

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño de Mezcladora de Concreto"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Felipe Rafael Condo Colcha

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que han forjado un camino donde puedo caminar con la frente en alto. A mi hermano por cuidar de mí. A mi abuelita por ser ejemplo de perseverancia y esfuerzo.

Gracias.

DECLARACIÓN EXPRESA

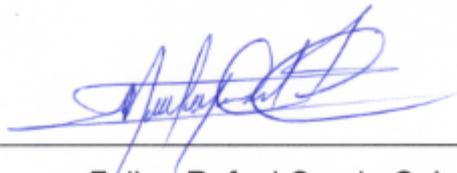
“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Felipe Rafael Condo Colcha

Msc. Ing. Jorge Marcial

PhD. Angel Ramírez

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Felipe Rafael Condo Colcha
Estudiante



Ph.D Angel Ramirez
Coordinador



MSc. Jorge Marcial
Tutor

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño de una mezcladora de concreto de 570 litros, para satisfacer la necesidad del mercado respecto a la construcción de viviendas en Ecuador.

En la actualidad, para fundir la losa de una vivienda el contratista tiene dos opciones, utilizar una mezcladora basculante de 140 litros o un camión mixer de 7000 litros. Al utilizar una mezcladora basculante el esfuerzo hombre-hora aumenta significativamente debido a que necesita ser operada por un mínimo de 6 personas, además no son ergonómicas y para cubrir el volumen de concreto por losa se necesitan usualmente 6 a 8 horas de trabajo. Al utilizar un camión mixer los costos aumentan por el grado tecnológico del equipo además de que el volumen de uno de estos sobrepasa la demanda requerida por losa, lo cual genera desperdicios los cuales podrían ser desechados al medio ambiente convirtiéndose en pasivos ambientales. Por lo tanto, es evidente que en el mercado existe un nicho que pese a ser identificado no ha sido satisfecho.

Este trabajo, utilizando diferentes normas de diseño de equipos de construcción, ha desarrollado una concretara de 570 litros, reversible y auto cargable. Las características mencionadas son el resultado de evaluar los sistemas más importantes dentro de este tipo de equipos, requerimientos del mercado, facilidad de manufactura y costos mediante una matriz de decisión.

De esta manera se diseñó el chasis y el sistema de transmisión de potencia constituido por una bomba hidráulica, motor hidráulico y cilindro hidráulico; de igual manera se seleccionó cadenas y bandas de catálogos.

Como resultado se han desarrollado planos y un presupuesto para la construcción de la mezcladora que satisface los requerimientos del mercado con un enfoque ingenieril.

Palabras Claves: Mezcladora de concreto, transmisión de potencia, sistema hidráulico.

ABSTRACT

The present work develops the design of a concrete mixer with a capacity of 570 liters to satisfy the market needs related to the building house industry in Ecuador.

Nowadays, to cast concrete for slab in a house the contractor has two options, one is to employ a tilting concrete mixer with a capacity of 140 liters or, the other option is, to employ a mixing truck. Employing the tilting mixer means a rise in the workers' effort due to the fact that at least 6 workers are needed to operate it, furthermore tilting mixers are not ergonomically, and to satisfy the volume demand per house slab the contractor teams needs around 6 or 8 hours at least. When using a mixing truck costs increases because of the technology of the equipment however the volume of one of these trucks surpass the actual demand per slab, therefore the leftover concrete becomes a waste that could be disposed to the environment becoming environmental liabilities. Hence, it is clear that there is a spot in the market that, even though it has been identified, it has not been satisfied.

This work, using different construction machinery design norms, has designed a concrete mixer with a capacity of 570 liters that is reversible and auto-chargeable. The characteristics mentioned are the result of a design assessment that has addressed the fundamental systems for a concrete mixer, market requirements and cost by using a decision matrix.

Therefore, the chassis and the power transmission system, formed by a hydraulic pump, motor and cylinder has been designed; also chains and belts had been selected from catalogs.

As a result, blueprints and a budget, for the manufacture of the mixer that satisfies the requirements of the marker with an engineering approach has been developed.

Keywords: Concrete mixer, power transmission system, hydraulic system.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Marco teórico	3
1.3.1 Diseño de concreto	3
1.3.2 Mezclado de concreto.....	5
1.3.3 Mezcladoras de concreto	6
1.3.4 Tipos de Mezcladoras.....	6
1.3.5 Mezcladora Basculante.....	7
1.3.6 Mezcladora no Basculante.....	7
1.3.7 Mezcladora reversible.....	8
CAPÍTULO 2.....	10
2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	10
2.1 Descomposición Funcional	11
2.1.1 Sistema de mezclado.....	12
2.1.2 Sistema de alimentación.....	13
2.1.3 Sistema de descarga	14
2.1.4 Sistema de movilización	15
2.1.5 Sistema de transmisión de potencia	16
2.2 Tabla Morfológica	17
2.3 Matriz de decisión	20
2.4 Metodología del Diseño Mecánico	22
2.4.1 Diseño de tambor de mezclado	22

2.4.2	Selección de cadena (Gear-Pin)	25
2.4.3	Diseño de Chasis	29
2.4.4	Diseño de juntas soldadas	33
2.4.5	Diseño de árbol de transmisión	34
2.4.6	Selección de rodamientos	37
2.5	Metodología de Diseño Hidráulico	38
2.5.1	Selección de motor hidráulico	39
2.5.2	Selección de cilindro hidráulico	41
2.5.3	Selección de bomba hidráulica	42
2.5.4	Dimensionamiento de depósito	42
2.5.5	Selección de motor	43
2.5.6	Selección de poleas y banda	44
CAPÍTULO 3		49
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
3.1	Tambor de mezclado	49
3.2	Selección de Cadena - Piñón	51
3.3	Dimensionamiento de perfiles del chasis	52
3.4	Juntas soldadas	55
3.5	Árbol de transmisión	55
3.6	Rodamientos	58
3.7	Motor Hidráulico	59
3.8	Cilindro Hidráulico	59
3.9	Bomba Hidráulica	60
3.10	Motor a Diésel	60
3.11	Selección de poleas y banda	61
3.12	Análisis de Costos	62
CAPÍTULO 4		66
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
4.1	Conclusiones	66
4.2	Recomendaciones	67
BIBLIOGRAFÍA		69

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MIDUVI	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
ASTM	American Society for Testing Material
ACI	American Concrete Institute
APDL	ANSYS Parametric Design Language
IS	Indian Institue
AISI	American Iron and Steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers

SIMBOLOGÍA

Mpa	Mega pascal
psi	Libra por pulgada cuadrada
mm	Milimetro
inch	Pulgada
kg	Kilogramo
U	Unidad
L	Litros
kW	Kilowatts
HP	Caballos de Potencia
rpm	Revoluciones por minuto
kN	Kilo newton
kN-m	Kilo newton - metro
min	Minutos
gpm	Galones por minuto
cm ³ /rev	Centímetro cubico por revolución
gal	Galones

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes de Mezcladora Reversible	9
Figura 2.1 Metodología de Diseño.....	11
Figura 2.2 Modelo de concreto dentro de mezcladora.....	24
Figura 2.3 Carga Permisible para Cadenas.....	27
Figura 2.4 Diámetro de cadenas	27
Figura 2.5 Especificaciones de piñón	29
Figura 2.6 Perfiles Rectangulares ASTM A-36.....	32
Figura 2.7 Curvas de Selección de Cadena	35
Figura 2.8 Modelo de Cargas Árbol de Transmisión.....	36
Figura 2.9 Esquema de Sistema Hidráulico.....	39
Figura 2.10 Curva de Tipos de Motores	40
Figura 2.11 Motor LSHT 315 cc	40
Figura 2.12 Modelo de concreto dentro de mezcladora.....	42
Figura 2.13 Factores de servicio	44
Figura 2.14 Selección para Banda Alta Capacidad	45
Figura 2.15 Selección de Transmisión-Relación de Velocidad	46
Figura 2.16 Selección de Transmisión-Potencia Admisible	47
Figura 2.17 Selección de Transmisión-Factor de Corrección	47
Figura 3.1 Rodillos superiores.....	50
Figura 3.2 Modelo del Chasis de la Mezcladora	54
Figura 3.3 Cargas Cortantes Árbol de Transmisión.....	57
Figura 3.4 Flector Árbol de Transmisión.....	58
Figura 3.5 Curva de Motor.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Parámetros del Concreto	4
Tabla 1.2. Cantidad de Compuestos para Mezclar Un Saco de Cemento	5
Tabla 1.3. Tipos de Mezcladoras.....	7
Tabla 2.1. Tipos de Sistema de Mezclado.....	12
Tabla 2.2. Tipos de Sistema de Alimentación.....	13
Tabla 2.3. Tipos de Sistema de Descarga.....	15
Tabla 2.4. Tipos de Sistema de Movilización.....	15
Tabla 2.5. Tipos de Transmisión de Potencia.....	16
Tabla 2.6. Tabla Morfológica	18
Tabla 2.7. Matriz de Decisión	20
Tabla 2.8. Restricciones para Diseño de Tambor	22
Tabla 2.9. Espesor mínimo para secciones de tambor	23
Tabla 2.10. Relación entre Piñón y Cadena	28
Tabla 2.11. Modelo para vigas del Chasis.....	30
Tabla 2.12. Factores de Carga – Cadena ASME.....	34
Tabla 2.13. Factor de Carga - Rodamientos.....	37
Tabla 2.14. Diámetro de Tubería.....	43
Tabla 3.1. Características del Tambor.....	49
Tabla 3.2. Propiedades Geométricas de Tambor en Operación	50
Tabla 3.3. Requerimientos Mínimos de Cadena y Piñón	51
Tabla 3.4. Descripción de Cadena y Piñón.....	51
Tabla 3.5. Modelo para vigas del Chasis.....	52
Tabla 3.6. Estructura de Soporte Pala Hidráulica	54
Tabla 3.7. Cargas de Diseño de Cordón de Soldadura	55
Tabla 3.8. Características de Cadena y Piñón ASME	56
Tabla 3.9. Rodamiento NU 140	59
Tabla 3.10. Motor Hidráulico	59
Tabla 3.11. Cilindro 1002-350 Doble Efecto (Serie 1000).....	60
Tabla 3.12. Bomba Hidráulica	60
Tabla 3.13. Lombardini LD 1603	60
Tabla 3.14. Banda y Polea	62

Tabla 3.15 Presupuesto	62
Tabla 3.16. Costos de Mano de Obra.....	63
Tabla 3.17. Costos de Materiales	63
Tabla 3.18. Tarifa de Equipos	64
Tabla 3.19. Cronograma Valorado	65

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Vista Isométrica de Mezcladora de Concreto
- PLANO 2 Chasis
- PLANO 3 Soporte Piñón
- PLANO 4 Tambor de Mezclado

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La construcción de viviendas es un sector importante dentro del desarrollo de la economía del Ecuador, donde unos de los rubros fundamentales es la fundición de losas. Dichas losas son elaboradas de concreto, el cual es producido por mezcladoras.

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, mediante Acuerdo Ministerial 109¹, indica que el área mínima de una vivienda debería ser por lo menos 36 m², mientras que el Sistema de Incentivos para Vivienda Urbana², del mismo ministerio, establece el área mínima en 40 m². De esa manera para una losa de vivienda el volumen aproximado de concreto es de 3.2 m³.

En el actual mercado ecuatoriano, las opciones de máquinas para la producción de concreto son: mezcladoras basculantes o camiones mezcladores.

Las mezcladoras basculantes, usualmente de una capacidad de 140 litros, no son ergonómicas con los operadores, no cuentan con talleres especializados para su mantenimiento y el tiempo para satisfacer el volumen necesario de concreto para una losa de vivienda es alto.

Los camiones mezcladores tienen sofisticados sistemas de control para el mezclado del concreto y dosificación de los compuestos del mismo. Por razones operativas y de costo, los camiones mezcladores siempre deben ser cargados a su máxima capacidad. Para la fundición de una losa de vivienda, la cantidad de concreto sobrepasa la necesaria, y debido a que no puede

¹ Acuerdo Ministerial No. 109. Capítulo II. Glosario de Términos Generales. Julio 25 de 2012.

² Sistema de Incentivos para Vivienda Urbana. Bono para Vivienda Urbana Nueva y Mejoramiento de Vivienda Urbana. MIDUVI. Enero 2014

quedar restos de concreto en el camión después de cierto tiempo, el concreto remanente deberá ser desechado. Lo que representa un desperdicio de recursos, además que una inadecuada disposición del remanente podría afectar al medio ambiente.

En el mercado existen otras alternativas para maquinaria de mezclar concreto, como las mezcladoras reversibles. Algunos contratistas han optado por importar este tipo de máquinas de origen asiático o europeo, cuya adquisición resulta en incrementos considerables en el costo de construcción de viviendas. Además, no siempre se encuentran talleres adecuados para las operaciones de mantenimiento, e incluso los repuestos son difíciles de encontrar en el mercado local.

Para resolver este problema se ha planteado el diseño de una mezcladora que se adapte a la realidad de Ecuador, es decir, capacidad de producción de concreto adecuada usando materiales y equipos disponibles en el mercado local.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Diseñar una mezcladora de capacidad media de concreto para losas de viviendas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar el tipo de mezcladora a ser diseñada.
- Diseñar sistemas y componentes mecánicos de la mezcladora.
- Seleccionar sistemas y componentes de la mezcladora.
- Desarrollar planos de construcción.
- Determinar costo de producción del equipo.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Diseño de concreto

El concreto es un material de construcción muy resistente. Es el producto de mezclar cemento con agregados (arena y piedra) y la cantidad adecuada de agua; de tal manera que se forme una mezcla homogénea que sea fácil de trabajar. (Swift & Crosswell, 2007)

El desempeño del concreto es determinado por su composición, condiciones de curado, modo de mezclado y condiciones de mezclado. Donde dichas condiciones vienen dadas por el tipo de mezcladora, el orden de introducción del cemento y sus agregados, entre otros. (Ferraris, 2001)

El diseño de concreto es la determinación requerida y específica de las características del concreto. Dichas características pueden ser: propiedades del concreto fresco, propiedades mecánicas como resistencia y durabilidad, y exclusión, inclusión de componentes específicos. Por lo cual el diseño de la mezcla de concreto lleva al desarrollo de las especificaciones del mismo. (Department of Civil Engineering, 2003)

Dependiendo del uso del concreto, éste necesitará un desempeño diferente, tanto la norma ACI 302.1R-96³, y ASTM C 94⁴, son guías que permiten diseñar concreto tomando en cuenta su funcionalidad, factores medioambientales, compuestos, modo de mezclado, entre otros. Entre los parámetros para el diseño de concreto están la resistencia, espesor mínimo, revenimiento, contenido de aire y aditivos como se puede ver en la Tabla 1-1.

³ Guide for Concrete Floor and Slab Construction, Committee 302

⁴ Specification for Ready-Mix Concrete, 2003

Tabla 1.1. Parámetros del Concreto

Concrete Parameters					
Class		28-Day Compressive Strength	Suggested Minimum Thickness	Slump	Admixtures
ACI Reference		Table 6.1 psi (Mpa)	ACI 360 Inch (mm)	Table 6.1 Inch (mm)	Sections 5.7
1	Light Foot/Residential	3000 (20.7)	4" (102)	5" (127)	All types
2	Foot/Offices, etc.	3000 (20.7)	4" (102)	5" (127)	All types
3	Foot, Pneumatic Wheel Exterior Walks & Drives	3000 (20.7)	4" (102)	5" (127)	All types
4	Foot & Light Vehicular Commercial	3500 (24.1)	5" (127)	5" (127)	All types
5	Industrial Pneumatic Traffic	3500 (24.1)	5" (127)	5" (127)	All types
6	Industrial Hard Wheel Traffic	3500 (24.1)	6" (152)	5" (127)	Non-chloride with metallic-finishes
7	Base	3500 (24.1)	5" (127)	5" (127)	Non-chloride with metallic-finishes
	Topping	5000 (34.5)	3/4" (19)		
8	Topping	4000 (27.6)	2 1/2" (63)	5" (127)	Varies
9	Superflat	4000 (27.6)	5" (127)	5" (127)	All types

Fuente: ACI, 2008

1.3.1.1 Concreto para losas

El concreto para losas es un concreto de resistencia media con un valor promedio de 25 MPa, donde se utilizan los siguientes componentes (AfriSam, 2008):

- Cemento Portland tipo I
- Arena gruesa
- Piedra (máximo 25.4 mm)

El cálculo de la cantidad de compuestos para el hormigón se lo puede hacer en base a su masa y entonces se expresa en volumen tomando en cuenta la angulosidad de la piedra y humedad de los compuestos.

Con los agregados disponibles en Ecuador, la cantidad necesaria de compuesto para el concreto de diferentes resistencias se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Cantidad de Compuestos para Mezclar Un Saco de Cemento

Resistencia (MPa)	Cemento (1 saco ⁵)	Arena (kg)	Piedra (kg)	Medida Max (in)	Parihuela Arena ⁶ (U)	Parihuela Piedra ⁷ (U)
14	1	0.72	0.13	3/4"	2	4
21	1	0.07	0.11	3/4"	2	3
24	1	0.05	0.10	3/4"	2	3
25	1	0.05	0.10	1"	2	3
28	1	0.04	0.08	1"	1	2

Fuente: LAMSCO Consultora, 2013

Elaboración: Propia

Las losas indicadas anteriormente tienen un espesor de 0.20 m, y presentan elementos estructurales. Debido a sus características el volumen necesario, por metro cuadrado de loza, es de 0.08 m³ de concreto. (American Concrete Institute, 2008)

1.3.2 Mezclado de concreto

El concreto es una mezcla que debe presentar una apariencia uniforme, con todos sus ingredientes distribuidos de igual manera. Debido a la angulosidad de la piedra como a la humedad de la arena el volumen final del concreto es menor a la suma de sus componentes. (ASTM, 2003), (Department of Civil Engineering, 2003)

⁵ Un saco de cemento portland tipo I tiene una masa de 50 kg

⁶ Usar parihuela con las siguientes dimensiones 0.35cm x 0.35cm x 0.21cm

⁷ Usar parihuela con las siguientes dimensiones 0.35cm x 0.35cm x 0.27cm

Para afrontar el problema de homogeneidad, las mezcladoras de concreto no deben ser sobre cargadas de su capacidad límite ni operar a velocidad diferentes a las recomendadas. (Edil Lame, 2015)

1.3.3 Mezcladoras de concreto

El uso de maquinaria ha permitido producir concreto por un método más confiable que a mano, además disminuye tiempos del proceso. Las mezcladoras se han desarrollado a lo largo del tiempo acorde al avance tecnológico de materiales, sistemas de transmisiones de potencia y sistemas de control. (ISO, 2004), (Ferraris, 2001)

Una mezcladora de concreto es una máquina que por medio movimiento rotatorio puede mezclar concreto. El mezclado puede ser llevado a cabo por medio de un árbol para transmisión con aletas o por medio de un balde con aletas a su alrededor, esto dependerá de la cantidad que se desee mezclar como también de las características del material. (Turley, 1913)

1.3.4 Tipos de Mezcladoras

De acuerdo a su tipo de producción son: tipo batch o tipo continua. Las de tipo batch, producen concreto de manera discreta, mientras que las de tipos continua producen un flujo constante de concreto. Su descarga de concreto, tanto en las de tipo batch como en las continuas, puede ser por gravedad o forzada. (Swift & Crosswell, 2007)

También se las puede clasificar por la posición del tambor al mezclar: no basculante, reversible y basculante. (Ferraris, 2001)

Un camión mezcladora entra en la categoría de mezcladora no basculante, reversible, debido a que solo cuenta con una abertura y el operador decide cuando cambiar de dirección para empezar la descarga. (Ferraris, 2001)

La selección de un tipo de mezcladora u otra, dependerá primordialmente del volumen que se dese mezclar, la Tabla 1.3, muestra el tipo de

mezcladora y su rango de volumen para mezclar (Indian Standards Institution, 2005).

Tabla 1.3. Tipos de Mezcladoras

Denominación	Tipo	Descarga	V. Mín. (litros)	V. Máx. (litros)
Basculante	Batch	Gravedad	100	200
No Basculante	Batch/continua	Forzada	500	9000
Reversible	Batch	Forzada	200	1000

Fuente: Indian Standards, 2005

Elaboración: Propia

1.3.5 Mezcladora Basculante

Una mezcladora basculante cuenta con una sola abertura tanto para la carga de compuestos como la descarga de concreto. Presenta dos grados de libertad ya que puede rotar en un eje perpendicular al piso y también puede girar formando diferentes ángulos con el piso. (Turley, 1913)

Utiliza piñones cónicos hechos fundición de hierro, para la transmisión de potencia al tambor; la carga de compuestos se realiza de manera manual, mientras que para la descarga se voltea el tanque para que el concreto caiga sobre una carretilla. La potencia es generada por un motor a diésel, gasolina o eléctrico. (Ferraris, 2001)

Para su movilización dispone de un árbol de transmisión donde están dispuesta un par de llantas, además de una barra de remolque. Dicha barra puede ser conectada a una camioneta, u otro vehículo, para su transporte hacia diferentes locaciones.

1.3.6 Mezcladora no Basculante

La mezcladora basculante puede ser un camión mezclador o una mezcladora con eje horizontal.

El camión mezclador cuenta con una sola abertura para carga y descarga de material, y presenta una capacidad mínima de 8 m³. La carga se realiza

por medio de tolvas, y el mezclado se lo realiza en el transcurso del camino. Para la descarga se cambia el sentido de rotación del tambor. Sus aletas forman el perfil de un tornillo sin fin dentro del tambor, lo cual permite con el cambio de giro la descarga de concreto. La fuente de poder es un motor eléctrico o motor diésel, en cualquiera de los dos casos se usa una bomba hidráulica y motor hidráulico para realizar el cambio de giro. (Indian Standards Institution, 2004)

Una mezcladora de eje horizontal, mezcla por medio de aletas sujetadas a un eje que va a lo largo del tambor. Tiene dos aberturas, una en la parte superior por donde se introduce los compuestos, y una compuerta inferior por donde se descarga el concreto. Usualmente se las utiliza para plantas de concreto debido a su capacidad, por lo que no cuentan con un chasis para movilizarlas. (Ferraris, 2001)

1.3.7 Mezcladora reversible

Es una mezcladora de producción por batch y descarga forzada. Para poder mezclar cuenta con aletas distribuidas en el perímetro de su tambor como un tornillo sin fin. Se la denomina reversible porque, para descargar el concreto la dirección de rotación del tambor debe cambiar. Debido su capacidad volumétrica de mezclado, se utiliza un alimentador accionado usualmente por un cilindro oleo-hidráulico. (Indian Standards Institution, 2005)

Para mezcladoras reversibles la velocidad de mezclado mínima de 6 rpm y máxima de 25 rpm. (Department of Civil Engineering, 2003)

La Figura 1.1 muestra los sistemas básicos de una mezcladora reversible, sin embargo, el diseñador puede modificar el diseño:

1. **Chasis**, estructura que soporta el tambor junto con los sistemas necesarios para su funcionamiento.
2. **Tambor**, lugar donde se deposita cemento, agregados, agua y aditivos. Cuenta con aspas para poder mezclar hormigón.

3. **Sistema de Transmisión de Potencia**, se refiere al conjunto motriz que permite la rotación del tambor.
4. **Pala mecánica**, mecanismo que permite cargar cemento y agregados hacia el tambor.
5. **Panel de control**, sistema que permite controlar la operación de la mezcladora.
6. **Sistema de elevación**, son los componentes necesarios para el movimiento de la pala mecánica.
7. **Motor**, equipo que suministra la potencia necesaria a la mezcladora para realizar sus operaciones.
8. **Llantas**, permite a la mezcladora desplazarse de un lugar a otro.
9. **Barra de remolque**, es el punto a donde se ajusta un remolque para su movilización.

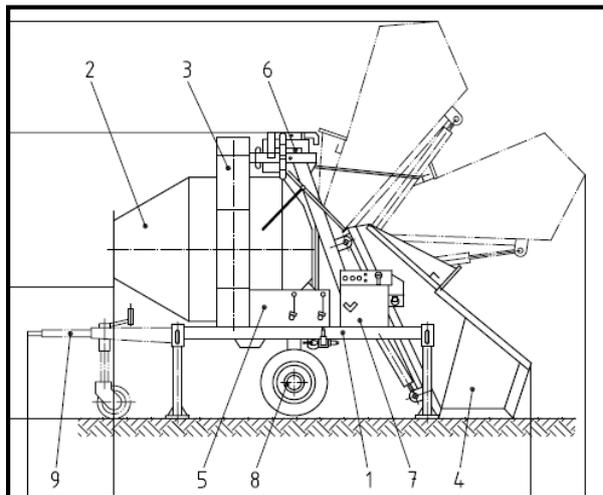


Figura 1.1 Partes de Mezcladora Reversible

Fuente: ISO 18650-1, 2004.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Una mezcladora competitiva para el mercado nacional debe satisfacer las necesidades de los contratistas, ya que ellos son quienes están involucrados con la producción de concreto.

El diseño de la misma debe enfocarse en su facilidad de construcción, mantenimiento y operación, sin dejar de lado la parte económica.

Esto empieza con la conversión de requerimientos por parte del mercado a especificaciones técnicas sobre las cuales se fundamenta el diseño de la mezcladora. Se analizaron las funciones de una mezcladora y la manera de cumplir dichas funciones, para esto se realizó la descomposición funcional y una tabla morfológica. Como resultado se generó una matriz de decisión que permitió seleccionar el tipo de mezcladora adecuada para el medio.

Entonces, se procedió con el diseño de forma, donde se realizó el dimensionamiento de los sistemas y equipos de la mezcladora de manera iterativa para llegar a la solución más rentable.

La Figura 2.1 es una descripción de las actividades realizadas del proceso metodológico usado. Presenta una parte conceptual, donde se recopila información y evalúa conceptos; y una parte de desarrollo del diseño en la cual se realizan los procedimientos de diseño.

Al final se evaluó la factibilidad del proyecto por medio del costo de manufactura de la mezcladora. Para lo cual se realizó un presupuesto tomando en cuenta materiales, mano de obra y herramientas.

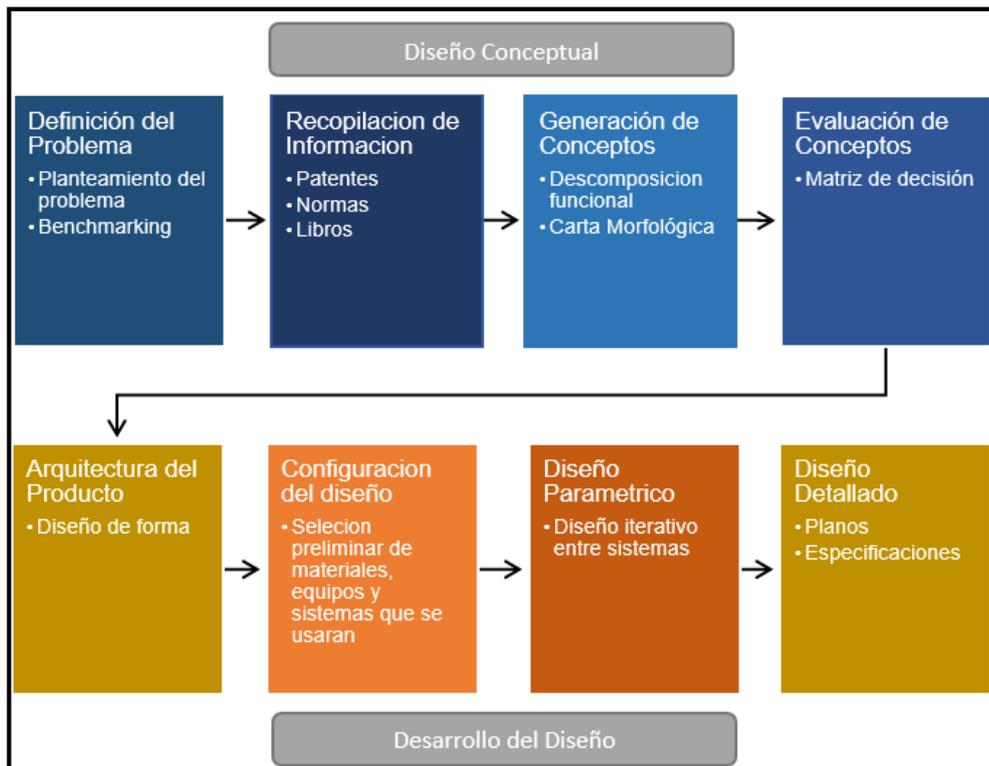


Figura 2.1 Metodología de Diseño

Elaboración: Propia

2.1 Descomposición Funcional

Para entender de mejor manera el concepto de una mezcladora se ha descrito las funciones que debe cumplir, entonces las mismas se analizaron tomando en cuenta parámetros como precio, disponibilidad en el mercado, facilidad de maquinado, entre otros.

La descomposición funcional ha permitido identificar cuáles son los sistemas relevantes en el diseño de la mezcladora.

De esta manera, las funciones o sistemas de una mezcladora son:

- Sistema de mezclado
- Sistema de alimentación
- Sistema de descarga
- Sistema de movilización
- Sistema de transmisión de potencia

2.1.1 Sistema de mezclado

El sistema de mezclado se refiere a como se realiza el mezclado dentro del tambor. Esto es, por medio de aletas sujetas al tambor o por medio de un eje con aletas. (Turley, 1913)

La Tabla 2.1 muestra los diferentes tipos de sistemas de mezclados que se utilizan para las mezcladoras.

Tabla 2.1. Tipos de Sistema de Mezclado

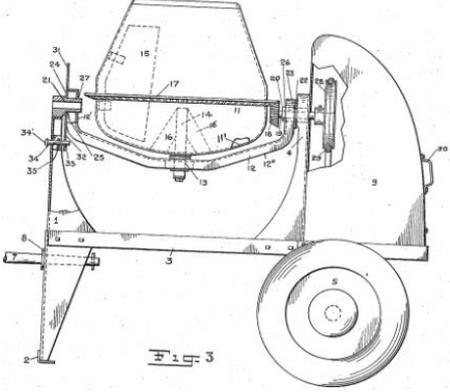
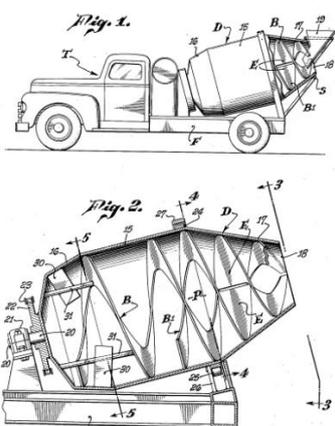
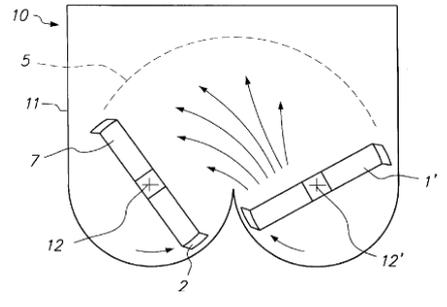
Tipo de aleta	Descripción	Imagen
Aletas rectas	<p>Utilizadas en las mezcladoras basculantes, están soldadas alrededor de su tambor. Debido a la inclinación del tambor en el mezclado son rectas, y usualmente se colocan tres en un tambor a 120°. (United States Patente n° US2453583 A, 1946)</p>	
Aleta helicoidal	<p>Una aleta helicoidal permite controlar la dirección del concreto a lo largo del tambor. El número de aletas depende de la rapidez con la que se dese expulsar el concreto del tambor. Usualmente se utilizan dos aletas desfasadas 180°. Se las utiliza en mezcladoras de eje horizontal, camiones mezcladores y mezcladoras reversibles. (United States Patente n° US2618472 A, 1950)</p>	

Tabla 2.1. Tipos de Sistema de Mezclado

Tipo de aleta	Descripción	Imagen
Aletas sobre árbol de transmisión	Las aletas pueden montarse sobre un árbol de transmisión. Se pueden montar aletas rectas o helicoidales, dependiendo del material que se mezcle. (United States Patente nº US5984520 A, 1999)	

Elaboración: Propia

2.1.2 Sistema de alimentación

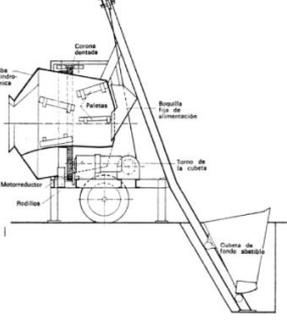
Es la manera en la que los compuestos son vertidos hacia el interior del tambor. Esto puede ser de manera manual como en las mezcladoras basculantes, por medio de tolvas en el caso de mezcladoras no basculantes y camión mezclador, o por medio de brazos hidráulicos o poleas para las mezcladoras reversibles. (Indian Standards Institution, 2004)

La Tabla 2.2 muestra los diferentes sistemas de alimentación que pueden ser empleados en las mezcladoras.

Tabla 2.2. Tipos de Sistema de Alimentación

Sistema de Alimentación	Descripción	Imagen
Manual	Para la alimentación en mezcladores basculantes de baja capacidad. El operario por medio de parihuelas vierte los agregados, cemento y agua hacia el interior del tambor. (Holcim Ecuador S.A., 2014)	

Tabla 2.2. Tipos de Sistema de Alimentación

Sistema de Alimentación	Descripción	Imagen
Sistema Hidráulico	Para mezcladoras de capacidad media y alta, usualmente se utiliza un pistón hidráulico para mover la cuchara de alimentación. El pistón es accionado por una bomba hidráulica. (Indian Standards Institution, 2005)	
Sistemas de poleas	Por medio de una polea motriz y una polea conducida se sube la tolva de alimentación. Para subir y bajar la tolva se utiliza un motor hidráulico, junto con un reductor de velocidades. (Indian Standards Institution, 2005)	
Tolvas	Para cargar un camión mezclador se debe contar con una planta de hormigón. Como parte de esta planta se cuenta con un sistema de tolvas por donde se dosifican los compuestos necesarios para el concreto. (ISO, 2004)	

Elaboración: Propia

2.1.3 Sistema de descarga

La descarga de concreto puede realizarse por gravedad o de manera forzada. Por gravedad se debe al peso del propio concreto sin realizar cambios en rotación o diseño de aletas; mientras que de manera forzada se utiliza algún mecanismo para expulsar el concreto del tambor. (Ver Tabla 2.3)

Tabla 2.3. Tipos de Sistema de Descarga

Sistema de Descarga	Descripción	Imagen
Gravedad	Se debe al peso del concreto, común para las mezcladoras de baja capacidad como las basculantes y la horizontal. (United States Patente nº US2453583 A, 1946)	
Forzada	Se utiliza algún mecanismo o se diseñan aletas helicoidales para descargar el concreto, esto es, el caso de las mezcladoras inversas, camiones mezcladores. Para realizar la descarga en estos casos se debe invertir la dirección de rotación del tambor. (United States Patente nº US5984520 A, 1999)	

Elaboración: Propia

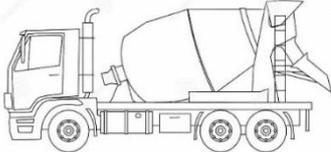
2.1.4 Sistema de movilización

La Tabla 2.4 muestra los sistemas utilizados para la movilización de mezcladoras. Se las puede remolcar por medio de la barra de remolque, o se la puede movilizar por medio de una plataforma. Esto depende del volumen de la mezcladora como de su peso. (ISO, 2004)

Tabla 2.4. Tipos de Sistema de Movilización

Sistema de Movilización	Descripción	Imagen
Barra de remolque	Las mezcladoras cuentan con ruedas y una barra de remolque. Las ruedas estas sujetas al chasis, y la barra de remolque puede ubicarse en la parte frontal o posterior. (Indian Standards Institution, 2005)	

Tabla 2.4. Tipos de Sistema de Movilización

Sistema de Movilización	Descripción	Imagen
Plataforma	Las mezcladoras que no cuenten en el chasis con un árbol de transmisión para acoplar llantas para su movilización utilizan plataformas de cama baja o alta. (ISO, 2004)	
Camión mezclador	Los camiones mezcladores, para su movilización utilizan un camión sobre el cual se sujeta la mezcladora. (Indian Standards Institution, 2004)	

Elaboración: Propia

2.1.5 Sistema de transmisión de potencia

Las mezcladoras pueden utilizar cadenas o piñones para la transmisión de potencia, que llegan al elemento donde se efectúa la operación de mezclado como se puede ver en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Tipos de Transmisión de Potencia

Sistema de Movilización	Descripción	Imagen
Transmisión por cadena-piñón	Se utiliza en mezcladoras de eje horizontal, debido a su facilidad de montaje, facilidad de mantenimiento. Su lubricación es por medio de grasa tanto en los piñones como en la cadena. (Indian Standards Institution, 2005)	
Piñones cónicos	Se utilizan dos piñones cónicos, usualmente de fundición de hierro gris. Debido al número de dientes la relación de velocidad es alta. Su aplicación en las concretaras basculantes es generalizada. (Turley, 1913)	

Tabla 2.5. Tipos de Transmisión de Potencia

Sistema de Movilización	Descripción	Imagen
Gear Pin Drive	Es un tipo de cadena desarrollada para trabajar sobre superficies cilíndricas donde el elemento motriz es un piñón. A diferencia del sistema cadena piñón, solo se necesita un piñón. (Tsubaki Chain Co, 2013)	

Elaboración: Propia

2.2 Tabla Morfológica

La Tabla 2.6 muestra las posibles opciones para el diseño de una mezcladora utilizando los sistemas mencionados en la sección anterior. Se describe ventajas y desventajas, en el aspecto de manufactura y montaje, de cada uno de los sistemas.

Tabla 2.6. Tabla Morfológica

Sistema	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Mezclado	<p><u>Aletas rectas</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Facilidad para manufacturar, instalar y cambiar <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Si una falla, el mezclado no es adecuado 	<p><u>Aleta helicoidal</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Permite expulsar o no el concreto del tambor <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Dificultad en instalación 	<p><u>Aletas sobre árbol de transmisión</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Facilidad para manufacturar, instalar y cambiar <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Exceder la capacidad del tambor puede deformar árbol de transmisión 	N.A.
Alimentación	<p><u>Manual</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> No utiliza mecanismos <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> No es segura para los operadores 	<p><u>Sistema Hidráulico</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aumenta la capacidad de carga <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Selección inadecuada de caudal y/o presión puede ser riesgoso para operarios 	<p><u>Sistema de poleas</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aumenta la capacidad de carga <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Un mal mantenimiento a las bandas puede ocasionar accidentes 	<p><u>Tolvas</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Control sobre la dosificación <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Alto costo de inversión
Descarga	<p><u>Gravedad</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> No implica un nuevo sistema <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> No se puede controlar la cantidad de concreto descargado 	<p><u>Forzada</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Permite control sobre la descarga <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Implica un nuevo sistema mecánico 	N.A.	N.A.

Tabla 2.6. Tabla Morfológica

Sistema	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Movilización	<p><u>Barra Remolque</u></p> <p>Pro</p> <ul style="list-style-type: none"> Fácil montaje <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mal diseño genera pandeo o falla de barra 	<p><u>Plataforma</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Permite llevar mezclador de gran capacidad <p>Contra</p> <ul style="list-style-type: none"> Costo elevado 	<p><u>Camión Mezcladora</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> No se debe buscar rutas debido a la altura de la mezcladora <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Costo elevado 	N.A.
Transmisión de Potencia	<p><u>Cadena – Piñón</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ideal para gran transmisión de torque <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Debe contar con buena lubricación 	<p><u>Piñones Cónicos</u></p> <p>Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fácil montaje <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Genera ruido excesivo 	<p><u>Gear Pin Drive</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Fácil montaje, ideal para transmisión de torque Ruido moderado <p>Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> Tecnología no extendida 	N.A.

Elaboración: Propia

2.3 Matriz de decisión

La matriz de decisión muestra cualitativamente la ponderación de las opciones de los sistemas de una mezcladora. Los criterios que se han tomado en cuenta son: manufactura, costo, mantenimiento y ergonomía del operador. La ponderación de cada uno se basa en especificaciones del mercado y experiencia de los diseñadores.

Los sistemas son evaluados para cada uno de las opciones, utilizando escala de 0 a 3, siendo 0 No Aplica, 1 costoso o complicado, 2 moderado y 3 económico o fácil. Esto se puede observar en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Matriz de Decisión

Opciones*	Criterios				Total
	Manufactura 40	Costo 35	Mantenimiento 15	Ergonomía Operador 10	
Sistema Mezclado					
Aletas rectas	2	2	2	0	180
Aleta helicoidal	2	2	2	0	180
Aletas en árbol de transmisión	2	2	2	0	180
Sistema Alimentación					
Manual	0	2	0	1	80
Sist. Hidráulico	3	2	2	3	250
Sist. Poleas	2	2	2	3	210
Tolvas	1	1	2	3	135
Sistema Descarga					
Gravedad	3	3	2	1	265
Forzada	3	2	3	3	265

Tabla 2.7. Matriz de Decisión

Opciones*	Criterios				Total
	Manufactura 40	Costo 35	Mantenimiento 15	Ergonomía Operador 10	
Sistema Movilización					
Barra remolque	3	3	3	2	290
Plataforma	2	1	3	3	190
Camión Mezcladora	0	1	2	0	65
Sist. Transmisión de Potencia					
Cadena – Piñón	3	2	2	0	220
Piñones cónicos	3	2	2	0	220
Gear Pin Drive	3	2	3	0	235

Nota: *0 No Aplica, 1 Costoso o complicado, 2 Moderado, 3 Económico o fácil

Elaboración: Propia

Para el presente documento se han diseñado los componentes de los sistemas antes mencionados, excepto el árbol de transmisión para las llantas, en este caso se usará un árbol de transmisión existente diseñado por Prodecon, tampoco se ha diseñado la pala alimentadora (dimensionamiento de pala) sino que se ha utilizado una pala ya existente, ni las aletas de mezclado. Para el diseño de los demás sistemas se ha utilizado normas, catálogos y software de análisis.

A continuación, se explica el proceso de diseño que se ha seguido, para lo cual se exponen las diferentes fórmulas, parámetros, tablas, normas entre otros, que se han utilizado para la elaboración de este documento. Los resultados se muestran en la sección 3.

2.4 Metodología del Diseño Mecánico

Por medio de la matriz de decisión se concluye que la opción más factible es una mezcladora reversible que cuentan con un sistema hidráulico de alimentación, transmisión de potencia por medio del sistema Gear Pin Drive y un chasis con llantas para su movilización.

El diseño mecánico de la mezcladora comprende el diseño y selección de: tambor, chasis, juntas, selección de cadena (Gear-Pin) y rodamientos.

El desarrollo del diseño de un sistema no es independiente de los demás sistemas de la mezcladora, por lo cual será un proceso iterativo para llegar a la solución más factible.

2.4.1 Diseño de tambor de mezclado

El tambor es la parte más importante ya que ahí se realiza el mezclado del concreto, y su dimensionamiento se basa en las especificaciones del concreto.

La Tabla 2.8 y 2.9 muestra las características que debe cumplir el tambor, los cuales han sido tomados de normas y catálogos.

Tabla 2.8. Restricciones para Diseño de Tambor

Componente	Restricción	Descripción
Volumen	$V_{min} > 1.25 V_{nom}$	El tambor debe tener por lo menos 1.25 veces el valor nominal del tambor. (Indian Standards Institution, 2004)
Velocidad	$V_p \leq 80 \text{ m/min}$	La velocidad periférica del tambor debe ser menor a 80 m/min. (Tsubaki Chain Co, 2013)
Velocidad de mezclado	$\omega = 15 \text{ rpm}$	Velocidad promedio para mezclado de concreto. (Holcim Ecuador S.A., 2014)

Elaboración: Propia

Donde:

V_{min} : Volumen mínimo de tambor

V_{nom} : Volumen nominal del tambor

V_p : Velocidad en la periferia externa del tambor

ω : Velocidad angular del tambor

Tabla 2.9. Espesor mínimo para secciones de tambor

Volumen de mezclador (L)	Espesor del tambor (mm)	Espesor de aspa/aleta (mm)
200	5	5
280	8	8
375	8	8
500	8	8
1000	12	12

Fuente: IS 1791-1985, 2005

Primero se determinó el diámetro mínimo del tambor modelándolo como un cilindro sólido. Utilizando las formula básica de volumen junto con un factor de capacidad, como la fórmula de velocidad tangencial como función de la rapidez angular:

$$D_i = \sqrt{1.25 \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot l}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$V_{od} = \omega \cdot D_{od} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$D_{od} = D_i + 2 \cdot e \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

D_i : Diámetro interno del cilindro del tambor

l : Largo del tambor⁸

e : Espesor del tambor

Con el diámetro mínimo, se utiliza un modelo que describe el comportamiento del concreto dentro de un tambor en funcionamiento, como se puede observar en la Figura 2.2.

⁸ La iteración empieza con la longitud de 1.2 m, lo cual es el largo de una plancha de acero estándar.

Dicho modelo indica que el concreto forma un ángulo de 40° respecto a la horizontal y tiene una distribución uniforme a lo largo del eje del tambor; a partir de este modelo por medio de Autodesk Inventor se determina: diámetro del tambor, volumen, masa y centro de gravedad.

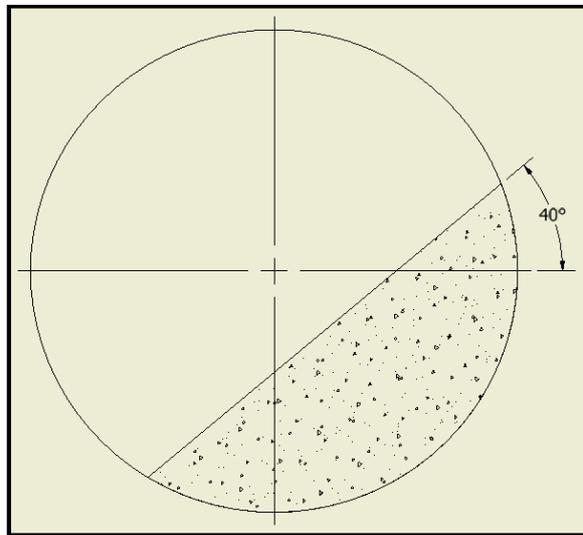


Figura 2.2 Modelo de concreto dentro de mezcladora

Fuente: Caibe, 2012

El diámetro que se obtuvo satisface la condición de velocidad tangencial descrita en la Tabla 2.2.

Cumplidas las condiciones de las Tablas 2.8 y 2.9, se determinó el peso y el centro de gravedad del volumen de concreto mediante las formulas y el software Autodesk Inventor:

$$W_c = \rho \cdot V \cdot g \quad \text{Ecuación 4}$$

$$C = \sqrt{c_x^2 + c_y^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

W_c : Peso de concreto

g : Aceleración de la gravedad

C : Centro de gravedad respecto a plano x-y

2.4.2 Selección de cadena (Gear-Pin)

El diseño de cadena tipo Gear-Pin, se refiere a la selección de la cadena y piñón correspondientes; los cuales dependen del diámetro, relación de velocidad, centro de gravedad del concreto, fricción, tipo de operación, entre otros.

A continuación, se describen las formulas necesarias para la selección de la cadena y piñón para la transmisión de potencia (Tsubaki Chain Co, 2013), el procedimiento de cálculo se encuentra en el Apéndice A:

$$I_t = M_t \left(\frac{D_d}{2000} \right)^2 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$T_a = \frac{\pi \cdot I_t \cdot n_2}{30000 \cdot t} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$T_f = \frac{1.15 \cdot 9.8}{2 \cdot 10^6} \cdot M_t \cdot (\mu_s + \mu_r) \cdot D_s \quad \text{Ecuación 8}$$

$$T_g = \frac{F_g \cdot R_g}{1000} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$T_w = T_a + T_f + T_g \quad \text{Ecuación 10}$$

$$F_w = \frac{2000 \cdot T_w}{D_{pw}} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$V_e = \frac{\pi}{1000} \cdot D_{pw} \cdot n_2 \quad \text{Ecuación 12}$$

$$F_t = K_s \cdot K_v \cdot F_w \quad \text{Ecuación 13}$$

$$N_{t1} = \frac{D_a \cdot \pi}{P} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$i = \frac{N_{t2}}{N_{t1}} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$P_w = \frac{\pi}{30} \cdot T_w \cdot n_2 \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

D_d : Diámetro medio del tambor [mm]

M_t : Masa total [kg]

n_2 : Velocidad angular del tambor [rpm]

D_s : Diámetro de rodillo de apoyo [mm]

μ_s :	Coeficiente de fricción de rodamientos [-]
μ_r :	Coeficiente de fricción tambor-rodillo [-]
F_g :	Peso total [kN]
R_g :	Centro de gravedad [mm]
t :	Tiempo de aceleración y desaceleración[mm]
I_t :	Inercia de la masa total [kg.m ²]
T_a :	Torque de aceleración y desaceleración [kN.m]
T_f :	Torque debido a fricción [kN.m]
T_g :	Torque debido al peso [kN.m]
T_w :	Torque total de trabajo [kN.m]
F_w :	Carga tangencial [kN]
V_e :	Velocidad tangencial [mm]
K_s :	Factor de servicio [-]
K_v :	Factor de carga [-]
F_t :	Carga tangencial corregida [kN]
F_p :	Carga permisible [kN]
P :	Paso [mm]
N_{t1} :	Número de dientes-piñón [-]
N_{t2} :	Número de rodillos [-]
D_a :	Diámetro aproximado del piñón [mm]
D_{pw} :	Diámetro de cadena [mm]
n_1 :	Velocidad angular piñón
P_w :	Potencia requerida

Al determinar la carga tangencial corregida se puede buscar la cadena utilizando las Figuras 2.3 y 2.4. De esta manera se determina la carga máxima permitida, número de rodillos, número de segmentos y diámetro de paso de la cadena.

Pitch** mm	Standard Series (steel)			S Series (stainless steel)		
	Frame model	Allowable Tangential Load Fp (kN)	Backlash (Ref.)**2	Frame model	Allowable Tangential Load Fp (kN)	Backlash (Ref.)**2
20	PDU20	4.7	0.26 ~ 0.47	PDUS20	0.8	0.26 ~ 0.47
22	PDU22	7.7	0.32 ~ 0.57	PDUS22	1.1	0.32 ~ 0.57
30	PDU30	12.8	0.32 ~ 0.66	PDUS30	1.9	0.32 ~ 0.67
35	PDU35	19.5	0.33 ~ 0.88	PDUS35	2.6	0.33 ~ 0.88
40	PDU40	27.3	0.41 ~ 0.86	PDUS40	4.1	0.41 ~ 0.86
50	PDU50	31.7	0.53 ~ 0.98	PDUS50	5.1	0.53 ~ 1.08
55	PDU55	52.9	0.61 ~ 1.06	PDUS55	7.0	0.61 ~ 1.26
70	PDU70	60.7	0.86 ~ 1.24	PDUS70	9.9	0.86 ~ 1.61
80	PDU80	71.5	0.89 ~ 1.20	PDUS80	12.0	0.89 ~ 1.74
90	PDU90	98.9	0.97 ~ 1.42	PDUS90	16.8	0.97 ~ 1.92
120	PDU120	122.5	1.30 ~ 1.57	—	—	—
Allowable Speed	Tangential speed: 50m/min					
Operating Environment	Indoors (no contact with water)			Corrosive environments		
Operating Temperature	-10°C to 150°C			-20°C to 400°C		
Material	Frame	Rolled steel		Frame	Austenitic stainless steel	
	Bush/roller	Alloy steel		Bush/roller	Precipitation hardened stainless steel, others	
	Pin gear	Carbon steel		Pin gear	Austenitic stainless steel, others	

1: The pin wheel pitch is a circular pitch.
2: The amount of backlash (mm) above is a calculated value and not a guaranteed value. The amount of backlash may fluctuate with wear on the pin gear drive unit and pin gear.

Figura 2.3 Carga Permissible para Cadenas

Fuente: Tsubaki Drive Chains & Sprockets, 2013

Elaboración: Tsubaki

Frame model	PDU35 (Standard Series) PDUS35 (S Series)				PDU40 (Standard Series) PDUS40 (S Series)				PDU50 (Standard Series) PDUS50 (S Series)			
	Specifications	Circular pitch P		35		Circular pitch P		40		Circular pitch P		50
Roller diameter ϕd		19.05		Roller diameter ϕd		22.23		Roller diameter ϕd		25.4		
Total width Lw		Standard : 40 S : 34		Total width Lw		Standard : 46 S : 44		Total width Lw		Standard : 52 S : 46		
Inner width W		22		Inner width W		28		Inner width W		28		
Frame thickness T		Standard : 9 S : 6		Frame thickness T		Standard : 9 S : 8		Frame thickness T		Standard : 12 S : 9		
Mounting hole ϕdm		9		Mounting hole ϕdm		10.8		Mounting hole ϕdm		12.8		
Mounting bolt size		M8		Mounting bolt size		M10		Mounting bolt size		M12		
Number of Rollers NT	Number of Segments	Pitch Diameter Dpw	Outer Drive Dow	Inner Drive Diw	Number of Segments	Pitch Diameter Dpw	Outer Drive Dow	Inner Drive Diw	Number of Segments	Pitch Diameter Dpw	Outer Drive Dow	Inner Drive Diw
60	1	668.45	709	628	3	763.94	812	715	3	954.93	1010	899
70	3	779.86	820	739	4	891.27	940	843	4	1114.08	1170	1059
80	4	891.27	932	851	4	1018.59	1067	970	4	1273.24	1329	1218
90	4	1002.68	1043	962	5	1145.92	1194	1097	5	1432.39	1488	1377
100	5	1114.08	1155	1074	5	1273.24	1322	1225	5	1591.55	1647	1536
110	5	1225.49	1266	1185	6	1400.56	1449	1352	6	1750.70	1806	1695
120	6	1336.90	1377	1296	6	1527.89	1576	1479	6	1909.86	1965	1854
130	6	1448.31	1489	1408	7	1655.21	1704	1607	7	2069.01	2125	2014
140	6	1559.72	1600	1519	7	1782.54	1831	1734	7	2228.17	2284	2173
150	7	1671.13	1712	1631	8	1909.86	1958	1861	8	2387.32	2443	2332

Figura 2.4 Diámetro de cadenas

Fuente: Tsubaki Drive Chains & Sprockets, 2013

Elaboración: Tsubaki

Para determinar el piñón adecuado se planteó una relación de velocidad menor a 12, ya que por la característica del sistema gear-pin y el motor hidráulico seleccionado, es la máxima relación de velocidad que soporta el sistema. (Tsubaki Chain Co, 2013)

La Tabla 2.10, muestra una relación de compatibilidad indicada por el fabricante entre el número de dientes en el piñón y el número de rodillos en la cadena.

Tabla 2.10. Relación entre Piñón y Cadena

No. de Dientes	Número de Rodillos de Cadena						
	60	70	80	100	150	200	250
11	O ⁹	O	O	O	X ¹⁰	X	X
12	O	O	O	O	O	X	X
13	O	O	O	O	O	O	X
14	O	O	O	O	O	O	O
15	O	O	O	O	O	O	O
16	O	O	O	O	O	O	O
20	O	O	O	O	O	O	O
21	O	O	O	O	O	O	O
22	O	O	O	O	O	O	O

Fuente: Tsubaki Drive Chains & Sprockets, 2013

Elaboración: Propia

La Figura 2.5 muestra las dimensiones características de los piñones disponibles. Estas dimensiones son importantes para la ubicación de los mismos sobre el árbol de transmisión.

Para finalizar la selección se debe identificar cual es la relación de velocidad final, tomando en cuenta el número de dientes del piñón y número de rodillos de la cadena. Esta relación se la debe tener presente en la selección de motor hidráulico y diseño de sistema ole-hidráulico.

⁹ Permissible

¹⁰ No permitida por falta de alineamiento

Frame No.	PDU (S) 40					PDU (S) 50					PDU (S) 55				
	Pitch P		40			Pitch P		50			Pitch P		55		
	Roller dia. (ref.)		22.23			Roller dia. (ref.)		25.4			Roller dia. (ref.)		28.58		
	Tooth width T		24			Tooth width T		24			Tooth width T		30		
No. of Teeth NT	Pitch Dia. Da	Outer Dia. Do	Pilot Bore Dia. d	Hub Dia. DH	Hub Length LH	Pitch Dia. Da	Outer Dia. Do	Pilot Bore Dia. d	Hub Dia. DH	Hub Length LH	Pitch Dia. Da	Outer Dia. Do	Pilot Bore Dia. d	Hub Dia. DH	Hub Length LH
11	145.66	174	28	90	80	181.47	214	33	100	90	200.18	237	33	120	140
12	157.79	186	28	100	90	196.59	229	33	110	100	216.08	253	33	135	140
14	182.65	211	28	120	100	227.62	260	33	130	110	250.30	287	33	160	140
16	207.72	236	33	120	100	259.05	292	33	140	120	284.91	322	33	170	150
18	232.58	261	33	130	100	290.48	323	33	140	130	319.53	356	33	170	160
20	257.85	286	33	130	110	321.91	354	33	150	140	354.14	391	33	180	160
22	283.31	312	33	140	120	353.74	386	33	150	140	389.15	426	38	180	160
24	308.18	337	33	140	120	384.97	417	33	160	140	423.57	460	38	190	170

Figura 2.5 Especificaciones de piñón

Fuente: Tsubaki Drive Chains & Sprockets, 2013

Elaboración: Tsubaki

2.4.3 Diseño de Chasis

El chasis es la estructura donde se encuentran ubicados los diferentes equipos y sistema que conforman la mezcladora. Por lo cual, el chasis soporta la carga de: tambor, pala alimentadora, y demás componentes.

El diseño se basó en la selección de perfiles que puedan soportar la carga debido al peso del concreto en el tambor y pala.

Para el chasis, la carga crítica ocurre cuando el tambor está en operación. Es decir, su centro de gravedad no se encuentra sobre el eje del tambor, sino desplazado. Esto, debido a la rotación del tambor, pero a lo largo del tambor la distribución de la carga es uniforme.

El chasis cuenta con llantas dispuestas sobre el árbol de transmisión, además cuenta con cuatro apoyos ubicados en la parte frontal y posterior, los cuales serán apoyos por donde distribuya el peso del concreto hacia el piso; y en funcionamiento, no se podrán deslizar sobre el piso.

El tambor se apoya sobre cuatro (4) rodillos formando un ángulo de 45°, de los cuales dos (2) de ellos se encuentran en la parte frontal y los otros en la parte posterior.

La pala alimentadora también ejerce fuerza sobre el chasis y la condición crítica ocurre cuando la pala está a 50° sobre el piso, cuando empieza a descargar. La pala está articulada sobre una estructura triangular y es accionada por un cilindro hidráulico.

Para la selección de los perfiles se determinó las cargas sobre los mismos, donde las cargas más significativas son las del tambor y pala alimentadora.

La Tabla 2.11 muestra los modelos utilizados para determinar las cargas sobre el chasis y da una breve descripción del mismo.

Tabla 2.11. Modelo para vigas del Chasis

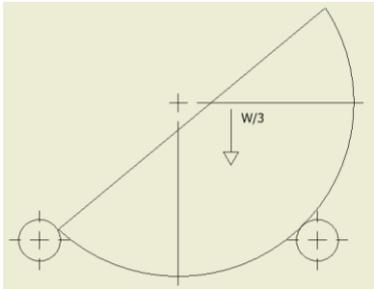
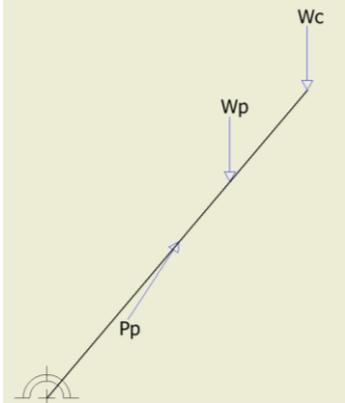
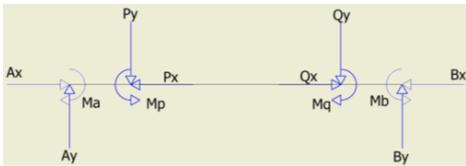
Parte	Modelo	Descripción
Tambor		El tambor descansa sobre cuatro cilindros dispuestos simétricamente. La carga no es simétrica en el plano perpendicular al piso, pero es uniforme a lo largo del tambor.
Pala alimentadora		La pala alimentadora o pala hidráulica soporta el peso del concreto como el de la pala. Es accionada por un cilindro hidráulico. La posición crítica se alcanza cuando la pala está a 50° sobre el piso.
Travesaño-tambor		Viga simplemente apoyada con cargas dispuestas de manera simétrica sobre la viga. Las cargas son debido al peso del concreto en el tambor.

Tabla 2.11. Modelo para vigas del Chasis

Parte	Modelo	Descripción
Soporte Pala Hidráulica		Estructura soldada en sus extremos, es decir sin grados de libertad. La fuerza aplicada se debe al peso de la pala. Existen dos soportes para la pala, la cual está articulada por medio de un tubo de acero y bocines.

Elaboración: Propia

De manera explicativa se desarrollan los cálculos para el dimensionamiento de un perfil del chasis en los anexos de este documento. (Ver Apéndice B)

El dimensionamiento de los demás perfiles ha utilizado Mechanical APDL V.15, como herramienta de diseño. El software permitió calcular las fuerzas sobre los elementos del chasis. A la vez que permitió evaluar diferentes parámetros en el diseño como tipo de perfil, dimensiones de perfiles, geometría del chasis, características del material, entre otros.

Los perfiles se seleccionaron basados en el modelo de falla estática para materiales dúctiles, para lo cual se utilizaron las siguientes formulas: (Shigley & Mischke, 1996)

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x\sigma_z + 3\tau_{xz}^2} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} \quad \text{Ecuación 19}$$

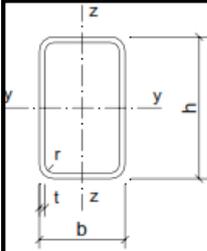
Donde:

- M*: Momento debido a la fuerza
- c*: Distancia a la fibra externa de perfil
- I*: Inercia del área transversal del perfil

- τ : Esfuerzo cortante
- σ : Esfuerzo axial
- $\sigma_{1,3}$: Esfuerzos principales
- σ' : Esfuerzo de von Mises
- S_y : Resistencia a la fluencia
- N : Factor de seguridad

Los perfiles que han sido utilizados, son aquellos que se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano. Para lo cual se ha utilizado el siguiente catálogo de perfiles de acero ASTM A-36.

Se probaron con diferentes secciones transversales y espesores mediante un proceso iterativo. Como parámetro de selección de un perfil se utilizó el factor de seguridad y la deformación debido a la carga. (Ver Figura 2.6)



Perfil	Dimensiones					Peso p (N/m)	Términos de sección									
	h (mm)	b (mm)	t (mm)	r (mm)	u (mm)		Eje Y				Eje Z			I_T (mm ⁴)	S_y (mm ³)	S_z (mm ³)
							A (mm ²)	I_y (mm ⁴)	W_y (mm ³)	i_y (mm)	I_z (mm ⁴)	W_z (mm ³)	i_z (mm)			
□ 140.60.4	140	60	4	10	383	114	14,8	349	49,8	4,85	92,6	30,9	2,50	247	32,0	17,6
□ 140.60.5	140	60	5	13	379	140	18,1	415	59,3	4,78	109	36,4	2,45	297	38,6	21,2
□ 140.60.6	140	60	6	15	374	164	21,3	474	67,7	4,71	124	41,2	2,41	342	44,7	24,4
□ 140.80.4	140	80	4	10	423	126	16,4	423	60,4	5,08	178	44,6	3,30	412	37,4	25,4
□ 140.80.5	140	80	5	13	419	155	20,1	506	72,4	5,01	212	53,1	3,25	500	45,3	30,8
□ 140.80.6	140	80	6	15	414	183	23,7	582	83,1	4,95	243	60,7	3,20	582	52,7	35,7
□ 140.100.4	140	100	4	10	463	139	18,0	497	71,0	5,25	297	59,3	4,06	601	42,8	34,1
□ 140.100.5	140	100	5	13	459	170	22,1	598	85,4	5,20	356	71,2	4,01	733	52,1	41,4
□ 140.100.6	140	100	6	15	454	201	26,1	690	98,5	5,14	410	82,0	3,96	858	60,8	48,2
□ 160.80.4	160	80	4	10	463	139	18,0	589	73,6	5,72	201	50,3	3,34	495	46,0	28,5
□ 160.80.5	160	80	5	13	459	170	22,1	708	88,5	5,65	241	60,2	3,30	601	55,9	34,5
□ 160.80.6	160	80	6	15	454	201	26,1	816	102	5,59	276	69,0	3,25	700	65,2	40,2
□ 160.120.5	160	120	5	13	539	201	26,1	948	119	6,02	610	102	4,83	1200	71,4	58,7
□ 160.120.6	160	120	6	15	534	238	30,9	1100	138	5,97	707	118	4,78	1420	83,7	68,8
□ 160.120.8	160	120	8	20	526	308	40,0	1370	171	5,85	878	146	4,68	1810	106,0	87,2

Figura 2.6 Perfiles Rectangulares ASTM A-36

Fuente: KeviHierro, 2015

2.4.4 Diseño de juntas soldadas

La junta crítica se encuentra en la parte posterior donde se encuentra la pala alimentadora. Esto es, el caso de diseño de cordón de soldadura de un ensamble estático. Por facilidad de procesos de manufactura se diseñó con perfiles soldados a tope, con el cordón alrededor de todo el perímetro.

El cordón se encuentra sujeto a flexión y cortante, se procedió a calcular el esfuerzo en la fibra externa, al ser este el punto de flexión máximo. Se calculó la unidad de carga unitaria para las cargas que soportará el cordón y se utilizó electrodo E-7010 debido a su fácil adquisición en el mercado.

Se analizó el punto de esfuerzo de von Mises máximo, el cual fue determinado por Mechanical APDL, y utilizando el mismo programa se determinaron las fuerzas que afectan al cordón. Las siguientes formulas fueron utilizadas (Shigley & Mischke, 1996):

$$A_w = 2b + 2d \quad \text{Ecuación 20}$$

$$S_w = bd + \frac{d^2}{3} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$J_w = \frac{(b + d)^3}{6} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$f_s = \frac{P}{A_w} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$F_R = \sqrt{f_s^2 + f_b^2} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$t = \frac{F_R}{\tau_{all}} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$w = 1.414 \cdot t \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

A_w : Área por longitud

S_w : Modulo por longitud

J_w : Momento polar por longitud

- f_x : Carga por longitud
- t : Garganta
- w : Pie
- σ' : Esfuerzo de von Mises
- S_y : Resistencia a la fluencia
- N : Factor de seguridad

2.4.5 Diseño de árbol de transmisión

El diseño empezó con la determinación de transmisión de potencia entre el motor hidráulico y el árbol de transmisión donde se encuentra el piñón del sistema pin-gear, de esta manera se utilizó un sistema de cadena doble tipo ASME. Para esta etapa de transmisión de potencia no se desea que exista un cambio de velocidad por lo cual la relación de velocidad es uno (1), debido al espacio con el que se cuenta en el chasis para su ubicación.

Entonces se determinaron factores de carga debido al tipo de carga y al número de dientes. Con los factores de carga determinados se procedió a calcular la potencia corregida y por medio de un catálogo se determinó el tipo de cadena para la transmisión de potencia deseada. (Renold, 2013)

La Tablas 2.12 muestra el factor debido al tipo de carga, y la Figura 2.7 indica las curvas de selección de cadenas.

Tabla 2.12. Factores de Carga – Cadena ASME

Características de la maquina	Características del componente motriz		
	Motores eléctricos y combustión interna con acoples hidráulico	Motor de combustión interna con suaves pulsaciones	Motor de combustión de 6 cilindros
Bombas centrifugas	1	1.1	1.2
Mezcladoras	1.1	1.3	1.5
Excavadoras y molinos	1.6	1.8	2.1

Fuente: RENOLD, 2013

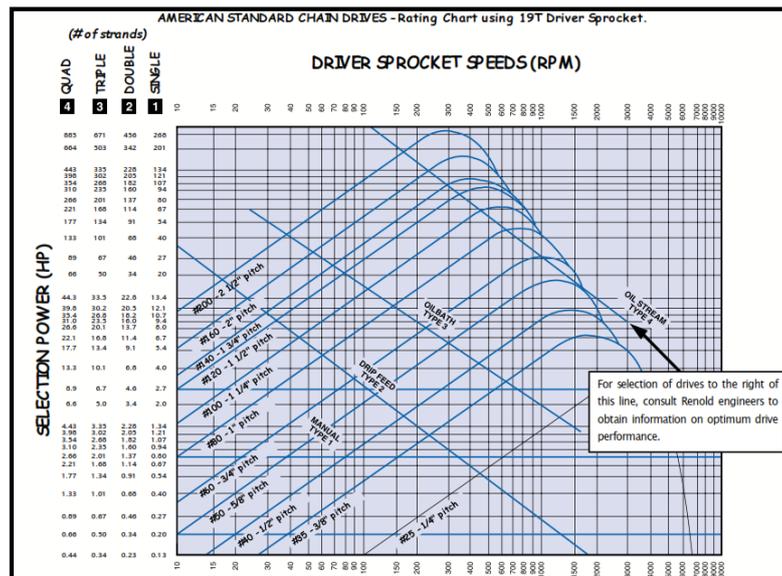


Figura 2.7 Curvas de Selección de Cadena

Fuente: RENOLD, 2013

Para determinar la potencia corregida para la cadena y el factor debido al número de dientes en los piñones se utilizaron las siguientes formulas:

$$f_2 = \frac{18}{Z_1} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$P_C = 1.34 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot P_w \quad \text{Ecuación 30}$$

Con los piñones que irán montados sobre el árbol de transmisión se procedió al diseño del mismo.

Para el diseño del árbol de transmisión, donde se encuentra el piñón de la cadena, se utilizó la carga tangencial y torque determinados en la sección 2.4.2 de este documento. Para el diseño se utilizó acero AISIS 1020, debido a que se lo encuentra con facilidad en el mercado. La Figura 2.8 muestra un bosquejo del árbol diseñado.

Las fuerzas P y F son debido al tambor de mezclado y al motor hidráulico respectivamente. Las fuerzas que actúan sobre cada uno de los piñones no es igual debido a las características de la cadena. Las reacciones A y B son los rodamientos que sostienen al ensamble. El modelo no muestra

fuerza axial debido a que la transmisión es por cadena y no hay un agente externo ejerciendo fuerza alguna sobre el árbol de transmisión.

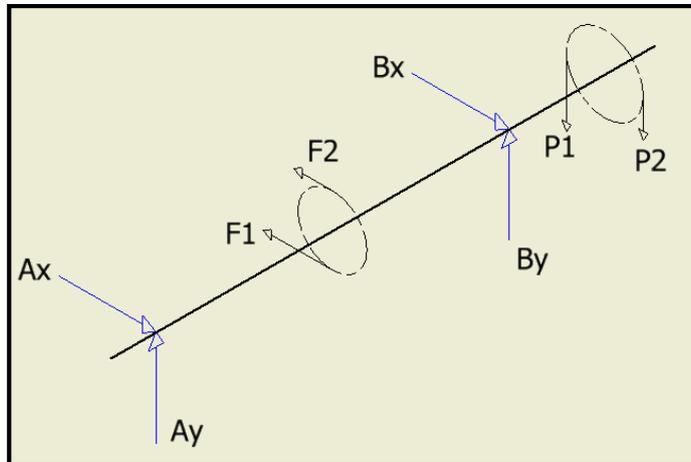


Figura 2.8 Modelo de Cargas Árbol de Transmisión

Fuente: Propia.

Las fórmulas que se utilizaron fueron para determinar la carga debido al torque son (Tsubaki Chain Co, 2013):

$$T = \frac{P_w}{\omega} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$F_n = \frac{T}{r} \quad \text{Ecuación 32}$$

$$F_s = 1.5 \cdot F_n \quad \text{Ecuación 33}$$

$$F_n = F_1 - F_2 \quad \text{Ecuación 34}$$

$$F_s = F_1 + F_2 \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

F_n : Fuerza neta

F_s : Fuerza flectora

Además, se empleó el enfoque de fallo por fatiga utilizando las siguientes formulas (Shigley & Mischke, 1996):

$$k_t = A \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad \text{Ecuación 36}$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad \text{Ecuación 38}$$

$$d = \left(\frac{32N_f}{\pi} \left(\frac{\sqrt{(K_f M_m)^2}}{S_f} + \frac{0.75 \cdot \sqrt{(K_{fs} T_m)^2}}{S_y} \right) \right)^{1/3} \quad \text{Ecuación 39}$$

2.4.6 Selección de rodamientos

La selección de rodamientos utilizó el procedimiento indicado en el catálogo de NTN. Se determinó en primer lugar la carga que soportaría cada rodamiento, lo cual se lo realizó en sección anterior de este documento. Después se utilizó la Tabla 2.13 para determinar el tipo de carga sobre el rodamiento acorde a las condiciones de operación. (NTN Corporation, 2004)

Tabla 2.13. Factor de Carga - Rodamientos

Condiciones de Operación	Rodamiento de bolas	Rodamiento de rodillos
Alta precisión rotacional	2	3
Precisión rotacional normal (Aplicación Universal)	1	1.5
Permite ligero deterioro de precisión rotacional (Baja velocidad, alta carga)	0.5	1.1

Fuente: NTN Corporation, 2004

La carga con la cual se seleccionó el rodamiento, carga dinámica equivalente, es el producto de la carga real y el factor de operación. Luego se determina el factor de vida y el factor de velocidad, en este punto se indica que se planteó un cambio de rodamientos cada 20 000 horas, y se utilizaron rodamientos de cilindro.

De esta manera se determinó la capacidad básica de carga dinámica que deberá soportar el rodamiento. Y así, se buscó en el catálogo de NTN, los

rodamientos para arboles de transmisión con un diámetro de 50 mm y que pudieran soportar una carga mayor o igual a la carga dinámica. Para lo cual se utilizaron las siguientes formulas (NTN Corporation, 2004):

$$f_c = 1.1 \quad \text{Ecuación 40}$$

$$P = f_c \cdot \max(A, B) \quad \text{Ecuación 41}$$

$$C_r = P \cdot \frac{f_h}{f_n} \quad \text{Ecuación 42}$$

$$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500} \right)^{3/10} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$f_n = \left(\frac{33.3}{n} \right)^{3/10} \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

- C_r : Carga dinámica
- f_c : Factor de carga
- f_h : Factor de vida
- f_n : Factor de velocidad
- L_{10} : Vida nominal básica

2.5 Metodología de Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico se refiere a la selección de bomba hidráulica, pistón hidráulico, motor hidráulico y dimensionamiento del reservorio de aceite.

La Figura 2.9 muestra el esquema que se implementó en el diseño de la mezcladora. El sistema consta de un motor hidráulico, un cilindro hidráulico los cuales son accionados por una bomba hidráulica. La bomba debe suministrar el caudal necesario para el funcionamiento del motor como del cilindro hidráulico.

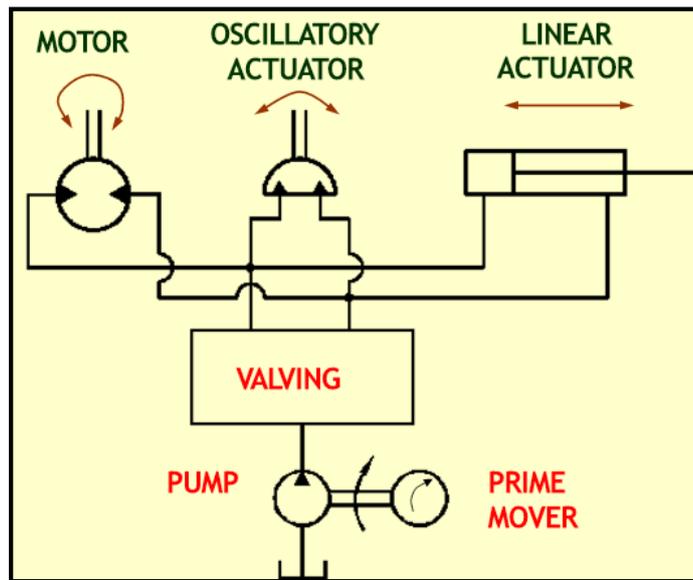


Figura 2.9 Esquema de Sistema Hidráulico

Fuente: Vickers, 1996

La selección del motor y cilindro hidráulico, dependen del torque requerido para mantener la rotación de la mezcladora y de la fuerza para levantar la pala de alimentación, respectivamente.

Tanto la bomba y depósito depende de los actuadores del sistema, y por lo tanto su selección se realiza después de los actuadores.

2.5.1 Selección de motor hidráulico

La selección del motor hidráulico depende del torque requerido por el mezclador, la velocidad de mezclado y la relación de velocidad, ya que la potencia es función de estos parámetros. (Parker, 2012)

Dichos parámetros fueron determinados en la sección 2.4.2 del presente documento.

Al existir diferentes tipos de motores hidráulicos se utiliza una carta de selección, donde por medio de las revoluciones y torque, se identifica el tipo de motor que se puede utilizar. (Ver Figura 2.10)

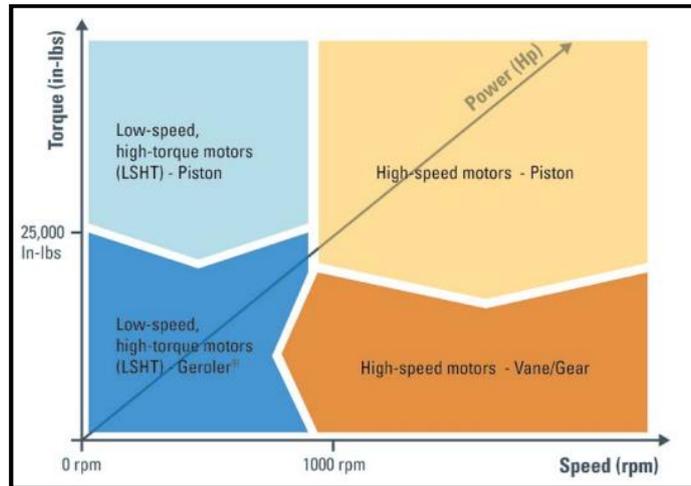


Figura 2.10 Curva de Tipos de Motores

Fuente: EATON, 2014

Para la selección del motor se utilizó un catálogo y por medio del torque y velocidades se seleccionó un motor que se ajuste a las necesidades del sistema. Entonces se determinó parámetros como: desplazamiento, presión, caudal, como los parámetros dimensionales para el respectivo montaje. (Ver Figura 2.11)

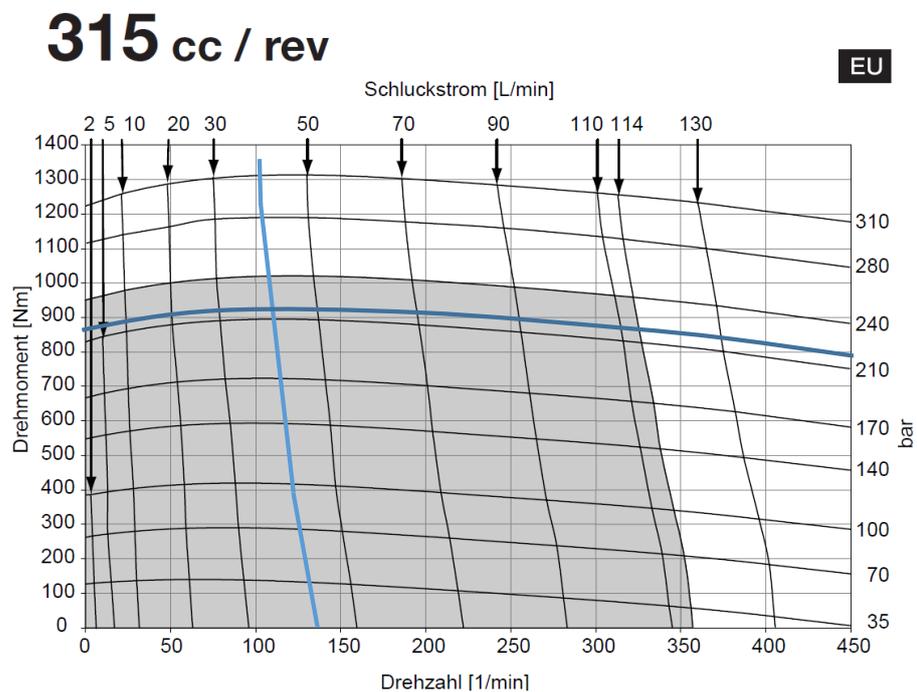


Figura 2.11 Motor LSHT 315 cc

Fuente: PARKER, 2012

2.5.2 Selección de cilindro hidráulico

El cilindro hidráulico transforma la energía hidráulica de la bomba en energía mecánica, la cual es capaz de mover la pala de alimentación. La selección depende de la presión del sistema, tipo de movimiento del cilindro. (Martin Chaves, 2013)

El cilindro que se utilizó en el diseño es uno que está articulado por medio de rótulas en ambos extremos, con una longitud total mínima de 900 mm de doble acción y velocidad máxima de 0.5 m/s.

Los parámetros se calcularon utilizando las siguientes fórmulas (VICKERS, 1996):

$$F_T = \frac{F}{\eta \cdot \lambda \cdot 9.8} \quad \text{Ecuación 45}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F_T \cdot C \cdot S^2}{\pi^3 \cdot E}} \quad \text{Ecuación 46}$$

$$A = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 \quad \text{Ecuación 47}$$

$$p = \frac{F_T}{A} \quad \text{Ecuación 48}$$

$$Q = \frac{v \cdot A \cdot 60}{10^3} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

p : Presión

F_T : Fuerza total sobre cilindro

F : Fuerza a desplazar

η : Eficiencia del cilindro

λ : Coseno del ángulo entre carga y cilindro

v : Velocidad del cilindro

d : Diámetro de cilindro

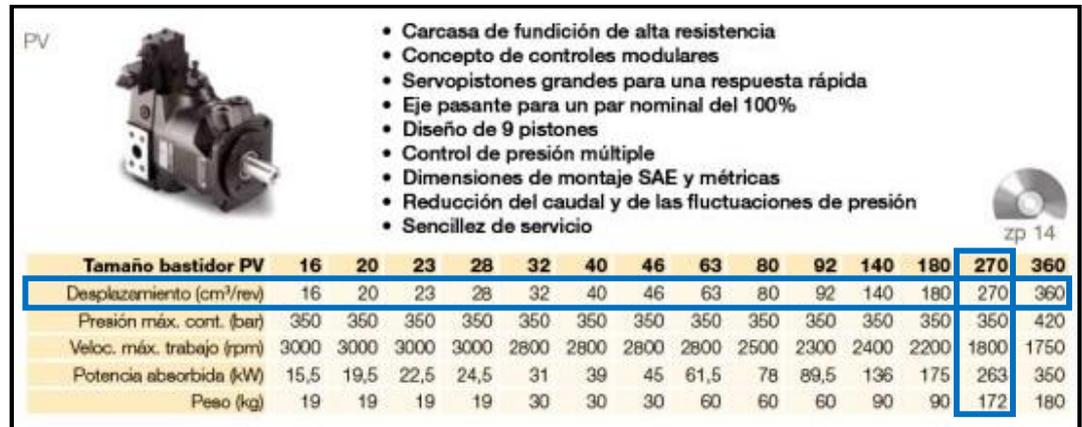
C : Coeficiente de seguridad

E : Módulo de elasticidad

S : Longitud efectiva

2.5.3 Selección de bomba hidráulica

La selección del motor hidráulico depende de los actuadores, como ya se determinó el caudal y presión necesarios, por medio de un catálogo se procedió a la selección de la bomba hidráulica. (Ver Figura 2.12).



Tamaño bastidor PV	16	20	23	28	32	40	46	63	80	92	140	180	270	360
Desplazamiento (cm ³ /rev)	16	20	23	28	32	40	46	63	80	92	140	180	270	360
Presión máx. cont. (bar)	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	420
Veloc. máx. trabajo (rpm)	3000	3000	3000	3000	2800	2800	2800	2800	2500	2300	2400	2200	1800	1750
Potencia absorbida (kW)	15,5	19,5	22,5	24,5	31	39	45	61,5	78	89,5	136	175	263	350
Peso (kg)	19	19	19	19	30	30	30	60	60	60	90	90	172	180

Figura 2.12 Modelo de concreto dentro de mezcladora

Fuente: PARKER, 2012

2.5.4 Dimensionamiento de depósito

El depósito debe contener el fluido necesario para evitar que la bomba sea alimentada con aire. Para el dimensionamiento del mismo se debe tomar en cuenta el vapor de agua, la temperatura del entorno y la cantidad de calor generada por el sistema.

Además, debido a la corrosión y desgaste de la tubería, el depósito debe contar con filtros; y de una capa de pintura interior que disminuirá el efecto de corrosión debido a la presencia de vapor de agua.

El volumen mínimo del depósito es función del caudal de la bomba. Para lo cual se utiliza la siguiente fórmula (VICKERS, 1996):

$$V = 2.5 \cdot Q(gpm) \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

V: Volumen del depósito

Q: Caudal en gpm de bomba hidráulica

La selección del diámetro de la tubería se la realizo utilizando la Tabla 2.14, la cual indica el diámetro recomendado tomando en cuenta la presión de trabajo y un factor de seguridad de 6.

Tabla 2.14. Diámetro de Tubería

Caudal (L/min)	Diámetro (in)	Cédula (-)	Diámetro Externo (in)	Espesor (mm)
10	1/4	80	3/8	1.50
24	3/8	80	5/8	2.40
40	1/2	80	3/4	3.00
72	3/4	80	1	3.75
120	1	80	1 1/4	4.60
168	1 1/4	160	1 1/2	5.60

Fuente: Vickers, 1996

Elaboración: Propia

2.5.5 Selección de motor

Para el funcionamiento del sistema hidráulico, se necesita una fuente de poder, que en este caso es un motor de combustión interna. Para la selección del motor se deben tomar en cuenta tanto la potencia como el volumen que ocupa el motor, esto debido a que el diseño busca un modelo compacto.

Se ha considerado a la eficiencia de las cadenas para la transmisión de potencia desde el tambor hacia el motor hidráulico para determinar la potencia del motor. Para la transmisión de potencia del motor de combustión interna a la bomba hidráulica se ha utilizado un sistema de bandas y poleas.

Para determinar la potencia requerida se utilizó la siguiente formula:

$$P_{ice} = \frac{P_w}{\eta_{rv} \cdot \eta_c} \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

P_{ice} : Potencia de motor de combustión interna

η_{rv} : Eficiencia de motor de combustión

η_c : Eficiencia de sistema de transmisión de potencia

2.5.6 Selección de poleas y banda

Una vez seleccionado el motor de combustión se procede a la selección de poleas y bandas para la transmisión de potencia de motor de combustión a bomba hidráulica. Para esto se utilizó el manual de Martin y se calculó la potencia del motor (HP), la velocidad de la unidad motriz, la velocidad de la unidad impulsada y promedio de horas de operación.

Se determinó el factor de servicio mediante la Figura 2.13, dicha figura toma en cuenta el grado frecuencia de las cargas, número de horas de operación, si la carga es intermitente o no, tipo de motor y tipo de operación.

TIPOS DE MÁQUINAS DE TRANSMISIÓN	TIPOS DE UNIDADES MOTRICES					
	MOTORES ELÉCTRICOS AC Torque Normal Jaula de Ardilla y Sincrono AC Fase Dividida DC Devanado en Derivación Motores de Combustión Interna			MOTORES ELÉCTRICOS AC Alto Torque AC Hi-Fase Dividida AC Repulsión-Inducción AC Monofásico Devanado en Serie AC Anillo de Deslizamiento DC Devanado Compuesto		
Los tipos de máquinas impulsadas aquí listadas son solo una muestra representativa. Seleccione el equipo que se aproxime más a su aplicación. SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO:	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Rueda Loca en el lado suelto (adentro) Ninguno Rueda Loca en el lado suelto (afuera) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (adentro) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (afuera) 0.2						
Agitadores para Líquidos Sopladores y Aspiradoras Bombas centrífugas y Compresoras Ventiladores hasta 10 HP Transportadores de Trabajo Ligero	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Transportadores de Banda para arena, grano, etc. Amasadora Ventiladores de más de 10 HP Generadores Ejes de Línea Máquinas de Lavandería Máquinas-Herramientas Taladros, Prensas, Cortadores Máquinas de Imprenta Bombas Rotatorias de Desplazamiento Positivo Cribas Giratorias y Vibratorias	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquinas para Ladrillos Elevadores de Cangilones Excitadores Compresores de Pistones Transportadores (Rastras, Helicoidales, Tablillas) Molinos de Martillos Hidropulper Bombas de Pistones Sopladores de Desplazamiento Positivo Pulverizadores Máquinas para Madera y Sierras Maquinaria Textil	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Quebradoras (Giratorias-Mordaza-Rodillos) Molinos (Bolas, Rodillos) Grúas Calandrias de hule — Extrusoras — Molinos	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6
Equipo con Ahogador	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Figura 2.13 Factores de servicio

Fuente: Martin, 2013

Para determinar la potencia de diseño se procede a multiplicar el factor de servicio y la potencia nominal del motor.

$$P_d = P_{ice} \cdot f_s$$

Ecuación 52

Donde:

P_{ice} : Potencia de motor de combustión interna

P_d : Potencia de diseño

Utilizando la Figura 2.14 se determinó si la banda tipo B puede ser usada para esta aplicación, para lo cual se tomó en cuenta la potencia de diseño y la velocidad del elemento más rápido.

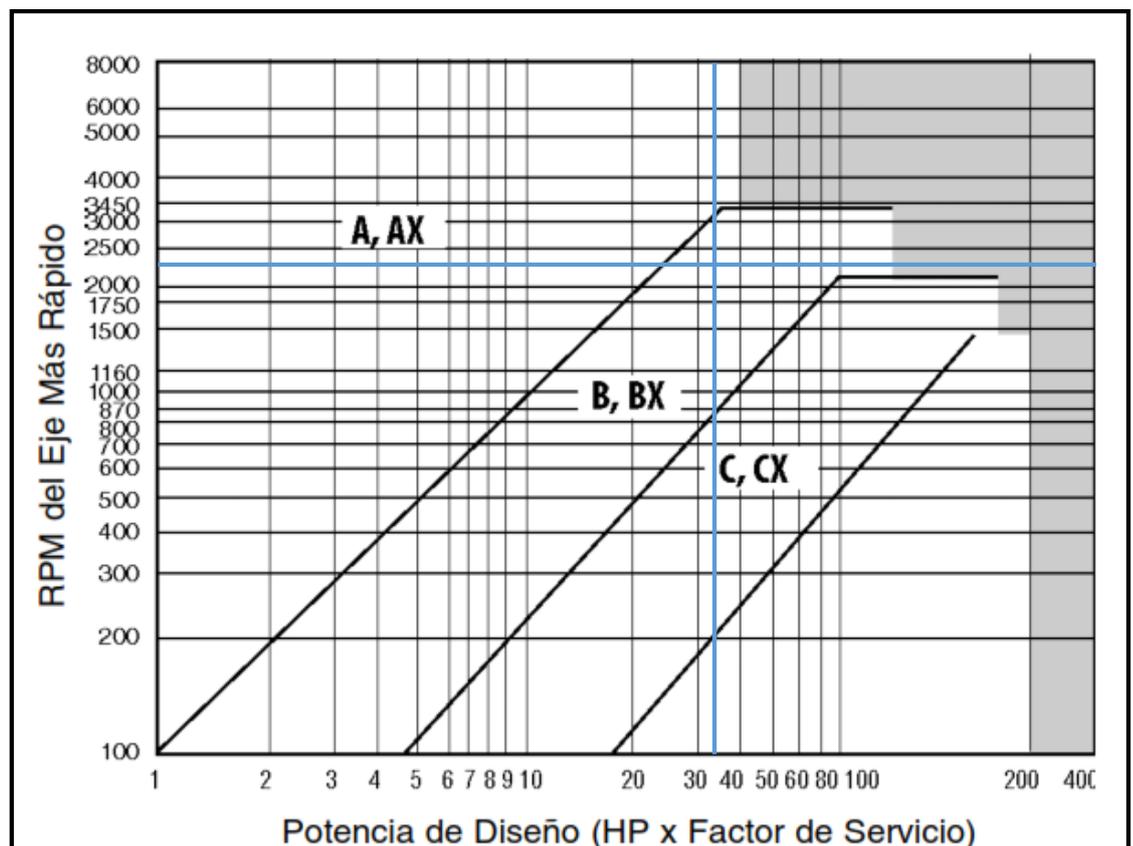


Figura 2.14 Selección para Banda Alta Capacidad

Fuente: Martin, 2013

Para determinar el número de banda se procedió a calcular la relación de velocidad mediante la ecuación 47, entonces se utilizó la Figura 2.15 y se identificó la relación de velocidad seleccionada, de esa manera se determinó la combinación de poleas, distancia entre centros, el número de la banda y el factor de corrección por longitud y arco.

Relación de velocidad	Combinación de Poleas		Velocidades Impulsadas y HP por Banda									Distancia Nominal entre Centros y Factor de Corrección por Longitud y Arco					
			3500 RPM Motriz			1750 RPM Motriz			1160 RPM Motriz			Designación de Largo de Banda B/BX					
	Motriz D.P.	Impuls. D.P.	Impuls. RPM	HP por Banda B	HP por Banda BX	Impuls. RPM	Banda B	HP por Banda BX	HP por Impuls. RPM	HP por Banda B	HP por Banda BX						
												35	38	42	46	51	60
1.19	5.2	6.2	2935	8.56	12.91	1468	6.51	8.33	973	4.90	6.02	9.4	10.9	12.9	14.9	17.4	21.9
1.19	5.4	6.4	2953	9.27	13.74	1477	7.04	8.88	979	5.28	6.42	9.1	10.6	12.6	14.6	17.1	21.6
1.19	6.2	7.4	2932	11.76	16.80	1466	9.09	11.07	972	6.79	7.99	—	9.2	11.2	13.2	15.7	20.2
1.20	4.0	4.8	2917	3.76	7.46	1458	3.25	4.90	967	2.57	3.60	11.5	13.0	15.0	17.0	19.5	24.0
1.20	5.0	6.0	2917	7.86	12.08	1458	6.00	7.78	967	4.53	5.64	9.7	11.2	13.3	15.3	17.8	22.3
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.76	0.78	0.80	0.83	0.85	0.89
1.21	3.8	4.6	2891	2.89	6.50	1446	2.71	4.33	958	2.18	3.20	11.8	13.3	15.3	17.3	19.8	24.3
1.21	4.8	5.8	2897	7.13	11.23	1448	5.48	7.23	960	4.15	5.24	10.1	11.6	13.6	15.6	18.1	22.6
1.21	5.6	6.8	2882	10.01	14.60	1441	7.59	9.47	955	5.69	6.84	8.6	10.1	12.1	14.1	16.7	21.2
1.21	5.8	7.0	2900	10.65	15.38	1450	8.11	10.01	961	6.07	7.23	8.3	9.8	11.8	13.8	16.3	20.8
1.21	6.6	8.0	2887	12.88	18.23	1444	10.11	12.16	957	7.55	8.78	—	—	10.4	12.4	14.9	19.4
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.76	0.78	0.81	0.83	0.86	0.90
1.22	3.6	4.4	2864	1.99	5.51	1432	2.15	3.74	949	1.78	2.79	12.1	13.6	15.6	17.6	20.1	24.6
1.22	4.6	5.6	2875	6.37	10.36	1437	4.95	6.67	953	3.77	4.85	10.4	11.9	13.9	15.9	18.4	22.9
1.22	5.4	6.6	2864	9.37	13.83	1432	7.09	8.93	949	5.32	6.45	9.0	10.5	12.5	14.5	17.0	21.5
1.23	4.4	5.4	2852	5.58	9.46	1426	4.42	6.11	945	3.39	4.45	10.7	12.2	14.2	16.2	18.7	23.2
1.23	5.2	6.4	2844	8.70	13.02	1422	6.58	8.39	942	4.95	6.06	9.3	10.8	12.8	14.8	17.3	21.8
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.76	0.78	0.81	0.83	0.86	0.90
1.23	6.0	7.4	2838	11.32	16.19	1419	8.65	10.59	941	6.46	7.64	—	9.3	11.4	13.4	15.9	20.4
1.23	7.0	8.6	2849	13.84	19.53	1424	11.11	13.23	944	8.30	9.56	—	—	—	11.6	14.1	18.6
1.24	3.4	4.2	2833	1.10	4.53	1417	1.61	3.17	939	1.40	2.39	12.4	13.9	15.9	17.9	20.4	24.9
1.24	4.2	5.2	2827	4.76	8.54	1413	3.88	5.54	937	3.01	4.05	11.0	12.5	14.5	16.5	19.0	23.5
1.24	5.0	6.2	2823	7.99	12.19	1411	6.06	7.84	935	4.57	5.67	9.6	11.1	13.1	15.1	17.6	22.1
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.76	0.78	0.81	0.83	0.86	0.90
1.25	4.0	5.0	2800	3.91	7.59	1400	3.33	4.97	928	2.62	3.65	11.3	12.8	14.8	16.8	19.3	23.8
1.25	4.8	6.0	2800	7.26	11.34	1400	5.54	7.28	928	4.19	5.28	9.9	11.4	13.4	15.4	17.9	22.4
1.25	5.6	7.0	2800	10.13	14.71	1400	7.66	9.52	928	5.73	6.87	8.5	10.0	12.0	14.0	16.5	21.0
1.25	6.4	8.0	2800	12.50	17.66	1400	9.68	11.68	928	7.22	8.43	—	—	10.6	12.6	15.1	19.6
1.26	3.8	4.8	2771	3.04	6.63	1385	2.78	4.39	918	2.23	3.24	11.6	13.1	15.1	17.1	19.6	24.1
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.76	0.78	0.81	0.83	0.85	0.89
1.26	4.6	5.8	2776	6.49	10.46	1388	5.01	6.72	920	3.81	4.88	10.2	11.7	13.7	15.7	18.2	22.7
1.26	5.4	6.8	2779	9.49	13.93	1390	7.15	8.98	921	5.36	6.48	8.8	10.3	12.3	14.3	16.8	21.3
1.26	6.8	8.6	2767	13.49	19.00	1384	10.67	12.75	917	7.96	9.21	—	—	9.8	11.8	14.3	18.8
1.27	4.4	5.6	2750	5.69	9.56	1375	4.47	6.16	911	3.43	4.48	10.5	12.0	14.0	16.0	18.5	23.0
1.27	5.2	6.6	2758	8.81	13.12	1379	6.64	8.43	914	4.98	6.09	9.1	10.6	12.6	14.6	17.1	21.6
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.76	0.78	0.80	0.83	0.85	0.89
1.27	7.4	9.4	+	+	1378	12.10	14.30	913	9.05	10.35	—	—	—	10.7	13.2	17.7	
1.28	3.6	4.6	2739	2.16	5.66	1370	2.24	3.82	908	1.84	2.84	11.9	13.5	15.5	17.5	20.0	24.5
1.28	5.0	6.4	2734	8.10	12.28	1367	6.12	7.88	906	4.61	5.70	9.4	10.9	12.9	14.9	17.4	21.9
1.28	5.8	7.4	2743	10.85	15.55	1372	8.21	10.10	909	6.13	7.29	—	—	9.5	11.5	13.5	16.0
1.28	8.6	11.0	+	+	1368	14.78	17.25	907	11.15	12.57	—	—	—	—	—	—	15.5
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO												0.76	0.78	0.81	0.83	0.85	0.90

Figura 2.15 Selección de Transmisión-Relación de Velocidad

Fuente: Martin, 2013

Utilizando la Figura 2.16 de Capacidad Básica de Potencia por medio de la revolución del elemento más rápido y el diámetro seleccionado se determinó la potencia por banda.

RPM del Eje más Rápido	Diámetro de Paso de la Polea (en pulgadas)															
	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4
870	0.87	1.18	1.50	1.81	2.12	2.43	2.73	3.04	3.34	3.64	3.94	4.24	4.54	4.83	5.13	5.42
1160	0.94	1.34	1.75	2.15	2.55	2.94	3.33	3.72	4.11	4.50	4.88	5.26	5.64	6.01	6.38	6.75
1750	0.91	1.49	2.06	2.62	3.18	3.74	4.29	4.83	5.37	5.90	6.43	6.95	7.46	7.97	8.47	8.97
3500	0.0	0.67	1.59	2.50	3.37	4.22	5.04	5.84	6.60	7.34	8.04	8.72	9.36	9.96	10.54	11.08
400	0.60	0.75	0.91	1.07	1.22	1.38	1.53	1.68	1.83	1.99	2.14	2.29	2.44	2.59	2.74	2.88
500	0.67	0.87	1.06	1.25	1.44	1.63	1.82	2.00	2.19	2.37	2.56	2.74	2.93	3.11	3.29	3.47
600	0.74	0.97	1.19	1.42	1.64	1.86	2.08	2.30	2.52	2.74	2.96	3.17	3.39	3.60	3.82	4.03
700	0.80	1.06	1.32	1.57	1.83	2.08	2.34	2.59	2.84	3.09	3.34	3.58	3.83	4.08	4.32	4.56
800	0.84	1.13	1.43	1.72	2.00	2.29	2.58	2.86	3.14	3.42	3.70	3.98	4.25	4.53	4.80	5.07
900	0.88	1.20	1.53	1.85	2.17	2.49	2.80	3.12	3.43	3.74	4.05	4.35	4.66	4.96	5.27	5.57
1000	0.91	1.26	1.62	1.97	2.32	2.67	3.02	3.36	3.70	4.04	4.38	4.71	5.05	5.38	5.71	6.04
1100	0.93	1.32	1.70	2.08	2.46	2.84	3.22	3.59	3.96	4.33	4.70	5.06	5.42	5.78	6.14	6.49
1200	0.94	1.36	1.78	2.19	2.60	3.01	3.41	3.81	4.21	4.61	5.00	5.39	5.78	6.16	6.54	6.92
1300	0.95	1.40	1.84	2.29	2.72	3.16	3.59	4.02	4.45	4.87	5.29	5.70	6.12	6.53	6.93	7.34
1400	0.95	1.43	1.90	2.37	2.84	3.30	3.76	4.22	4.67	5.12	5.56	6.01	6.44	6.88	7.31	7.74
1500	0.95	1.45	1.96	2.46	2.95	3.44	3.93	4.41	4.89	5.36	5.83	6.29	6.75	7.21	7.66	8.11
1600	0.94	1.47	2.00	2.53	3.05	3.57	4.08	4.58	5.09	5.58	6.08	6.57	7.05	7.53	8.00	8.47
1700	0.92	1.48	2.04	2.59	3.14	3.68	4.22	4.75	5.28	5.80	6.31	6.82	7.33	7.83	8.32	8.81
1800	0.90	1.49	2.07	2.65	3.23	3.79	4.35	4.91	5.46	6.00	6.54	7.07	7.59	8.11	8.62	9.13
1900	0.87	1.49	2.10	2.70	3.30	3.89	4.48	5.05	5.62	6.19	6.75	7.30	7.84	8.38	8.91	9.43
2000	0.84	1.48	2.12	2.75	3.37	3.98	4.59	5.19	5.78	6.36	6.94	7.51	8.07	8.62	9.17	9.71
2100	0.80	1.47	2.13	2.78	3.43	4.06	4.69	5.31	5.92	6.53	7.12	7.71	8.29	8.85	9.41	9.96
2200	0.76	1.45	2.14	2.81	3.48	4.14	4.79	5.43	6.06	6.68	7.29	7.89	8.48	9.07	9.64	10.20
2300	0.71	1.43	2.14	2.83	3.52	4.20	4.87	5.53	6.18	6.81	7.44	8.06	8.66	9.26	9.84	10.42
2400	0.66	1.40	2.13	2.83	3.56	4.26	4.94	5.62	6.28	6.94	7.58	8.21	8.83	9.43	10.03	10.61
2600	0.54	1.32	2.09	2.86	3.60	4.34	5.06	5.77	6.46	7.14	7.81	8.46	9.10	9.72	10.33	10.92
2800	0.39	1.22	2.03	2.83	3.61	4.38	5.13	5.87	6.59	7.29	7.98	8.65	9.30	9.93	10.55	11.14
3000	0.23	1.09	1.94	2.78	3.59	4.39	5.17	5.92	6.66	7.38	8.08	8.76	9.42	10.05	10.67	11.26
3200	0.04	0.94	1.83	2.69	3.53	4.35	5.15	5.93	6.68	7.41	8.12	8.80	9.46	10.09	10.69	11.27
3400	0.0	0.76	1.68	2.57	3.44	4.28	5.09	5.88	6.64	7.38	8.09	8.76	9.41	10.03	10.62	11.17
3600	0.0	0.56	1.50	2.42	3.30	4.16	4.98	5.78	6.55	7.28	7.98	8.65	9.28	9.87	10.43	10.96
3800	0.0	0.33	1.30	2.23	3.13	3.99	4.83	5.62	6.39	7.11	7.80	8.44	9.05	9.62	10.14	10.62
4000	0.0	0.08	1.06	2.00	2.91	3.79	4.62	5.41	6.16	6.87	7.54	8.15	8.73	9.25	9.73	10.16
4200	0.0	0.0	0.79	1.74	2.66	3.53	4.36	5.14	5.87	6.56	7.19	7.77	8.30	8.78	9.20	9.56
4400	0.0	0.0	0.49	1.45	2.36	3.23	4.04	4.80	5.51	6.17	6.76	7.30	7.78	8.19	8.54	8.83
4600	0.0	0.0	0.15	1.11	2.02	2.87	3.67	4.40	5.08	5.69	6.24	6.73	7.14	7.48	7.76	7.95
4800	0.0	0.0	0.0	0.73	1.63	2.46	3.23	3.94	4.58	5.14	5.63	6.05	6.39	6.65	6.83	6.93
5000	0.0	0.0	0.0	0.31	1.19	2.00	2.74	3.41	3.99	4.50	4.93	5.27	5.53	5.69	5.77	5.75

LAS VELOCIDADES DE CORONA EXCEDEN LOS 6500 PIES POR MINUTO.

Figura 2.16 Selección de Transmisión-Potencia Admisible

Fuente: Martin, 2013

A la potencia que se encontró se le adicióno un factor de corrección de potencia por banda mediante la Figura 2.17. A dicha potencia se la multiplico por el factor de corrección de longitud por longitud y arco.

RPM del Eje más Rápido	Diámetro de Paso de la Polea (en pulgadas)														Relación de Velocidad	
	6.6	6.8	7.0	7.4	8.0	8.6	9.4	1.02-1.04	1.05-1.08	1.09-1.12	1.13-1.18	1.19-1.24	1.25-1.34	1.35-1.51		1.52-1.99
870	5.71	6.00	6.29	6.86	7.71	8.54	9.63	0.05	0.11	0.18	0.24	0.30	0.35	0.41	0.46	0.51
1160	7.12	7.48	7.85	8.56	9.62	10.66	12.00	0.06	0.15	0.24	0.32	0.41	0.47	0.54	0.61	0.68
1750	9.46	9.95	10.43	11.37	12.73	14.03	15.68	0.10	0.22	0.37	0.48	0.61	0.71	0.82	0.92	1.02
3500	11.58	12.05	12.48	13.23	14.04	14.48	14.42	0.19	0.45	0.73	0.96	1.22	1.42	1.64	1.84	2.04
400	3.03	3.18	3.33	3.62	4.05	4.49	5.06	0.02	0.05	0.08	0.11	0.14	0.16	0.19	0.21	0.23
500	3.65	3.83	4.01	4.37	4.89	5.42	6.11	0.03	0.06	0.10	0.14	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29
600	4.24	4.45	4.66	5.08	5.70	6.31	7.12	0.03	0.08	0.13	0.16	0.21	0.24	0.28	0.32	0.35
700	4.80	5.04	5.28	5.76	6.47	7.17	8.09	0.04	0.09	0.15	0.19	0.24	0.28	0.33	0.37	0.41
800	5.35	5.62	5.88	6.42	7.21	7.99	9.01	0.04	0.10	0.17	0.22	0.28	0.32	0.37	0.42	0.47
900	5.87	6.16	6.46	7.05	7.92	8.77	9.89	0.05	0.12	0.19	0.25	0.31	0.36	0.42	0.47	0.53
1000	6.36	6.69	7.01	7.65	8.60	9.52	10.74	0.06	0.13	0.21	0.27	0.35	0.40	0.47	0.53	0.58
1100	6.84	7.19	7.54	8.23	9.25	10.24	11.54	0.06	0.14	0.23	0.30	0.38	0.45	0.51	0.58	0.64
1200	7.30	7.68	8.05	8.78	9.87	10.93	12.30	0.07	0.15	0.25	0.33	0.42	0.49	0.56	0.63	0.70
1300	7.74	8.14	8.53	9.31	10.46	11.57	13.02	0.07	0.17	0.27	0.36	0.45	0.53	0.61	0.69	0.76
1400	8.16	8.58	8.99	9.81	11.02	12.19	13.69	0.08	0.18	0.29	0.38	0.49	0.57	0.65	0.74	0.82
1500	8.56	9.00	9.43	10.29	11.55	12.76	14.32	0.08	0.19	0.31	0.41	0.52	0.61	0.70	0.79	0.88
1600	8.93	9.39	9.85	10.74	12.05	13.30	14.90	0.09	0.21	0.33	0.44	0.56	0.65	0.75	0.84	0.93
1700	9.29	9.77	10.24	11.17	12.51	13.80	15.43	0.09	0.22	0.36	0.47	0.59	0.69	0.80	0.90	0.99
1800	9.63	10.12	10.61	11.56	12.94	14.26	15.91	0.10	0.23	0.38	0.49	0.63	0.73	0.84	0.95	1.05
1900	9.94	10.45	10.95	11.93	13.34	14.68	16.34	0.11	0.24	0.40	0.52	0.66	0.77	0.89	1.00	1.11
2000	10.24	10.76	11.27	12.27	13.70	15.05	16.72	0.11	0.26	0.42	0.55	0.70	0.81	0.94	1.05	1.17
2100	10.51	11.04	11.56	12.58	14.03	15.38	17.03	0.12	0.27	0.44	0.58	0.73	0.85	0.98	1.11	1.23
2200	10.75	11.29	11.82	12.85	14.31	15.66	17.29	0.12	0.28	0.46	0.60	0.77	0.89	1.03	1.16	1.28
2300	10.98	11.52	12.06	13.10	14.56	15.90	17.49	0.13	0.30	0.48	0.63	0.80	0.93	1.08	1.21	1.34
2400	11.17	11.73	12.27	13.31	14.77	16.03	17.63	0.13	0.31	0.50	0.66	0.84	0.97	1.12	1.27	1.40
2600	11.50	12.06	12.60	13.64	15.06	16.31	17.71	0.14	0.33	0.54	0.71	0.91	1.05	1.22	1.37	1.52
2800	11.72	12.27	12.81	13.82	15.17	16.32	17.51	0.16	0.36	0.59	0.77	0.98	1.13	1.31	1.48	1.63
3000	11.83	12.37	12.89	13.85	15.10	16.10	17.03	0.17	0.39	0.63	0.82	1.05	1.21	1.40	1.58	1.75
3200	11.82	12.34	12.83	13.73	14.83	15.64	16.23	0.18	0.41	0.67	0.88	1.12	1.30	1.50	1.69	1.87
3400	11.69	12.18	12.64	13.44	14.36	14.93	15.11	0.19	0.44	0.71	0.93	1.19	1.38	1.59	1.79	1.98
3600	11.44	11.88	12.29	12.97	13.67	13.95	13.64	0.20	0.46	0.75	0.99	1.26	1.46	1.68	1.90	2.10
3800	11.05	11.44	11.79	12.32	12.75	12.70	11.81	0.21	0.49	0.79	1.04	1.33	1.54	1.78	2.00	2.22
4000	10.53	10.85	11.12	11.49	11.60	11.14	9.60	0.22	0.51	0.84	1.10	1.40	1.62	1.87	2.11	2.33
4200	9.86	10.10	10.28	10.45	10.19	9.28	—	0.23	0.54	0.88	1.15	1.47	1.70	1.96	2.21	2.45
4400	9.05	9.19	9.27	9.20	8.52	7.10	—									

Para determinar el número de bandas necesarias, se dividió la potencia de diseño y la potencia corregida utilizando la ecuación:

$$NB = \frac{P_d}{P_c} \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde:

NB: Número de bandas

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultado se ha diseñado una mezcladora de capacidad media (570 l) de tipo reversible y auto cargable. El número de batch necesarios para satisfacer un volumen de una losa de vivienda (40 m²) es de seis (6), en comparación con una mezcladora basculante que necesita veintitrés (23) batch para cubrir el volumen necesario.

3.1 Tambor de mezclado

El tambor de mezclado está compuesto de tres partes, la parte frontal, central y posterior. Tanto la parte frontal como posterior son cónicas, mientras que la parte central es cilíndrica. (Ver Plano 1.)

La Tabla 3.1 muestra las características del tambor y los planos se encuentran en el Plano 4.

Tabla 3.1. Características del Tambor

Descripción	Valor	Unidad
Diámetro de paso	1174	mm
Espesor	12	mm
Longitud total	2030	mm
Material	Acero ASTM A-36	-
Volumen nominal	0.57	m ³
Volumen mínimo	0.71	m ³
Volumen real	0.75	m ³
Velocidad periférica	55.60	m/min
Masa	290	kg

Elaboración: Propia

El diámetro diseñado permite la selección del tipo de cadenas, además de ser la limitante para la velocidad periférica del sistema gear-pin.

El espesor seleccionado puede soportar el esfuerzo al cual se somete en operación, dicha información es tomada de la Norma IS. 1791-1985.

Con la geometría descrita el centro de gravedad y masa quedan especificados, en la Tabla 3.2 se indican estos valores, los cuales fueron obtenidos mediante Autodesk Inventor.

Tabla 3.2. Propiedades Geométricas de Tambor en Operación

Descripción	Valor	Unidad
Peso de volumen concreto	17.60	kN
Peso de tambor y componentes	4.32	kN
Centro de gravedad x	175	mm
Centro de gravedad y	210	mm

Elaboración: Propia

La potencia se transmite a través de una cadena y piñón, además cuenta con dos correas en los extremos de la sección cilíndrica. Estas correas tienen la función de pistas de apoyo, las cuales descansan sobre cuatro rodillos dispuestos en los extremos del tambor.

Existen dos rodillos sobre el tambor, como se puede ver en la Figura 3.1, estos rodillos sirven de guías para que el tambor no desalinee cuando está en funcionamiento.

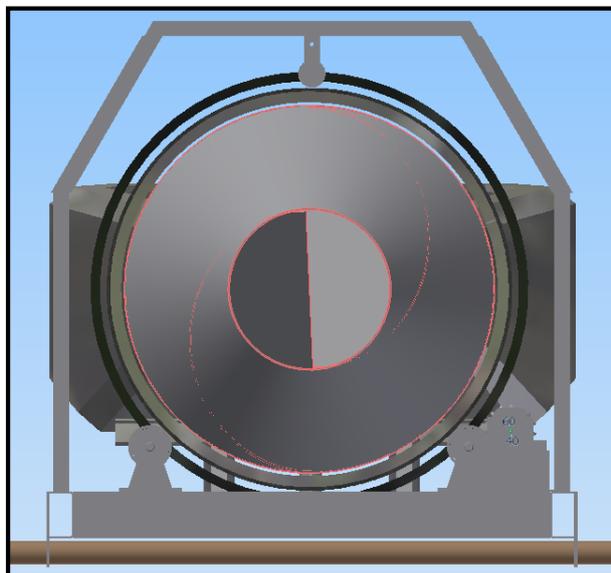


Figura 3.1 Rodillos superiores

Fuente: Propia

Para el mezclado de concreto se utiliza dos aletas helicoidales soldadas a lo largo de su perímetro. Estas aletas tienen un espesor de 6 mm y están desfasadas a 180° una de la otra.

3.2 Selección de Cadena - Piñón

La selección de la cadena se basó en el torque de trabajo necesario para rotar el tambor como en la carga tangencial y el radio del tambor, dichos valores se muestran en la Tabla 3.3. Para revisar los cálculos revisar el Apéndice A.

Tabla 3.3. Requerimientos Mínimos de Cadena y Piñón

Descripción	Valor	Unidad
Torque de trabajo	8.4	kN.m
Fuerza tangencial corregida	20.16	kN
Velocidad de rotación	15.3	rpm
Potencia de trabajo	13.20	kW

Elaboración: Propia

Las características de la cadena y piñón se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.4. Descripción de Cadena y Piñón

Componente	Descripción	Valor	Unidad
Cadena	Tipo de Cadena	PDU 40	–
	Pernos de montaje	M10	–
	Paso circular	40	–
	Carga tangencial corregida	20.16	kN
	Diámetro primitivo cadena	1400.56	mm
	Número de rodillos	110	–
	Carga permisible	27.3	kN
	Factor de seguridad	1.35	–
Piñón	Diámetro primitivo piñón	157.79	mm
	Numero de dientes	12	–
	Longitud	90	mm

Elaboración: Propia

Se ha seleccionado un número de 12 dientes para el piñón para que la relación de velocidad sea de 9.2 lo cual permite seleccionar un motor hidráulico con un caudal promedio, es decir no sobre dimensionar el motor hidráulico. Esto implicaría, utilizar un motor hidráulico de mayor caudal, lo cual no es factible ya que se desea que el diseño sea compacto y económico.

Para la sujeción de la cadena al tambor se utilizarán pernos M10, lo cual es lo recomendado por el fabricante. La cadena presenta seis secciones, y el número de pernos es función del torque de trabajo y para este diseño son de 5 por sección, dando un total de 30 pernos M10.

La selección del piñón permite realizar el diseño del árbol de transmisión, ya que ofrece restricciones a la geometría del eje. Estos son, diámetro máximo del eje, longitud mínima del eje y cambios de secciones en el eje. El diseño se encuentra en secciones posteriores de este documento. (Ver Plano 3.)

3.3 Dimensionamiento de perfiles del chasis

Para el dimensionamiento de los perfiles del chasis se utilizó Mechanical APDL, para determinar reacciones, cortantes y momentos flectores. Sin embargo, a manera de explicación, en el Apéndice B se muestra el procedimiento de cálculo de un perfil. (Ver Plano 2.)

La siguiente tabla muestra las reacciones para los modelos mostrados en la Tabla 2.11.

Tabla 3.5. Modelo para vigas del Chasis

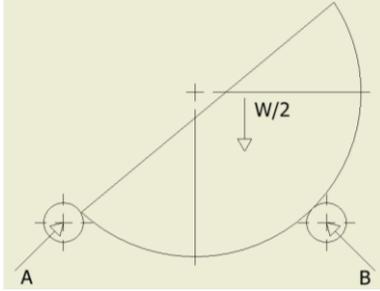
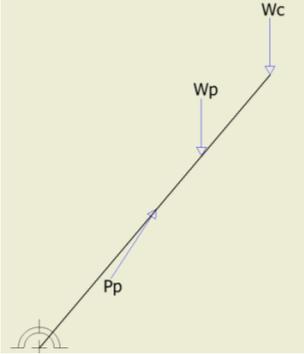
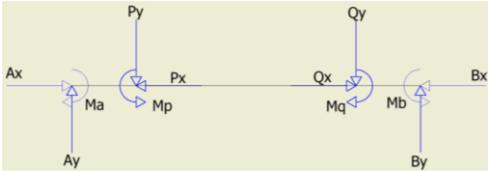
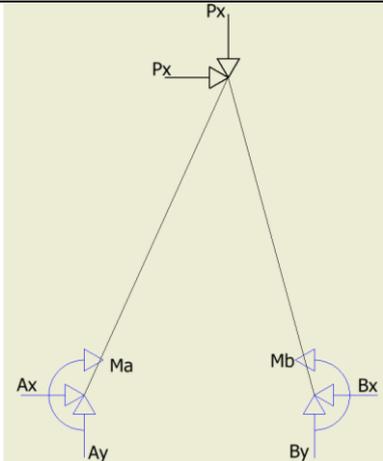
Parte/Fuerza Aplicada	Modelo	Resultantes
<p>Tambor $W = 21\,920\text{ N}$</p>		<p>$R_A = 3\,750\text{ N}$ $R_B = 11\,751\text{ N}$</p>

Tabla 3.5. Modelo para vigas del Chasis

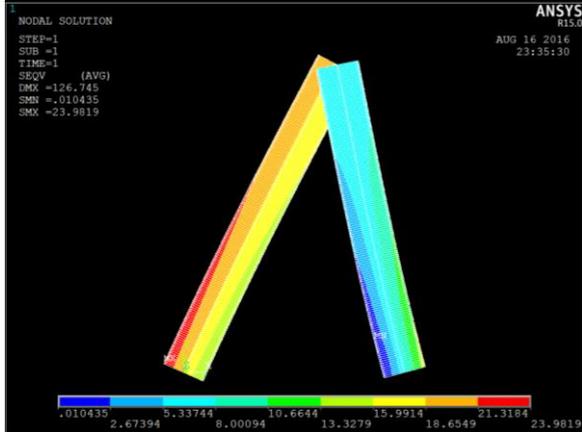
Parte/Fuerza Aplicada	Modelo	Resultantes
<p>Pala alimentadora</p> <p>$W_c = 17\ 600\ N$</p> <p>$W_p = 4\ 320\ N$</p>		<p>$P_p = 44\ 100\ N$</p> <p>$A_y = 17\ 972\ N$</p> <p>$A_x = 24\ 018\ N$</p>
<p>Travesaño-tambor</p> <p>$P = 3.75\ kN; 225^\circ$</p> <p>$M_p = 583\ kN.mm$</p> <p>$Q = 11.75\ kN; 315^\circ$</p> <p>$M_q = 1830\ kN.mm$</p>		<p>$A_y = -2\ 652\ N$</p> <p>$A_x = 2\ 652\ N$</p> <p>$M_A = -583\ 440$</p> <p>$B_y = -8\ 310\ N$</p> <p>$B_x = 8\ 310\ N$</p> <p>$M_B = -1.22\ MN.mm$</p>
<p>Soporte Pala Hidráulica</p> <p>$P_x = 12\ 009\ N$</p> <p>$P_y = 8\ 986\ N$</p>		<p>$A_y = -20\ 042\ N$</p> <p>$A_x = -9\ 002\ N$</p> <p>$M_A = -15298\ N.mm$</p> <p>$B_y = 11\ 056\ N$</p> <p>$B_x = -3\ 007\ N$</p> <p>$M_B = 21\ 551\ MN.mm$</p>

Elaboración: Propia

Las reacciones que fueron encontradas para cada uno de los modelos fueron evaluadas en el modelo del chasis completo, por medio de iteraciones en APDL, para diseñar un chasis capaz de soportar las cargas, pero al mismo tiempo sea fácil de manufacturar.

La Tabla 3.6 muestra el modelo de la estructura sobre la cual esta articulado la pala hidráulica, analizado por medio de APDL. Para esto se utilizó un perfil de 160x80x4 de acero ASTM-A36.

Tabla 3.6. Estructura de Soporte Pala Hidráulica

Descripción	Modelo	Resultados
Viga lateral		$A_y = -20\ 042\ N$ $A_x = -9\ 002\ N$ $M_A = -15298\ N \cdot mm$ $B_y = 11\ 056\ N$ $B_x = -3\ 007\ N$ $M_B = 21\ 551\ MN \cdot mm$ $FS = 10$

Elaboración: Propia

La Figura 3.2 muestra el chasis sometido a la carga de los modelos, y se observa el punto de esfuerzo máximo, el cual se encuentra en el travesaño donde descansa la estructura del soporte de la pala hidráulica. Este valor es menor a la resistencia del acero ASTM A-36 y presenta un factor de seguridad de 2.31 de manera global para todo el chasis.



Figura 3.2 Modelo del Chasis de la Mezcladora

Elaboración: Propia

El factor de seguridad, en relación con el análisis de cada uno de los componentes, disminuyó debido a la combinación de cargas que actúan sobre el chasis.

Como refuerzo, en la parte donde se ubica el soporte de la pala mecánica, se utilizó varilla corrugada de 10 mm, esto debido a que la parte posterior no era lo suficientemente rígida para soportar la carga debido a la pala hidráulica.

3.4 Juntas soldadas

El presente diseño utiliza electrodo E7013 para el diseño de cordones. El diseño utilizó el punto de máximo esfuerzo en el chasis. Como resultado, para la manufactura de la mezcladora se utilizará aproximadamente 30 m de cordón de soldadura a tope con una garganta de 5 mm. La garganta del cordón es debido a la combinación de cargas que se produce tanto por el tambor como la pala.

En la Tabla 3.7 se presentan los valores de fuerza por unidad de longitud utilizados para el diseño de cordón de soldadura. Para revisar los cálculos revisar Apéndice C.

Tabla 3.7. Cargas de Diseño de Cordón de Soldadura

Descripción	Valor	Unidad
Carga de tensión directa	67.00	N/mm
Carga debido a flector	4083.00	N/mm
Carga total	4084.00	N/mm
Garganta de cordón	3.50	mm
Pie de cordón	4.94	mm

Elaboración: Propia

3.5 Árbol de transmisión

Para el diseño del árbol de transmisión primero se seleccionó la cadena y piñón entre el árbol de transmisión y el motor hidráulico.

Se utiliza una cadena ASME No. 100 de 1 ¼ doble con un piñón de 15 dientes. Se utiliza una cadena doble para utilizar un piñón de diámetro de paso menor

y que el diseño pueda ser más compacto. Las características de la cadena y piñón se muestran en la Tabla 3.8. Los cálculos de cadena se encuentran en el Apéndice D.

Tabla 3.8. Características de Cadena y Piñón ASME

Cadena		Piñón	
Descripción	Unidad	Descripción	Unidad
Paso	25.40 mm	Paso	25.40
Diámetro de rodillo	15.875 mm	Diámetro de paso	122.67 mm
Ancho	62.738 mm	Distancia entre centros	270.00 mm

Elaboración: Propia

El árbol de transmisión se encuentra soportado por dos rodamientos UN 410, es accionado por un motor hidráulico y transmite la potencia hacia el tambor de mezclado utilizando piñones y cadenas.

Las secciones críticas (cambios de sección y punto de momento máximo) del eje han sido diseñadas un factor de seguridad de 1.5 y 1.25. Esto considerado que la carga original es 1.25 veces el peso nominal.

Para el modelo presentado en la Figura 2.8 las cargas de fuerza cortante sobre el árbol de transmisión se presentan en la Figura 3.3; mientras que las carga por el momento flector se muestran en la Figura 3.4. La fuerza cortante es el resultado de la fuerza del piñón del tambor y el piñón proveniente del cilindro hidráulico. Las reacciones son debido a los rodamientos.

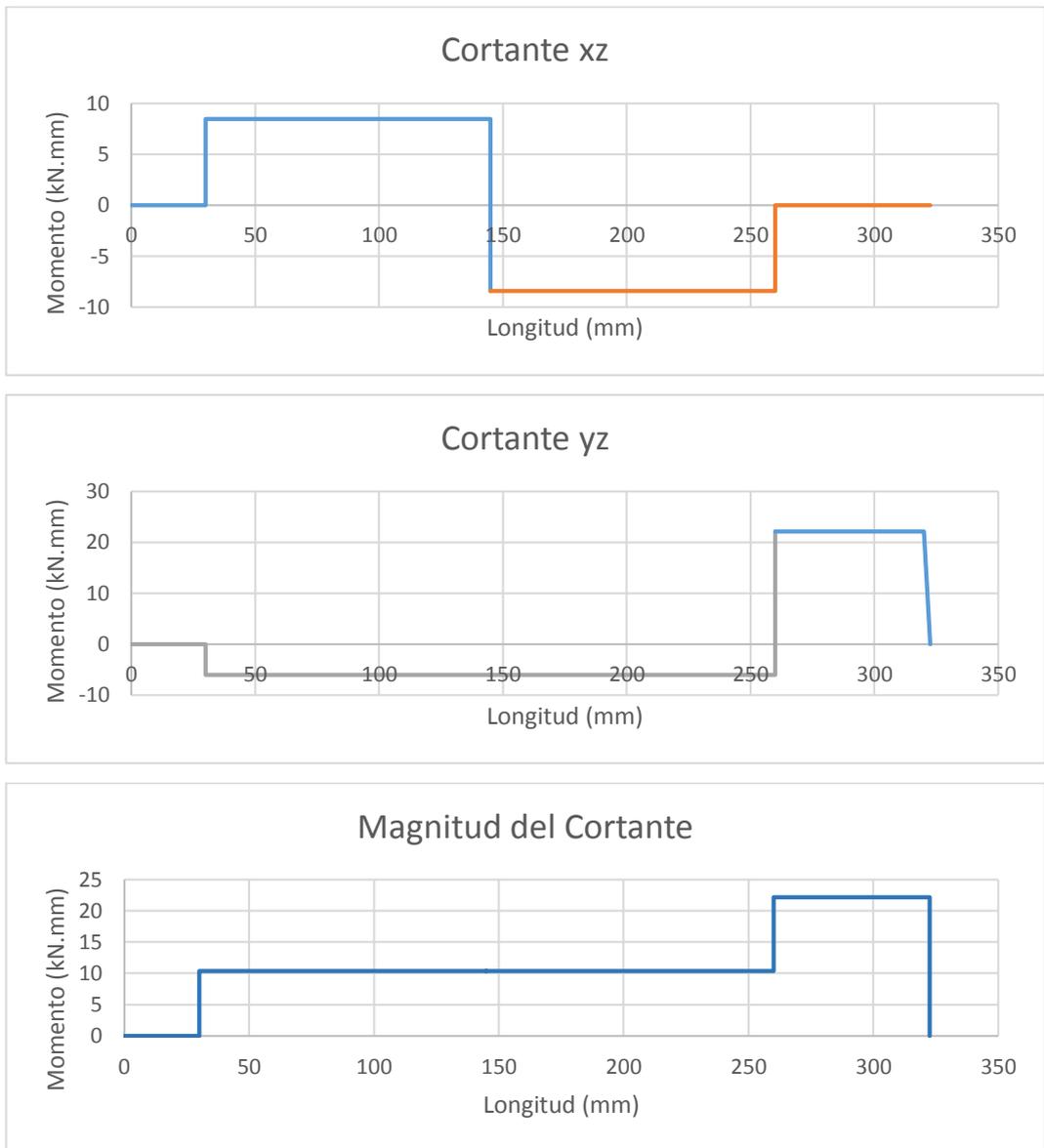


Figura 3.3 Cargas Cortantes Árbol de Transmisión

Fuente: Propia.

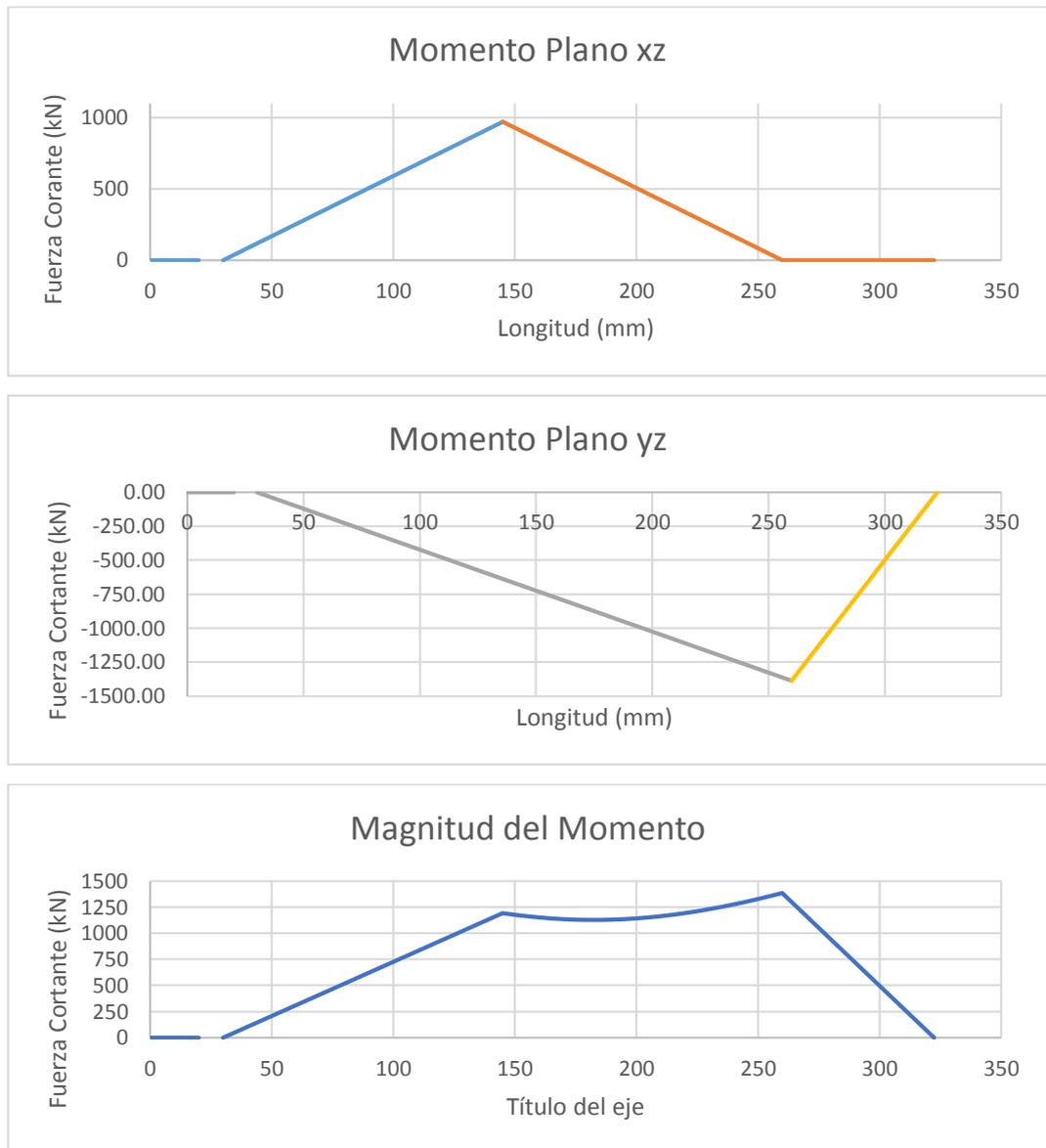


Figura 3.4 Flector Árbol de Transmisión

Fuente: Propia.

El plano del árbol de transmisión se encuentra en Plano 3 y los cálculos están descritos en el Apéndice E.

3.6 Rodamientos

Para el árbol de transmisión se ha seleccionado dos rodamientos NU 410, cuyas características se muestra en la Tabla 3.9. Se seleccionó un solo tipo de rodamiento para que no existe equivocaciones a la hora de montaje por parte del técnico. Los cálculos se encuentran en el Apéndice F.

Tabla 3.9. Rodamiento NU 140

Descripción	Valor	Unidad
Diámetro interior	50	mm
Diámetro exterior	130	mm
Ancho	31	mm
Carga dinámica	129	kN

Elaboración: Propia

3.7 Motor Hidráulico

Como resultado de la selección del motor hidráulico se utilizó un motor de baja velocidad y alto torque (LSHT). El motor TK 0315-K5-64-1 de Parker, para su montaje se utilizaron pernos de 1 5/16, como indica su manual de instalación. cuyas características se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. Motor Hidráulico

Descripción	Valor	Unidad
Desplazamiento	315	cm ³ /rev
Velocidad máxima	413	rpm
Caudal Máximo	114	L/min
Presión Máxima	240	bar
Torque máximo	1030	N.m
Potencia Máxima	47.4	kW

Elaboración: Propia

3.8 Cilindro Hidráulico

En el presente diseño para la pala hidráulica se seleccionó un cilindro de doble acción 1002-350 del Catálogo de CICROSA, donde las características se muestran en la Tabla 3.11. Los cálculos están en el Apéndice G

Tabla 3.11. Cilindro 1002-350 Doble Efecto (Serie 1000)

ØA	ØB	Z	E	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Peso
(mm)														(kg)
30	50	250	470	23	25	45	60	71	50	76	43	15	30	6.40

Elaboración: Propia

3.9 Bomba Hidráulica

La bomba seleccionada es una bomba hidráulica de nueve (9) pistones, de carcasa de fundición de hierro, las características se presentan en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Bomba Hidráulica

Descripción	Valor	Unidad
Desplazamiento	270	cm ³ /rev
Presión máx.	35	Bar
Velocidad máx.	1800	Rpm
Peso	172	kg

Elaboración: Propia

3.10 Motor a Diésel

Para satisfacer la potencia necesaria para la mezcladora se seleccionó el motor LDW 1603 marca Lombardini y las características se muestran en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Lombardini LD 1603

Descripción	Valor	Unidad
No. Cilindros	3	cm ³ /rev
Desplazamiento	1649	Bar
Bore	1800	Rpm

Tabla 3.13. Lombardini LD 1603

Descripción	Valor	Unidad
Carrera	172	kg
Potencia máxima @3000 rpm	29.5	kW
Peso	156	kg

Elaboración: Propia

El motor operara a una velocidad de 2300 rpm, lo cual corresponde a una potencia de 23 kW lo cual permite operar a la mezcladora de manera continua sin problema. (Ver Figura 3.5)

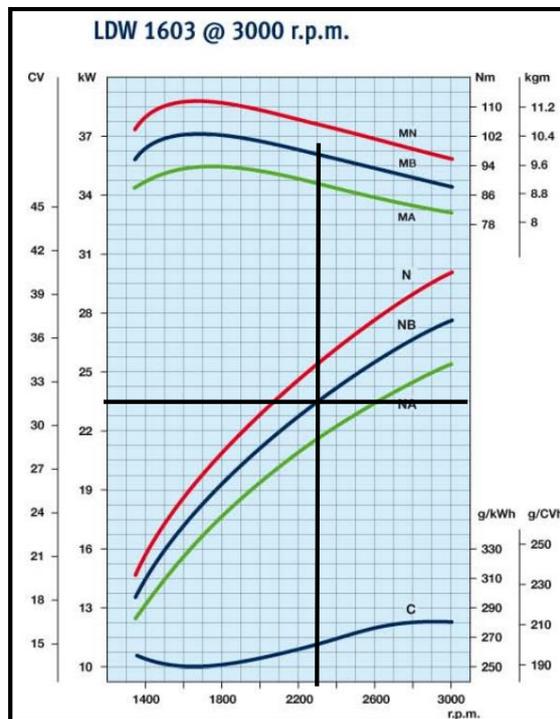


Figura 3.5 Curva de Motor

Fuente: Lombardini, 2015

3.11 Selección de poleas y banda

Para la transmisión de potencia del motor de combustión interna y bomba hidráulica la Tabla 3.14 indica los componentes necesarios:

Tabla 3.14. Banda y Polea

Cantidad	Descripción
1	5 B 50 TB
1	Buje TB 1 5/8
1	5 B 64 TB
1	Buje TB 2 1/2
5	BX35

Elaboración: Propia

3.12 Análisis de Costos

Para la manufactura de la mezcladora se ha realizado un análisis de costo, el cual se basa en mano de obra, materiales, equipos y transporte. Como resultado se realizó un cronograma valorado y un presupuesto. (ver Tabla 3.15)

Tabla 3.15 Presupuesto

RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
	DISEÑO				
01	Estudios preliminares	Horas	30.00	4.80	144.00
02	Diseño de equipos y sistemas	Horas	60.00	17.85	1,071.00
03	CAD	Horas	40.00	5.25	210.00
	CHASIS				
06	Corte de perfiles	Horas	16.00	52.60	841.60
07	Soldar perfiles	Horas	24.00	56.78	1,362.72
	Tambor				
008	Corte de planchas	Horas	32.00	33.55	1,073.60
009	Soldar tambor	Horas	32.00	39.40	1,260.80
010	Montaje de tambor	Horas	16.00	61.60	985.60
	Pala Hidráulica				
011	Montaje de pala hidráulica	Horas	40.00	96.27	3,850.80
012	Mecanización de ejes	Horas	8.00	80.60	644.80
013	Montaje de sistema hidráulico	Horas	16.00	114.34	1,829.44
014	Montaje de motor	Horas	16.00	204.03	3,264.48
	Pintura				
015	Limpieza	Horas	5.00	8.37	41.85
016	Aplicación	Horas	35.00	35.75	1,251.25
TOTAL:					17,831.94

Elaboración: Propia

Para la mano de obra se ha tomado la parte de diseño y la manufactura de la mezcladora. La Tabla 3.16 muestra al personal para el diseño y manufactura de la mezcladora, junto con el salario y el número de horas que cada uno aporta al proyecto.

Tabla 3.16. Costos de Mano de Obra

DESCRIPCION	SAL.REAL/HORA	HORA-HOMBRE	COSTO TOTAL
Ayudante	2.75	286	220.00
Ingeniero	15.00	60	150.00
Maestro Mayor	5.00	206	260.00
Maestro Tornero	4.00	6	16.00
Técnico	3.00	70	67.50
TOTAL:			2,953.00

Elaboración: Propia

La Tabla 3.17 muestra los materiales utilizados para la manufactura de la mezcladora, estos precios han sido obtenidos por medio presupuestos a empresas locales o por medio de catálogos en línea.

Tabla 3.17. Costos de Materiales

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Accesorios	U	25.00	16.00	200.00
Aceite	Gal	5.00	0.96	5.20
Árbol de transmisión	KG	5.00	5.20	84.00
Bomba Hidráulica	U	400.00	0.96	384.00
Cadenas	U	40.00	0.96	38.40
Cilindro hidráulico	U	250.00	1.20	300.00
Cuchillas	U	2.00	0.80	1.60
Deposito aceite	U	150.00	0.96	144.00
Diluyente	L	2.00	3.50	7.00
Electrodo	kg	3.50	54.80	191.80
Hoja de sierra	Hoja	2.50	4.00	10.00
Impresiones B/N	hojas	0.06	300.00	18.00
Impresión B/N	hojas	0.06	200.00	12.00
Motor	U	2,500.00	0.80	2,000.00
Motor Hidráulico	U	350.00	0.96	336.00

Tabla 3.17. Costos de Materiales

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Pala hidráulica	U	1,100.00	1.20	1,320.00
Perfiles	kg	1.80	160.00	288.00
Pintura	gal	20.00	3.50	70.00
Plancha	kg	1.70	160.00	272.00
Refrigerante	U	1.00	0.80	0.80
Rodamientos	U	6.00	4.00	24.00
Waipe	kg	1.00	2.50	2.50
TOTAL:				5,850.20

Elaboración: Propia

Para la ejecución del proyecto se necesitan de equipos, la Tabla 3.18 muestra los equipos utilizados, su cantidad y el costo en el presupuesto

Tabla 3.18. Tarifa de Equipos

DESCRIPCION	COSTO/HORA	HORA-EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor (% total)	106.44		106.44
Amoladora	15.00	161.60	2,424.00
Comparador de caratula	2.50	16.00	40.00
Compresor	30.00	28.00	840.00
Computadora	1.60	130.00	234.00
EPP	2.00	327.00	981.00
Soldadora	25.00	128.00	3,200.00
Taladro	4.50	80.00	360.00
Torno	100.00	5.60	560.00
TOTAL:			8,745.44

Elaboración: Propia

La Tabla 3.19 muestra el cronograma valorado que contempla el tiempo requerido para el diseño y el tiempo empleado para la manufactura de la mezcladora.

Tabla 3.19. Cronograma Valorado

RUBRO	DESCRIPCION	P. TOTAL	1 MES				2 MES			
			1	2	3	4	5	6	7	8
A	DISEÑO	1,425.00	1,425.00							
B	CHASIS	2,204.32	2,204.32							
C	TAMBOR	3,320.00	1,660.00				1,660.00			
D	PALA HIDRAULICA	3,872.00	3,872.00							
E	TRANSMISION DE POTENCIA	5,754.88					5,754.88			
F	PINTURA	1,293.10					1,293.10			
INVERSION MENSUAL		17,869.30	9,161.32				8,707.98			
AVANCE MENSUAL (%)			51.27				48.73			

Elaboración: Propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En el presente documento se diseñó una mezcladora horizontal reversible de capacidad de 540 L., auto cargable. Para esto se utilizaron la Norma IS. 1791-1985 e ISO 18650, las cuales fueron bases para definir parámetros necesarios que debe cumplir la mezcladora para producir concreto para losas.

El diseño fue un proceso iterativo donde se utilizó información de tipo primaria como entrevistas con especialistas en la manufactura de mezcladoras (Ing. Jorge Ruilova – Prodecon), así como información secundaria como catálogos y normas.

Considerando la información facilitada, se puede concluir que:

- El diseño de la mezcladora depende del volumen de concreto que se desea mezclar como del sistema de transmisión de potencia del tambor de mezclado.
- El chasis soporta mayores esfuerzos en la parte posterior debido a que por la geometría de la pala de alimentación el centro de gravedad se aleja del punto de rotación, lo que implica que aumento el momento que se distribuye sobre los apoyos del chasis.
- La potencia requerida para rotar el tambor de mezclado depende del centro de gravedad.
- Aproximadamente el 40% de la potencia requerida para rotar el tambor de mezclado se debe a la fricción. Esta fricción aumenta con el peso y diámetro del tambor de mezclado, como también del material de los cilindros de apoyo.
- Un diseño compacto implica que exista el número necesario de componentes y sistemas. Es decir que no exista transmisión de potencia entre arboles de transmisión de manera innecesaria, y que los motores,

bombas y otros actuadores, se diseñen de tal manera que no ocupen demasiado espacio.

- El uso de tensores (refuerzos) en la parte posterior del chasis disminuye considerablemente los esfuerzos producidos al peso de la pala de hidráulica. Esto, debido a que los tensores aumentan la rigidez y estabilidad del sistema.

Debido a que el tamaño de la mezcladora depende del volumen de concreto y de la capacidad mínima indica por la Norma IS. 5892-2004, para aumentar el volumen se puede aumentar el diámetro o la longitud del tambor de mezclado. Sin embargo, al existir una relación entre el torque de trabajo y el centro de gravedad, la mejor opción es mantener el centro de gravedad tan cercano como sea posible. Además, el tipo de cadena y piñón que se usan en el tabor tienen una restricción de velocidad, por lo tanto, es mejor mantener un diámetro relativamente corto y aumentar la longitud. De esta manera el torque de trabajo es menor y se puede obtener una mayor relación de velocidad.

El uso de software de modelado (Autodesk Inventor) y análisis (Mechanical APDL) permiten realizar diseños de forma y analizarlos de manera rápida y eficaz, utilizando piezas o materiales disponibles en el mercado, lo que da como resultado un diseño viable, es decir un equipo compacto y que utiliza componentes del mercado.

4.2 Recomendaciones

Como parte del diseño se realizan las siguientes recomendaciones que pueden hacer al diseño más atractivo para el mercado, esto es:

- Implementar un sistema de control automático para la operación del tambor de mezclado y la pala de alimentación, utilizando solenoides.
- Analizar el uso de cadena y piñón tipo ASME para la transmisión de potencia en el tambor, debido a que este tipo de cadena se puede añadir y quitar rodillos para tener el diámetro deseado.

- Evaluar el uso de un motor de eléctrico, tomando en cuenta el espacio que ocupara en el chasis de la mezcladora y el costo.
- Diseñar la maquina pensado en la misma como un todo, donde los sistemas están relacionados entre sí. Esto debido a que el óptimo funcionamiento se alcanza cuando todos los sistemas y componentes trabajan de manera adecuada.
- El diseño de una maquina no implica únicamente la determinación correcta de la potencia o selección adecuada de perfiles, sino también la ubicación de los componentes de manera adecuada.
- No utilizar diferentes aceites en el depósito de aceite, ni tampoco olvidarse de limpiar el filtro periódicamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. AfriSam. (2008). *Guide to use of High Strength Cement*. South Africa: AfriSam.
2. American Concrete Institute. (2008). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318*. Farmington Hills: Comité ACI.
3. ASTM. (2003). *Specification for Ready-Mix Concrete*. New York: ASTM.
4. Caibe, E. (2012). *Tamíz rotativo de 1.5 ton/h para la retención de residuos en el proceso de preparación de pasta de la empresa EDESA S.A.* Sangolqui: ESPE.
5. Castendyck, J. (1950, May 1). *United States Patent No. US2618472 A*.
6. Department of Civil Engineering. (2003). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Illinois: Portland Cement Association. Retrieved from http://www.ce.memphis.edu/1112/notes/project_2/PCA_manual/Chap09.pdf
7. Eaton Motors. (2014). *Motor Selection Guide*. Cleveland: Eaton.
8. Edil Lame. (2015). *Operating and Maintenance Instructions PENTA*. Firenze: Edila Lame.
9. Ferraris, C. F. (2001). Concrete Mixing Methods and Concrete Mixers; State of the Art. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 391-399.
10. Geir, N. (1999, March 16). *United States Patent No. US5984520 A*.
11. Holcim Ecuador S.A. (2014). *Manual de Elaboracion de Hormigon con Cemento Holcim Fuerte*. Guayaquil: Holcim S.A.
12. Indian Standards Institution. (2004). *Concrete Transit Mixers 5892-2004*. New Delhi: Manak Bhavan.
13. Indian Standards Institution. (2005). *General Requirements for Batch Type Concrete Mixer 1791-1985*. New Delhi: Manak Bhavan.
14. ISO. (2004). *Building Construction Machinery and Equipment-Concrete Mixers*. Switzerland: IHS.
15. Khouri, A., & Rodgers, W. (1999, October 8). *United States Patent No. US7678317 B2*.
16. LAMSCO Consultora. (2013). *LAMSCO Consultora*. Retrieved Mayo 27, 2016, from <http://www.lamsco-consultora.com/>
17. Martin Chaves, J. (2013). *Actuadores Hidraulicos*. Huelva: UHU.

18. Muller, W. (1946, March 8). *United States Patent No. US2453583 A*.
19. NTN Corporation. (2004). *Rodamiento de Bolas y Rodillos*. New York: NTN.
20. Parker. (2012). *Engineering Data*. Tennessee: Parker Hannifin Corp.
21. Renold. (2013). *TRANSMISSION CHAIN - SELECTION PROCEDURE*. New York: Renold.
22. Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (1996). *Standard Handbook of Machine Design*. New York: McGraw-Hill.
23. Swift, P., & Crosswell, S. (2007). *Concrete Structures: Level 2*. Cape Town: Pearson Education South Africa.
24. The Euclidid Chemical Company. (2006). *Concrete Floor Sytem Design Guide*. Cleveland: The Euclidid Chemical Company.
25. Tsubaki Chain Co. (2013). *Tsubaki Drive Chains & Sprockets*. Japan: Tsubaki Chain Co.
26. Turley, R. (1913). *Concrete Mixers*. Illinois: University of Illinois.
27. VICKERS. (1996). *Manual de Oleohidraulica Industrial*. Barcelona: Blume.

APÉNDICES

APÉNDICE A
Selección de Cadena (Gear - Pin)

$$I_t = M_t \left(\frac{D_d}{2000} \right)^2 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$I_t = (1796 + 660) \left(\frac{1175}{2000} \right)^2$$

$$I_t = 847.70 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$T_a = \frac{\pi \cdot I_t \cdot n_2}{30000 \cdot t} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$T_a = \frac{\pi \cdot 847.70 \cdot 15}{30000 \cdot 20}$$

$$T_a = 0.06 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_f = \frac{1.15 \cdot 9.8}{2 \cdot 10^6} \cdot M_t \cdot (\mu_s + \mu_r) \cdot D_s \quad \text{Ecuación 8}$$

$$T_f = \frac{1.15 \cdot 9.8}{2 \cdot 10^6} (2456)(0.1 + 0.001)(1292)$$

$$1.81 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$T_g = \frac{F_g \cdot R_g}{1000} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$T_g = \frac{24.06(273)}{1000}$$

$$T_g = 6.56 \text{ kN}$$

$$T_w = T_a + T_f + T_g \quad \text{Ecuación 10}$$

$$T_w = 0.06 + 1.81 + 6.56$$

$$T_w = 8.40 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_w = \frac{2000 \cdot T_w}{D_{pw}} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$F_w = \frac{2000(8.40)}{1400}$$

$$F_w = 12.00 \text{ kN}$$

$$V_e = \frac{\pi}{1000} \cdot D_{pw} \cdot n_2 \quad \text{Ecuación 12}$$

$$V_e = \frac{\pi}{1000} \cdot 1400 \cdot 15$$

$$V_e = 65.97 \text{ m/min}$$

$$F_t = K_s \cdot K_v \cdot F_w \quad \text{Ecuación 13}$$

$$F_t = 1.4 \cdot 1.2 \cdot 12.00$$

$$F_t = 20.16 \text{ kN}$$

$$N_{t1} = \frac{D_a \cdot \pi}{P}$$

Ecuación 14

$$N_{t1} = \frac{1400.56 \cdot \pi}{40}$$

$$N_{t1} = 110$$

$$i = \frac{N_{t2}}{N_{t1}}$$

Ecuación 15

$$i = \frac{110}{12}$$

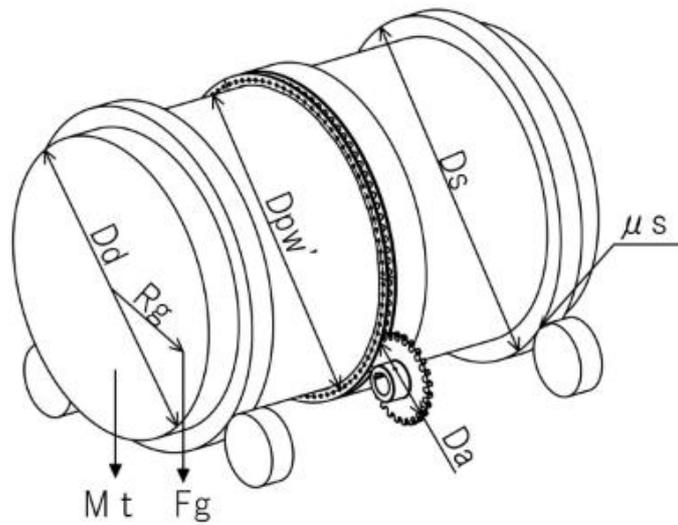
$$i = 9.17$$

$$P_w = \frac{\pi}{30} \cdot T_w \cdot n_2$$

Ecuación 16

$$P_w = \frac{\pi}{30} \cdot 8.40 \cdot 15.27$$

$$P_w = 13.20 \text{ kW}$$



APÉNDICE B
Diseño de Chasis

Travesaño Tambor

	$Ax = 631 \text{ N}$ $Ay = 2479 \text{ N}$ $Ma = 206940 \text{ N}\cdot\text{mm}$ $Bx = -6289 \text{ N}$ $By = 8483 \text{ N}$ $Mb = -908270 \text{ N}\cdot\text{mm}$
	$\sigma = \frac{908270 \cdot 80}{6.24 \cdot 10^6} + \frac{8310}{1850}$ $\sigma = 16.20 \text{ MPa}$
	$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{16.20 - 0}{2}\right)^2 + 0^2}$ $\tau_{max} = 8.10 \text{ MPa}$ $\sigma_1 = \frac{16.20 + 0}{2} + 8.10$ $\sigma_1 = 16.20 \text{ MPa}$ $\sigma_3 = \frac{16.20 + 0}{2} - 8.10$ $\sigma_3 = 0 \text{ MPa}$ $\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$ $\sigma'_m = \sqrt{16.20^2} = 16.20 \text{ MPa}$ $\sigma'_a = 16.20 \text{ MPa}$
$N = \frac{248}{16.20}$ $N = 15.03$	

APÉNDICE C
Cordón de Soldadura

$$A_w = 2b + 2d \quad \text{Ecuación 20}$$

$$A_w = 2 \cdot 80 + 2 \cdot 160$$

$$A_w = 480 \text{ mm}$$

$$S_w = bd + \frac{d^2}{3} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$S_w = 80 \cdot 160 + \frac{160^2}{3}$$

$$S_w = 21333 \text{ mm}^2$$

$$J_w = \frac{(b + d)^3}{6} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$J_w = \frac{(80 + 160)^3}{6}$$

$$J_w = 2.3 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$f_s = \frac{P}{A_w} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$f_s = \frac{32118}{480}$$

$$f_s = 67.00 \text{ N/mm}$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$f_b = \frac{87.1 \cdot 10^6}{21333}$$

$$f_b = 4083 \text{ N/mm}$$

$$F_R = \sqrt{f_s^2 + f_b^2} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$F_R = \sqrt{4083^2 + 67^2}$$

$$F_R = 4084 \text{ N/mm}$$

$$t = \frac{F_R}{\tau_{all}} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$t = \frac{4084}{1144}$$

$$t = 3.5$$

$$w = 1.414t \quad \text{Ecuación 28}$$

$$w = 1.414 \cdot 3.5$$

$$w = 4.94 \text{ mm}$$

APÉNDICE D
Cadena ASME

$$f_1 = 1.1$$

$$f_2 = \frac{18}{Z_1}$$

$$f_2 = \frac{18}{15}$$

$$f_2 = 1.20$$

$$P_C = 1.34 \cdot f_1 \cdot f_1$$

$$P_C = 1.34 \cdot 1.20 \cdot 1.1 \cdot 13.2$$

$$P_C = 23.30 \text{ HP}$$

Cadena 100 1 ¼

Ecuación 29

Ecuación 30

APÉNDICE E
Árbol de Transmisión

$$T = \frac{P_w}{\omega}$$

Ecuación 31

$$T = \frac{13.20}{140 \cdot \frac{2\pi}{60}}$$

$$T = 0.90 \text{ kN.m}$$

Tambor

$$F_n = \frac{T}{r}$$

Ecuación 32

$$F_n = \frac{0.90}{160/2}$$

$$F_n = 11.25 \text{ kN}$$

$$F_s = 1.5 \cdot F_n$$

Ecuación 33

$$F_s = 1.5 \cdot 11.25$$

$$F_s = 16.88 \text{ kN}$$

$$F_n = F_1 - F_2$$

Ecuación 34

$$F_s = F_1 + F_2$$

Ecuación 35

$$11.25 = F_1 - F_2$$

$$16.88 = F_1 + F_2$$

$$F_1 = 14.07 \text{ kN}$$

$$F_2 = 2.82 \text{ kN}$$

Motor

$$F_n = \frac{T}{r}$$

Ecuación 32

$$F_n = \frac{0.90}{122/2}$$

$$F_n = 14.75 \text{ kN}$$

$$F_s = 1.5 \cdot F_n$$

Ecuación 33

$$F_s = 22.13 \text{ kN}$$

$$F_n = F_1 - F_2$$

Ecuación 34

$$F_s = F_1 + F_2$$

Ecuación 35

$$11.25 = F_1 - F_2$$

$$16.88 = F_1 + F_2$$

$$F_1 = 18.45 \text{ kN}$$

$$F_2 = 3.70 \text{ kN}$$

Concentradores de Esfuerzo

$$k_t = A \left(\frac{r}{d} \right)^b$$

Ecuación 36

Torsión

$$k_t = 0.90337 \left(\frac{3}{50} \right)^{-0.12692}$$

$$k_t = 1.25$$

Flexión

$$k_t = 0.95120 \left(\frac{3}{50} \right)^{-0.23757}$$

$$k_t = 0.68$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

Ecuación 37

$$q = \frac{1}{1 + \frac{0.118}{\sqrt{3/25.4}}}$$

$$q = 0.71$$

Torsión

$$k_{fsm} = 1 + q(k_t - 1)$$

Ecuación 38

$$k_{fsm} = 1 + 0.71(1.25 - 1)$$

$$k_{fsm} = 1.17$$

Flexión

$$k_f = 1 + q(k_t - 1)$$

$$k_{fsm} = 1 + 0.71(0.78 - 1)$$

$$k_f = 1.00$$

$$d = \left(\frac{32N_f}{\pi} \left(\frac{\sqrt{(K_f M_m)^2}}{S_f} + \frac{0.75 \cdot \sqrt{(K_{fs} T_m)^2}}{S_y} \right) \right)^{1/3}$$

Ecuación 39

$$d = \left(\frac{32 \cdot 1.5}{\pi} \left(\frac{\sqrt{(1 \cdot 740)^2}}{159 \cdot 10^6} + \frac{0.75 \cdot \sqrt{(1.17 \cdot 900)^2}}{207 \cdot 10^6} \right) \right)^{1/3}$$

$$d = 50.39 \text{ mm}$$

$$d = \left(\frac{32 \cdot 1.25}{\pi} \left(\frac{\sqrt{(1 \cdot 1384)^2}}{159 \cdot 10^6} + \frac{0.75 \cdot \sqrt{(1 \cdot 900)^2}}{207 \cdot 10^6} \right) \right)^{1/3}$$

$$d = 53.37 \text{ mm}$$

APÉNDICE F
Rodamientos

$$f_c = 1.1$$

Ecuación 40

$$P = f_c \cdot \max(A, B)$$

Ecuación 41

$$P = f_c \cdot \max(10.37 \text{ kN}, 22.10 \text{ kN})$$

$$P = 24.30 \text{ kN}$$

$$C_r = P \cdot \frac{f_h}{f_n}$$

Ecuación 42

Trabaja 20 000 horas

$$C_r = 24.30 \cdot \frac{3.01}{0.65}$$

$$C_r = 112 \text{ kN}$$

$$f_h = \left(\frac{L_{10}}{500}\right)^{3/10}$$

Ecuación 43

$$f_h = \left(\frac{30\,000}{500}\right)^{3/10}$$

$$f_h = 3.01$$

$$f_n = \left(\frac{33.3}{n}\right)^{3/10}$$

Ecuación 44

$$f_n = \left(\frac{33.3}{140}\right)^{3/10}$$

$$f_n = 0.65$$

APÉNDICE G
Cilindro Hidráulico

$$F_T = \frac{F}{\eta \cdot \lambda \cdot 9.8}$$

Ecuación 45

$$F_T = \frac{24\,118}{0.9 \cdot \cos(50) \cdot 9.8}$$

$$F_T = 4255 \text{ kgf}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F_T \cdot C \cdot S^2}{\pi^3 \cdot E}}$$

Ecuación 46

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 4255 \cdot 2.5 \cdot 90.0^2}{\pi^3 \cdot 2.1 \cdot 10^6}}$$

$$d = 3.03 \text{ cm}$$

$$A = 0.25 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)$$

Ecuación 47

$$A = 0.25 \cdot \pi \cdot (50^2 - 30^2)$$

$$A = 1256 \text{ mm}$$

$$p = \frac{F_T}{A}$$

Ecuación 48

$$p = \frac{24\,118}{1256}$$

$$p = 19.2 \text{ MPa}$$

$$Q = \frac{v \cdot A \cdot 60}{10^3}$$

Ecuación 49

$$Q = \frac{0.5 \cdot 1256 \cdot 60}{10^3}$$

$$Q = 37.7 \text{ l/min}$$

APÉNDICE H
Motor de combustión

$$P_{ice} = \frac{P_w}{\eta_{rv} \cdot \eta_c}$$

Ecuación 51

$$P_{ice} = \frac{13.20 \cdot 1.34}{0.95 \cdot 0.73}$$

$$P_{ice} = 25.50$$

$$P_d = P_{ice} \cdot f_s$$

Ecuación 52

$$P_d = 25.50 \cdot 1.3$$

$$P_d = 33.15 \text{ HP}$$

$$i = \frac{w_m}{w_b}$$

Ecuación 15

$$i = \frac{2300}{1800}$$

$$i = 1.28$$

$$NB = \frac{P_d}{P_c}$$

Ecuación 53

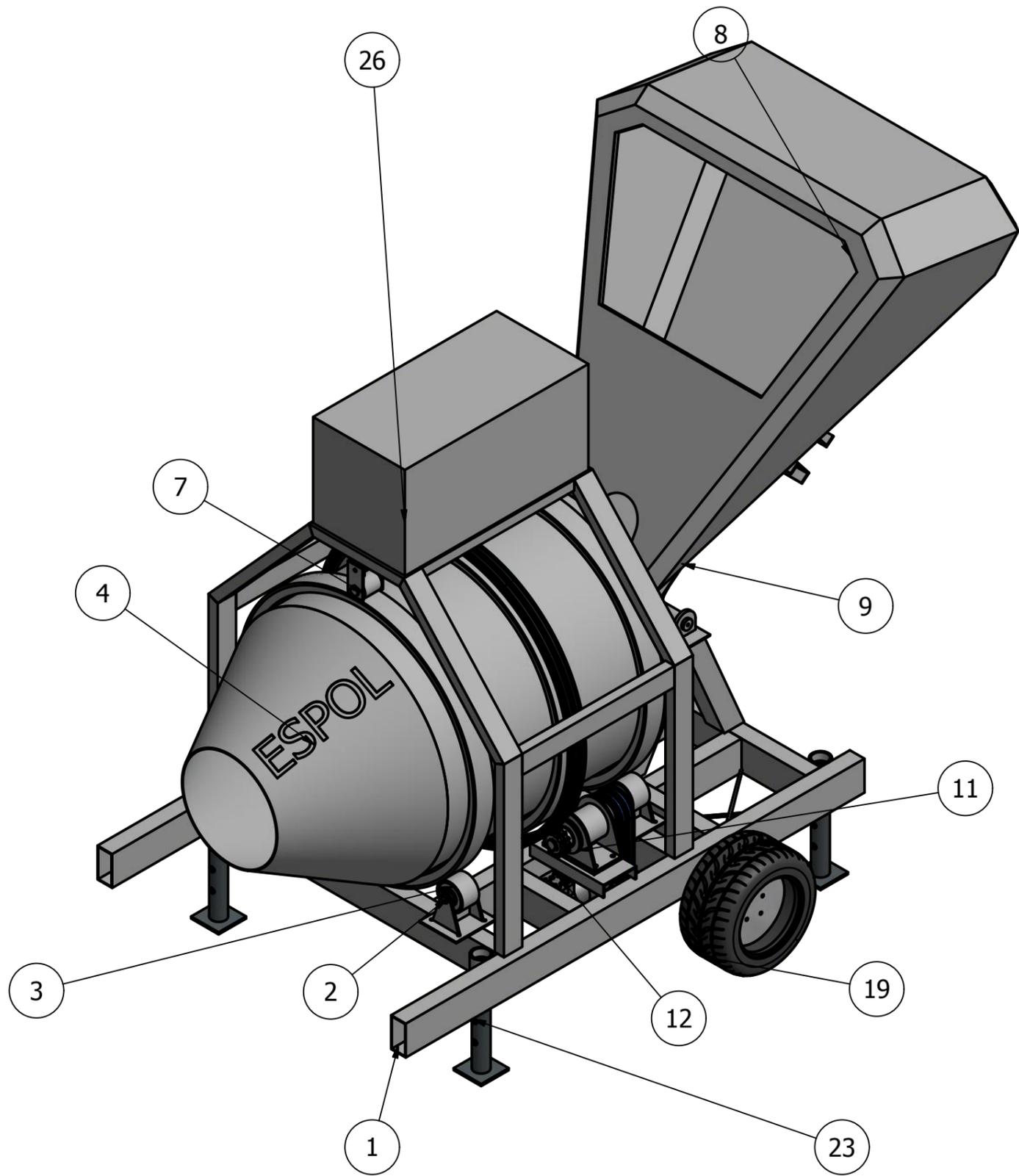
$$NB = \frac{33.15}{7.11}$$

$$p = 4.7 \text{ [-]}$$

PLANOS

PLANO 1

Vista Isométrica de Mezcladora de Concreto

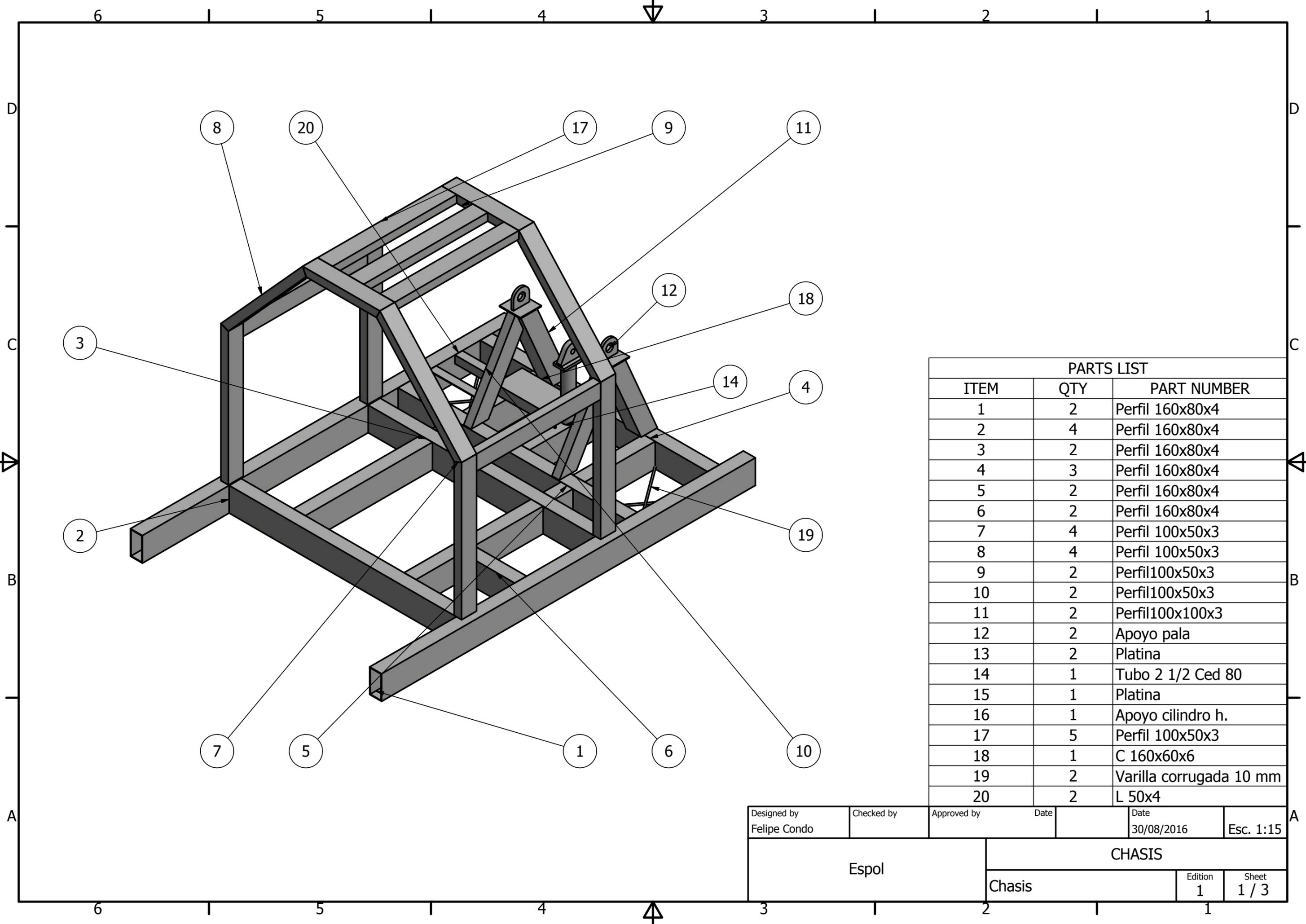


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Chasis
2	4	Soporte rodillo
3	4	Rodillo
4	1	Tambor
7	2	Rodillo Superior
8	1	Cucharon
9	1	Cilindro hidraulico
11	1	Soporte para piñon
12	1	Motor hidraulico
13	1	Eje Soporte Piñon
19	2	Llanta
23	4	Apoyo
26	1	Reservorio de agua

Designed by Felipe Condo	Checked by	Approved by	Date	Date 30/08/2016	Esc. 1:20
Espol			Mezcladora de Concreto de 570 Litros		
			Mezcladora de Concreto	Edition	Sheet 1 / 1

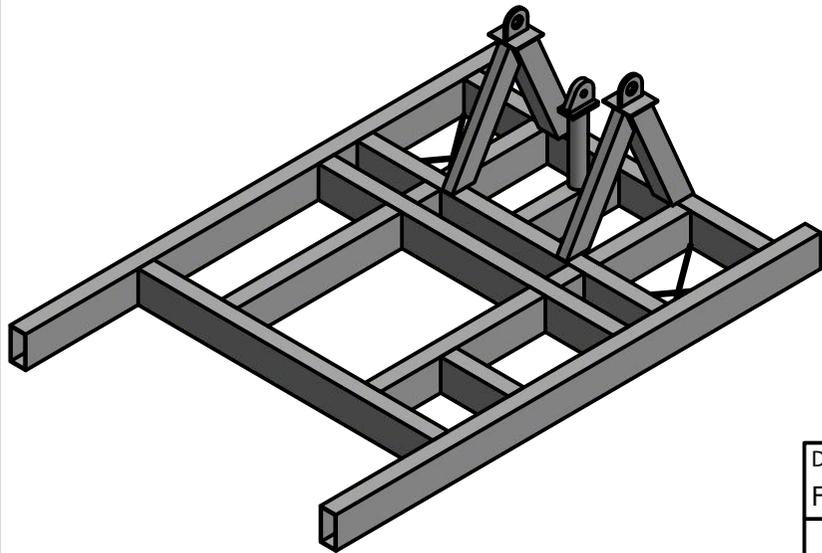
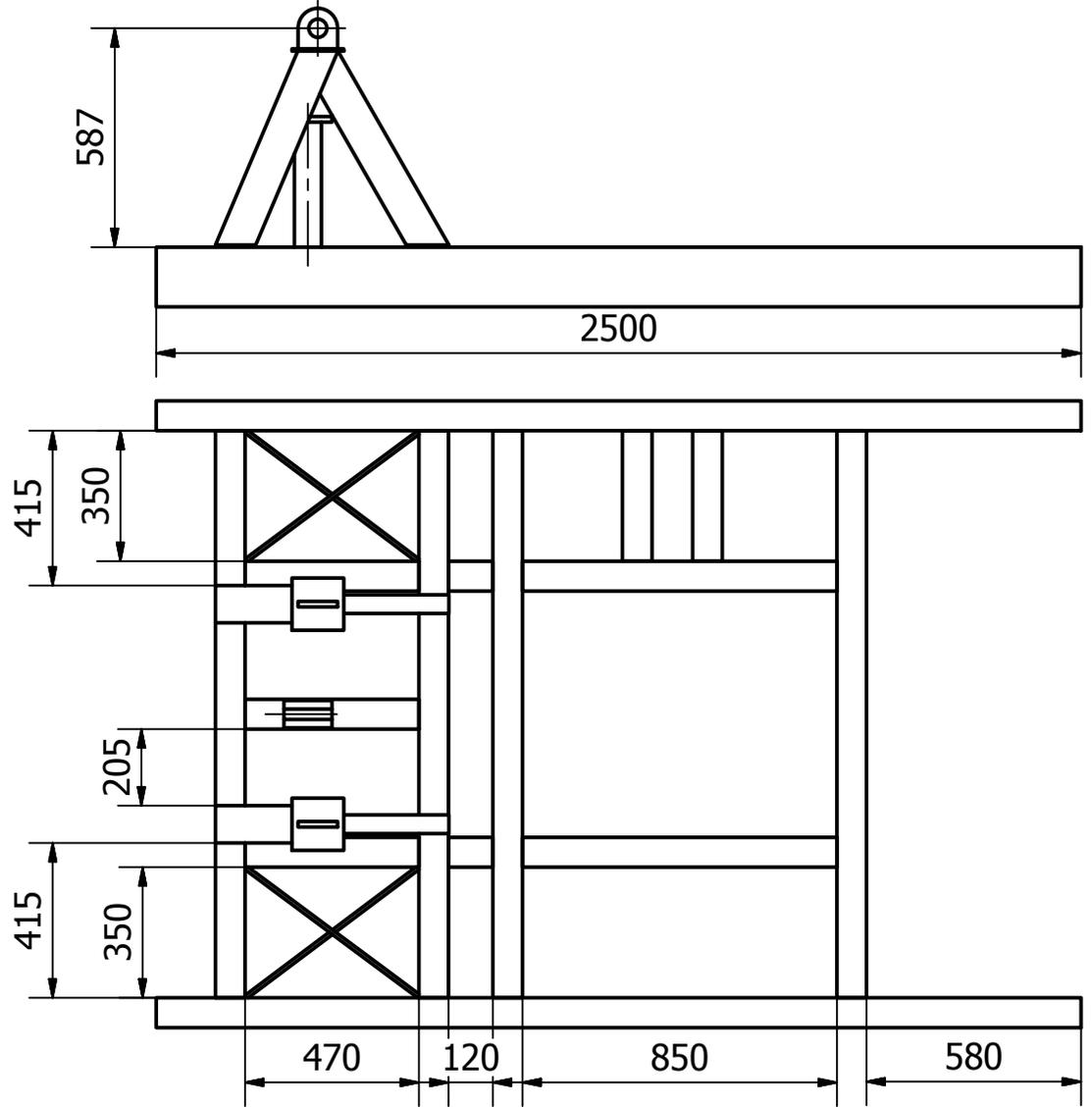
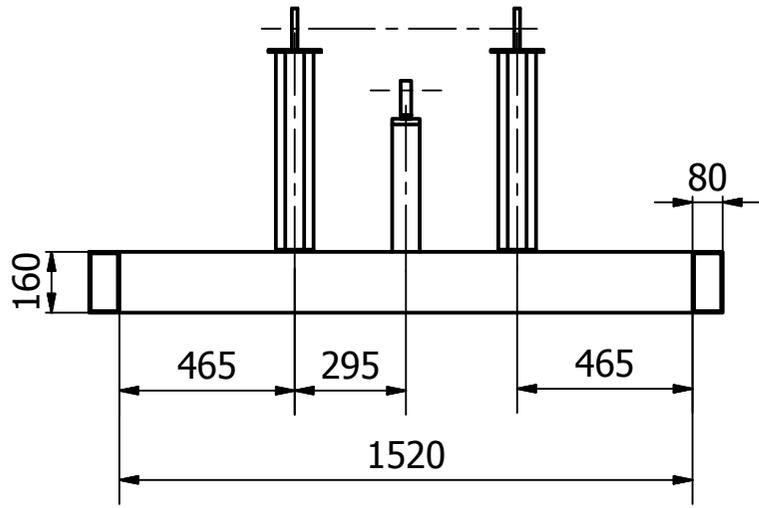
PLANO 2

Chasis

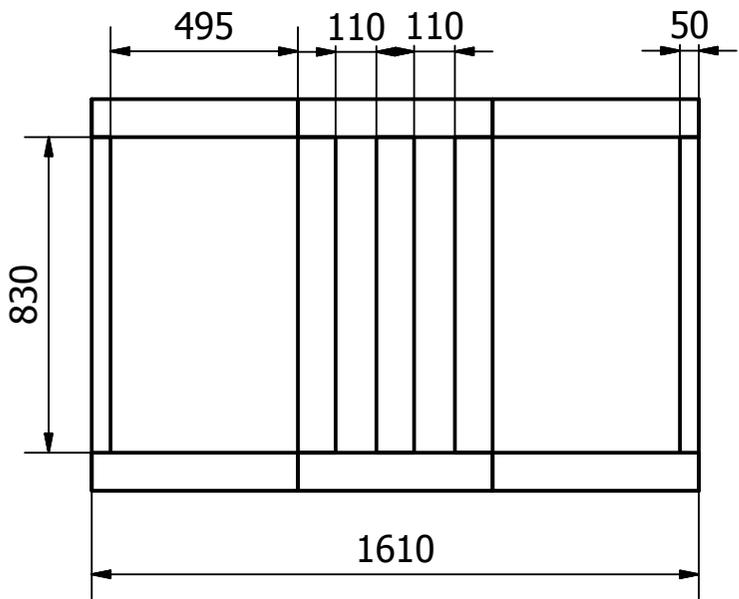
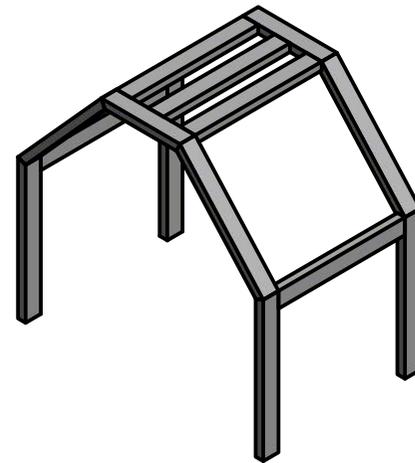
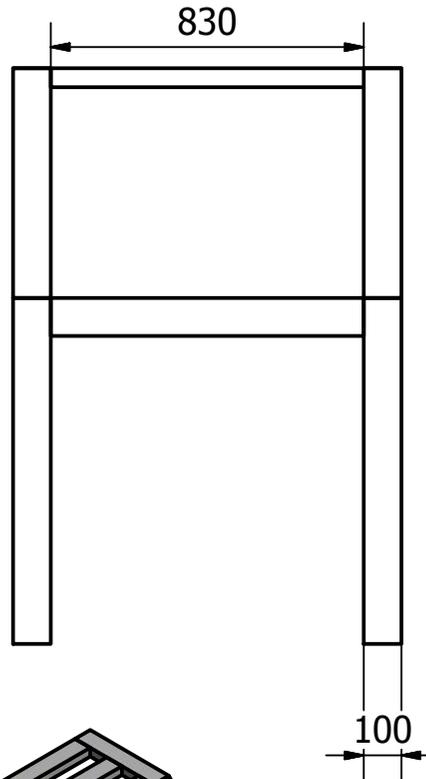
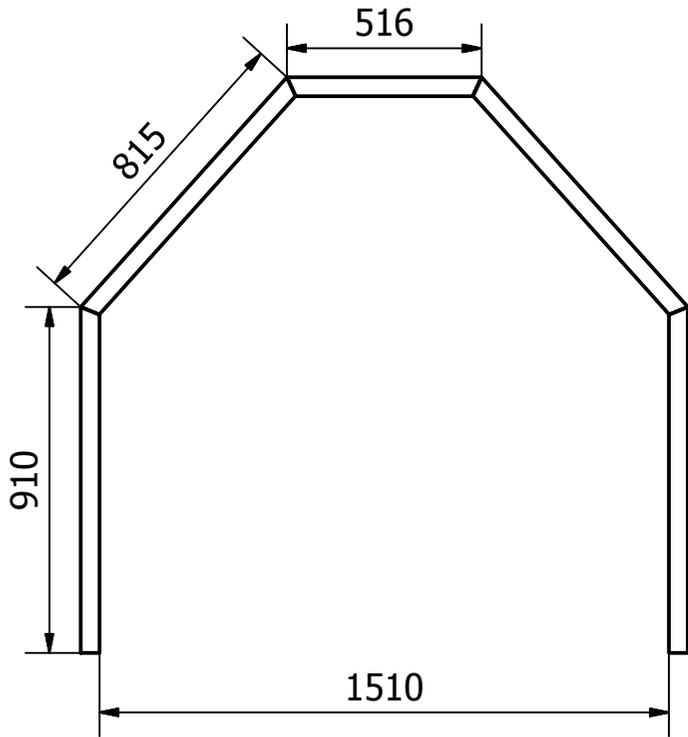


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	2	Perfil 160x80x4
2	4	Perfil 160x80x4
3	2	Perfil 160x80x4
4	3	Perfil 160x80x4
5	2	Perfil 160x80x4
6	2	Perfil 160x80x4
7	4	Perfil 100x50x3
8	4	Perfil 100x50x3
9	2	Perfil100x50x3
10	2	Perfil100x50x3
11	2	Perfil100x100x3
12	2	Apoyo pala
13	2	Platina
14	1	Tubo 2 1/2 Ced 80
15	1	Platina
16	1	Apoyo cilindro h.
17	5	Perfil 100x50x3
18	1	C 160x60x6
19	2	Varilla corrugada 10 mm
20	2	L 50x4

Designed by Felipe Condo	Checked by	Approved by	Date	Date 30/08/2016	Esc. 1:15
Espol		CHASIS			
Chasis			Edition 1	Sheet 1 / 3	

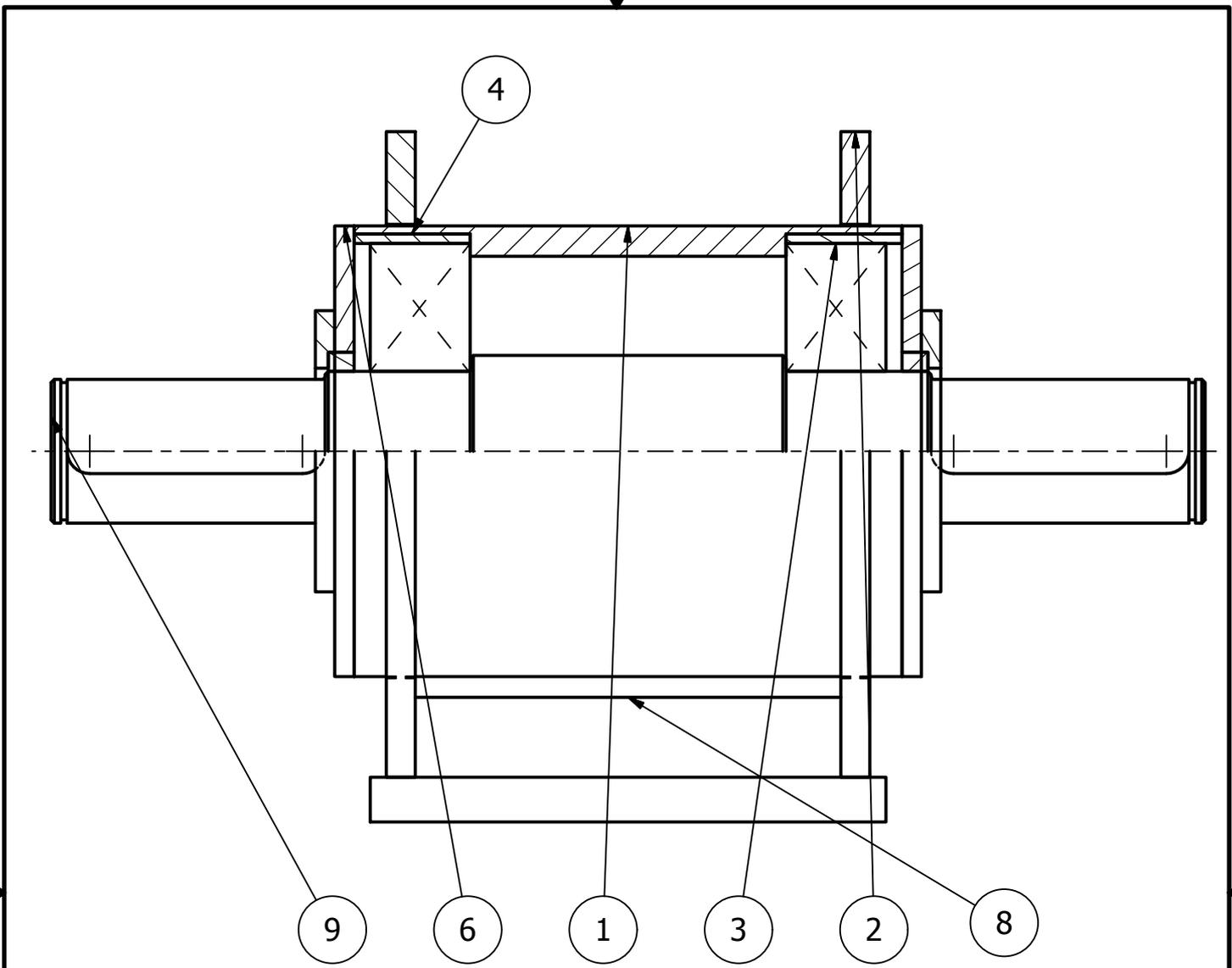


Designed by Felipe Condo	Checked by	Approved by	Date	Date 30/08/2016	Esc. 1:20
Espol			CHASIS		
			Chasis	Edition 1	Sheet 2 / 3



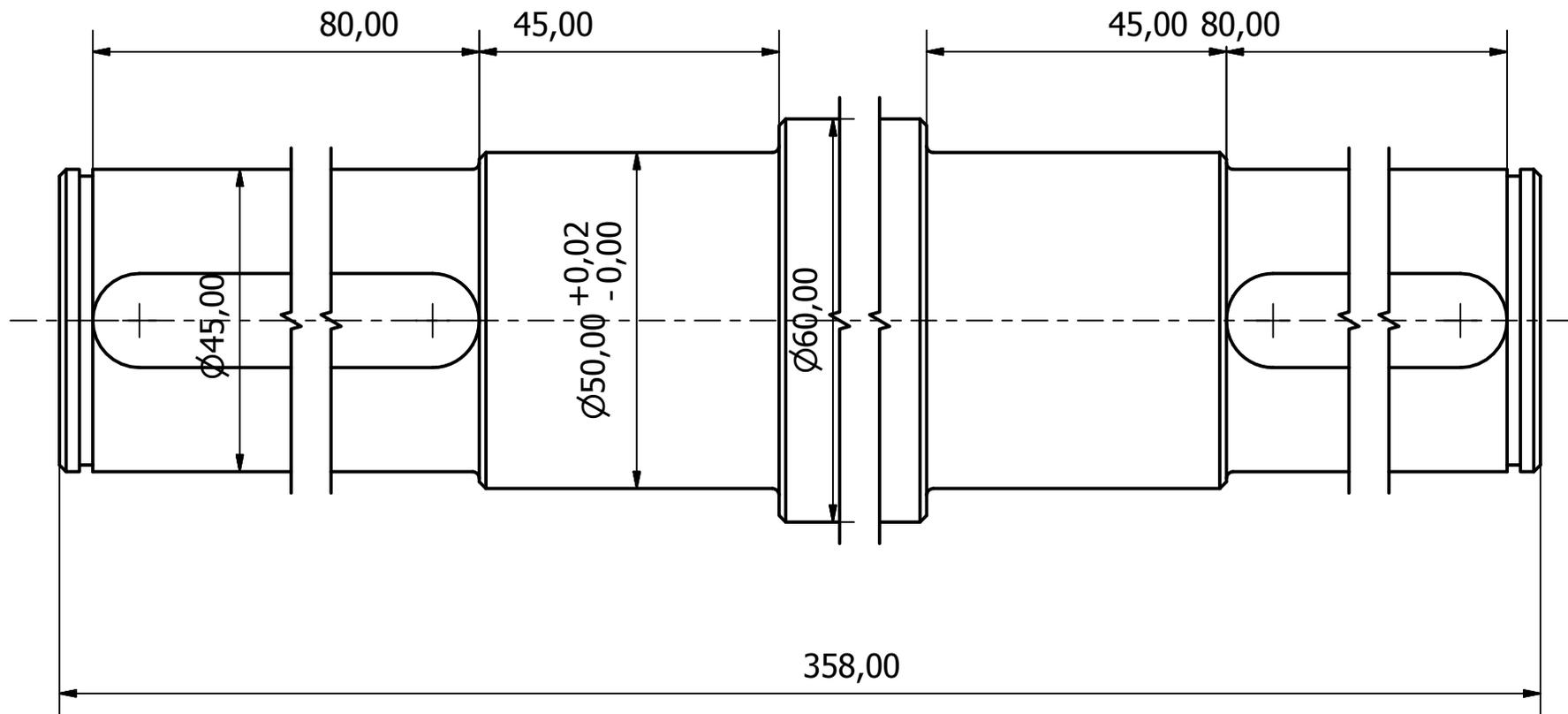
Designed by Felipe Condo	Checked by	Approved by	Date	Date 30/08/2016	Esc. 1:20
Espol			CHASIS		
Chasis				Edition 1	Sheet 3 / 3

PLANO 3
Soporte Piñón



PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Tubo 5" Ced 80
2	2	Soporte Lateral
3	2	NU 410
4	2	Barra Perforda
5	1	Base soporte
6	2	Tapa
7	2	Retenedor 50x62x8
8	1	Nervio
9	1	Arbol de transmisión

Designed by Felipe Condo	Checked by	Approved by	Date	Date 30/08/2016	Esc. 1:2
Espol		Soporte Piñon			
		Soporte Piñon		Edition	Sheet 1 / 3

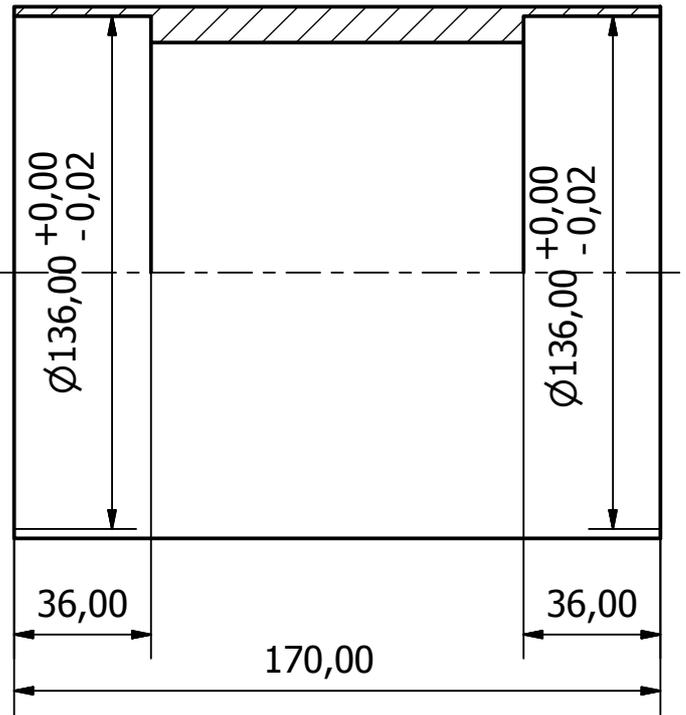
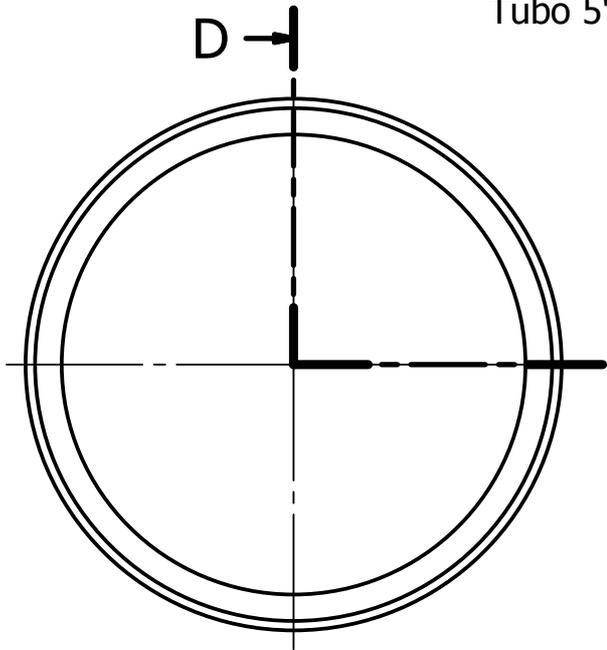


Designed by Felipe Condo	Checked by	Approved by	Date R 3	Date 30/08/2016	Esc. 1:1
Espol			Despiece - Árbol de Transmisión		
			Soporte Piñon	Edition	Sheet 2 / 3

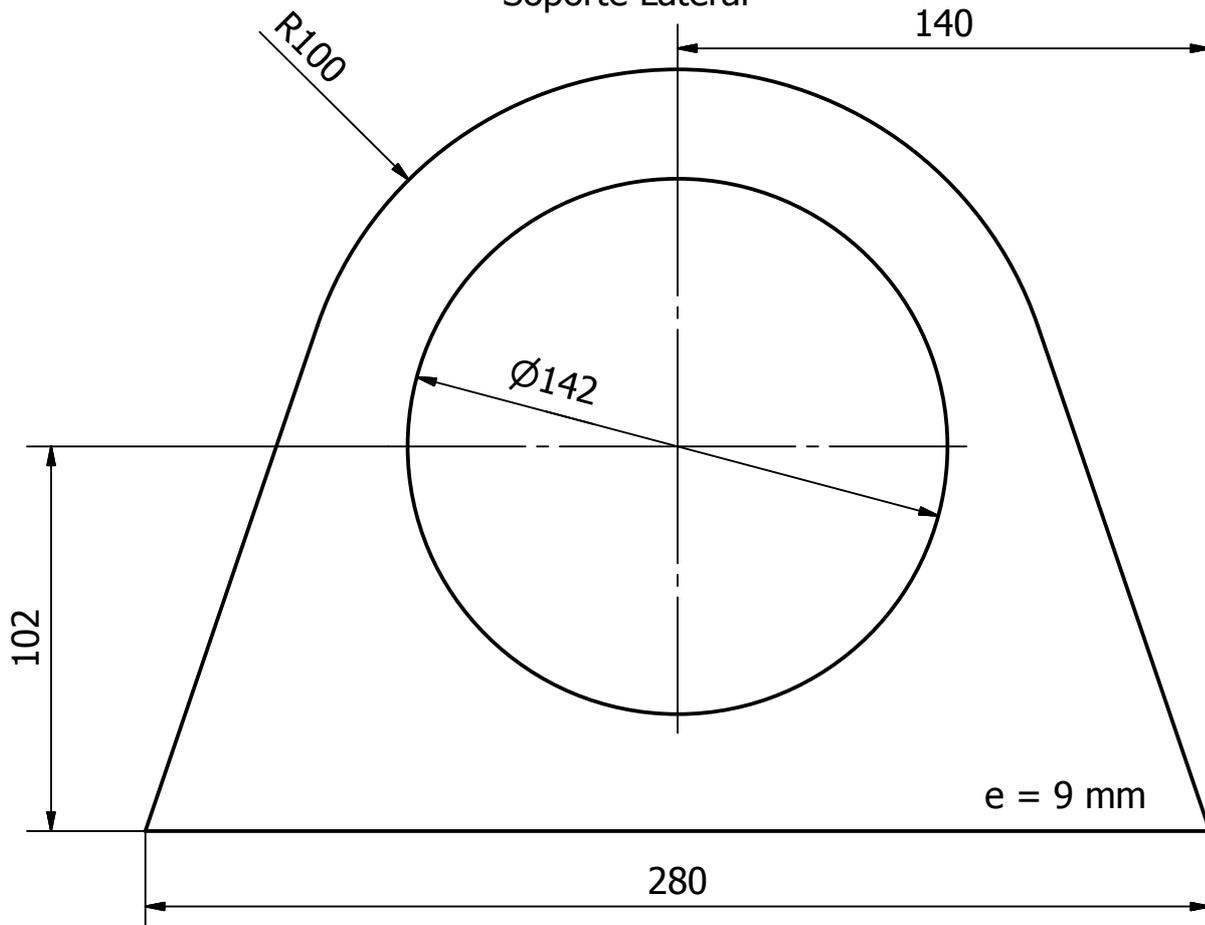


Tubo 5" Ced. 80

D-D (1 : 2)



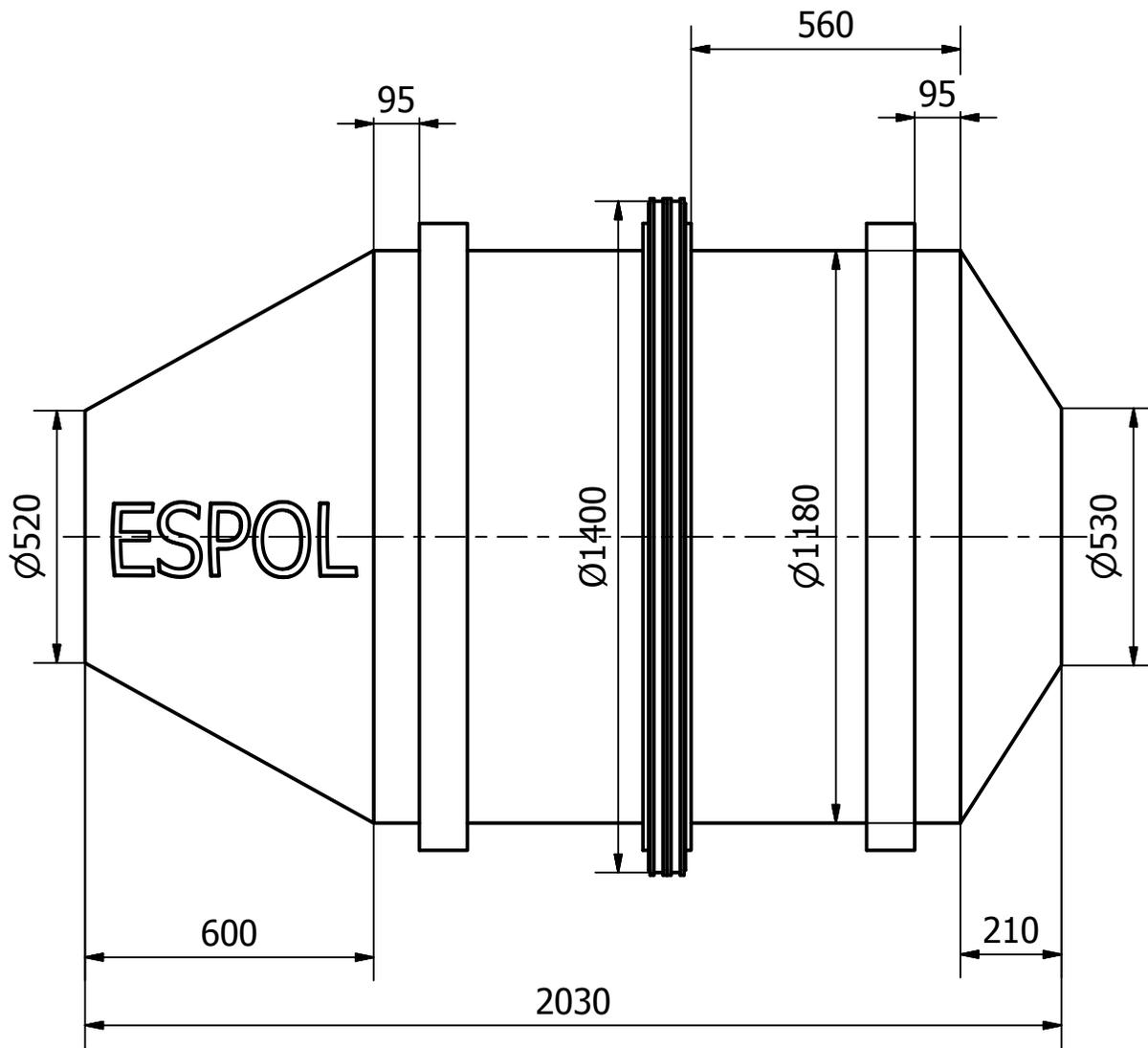
Soporte Lateral



Designed by Felipe Condo	Checked by	Approved by	Date	Date 30/08/2016	Esc. 1:2
Espol			Despiece - Tubo 5" Ced 80 - Soporte Lateral		
			Soporte Piñon	Edition	Sheet 3 / 3



PLANO 4
Tambor de Mezclado



Designed by Felipe Condo	Checked by	Approved by	Date	Date 30/08/2016	Esc. 1:15
Espol			Tambor de Mezclado		
			Tambor de Mezclado	Edition	Sheet 1 / 1