIVA

Banco de pruebas para determinar las amplitudes de vibración libre de un grado de libertad por medio de un rodillo expuesto a una fuerza de torsión.

VENTAJAS

- No posee de muchos elementos y los mismos son fáciles de adquirir en el mercado.
- No ocupa mucho espacio en el laboratorio
- El costo de su mantenimiento no es muy elevado.

DESVENTAJAS

- No se puede estudiar de una manera adecuada la amplitud que esta alternativa brinda por ser pequeña la onda senoidal que nos muestra.
- No cubre las expectativas deseadas para su fabricación.
- Se requiere de un esfuerzo grande para la torsión del material
- Su operación y control no es propicio para el aprendizaje de los alumnos

2.3 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Para la selección de la mejor alternativa se realiza un estudio técnico de cada alternativa expuesta anteriormente.

2.3.1 ESTUDIO TECNICO

Para el estudio técnico de las alternativas se inicia desde sus ventajas y desventajas consideradas las más importantes las mismas que ayudan con la evaluación posterior a cada una.

Además se ha considerado tres aspectos importantes en esta selección, los mismos que son: técnico, económico y secundario.

A estos aspectos se los ha dividido de la siguiente manera:

ASPECTO TÉCNICO

- Materiales
- Funcionamiento
- Precisión
- Rendimiento
- Proceso de elaboración
- Operación y control
- Mantenimiento

ASPECTO ECONOMICO

- Costo de construcción
- Costo de mantenimiento

ASPECTO SECUNDARIO

- Forma
- Tamaño

A continuación se procede a definir cada uno de los aspectos los mismos que serán evaluados para los tres tipos de alternativas.

Los valores serán considerados y posteriormente anotados en una tabla para seleccionar la mejor alternativa.

Los valores para los aspectos de cada alternativa estarán dadas entre 0 a 1.

Materiales: Es muy importante por la facilidad que debe tener en la adquisición de los diferentes materiales.

Funcionamiento: El banco de pruebas elegido debe cumplir con las características con las que a de ser construido

Precisión: Debemos encontrar cierto grado de precisión en cada elemento.

Rendimiento: Se debe poseer un rango aceptable en el rendimiento de cada equipo a fin de cumplir con las normas con las que han sido adquiridas.

Proceso de elaboración: Trata sobre la fabricación de los elementos los cuales deben cumplir

con las respectivas medidas de tolerancia.

Operación y control: Al finalizar con la construcción del banco de pruebas se debe regir a un proceso el cuál ayude a una óptima operación y control del banco.

Mantenimiento: Se debe tener muy en cuenta este punto ya que para su mantenimiento, el costo de nuevos repuestos no debe ser elevado.

Costo de construcción: Este factor es de mucha importancia ya que aquí se evaluará el costo de construcción del banco de pruebas.

Costo de mantenimiento: Se deberá economizar luego de construido el banco de pruebas en lo que se refiere a su mantenimiento.

Forma: Este parámetro trata en todo lo que se refiere a su estructura (armazón).

Tamaño: Factor que se refiere a lo que es espacio el cual será ocupado por el banco de pruebas.

2.4. EVALUACION DE PARAMETROS

Tabla 2.1: Evaluación de parámetros

EVALUACION DE PARAMETROS	ALTERNATIVAS		
	PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA
Materiales	0.7	0.5	0.4
Funcionamiento	0.6	0.5	0.4
Precisión	0.8	0.7	0.5
Rendimiento	0.6	0.6	0.4
Proceso de elaboración	0.6	0.3	0.3
Operación y control	0.5	0.5	0.4
Mantenimiento	0.4	0.2	0.2
Costo de construcción	0.8	0.6	0.4
Costo de mantenimiento	0.7	0.6	0.5
Forma	0.2	0.2	0.2
Tamaño	0.3	0.2	0.1
TOTAL	6.2	4.9	3.8

Los valores que se indican en la tabla de evaluación de parámetros 2.1 están dados de acuerdo a la evaluación y definición de cada uno de los aspectos para los tres tipos de alternativas presentados anteriormente.

2.4.1 ALTERNATIVA SELECCIONADA CON RELACION A LA TABLA DE PARAMETROS

Luego de haber realizado los estudios de parámetros de las alternativas se llega a la conclusión que la primera alternativa es la más adecuada, para lo cuál se presenta el esquema del banco de pruebas seleccionado.

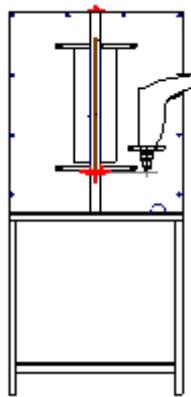


Fig.2.4 Esquema del banco de pruebas seleccionado

CAPITULO III

CONSTRUCCION

En este capítulo de construcción del banco de pruebas se lo realizará siguiendo un orden el mismo que se encuentra estructurado de la siguiente manera.

Orden a seguir para la construcción del banco de pruebas

- Estructura del banco de pruebas
- Acoples
 - Superior
 - Inferior.
- Rodillo de madera
- Polea
- Fuente de movimiento

Para realizar los diferentes componentes que este banco de pruebas llevará consigo se requiere tener nociones fundamentales de algunos tipos de materiales los mismos que han sido escogidos en el mercado.

Tipo de material utilizado en la fabricación del banco de pruebas

- Acero de transmisión SAE 1080

- Poliamida
- Acero k 460
- Madera del banco de pruebas
- Madera para la elaboración del rodillo
- Aluminio
- Material para elaboración del resorte

Acero de transmisión SAE 1080

- Este tipo de acero de transmisión contiene carbono de 0,5 a 0,20%
- Contiene manganeso de 0,60 a 0,90%
- Resistente a la tracción, dureza, 143 BRINNEL siempre y cuando se le haga un tecniferado.
- Elongación en pulgadas 20%



Fig. 3.1 Acero de transmisión

Mientras un acero de transmisión contenga más cantidad de carbono este tipo de material será mas duro.

Tecniferado.- se refiere al nombre de un tratamiento térmico que los materiales poseen.

Utilización

En el banco de pruebas, este tipo de material se lo utiliza en la fabricación de los ejes del rodillo, (ANEXO B, lámina 9 / 13)

POLIAMIDA

- Es un material de plástico procesado,
- Resistente al calor y al desgaste
- Fácil de trabajar



Fig.3.2 Poliamida

Utilización

Con este material de plástico se ha elaborado la construcción de la polea escalonada

(ver ANEXO B, lámina 5 / 13)

MADERA MDF, 5mm de espesor

- Fácil de trabajar
- No necesita de mucho tratamiento para su acabado final.
- No presenta dificultad en el momento de conseguirlo en el mercado.

Utilización

Este tipo de madera será utilizado para el armado de los diferentes elementos junto con la estructura del banco de pruebas.(ANEXO A, lámina 2 / 13)

MADERA DE LAUREL

- Reúne las características necesarias para la elaboración del rodillo
- Su contextura es liviana
- Material fácil de trabajar

Utilización

Este tipo de madera será utilizado para la elaboración de un rodillo. (ver ANEXO B, lámina 4 / 13)

ALUMINIO

- Material fácil de trabajar
- Su contextura no es muy pesada
- Fácil de conseguir en el mercado

Utilización

Este tipo de material será utilizado en la elaboración de la masa del banco de pruebas
(ver ANEXO B, lámina 12 / 13)

Tipos de máquinas herramientas utilizadas en la fabricación de los diferentes elementos del banco de pruebas

Tabla 3.1 Máquinas herramientas

MAQUINA HERRAMIENTA	CARACTERÍSTICA
Fresa Sunlay	Fresa de torreta
Torno Sunlay	Distancia entre centros 1,65 cm
Suelda eléctrica Miller	110 voltios
Suelda autógena	Acetileno y Oxígeno
Compresor Dovat	110 voltios 100 lbs.
Esmeril Superfilca	3450 rpm.
Taladro Ryobi toyanc	1600 r.p.m.

Cálculo para determinar la potencia de la fuente de movimiento

Es necesario determinar cual es la potencia de la fuente de movimiento que será utilizado en el banco de pruebas.

Calculo de las RPM

Se necesita saber cuantas RPM son necesarias en la fuente de movimiento para posteriormente adquirirla en el mercado, aplicando la siguiente fórmula:

$$\phi_1 n_1 = \phi_2 n_2 \quad (3.1)$$

Donde:

ϕ_1 = diámetro de la polea conductora

ϕ_2 = diámetro de la polea conducida

n_1 = número de revoluciones de la polea conductora

n_2 = número de revoluciones de la polea conducida

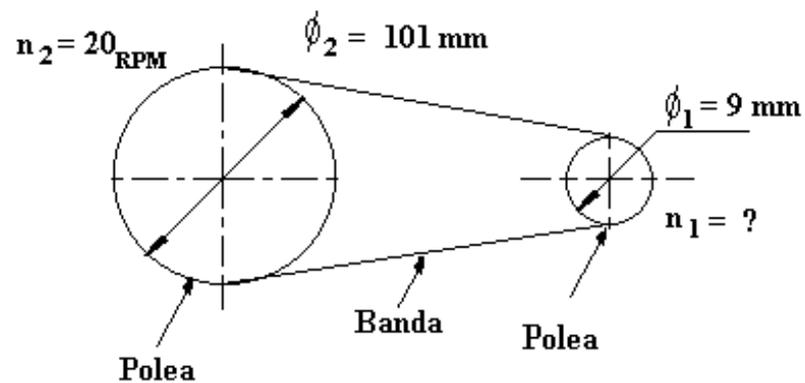


Fig.3.3 valores de los diámetros indicados son diámetros efectivos

Datos:

$\phi_1 = 9 \text{ mm}$

$\phi_2 = 101 \text{ mm}$

$n_1 = ?$

$n_2 = 20 \text{ rpm.}$

De la fórmula (3.1) se despeja n_1 y se obtiene:

$$n_1 = \frac{\phi_2 n_2}{\phi_1}$$

$$n1 = \frac{101 \cdot 20}{9} = \mathbf{224 \text{ RPM}}$$

Las 224 RPM (revoluciones por minuto) obtenidas por la fuente de movimiento es considerada ideal para el banco de pruebas, pero a esto debemos sumarle el 4% que corresponde al deslizamiento de la banda con respecto a las poleas como son la conductora y la conducida.

Este porcentaje del 4% de deslizamiento se lo a tomado en cuenta ya que es muy importante el deslizamiento que existe en cada mecanismo que funcione con poleas y bandas, este dato se obtuvo luego de haber realizado una investigación a diferentes mecánicos.

$$224 \text{ r.p.m.} + 4\% = \mathbf{232rpm}$$

El valor obtenido como respuesta sirve para utilizarlo con los dos conjuntos de poleas.

Cálculo para determinar la banda de transmisión

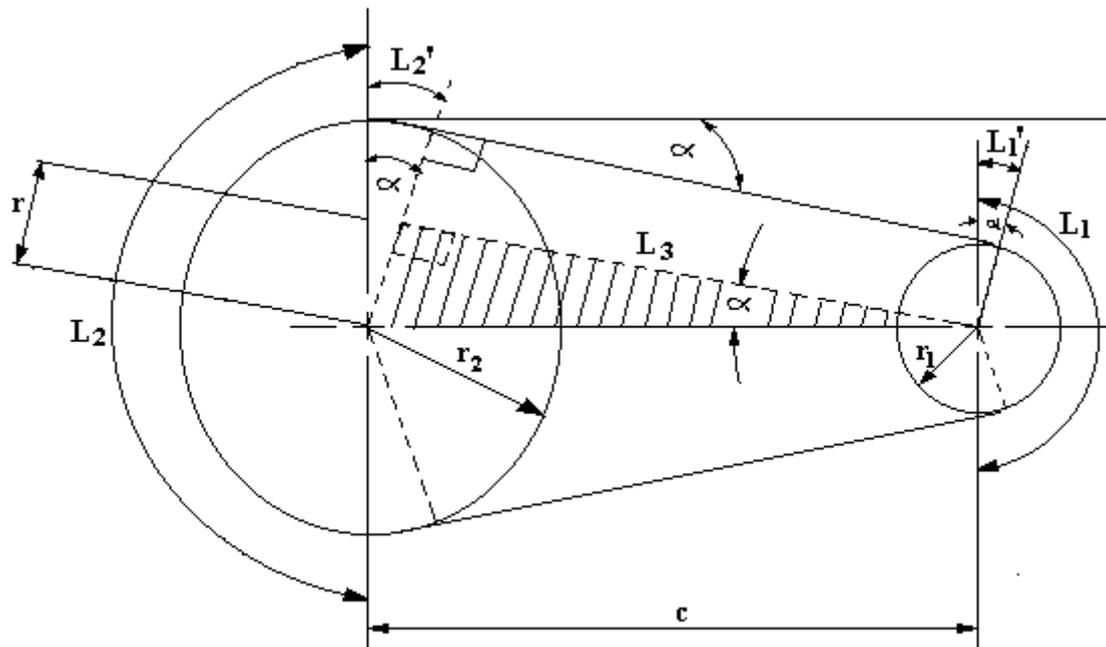


Fig. 3.4 cálculo de banda de transmisión

Donde:

α = Inclinación de la banda

c = Distancia entre ejes

r_1 = Radio de patea motriz

r_2 = Radio de patea conducida

r = Diferencia entre radios

$$L_1 = \pi \cdot r_1 \quad (3.2)$$

$$L_1' = \alpha \cdot r_1 \quad (3.3)$$

$$L_2 = \pi \cdot r_2 \quad (3.4)$$

$$L_2' = \alpha \cdot r_2 \quad (3.5)$$

$$\mathbf{r} = r_2 - r_1 \quad (3.6)$$

Datos:

$$\mathbf{r}_2 = 50.5$$

$$\mathbf{r}_1 = 5.25$$

$$\mathbf{c} = 177$$

$$\alpha = ?$$

Con la aplicación del Teorema de Pitagoras se obtiene:

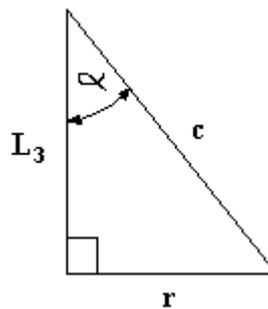


Fig. 3.5 Teorema de Pitagoras

$$\text{sen } \alpha = \frac{r}{c}$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1}\left(\frac{r}{c}\right)$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1}\left(\frac{r_2 - r_1}{c}\right)$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1}\left(\frac{50.5 - 5.25}{177}\right)$$

$$\alpha = 14,8^\circ$$

$$\alpha = 0,258 \text{ rad.}$$

$$L = L_1 + L_2 + 2L_2 - 2L_1 - 2 + L_3$$

$$L = \pi \cdot r_1 + \pi \cdot r_2 + 2 \cdot \alpha \cdot r_2 - 2 \cdot \alpha \cdot r_1 + 2 \cdot c \cdot \cos \alpha$$

$$L = \pi(r_2 + r_1) + 2 \cdot \alpha(r_2 - r_1) + 2 \cdot c \cdot \cos \alpha$$

$$L = \pi(5.25 + 5.05) + 2(0.258 \text{ rad})(50.5 - 5.25) + 2(177) \cos(0.258 \text{ rad})$$

$$L = 175.144 + 23.349 + 342.255$$

$$L = 540,478 \text{ mm}$$

Cálculo para determinar el torque

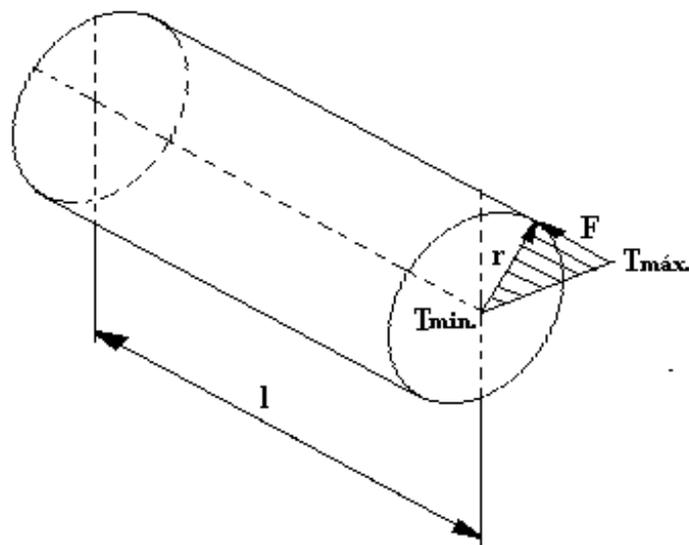


Fig. 3.6 Torque del rodillo

Donde:

l = longitud del rodillo

r = radio

F = fuerza

T_{máx.} = Torque máximo
T_{min.} = Torque mínimo
δ = densidad de la madera
g = gravedad

Datos:

$$l = 397\text{mm}$$

$$\delta = 705 \text{ kg / m}^3 \text{ (tablas)}$$

$$r = 71$$

$$g = 9,8 \text{ m / s}^2$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = \int_0^r F \cdot dr$$

$$F = m \cdot g$$

$$m = V \cdot \delta \left[m^3 \frac{\text{Kg}}{m^3} \right]$$

$$F = V \cdot \delta \cdot g$$

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot l$$

$$F = \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \delta \cdot g$$

$$T = \int_0^r \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \delta \cdot g \cdot dr$$

$$T = \pi \cdot l \cdot \delta \cdot g \left[\int_0^r r^2 \cdot dr \right]$$

$$T = \pi \cdot l \cdot \delta \cdot g \cdot \left[\frac{r^3}{3} \Big|_1 - \frac{r^3}{3} \Big|_0 \right]$$

$$= \frac{\pi \cdot l \cdot \delta \cdot g \cdot r^3}{3}$$

$$\begin{aligned}
 T_{rodillo} &= \frac{\pi \cdot l \cdot \delta \cdot g \cdot r^3}{3} \\
 &= \frac{\pi (0.39m) (705 \frac{kg}{m^3}) (9.8 \frac{m}{s^2}) (0.0071m)^3}{3} \\
 &= 1,02Kg \cdot m = 9,996Nm
 \end{aligned}$$

$$w = 20RPM = 2,09 \frac{rad}{seg}$$

$$\begin{aligned}
 P_{rodillo} &= T \cdot w \\
 &= 9,996Nm \cdot 2,09 \frac{rad}{seg} = 20,93W
 \end{aligned}$$

$$P_{motor} = 500w$$

$$n = 232RPM = 24,29 \frac{rad}{seg}$$

$$T_{motor} = \frac{P_{motor}}{n} = \frac{500W}{24,29 \frac{rad}{seg}} = 20,58N \cdot m$$

Comparación de torques

$$\text{Rodillo} = 9,996 \text{ Nm}$$

$$\text{Motor} = 20,58 \text{ Nm}$$

Se concluye que en la comparación de torques tenemos una relación de 2:1

Comparación de potencias

Rodillo = 20,93 w

Motor = 500 w

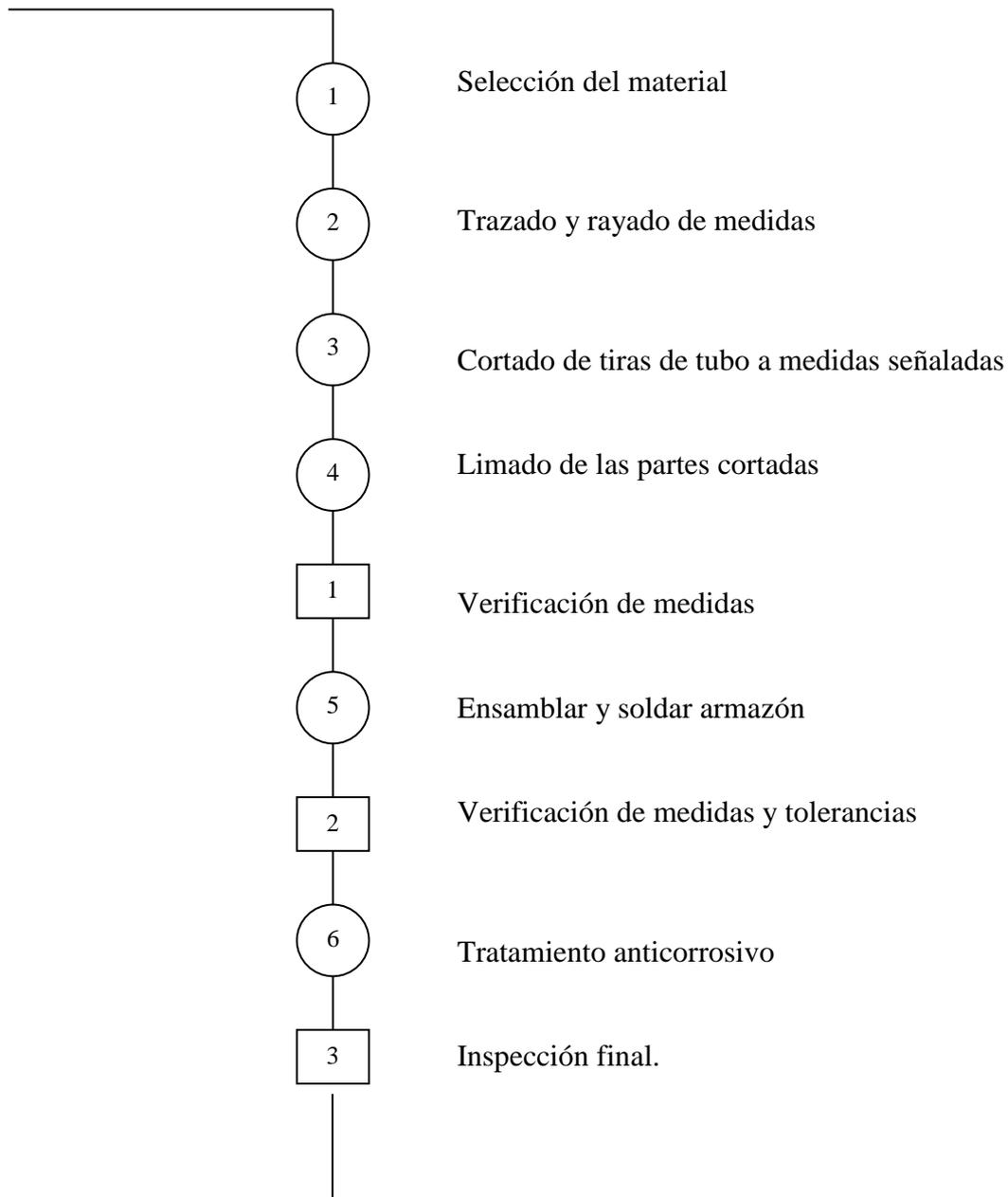
Se concluye que en la comparación de potencias se obtiene una relación de 25:1

3.1 DIAGRAMAS DE PROCESOS

3.1.1 Diagrama de proceso de construcción de la estructura del banco de pruebas

(ver ANEXO A, Lámina 2 / 16)

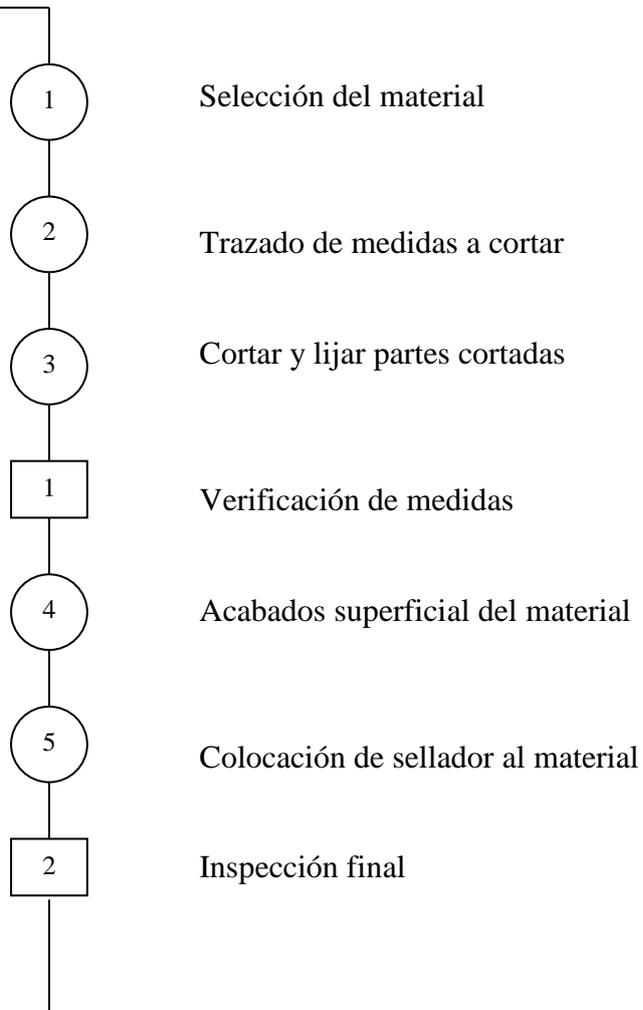
Material : Tubo cuadrado



3.1.2 Diagrama de proceso de construcción de tablero del banco de pruebas

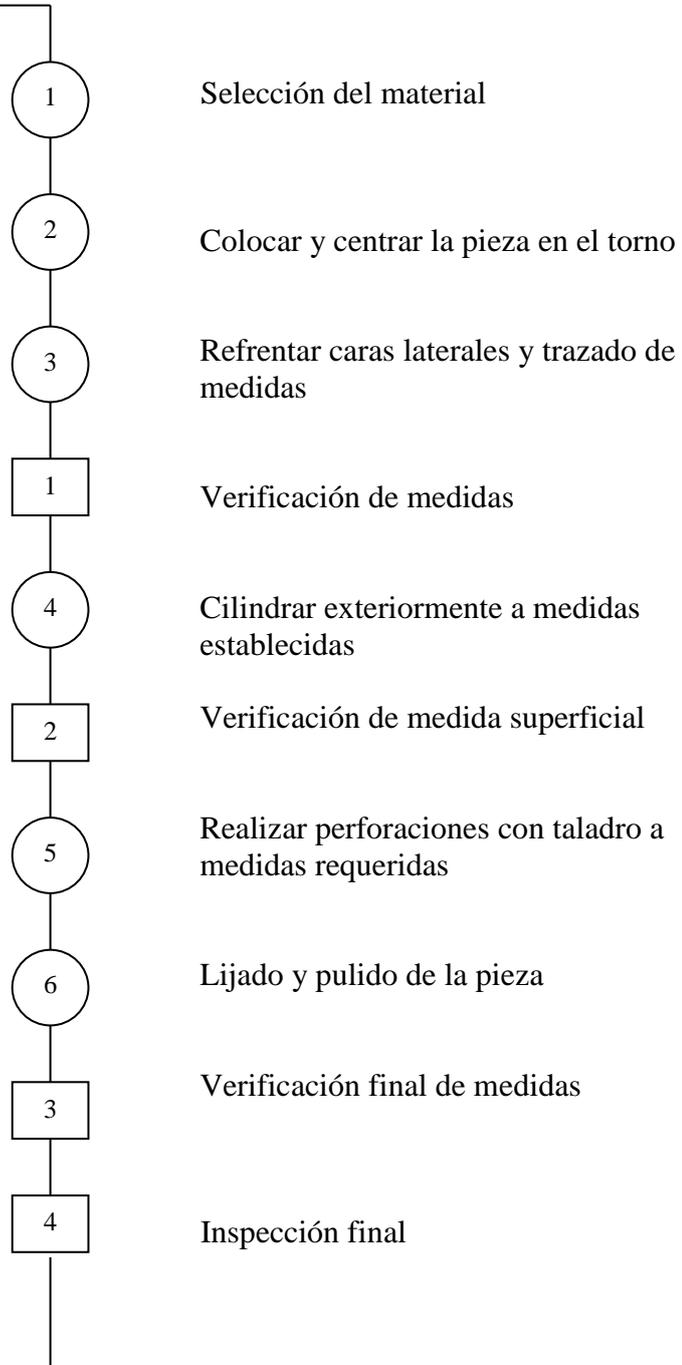
(ver ANEXO A, Lámina 2 / 13)

Material : Madera MDF de 5 mm.



3.1.3 Diagrama de proceso de construcción del rodillo (ver ANEXO B. Lámina 4 / 13)

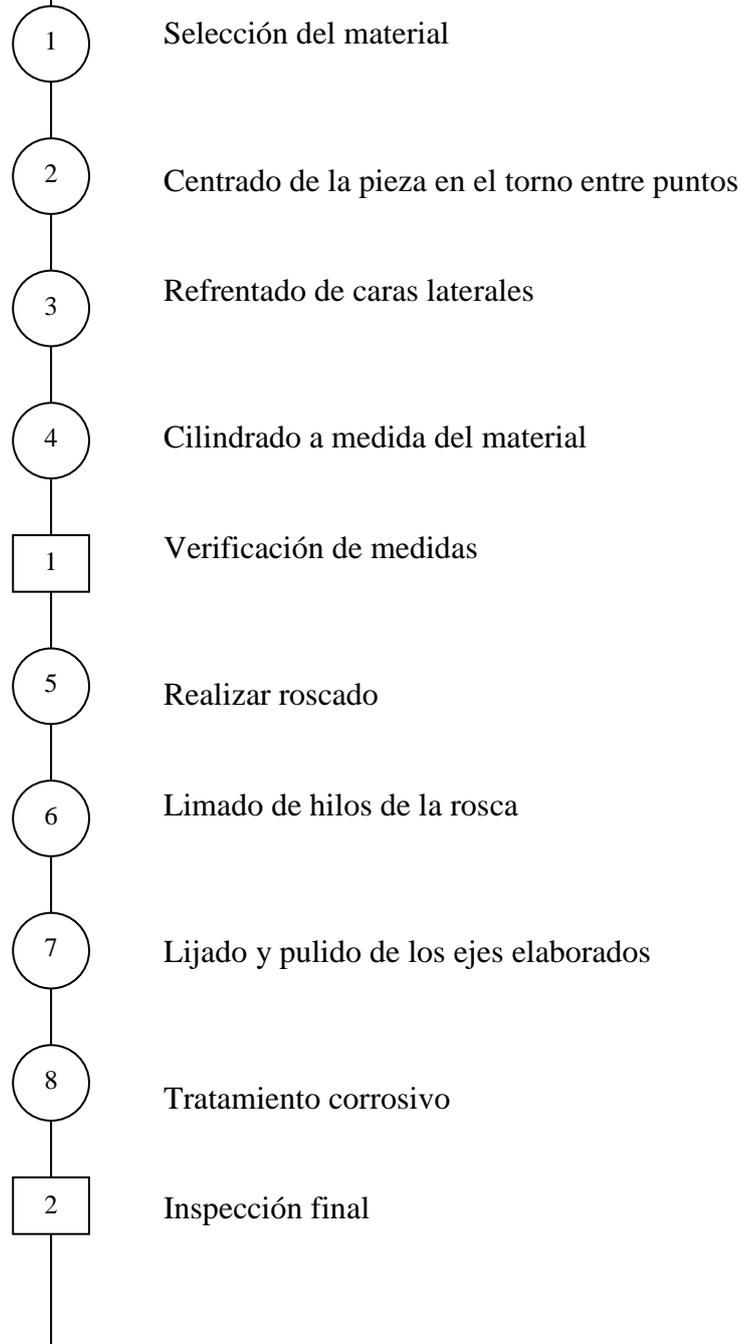
Material: Barra de madera de 155mm



3.1.4 Diagrama de proceso de construcción de ejes del rodillo (ver ANEXO B

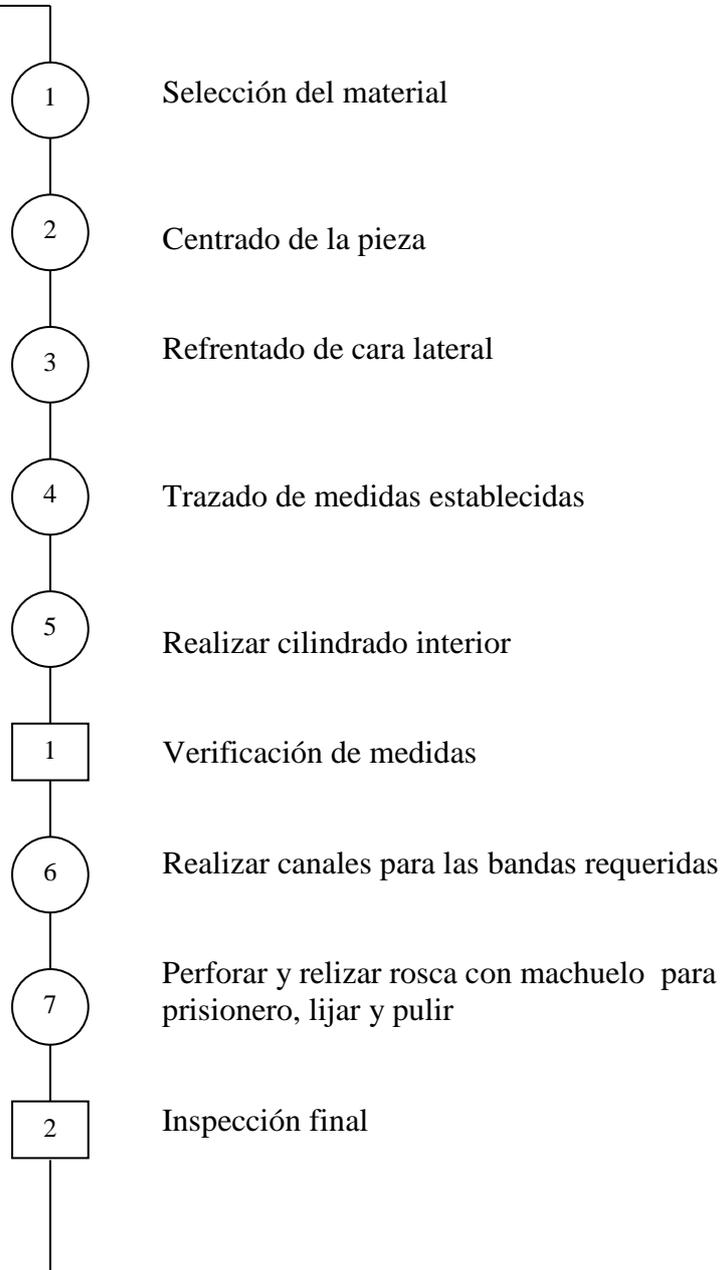
Lámina 9 / 13)

Material : Acero SAE 1080



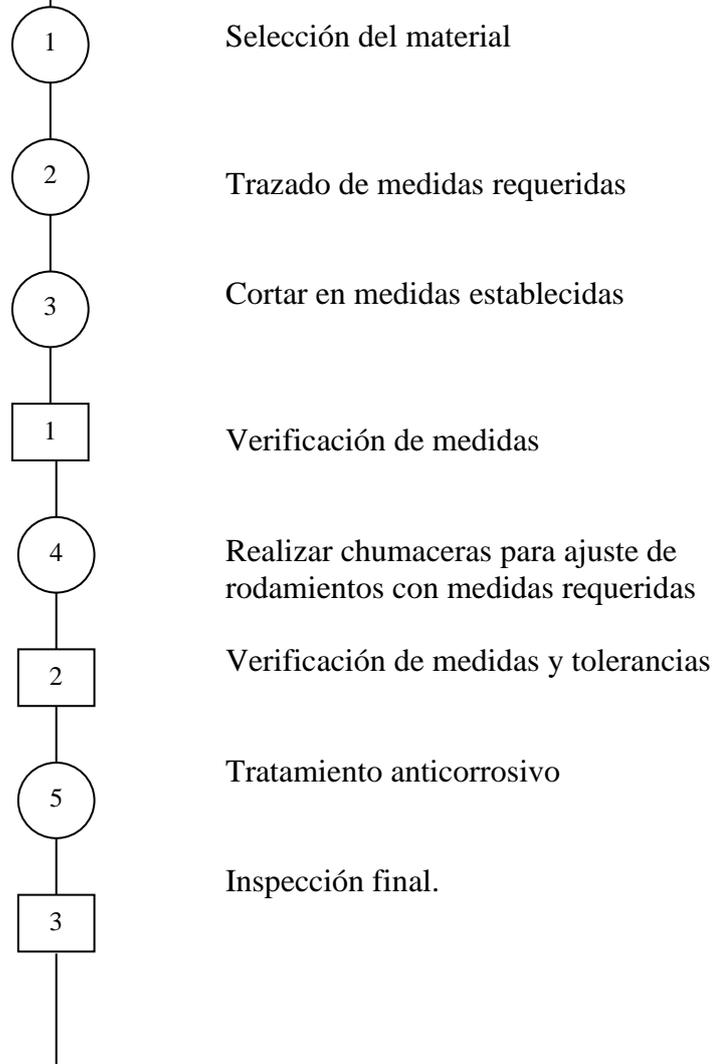
3.1.5 Diagrama de proceso de construcción de polea escalonada (ver ANEXO B, lámina 5 / 13)

Material : Poliamida de \varnothing 120mm



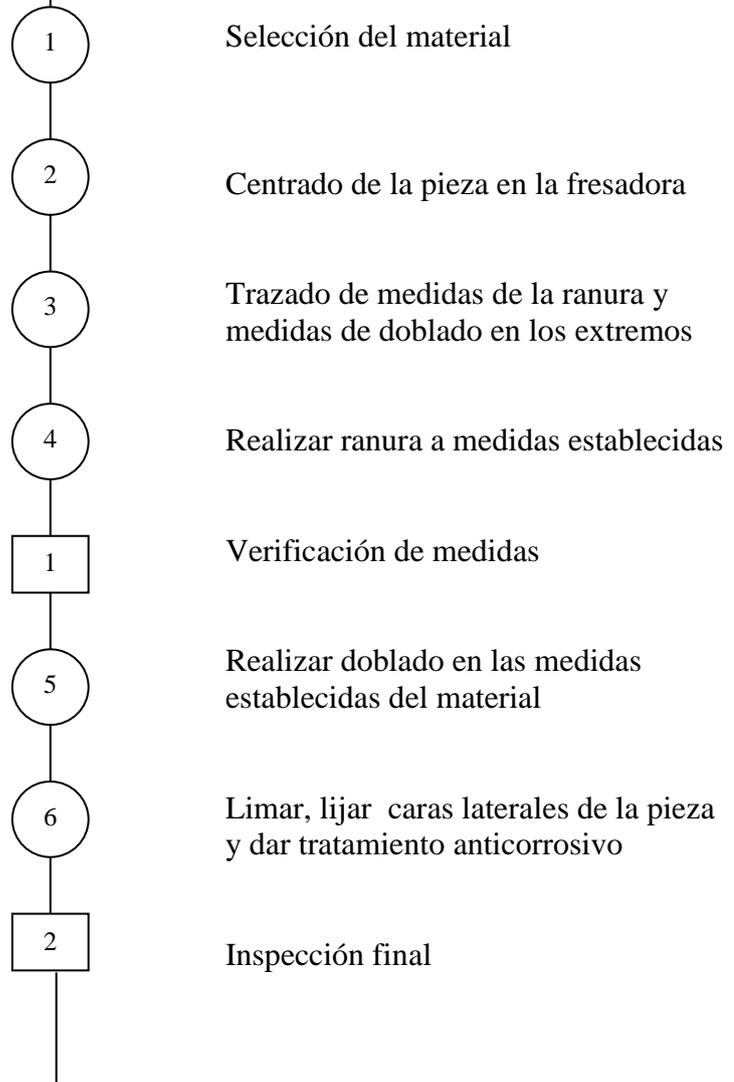
3.1.6 Diagrama de proceso de construcción de soportes de rodillo (ver ANEXO B, lámina 3 / 13)

Material : Platina de 3mm de espesor



3.1.7 Diagrama de proceso de construcción de la guía de la masa (ver ANEXO B, lámina 6 / 13)

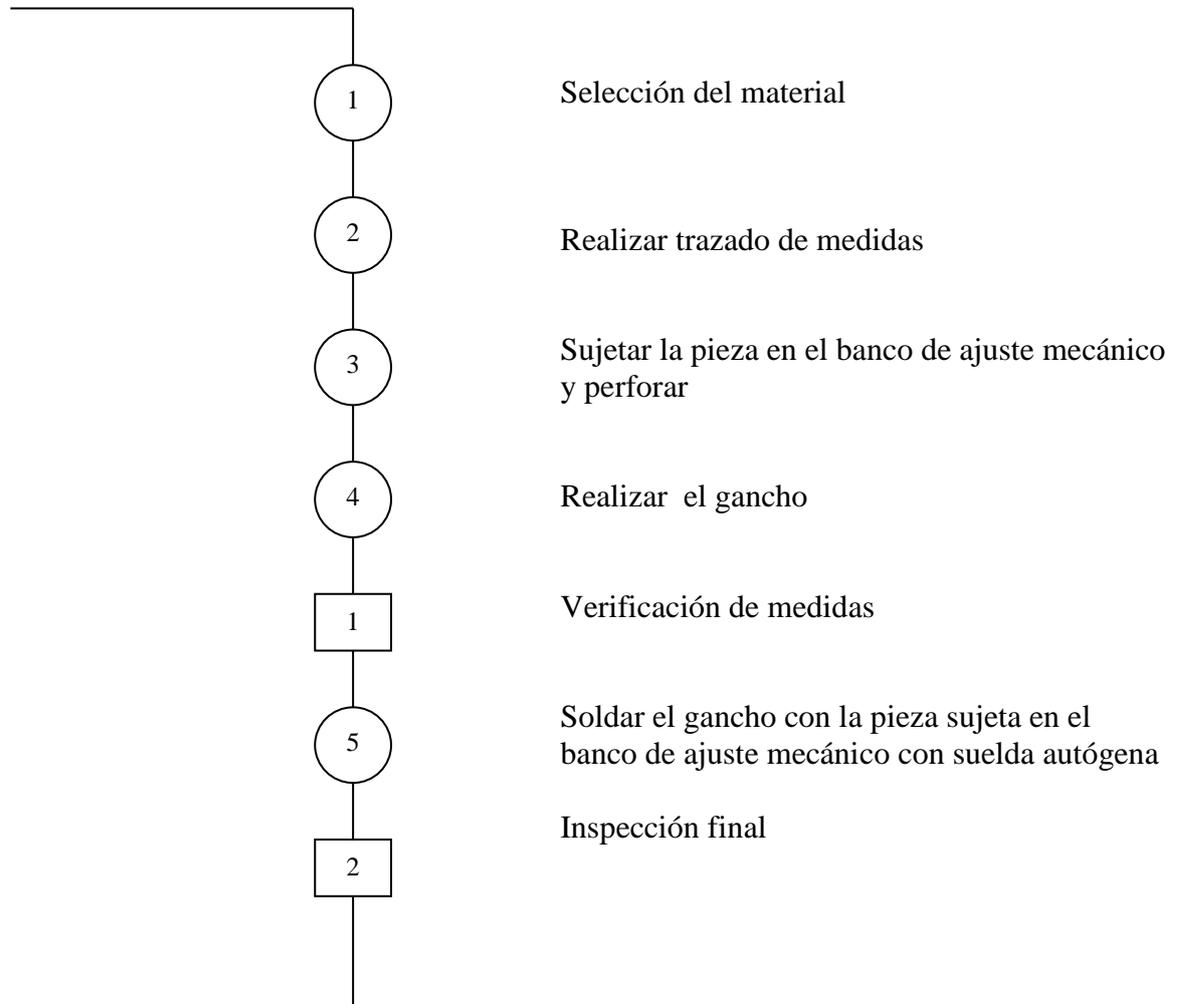
Material : Platina de 3mm de espesor



3.1.8 Diagrama de proceso de construcción de gancho que sostiene al resorte

(ver ANEXO A N° de parte 18, lámina 1 / 13)

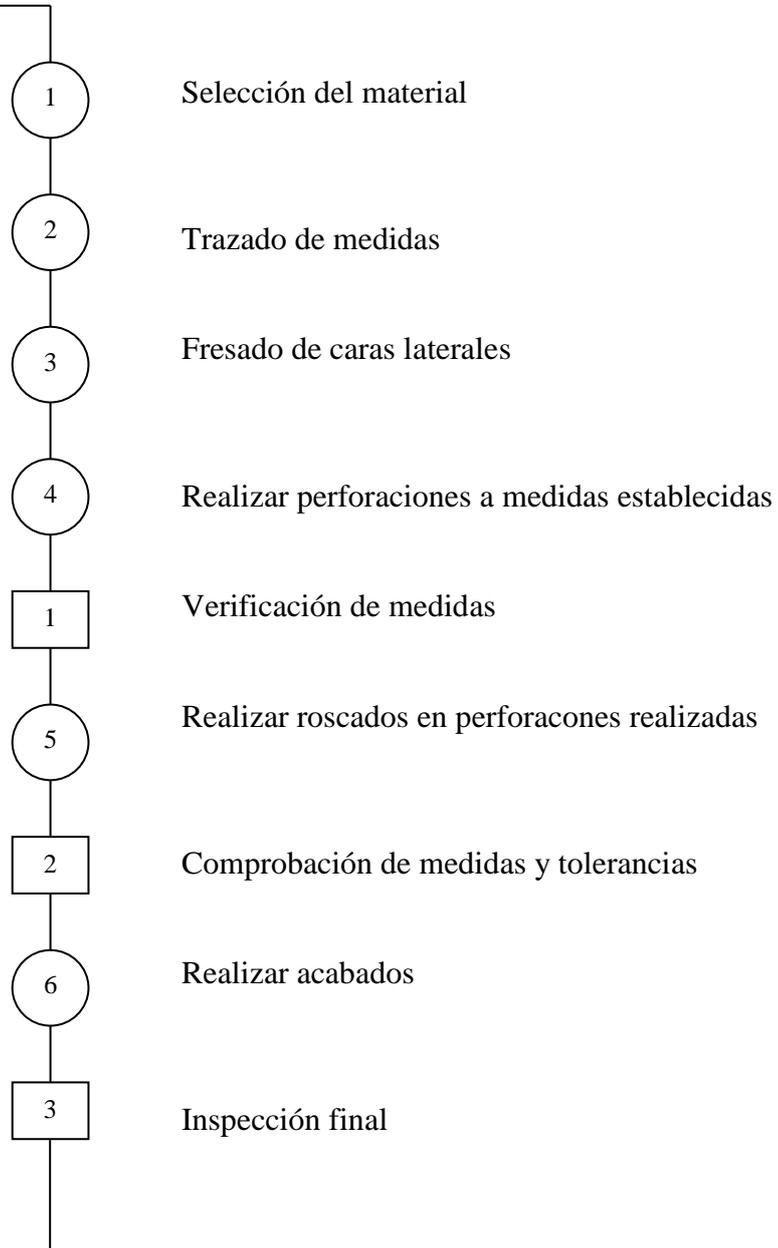
Material : Acero SAE 1080



3.1.9 Diagrama de proceso de construcción de la masa (ver ANEXO B

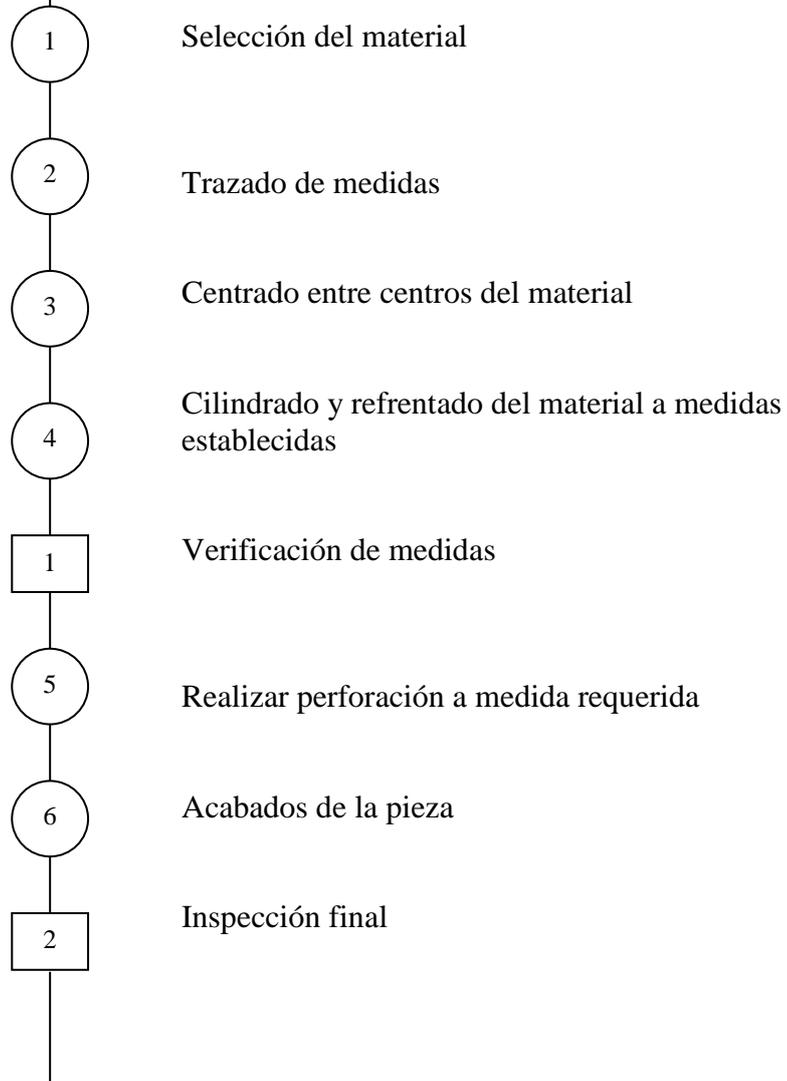
lámina 12 / 13)

Material: Aluminio



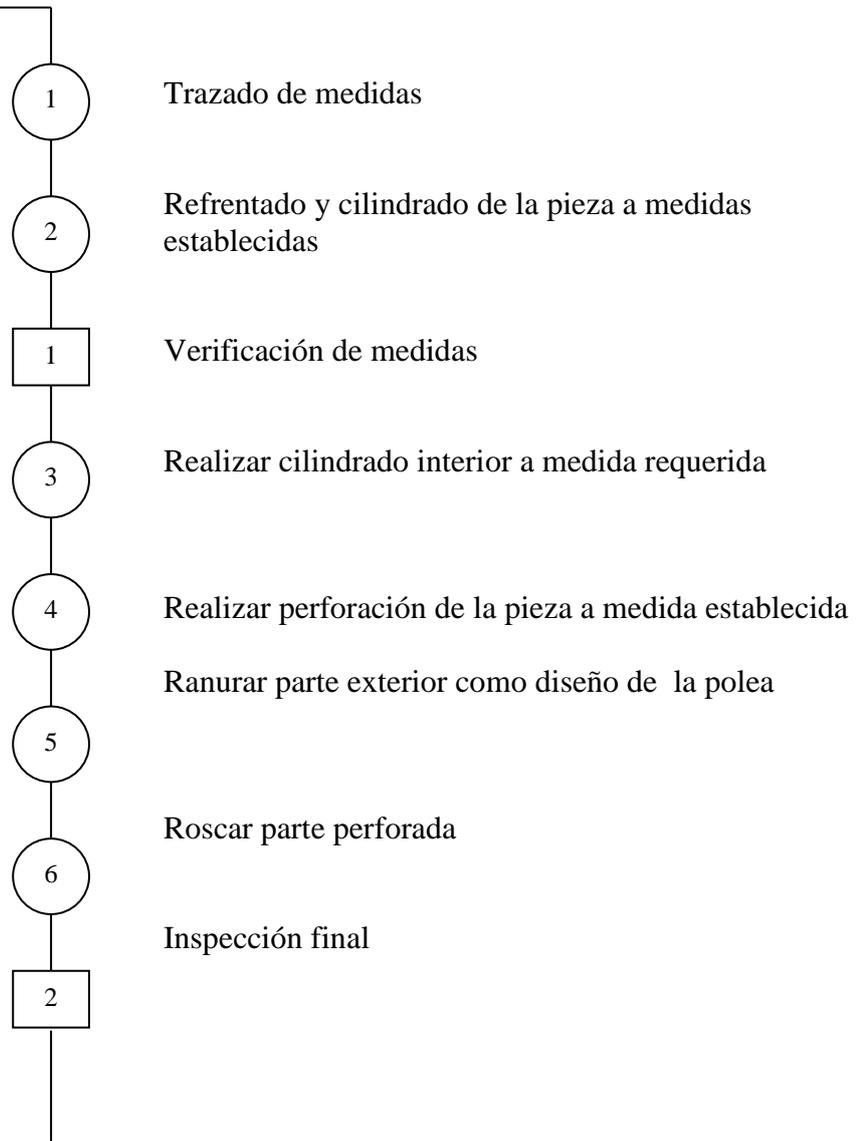
3.1.10 Diagrama de proceso de construcción de espaciador guía (ver ANEXO B, lámina 12 / 13)

Material : Barra $\frac{1}{2}$ "



**3.1.11 Diagrama de proceso de construcción de polea motriz (ver ANEXO B,
lámina 11 / 13)**

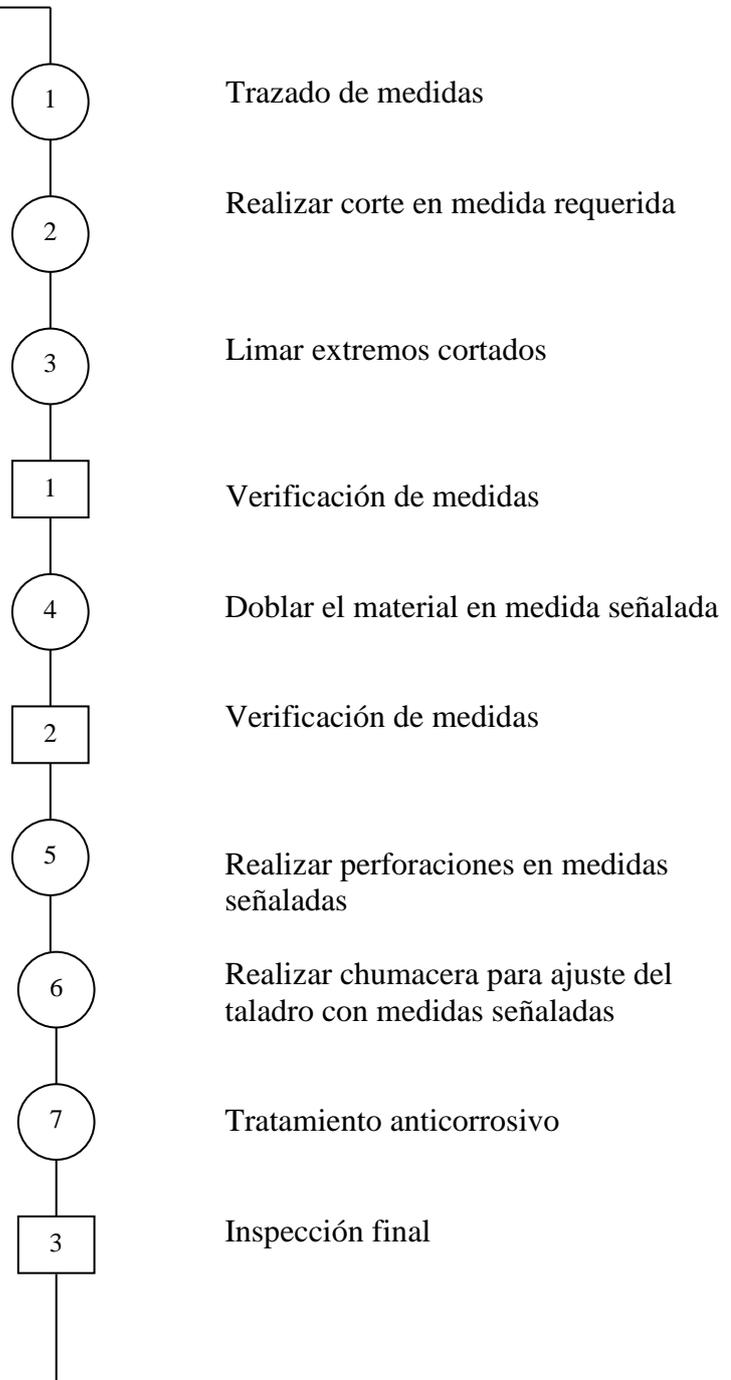
Material: Acero de \varnothing 20mm



3.1.12 Diagrama de proceso de construcción del soporte del taladro (ver ANEXO

B, lámina 10 / 13)

Material : Platina de 3 mm de espesor



3.2 DIAGRAMA DE MONTAJE

Luego de haber terminado con la fabricación de los diferentes elementos para el banco de pruebas, se procede con el ensamble del mismo, para lo cual lo se debe realizar con las debidas precauciones, ya que existen elementos totalmente sensibles, así como también se requiere de tolerancias y ajustes determinados.

Herramientas requeridas

- **Llaves**

 - 10mm

 - 7mm

 - 8mm

- **Desarmadores**

 - Plano

 - Estrella

- **Hexagonales**

 - 2,5mm

- **Pinzas**

 - Plana

 - redonda

- **Taladro y brocas**

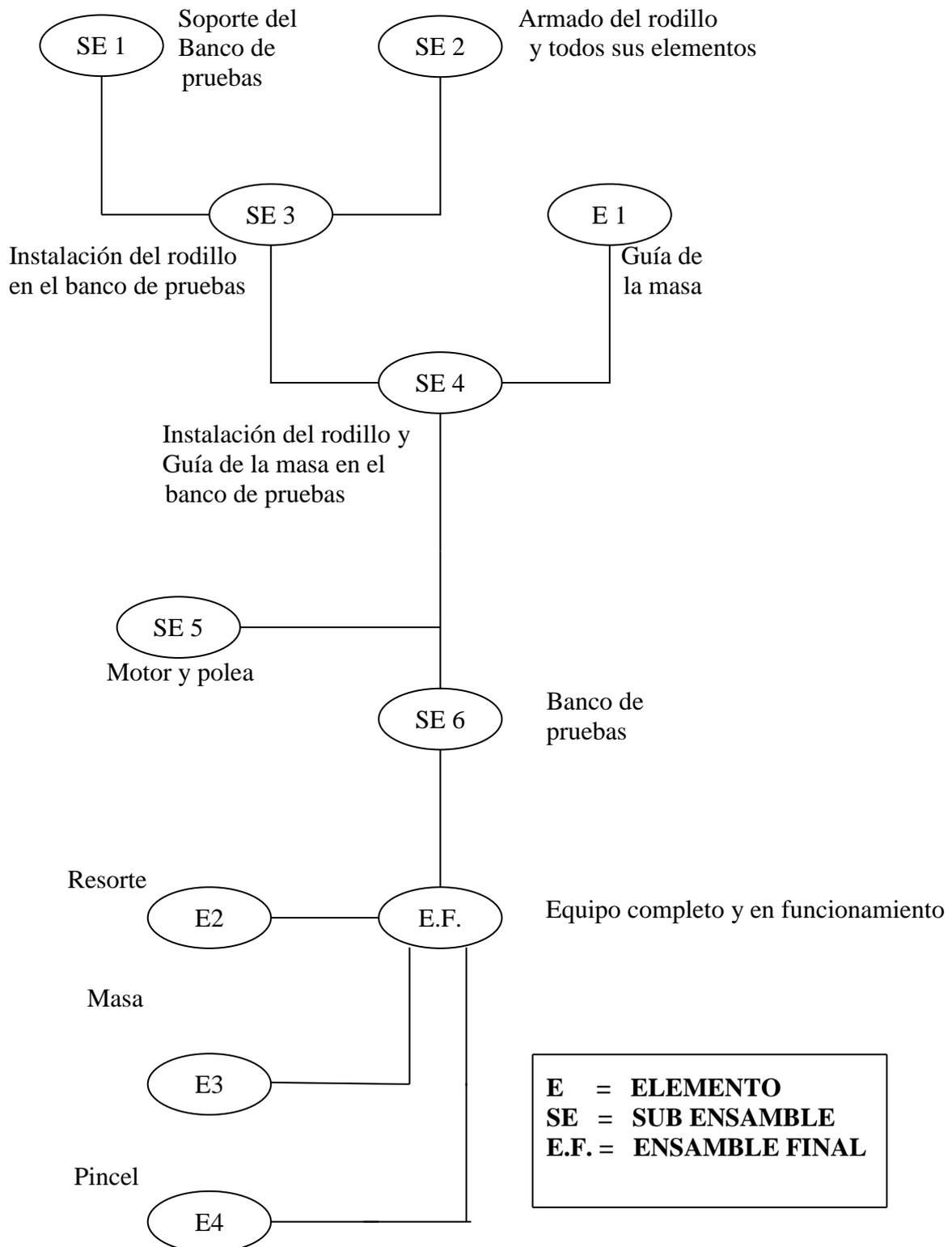
- **Cuchilla**

- **Type**

- **Nivel de superficie**

En el siguiente diagrama se muestran claramente el ensamble de los diferentes elementos del banco de pruebas.

3.2.1 Diagrama de ensamble del banco de pruebas



3.3 Pruebas de funcionamiento

Para alcanzar el funcionamiento final de este banco de pruebas se encontraron algunas dificultades, así tenemos que luego de haber realizado los diferentes cálculos para conocer las R.P.M. necesarias para el trabajo investigativo se pudo constatar que la fuente de movimiento no se la podía encontrar en el mercado por sus bajas revoluciones (motor único sin elementos extras para su funcionamiento) , probando con diferentes motores como por ejemplo: motor del ventilador del carro, motor de una máquina de coser, entre otros, encontrando un reductor de RPM el mismo que funcionaría con un motor con altas R.P.M. , la adquisición de este motor con el reductor de R.P.M. llegaba a costar 1200 USD y por falta de recursos económicos no fue factible su adquisición, encontrando a cambio un taladro eléctrico el mismo que brinda las R.P.M. necesarias para la elaboración del banco de pruebas.

Para encontrar el sistema de marcación correcto y necesario se realizaron pruebas con esfero gráfico, lápiz, marcadores sin poder alcanzar los resultados requeridos, su razón fue por el rozamiento que producían con la hoja de marcado, llegando a parar el funcionamiento normal del sistema masa resorte, este sistema no funcionaba por su sencibilidad que posee, encontrando al final un pincel el cuál permite obtener el resultado necesario en el sistema de marcación del banco de pruebas.

Podemos apreciar que para las pruebas de funcionamiento fue difícil pero no imposible encontrar el funcionamiento final de este trabajo investigativo.

A continuación el banco de pruebas obtenido luego de haber realizado las diferentes pruebas de funcionamiento. (ver ANEXO A, lámina 1 / 13)

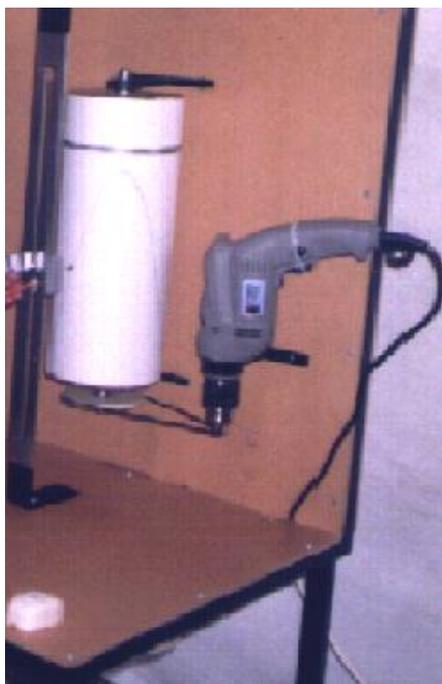


Fig. 3.7 Banco de pruebas en funcionamiento

CAPITULO IV

ENSAYOS Y CONTROL DE CALIDAD

4.1. DESCRIPCION GENERAL

Para la realización de este capítulo se procede a establecer los distintos procedimientos de comprobación, verificación , análisis y funcionamiento, con sus respectivos registros los mismos que se los ha elaborado en formatos apropiados para la realización de estos ensayos con las siguientes dimensiones:

LARGO: 47mm

ANCHO: 39mm

Esta hoja cuadriculada con las dimensiones establecidas anteriormente servirá para obtener los datos de graficado de la onda senoidal, la cuál se la consigue en el banco de pruebas elaborado.

A continuación se adjunta la hoja cuadriculada que debe utilizarse en cada una de las diferentes pruebas de ensayo a realizarse en el banco de pruebas.

Para saber si se ha logrado o no alcanzar el objetivo principal que es el de obtener ondas senoidales, se procede a realizar las diferentes pruebas del mismo.

Para estas pruebas se tiene dos revoluciones por minuto (r.p.m.) que se lo ha obtenido con la ayuda de dos conjuntos de poleas los cuales permite obtener :

- 1.- 20 RPM en el rodillo
- 2.- 34 RPM en el rodillo

La polea de la fuente de movimiento es de 9mm.

Esta polea motriz es la que se encargará de transmitir el movimiento al conectar la banda a cualquiera de los dos tipos de poleas las cuales se encuentran ensambladas en el eje del rodillo. (ver ANEXO A, parte N° 3, lámina 1/ 13).

Con las diferentes R.P.M. que obtiene el rodillo por el conjunto de poleas se obtuvo los siguientes resultados, los mismos que se detallan a continuación:

Tabla 3.1 Resultado de onda senoidal obtenidos con polea de diámetro 105mm

Tiempo / seg.	# de vueltas	# de oscilaciones por segundo	marcado	Nº de ciclos
1	0.3	0.	✓	—
2	0.6	1	✓	1
3	1	2	✓	2

Tabla 3.2 Resultado de onda senoidal obtenido con polea de diámetro 64mm

Tiempo / seg.	# de vueltas	# de oscilaciones por segundo	marcado	Nº de ciclos
1	0.3	0.3	✓	—
1.5	0.6	0.6	✓	—
2	1	1	✓	1

Análisis prueba N° 1

R.P.M. de la fuente de movimiento estándar	=	232 R.P.M.
Polea utilizada para la prueba realizada	=	de \int 105mm
R.P.M. obtenidas por el rodillo	=	20 R.P.M.
# de oscilaciones por seg. del sistema masa resorte	=	1osc.

- Se puede observar que el equipo funciona correctamente como se lo indica con la hoja de resultado obtenido
- Existe rozamiento ya que la amplitud en la onda va disminuyendo hasta llegar a 0.}
- El número de ciclos completos que se alcanza con estas R.P.M. son dos

Análisis de prueba N° 2

R.P.M. de la fuente de movimiento estándar	=	232 R.P.M.
Polea utilizada para la prueba realizada	=	de \int 65mm
R.P.M. obtenidas por el rodillo	=	34,5 R.P.M.
# de oscilaciones por seg. del sistema masa resorte	=	1osc.

- El resultado obtenido para este ensayo es aceptable ya que el funcionamiento de equipo es correcto .
- Debido al rozamiento que existe se disminuye la amplitud de la onda senoidal
- El número de ciclos completos alcanzado con estas R.P.M. es una.

4.2 CARACTERISTICAS

A continuación se detallan las características del banco de pruebas para determinar las amplitudes de un sistema de vibración libre de un grado de libertad.

1. MARCA DEL EQUIPO

ME - MOL - PLAST - 01

2. MODELO DEL EQUIPO

ME - XXXVI P

3. UBICACIÓN DEL EQUIPO

No establecido

4. CODIGO DEL EQUIPO

MT - 01

5. CARACTERISTICAS TECNICAS

5.1 Voltaje que utiliza:

110 v

5.2 Peso de la masa libre:

83.3 Gr

5.3 Peso de elemento de marcado:

12gr

5.4 Peso de perno que se sujetara con la pesa y este con el resorte:

15gr

5.5 Longitud del resorte comprimido:

40mm

5.6 Longitud maxima del resorte estirado

270mm

6 NORMAS PARA SU FUNCIONAMIENTO

- 6.1 Alistar el banco de pruebas para su uso
- 6.2 Determinar una fuente de alimentación eléctrica
- 6.3 Encender la fuente de movimiento
- 6.4 Realizar la práctica
- 6.5 Apagar la fuente de movimiento
- 6.6 Realizar el respectivo informe de la práctica

7 PRECAUCIONES

- 7.1 No acercarse al banco de pruebas en movimiento si se encuentra con prendas de vestir que puedan enredarse en el mecanismo de movimiento.
- 7.2 No proporcionar una fuerza de empuje mayor que la normal de la masa, al dejarla caer con el resorte

4.3 DETERMINACION DE DATOS

Todo tipo de onda senoidal que se obtendrá en el banco de pruebas son determinadas por :

- La posibilidad de obtener 2 diferentes R.P.M. conseguido por medio de bandas de transmisión desde la polea motriz hasta la polea escalonada, la misma que transmite el movimiento al eje del rodillo (ver ANEXO A, lámina 1 / 13).
- La variación de la frecuencia y el periodo.
- Posibilidad d obtener diferentes amplitudes iniciales

4.4 CLASIFICACION Y ANALISIS DE DATOS

En las figuras 4.1 y 4. 2 se puede observar de los resultados obtenidos en las hojas cuadriculadas, expuestas en el capítulo anterior, la diferencia de número de ciclos completos alcanzado por cada una de ellas.

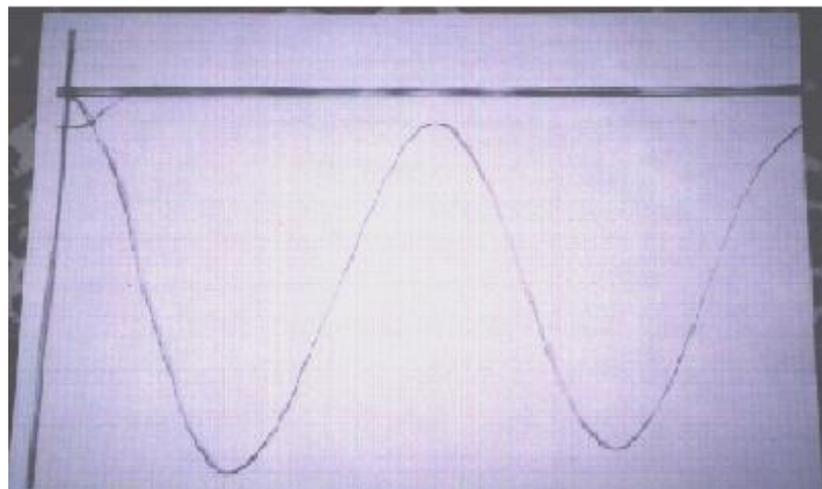


Fig.4.1 onda senoidal con dos ciclos completos

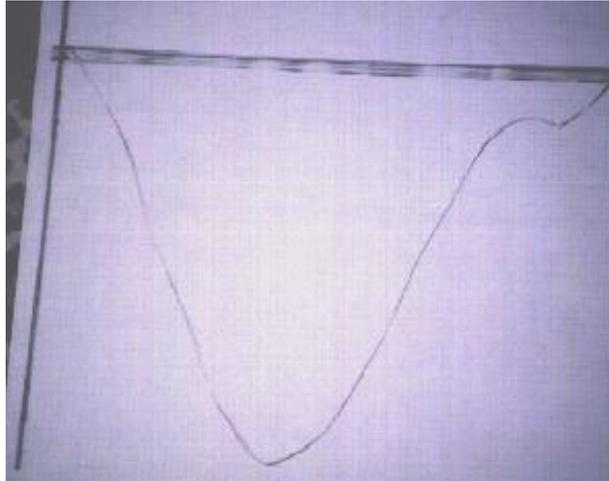


Fig. 4.2 onda senoidal con 1 ciclo completo

4.5 EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la evaluación de los resultados que se obtienen del banco de pruebas, utilizando los resultados teóricos como los prácticos podemos mencionar lo siguiente:

- Los resultados que se obtengan en las hojas cuadrículadas de marcación con las ondas senoidales se puede concluir, que estas ondas serán obtenidas de acuerdo al número de revoluciones que le demos tanto a la fuente de movimiento como también al tipo de polea que utilizemos en la práctica.
- Podremos apreciar muy claramente la diferencia que existen en cada una de las ondas Senoidales.

4.6 IMPLEMENTACION DE MANUALES DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

ITSA  EMAI	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	Pág. : 1 de 2
	MANTENIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS AMPLITUDES DE UN SISTEMA DE VIBRACION LIBRE DE UN GRADO DE LIBERTAD	Código : LMBV - 02
	Elaborado por: Basantes M.	Revisión N°: 1
	Aprob. por: Mayor Ing. López F.	Fecha: 2002/03/20
<p>1. OBJETIVO</p> <p>Establecer el procedimiento para mantener el equipo operando en condiciones optimas</p> <p>2. ALCANCE</p> <p>A este procedimiento tendrán acceso profesores y alumnos del I.T.S.A.</p> <p>LMBV - 01</p> <p>3. DOCUMENTO DE REFERENCIA</p> <p>N/A</p> <p>4. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS</p> <p>Lubricar.- Hacer resbaladiza una pieza</p> <p>LMBV.- Laboratorio de mecánica banco de vibraciones</p>		

<p style="text-align: center;">ITSA</p>  <p style="text-align: center;">EMAI</p>	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	Pág. : 2 de 2
	MANTENIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS AMPLITUDES DE UN SISTEMA DE VIBRACION LIBRE DE UN GRADO DE LIBERTAD	Código : LMBV - 01
	Elaborado por: Basantes M.	Revisión N°: 1
	Aprob. por: Mayor Ing. López F.	Fecha: 2002/03/20

5. PROCEDIMIENTO

El mantenimiento que se debe tener es el siguiente:

5.1 Mantto. Anual

5.1.1 Verificar el estado de la Fuente de movimiento

5.1.2 Controlar que los rodamientos se encuentren lubricados

5.2 Mantto. Mensual

5.2.1 Controlar que el dispositivo a utilizar para el trazo de la onda se encuentre en buen estado

5.2.2 Chequear el buen estado de las bandas

5.3 Mantto Semanal.

5.3.1 Revisar que la cara de deslizamiento de la pesa se encuentre totalmente limpia. y lubricada

<p style="text-align: center;">ITSA</p>  <p style="text-align: center;">EMAI</p>	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	Pág. : 1 de 2
	VERIFICACION DEL BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS AMPLITUDES DE UN SISTEMA DE VIBRACION LIBRE DE UN GRADO DE LIBERTAD	Código : LMBV - 02
	Elaborado por: Basantes M.	Revisión N°: 1
	Aprob. por: Mayor Ing. López F.	Fecha: 2002/03/20

1. OBJETIVO

Chequear el equipo para verificar su correcto funcionamiento.

2. ALCANCE

Duración de vida útil con parámetros de operación aceptable.

2. DOCUMENTO DE REFERENCIA

N/A

3. DEFINICIONES

Chequear.- Acción y efecto de revisar

Tolerancia.- Máxima diferencia que se tolera o admite entre el valor nominal o efectivo entre las características físicas y químicas de un material, pieza o producto.

N/A .- No Aplicable

<p style="text-align: center;">ITSA</p>  <p style="text-align: center;">EMAI</p>	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	Pág. : 2 de 2
	VERIFICACION DEL BANCO DE PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS AMPLITUDES DE UN SISTEMA DE VIBRACION LIBRE DE UN GRADO DE LIBERTAD	Código : LMBV - 02
	Elaborado por: Basantes M.	Revisión N°: 1
	Aprob. por: Mayor Ing. López F.	Fecha: 2002/03/20

5. PROCEDIMIENTO

El tipo de verificaciones que el alumno debe tener son los siguientes:

5.1 Tolerancias del resorte

5.1.1 No colocar cualquier tipo de pesa en el resorte, solo la establecida.

5.1.2 Para asegurarse que el resorte cumple con los parámetros necesarios, estirelo sujetando un extremo del mismo y luego sueltelo, la longitud a la que debe llegar es a la tomada antes de estirarlo; es decir no debe deformarse.

5.2 Las revoluciones con las que se va a operar

5.2.1 Verificar que gire el rodillo completamente suave.

5.3 Verificar que la masa se encuentre en buenas condiciones

5.4 Sistema de marcación

5.4.1 Debe evitarse demasiado contacto del pincel con la hoja de indicación de marcado y no poner demasiada tinta

5.4.2 Su extremo de marcado debe encontrarse completamente limpio

<p style="text-align: center;">ITSA</p>  <p style="text-align: center;">EMAI</p>	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	Pág. : 1 de 3
	ENSAYOS EN LA DETERMINACION DE LA AMPLITUD DEL SISTEMA DE VIBRACION LIBRE DE UN GRADO DE LIBERTAD	Código : LMBV - 03
	Elaborado por: Basantes M.	Revisión N°: 1
	Aprob. por: Mayor Ing. López F.	Fecha: 2002/03/20

1. OBJETIVO

Comprobar los resultados obtenidos en la práctica con resultados teóricos.

2. ALCANCE

Resultados prácticos obtenidos de manera didáctica y fácil

3. DOCUMENTO DE REFERENCIA

N / A

4. DEFINICIONES

N / A ..- No Aplicable

5. PROCEDIMIENTO

El ensayo de laboratorio que el alumno debe realizar es el siguiente:

ITSA  EMAI	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	Pág. : 2 de 3
	ENSAYO EN LA DETERMINACION DE LA AMPLITUD DEL SISTEMA DE VIBRACION LIBRE DE UN GRADO DE LIBERTAD	Código : LMBV - 03
	Elaborado por: Basantes M.	Revisión N°: 1
	Aprob. por: Mayor Ing. López F.	Fecha: 2002/03/20
<p>5.1 Conectar el cable para suministro de energía a 110 v</p> <p>5.2 Seleccionar el número de RPM (revoluciones por minuto) en la fuente de movimiento, con su respectiva polea y banda</p> <p>5.3 Colocar el papel en el rodillo de madera y templarlo lo mas pegado posible al mismo, sujetándolo con pequeños pedazos de adhesivo en las esquinas.</p> <p>5.4 Antes de introducir la pesa con el elemento de marcado se debe verificar el correcto contacto que este tiene con la hoja de ensayo (no muy separado, pero tampoco muy unido).</p> <p>5.5 Encender el swich para la obtención del movimiento</p> <p>5.6 El trazado de la onda se lo puede realizar desde cualquier punto de la hoja del rodillo al seleccionar dicho punto sostener todo el conjunto de la pesa por unos segundos</p> <p>5.7 Con la ayuda de una JERINGUILLA colocar la tinta en la punta del elemento de marcado</p> <p>5.8 Al observar el correcto marcado en la posición adoptada en un inicio soltar la pesa.</p>		

ITSA  EMAI	MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	Pág. : 3 de 3
	ENSAYO EN LA DETERMINACION DE LA AMPLITUD DE UN SISTEMA DE VIBRACION LIBRE DE UN GRADO DE LIBERTAD	Código : LMBV - 03
	Elaborado por: Basantes M.	Revisión N°: 1
	Aprob. por: Mayor Ing. López F.	Fecha: 2002/03/20

- 5.9 Al obtener la amplitud de la onda sostener con la mano la pesa en el punto de referencia elegido desde un principio, la finalidad de sostener la pesa es de tener una mejor visión de la amplitud de la onda obtenida
- 5.10 Apagar el swich de encendido de la fuente de movimiento
- 5.11 Desconectar el cable de energía.

CAPITULO V

ESTUDIO ECONOMICO

Para la elaboración de este capítulo es necesario determinar el costo de construcción del banco de pruebas para determinar las amplitudes de un sistema de vibración libre de un grado de libertad, para posteriormente realizar un análisis económico y financiero.

5.1 PRESUPUESTO

El presupuesto requerido para la elaboración de este banco de pruebas, después de haber realizado una evaluación financiera llegó a costar 481 USD

5.2 ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO

Los gastos para la construcción del banco de pruebas se clasifican en tres nombres que son:

- Material
- Hora equipo
- Mano de obra
- Otros

MATERIALES

En los materiales se refiere al costo utilizado para su adquisición, los mismos que se detallan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Materiales utilizados en la construcción de esta máquina.

MATERIAL	COSTO USD.
Acero de transmisión	8
Poliamida	10
Tubo cuadrado	18
Platina	12
Madera MDF	8
Barra de madera	7
Aluminio	2
COSTO TOTAL DE MATERIALES	65 USD

HORA EQUIPO

Horas máquina Se lo determina de esta manera a la utilización de maquinas herramientas como son: el torno , la fresa, la suelda eléctrica y autógena, esmeril, taladro, en donde se realizaron operaciones como torneado, fresado, suelda, perforado etc.

En la siguiente tabla 5.2 se presenta el costo de utilización de cada una de estas máquinas herramientas cuyos valores que se presentan son por cada hora de utilización.

Tabla 5.2 costo de utilización por hora de cada máquina - herramienta

MAQUINA HERRAMIENTA	USD / HORA
Torno	10
Fresadora	8
Suelda eléctrica	2
Suelda autógena	1
Esmeril	3
Taladro	2
Soplete para pintar	5
COSTO TOTAL EN MAQUINAS HERRAMIENTAS	31

MANO DE OBRA

El costo total de la tabla 5.2 es por la utilización de las máquinas para la confección de los diferentes elementos que posee el banco de pruebas, posteriormente se realizó el ensamblaje del mismo.

Para la presentación de la tabla 5.3 se ha tomado en cuenta el costo del ensamblaje con la mano de obra.

Tabla 5.3 Costo del ensamble y mano de obra

PROCEDIMIENTO	COSTO USD
Preparacion del material	20
Ensamble	75
Fuente de movimiento	90
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA	185

OTROS

El costo que se le a designado a otros comprende todo lo que se refiere al material que se a utilizado para realizar las diferentes pruebas de funcionamiento como también en lo que se refiere a acabados del banco de pruebas.

Tabla 5.4 Otros costos

DESCRIPCION	COSTO USD
TOTAL EN OTROS GASTOS	200

El costo total del banco de pruebas es:

Tabla 5.5 Costo total

DESCRIPCIÓN	VALOR USD
Costo total en materiales	65
Costo total en máquinas herramientas	31
Costo total de mano de obra	185
Costo total en otros gastos	200
TOTAL	481

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se ha cumplido con el objetivo planteado en este proyecto con la construcción de un banco de pruebas para determinar las amplitudes de un sistema de vibración de un grado de libertad.

- Luego de haber finalizado con la construcción del banco de pruebas se concluye que el proyecto será de mucha ayuda para el aprendizaje y enseñanza de la materia de una manera didáctica y sencilla.

6.2 RECOMENDACIONES

- El equipo debe estar colocado en un sitio donde el piso se encuentre nivelado.
- Se debe tener mucho cuidado con los diferentes elementos del banco de pruebas ya que son delicados.
- En lo posible trate de evitar tener contacto con los dedos de las manos en la superficie pulida por donde se desplaza la masa con el resorte para evitar la corrosión
- El voltaje que se utiliza para el funcionamiento de la fuente de movimiento es alterna 110v lo que provoca que la señal de entrada no sea constante produciendo bajos de tensión, ocasionando que la fuente de movimiento no funcione para esto se debe elevar

al siguiente número de revoluciones que posee la fuente.

- No trate de desarmar elementos como el rodillo de madera, acoples, rodamientos, chumaceras del banco de pruebas ya que ocasionaría un desbalance al intentar su armado, para esto deben manipularlo personas que tengan conocimiento del mantenimiento de los mismos.
- Para alcanzar un ensayo óptimo se deben seguir correctamente los pasos de funcionamiento.

BIBLIOGRAFIA

- S. Timoshenko y D. H. Young Problemas de vibración en Ingeniería
- Tiplers Física Fundamental
- Robert Resnick , David Halliday Física Parte 1
- Michel Valero Física Fundamental 2
- Alonso Acosta Introducción a la Física 1 sin Edición Bogotá Ediciones Cultural Colombiana S.A.
- Marcelo Alonso R. , Virgilio Acosta M. Introducción a la Física Tomo 1
- Beatriz Alvarenga Alvares, Antonio Máximo Ribeiro Da Luz 1983 Física General Edición Francisco Paniagua Bocanegra, México, D.F. Editorial Harla.
- Jorge Senabre 1980 Dibujo Técnico Técnicas de Expresión Gráfica 2da. Edición Madrid Paraninfo.
- Enciclopedia Ceac del Delineante / Dibujo Técnico 1978 Planos y Croquis en Mecánica 1ra. Edición España Ediciones Ceac

ANEXO A

PLANOS GENERALES