

RAE

1. **TIPO DE DOCUMENTO:** Trabajo de grado para optar por el título de INGENIERO MECATRONICO
2. **TÍTULO:** DISEÑO DE UNA MÁQUINA PAÑETeadora AUTOMÁTICA
3. **AUTORES:** Botero Aldana Daniela
4. **LUGAR:** Bogotá, D.C
5. **FECHA:** Abril 30 de 2020
6. **PALABRAS CLAVE:** Izaje, Pañeteadora, Reología, Resistencia.
7. **DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO:** Este proyecto consiste en el diseño de una máquina pañetadora automática con todos sus componentes mecánicos y eléctricos; basados en un estudio de requerimientos que permita verificar la viabilidad de esta máquina en la industria colombiana. Se parte del análisis de las soluciones comerciales actuales y se plantea la optimización de uno de los diseños, procediendo así al diseño ingenieril de cada una de las piezas, las cuales fueron diseñadas y seleccionadas considerando su facilidad de construcción y mantenimiento.
8. **LÍNEAS DE INVESTIGACION:** Línea de Investigación de la USB: Tecnologías actuales y sociedad. Sub línea de facultad de Ingeniería: Instrumentación y Control de Procesos. Campo Temático del Programa: Diseño y Construcción de Motores.
9. **METODOLOGÍA:** Es de carácter empirico-analitico, con un enfoque metodológico con base en el estudio y diseño de una máquina pañetadora automática.
10. **CONCLUSIONES:** La alternativa de diseño seleccionada se evalúa en un conjunto de parámetros que cumplan con la función a ejercer de la máquina, siendo un sistema de bajo costo y bajo mantenimiento; enfocándonos en un sistema funcional, eficiente y asequible para las constructoras colombianas. El diseño de cable polea es un diseño económico, seguro y de fácil mantenimiento; un sistema de izaje que permite trabajar grandes alturas y peso sin poner en riesgo los operarios de la máquina son grandes cualidades de este diseño; teniendo en cuenta que este diseño no se ha llevado a físico se deja la posibilidad de efectuar un prototipo a escala 1:2 para evaluar desempeños.

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PAÑETeadora AUTOMÁTICA



**UNIVERSIDAD DE
SAN BUENAVENTURA
COLOMBIA**

Daniela Botero Aldana

Universidad de San Buenaventura Colombia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecatrónica

Bogotá D.C., Colombia

2020

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PAÑETeadora AUTOMÁTICA

Daniela Botero Aldana

Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Asesor: Ing. Hugo Macias

Universidad de San Buenaventura Colombia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecatrónica

Bogotá D.C., Colombia

2020

Lo que inició siendo solo un proyecto, hoy es la llave que da acceso a la culminación de años de estudio y esfuerzos continuos. Agradezco a mis padres y a mis abuelos, en especial a mi abuela Silvia por su sabiduría y amor incondicional.

Daniela Botero Aldana

Tabla de contenido

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1. Pregunta problema	6
1.2. Justificación	6
1.3. Objetivos	8
1.3.1. Objetivo general	8
1.3.2. Objetivos específicos.....	8
1.4. Alcances y limitaciones	9
1.4.1. Alcances	9
1.4.2. Limitaciones	10
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	11
2.1. El cemento y su historia.....	11
2.2. Proceso de pañete artesanal	12
2.3. Proceso de pañete automático	13
CAPÍTULO III. ANÁLISIS REOLOGÍCO DEL CONCRETO	18
3.1. Ensayos previos a la realización de los cilindros en concreto	19
3.1.1. Densidad y absorción del agregado fino	19
3.1.2. Densidad del cemento	21
3.2. Ensayo aplicado a probetas	22
3.3. Cálculo de la resistencia a la compresión	23
3.3.1. Agregado fino.....	23
3.4. Proporciones finales.....	27
3.5. Ajuste de humedad.....	27

3.6.	Análisis paramétrico del concreto elaborado	30
CAPÍTULO IV. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO		34
4.1.	Estudio de campo	34
4.2.	Restricciones y limitaciones	39
4.3.	Parámetros funcionales	40
4.4.	Ambiente de operación de la máquina	40
4.5.	Alternativas de diseño	42
4.6.	Alternativa 1. Izaje piñón-cremallera	42
4.7.	Alternativa 2 sistema de izaje polea-cable	45
4.8.	Evaluación y selección de alternativa de diseño	47
CAPÍTULO V. DISEÑO DE LA MÁQUINA.....		51
5.1.	Principio básico de funcionamiento	52
5.2.	Planteamiento del diseño	53
CAPÍTULO VI. CÁLCULOS MATEMÁTICOS		56
6.1.	Capacidad de carga	56
6.2.	Velocidad de trabajo de la máquina en base a la reología del concreto	58
6.3.	Selección del cable	61
6.3.1.	Cálculo del tambor de enrollamiento para el cable	63
6.3.2.	Ancho del Tambor	64
6.3.3.	Total de cable a enrollar	64
6.3.4.	Espesor del Tambor	65
6.4.	Diseño de bridas de sujeción de tambor de enrollamiento.	66
6.4.1.	Tornillos de bridas	68
6.5.	Relación de reducción de velocidad del motor.	72

6.6.	Diseño de engranaje de transmisión de potencia del eje del la caja de reducción al eje del cabezote	76
6.6.1.	Geometría del engranaje.....	83
6.7.	Cuñeros	84
6.7.1.	Cuña del motor	84
6.7.2.	Cuña caja reductora y eje	85
6.7.3.	Cuña bridas.....	86
6.8.	Diseño del eje del cabezote.....	87
6.8.1.	Diagrama de fuerzas	87
6.8.2.	Diagrama de cortantes y momentos flectores.....	89
6.8.3.	Selección de rodamientos para el eje del cabezote	92
6.8.4.	Análisis por rigidez con eje de 32mm	95
6.8.5.	Análisis de rigidez con eje de 48 mm.....	97
6.8.6.	Cálculo del eje por fatiga.....	99
6.9.	Calculo de velocidades	102
6.10.	Selección banda transportadora del concreto.....	105
6.10.1.	Cálculo analítico del caballaje en la banda.....	110
6.11.	Selección de correas.....	112
6.11.1.	Tipo de Correa.....	113
6.11.2.	Relación de velocidad.....	113
6.11.3.	Selección de la polea conductora	114
6.11.4.	Calculo de polea conducida.....	114
6.11.5.	Calculo distancia entre centros.....	115
6.11.6.	Tensiones de las bandas del eje principal a la banda transportadora ..	115
6.12.	Diseño eje riel superior.	118

6.12.1. Diagrama de fuerzas	118
6.12.2. Diagrama de cortantes y momentos flectores.....	119
6.12.3. Selección de rodamientos para el eje del riel superior.	124
6.13. Conexión del motor.....	125
6.14. Selección del conductor de alimentación.....	128
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES	130
ANEXO 1.....	132
ANEXO 2.....	134
ANEXO 3.....	137
ANEXO 4.....	138
ANEXO 5.....	139
REFERENCIAS	140

Lista de tablas

Tabla 1 Cuadro de rendimiento y cálculo de duración de actividades (Superintendencia de Notariado y Registro, 2014)	4
Tabla 2 Comparación de rendimiento entre hombre y máquina XP-2014. (Superintendencia de Notariado y Registro, 2014)	7
Tabla 3 Edad de ensayo de las probetas, (NTC 673).....	23
Tabla 4 Consistencia y asentamiento, (NTC 673).....	24
Tabla 5 Tabla máximo del agregado, recomendado para distintos tipos de estructuras, (NTC 673)	25
Tabla 6 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes calores de asentamiento o SLUMP; y tamaños máximos de agregados, (NTC 673)	26
Tabla 7 Proporciones de material en gramos (gr), (Autor).....	27
Tabla 8: Probeta N° 1- Resistencia a la compresión ensayo 1 a los 7 días, (Autor).....	28
Tabla 9 Probeta N°2 -Resistencia a la compresión ensayo 2 a los 14 días, (Autor)	29
Tabla 10 Relación de longitud vs diámetro ensayo 1 a los 7 días y ensayo 2 a los 14 días, (Autor).....	30

Tabla 11 Características climatológicas de ciudades principales de Colombia (IDEAM, 2017).....	41
Tabla 12 Matriz de alternativas de sistemas necesarios a evaluar de la máquina.	47
Tabla 13 Resultados de evaluación de alternativas por expertos y autor.	50
Tabla 14 Tiempos de operación EZREDA.....	59
Tabla 15 Peso máximo estimado que deben soportar los cables	61

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: EZRENDA XP-1000 (EZRENDA, 2013).	15
Ilustración 2: EZRENDA XP-2014 (EZRENDA, 2014).	15
Ilustración 3: EZRENDA EZ-XP-4.0 (EZRENDA, s.f.; EZRENDA, s.f.).....	16
Ilustración 4: Planta automática para la elaboración de mortero seco (SINCOLA MACHINERY, 2013)	16
Ilustración 5: SRM7 máquina pañeteadora de Zhengzhou Sincola Machinery CO. Ltd (Zhengzhou Sincola Machinery CO Ltda., 2014)	17
Ilustración 6 Resistencia obtenida según la relación agua/cemento para mezclas de pañete con agregados finos.	30
Ilustración 7 Asentamientos obtenidos según el volumen de pasta.	31
Ilustración 8 Asentamientos obtenidos según la relación Agua/Cemento	32
Ilustración 9 Resultados pregunta 1.	34
Ilustración 10 Resultados pregunta 2.	35
Ilustración 11 Resultados pregunta 3.	36
Ilustración 12 Resultados pregunta 4.	36
Ilustración 13 Resultados pregunta 5.	37
Ilustración 14 Resultados pregunta 6.	38
Ilustración 15 Resultados pregunta 7.	38
Ilustración 16 Resultados pregunta 9.	39
Ilustración 17 EZRENDA XP-100 (ALIBABA, 2014).	43
Ilustración 18 Mecanismo piñón cremallera (Richard & Keith, 2008).	43
Ilustración 19 EZRENDA XP-100 (ALIBABA, 2014)	45
Ilustración 20 Esquema de funcionamiento de la máquina (Autor)	55
Ilustración 21 Área de un tramo pañetado de la máquina (Autor)	56
Ilustración 22 Diagrama de cuerpo libre de los cables.	61

Ilustración 23 Coeficientes de seguridad mínimos según tipos de servicio. (EMCOCABLES, s.f.)	62
Ilustración 24 Relación de diámetros de poleas para cables de acero (AG CONTINENTAL, s.f.)	63
Ilustración 25 Diagrama de fuerza presentes en las bridas para la brida de sujeción de tambores de enrollamiento del cable.....	67
Ilustración 26 Distribución de los pernos para la brida de sujeción de tambores de enrollamiento del cable.	72
Ilustración 27 Caja de reducción a usar. QUANTIS GEAR ENGINEERING CATALOG 2009 Recuperado de : https://www.baldor.com/Shared/pdf/CA1603_Catalog/CA1603.pdf	73
Ilustración 28 Dimensiones para la cuña del motor.	84
Ilustración 29 Dimensiones para la cuña de la caja reductora.....	85
Ilustración 30 Dimensiones para la cuña del eje.	86
Ilustración 31 Dimensiones para la cuña de bridas de sujeción de tambores de enrollamiento del cable.	86
Ilustración 32 Diagrama de cuerpo libre elementos del eje principal en el cabezote.....	103
Ilustración 33 Conjunto banda transportadora.	105
Ilustración 34 Productos Industriales (Sanchez J. P., 1994).....	106
Ilustración 35 Velocidad Máxima recomendable para bandas, determinada por el material manejado. (Sanchez J. P., 1994).....	108
Ilustración 36 Soporte de rodillos (Sanchez J. P., 1994).....	109
Ilustración 37 Pesos de las partes giratorias de los soportes de los rodillos. (Sanchez J. P., 1994).....	109
Ilustración 38 Constantes y factor de seguridad de tensión (Sanchez J. P., 1994).....	111
Ilustración 39 Factores de Servicio Típicos (INTERMEC)	112
Ilustración 40 Tablas para seleccionar el tipo o perfil de la correa (INTERMEC)	113
Ilustración 41 Capacidad de Transmisión por canal en HP (INTERMEC)	114
Ilustración 42 Arrancador LC1D25MY Recuperado de: https://www.se.com/cl/es/product/LC1D25M7/contactor-3-polos---25a---220v-ac---nanc/	125

Ilustración 43 Presentación y conexión arrancador LC1D25M Recuperado de: https://uploads-ssl.webflow.com/5762dae4eefe322819722485/598480a077ba7700015bc6e5_Control_proteccion_motor.compressed.pdf	126
Ilustración 44 Pulsador XAWF310EX Recuperado de: https://www.se.com/co/es/product/XAWF310EX/estaci%C3%B3n-de-pulsadores-met%C3%A1licos-atex-tres-pulsadores/?range=1039-harmony-xaw-atex-d	127
Ilustración 45 Diagrama de conexión para encendido del motor.	127
Ilustración 46 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V Recuperado de: https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf	129

Lista de símbolos

A	Área, coeficiente
A	Variable de área
B_{hn}	Dureza Brinell
d	Diámetro, distancia
C	Módulo de elasticidad, energía, error
e	Coeficiente de fricción, frecuencia, función
D	Módulo de elasticidad en torsión
H_B	Dureza Brinell
K	Factor de servicio, factor de concentración del esfuerzo, factor de aumento del esfuerzo, coeficiente de par de torsión
L	Longitud, vida, dimensión fundamental de la longitud
l	Longitud
m	Masa, pendiente, exponente de endurecimiento por deformación
n_d	Factor de diseño
R	Radio, fuerza de reacción, confiabilidad, dureza Rockwell, relación de esfuerzo
r	Coeficiente de correlación, radio
T	Temperatura, tolerancia, par de torsión, dimensión fundamental del tiempo
W	Carga, peso
x	Coordenada
y	Coordenada,
z	Coordenada
β	Ángulo de cojinete, coeficiente
γ	Ángulo de paso, deformación por cortante, peso específico
μ	Viscosidad absoluta, media de la población
ω	Velocidad angular, frecuencia circular
σ	Esfuerzo normal
σ	Variable del esfuerzo normal
τ	Esfuerzo cortante
$\$$	Costo

RESUMEN

El diseño de esta máquina parte por el estudio de las necesidades a cumplir. Se presenta un estudio de campo de medición de parámetros manualmente, estableciendo el rendimiento de pañetado de un obrero; comparando este con los rendimientos de máquinas automatizadas. Justificando así la necesidad de dicha máquina.

Se evalúan dos diseños preliminares, los cuales son valorados por futuros usuarios de la máquina. Esta apreciación se ejecuta con base en 6 características principales de la máquina; las cuales serán apreciadas de 1 a 5, siendo 1 el valor menor y 5 el valor mayor de calificación del sistema. Esta apreciación se ejecuta en 4 posibles compradores a futuro y de allí se selecciona el diseño a trabajar.

A continuación, se procede al estudio de reología del fluido a manejar en la máquina; permitiendo establecer parámetros fundamentales de diseño, como lo son: la velocidad de operación y capacidad en el sistema de izaje. Con los parámetros principales de diseño calculados y estimados, se procede a diseñar el pormenor de los elementos mecánicos que ejecutan los objetivos del proyecto.

El análisis por software del eje principal diseñado es un elemento fundamental, permitiendo evaluar el desempeño del elemento sin contar con el mismo físicamente. Lo cual ayuda a reducir costos de fabricación en las piezas en un futuro.

Palabras clave: Izaje, Pañeteadora, Reología, Resistencia.

GLOSARIO

EZRENDIA: Empresa dedicada a la fabricación de pañeteadoras automáticas y otros equipos para la construcción ubicada en Hong Kong. A partir de los modelos disponibles de este fabricante se construye el modelo de pañeteadora automática descrito en este proyecto.

Izaje: Se define como izaje a un sistema electrónico y/o mecánico capaz de levantar y mover cargas de un punto a otro con gran precisión y resistencia. Estos sistemas se encuentran comunmente en pozos petroleros, grúas, bodegas, pozos de agua entre otros.

Palustre: Herramienta usada por el personal de obra para manejar y extender el concreto en diferentes superficies. Este elemento ayuda al albañil a pegar ladrillos, aplicar estuco y pañetado uniformemente.

Reología: Es la ciencia encargada del estudio del flujo y la deformación de la materia. Obteniendo información cuantitativa y cualitativa de estos estudios se puede obtener parámetros como: viscosidad, consistencia, propiedades elásticas, entre otras.

Ayudando a diseñar materiales nuevos que cumplan con características mecánicas especiales. (Colombia, Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2017)

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la velocidad con la que se avanza en las principales ciudades del mundo muestra que el tiempo es más que solo una unidad de medida; representa dinero, avance, calidad de vida para los seres humanos. Estos ultimos, condicionan hoy en día todo en un menor tiempo de producción, los alimentos, las vestimentas, la limpieza, los automóviles y por su puesto las construcciones.

En el caso de construcción de viviendas, oficinas u edificios; cuando se tecnifican los procesos de construcción disminuyen los tiempos de entrega de la misma y en muchos casos la calidad se eleva significativamente. La superintendencia de notariado y registro, cuenta con el archivo, *cuadro de rendimiento y cálculo de duración de actividades*; con objeto de ejecutar las obras de construcción de la oficina de registro de instrumentos públicos de Facatativá Cundinamarca en el año 2014.

Tabla 1 Cuadro de rendimiento y cálculo de duración de actividades (Superintendencia de Notariado y Registro, 2014)

Actividad a realizar	Unidad	Cantidad (m2)	N de cuadrillas	N. personas X cuadrilla	Horas hombre
Pañete impermeable 1:3 (exterior)	m2	250.000	2	2	32.000
Pañete liso 1:3 (interior)	m2	450.000	2	2	32.000

En la tabla 1 se evidencia el tiempo promedio que requieren 4 personas para pañetar una cantidad promedio de metros cuadrados. Para competir en el mercado es necesario automatizar procesos simples que ayuden a la reducción de tiempos de ejecución de los proyectos; en este documento se presenta una máquina que ejecuta esta acción con rendimientos mínimos de 800 m² por día laboral (8 h/día); permitiendo así un rendimiento de 700% superior a una cuadrilla de obreros.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta que la cantidad de m² y las horas hombre relacionadas en la tabla 1, y que las horas son las totales en el proyecto, más no las diarias de dicha actividad. Un obrero trabaja por ley 8 horas diarias, se obtiene un rendimiento de 62,5 m² al día por cada 4 personas laborando en el área con pañete impermeable de exteriores, y 112.5 m² por cada 4 personas laborando en el área con pañete liso de interiores.

Es necesario diseñar una máquina que permita mejorar los tiempos de ejecución del pañete en las grandes obras civiles, y así competir técnicamente ante las nuevas propuestas emergentes de la construcción nacional.

1.1.Pregunta problema

¿Es posible diseñar una máquina que sea eficiente y económica para el mercado colombiano, y a su vez esta optimice tiempos de pañetado en las obras civiles del país?

1.2.Justificación

Comparando los tiempos de producción y la cantidad de operarios entre una máquina XP-2014 de EZRENDIA y el trabajo artesanal de un albañil; en la tabla 2 se puede evidenciar que es de

mayor eficiencia el tener una máquina pañeteadora automática, ya que con 2 personas se tiene un rendimiento de 711% superior al no tener este equipo.

Tabla 2 Comparación de rendimiento entre hombre y máquina XP-2014. (Superintendencia de Notariado y Registro, 2014)

Tipo de operador	Lugar de pañetado	Cantidad (m²)	N. de personas
Hombre	Exterior	62.5	4
	Interior	112.5	
Máquina XP-2014	Exterior	500	2
	Interior	800	

Este tipo de máquinas dan a las constructoras las siguientes ventajas:

1. Menores tiempos de pañetado.
2. Mayor calidad del pañetado.
3. Menor desperdicio del material.
4. Bajos costos en materiales.
5. Bajos costos en personal.
6. Bajos costos de mantenimiento en la máquina.

Teniendo en cuenta los modelos existentes de EZRENDIA, se evidencia la dificultada de mover la máquina en el plano X, por lo cual en algunos de sus diseños el sistema debe ser desmontado en su totalidad para poder proceder al siguiente tramo de pared. Aunque su peso no es considerable, es de tener en cuenta que se debe tener a disposición dos personas para realizar el movimiento en X de la máquina. En este proceso se puede presentar una falla de acabado, si no se

instala en la posición exacta, dando como resultado tramos sin pañetar o en su defecto tramos más tupidos que otros.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar una máquina pañeteadora automática, cuyo diseño se selecciona mediante el peritaje de dos modelos, para precisar si su implementación es viable en la industria de la construcción en Colombia.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio de requerimientos que permita identificar las principales características funcionales de la máquina a diseñar.
- Plantear y evaluar múltiples alternativas de diseño para el cumplimiento de los requerimientos previos.
- Realizar los cálculos para la validación del diseño de la alternativa seleccionada.
- Simular el funcionamiento de los mecanismos en un entorno CAD.

1.4. Alcances y limitaciones

1.4.1. Alcances

Se presenta un diseño de una máquina pañeteadora automática, que es capaz de pañetar un área de 1000mm X 2500mm, con movimiento total de la estructura ejecutandose por medio de un desmonte parcial al siguiente tramo de pañetado en el plano X.

Es un diseño económico que permite ejecutar mantenimientos a bajo costo en los elementos de desgaste por uso, teniendo repuestos universales y genéricos de fácil adquisición en Colombia.

Es una máquina para trabajo en ambientes rusticos, con grandes cantidades de polvo, humedad e impurezas. Ambientes propios de las obras civiles.

Es un diseño económico, el cual es muy adsequible en Colombia y Sur América.

Por medio de la simulación computarizada se puede obtener los pesos, resistencias y demás propiedades físico mecánicas de los componentes a diseñar. Esto permite obtener el peso de la máquina sin tenerla construida y realizar cálculos asertivos.

1.4.2. Limitaciones

Está máquina solo realiza pañete fino, el cual tiene un acabado liso y parejo para uso en interiores tales como sala, comedor, alcoba entre otros; este tipo de pañete permite tener la superficie lista para recibir un acabado de pintura, papel tapiz, o el deseado por el cliente.

El proyecto se diseña para superficies planas horizontalmente por lo cual no se puede usar este diseño en pisos de desnivel, escaleras y superficies cuyo ancho sea inferior a un metro (1m).

El tiempo de desarrollo del proyecto y los costos del mismo no permiten la construcción de la máquina para el proyecto de grado; sin embargo, se puede ejecutar la construcción de un prototipo siempre y cuando se halle patrocinio económico.

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2.1.El cemento y su historia

“El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto. Su nombre se deriva de *caementum*, que en latín significa “argamasa”, y procede a su vez del verbo *caedere* (precipitar). Es considerado el conglomerante más importante en la actualidad.” (Cementos Tequendama, 2017).

El uso de este material ha permitido el desarrollo de las grandes civilizaciones en el transcurso de la historia, siendo uno de los elementos principales de construcción de edificios icónicos en el mundo, algunos de ellos han sido espectadores de los momentos más impactantes en el desarrollo de la humanidad. El cemento se convierte en la materia prima del crecimiento mundial.

En Colombia este material fue producido por primera vez en 1909, con una capacidad de 40 toneladas por operación. Lo cual permitió un incremento en las construcciones locales. Es

evidente que el ritmo en el que crecen las grandes potencias del mundo es de magnas proporciones y con ello, cada sector económico debe tener la capacidad de moverse sin pausa alguna. Es allí donde la tecnología y la automatización de los procesos tienen un gran papel.

La automatización y tecnificación de actividades cotidianas, son procesos que cada día Colombia está dispuesta a implementar y así poder competir con grandes países.

2.2.Proceso de pañete artesanal

Pañetar una superficie de interior o exterior de una edificación permite obtener superficies lisas dando una aplicación pareja de pintura, acrílicos, o texturas sobre estas áreas.

El pañete artesanal es el proceso por el cual un maestro de obra incorpora un conjunto de materiales primarios para conseguir una mezcla uniforme y homogénea de media densidad, con textura sutilmente líquida para ser esparcida mediante un palustre sobre la superficie deseada, esta labor puede tardar varios días de ejecución ya que la mezcla se va preparando a medida que se va necesitando.

Si el maestro prepara demasiada cantidad de producto, este puede dañarse e incluso secarse antes de tiempo generando pérdidas económicas en el proyecto. La calidad del resultado final depende de la experiencia y práctica del maestro de obra, y del uso de herramientas adecuadas.

Al ser un proceso artesanal se pueden evidenciar imperfecciones ocasionadas por diferentes causas, algunas de estas son una preparación inadecuada de la mezcla, uso de herramientas desgastadas y sucias, exceso de humedad o calor en el ambiente.

2.3.Proceso de pañete automático

En el 2005 la empresa ***ANEX INDUSTRIAL (HONG KONG) Ltd.*** Empezó a desarrollar investigaciones con el fin de diseñar y construir una máquina pañeteadora capaz de minimizar los tiempos de dicha actividad con un acabado fino. Estas investigaciones durante sus 14 años de trayectoria han logrado desarrollar más de 10 patentes en el área.

A sus 9 años de trayectoria, en el 2014; ***ANEX INDUSTRIAL (HONG KONG) Ltd.*** Se organiza con empresas subsidiarias para la comercialización de sus máquinas y repuestos en todo el mundo, estas empresas son:

EZREND A RENDERING MACHINE FOSHAN Ltd.¹ Empresa dedicada a la comercialización mundial de todos los modelos de las máquinas; incluyendo las mezcladoras de cemento, las lijadoras y las máquinas para pintar a presión.

Guangzhou Qianjin Machine CO. Ltd. Empresa dedicada a la comercialización de repuestos de las máquinas EZREND A a nivel mundial.

Con más de 5 diseños disponibles de pañeteadoras automáticas, esta empresa también fabrica máquinas para la mezcla del cemento, la lijada de paredes y techos; y máquinas para pintar a presión las fachadas limpias y lisas de cualquier edificación. Su primer diseño de pañeteadora automática, **XP-1000**, cuenta con un rendimiento de 600m² diarios; una máquina que es capaz de pañetar 1000mmX4200mm con espesores de 4mm-30mm según lo determine el cliente.

Su patente más reciente obtenida en el 2014 muestra los avances tecnológicos logrados para esta labor de construcción, su máquina **XP-2014**, se diseñó con una paleta de 800mm, 200mm más pequeña que sus modelos anteriores; con el fin de poder entrar y lograr hacer el trabajo en espacios pequeños como baños terrazas y pasillos. Su rendimiento es de 500m² diarios y su peso de 100Kg la hace fácil de transportar. Su mejora se centra en que no es necesario desmontar los tubos guía

¹ <http://www.ezrenda.com/> Sitio web de la compañía donde se puede encontrar a detalle cada especificación de las máquinas existentes con constantes actualizaciones.

para poder pasar de un tramo a otro como en los diseños anteriores. Lo cual hace el trabajo de traslado de sección más eficiente.



Ilustración 1: EZREND A XP-1000 (EZREND A, 2013).



Ilustración 2: EZREND A XP-2014 (EZREND A, 2014).

Su último diseño, la ***EZ-XP-4.0***; cuenta con una paleta de 1000mm, tiene un rendimiento de 700m² por día, una alimentación única de 220V monofásica, un peso de 100Kg que la hace ligera, y espesores de 4mm-30mm en acabados igual que sus antecesoras.



Ilustración 3: EZREND A EZ-XP-4.0 (EZREND A, s.f.; EZREND A, s.f.).

La mayoría de sus diseños vienen con alimentación trifásica a 220V-380V, o monofásica a 220V. Su altura máxima de trabajo en todos los modelos es de 4200mm; con un costo aproximado por unidad de 2000-2400 USD.

Zhengzhou Sincola Machinery CO. Ltd.² Es una empresa creada en el año 2000, donde su principal actividad era la construcción de plantas para la producción de mortero.



Ilustración 4: Planta automática para la elaboración de mortero seco (SINCOLA MACHINERY, 2013)

² Zhengzhou Sincola Machinery CO. Ltd. Empresa ubicada en la República popular China dedicada a la fabricación de plantas de automatización para la producción de mortero, hormigón y diferentes materiales usados en la construcción. Sitio web: <http://www.sincolamachinery.com/>

En el 2013 a partir de los nuevos resultados de su equipo de investigación, deciden fabricar máquinas de pañetado automático. Aunque no es su producto principal, se tienen algunos diseños contruidos a la venta. Como el **SRMZ**. Está máquina cuenta con una paleta de 1000mm y una altura máxima de trabajo de 3500mm. Obtiene un acabado liso de 5mm-30mm de espesor según lo deseado por el cliente. Cuenta con alimentación a 220v monofásico y 380V trifásico; un peso de 140Kg sin carga. Tiene un costo aproximado por unidad de 2100-2400 USD³ sin envío ni legalización en Colombia.



Ilustración 5: SRMZ máquina pañeteadora de Zhengzhou Sincola Machinery CO. Ltd (Zhengzhou Sincola Machinery CO Ltda., 2014)

³ Precio obtenido del sitio web de comercialización de la marca SLL (**Zhengzhou Sincola Machinery CO. Ltd**) Estos costos no incluyen envío ni trámites legales del país de importación. http://es.made-in-china.com/co_sincolamachinery/

CAPÍTULO III. ANÁLISIS REOLÓGICO DEL CONCRETO

La dosificación de una mezcla de concreto es la determinación de la combinación más económica y práctica de los componentes del concreto; para que este sea trabajable cuando la mezcla está fresca, adquiriendo sus propiedades características en su estado sólido. La selección de los materiales en las proporciones correctas da una relación entre el costo y las facilidades de trabajo con el concreto, cumpliendo con las normas que rigen su uso en Colombia.

Según el tipo de obra, las mezclas pueden ser analizadas o no en el laboratorio. Esto depende principalmente de la calidad de los materiales y del procedimiento en la realización de la mezcla. El hecho de pensar en pruebas de laboratorio provoca la idea de un aumento en los costos totales de la obra, sin embargo, debemos tener presente que dichos costos no son innecesarios, puesto que esto es un respaldo a la hora de enfrentar litigios judiciales o demostrar la calidad de la obra. Estas pruebas son estrictamente necesarias a la hora de realizar estructuras; para el caso del pañete de interiores no es necesario. Se ejecuta la prueba con el fin de conocer las características reológicas de este fluido y así diseñar eficientemente los elementos que soportaran su carga en estado líquido.

3.1.Ensayos previos a la realización de los cilindros en concreto

3.1.1. Densidad y absorción del agregado fino

La mezcla de cemento puede incluir agregados finos y gruesos. A continuación se explican los ensayos realizados únicamente con agregados finos, ya que los morteros con agregados gruesos se utilizan en su mayoría para la fundición de lozas y elementos estructurales como tal, más no para la mezcla de morteros de acabados o pañete; fluido a usar en la máquina a diseñar en este proyecto.

3.1.1.1.Procedimiento

- Decantar el material a usar
- Secarlo con papel periódico y buscar el estado SSS (superficie seca saturada)
- Llenar el cono y pisonear con 25 golpes, para verificar si el material está listo.
- Levantar el cono y observar su estado, este estará listo cuando se desmorone.
- Pesar 500 gr del agregado fino en estado SSS
- En una probeta llenar 500 ml de agua
- En un picnómetro de 500 ml agregar agua de la probeta
- Pasar los 500 gr de material al picnómetro
- Completar con agua el picnómetro hasta la línea de referencia y validar el agua que quedo en la probeta
- Pesar el picnómetro con agua y la muestra

- Sacar el material del picnómetro y llevarlo al horno para obtener su peso seco.

3.1.1.2.Resultados

Masa al aire de la muestra seca al horno: $A = 496,53 \text{ gr}$

Masa del picnómetro aforado lleno de agua: $B = 693 \text{ gr}$

-

Masa total del picnómetro con la muestra y lleno de agua:

$$C = 994.14 \text{ gr}$$

Picnómetro vacío: 192.64 gr

Platón vacío: 30.19 gr

$S : SSS : 500 \text{ gr}$

ABSORCIÓN: 0.8%

Densidad Relativa: $S / (B + S - C)$

$$= 500 / (693 + 500 - 994.14)$$

$$= 2.5 \text{ gr/cm}^3$$

Densidad relativa Aparente: $A / (B + A - C)$

$$= 496.53 / (693 + 496.53 - 994.14)$$

$$= 2.54 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

3.1.2. Densidad del cemento

3.1.2.1. Equipo y materiales:

- Frasco patrón de Le Chatelier.
- 64 gr de cemento.
- Gasolina.
- Embudo.

3.1.2.2. Procedimiento

- Llenar el frasco de gasolina por 1 mL.
- Se anota la primera lectura.
- Con el embudo verter los 64 *gr* de cemento en el frasco (sin que se pegue en las paredes de este, para ello debe estar completamente seco)
- Después de agregar los 64 *gr* de cemento en el frasco se tapa y se gira en posición inclinada para sacar el aire.
- Se registra la lectura final.

3.1.2.3.Resultados

$$\rho = \frac{m \text{ del cemento}}{v \text{ desplazado}} = \frac{64 \text{ gr}}{22 \text{ cm}^3} = 2.90 \text{ gr/cm}^3 \quad (01)$$

3.2. Ensayo aplicado a probetas

Inicialmente se realizarán una serie de ensayos para determinar las densidades y absorción de los materiales.

- Se realizará un diseño de mezcla con relación agua cemento 0.48 y un volumen de pasta 35%.
- En el laboratorio se realiza la mezcla con los datos obtenidos.
- Se determina el asentamiento.
- Los cilindros son dejados en la piscina por 7 y 14 días respectivamente.
- Inicialmente se debe tener en cuenta que el ensayo a compresión de dos cilindros que se encuentra en condiciones húmedas, se debe realizar antes de que la probeta pierda sus condiciones mecánicas iniciales.
- Antes de usar el espécimen en el ensayo, debe mantenerse en condiciones húmedas para que los resultados sean viables.

- Los especímenes de prueba antes de romperse, por norma, deben considerarse la edad del elemento según la tabla 3, los especímenes de nuestro ensayo tienen una edad de 7 días, con una tolerancia admisible de 6 horas o 3.6%.

Tabla 3 Edad de ensayo de las probetas, (NTC 673)

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24H	$\pm 0,5H$ O 2,1%
3 DÍAS	2H O 2,8%
7 DÍAS	6H O 3,6%
28 DÍAS	20H O 3%
90 DÍAS	2 DÍAS O 2,2%

3.3. Cálculo de la resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión permite saber cual es el esfuerzo máximo que puede soportar un material sometido a una carga que lo aplasta. En el caso del pañete fino este valor especifica el esfuerzo mínimo al cual este fluido se deforma en estado fresco y seco. Esta se obtiene dividiendo la carga máxima soportada por el promedio de la sección transversal.

3.3.1. Agregado fino

Densidad aparente: $2.54^{gr}/cm^3$

Porcentaje de absorción: 0.8%

Humedad natural: 8%

Peso unitario suelto: 1.41 gr/cm^3

Asentamiento: 5 cm

Densidad aparente del cemento: 2.90 gr/cm^3

El asentamiento define la trabajabilidad del concreto fresco, que se refiere a la facilidad con que esté puede ser mezclado, manejado, transportado, colocado y terminado sin perder su homogeneidad. Es uno de los datos previos que se deben tener a mano al iniciar el diseño de mezclas; está dado por el calculista, pues dependiendo de la obra y de la sección a construir se necesita un diferente asentamiento. Por ejemplo, un elemento muy delgado o muy reforzado necesita una mezcla con mayor manejabilidad que la de un elemento masivo o poco reforzado.

Tabla 4 Consistencia y asentamiento, (NTC 673)

Consistencia	Asentamiento
Seca	0mm a 50mm
Plástica	75mm a 100mm
Fluida	$\geq 125\text{mm}$

Tamaño Máximo Nominal: $\frac{3}{4}$ " Este dato hace referencia a la gradación de agregado grueso. Esta medida depende considerablemente de la disposición de material en la región y del

tipo de obra a construir, puesto que el tamaño máximo es uno de los principales responsables del asentamiento; y así de la cantidad de cemento y agua a utilizar.

La calidad del material también responde al asentamiento, pero su tamaño es determinante, pues si es de mayor dimensión y de baja calidad (poroso y áspero) hará aumentar la cantidad de agua, perdiendo el concreto así su resistencia y las características de éste. La idoneidad del tamaño máximo depende de la granulometría en la obra y de la sección a construir.

Tabla 5 Tabla máximo del agregado, recomendado para distintos tipos de estructuras, (NTC 673)

TIPOS DE ESTRUCTURAS	Tamaño máximo del agregado en mm			
	Dimensión mínima de la sección en cm			
	6- 13	15- 28	30- 74	≥76
Muros, vigas, columnas armadas	13-	19-	38-	38-
Muros sin armar	19	38	75	75
Losas muy armadas	19	38	75	150
Losas sin armar o poco armadas	19-	38	38-	38-
	25	38-	75	75
	19-	75	75	75-
	38			150

La cantidad de agua que se requiere para producir un asentamiento depende del tamaño máximo nominal, de la forma del agregado y de su granulometría. Es una de las responsables de la resistencia del concreto y es quien determina el grado de trabajabilidad y plasticidad del mismo. Hay que tener presente que el agua que se usa en la mezcla debe ser limpia, incolora e inolora, no puede tener componentes químicos y orgánicos, pues

atacan el concreto. La cantidad del agua en la mezcla se puede ver reducida si se usan aditivos.

Tabla 6 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes calores de asentamiento o SLUMP; y tamaños máximos de agregados, (NTC 673)

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)		Agua en lt/m^3 de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
		10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1½")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO										
30 a 50 80 a 100 150 a 180		(1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125
		(3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140
		(6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO										
30 a 50 80 a 100 150 a 180		(1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120
		(3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135
		(6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave		4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada		6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa		7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Los valores del asentamiento para concreto con agregado más grande que 40mm (1½") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1½") por tamizado húmedo.

Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y en formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o ITINTEC 400.037).

* Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1½") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1½") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1½"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.

** Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto.

3.4. Proporciones finales

Tabla 7 Proporciones de material en gramos (gr), (Autor)

Material (unidad)	Cemento	agua	grava	Arena
Peso (gr)	4243.28	2331.2	8800	6000

Para determinar las cantidades de los materiales a utilizar en una obra, se usan las relaciones con respecto a un kg de cemento, teniendo en cuenta que se usan los pesos secos. Por ejemplo, en el mercado existen mezcladoras de 1, 2 o 3 sacos de cemento, entonces, con estas proporciones se puede multiplicar por el valor del peso del saco y obtener así la cantidad a utilizar.

3.5. Ajuste de humedad

Es muy importante saber que los agregados no siempre están secos, determinados factores ambientales como la lluvia, el sol y el viento hacen que los agregados se sequen o humedezcan; y son estas variaciones decisivas en las cantidades de materiales a utilizar en el concreto, como de su resistencia. Por esto los ajustes son frecuentes en la obra y es de ellos depende la calidad de la construcción.

Tabla 8: Probeta N° 1- Resistencia a la compresión ensayo 1 a los 7 días, (Autor)

Datos	Perímetro mm	Radio (mm)	Área (mm^2)	Resistencia a la compresión KN/cm^2
1	322,00	51,25	8250,89	0,0109
2	320,00	50,93	8148,71	0,0110
3	321,00	51,09	8199,72	0,0109
PROMEDIO	321,00	51,09	8199,72	0,010
Masa	3,51 kg			
	89.67 KN			
Fuerza:				
	11.41 Mpa			
Esfuerzo:				
	0,05 Mpa/s			
Velocidad				
	51,09 mm			
Radio				
	102,2 mm			
Diámetro				
	8199,72 cm^2			
Área Sección Transversal				
Resistencia a la compresión	0,010 KN/cm^2			

Tabla 9 Probeta N°2 -Resistencia a la compresión ensayo 2 a los 14 días, (Autor)

Datos	Perímetro mm	Área (mm^2)	Resistencia a la compresión KN/cm^2
1	320,00	8148,71	0,0213
2	319,00	8097,86	0,0215
3	318,00	8047,17	0,0216
PROMEDIO	319,00	8097,86	0,02
Masa	3,61 kg		
	173.95 KN		
Fuerza:			
	22.14 Mpa		
Esfuerzo:			
	0,13 Mpa/s		
Velocidad			
	50,77 mm		
Radio			
	101,5 mm		
Diámetro			
	8097,86 cm^2		
Área Sección Transversal			
Resistencia a la compresión	0,02 KN/cm^2		

La relación entre la longitud y el diámetro del espécimen es superior a 1,75. Esto indica que no se debe corregir el resultado obtenido en el punto “a” por el factor de corrección.

Tabla 10 Relación de longitud vs diámetro ensayo 1 a los 7 días y ensayo 2 a los 14 días, (Autor)

Ensayo	Datos	Altura mm	Diámetro mm	Relación h/D
1	1	205,00	102,50	2,00
	2	206,00	101,86	2,02
	3	204,00	102,18	2,00
	PROMEDIO	205,00	102,2	2,01
2	1	207,00	101,86	2,03
	2	206,00	101,54	2,03
	3	204,00	101,22	2,02
	PROMEDIO	205,67	101,5	2,03

3.6. Análisis paramétrico del concreto elaborado

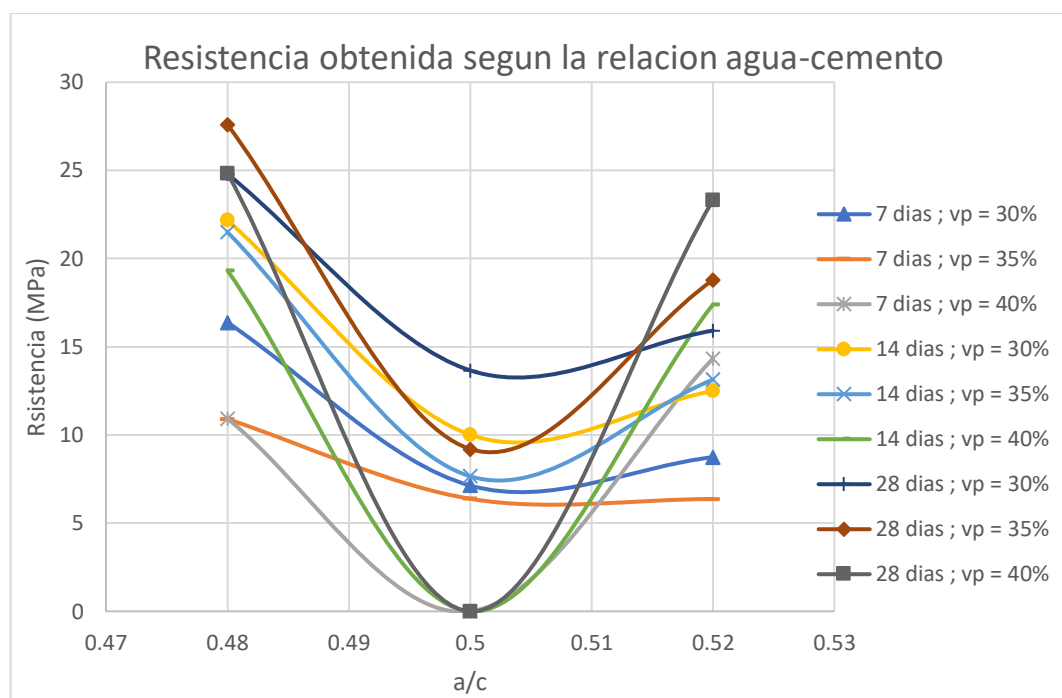


Ilustración 6 Resistencia obtenida según la relación agua/cemento para mezclas de pañete con agregados finos.

En la ilustración 06 se agruparon las muestras de forma que para una misma curva se tiene una muestra que ha tenido el mismo tiempo de curado y el mismo volumen de pasta. Se puede observar nuevamente que las curvas con mayor tiempo de curado registran mayores resistencias a la compresión. Igualmente al usar relaciones agua cemento cercanas a 0,48 se obtienen resistencias mayores que al usar relaciones agua-cemento cercanas a 0,52. Y que las menores resistencias se obtienen con valores de agua-cemento cercanos a 0,5. Este comportamiento se debe a que con grandes relaciones agua cemento, se necesitan mayores tiempos de fraguado y con relaciones agua-cemento cercanas a 0,5 la cantidad de agua sigue siendo exagerada, pero no demasiado como para poder ser espirada por la estructura mineral; por lo cual resulta un concreto muy poroso.

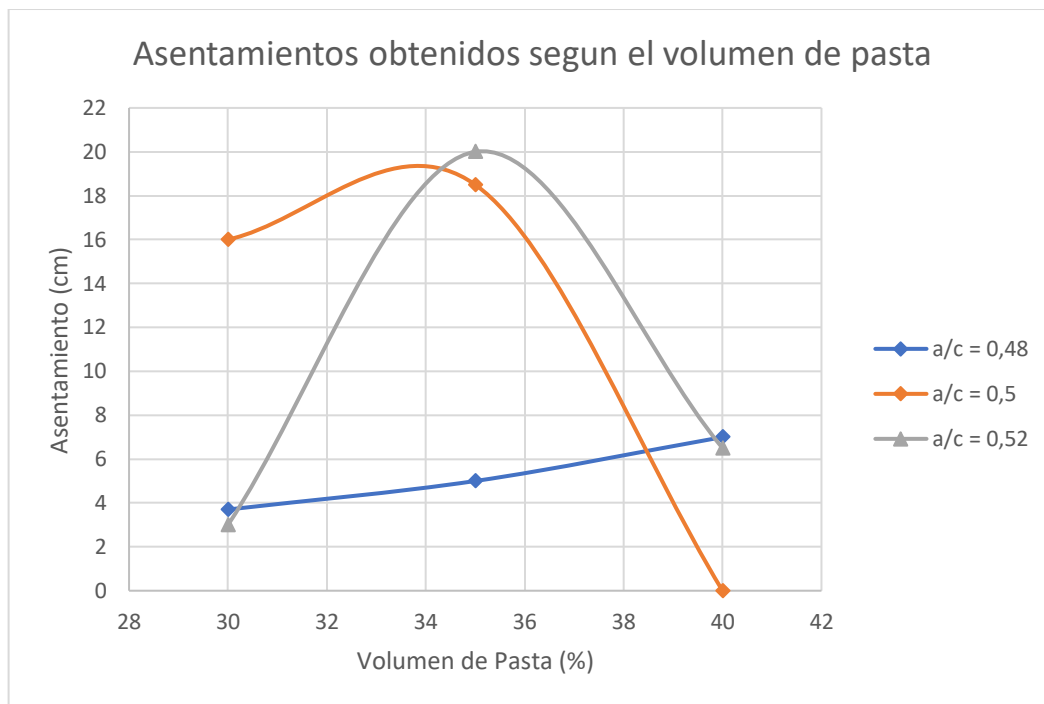


Ilustración 7 Asentamientos obtenidos según el volumen de pasta.

En la ilustración 07 se puede observar que con altos contenidos de agua se obtienen asentamientos mayores, pero que igualmente el volumen de pasta afecta la magnitud de los asentamientos y en general se obtienen mezclas menos fluidas con volúmenes de pasta bajos. Se puede observar también que con altos contenidos de pasta nuevamente se obtienen asentamientos bajos lo cual se debe a que un alto contenido de agregado fino y cemento, produciendo una mezcla muy cohesiva y plástica.

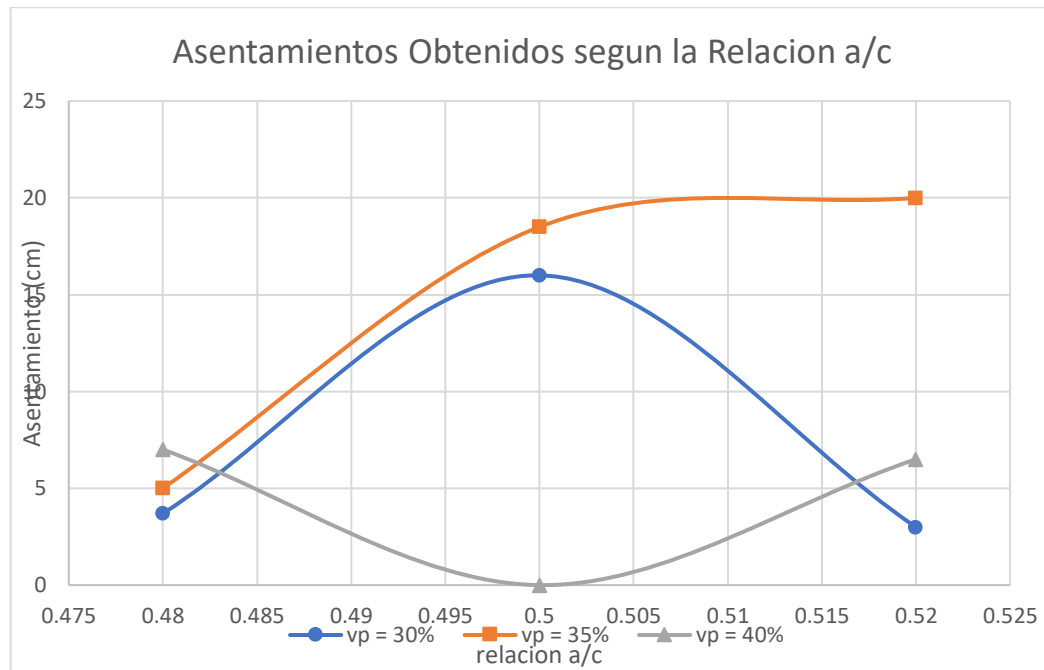


Ilustración 8 Asentamientos obtenidos según la relación Agua/Cemento

En la ilustración 08 se puede observar que con bajas relaciones de agua-cemento se obtienen asentamientos muy pequeños lo cual puede deberse a que se forma una mezcla muy cohesiva y de alta viscosidad, debido a que la mezcla obtenida no está bien lubricada y que en relaciones agua-cemento mayores se obtienen mezclas más fluidas.

Un triturado muy anguloso y áspero absorbe grandes cantidades de agua, por lo cual se requeriría de un rediseño de la mezcla, sin embargo, estos agregados nos brindan una mejor adherencia con la pasta de cemento. Un triturado de forma redondeada provoca menor compactación debido a su superficie lisa y a que poseen mayor humedad debido a que proceden generalmente de los ríos.

CAPÍTULO IV. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

4.1. Estudio de campo

El estudio de campo permite evaluar las necesidades del mercado para plantear una solución automatizada al problema. Este estudio se basa en análisis de encuestas realizadas a una población igual a 20 profesionales del pañetado; albañiles con más de 5 años de experiencia ejecutando la labor de pañetado. A los cuales se les practico la encuesta adjunta en el anexo 1.

La primera pregunta muestra que el 42,9% de los encuestados trabajan de 4 a 8 horas diarias, el 33,3% trabaja de 2 a 4 horas y un 23,8% trabaja más de 8h ejerciendo esta labor. Este último ejerce la labor por encima de las 8 horas, pero no supera las 10 horas de trabajo; y su mayor motivación es el cobro de horas extras para generar un mayor ingreso económico.

Cuántas horas al día usted realiza la labor de pañetar?

21 respuestas

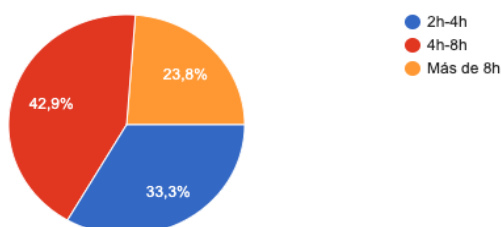


Ilustración 9 Resultados pregunta 1.

La segunda pregunta hace referencia a la cantidad de área pañetada por estas personas, a pesar de ser porcentajes dispares, se evidencia que el 90,5% de los encuestados pañetan máximo 50 m^2 por día, este valor es inferior al que se puede obtener por una máquina de pañetado de *Ezrenda* como se evidencia en la tabla 2 de este documento.

Cuantos metros cuadrados pañeta al día? Escoja una opción según el rendimiento de metros cuadrados que usted puede pañetar en un día.

21 respuestas

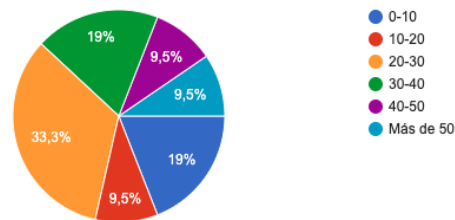


Ilustración 10 Resultados pregunta 2.

La tercera pregunta evalúa la cantidad de personas necesarias para ejecutar esta acción, para ello es importante resaltar que este personal es necesario en una obra promedio, la cual puede durar hasta 8 días ejecutando esta labor.

Cuántas personas trabajan en conjunto para pañetar un apto en Bogotá?

21 respuestas

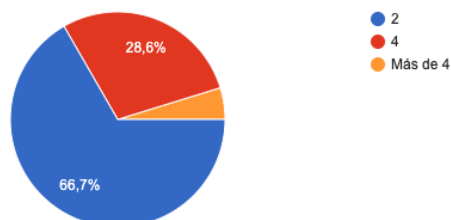


Ilustración 11 Resultados pregunta 3.

Para pañetar como se evidencio en el numeral 1,2 se requiere de unos elementos para ejecutar esta labor, alistar estos elementos toma entre 1 y 2 horas al 81% de los encuestados; mientras que instalar una máquina Ezrenda actualmente no supera los 15 minutos de montaje.

Cuanto tiempo toma alistar los implementos para inciar esta labor?

21 respuestas

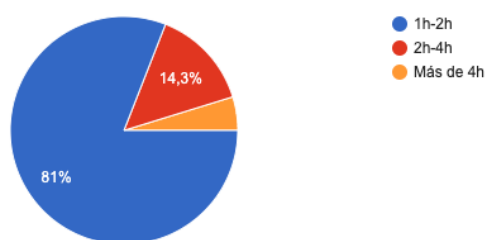


Ilustración 12 Resultados pregunta 4.

Un albañil o maestro de obra es requerido con mayor frecuencia para el acabado de obras en interiores que de exteriores, ya que en Colombia en los hogares promedio se suele dejar rustica la fachada externa de los hogares.

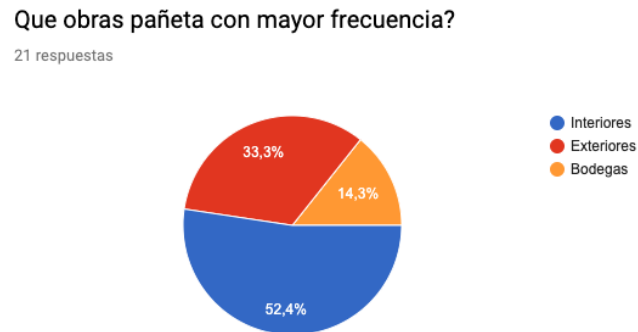


Ilustración 13 Resultados pregunta 5.

El coto promedio de un trabajador ejecutando solo la labor de pañetar oscila entre los \$20.000 a los \$85.000 pesos colombianos; este valor depende si es un trabajador formal o informal, en la mayoría de los casos son trabajadores informales exceptuando los trabajadores directos a una constructora.

Que vale un día de trabajo como albañil o pañetador?

21 respuestas

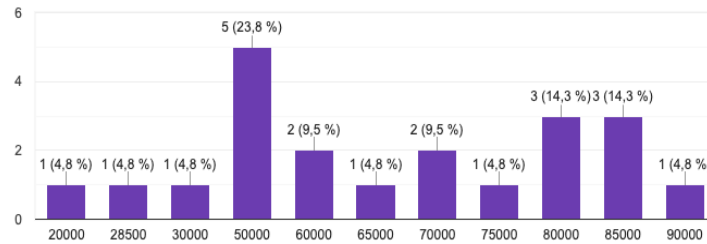


Ilustración 14 Resultados pregunta 6.

El personal entrevistado considera que ejecutar esta labor es de un riesgo laboral medio, debido a la exposición constante al entorno tosco de trabajo y los materiales que manipulan.

Considera que su labor tiene un riesgo laboral:

20 respuestas

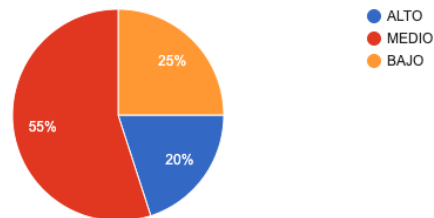


Ilustración 15 Resultados pregunta 7.

La pregunta 8 hace referencia a los materiales más utilizados por los albañiles para ejercer su profesión adecuadamente; todos usan lija, palustre y llana. Menos del 20% de los encuestados manifiestan usar elementos de protección personal (EPP) para cuidar su salud. Por último, se pregunta si estas herramientas son propias, prestadas o alquiladas; el 52,4% de los encuestados compran sus propias herramientas de trabajo; se evidencia que al ser trabajadores sin un alto ingreso monetario la calidad de sus herramientas en algunos casos no es la mejor para ejecutar el trabajo, ya que los palustres suelen ser de segunda y se encuentran con grietas y desniveles que afectan el resultado final.

Las herramientas que menciona en la pregunta anterior son:

21 respuestas

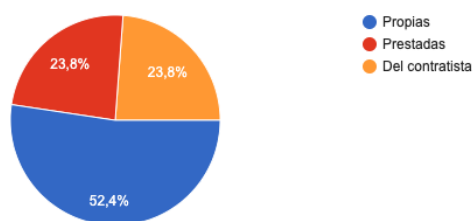


Ilustración 16 Resultados pregunta 9.

4.2. Restricciones y limitaciones

El diseño debe ser apto para unas condiciones mínimas de operación, estas condiciones están dadas por los alcances y limitaciones del proyecto. Teniendo en cuenta que las restricciones aquí mencionadas se dan con el fin de que la máquina sea práctica, económica y segura.

- Cabezote de la máquina no mayor a 1m, facilitando el transporte de la máquina y asegurando una aplicación uniforme del producto.
- Los elementos de alto desgaste deben conseguirse comercialmente en Colombia.
- Debe ser de fácil operación y montaje.
- La máquina debe ser completamente desarmable, para facilitar su movilidad.

4.3.Parámetros funcionales

El rendimiento óptimo de la máquina está dado por los siguientes parámetros:

- La máquina pañeteadora automática debe trabajar de forma continua seis (6) a ocho (8) horas diarias.
- Debe contar con un rendimiento mínimo de 75m²/h.
- Su estructura deberá ser diseñada y construida en materiales que soporten valores altos de fatiga, tracción y fricción.
- La máquina debe ser de fácil operación, montaje, mantenimiento, limpieza y transporte.
- Las partes reemplazables deben ser de fácil acceso y mantenimiento.
- La máquina debe ser intuitiva para el operario.

4.4.Ambiente de operación de la máquina

La temperatura y la humedad relativa del ambiente laboral afectan el rendimiento de los materiales con los cuales se diseña la máquina, por ende, es importante conocer los rangos de operación térmica de la misma.

Tabla 11 Características climatológicas de ciudades principales de Colombia (IDEAM, 2017).

Ciudad	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Humedad relativa
Bogotá	5°C	20°C	77-83%
Cali	18°C	31°C	70-76%
Medellín	17°C	28°C	63-73%
Barranquilla	23°C	32°C	82%
Pereira	16°C	26°C	73-79%
Cartagena	25°C	33°C	84%
Armenia	16°C	26°C	76-81%
Tunja	12°C	26°C	82-89%
Villavicencio	20°C	32°C	67-83%

Es importante destacar que la máquina estará sometida a ambientes de humedad, polvo, residuos de mezcla de pañete entre otros. Por ende, esta debe contar con materiales que soporten estas condiciones laborales.

4.5. Alternativas de diseño

Para esta máquina se presentan dos alternativas de diseño, las cuales posterior a una evaluación de cubrimiento de necesidades y eficiencia por un panel de expertos es seleccionado el diseño que tenga la mayor ponderación.

- Máquina pañeteadora con sistema de izaje piñón-cremallera
- Máquina pañeteadora con sistema de izaje cable-polea

4.6. Alternativa 1. Izaje piñón-cremallera

Descripción: Máquina pañeteadora con sistema de izaje piñón-cremallera, este sistema de izaje fue utilizado por EZRENDÁ en sus primeros diseños, es un diseño que cuenta con dos tubos direccionales que contienen una cremallera cada uno por la cual se desplaza un piñón helicoidal



Ilustración 17 EZREDA XP-100 (ALIBABA, 2014).

- Cabezote: parte de la máquina que sube y baja en el eje Y con ayuda de un sistema de izaje, distribuyendo así el concreto en la pared a pañetar.
 - Palustre o paleta: parte mecánica que distribuye la mezcla de pañete en la superficie con ayuda de la gravedad y la velocidad del cabezote de la máquina.
 - Sistema de izaje: conjunto de elementos mecánicos que hacen posible la elevación de una carga en el eje Y, en este caso la carga a elevar es el cabezote de la máquina con la mezcla de pañete.
- Esta alternativa cuenta con un sistema piñón-cremallera.

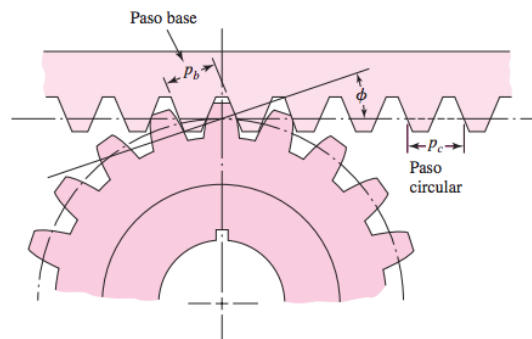


Ilustración 18 Mecanismo piñón cremallera (Richard & Keith, 2008).

- Estructura: conjunto de piezas mecánicas que dan soporte al cabezote en el trayecto de subida y bajada en el eje Y, este tipo de soportes suelen ser
- Velocidad de trabajo: 80-100 m² / hora.
- Potencia: la máquina cuenta con una potencia de 0.75KW.
- Alimentación: cuenta con alimentación monofásica y trifásica.
- Peso de la máquina: 110Kg

Ventajas:

- La máquina es capaz de pañetar 80-100 m² / hora.
- Acabado liso, listo para pintar al secar.
- Superficies de aplicación: ladrillo, cemento y bloque.

Desventajas

- La limpieza de la máquina debe hacerse por cada tramo, ya que la acumularse residuos de material en la cremallera disminuye el rendimiento de la máquina.
- El costo de mantenimiento es elevado y los repuestos no son comerciales en el país.
- El montaje y desmontaje de la máquina es complejo ya que se debe tener mucho cuidado con los rieles de la cremallera.
- Este modelo no cuenta con desplazamiento en el eje X.
- Vibración en la estructura.

4.7. Alternativa 2 sistema de izaje polea-cable

Descripción: Este sistema de izaje fue utilizado por EZRENDÁ en sus últimos diseños, es un diseño que cuenta con dos tubos direccionales que soportan y dan guía al cabezote, a su vez cuenta con dos cables de acero que soportan el cabezote en su recorrido de operación.



Ilustración 19 EZRENDÁ XP-100 (ALIBABA, 2014)

- Cabezote: parte de la máquina que sube y baja en el eje Y con ayuda de un sistema de izaje, distribuyendo así el concreto en la pared a pañetar.
 - Palustre o paleta: parte mecánica que distribuye la mezcla de pañete en la superficie con ayuda de la gravedad y la velocidad del cabezote de la máquina.
 - Sistema de izaje: conjunto de elementos mecánicos que hacen posible la elevación de una carga en el eje Y, en este caso la carga a elevar es el cabezote de la máquina con la mezcla de pañete.
- Esta alternativa cuenta con un sistema cable polea.

- Estructura: conjunto de piezas mecánicas que dan soporte al cabezote en el trayecto de subida y bajada en el eje Y, este tipo de soportes suelen ser
- Velocidad de trabajo: 70-80 m² / hora.
- Potencia: la máquina cuenta con una potencia de 0.75KW.
- Alimentación: cuenta con alimentación monofásica y trifásica.
- Peso de la máquina: 100Kg

Ventajas

- El peso de la máquina la hace fácil de transportar.
- La estructura que da estabilidad al cabezote en su recorrido se puede montar y desmontar fácilmente.
- El costo de mantenimiento es mínimo, ya que el cable que se usa en esta máquina soporta un elevado número de ciclos de uso.
- La máquina se desplaza suave y ligeramente.
- Superficies de aplicación: ladrillo, cemento y bloque.

Desventajas

- Este modelo realiza de 10 a 20 m²/h menos que el modelo de la alternativa 1.
- Este modelo no cuenta con desplazamiento en el eje X.
- Su uso es únicamente pañete en interiores.

El análisis de estas alternativas se resume en la tabla 13, la cual permite ver en forma concisa las singularidades de cada alternativa. Con estas particularidades de cada una de las alternativas se puede realizar una evaluación objetiva y crítica por un panel de expertos; seleccionando así una alternativa acertiva a los objetivos planteados .

Tabla 12 Matriz de alternativas de sistemas necesarios a evaluar de la máquina.

Sistema	Alternativa 1	Alternativa 2
Sistema de izaje	Piñón-cremallera	Cable-polea
Velocidad de trabajo	80-100 m ² / hora.	70-80 m ² / hora.
Peso	110 Kg	100 Kg
Longitud palustre	1200mm	800mm
Costo fabricación estimado	\$5.800.000	\$4.500.000
Mantenimiento	Limpieza por cada tramo de pañetado en la cremallera.	Limpieza general al finalizar la jornada laboral.

4.8. Evaluación y selección de alternativa de diseño

Para esta fase del proyecto se retomo lo establecido en los alcances y limitaciones. Es decir, la máquina tiene la capacidad de pañetar un tramo de 1000mmx2500mm en un solo movimiento de subida y de bajada del cabezote. Cuenta con la robustez suficiente para el ambiente de trabajo de operación dentro de una obra civil. Igualmente, este equipo solo realiza pañete fino; optimizando los tiempos de operación gracias a su rendimiento, el cual debe ser de un valor mínimo de 80 m²/h. En ese orden de ideas, los parámetros escogidos para la evaluación y selección del diseño son los siguientes:

- A. Sistema de izaje: mecanismo por el cual se realiza el levantamiento del cabezote con carga y sin carga de forma segura y eficiente. Con una ponderación del 15%.
- B. Velocidad de trabajo: rendimiento en m² que puede ejecutar el sistema por hora de operación. Con una ponderación del 30%.
- C. Peso: peso del equipo sin carga, entre menor sea los traslados de la máquina serán más eficientes y cómodos. Con una ponderación del 5%.
- D. Longitud de palustre: medida máxima del elemento que aplica la mezcla a la superficie deseada. Para efectos de aplicación correcta este no debe ser mayor a 1m ni inferior a 80cm. Con una ponderación del 10%.
- E. Costo de fabricación estimado: se refiere a un costo de fabricación estimado por manufactura colombiana. El cual se estima de \$4.500.000 para sistema cable pola y de \$5.800.000 para sistema piñón-cremallera; este precio solo considera manufactura metal mecánica y materiales. Se considera el puntaje más alto el sistema que sea de menor costo. Con una ponderación del 20%.
- F. Mantenimiento: se refiere a la frecuencia de revisión, remplazo de partes y limpieza profunda que requiera la máquina. Si está parada implica un tiempo mayor a 8 horas, un día laboral normal se considera de un puntaje bajo ya que implica parar las actividades de la obra con la máquina. Se considera de mayor puntaje la alternativa que genere menos horas de mantenimiento por horas de labor. Con una ponderación del 20%.

Para garantizar la objetividad en el proceso de evaluación, las alternativas de diseño fueron consultadas por un panel de expertos en el área de construcción de obras civiles, quienes calificaron cada uno de los aspectos en una escala de numérica de uno (1) a cinco (5), donde uno (1) es la calificación más baja para el parámetro, y cinco (5) es la calificación más alta para el parámetro. Los expertos del panel fueron los siguientes:

- Ingeniero Daniel Gómez: Ingeniero civil graduado de la Universidad Nacional de Colombia. Fundó la empresa Constructora Gómez & CIA SAS en el año 1999, cuenta con una experiencia de más de 20 años en la construcción de puentes, vías, edificios, vivienda, centros comerciales y hoteles.
- Ingeniera Ana María Monrroy: Ingeniera civil Universidad Minuto de Dios.
- Ingeniero Andres Felipe Alonso: Ingeniero Civil graduado de la Universidad de los Andes. Se desempeñó como ingeniero auxiliar en el consorcio VG estaciones, encargado de la ampliación de 25 Estaciones de Transmilenio, en donde colaboró activamente con la coordinación y la dirección técnica del proyecto, asistió a mesas de trabajo con el IDU y coordinó el equipo de diseño arquitectónico y urbanístico.

A cada uno de los evaluadores se le entregó la encuesta adjunta en el anexo 2. La cual muestra dos imágenes, cada una corresponde a una alternativa y se explica brevemente el funcionamiento de cada una; posteriormente se entrega una matriz de calificación donde los resultados se evidencian en la tabla 13.

Tabla 13 Resultados de evaluación de alternativas por expertos y autor.

Parámetro	Ponderación	Experto_1		Experto_2		Experto_3		Experto_4		Diseñadora	
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
A	15%	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4
B	30%	5	5	5	3	5	4	5	5	5	5
C	5%	4	5	5	5	5	5	4	4	5	4
D	10%	4	5	3	3	4	3	4	3	5	4
E	20%	4	5	2	5	3	4	3	5	4	5
F	20%	2	5	2	4	2	3	3	5	1	5
TOTAL	100%	23	29	20	24	22	23	22	26	23	27
Promedio alternativa 1				22							
Promedio alternativa 2				25.8							

Como se aprecia en la tabla 13, el diseño escogido fue la alternativa 2. Su mayor puntaje fue de 24 puntos en el parámetro de costo de fabricación, un factor muy importante ya que se busca un prototipo económico que a su vez sea eficiente. El ítem de velocidad de trabajo tuvo mayor puntaje la alternativa 1 ya que esta comercialmente cuenta con un rendimiento de 20m²/h por encima de la alternativa 2 y este valor es muy significativo en una vivienda ya que puede significar una alcoba completa.

Se concierta que el mayor número es el ideal para el proyecto; por lo cual se eligen la alternativa 2 ya que contiene 8 puntos más que la alternativa número 1. Esta alternativa cuenta con un sistema de izaje cable-polea para la elevación de la carga del cabezote de la máquina con la mezcla de pañete fresco; igualmente cuenta con un rendimiento de 70-80 m²/h un rango de operación igual al definido en los alcances y limitaciones del proyecto.

CAPÍTULO V. DISEÑO DE LA MÁQUINA

En el presente capítulo se describe el proceso de diseño de la máquina. El cual se consume por medio de las siguientes etapas:

Etapas 1: Estudio de necesidad: las empresas en Colombia no cuentan con máquinas que permitan tecnificar sus procesos; y así competir en tiempos de operación y calidad de productos, este proceso se describe en el capítulo 4 apartado 4.1 de este documento.

Etapas 2: Investigación: proceso en el cual se investiga las alternativas comerciales actuales que permiten solucionar esta necesidad; este proceso se describe en el capítulo 2 apartado 2.3 de este documento.

Etapas 3: Alternativas de diseño: seleccionar dos diseños comerciales actuales los cuales se puedan evaluar y mejorar para ejecutar la construcción de este en Colombia, permitiendo así construir una máquina de fácil mantenimiento, operación y asequible económicamente en el país; este proceso se describe en el capítulo 4 apartado 4.8 de este documento.

Etapas 4: Evaluación y selección de alternativas de diseño: evaluar mediante el conocimiento de expertos y futuros compradores la alternativa que mejor se ajuste a las necesidades actuales de la construcción de edificaciones en el país; este proceso se describe en el capítulo 4 apartado 4.8 de este documento.

Etapas 5: Estudio de reología; se ejecuta con el fin de conocer los parámetros físico-mecánicos del fluido a trabajar en la máquina este proceso se describe en el capítulo 3.

Etapas 6: Selección preliminar del motor; se realiza en base al estudio de la capacidad de carga supuesta que tendrá que operar el equipo, y de la velocidad de trabajo estimada calculada en el apartado 6.2 de este capítulo.

Etapas 7: Diseño de los elementos del sistema de izaje; elementos mecánicos comisionados de elevación de carga del cabezote en el plano Y.

Etapas 8: Selección de bandas y elementos comerciales a usar; elementos mecánicos que consienten la distribución del fluido a lo largo de la operación de la máquina.

Etapas 9: Validación del diseño mediante un entorno CAD; conocer a detalle el peso del cabezote de la máquina, en base a los elementos diseñados. Esto con el fin de validar si el motor designado en la etapa 2 efectúa las necesidades de labor de la máquina.

5.1.Principio básico de funcionamiento

La máquina automática de pañetado, permite pañetar una pared de 3000mmX2500mm de área sin tener que desmontar totalmente la máquina a un tramo posterior en el eje X.

La máquina recibe una carga de material de forma manual por el operario en la parte superior de la banda transportadora, la cual se ubica en la superficie del cabezote, encargándose de distribuir el material a la parte frontal de la maquina, esta banda esta ubicada perpendicular al palustre de distribución. Adheriendo el material a la pared a medida que el sistema se desplaza en el eje Y por medio de un sistema de izaje cable-polea. Al llegar al tope de la de la superficie esta retorna sin material en la banda, retirando el exceso de producto y perfilando la superficie. Posteriormente se realiza el traslado de eje X, con un sistema de seguros mecánicos se posiciona nuevamente el cabezote para su siguiente tramo hasta completar una longitud deseada.

5.2. Planteamiento del diseño

Según alternativa elegida en el numeral 4.8. Se procede a trabajar el diseño a partir del sistema de izaje cable-polea, para lo cual se plantea un esquema de funcionamiento que consta de cuatro (4) sistemas, que en conjunto logran que la máquina opere a satisfacción; este puede ser evidenciado en la ilustración 20. Los sistemas mencionados son:

Riel superior: sistema que permite posicionar los tambores de enrollamiento en la parte superior de la estructura para asegurar la elevación de la carga adecuadamente. El cable es sujetado mediante tambores de enrollamiento de la misma forma que el eje del cabezote. Esta compuesto de un eje, dos tambores de enrollameinto, dos bridas de sujeción y dos rodamientos.

Riel de elevación: estructura de elevación para el cabezote de la máquina, permite dar estabilidad al cabezote mientras este ejecuta su labor de pañetado.

Cabezote: es en este elemento donde se encuentran los elementos diseñados en el capítulo 6, este conjunto de piezas cumple la función de trasladar el concreto hacia la superficie deseada a pañetar mientras es elevado por un sistema cable-polea a lo largo de los rieles de elevación.

El cabezote está compuesto por el eje principal, el cual lleva las bridas y tambores que sujetan y dan posición al cable encargado de elevar la carga; el acople mediante piñón helicoidal que recibe la potencia transmitida a partir de la caja reductora del motor. También incluye los accesorios que conectan a este eje con la banda transportadora y la banda engragada de distribuir la mezcla de pañete hacia el destino.

Riel inferior: estructura mecánica que da soporte a la máquina y permite ejecutar el traslado en el eje X de manera rápida y segura. Contiene seguros mecánicos para su posicionamiento adecuado.

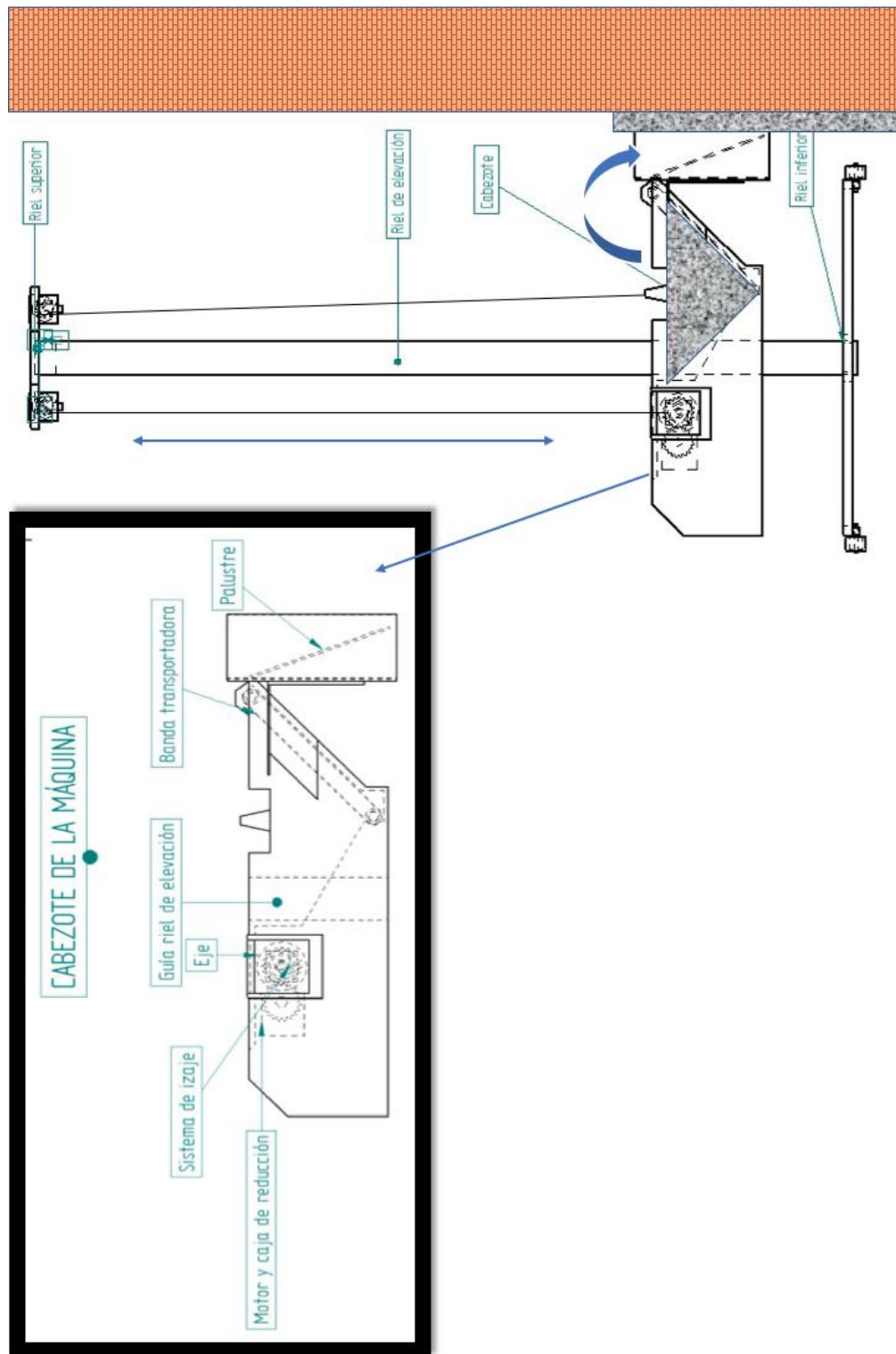


Ilustración 20 Esquema de funcionamiento de la máquina (Autor)

CAPÍTULO VI. CÁLCULOS MATEMÁTICOS

6.1.Capacidad de carga

Se define como capacidad de carga el máximo peso que puede ser soportado por el mecanismo de izaje incluyendo el peso del cabezote, y el peso del material de un tramo de pañetado. Área y volumen total de un tramo de pared a pañetar, teniendo en cuenta que el cabezote de la máquina debe ser igual a 1m de ancho y que la altura promedio de un apartamento en la ciudad de Bogotá es de 2,5m y que el espesor de un pañete fino oscila entre los 20mm a los 25mm tenemos:

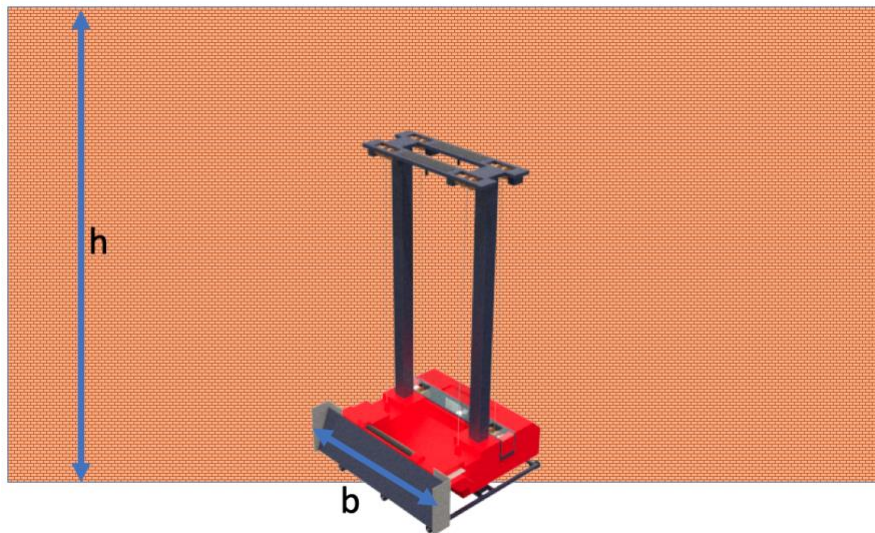


Ilustración 21 Área de un tramo pañetado de la máquina (Autor)

$$A = b * h = 1m * 2.5m = 2.5 m^2 \quad (02)$$

$$V = A * \text{Espesor} = 2.5m * 0.025m = 0.0625m^3 \quad (03)$$

Con el volumen del pañete obtenida en la ecuación 3 y la densidad estimada en el capítulo 2. Se conoce la carga para un tramo de pared que será aplicado parcialmente por la paleta. La cual esta estimada en la ecuación 4:

$$m = \rho * v = 62500cm^3 * 2.90 gr/cm^3 = 181.25kg \quad (04)$$

Con el fin de evitar fallas en el producto final por burbujas de aire, consecuencia del fraguado del fluido, se escoge trabajar con la mitad de la masa calculada anteriormente. Para efectos de carga de operación y demás cálculos que requiera el peso máximo a elevar se trabajará con el siguiente valor:

$$m = 90.63 kg$$

Es de resaltar que el cargue del fluido a aplicar con la máquina se hace de forma manual por el operario de la máquina. Este tiene la capacidad de aplicar cargas parciales en la máquina según necesidad de la misma.

6.2.Velocidad de trabajo de la máquina en base a la reología del concreto

Modelo de Bingham:

Este estudio permite conocer las características reológicas de fluidos no newtonianos; fluidos que se comportan como solidos hasta que se excede un esfuerzo mínimo. Este modelo es aplicable en fluidos independientes del tiempo, esto significa que son fluidos que dependen únicamente de la fuerza aplicada sobre este (LAMPION, 2009).

$$\tau = \tau_0 + \mu\gamma \quad (05)$$

Donde:

τ = *esfuerzo cortante aplicado*

τ_0 = *esfuerzo de fluencia*

μ = *Viscosidad plástica o dinámica*

γ = *Tasa de corte* = $\frac{dv}{dt}$ *gradiente de velocidad*

$$\tau_0 = \frac{\rho(300 - s)}{347} + 212 \quad s = \text{slump medido en mm} \quad (06)$$

Despejando τ_o de la ecuación 6 tenemos:

$$\tau_o = 415,9Pa$$

Se requiere conocer el esfuerzo τ de la ecuación 7, para ello se calcula de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{p}{A} = \frac{200Kg * 9,81m/s^2}{(1m * 0.2m)} = 1962Pa \quad (07)$$

Despejando γ de la ecuación 5 tenemos una aceleración aproximada de trabajo de:

$$\gamma = 0.52m/s^2$$

Los tiempos de operación de los modelos Ezrenda en promedio son:

Tiempo	Símbolo	Valor (segundos)
Subida	ts	24
Bajada	tb	20
Traslado	tt	20
Cargue de material	tc	240

Tabla 14 Tiempos de operación EZRENDA

Como conocemos la aceleración a la cual la mezcla fragua y conocemos el tiempo de subida y bajada en el cual se debe ejecutar esta acción; se calcula la velocidad de trabajo del cabezote de la máquina de la siguiente manera:

$$V_T = \gamma * t_b = 0.52m/s^2 * 20s = 10.4 m/s \quad (08)$$

Se sabe que la potencia necesaria para el sistema es equivalente a:

$$Pot = F * V_T = 10.4 m/s \quad (09)$$

Tabla 15: Parámetros del motor a usar.

Parámetro	Valor
Potencia	1,35HP
Velocidad	0,52 m/s

Como se deben usar elementos comerciales y universales en la máquina, se selecciona un motor comercial de 2HP de la marca BARNERS, este motor se sujeta mediante tornillos en su base a la carcasa del cabezote de la máquina permitiendo así su fácil desmonte en caso de falla o mantenimiento que requiera el equipo. Ver Anexo 3.

6.3. Selección del cable

La selección correcta del cable es una parte fundamental del diseño, ya que este elemento debe ser capaz de soportar la carga del cabezote y la mezcla al mismo tiempo sin generar una falla por fatiga o tensión en la misma. Para ello es necesario estimar las cargas a las cuales estará sometido este elemento; se estima un peso inicial en base al peso del motor seleccionado en el anexo 3, el peso de la mezcla y un valor estimado del peso de los elementos del cabezote.

ELEMENTO	PESO ESTIMADO
Motor	20.41 kg
Mezcla	90.63 kg
Cabezote	88.96 kg
Total	200 kg

Tabla 15 Peso máximo estimado que deben soportar los cables

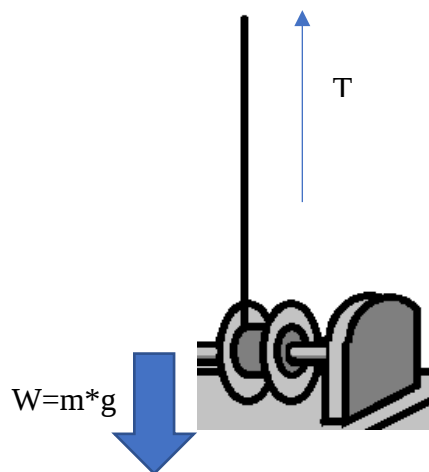


Ilustración 22 Diagrama de cuerpo libre de los cables.

Con este dato, se sabe que cada cable debe ser tener la capacidad de soportar 200 kg; distribuyendo el peso uniformemente entre ambos cables. Todos los cables son construidos bajo la norma ASTM 1023, teniendo en cuenta el coeficiente de seguridad para cables según el uso, obtenido en la ilustración 23 (EMCOCABLES):

FACTORES DE SEGURIDAD RECOMENDADOS	
Sector	Construcción
Cables fijos. Cables de puentes colgantes	3-4
Cables carriles para teleféricos	3.5-5
Cables tractores para teleféricos	5-7
Cables de labor, elevación y grúas	5-9
Cables para instalaciones importantes	8-12
Cables para transporte de personal	8-12
Cables para planos inclinados	5-8
Cables para pozos de extracción	8-12
Cables para ascensor	8-17
Cables para cabrestantes y trenajes	4-8

Ilustración 23 Coeficientes de seguridad mínimos según tipos de servicio. (EMCOCABLES, s.f.)

Se sabe que el factor de seguridad de un elemento esta dado por la ecuación 08:

$$FS = \frac{\text{Resistencia de Rotura}}{\text{Carga Segura de Trabajo}} \quad (10)$$

Despejamos la resistencia de rotura en la ecuación 08, para así seleccionar le cable que soporte la carga a la cual está sometido el cable, evitando fallas a futuro. Se selecciona un valor

igual a 5 en factor de seguridad, ya que la aplicación a ejercer del cable es un sistema de elevación de carga.

(11)

$$\text{Resistencia de Rotura} = 5 * 100 \text{ kg} = 500 \text{ kg por cable}$$

Como se puede ver en el anexo 4, el cable de alma de acero de 3mm tiene una carga de ruptura mínima igual a 538 kg, como cada cable debe ser capaz de soportar 500Kg. Este cable cumple con la carga de ruptura mínima, siendo un elemento de bajo costo asegurando el factor de seguridad de uso de la aplicación.

6.3.1. Cálculo del tambor de enrollamiento para el cable

Teniendo en cuenta la relación de diámetro de poleas para el uso de cables basada en el catálogo del anexo 5 para cables 6x7 de alma de acero tenemos:

Construcción	Diámetros de Poleas	
	Relación D/d	
	Recomendada	Mínima
6 x 7	72	42
18 x 7	51	34
6 x 19 S	51	34
6 x 21 FW	45	30
6 x 25 FW	39	26
6 x 36 WS	35	23
8 x 25 FW	32	21
6 x 41 SFW	32	21

Ilustración 24 Relación de diámetros de poleas para cables de acero (AG CONTINENTAL, s.f.

$$\text{Dimetro Menor del Tabor} = 60 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} = 180 \text{ mm}$$

Se selecciona 60mm siendo este un valor intermedio en los permitidos de la relación D/d que debe tener la polea para los cables 6x7 según la ilustración 24.

6.3.2. Ancho del Tambor

Vueltas fijas enrolladas: 2

Longitud de izamiento: 2,5 m

Longitud vueltas fijas

$$p = 2 * \pi * r = 2 * \pi * 90 \text{ mm} = 565.4728 \text{ mm} = 0,5654 \text{ m} \quad (12)$$

Donde $r = \text{Dimetro Menor del Tabor} / 2$

6.3.3. Total de cable a enrollar

$$2.5 \text{ m} + 0.5654 \text{ m} * 2 = 3,6309 \text{ mts}$$

$$\text{Número de Vueltas a Enrollar} = \frac{\text{Total del Cable a Enrollar}}{\text{Perímetro del Tambor}} \quad (13)$$

$$= \frac{3,6309\text{mts}}{0.5654\text{mts}} = 6.4219 \text{ vueltas}$$

Diámetro Externo

= Diámetro Interno

*+ altura ocupada por el cable * 3* (14)

$$= 180\text{mm} + 3 * 3\text{mm} = 189\text{mm}$$

6.3.4. Espesor del Tambor

Para Acero ST (3721)

$$\sigma_{ca} = \sigma_{fa} = 50\text{MPa}$$

Tenemos la ecuación 15:

$$\sigma_{ca} = 0.5 \frac{S}{h * s} \quad (15)$$

Donde:

$$S = \text{Tracción del Cable} = 5,27 \text{ kN}$$

$$h = \text{Espesor del Tambor}$$

$$s = \text{paso del enrollamiento} = 4 \text{ mm}$$

Remplazando los valores en la ecuación 15 podemos conocer el valor de la altura el cual es:

$$50 \text{ MPa} = 0.5 \frac{5,27 \text{ kN}}{h * 0,004}$$

$$h = 0,1317 \text{ m} \approx 13,17 \text{ cm}$$

6.4. Diseño de bridas de sujeción de tambor de enrollamiento.

Como los tambores de enrollamiento del sistema de izaje son de un diámetro muy grande, se procede a diseñar un sistema de bridas con 8 pernos iniciales para sujetar este elemento al eje. El diámetro de sujeción de la brida es el diámetro externo del tambor de enrollamiento ya que es el elemento a sujetar.

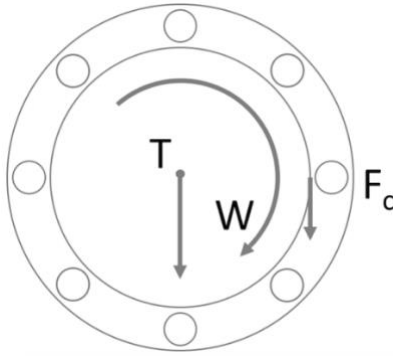


Ilustración 25 Diagrama de fuerza presentes en las bridas para la brida de sujeción de tambores de enrollamiento del cable.

$$Ds = 189mm$$

$$P = 1,091Dr + 0,99 = 6,18mm \quad (16)$$

$$Ro = 0,55Dr - 0,15 = 2,47m \quad (17)$$

$$a = 9.1 \times 10^{-6} Dr^4 - 0.0008 Dr^3 + 0.023 Dr^2 - 0.085 Dr + 0.3 = 0.33mm \quad (18)$$

$$\text{Diámetro mayor} = Ds + Dr = 193.76mm \quad (19)$$

$$e = 0.01Dm + 4mm = 5.85mm \quad (20)$$

$$Di = Ds - 2e = 168.3mm \quad (21)$$

$$De = Dm + 2a = 165.42mm \quad (22)$$

$$H = 2.2mm$$

$$ns = 3.79 \approx 4$$

$$nt = 6$$

$$Lt = 6 * 6,18 = 37,08mm$$

6.4.1. Tornillos de bridas

Los tornillos de la brida se encuentran sometidos a tres esfuerzos, los cuales son:

- W= Peso del tambor
- Fc= Fuerza de la carga generada por el cable de acero
- T= torque generado por Fc

La altura de este elemento mecánico debe ser lo suficiente para evitar que el cable de acero se salga, por ende, se decide tomar 10mm de más que los 2Dr.

$$T = 100Kg * 9,81 \frac{m}{s^2} \left(\frac{184,76mm + 10mm}{2} \right) = 95,5297 N.m \quad (23)$$

La fuerza que se produce en cada uno de los ocho (8) tornillos de la brida producida por el torque es:

$$P = \frac{Tr}{\sum r^2} = \frac{95,5297N.m(0,095m)}{8(0,095m)^2} = 122,8960N \quad (24)$$

$$\begin{aligned} W = V * \rho_{Acero} &= \left[\left(\frac{\pi 0,184m^2}{4} - \frac{\pi 0,168m^2}{4} \right) 0,03708m \right] 7850 \frac{Kg}{m^3} \\ &= 1,27026Kg \end{aligned} \quad (25)$$

Entonces la distribución de fuerzas en cada tornillo de la brida es:

$$F_{máxima} = F + P + W = 1,11635KN \quad (26)$$

Escogiendo un diámetro de perno comercial igual a: $d = 1/4in$. El cortante la que está sometido el elemento es:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{1,11635KN}{\pi d^2/4} = 35,24MPa \approx 5,1111Kpsi \quad (27)$$

Un perno ASTM A307 tiene una resistencia a cortante de 60Kpsi, si se usará este perno el diseño contaría con un factor de seguridad igual a:

$$ns = \frac{60Kpsi}{5,1111Kpsi} = 11,7391 \quad (28)$$

Uno de los objetivos de este diseño es que sea económico, se reduce el uso de 8 pernos a 4 pernos de sujeción de la brida, reduciendo costos sin afectar le rendimiento del elemento como se observa a continuación:

$$P = \frac{Tr}{\sum r^2} = \frac{95,5297N \cdot m(0,095m)}{4(0,095m)^2} = 251,3939N \quad (29)$$

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{1,244KN}{\pi d^2/4} = 39,28MPa \approx 5,6970Kpsi \quad (30)$$

$$ns = \frac{60Kpsi}{5,6970Kpsi} = 10,5318 \quad (31)$$

Para evitar las fallas en el apoyo del perno, se debe cumplir qué:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{D}{d * t}; \text{ donde } t \text{ es el espesor de la brida.} \quad (32)$$

$$AISI 1006 CD \sigma = 330MPa$$

Despejando el espesor de la brida de la ecuación 33, se obtiene que debe ser de 0,5936mm; como se desea utilizar elementos comerciales se toma un grosor de ¼ in. Dando un nuevo esfuerzo cortante de:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1,244KN}{1/4" * 1/4"};$$

$$\sigma = 30,85 MPa$$

Para evitar las fallas por desgarramiento, se recomienda espaciar los pernos 1,5 diámetros del borde, en este caso ese valor es de 9,52mm.

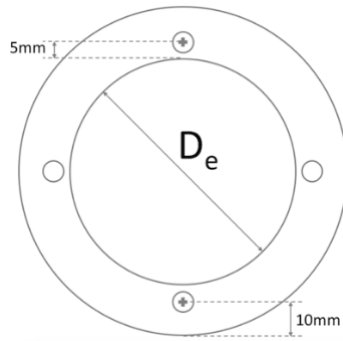


Ilustración 26 Distribución de los pernos para la brida de sujeción de tambores de enrollamiento del cable.

6.5. Relación de reducción de velocidad del motor.

Comercialmente se encuentran cajas de reducción con relación 16:1, estas son sistemas de sin fin corona que manejan una frecuencia de 75-85%; por lo que se asumirá un valor de 80%. La caja reductora seleccionada para este motor es una *RIGHT ANGLE HELICAL BEVEL (RHB) NEMA C-Face - Foot Mounted - Clamp Collar / 3 Piece Coupled Triple Reduction Solid Output Shaft*.

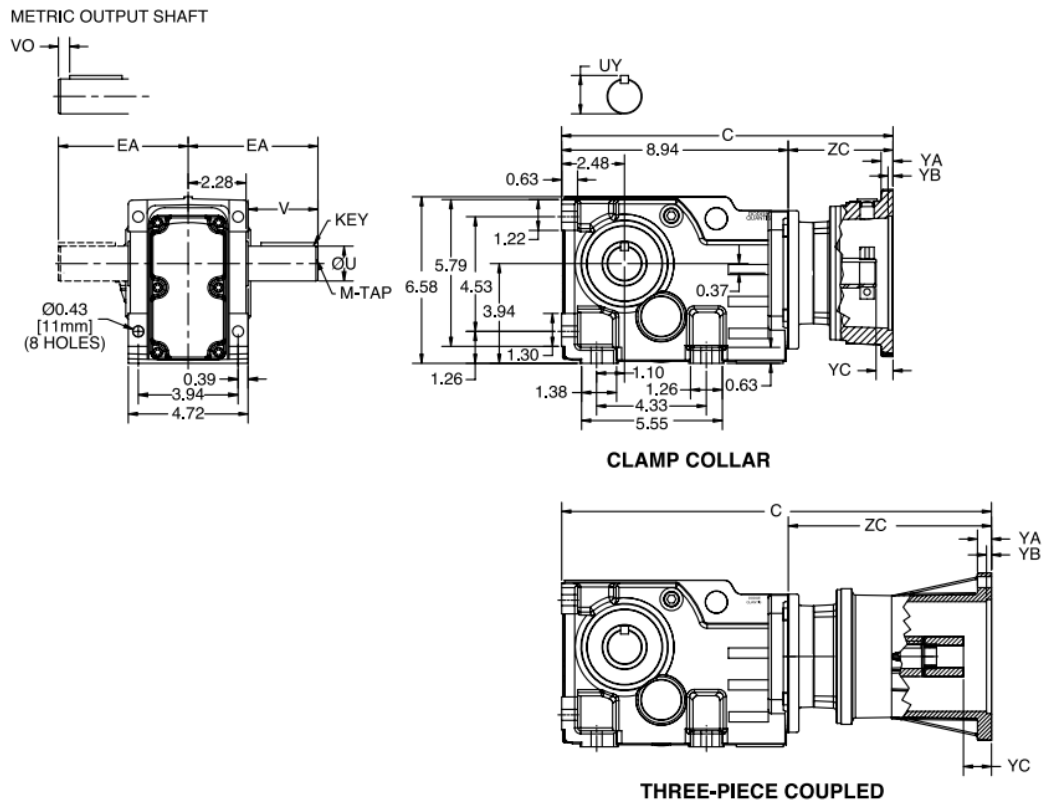


Ilustración 27 Caja de reducción a usar. *QUANTIS GEAR ENGINEERING CATALOG 2009* Recuperado de : https://www.baldor.com/Shared/pdf/CA1603_Catalog/CA1603.pdf

La potencia mínima necesaria en este caso es:

$$P = \frac{1,35HP}{0,8} = 1,6875 \text{ HP mínimo} \quad (33)$$

$$RPM = \frac{1800}{16} = 112,5 \text{ RPM} \quad (34)$$

Al buscar motores comerciales cercanos a este valor, encontramos de 2HP a 3HP de fuerza; donde el torque nominal que entrega el motor seleccionado (ver: Anexo 3) es de 8N.m.

$$T_{in} * a = T_{out};$$

$$8N.m * 16 = 128N.m \quad (35)$$

$$T = F * d \quad (36)$$

Despejando la ecuación 37 obtenemos la fuerza que se requiere:

$$F = \frac{T}{d} = \frac{128N.m}{0,09238m} = 1385,6N \approx 141Kg \text{ Fuerza}$$

El torque a la salida de la caja es de 128 N.m y la fuerza máxima es 141Kg. Con este cálculo se comprueba qué el motor si puede levantar la carga, pero hay dos factores que cambian este valor: el primer factor, es que este torque máximo varía según el porcentaje de la potencia máxima a la que se trabaja el motor; y el segundo factor es que para entregar las 100 RPM que se necesitan, el motor no trabaja al 100%.

$$\frac{100RPM}{112,5RPM} * 100\% = 88,88\%$$

Por lo que la fuerza esperada a esta potencia será de:

$$141Kg * 88,88\% = 125Kg \text{ Fuerza}$$

La aceleración a la cual el motor puede levantar la carga es de:

$$\sum F = m * a = 125Kg = 200Kg * a \quad (37)$$

Despejando a de la ecuación 38 tenemos:

$$a = \frac{125Kg * 9,81 \frac{m}{s^2}}{200Kg} = 6,13125 \frac{m}{s^2}$$

Todos los datos anteriores permiten afirmar que el motor seleccionado es ideal para el trabajo. La caja de reducción seleccionada fue diseñada para reducir la velocidad 15,91 veces, soportando 2 HP de potencia y un torque máximo nominal de 1157Lbf.in, que equivalen a 130,723N.m. Ver anexo 3.

Tabla 16 Resultados de comparación entre la caja de reducción y el motor a usar.

Potencia del motor	Potencia máxima nominal de la caja
2HP	2,02HP
Torque máximo nominal	Torque máximo nominal de la caja
128m	130 m

6.6. Diseño de engranaje de transmisión de potencia del eje del la caja de reducción al eje del cabezote

La distancia entre centros que debe haber entre el eje del sistema de izaje y el eje de la caja reductora debe ser de 90mm, con el fin de que estos elementos no interfieran en la transmisión de potencia.

La transmisión de potencia será por engranajes de dientes rectos en una relación de 1:1. Según el libro de diseño de ingeniería mecánica de Shigley; el número mínimo de dientes NP está dado por la siguiente ecuación:

$$NP = \frac{2K}{3\text{Sen}^2\phi} \left(1 + \sqrt{1 + 3\text{Sen}^2\phi} \right) \quad (38)$$

Donde K es 1 para dientes de profundidad completa, y 0,8 en dientes cortos.

ϕ = ángulo de presión, normalmente es 20º

Entonces:

$$K = 1$$

$$\phi = 20^\circ$$

Remplazando estos valores en la ecuación 39 tenemos que el piñón debe ser de 13 dientes.

$$NP = \frac{2 * 1}{3 \text{Sen}^2 20^\circ} \left(1 + \sqrt{1 + 3 \text{Sen}^2 20^\circ} \right) = 12,3 \text{ dientes} \approx 13 \text{ dientes}$$

El módulo normalizado para el engrane es:

$$dp = mz$$

dp: diámetro primitivo

m = módulo normalizado

z = número de dientes

$$90 = 6 * z$$

$$z = 15$$

El módulo que nos permite un $d_p=90\text{mm}$ es de 6, y nos da como resultado 15 dientes, evitando fallas por socavación.

Teoría de Lewis

$$F = \frac{Wt * Kv}{\sigma_{ym}} \quad (39)$$

F : ancho de cara

Kv = factor de velocidad

Y = número de Lewis

M = módulo normalizado

Wt = carga transmitida

$$Kv = \frac{6,1 + v}{6,1}$$

Para perfil cortado o fresado:

$$v = \frac{2\pi RPM}{60} * \frac{dp}{2} = 0,53 m/s \quad (49)$$

Se utilizará un acero 1040 HR con un $\sigma=290MPa$; se determina usar un factor de seguridad de 5 ya que es una máquina que puede causar accidentes en los operarios.

$$\sigma_T = \frac{\sigma}{ns} = \frac{290MPa}{5} = 58MPa \quad (41)$$

$$F = \frac{(1385,6)(1,087)}{(58)(0,26)(6)} = 14,92mm \quad (42)$$

$$3P < F < 5P \quad (43)$$

$$P = m\pi = 18,85mm \quad (44)$$

$$56,54mm < F < 94,25mm;$$

$$\text{Entonces } F = 57mm \quad (45)$$

Es importante tener en cuenta que el ancho de cara no puede ser mayor a 50mm, ya que este valor es la longitud del eje de la caja reductora.

$$\sigma_T = 15,186MPa$$

$$\text{Factor de seguridad (ns)} = \frac{290MPa}{15,186MPa} = 19,096 \quad (46)$$

Entonces recalculando F, tenemos que:

$$m = 4,5$$

$$z = 20$$

$$P = \pi m = 14,137$$

$$y = 0,322$$

$$42,41mm < F < 70,68mm$$

$$F = \frac{(1385,6)(1,087)}{(58)(0,322)(4,5)} = 17,92mm$$

$$\sigma_T = 23,98MPa$$

$$Factor\ de\ seguridad\ (ns) = \frac{290MPa}{23,98MPa} = 12,55$$

Como el acero al carbono tiene las siguientes características:

$$\vartheta_p = \vartheta_g = 0,292\ Relación\ de\ Poisson$$

$$E_p = E_g = 2076Pa\ Modulo\ de\ elasticidad$$

$$Cp = \left[\frac{1}{\pi \left(\frac{1 - \vartheta_p}{E_p} + \frac{1 - \vartheta_g}{E_g} \right)} \right]^{1/2} = 215719 \quad (47)$$

$$\sigma_c = -Cp \left[\frac{KvWt}{Fcos\phi} \left(\frac{1}{r1} + \frac{1}{r2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (48)$$

$$r1 = r2 = \frac{dpSen\phi}{2} = 15,39mm \quad (49)$$

$$\sigma_c = -464,097 \text{ MPa}$$

$$S_c = 2,22HB + 200 \text{ MPa} = 530,78 \text{ MPa} \quad \text{para } 10^7 \text{ ciclos} \quad (50)$$

2,22HB es la dureza Brinell

Factor de seguridad:

$$ns = \frac{|S_c|}{|\sigma_c|} = -1,143 \quad (51)$$

Para asegurar su correcto funcionamiento se usará un factor de seguridad de $ns=1,5$; lo cual nos da lo siguiente:

$$S_c = 696,144$$

$$HB = \frac{S_c - 200}{2,22} = 223,48 \quad (52)$$

Por ende se usará un ACERO 1080HR con un HB=229.

6.6.1. Geometría del engranaje

$$d = 90mm$$

$$m = 4,5$$

$$z = 20$$

$$ha = 4,5mm \quad \text{Adendo}$$

$$hf = 1,167 * 4,5 = 5,25mm \quad \text{Dedendo} \quad (53)$$

$$da = d + 2ha = 99mm \quad \text{Diámetro exterior} \quad (54)$$

$$df = d - 2hf = 79,5mm \quad \text{Diámetro interior} \quad (55)$$

$$db = d * \cos\alpha = 84,57mm \quad \text{Diámetro base} \quad (56)$$

$$F = 45mm$$

$$P = m\pi = 14,137 \quad (57)$$

$$S = \frac{P}{2} = 7,068mm \quad (58)$$

6.7. Cuñeros

6.7.1. Cuña del motor

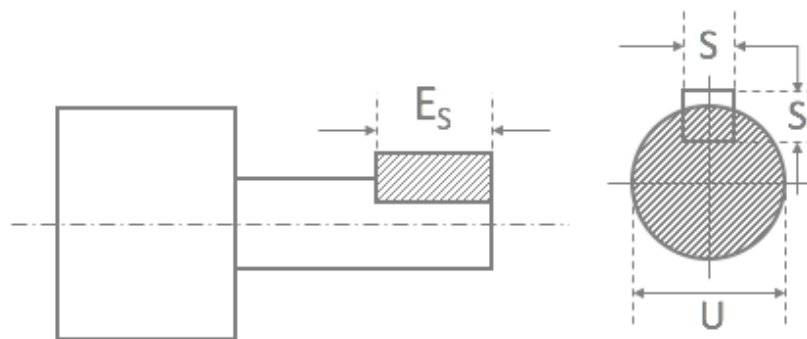


Ilustración 28 Dimensiones para la cuña del motor.

$$Es = 1,102in \approx 28mm$$

$$S = \frac{3}{16}in \approx 4,75mm$$

$$u = 0,625in \approx 15,875mm$$

6.7.2. Cuña caja reductora y eje



Ilustración 29 Dimensiones para la cuña de la caja reductora

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{2(128Nm)/25mm}{(8mm)(40mm)} = 32MPa \quad (59)$$



Ilustración 30 Dimensiones para la cuña del eje.

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{2(128Nm)/32mm}{(8mm)(40mm)} = 17,78MPa \quad (60)$$

6.7.3. Cuña bridas

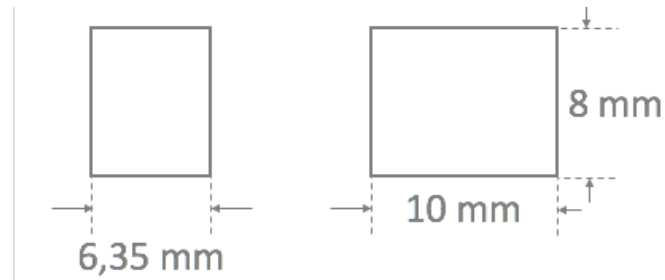


Ilustración 31 Dimensiones para la cuña de bridas de sujeción de tambores de enrollamiento del cable.

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{2(128Nm/4)/32mm}{(8mm)(40mm)} = 31,5MPa \quad (61)$$

6.8. Diseño del eje del cabezote

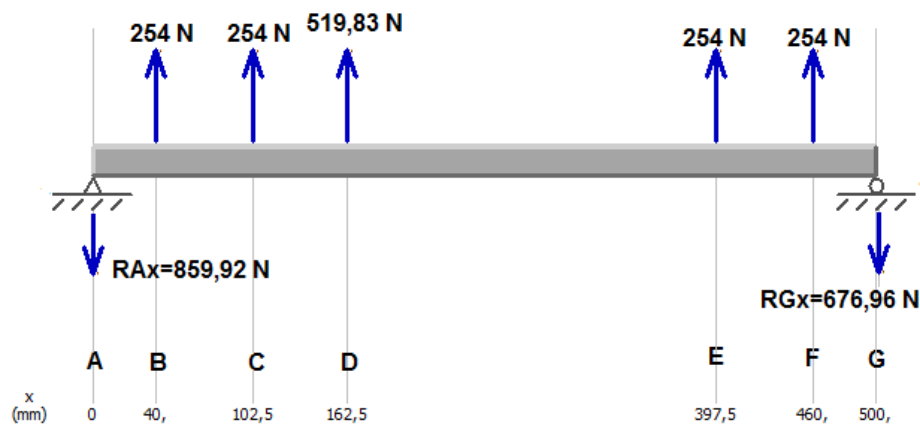
Para realizar el cálculo del eje, se debe tener en cuenta las diferentes fuerzas que actúan en él, que para este caso son;

- La fuerza del peso de todos los elementos que son sostenidas por los tambores.
- La fuerza tangencial que se recibe por el engranaje, que sube la carga.
- Como el tambor es sostenido por bridas y no hace contacto con el eje directamente, se suponen dos fuerzas en el eje de la siguiente manera:

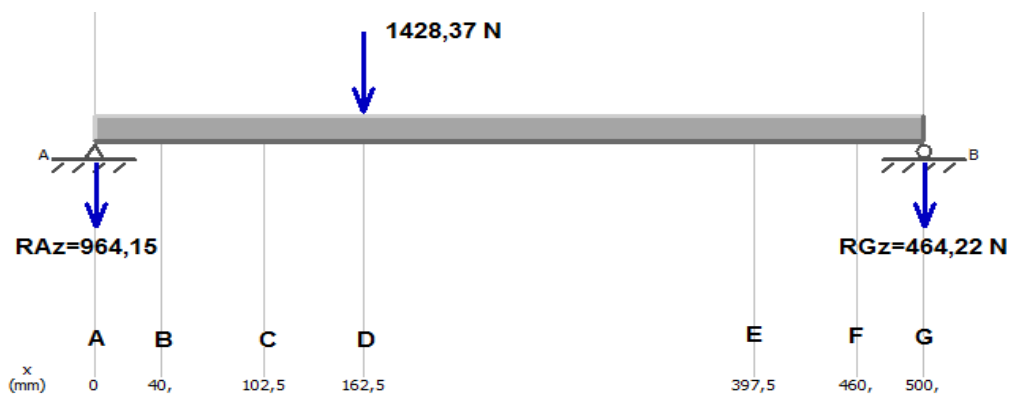
6.8.1. Diagrama de fuerzas

Se realiza entonces el análisis de viga para conocer las fuerzas cortantes y momentos flectores en el eje.

I. *PLANOXY*

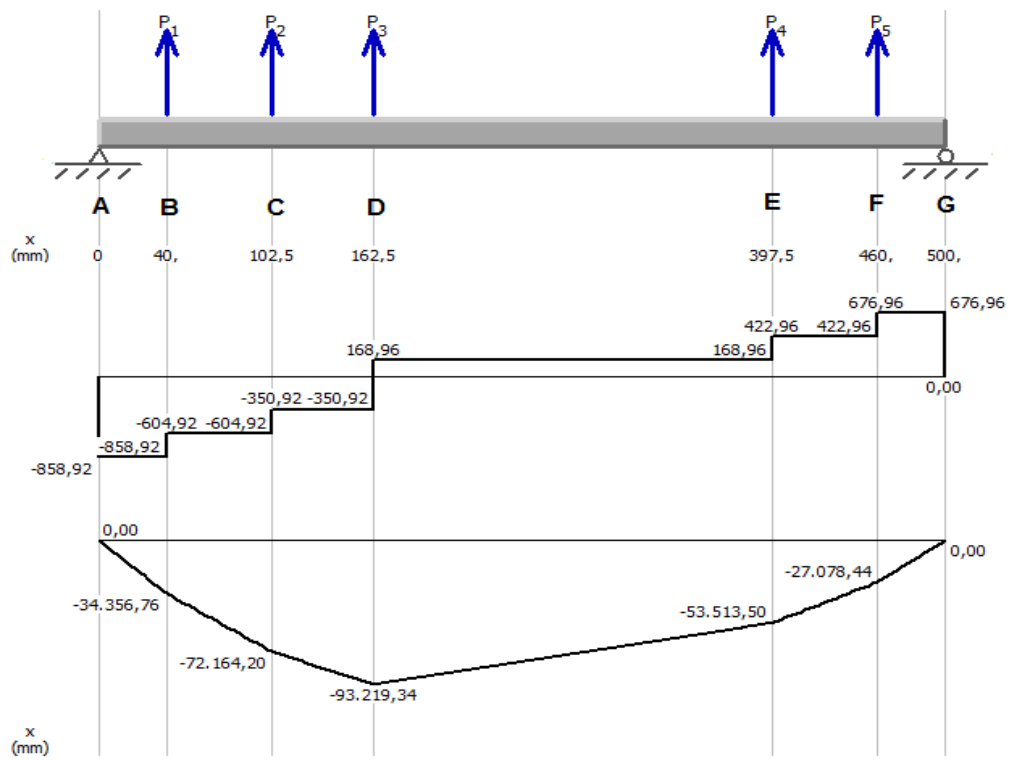


II. *PLANO XZ*

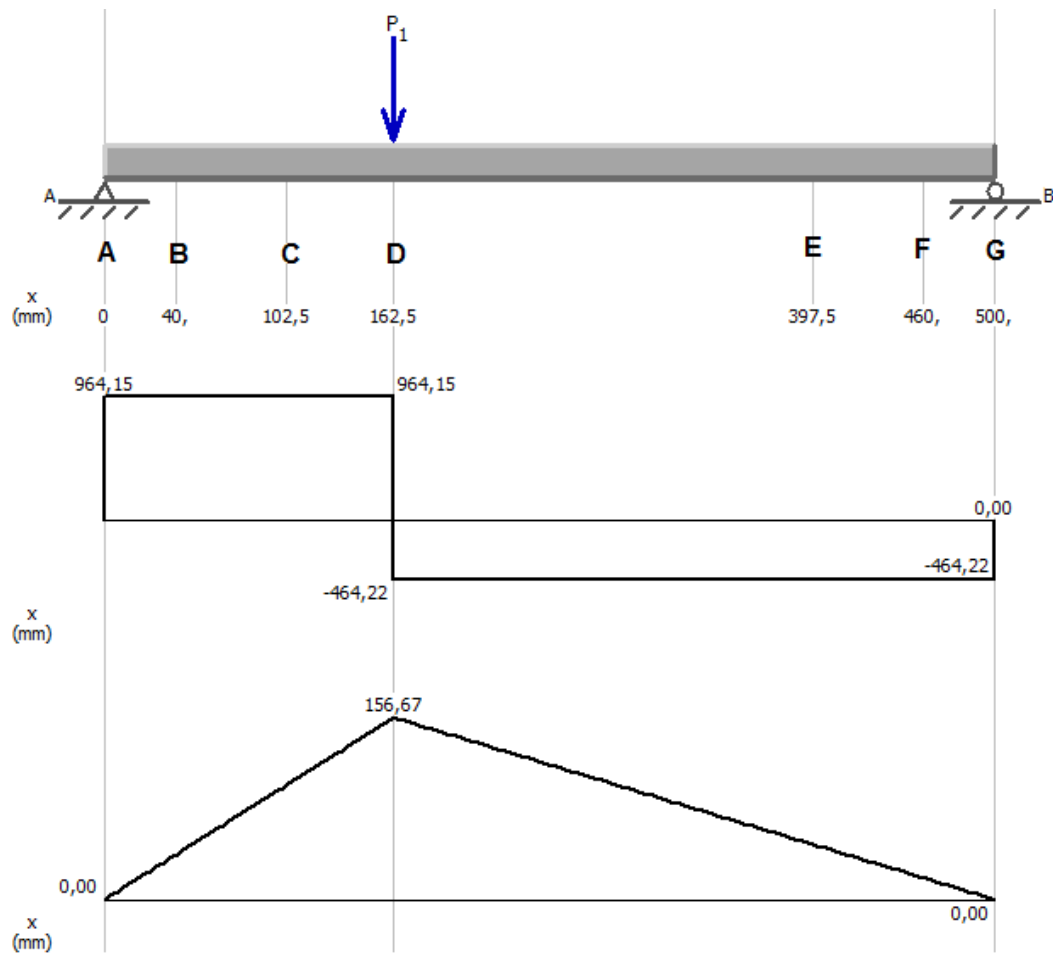


6.8.2. Diagrama de cortantes y momentos flectores

I. PLANO XY



II. *PLANO XZ*



$$R_{\Delta X} = 859,92N$$

$$R_{cX} = 676,96N$$

$$R_{\Delta Z} = 964,15N$$

$$R_{cZ} = 464,22N$$

Observando los diagramas de cortante y momento de los planos XY; XZ se puede ver que existe un punto crítico en el punto D, en el cual se encuentra el piñón que transmite la potencia del motor al eje.

Momento flector total en el punto D es igual a:

$$MD = \sqrt{M_{D(xy)}^2 + M_{D(xz)}^2} = \sqrt{93,22Nm^2 + 156,67Nm^2} \quad (62)$$

$$= 182,309Nm$$

En este caso el punto crítico es D, y no existe más que un engranaje y las bridas soldadas, se opta por hallar un diámetro único para el eje a excepción de los cojinetes, teniendo en cuenta las cargas en el punto D.

Utilizando criterios de falla, el diámetro del eje por resistencia es:

$$\phi D = \sqrt{\frac{32r}{\pi S_y} \sqrt{M_D^2 + \tau_D^2}} \quad (63)$$

Donde:

$$S_y = 290MPa \quad \text{Acero AISI 1040HR}$$

$$n = 4 \quad \text{Factor de seguridad}$$

$$\tau_D = 128,553Nm \quad \text{Torque en el punto D}$$

$$\varnothing D = 31,5mm \approx 32mm$$

6.8.3. Selección de rodamientos para el eje del cabezote .

Para la sección de los rodamientos se debe conocer el diámetro mínimo de los apoyos A y G. Para esto usamos la siguiente ecuación, que se usa para puntos del eje que solo están sometidos a fuerza cortante:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{32r}{3\pi S_y} * V} \quad (64)$$

Para el apoyo derecho se tiene que:

$$V_A = \sqrt{V_{A(XY)}^2 + V_{A(XZ)}^2} = \sqrt{859,92N^2 + 964,15N^2} = 1291,9N \quad (65)$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{32(4)}{3\pi 290MPa} * 1291,9N} = 7,784mm \quad (66)$$

Para el apoyo izquierdo se tiene que:

$$V_G = \sqrt{V_{G(XY)}^2 + V_{G(XZ)}^2} = \sqrt{676,96N^2 + 464,22N^2} = 820,836N \quad (67)$$

$$\phi = \sqrt{\frac{32(4)}{3\pi 290MPa} * 820,836N} = 6,2mm \quad (68)$$

Al realizar el análisis por rigidez, se puede observar que el eje puede fallar por rigidez, pues los valores de pendiente y deflexión superan los valores máximos permisibles que son:

- Pendiente máxima en cojinete de bola esférica: 0,026Rad
- Pendiente máxima de engranaje recto: <0,005Rad
- Deflexión transversal máxima engranajes rectos de 20 hasta 50 dientes: 0,0762mm

Los valores que se tienen de pendiente y deflexión con un diámetro de 32mm obtenidos de las gráficas son:

	<i>Plano XY</i>	<i>Plano XZ</i>	<i>Totales</i>
<i>Pendiente en cojinete A</i>	0,001452	−0,002053	0,0025146Rad
<i>Pendiente en cojinete G</i>	− 0,001296	0,001624	0,00277 Rad
<i>Pendiente en engranaje D</i>	0,00060945	−0,0008577	0,001052 Falla
<i>Deflexión en engranaje D</i>	0,1865mm	−0,2688mm	0,3272mm Falla

Como se puede observar el eje falla por rigidez en el punto D, esto quiere decir que si se fabrica y se monta; muy seguramente se dañará el engranaje, lo que no se puede permitir.

Finalmente se selecciona un eje de 48mm, con el cuál se cumplen las condiciones de rigidez, donde se evidencian los valores a continuación:

	<i>Plano XY</i>	<i>Plano XZ</i>	<i>Totales</i>
<i>Pendiente en cojinete A</i>	0,0002868	−0,0004054	0,0004965Rad
<i>Pendiente en cojinete G</i>	− 0,00256	0,0003207	0,0004103 Rad
<i>Pendiente en engranaje D</i>	0,0001204	−0,0001694	0,0002078 Falla
 <i>Deflexión en engranaje D</i>	 0,03683mm	 −0,05310mm	 0,006462mmFalla

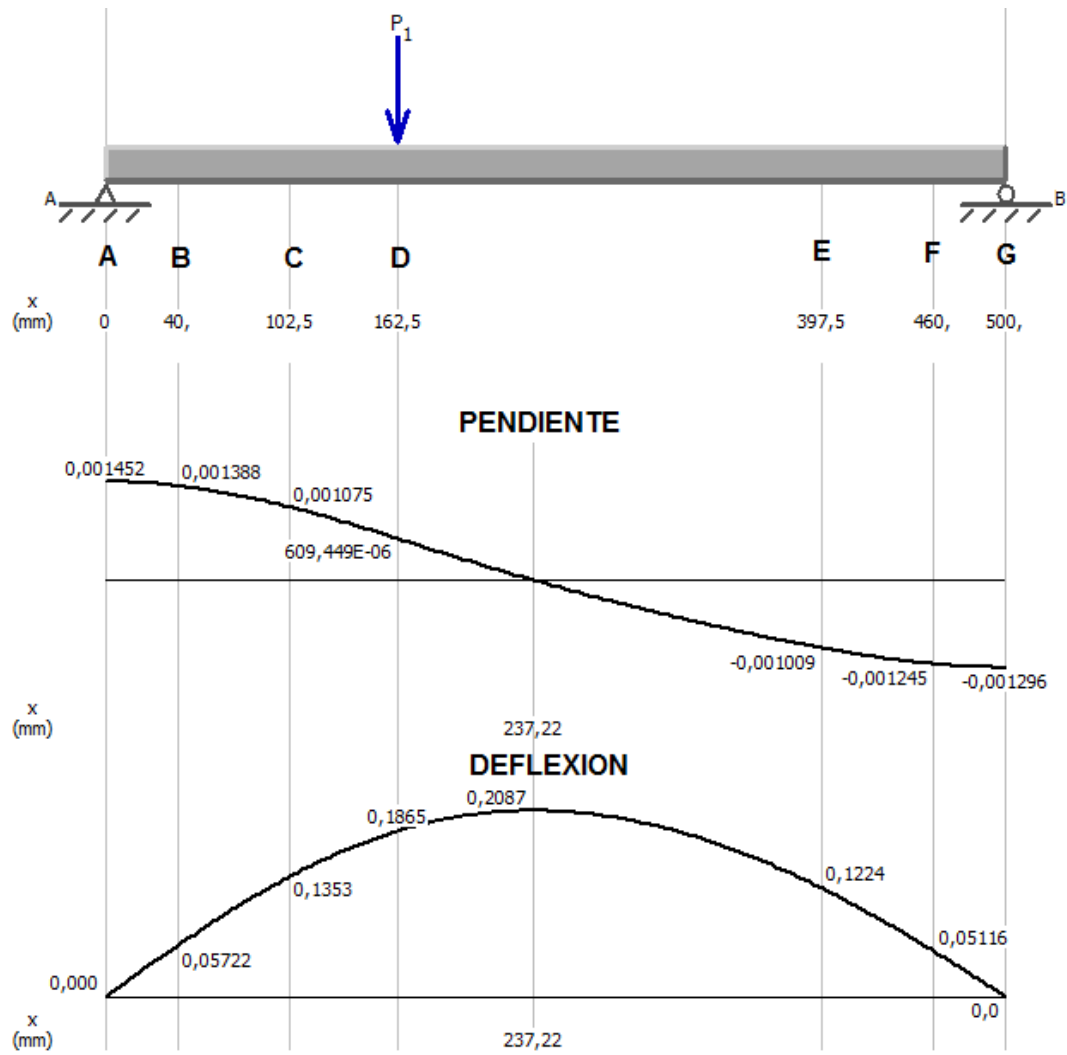
El diámetro de los rodamientos debe ser mayor a 32mm, pues se mostró anteriormente que este diámetro no cumple con la condición de rigidez para la mayoría de rodamientos, por lo cual se selecciona un diámetro de 35mm.

$$\varnothing_A = 35mm \qquad \varnothing_G = 35mm$$

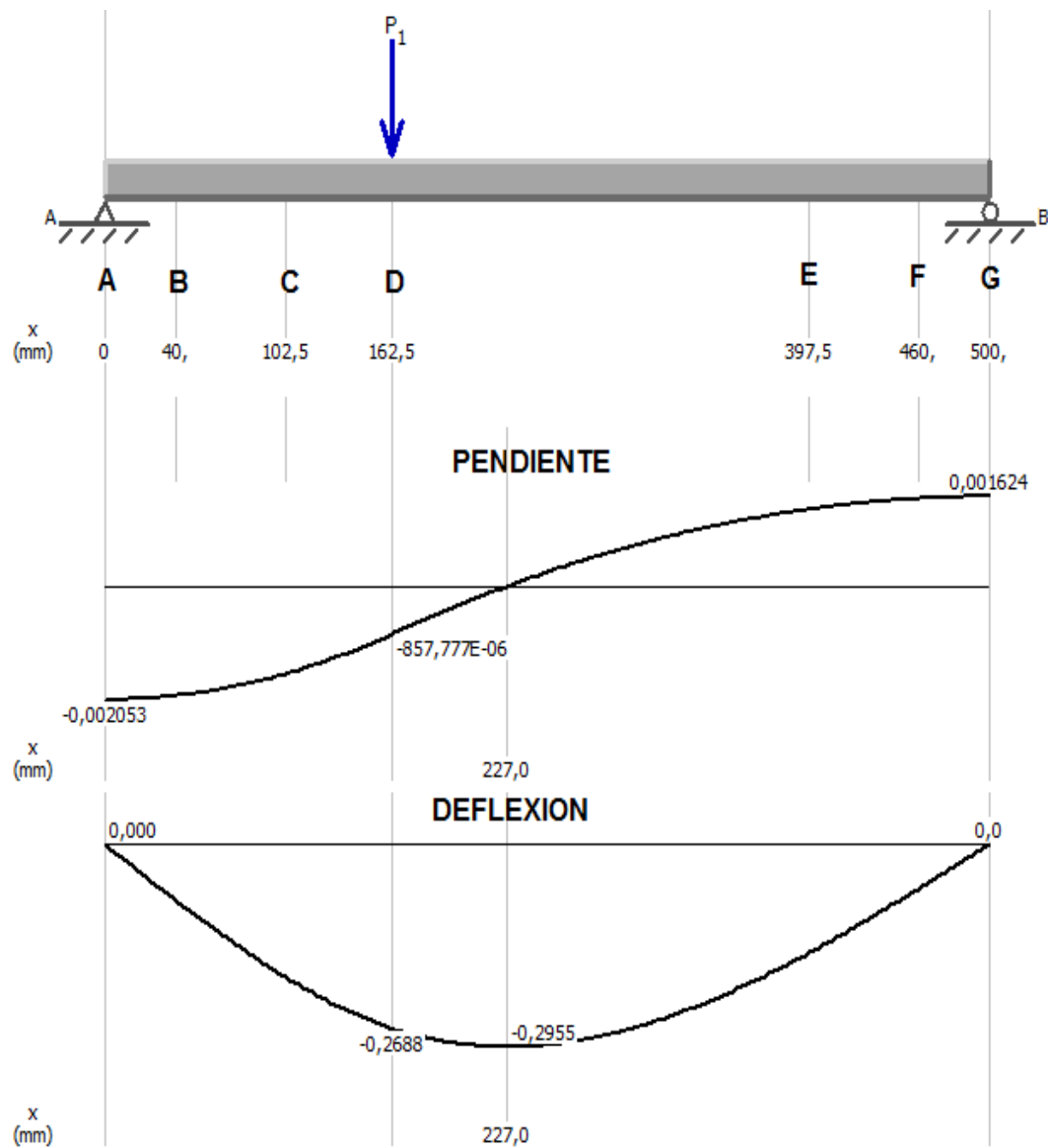
Con estas características se seleccionan el rodamiento SKF de referencia 62307-2RS21. Un rodamiento de una hilera de bolas que cumple con las especificaciones de este diseño, pues soporta hasta 32KN de fuerza dinámica y puede funcionar hasta a 600RPM, características muy por arriba que las del eje. Este rodamiento va acompañado de una chumacera de referencia SYJ 507 de la marca SKF. Ver anexo 5.

6.8.4. Análisis por rigidez con eje de 32mm

I. *PLANO XY*

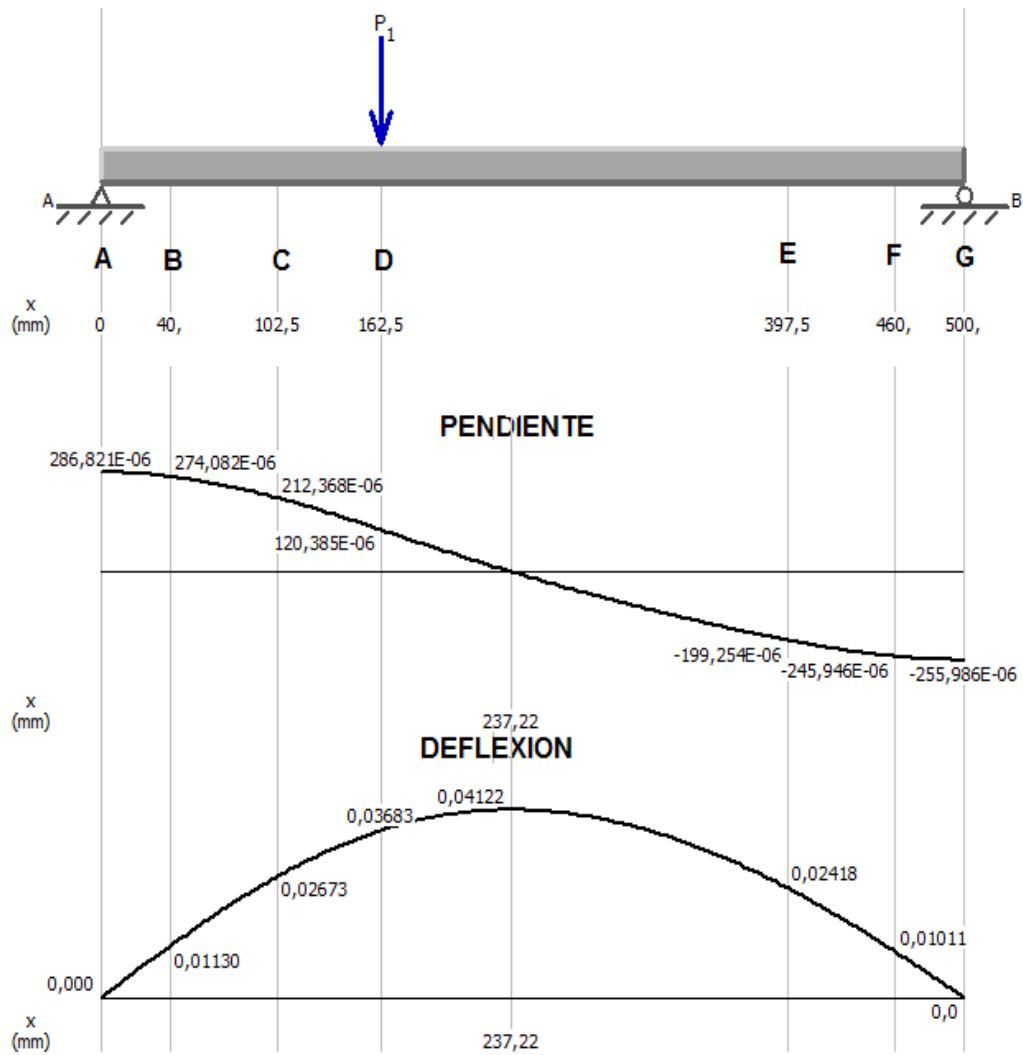


II. PLANO XZ

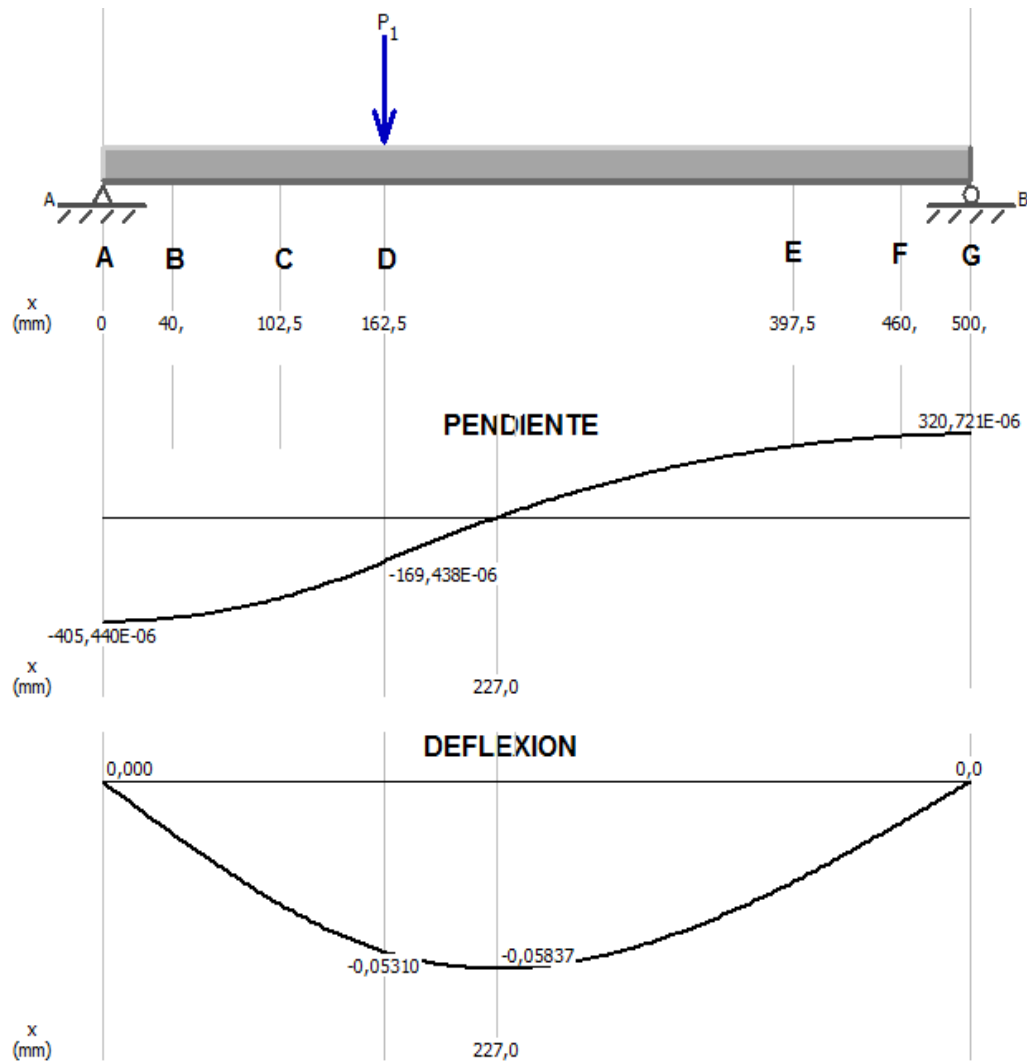


6.8.5. Análisis de rigidez con eje de 48 mm

I. PLANO XY



II. PLANO XZ



Como el punto crítico en todo el eje es en C, se calcula el momento flector y el torque en este punto.

$$c = \sqrt{M_{c(xy)}^2 + M_{c(xz)}^2} = \sqrt{-22,11Nm^2 + 156,67Nm^2} = 158,22Nm \quad (69)$$

$$Tc = 128,553Nm$$

6.8.6. Cálculo del eje por fatiga.

Se debe conocer si al paso del tiempo el eje soportará las cargas fluctúales, es decir si no fallará después de mucho uso. Para esto se aplica el criterio de falla de Goodman.

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} M_{Ta})^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} M_{Tm})^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (70)$$

- M_a = esfuerzo de flexión alternante.
- T_a = esfuerzo de torsión alternante
- S_e = limite de resistencia a la fatiga
- S_{ut} = resistencia a la tensión
- K_f = factor de efectos varios, factor de concentración de esfuerzos.
- K_{fs} = factor de concentración de esfuerzos por torsión
- M_m = esfuerzo de flexión medio
- T_m = esfuerzo de torsión medio.

Para este caso en particular, las variables de M_m y T_a son iguales a 0, pues es un eje rotatorio que posee un esfuerzo de flexión totalmente alternante y un torque constante que no fluctúa.

Otra consideración es que los factores K_f y K_{fs} son iguales a 1, pues el eje no tiene variaciones de diámetro en puntos críticos, solo en los apoyos. Entonces:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left[\frac{1}{S_e} (2M_a) + \frac{1}{S_{ut}} (\sqrt{3}T_m) \right] \quad (71)$$

El S_{ut} del acero AISI 1040HR es de 620MPa

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'_e \quad (72)$$

S'_e es igual a $0,5S_{ut}$, pues S_{ut} es menor a 1400MPa es decir:

$$S'_e = 0,5(620MPa) = 310MPa \quad (73)$$

K_a es el factor de modificación de la condición superficial, donde el valor de a es 4,51, pues supone un acabado superficial de maquinado o laminado en frío.

Kb es el factor de tamaño:

$$Kb = 1,24d^{-0,107} \quad \text{si el diámetro está entre } 2,79\text{mm y } 51\text{mm} \quad (75)$$

$$Kb = 1,24(48)^{-0,107} = 0,8195$$

Kc es el factor de temperatura:

$$Kc = 1 \quad (76)$$

Kd es el factor de temperatura, que para esfuerzos combinados es:

$$Kd = 1 \quad (77)$$

Ke es el factor de confiabilidad, como el eje debe tener una confiabilidad de 90%, entonces:

$$Ke = 0,897 \quad (78)$$

De esta manera, se tiene que al remplazar los valores anteriores en la ecuación 74 el valor de S_e es:

(79)

$$S_e = (0,8243)(0,8195)(1)(1)(0,897)310MPa$$

$$S_e = 187,82MPa$$

Obteniendo la ecuación de Goodman enbase a la ecuación 72 tenemos:

(80)

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(40 \times 10^{-3})^3} \left[\frac{1}{187,82 \times 10^6} (2 * 182,309) + \frac{1}{S_{ut}} (\sqrt{3} 128,553) \right]$$

$$\frac{1}{n} = 0,1059$$

$$n = 9,4397 \quad \text{FACTOR DE SEGURIDAD NO FALLA}$$

6.9. Calculo de velocidades

Como se puede observar en la ilustración 37, el eje es impulsado gracias al engranaje y al torque de entrada τ_{in} , este a su vez hace girar a los dos tambores solidariamente con una velocidad ω , los cuales enrollan o desenrollan el cable y de esta forma se crea la velocidad lineal de salida v .

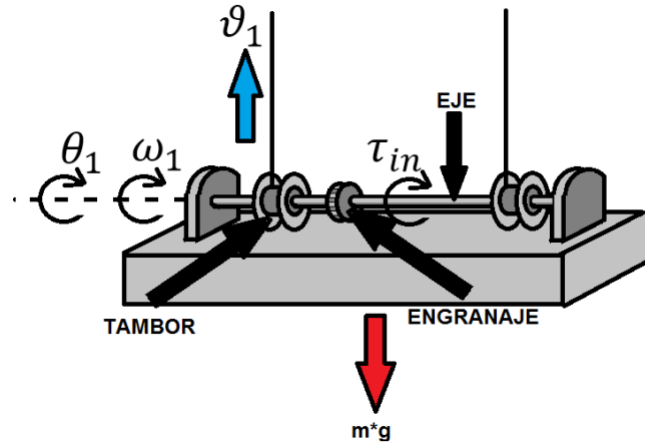


Ilustración 32 Diagrama de cuerpo libre elementos del eje principal en el cabezote

Teniendo en cuenta la formula $v = \omega * r$ se determina la velocidad angular requerida en el eje principal y el motor. Partiendo de la investigación previamente realizada se conoce que la velocidad de la banda es de 250 pies/min que equivalen a 1.27 m/s y con un diámetro de 4" (0.1016 m).

Para calcular la velocidad angular de la banda transportadora se requiere despejar ω_4 y queda expresado de la siguiente forma

$$\omega_4 = \frac{1.27}{0.0508} = 25 \text{ rpm} \quad (81)$$

Con la relación de velocidades calculamos la velocidad angular ω_3 del eje principal el cual cuenta con un diámetro de 1.7” (0.04318 m)

$$\omega_4 * r_4 = \omega_3 * r_3 \quad (82)$$

$$25 * 0.0508 = \omega_3 * 0.0219$$

$$\omega_3 = 57.99 \text{ rpm}$$

Las velocidades angulares $\omega_3 = \omega_2$ son iguales porque pertenecen al eje principal. Y por último para determinar ω_1 del motor contamos con un diámetro del eje del motor de 2.121” (0.028575 m)

$$\omega_2 * r_2 = \omega_1 * r_1 \quad (83)$$

$$57.99 * 0.0219 = \omega_1 * 0.014288$$

6.10. Selección banda transportadora del concreto

La banda transportadora está ubicada en la parte superior del cabezote, y es el elemento mecánico encargado de recibir la mezcla de concreto para ejercer la labor de pañete. Esta banda tiene como función principal la distribución y recepción del fluido a aplicar en la pared a pañetar.

Su principio de funcionamiento se efectúa en un movimiento hacia la parte frontal del cabezote a medida que la máquina sube y baja gracias al sistema de izaje; la banda transportadora se mueve ligeramente hacia adelante distribuyendo el concreto que se encuentra sobre ella hacia la pared. Esta banda funciona acoplada al eje principal de la máquina mediante un sistema de poleas conducida y conductora como se explica a continuación en el apartado 6.12.

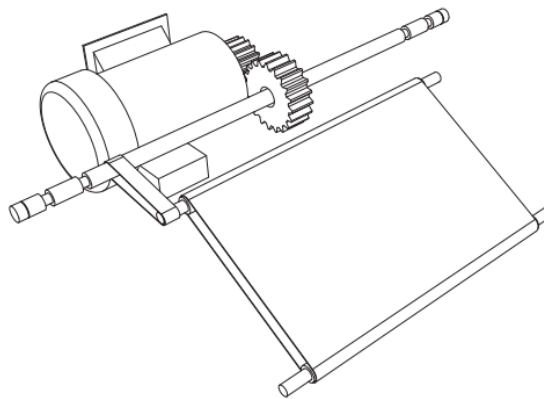


Ilustración 33 Conjunto banda transportadora.

En medio de la investigación y procedimiento en el estado del arte, se encuentra una tesis donde evalúan diferentes cargas en bandas transportadoras teniendo en cuenta el tamaño, abrasividad, peso por m³, contenido de humedad, temperatura, angulo de reposo acción química y viscosidad. (Sanchez I. J., 1999). A continuación, reunimos esa información para clarificar las características de la banda teniendo en cuenta los temas mencionados anteriormente.

En primera instancia se evalua que los materiales a utilizar en este proyecto está enfocado a productos industriales.

MATERIAL	PESO/PROM (LBS/PIE)	CLASE
ALUMBRE	45-50	B 26
ALUMINIO (VIRUTAS)	7-15	H 36 X
ALUMINIO (OXIDO)	67- 120	A 17 Y
ASBESTO EN ROCA	81	C 28 R
CENIZA DE CARBON SECA	35-40	C 37
CENIZA DE CARBON HUMEDA	45- 50	D 37 PZ
BAKELITA FINA	30-40	A 36
BICARBONATO DE SODIO	41	A 26
CARBON (PELETIZADO)	20-25	B 16 TZ
CEMENTO	65-83	A 27 X
CARBON BITUMINOSO	50	D 37 P
ARENA DE FUNDICION	90	B 38
VIRUTAS DE MADERA	10-30	H 36 WX

Ilustración 34 Productos Industriales (Sanchez J. P., 1994)

El producto a manejar tiene una viscosidad de $\mu = 3Pa.sg$. Es un material que se adhiere a la banda transportadora, rodillos y poleas, por ende debe considerarse un diseño resistente y de fácil limioieza.

Así mismo, se debe tener en cuenta la composición química y los efectos secundarios que estos poseen como son la temperatura, en este caso particular obtiene una temperatura de 35°C donde nos da la seguridad de no tener inconvenientes con la banda transportadora por la entalpia que se maneja. La banda transportadora alcanza a una temperatura máxima de 121°C a 149°C en caso contrario donde se efectué una temperatura mayor se requiere de una banda especial donde garantice el transporte del material según los requerimientos.

Los grados de inclinación no deben superar los 45° teniendo en cuenta el material a transportar; ya sea por su coeficiente de fricción que no lo alcance y por ende se debe elegir otro tipo de inclinación, o en su defecto dejar la banda en una posición horizontal. En este caso, el cemento por su viscosidad se puede manejar con el ángulo de 45° por beneficio de la función de la máquina.

Partiendo de la ilustración 32, seleccionamos una velocidad de 250 a 300 pies/min en la sección de granos finos /pesado/cemento.

MATERIAL			Máxima velocidad recomendada de la banda (en pies/min)															
			Ancho de la banda en pulgadas															
CARACTERÍSTICAS		EJEMPLO DE MATERIAL	14	16	18	20	24	30	36	42	48	54	60	72	84			
Máximo tamaño de masa de un solo tamaño o de varios	Poco abrasivo	Carbón, tierra	300	300	400	400	450	500	550	600	600	650	650	650	65			
	Muy abrasivo, sin forma puntiaguda	Grava	300	300	400	400	450	500	550	550	600	600	600	600	60			
	Muy abrasivo, puntiaguda	Piedras	250	250	300	350	400	450	500	500	550	550	550	550	55			
Tamaño medio máximo de masas de una o varias medidas	Medio abrasivo	Carbón, tierra	300	300	400	400	500	600	650	700	700	700	700	700	70			
	Muy abrasivo	Carbón, piedra, vidrio de desecho.	300	300	400	400	500	600	650	650	650	650	650	650	65			
Hojuelos		Viruta de madera, corteza, pulpa de madera.	400	450	450	500	600	700	800	800	800	800	800	800	80			
Granos de 1/8 a 1/2 de pulgada		Arena, granos, carbón, semilla de algodón.	400	450	450	500	600	700	800	800	800	800	800	800	80			
Granos finos	Liviano, seco polvoriento	Carbón pulverizado, Ceniza.	250 - 300 pies/min.....															
	Pesado	Cemento, polvo.	250 - 300 pies/min.....															
Materiales frágiles donde la degradación es perjudicial		Carbón, carbón coke.	200 - 250 pies/min.....															
		Jabón granulado	150 - 200 pies/min.....															

Ilustración 35 Velocidad Máxima recomendable para bandas, determinada por el material manejado. (Sanchez J. P., 1994)

La selección de rodillo va enfocado a la forma e inclinación junto con las operaciones de trabajo como se demuestra en la ilustración 32. Se selecciona la opción tipo de soporte de rodillo en este caso particular es la letra “H” “Soporte de rodillos usados para guiar la banda, la cual viaja a ambas direcciones y proteger la banda debido al desalineamiento.” (Sanchez I. J., 1999)

Como condición de operación “VIII” “Rodillo transportador para retorno de banda”, es usado cuando se manejan materiales húmedos o pegajosos que se adhieren a la banda, o donde se requiere resistencia a la corrosión o acción química.

Selección de soporte de rodillo y retorno que aplica para serie de 6000 un rodillo de 4” en acero identificado por la siguiente tabla.

Ancho de bandas en pulgadas	Soporte de rodillos inclinados												Ancho de bandas en pulgadas	Soporte de rodillos inclinados																	
	Peso por soporte de rodillo													Peso por soporte de rodillo																	
	Serie 5000			Serie 6000			Serie 7000			Serie 8000				Serie 9000			Serie 5000			Serie 6000			Serie 7000			Serie 8000			Serie 9000		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X						
14	13	15	19	14	...	...	...	...	...	...	...	...	14	12	12	15	11	...	...	...	...	...	...	...	...						
16	15	17	20	15	...	...	...	...	...	...	...	...	16	13	14	16	12	...	...	...	...	...	...	...	...						
18	16	18	22	17	25	20	...	...	...	...	...	...	18	14	16	18	13	22	17	...	...	...	...	...	...						
20	17	19	24	19	26	23	...	...	...	...	...	...	20	15	17	20	14	24	18	...	...	...	...	...	...						
24	20	22	27	22	32	27	41	84	57	...	...	...	24	17	19	23	15	28	20	36	59	24	...	...	...						
30	23	26	32	27	36	31	48	76	68	↓	...	...	30	21	23	27	17	34	24	43	71	29	↓	...	...						
36	...	31	38	32	41	35	55	89	78	55	108	129	36	...	27	31	19	40	28	50	83	33	50	96	84						
42	...	...	...	...	46	40	84	103	93	106	122	141	42	...	...	...	...	48	32	57	96	37	98	110	89						
48	...	...	...	...	52	48	71	115	104	118	136	156	48	...	...	...	...	52	36	65	108	42	111	124	75						
54	...	...	...	...	...	...	78	128	116	131	150	171	54	...	...	...	...	...	72	121	48	123	138	138	81						
60	...	...	...	...	...	...	86	140	125	143	164	189	60	...	...	...	...	...	...	79	133	51	135	152	87						
72	...	...	...	...	...	...	...	...	...	168	192	216	72	...	...	...	...	...	...	...	...	...	160	178	100						
84	...	...	...	...	...	...	...	...	...	193	220	246	84	...	...	...	...	...	...	...	...	...	165	204	109						

Ilustración 36 Soporte de rodillos (Sanchez J. P., 1994)

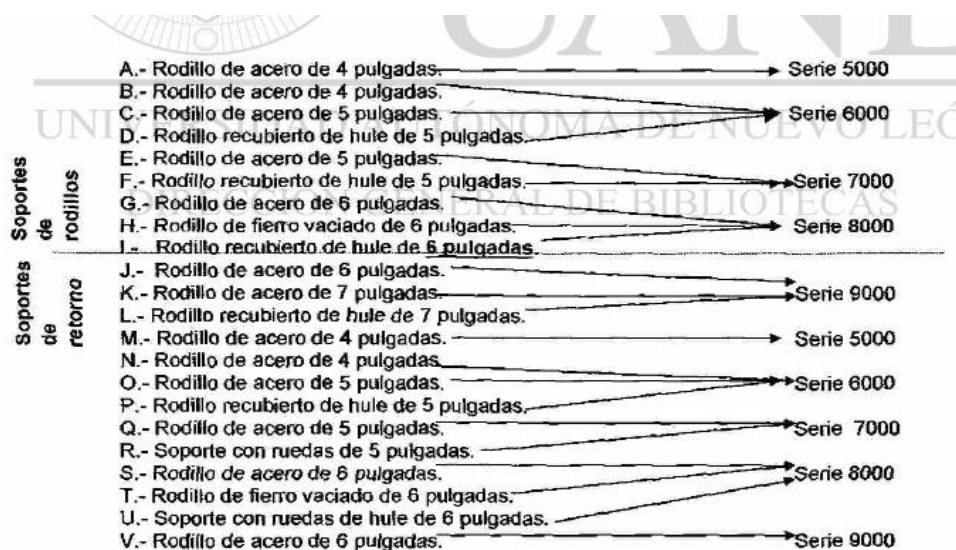


Ilustración 37 Pesos de las partes giratorias de los soportes de los rodillos. (Sanchez J. P., 1994)

6.10.1. Cálculo analítico del caballaje en la banda

$$E = \frac{H * 33000}{S} \quad (84)$$

Donde:

H es la potencia del motor

S: Velocidad de la banda en ft/min

$$\text{CTE: } 33000 \frac{lb-ft/Min}{HP}$$

$$E = \frac{1.5 * 33000}{250} = 198 \text{ ft/min}$$

$$E = T_1 - T_2 \quad (85)$$

Para hallar T_2 se coge el valor de E*el factor de seguridad que se halla en la ilustración 35.

MOTRIZ		T1/T2 para polea singular motriz . T1/T2 para ambas poleas de un sistema motor.		Factor requerido de tensión en el lado flojo para mover la banda	
Tipo	Arco de contacto de la banda sobre la polea motriz	Tensor de gravedad			
		Polea lisa	Polea recubierta	Polea lisa	Polea recubierta
Polea Singular	180	2.19	3	0.85	0.5
Polea de revestimiento	200	2.39	3.39	.72	.42
	210	2.50	3.61	.67	.38
	215	2.55	3.72	.64	.36
	220	2.61	3.83	.62	.35
	230	2.73	4.07	.58	.33
Polea dual	360	4.80	9.02	.26	.13
	380	5.25	10.19	.23	.11
	400	5.72	11.51	.21	.09
	420	6.25	13.00	.19	.08
	450	7.12	15.27	.16	.07
	500	8.86	21.21	.13	.05

Ilustración 38 Constantes y factor de seguridad de tensión (Sanchez J. P., 1994)

Se selecciona un tipo de Polea singular/ancho de la banda 180° y el factor para una polea lisa es de 2.19

$$T_2 = E * \text{factor de seguridad} = 198 * 2.19 = 433.62 \quad (86)$$

Despejamos T_1 de la ecuación 79 tenemos:

$$T_1 = 198 + 433.62 = 631.62 \text{ lb} - ft$$

6.11. Selección de correas

Para tener en cuenta el factor de servicio que se va a manejar es 1.6

TIPOS DE MÁQUINAS O EQUIPOS	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para líquidos Sopladores y aspiradoras Transportadores de trabajo ligero Ventiladores de hasta 10 caballos de fuerza	1.1	1.2	1.3
Transportadores de banda para arena, grano, etc Bombas rotativas de desplazamiento positivo Máquinas herramientas Maquinaria de lavandería Mezcladores de masa Ejes de línea Generadores Maquinaria de imprenta Taladros-prensas-cortadores Cribas giratorias y vibratorias Ventiladores de mas de 10 caballos de fuerza	1.2	1.3	1.4
Maquinaria para aserríos y trabajos en madera Transportadores (arrastre o tornillo) Compresores de pistón Molinos de martillo Pulverizadores Excitadores Maquinaria textil Bombas de pistón Elevadores cangilones Maquinaria para ladrillos Sopladores de desplazamiento positivo	1.4	1.5	1.6
Trituradoras (giratorias-mandibula-rodillo) Extrusoras-molinos de caucho Molinos de bolas Malacates	1.5	1.6	1.8

Ilustración 39 Factores de Servicio Típicos (INTERMEC)

La fórmula para hallar la potencia de diseño es la siguiente

$$HP * \text{factor de servicio} = 1.5 * 1.3 = 1.95 \text{ HP} \quad (88)$$

6.11.1. Tipo de Correa

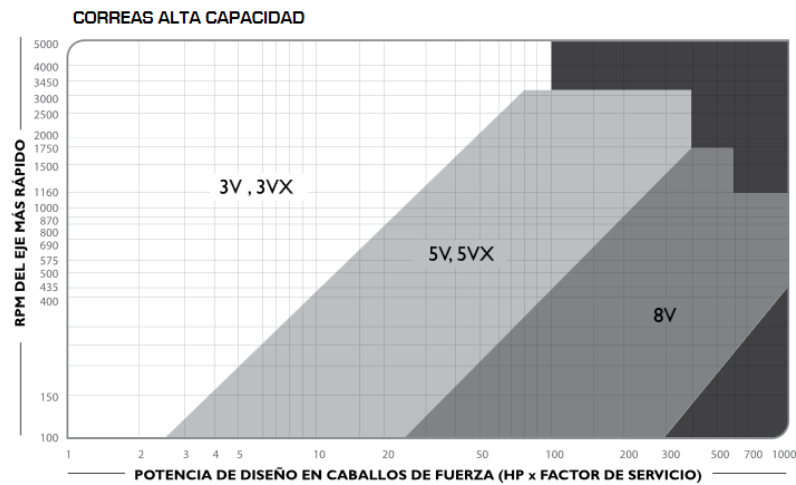


Ilustración 40 Tablas para seleccionar el tipo o perfil de la correa (INTERMEC)

Se identifica por medio de la gráfica anterior que se debe escoger una correa 5V o 5VX con relación a la velocidad del eje más rápido y la potencia de diseño por factor de servicio.

6.11.2. Relación de velocidad

La velocidad que se maneja las RPM del Eje Principal (57.99 RPM) y las RPM de la banda Transportadora (25)

$$\frac{\text{RPM del Eje Principal}}{\text{RPM de la Banda Transportadora}} = \frac{57.99}{25} = 2.3196 \quad (89)$$

6.11.3. Selección de la polea conductora

Para determinar la polea conductora se tiene en cuenta el valor la potencia de Diseño y se procede a buscarla en la siguiente tabla junto con las RPM del eje más rápido.

TABLA DE CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN POR CANAL (EN HP)												CORREAS TIPO 5V
Diámetro exterior de la Polea Motriz (en milímetros)												RPM del Eje más Rápido
230	235	250	260	275	285	300	315	335	355	380	405	
1.96	2.04	2.20	2.36	2.55	2.67	2.83	3.04	3.26	3.50	3.80	4.10	100
3.66	3.80	4.10	4.44	4.80	5.03	5.32	5.73	6.14	6.60	7.18	7.75	200
5.27	5.50	5.92	6.40	6.90	7.25	7.68	8.27	8.86	9.54	10.37	11.20	300
6.80	7.10	7.65	8.27	8.94	9.40	9.94	10.70	11.48	12.35	13.43	14.50	400
7.33	7.64	8.25	8.90	9.64	10.10	10.70	11.54	12.37	13.30	14.47	16.62	435

Ilustración 41 Capacidad de Transmisión por canal en HP (INTERMEC)

El diámetro de la polea conductora es de 260 mm (10.23”) según lo que se ha determinado por medio de una correa.

6.11.4. Calculo de polea conducida

Se calcula por medio de la polea ya identificada anteriormente y se multiplica por la relación de velocidad.

(90)

$$260 * 2.3196 = 603.096mm = 23.74"$$

6.11.5. Calculo distancia entre centros

Para verificar la distancia correcta nos guiamos por tres ecuaciones

- Dist. “recomendada”: $C = 1,5 (D + d)$
- Dist. “Máxima”: $C = 2 (D + d)$
- Dist. “Mínima”: $C = 0,7 (D + d)$
- C= Distancia entre centros.
- D= Diámetro polea mayor.
- d= Diámetro polea menor.

$$C = 1.5(603.096 + 260) = 1294.64 \text{ mm} \quad (91)$$

$$C = 0.7(603.096 + 260) = 604.167 \text{ mm} \quad (92)$$

La distancia que se tiene en el diseño es de 360 mm la cual se considera que esta entre el rango de trabajo.

6.11.6. Tensiones de las bandas del eje principal a la banda transportadora

Para estas operaciones matemáticas se recomienda utilizar la calculadora en radianes

$$\emptyset = \theta_d = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{D - d}{2 * c} \right) \quad (93)$$

$$\emptyset = \theta_d = \pi - 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{23.74 - 10.23}{2 * 23.78} \right) = 2.56 \text{ rad}$$

$$\exp(f\emptyset) = \exp(0.8 * 2.56) = 7.78 \quad (94)$$

$$v = \frac{\pi d n}{12} = \frac{\pi * 10.23 * 57.99}{12} = 155.309 \text{ pie/min} \quad (95)$$

$$\omega = 12\gamma bt = 12 * 0.042 * 0.5 * 0.13 = 0.03276 \quad (96)$$

$$f_c = \frac{\omega}{g} \left(\frac{v}{60} \right)^2 = \frac{0.03276}{32.17} \left(\frac{155.309}{60} \right)^2 = 0.00682 \quad (97)$$

$$\tau = \frac{63025 H_{nom} K_s n_d}{n} = \frac{63025 * 1.44 * 2}{57.99} = 3130.06 \text{ lbf} * \text{pulg} \quad (98)$$

$$(f_1)_a - f_2 = \frac{2T}{d} = \frac{2 * 3130.06}{10.23} = 611.937 \text{ lbf} \quad (99)$$

$$(f_1)_a = b f_a C_p C_v = 0.5 * 100 * 0.73 * 1 = 36.5 \text{ lbf} \quad (100)$$

$$f_2 = (f_1)_a - [(f_1)_a - f_2] = 36.5 - [36.5 - 611.937] = 611.937 \text{ lbf} \quad (101)$$

$$f_i = \frac{(f_1)_a + f_2}{2} - f_c = \frac{36.5 + 611.937}{2} - 0.00682 = 324.212 \text{ lbf} \quad (102)$$

$$f' = \frac{1}{\phi} \ln \frac{(f_1)_a - f_c}{f_2 - f_c} = \frac{1}{2.56} \ln \frac{36.5 - 0.006827}{611.937 - 0.00682} = -1.10 \quad (103)$$

Sí $f' < f$ no existe la posibilidad de deslizamiento

$$-1.10 < 0.8$$

$$F_1 = F_i + F_c + \frac{T}{D} \quad (104)$$

$$F_1 = 324.212 + 0.00682 + \frac{3130.06}{23.74} = 349.995$$

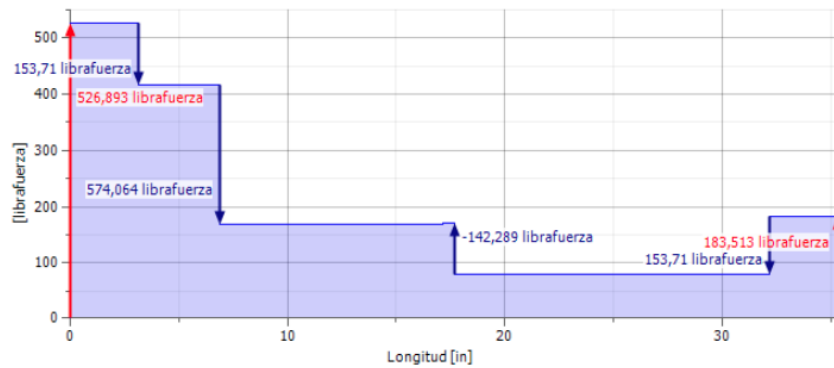
$$F_2 = F_i + F_c - \frac{T}{D} \quad (105)$$

$$F_2 = 324.212 + 0.00682 - \frac{3130.06}{23.74} = 298.44$$

6.12. Diseño eje riel superior.

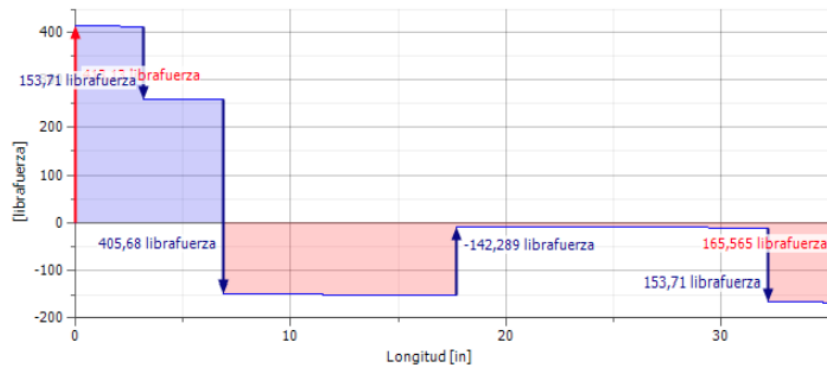
6.12.1. Diagrama de fuerzas

Se realiza entonces el análisis de viga para conocer las fuerzas cortantes y momentos flectores en el eje.

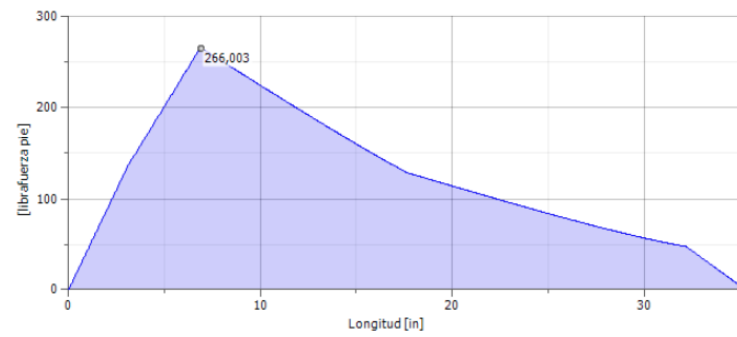


6.12.2. Diagrama de cortantes y momentos flectores

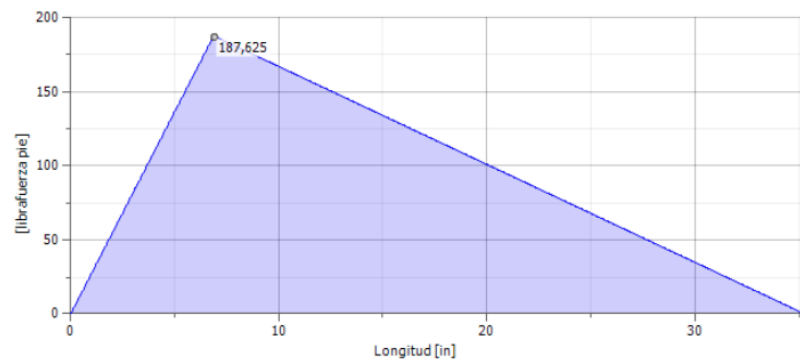
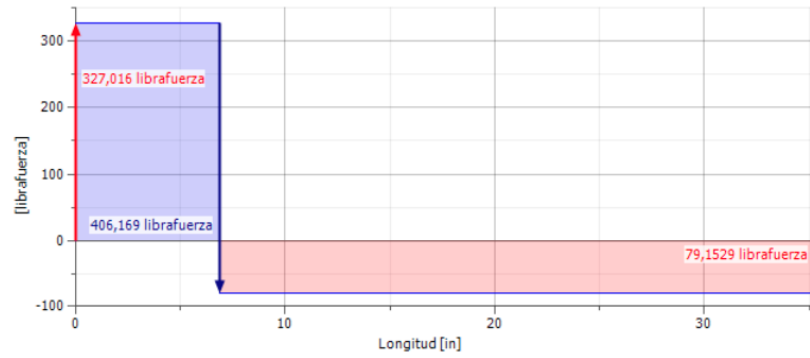
III. PLANO XY



☐ Momento flector



IV. *PLANO XZ*



$$R\Delta X = 371,92N$$

$$R\Delta Y = 692,54N$$

Observando los diagramas de cortante y momento de los planos XY; XZ se puede ver que existe un punto crítico en el punto B, en el cual se encuentra la mayor concentraci3n de peso a que en el cabozote all3 se laaja el mecanismo de transmisi3n de potencia entre el motor y el eje.

$$\begin{aligned}
& [3.13 \hat{i} + 0.76 \hat{k}]X[-150.36 \hat{j}] \\
& + [6.88 \hat{i} + 11.87 \hat{j}]X[-298.442 * \sin(59) \hat{j} + 298.442 \\
& * \cos(31) \hat{k}] \\
& + [6.88 \hat{i} - 11.87 \hat{j}]X[-349.995 * \sin(59) \hat{j} + 349.995 \\
& * \cos(31) \hat{k}] + [17.66 \hat{i} + 3.54 \hat{j}]X[-f_1 \hat{k}] \\
& + [32.2 \hat{i} + 0.76 \hat{k}]X[-150.36 \hat{j}] \\
& + [35.33 \hat{i}]X[-f_z \hat{k} - f_y \hat{j}] = 0
\end{aligned} \tag{106}$$

Operando la ecuación 103 obtenemos:

$$114.274\hat{i} + 0\hat{j} - 470.627\hat{k}$$

$$3036.52\hat{i} - 1760.01\hat{j} - 1760.01\hat{k}$$

$$-3561.05\hat{i} - 2064.03\hat{j} - 2064.03\hat{k}$$

$$3.54 * F_1 \hat{i} - 17.66 * F_1 \hat{j} + 0\hat{k}$$

$$114.274 \hat{i} + 0\hat{j} - 4841.59\hat{k}$$

$$0\hat{i} - 35.33 * f_z \hat{j} - 35.33 * f_y \hat{k}$$

$$F_1 = -83.6107 \text{ lbf}$$

$$f_y = -155.692 \text{ lbf}$$

$$f_z = -258.598 \text{ lbf}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y - 150.36 - 298.442 * \sin(59) - 155.692 - 150.36 - 349.995 * \sin(59) = 0 \quad (107)$$

$$A_y = 1012.23 \text{ lbf}$$

$$A_z + 298.442 * \cos(31) + 349.995 * \cos(31) - 258.598 - 83.6107 = 0 \quad (108)$$

$$A_z = -213.61 \text{ lbf}$$

Operando las gráficas de momentos:

$$M_B = 1012.23 * 3.13 = 3168.28 \quad (109)$$

$$M_B = -213.61 * 3.13 = -668.599 \quad (110)$$

$$Punto\ Critico = \sqrt{3168.28^2 + 668.599^2} = 3238.06 \text{ lb} * \text{in} \quad (111)$$

$$M_E = -155.692 * 3.13 = -487.316$$

$$M_E = -258.598 * 3.13 = -809.412$$

$$\sqrt[2]{487.316^2 + 809.412^2} = 944.788 \text{ lb} * \text{in}$$

$$\tau = \frac{Tc}{j} = \frac{114.27 * C}{\frac{\pi}{2} * C^4} = \frac{228.55}{\pi * C^3} = \frac{228.55}{\pi * \left(\frac{d}{2}\right)^3} = \frac{228.55}{\pi * \frac{d^3}{8}} = \frac{1828.45}{\pi * d^3} \quad (112)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{Mc}{I} = \frac{M * C}{\frac{\pi}{4} * C^4} = \frac{4 * M}{\pi * C^3} = \frac{4 * M}{\pi * \left(\frac{d}{2}\right)^3} = \frac{4 * M}{\pi * \frac{d^3}{8}} = \frac{32 * 3238.06}{\pi * d^3} \\ &= \frac{103617.92}{\pi * d^3} \end{aligned} \quad (113)$$

$$\sigma_{max}, \sigma_{min} = \frac{103617.92}{\pi * d^3} \pm \sqrt{\frac{103617.92^2}{\pi * d^3} + \frac{1828.45^2}{\pi * d^3}} \quad (114)$$

$$\sigma_{max}, \sigma_{min} = \frac{1}{d^3} \left[103617.92 \pm \sqrt{103617.92^2 + 1828.45^2} \right]$$

$$\sigma_{max} = \frac{207252}{d^3}$$

$$\sigma_{max} = \frac{-16.1312}{d^3}$$

Teoría de Coulomb Mohr

$$\frac{\frac{207252}{d^3}}{\frac{91000}{1}} - \frac{\frac{-16.1312}{d^3}}{\frac{77000}{1}} = \frac{1}{2} \quad (115)$$

$$\frac{2.2774}{d^3} + \frac{0.000209}{d^3} = \frac{1}{2}$$

$$d^3 = 4.555$$

$$d = 1.657"$$

Mohr Modificada

$$\sigma_A = \frac{sut}{n} \quad (116)$$

$$\frac{207252}{d^3} = \frac{91000}{2}$$

$$d^3 = 4.554$$

$$d = 1.657"$$

6.12.3. Selección de rodamientos para el eje del riel superior.

Seleccionan el rodamiento SKF de referencia 62307-2RS21. Un rodamiento de una hilera de bolas que cumple con las especificaciones de este diseño, pues soporta hasta 32KN de fuerza dinámica y puede funcionar hasta a 600RPM, características muy por arriba que las del eje. Dejando en una medida comercial todos los rodamientos a usarse en la máquina.

6.13. Conexión del motor

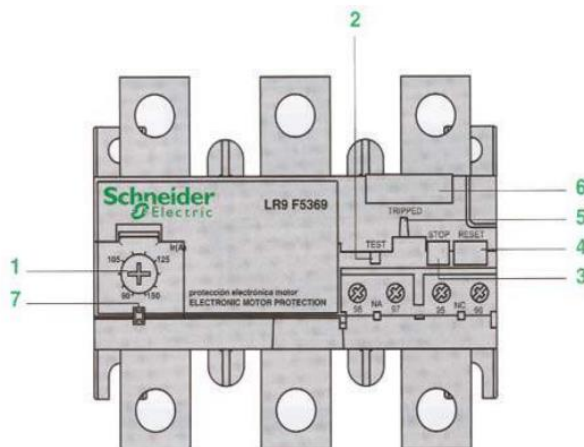
Para generar el arranque del motor trifásico es necesario contar con un arranque y un relé térmico, estos elementos van a dar protección al variador y al motor por fallas eléctricas que puedan presentarse en el ambiente de trabajo. El arrancador a usar es un TeSys D serie LC1D de la marca Schneider Electronic.



Ilustración 42 Arrancador LC1D25MY Recuperado de: <https://www.se.com/cl/es/product/LC1D25M7/contactador-3-polos---25a---220v-ac---nanc/>

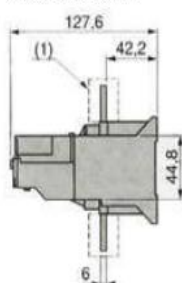
Para proteger el motor sobre: sobre carga térmica, desequilibrios de fase y arranques prolongados se usará un relé térmico de la marca Schneider Electronic, el cual se conecta debajo del arrancador seleccionado anteriormente.

Presentación

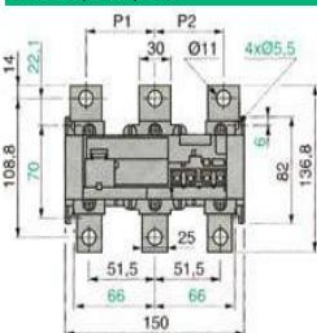


- 1 Botón de Reglaje Ir
- 2 Pulsador Test
- 3 Pulsador Stop
- 4 Pulsador de rearme
- 5 Visualización de disparo
- 6 Referencia enganchable
- 7 Enclavamiento mediante precintado de la tapa

Vista lateral común



LR9-F7•75, F7•79, F7•81



	P1	P2
LR9-F7•75	48	48
LR9-F7•79, F7•81	55	55

(1) Tapa de protección LA9-F70•

LR9-F7•81 (para montar debajo de LC1-F630 y F800)

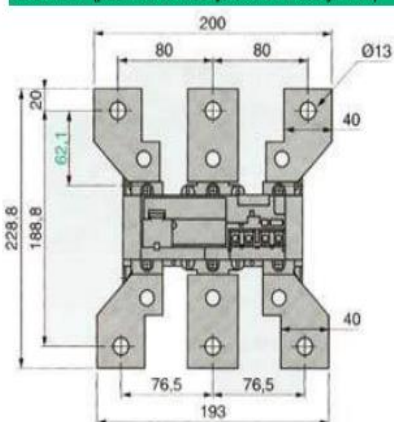


Ilustración 43 Presentación y conexión arrancador LC1D25M Recuperado de: https://uploads-ssl.webflow.com/5762dae4eefe322819722485/598480a077ba7700015bc6e5_Control_proteccion_motor.compressed.pdf

Los pulsadores a usar externos al cabezote de la máquina para poder encender y apagar el control del motor; el pulsador XAWF310EX de Scheinder Electronics cuenta con un conjunto de tres pulsadores de color verde, rojo y negro respectivamente y una carcasa metálica adecuada para el entorno de trabajo de la máquina.

6.14. Selección del conductor de alimentación

Teniendo en cuenta el motor seleccionado cuenta con una potencia de 2HP, aproximadamente 1491,4 W; se procede a calcular el cable de alimentación de la máquina con una distancia nominal a un toma corriente de 20m de distancia.

Como el motor es trifásico, se emplea la ecuación 117, donde:

P= potencia en watts del equipo

U= Nivel de tensión al que se va a conectar la máquina

$$\cos \phi = 0,90$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \phi} \quad (117)$$

Remplazando con los valores del motor y conociendo que el equipo estará conectado a una tensión de 110V tenemos:

$$I = \frac{1491,4}{\sqrt{3} * 110 * 0,90} = 8,697 \text{ A}$$

Los conductores de un circuito que suministre corriente a un equipo de conversión utilizado como parte de un sistema de accionamiento de velocidad variable, deben tener una capacidad de corriente no menor al 125% de la entrada nominal al equipo de conversión de fuerza. (NTC 2050)⁴

$$I = 8,697 \text{ A} * 1,25 = 10,87 \text{ A}$$

Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8

Ilustración 46 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V Recuperado de: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf>

Según la norma NTC 2050 el conductor admisible para la tensión calculada es de 2,08 mm en sección transversal. La protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un asterisco (*), no debe superar los 15 A para el conductor de sección transversal 2,08 mm² (14AWG) (NTC 2050).

⁴ Código eléctrico colombiano NTC 2050 Capítulo 4 página 333.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el estudio de requerimientos de diseño del presente proyecto conlleva a realizar un análisis reológico sobre una muestra de concreto para pañete fino, dando paso a establecer la densidad del fluido. Así mismo calcular posteriormente la velocidad de la máquina y la capacidad de carga de la misma.

Es importante aclarar que las muestras de mezcla de pañete no contiene la misma densidad siempre, esta es variable respecto a la cantidad de adictivos, aglomerantes y calidad de agua con la que se prepare dicho producto. Este estudio se realiza para tener una aproximación más real a las propiedades físicas del fluido a trabajar.

Conociendo las propiedades físicas del fluido a esparcir mediante la máquina se diseñan los elementos mecánicos más críticos del sistema como lo son: potencia y velocidad requerida en el motor a usar, caja reductora, eje principal, sistema de izaje con elementos de sujeción adecuados, sistema de distribución del pañete mediante una banda transportadora en V. Elementos críticos de diseño para cumplir con el objetivo de pañetar un área en tiempos record.

La alternativa de diseño seleccionada se evalúa en un conjunto de parámetros que cumplan con la función a ejercer de la máquina, siendo un sistema de bajo costo y bajo mantenimiento; enfocándonos en un sistema funcional, eficiente y asequible para las constructoras colombianas.

El diseño de cable polea es un diseño económico, seguro y de fácil mantenimiento; un sistema de izaje que permite trabajar grandes alturas y peso sin poner en riesgo los operarios de la máquina son grandes cualidades de este diseño; teniendo en cuenta que este diseño no se ha llevado a físico se deja la posibilidad de efectuar un prototipo a escala 1:2 para evaluar desempeños.

Mediante la simulación en RHINO se puede observar un funcionamiento ideal de la máquina aquí diseñada, es importante resaltar que estos entornos CAD permiten simular el funcionamiento de los mecanismos en ambientes ideales mas no reales; por lo cual es necesaria la construcción de un prototipo a escala para evaluar el diseño realmente; acción que se puede ejecutar mediante un patrocinio económico.

ANEXO 1

Rendimiento en M2 de un albañil

La siguiente encuesta se realiza con el fin de realizar un estudio estadístico de rendimiento en metros cuadrados de un albañil en la ciudad de Bogotá

Cuántas horas al día usted realiza la labor de pañetar? *

2h-4h

4h-8h

Más de 8h

Cuántos metros cuadrados pañeta al día? Escoja una opción según el rendimiento de metros cuadrados que usted puede pañetar en un día. *

0-10

10-20

20-30

30-40

40-50

Más de 50

Cuántas personas trabajan en conjunto para pañetar un apto en Bogotá? *

2

4

Más de 4

Cuánto tiempo toma alistar los implementos para iniciar esta labor?

1h-2h

2h-4h

Más de 4h

Que obras pañeta con mayor frecuencia?

Interiores

Exteriores

Bodegas

Que vale un día de trabajo como albañil o pañetador?

Considera que su labor tiene un riesgo laboral:

ALTO

MEDIO

BAJO

Qué tipo de herramientas usa para esta labor?

Las herramientas que menciona en la pregunta anterior son:

Propias

Prestadas

Del contratista

ANEXO 2

EVALUACIÓN DE MÁQUINA PAÑETADORA AUTOMÁTICA

PROYECTO DE GRADO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA PAÑETADORA AUTOMÁTICA.

Con el fin de identificar la alternativa de diseño mas viable para un prototipo de máquina pañetadora se presenta la siguiente evaluación. En la cual usted debe calificar de 1 a 5 cada parámetro siendo 1 la calificación menor y 5 la mayor.

***Obligatorio**

Dirección de correo electrónico *

Profesión *

Nombre completo *

Autoriza poner sus datos de referencia en el documento final de este proyecto? *

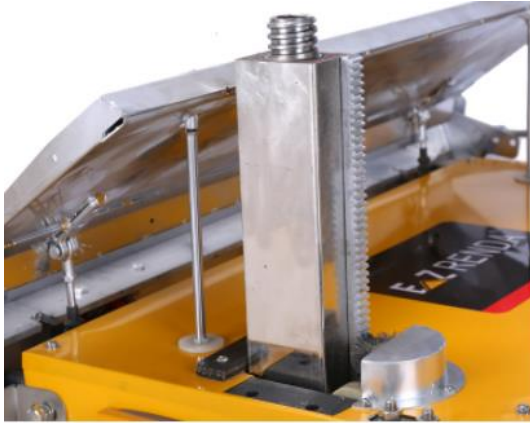
Sí

No

ALTERNATIVA DE DISEÑO 1

ES UN SISTEMA PIÑÓN-CREMALLERA EL CUAL SUBE EL CABEZAL DE FORMA VERTICAL POR MEDIO DEL TRABAJO EJERCIDO EN ESTOS ELEMENTOS MECÁNICOS.

ALTERNATIVA DE DISEÑO 1



ALTERNATIVA DE DISEÑO 2

ESTA ALTERNATIVA ES UN SISTEMA CABLE-POLEA EL CUAL SUBE EL CABEZAL DE FORMA VERTICAL POR MEDIO DEL TRABAJO EJERCIDO EN ESTOS ELEMENTOS MECÁNICOS.

ALTERNATIVA DE DISEÑO 2



DATOS IMPORTANTES DE CADA ALTERNATIVA

Sistema	Alternativa 1	Alternativa 2
Sistema de izaje	Piñón-cremallera	Cable-polea
Velocidad de trabajo	80-100 m ² / hora.	70-80 m ² / hora.
Peso	110 Kg	100 Kg
Longitud palustre	1200mm	800mm
Costo fabricación estimado	\$5.800.000	\$4.500.000
Mantenimiento	Limpieza por cada tramo de pañetado en la cremallera.	Limpieza general al finalizar la jornada laboral.

PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Sistema de izaje: mecanismo por el cual se realiza el levantamiento del cabezote con carga y sin carga de forma segura y eficiente.

Velocidad de trabajo: rendimiento en m² que puede ejecutar el sistema por hora de operación.

Peso: peso del equipo sin carga, entre menor sea los traslados de la máquina serán más eficientes y cómodos.

Longitud de palustre: medida máxima del elemento que aplica la mezcla a la superficie deseada. Para efectos de aplicación correcta este no debe ser mayor a 1m ni inferior a 80cm.

Costo de fabricación estimado: se refiere a un costo de fabricación estimado por manufactura colombiana. El cual se estima de \$4.500.000 para sistema cable pola y de \$5.800.000 para sistema piñón-cremallera; este precio solo considera manufactura metal mecánica y materiales. Se considera el puntaje más alto el sistema que sea de menor costo.

Mantenimiento: se refiere a la frecuencia de revisión, remplazo de partes y limpieza profunda que requiera la máquina. Si esta parada implica un tiempo mayor a 8 horas, un día laboral normal se considera de un puntaje bajo ya que implica parar las actividades de la obra con la máquina. Se considera de mayor puntaje la alternativa que genere menos horas de mantenimiento por horas de labor.

EVALUACIÓN FINAL ALTERNATIVA 1 *

1
2

	3
	4
	5
SISTEMA DE IZAJE	
VELOCIDAD DE TRABAJO	
PESO	
LONGITUD DE PALUSTRE	
COSTO DE FABRICACIÓN	
MANTENIMIENTO	
SISTEMA DE IZAJE	
VELOCIDAD DE TRABAJO	
PESO	
LONGITUD DE PALUSTRE	
COSTO DE FABRICACIÓN	
MANTENIMIENTO	
EVALUACIÓN FINAL ALTERNATIVA 2 *	
	1
	2
	3
	4
	5
SISTEMA DE IZAJE	
VELOCIDAD DE TRABAJO	
PESO	
LONGITUD DE PALUSTRE	
COSTO DE FABRICACIÓN	
MANTENIMIENTO	
SISTEMA DE IZAJE	
VELOCIDAD DE TRABAJO	
PESO	
LONGITUD DE PALUSTRE	
COSTO DE FABRICACIÓN	
MANTENIMIENTO	

ANEXO 3

Electric Motors
: Fractional Motors
: Three-Phase : NEMA 56 Frames - TEFC

> Characteristics

- Output: 2 HP
- Poles: 4
- Frequency: 60 Hz
- Torque: 5.96 lb.ft
- Voltage: 208-230/460 V
- Frame: F56H
- RPM: 1740
- Full Load Amps: 6.15-5.80/2.90 A
- Efficiency (100%): 82.0
- Power factor (100%): 0.79
- Insulation: F
- Noise: ---
- No load current: 3.40/1.70 A
- Locked rotor current (II/In): 8.6

> Catalog Number:

00218ES3EF56

> WEG id: 10021782

> Price: \$392

[BUY NOW](#)



**Three-Phase : NEMA 56
Frames - TEFC**

■ Fractional Motors

ZOOM



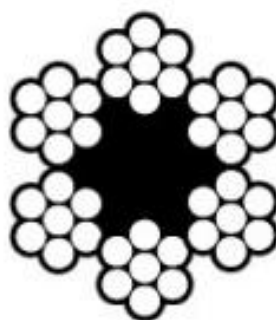
Output HP	Frame	Full Load Amps	Locked rotor current (II/In)	Locked Rotor Torque	Break Down Torque
2 HP	F56H	6.15-5.80/2.90 A	8.6	300 %	320 %

Efficiency (%)			Power factor (%)			Service Factor	Inertia	L.R. Time	Weight
50	75	100	50	75	100				
77.5	81.0	82.0	0.59	0.71	0.79	1.15 (1.00 at 208V)	0.20408 sq.ft.lb	10 s	45 lb

ANEXO 4



CABLES DE ACERO 6x7 + 1



(180 Kg/mm²)

ø (mm)	Peso (kg/m)	Carga - Rotura Mínima (kg)
2	0,0143	239
3	0,0322	538
4	0,0572	957
5	0,0894	1.500
6	0,1290	2.150
7	0,1750	2.930
8	0,2290	3.830
9	0,2890	4.840
10	0,3570	5.980

ANEXO 5

REFERENCIAS

EZREND. (2013). *EZREND*. Obtenido de WWW.EZREND.COM:
http://sp.ezrenda.com/model_detail/FrontColumns_navigation01-1392703138244FirstColumnId=62&&productId=52.html

EZREND. (2014). *EZREND*. Obtenido de WWW.EZREND.COM:
http://sp.ezrenda.com/model_detail/FrontColumns_navigation01-1392703138244FirstColumnId=60&&productId=66.html

EZREND. (s.f.). *EZREND*. Obtenido de
http://www.ezrenda.com/products_detail/FrontColumns_navigation01-1392703138244FirstColumnId=60&&productId=64.html.

SINCOLA MACHINERY. (2013). *SINCOLA MACHINERY*. Obtenido de
WWW.SINCOLAMACHINERY.COM: <http://www.sincolamachinery.com/products/full-automatic-dry-mortar-plant.html>

Zhengzhou Sincola Machinery CO Ltda. (2014). Obtenido de http://es.made-in-china.com/co_sincolamachinery/image_Auto-Rendering-Machine-Plastering-Brick-Walls-with-Construction-Equipment-Pictures_ergrhongg_kOMEaPzlshqT.html

ALIBABA. (2014). *ALIBABA*. Obtenido de WWW.ALIBABA.COM:
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/ez-renda-render-machine-plastering-machine->

price-with-patent-2014-
1979286387.html?spm=a2700.8699010.normalList.17.252e76a7aPvh6k

Richard, G., & Keith, J. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. En R. G. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica* (pág. 662). México: McGrawHill.

Portugal, B. (s.f.). *REOLOGÍA DEL CONCRETO*. Obtenido de CONCRETONLINE:
http://www.concretonline.com/pdf/00hormigon/art_tec/C3.pdf

EMCOCABLES. (s.f.). *FERIN PETROL*. Obtenido de
<http://www.ferrinpetrol.com/images/emcocables/cables.pdf>

AG CONTINENTAL. (s.f.). *www.agcontinental.com*. Obtenido de
http://www.agcontinental.com/cables_acero/catalogo-tecnico/

Sanchez, I. J. (1999). *Diseño de un Transportador de carga*. Mexico: Universidad Autónoma de Nuevo León .

Sanchez, J. P. (1994). *Diseño de un transportador de carga*. San Nicolas de la Galarza: Universiad Autonoma de Nuevo Leon.

INTERMEC. (s.f.). *POLEAS EN "V"*. Obtenido de WWW.INTERMEC.COM.

Superintendencia de Notariado y Registro. (2014). *Superintendencia de notariado y registro la guarda de la fe pública*. Recuperado el 01 de 2017, de <https://www.supernotariado.gov.co:https://www.supernotariado.gov.co/portalsnr/images/archivosupernotariado/Contratos2014/LIC-2014/LIC06-2014/CUADRO%20DE%20RENDIMIENTOS%20LP-006-2014%20SUPERNOTARIADO.pdf>

IDEAM. (2017). *IDEAM*. Obtenido de WWW.IDEAM.GOV.CO:
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>

AG CONTINENTAL. (s.f.). *CATALOGO TÉCNICO*. Obtenido de <http://www.agcontinental.com>:
http://www.agcontinental.com/cables_acero/catalogo-tecnico/

LAMPION, M. I. (2009). ESTUDIO COMPARATIVO DE MODELOS REOLÓGICOS PARA LODOS DE PERFORACIÓN. En M. I. LAMPION, *ESTUDIO COMPARATIVO DE MODELOS REOLÓGICOS PARA LODOS DE PERFORACIÓN* (págs. 17-18). Medellín: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN.