

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de una bomba de hormigón estacionaria con capacidad de hasta 5 metros cúbicos por hora y hasta 6 metros de altura

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Guido José Borja Delgado

Michael Augusto Maza Chamba

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado en primer lugar a mi madre, quien ha sido mi apoyo incondicional durante toda mi carrera y mi vida, y siempre ha estado allí a pesar de las dificultades.

A mis hermanos, que siempre confiaron en mí y estuvieron animándome y apoyándome para no rendirme jamás.

A Miguel Patiño, una persona muy sabia que llegó a mi vida en un momento difícil y me supo guiar y apoyar para continuar con mis estudios, y aunque ya no está, donde quiera que se encuentre quiero que sepa que lo logré.

A mis amigos Danny Riofrío y Walter Gonzabay, con quienes comenzamos este duro proceso, y siempre estuvimos apoyándonos para lograrlo.

Finalmente, a Estefanía Sánchez, una persona especial que llegó hace unos años a mi vida y confió en mis capacidades para lograr esta meta desde el primer momento.

Michael Maza Chamba

DEDICATORIA

Mi trabajo de titulación va dedicado a mi madre por ser mi apoyo en todos los aspectos y a mi padre por su apoyo económico.

Guido Borja Delgado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre por el ejemplo que me ha dado de lucha para alcanzar mis metas, aun cuando me sienta vencido, y por la confianza que puso en mí, sin ella no lo habría logrado.

A Elsa Coronel y su esposo, por el apoyo que me brindaron durante el inicio de mi carrera para poder establecerme en una ciudad desconocida.

A nuestros tutores. Miguel Quilambaqui y Ernesto Martinez, por la comprensión y confianza que tuvieron en nosotros, y por el apoyo que nos brindaron durante la ejecución del proyecto.

A Mónica Marcial, una amiga que apareció inesperadamente y me brindo su amistad y apoyo incondicional cuando más lo necesitaba.

A Alejandro Chamba y su esposa, quienes me acogieron en su hogar y me brindaron más que un apoyo económico para continuar con mis estudios.

Michael Maza Chamba

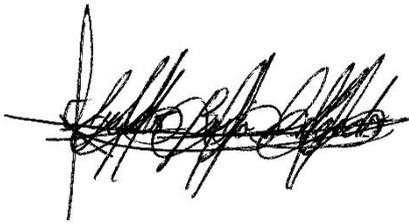
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por las circunstancias, a mis padres y hermanos por sus recomendaciones y comprensión durante el periodo académico. De igual manera al ing. Martínez tutor de la tesis, quien me corrigió los errores cometidos durante la etapa de diseño, al Doctor Quilambaqui por las oportunidades y paciencia durante el proceso de titulación y a todos los contactos externos que colaboraron con información técnica y experiencia para el desarrollo objetivo del proyecto.

Guido Borja Delgado

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Guido José Borja Delgado y Michael Augusto Maza Chamba*) damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.



Autor 1



Autor 2

EVALUADORES

Miguel Quilambaqui J., PhD.

PROFESOR DE LA MATERIA

Ernesto Martínez L., MSc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El proyecto de diseño desarrollado en este trabajo pretende responder a la necesidad de contar con bombas de hormigón de menor capacidad y con mayor accesibilidad en el mercado local, con el propósito de aprovechar las ventajas de este medio de transporte del hormigón en los trabajos de construcción media, logrando un impacto positivo en los tiempos de ejecución de obra y mejoras en las condiciones de trabajo y calidad de estas.

El trabajo de diseño inició con la descripción del hormigón estándar, sus propiedades, características para la bombeabilidad en estado fresco y el uso nomogramas de hormigón, técnica que permite determinar la potencia hidráulica que se ajusta a los requisitos de bombeo de una determinada obra. Luego, se realizó una breve revisión de las tecnologías usadas en la actualidad para transportar hormigón siendo las bombas de pistones alternantes las más potentes y versátiles. Definido el contexto técnico, se propusieron tres alternativas de diseño y se eligió la bomba de pistones alternantes como la opción más conveniente. Para dimensionamientos y selecciones de componentes, se hizo uso de normas INEC, ACI, catálogos, fichas técnicas de proveedores, recomendaciones prácticas de fabricantes de bombas, de nuestro cliente y de criterios para facilidad de mantenimiento y de manufactura. Respecto a la estimación de los costos de fabricación, se realizaron cotizaciones en empresas nacionales y extranjeras.

Finalmente, la bomba de hormigón de 5 metros cúbicos con una presión máxima de operación de hasta 13 bares, evidencia una clara ventaja en el rendimiento volumétrico al ser 2 veces más eficiente que los métodos de transporte comúnmente usado en obras menores, teniendo además costos de mantenimiento bajos que permitirían su alquiler a precio inferior respecto a los equipos existentes disponibles para el nicho identificado.

Palabras Claves: Hormigón, nomogramas, recubrimientos duros, válvula de distribución S, aleación anti-abrasiva.

ABSTRACT

The design project developed in this work aims to respond to the need for smaller capacity concrete pumps with greater accessibility in the local market, with the purpose of taking advantage of this means of transporting concrete in construction work. average, achieving a positive impact on work execution times and improvements in working conditions and their quality.

The design work began with the description of the standard concrete, its properties, characteristics for pumpability in the fresh state and the use of concrete nomograms, a technique that allows determining the hydraulic power that adjusts to the pumping requirements of a given work. Then, a brief review of the technologies currently used to transport concrete was carried out, with reciprocating piston pumps being the most powerful and versatile. Once the technical context was defined, three design alternatives were proposed and the reciprocating piston pump was chosen as the most convenient option. For sizing and selection of components, INEC and ACI standards, catalogs, technical data sheets from suppliers, practical recommendations from pump manufacturers, from our client, and criteria for ease of maintenance and manufacturing were used. Regarding the estimation of manufacturing costs, quotations were made in national and foreign companies.

Finally, the 5 cubic meter concrete pump with a maximum operating pressure of up to 13 bars, shows a clear advantage in volumetric performance as it is 2 times more efficient than the transportation methods commonly used in smaller works, also having lower construction costs. low maintenance that would allow their rental at a lower price compared to the existing equipment available for the identified niche.

Keywords: *Concrete, nomograms, hard coatings, distribution valve S, anti-abrasive alloy.*

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 Transporte del Hormigón en Obras Menores.....	2
1.2 Descripción del Problema	5
1.3 Justificación del Proyecto.....	6
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos Específicos	6
1.5 Marco Teórico	7
1.5.1 El hormigón y sus Componentes.....	7
1.5.2 Dosificación y Propiedades del Hormigón	9
CAPÍTULO 2	11
2. METODOLOGÍA.....	11
2.1 Consideraciones y alternativas de diseño.....	12
2.1.1 Alternativas de diseño	13
2.2 Selección de diseño	15
2.3 Diseño de forma.....	17

2.4	Diseño y selección de los elementos del sistema	17
2.4.1	Selección de cilindros de carga y cilindros oleo hidráulicos	17
2.4.2	Diseño de Tolva	19
2.4.3	Diseño de válvula S.....	20
2.4.4	Selección de la bomba oleo hidráulica	22
2.4.5	Selección del motor	23
2.4.6	Diseño de la estructura.....	24
CAPÍTULO 3		25
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	25
3.1	Selección de cilindros de carga y cilindros oleo hidráulicos.....	25
3.2	Dimensionamiento de la tolva	26
3.3	Diseño de la válvula S	29
3.4	Selección de bomba oleo hidráulica	31
3.5	Selección del Motor	32
3.6	Diseño de la estructura	33
3.7	Especificaciones técnicas del equipo.....	35
3.8	Mantenimiento del equipo	36
3.9	Análisis de costos	37
3.9.1	Costos de materiales y equipos de fabricación	37
3.9.2	Costos directos.....	39
3.9.3	Costos indirectos.....	39
CAPITULO 4		40
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
4.1	Conclusiones	40
4.2	Recomendaciones	41
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NEC	Norma ecuatoriana de la construcción
ACI	American concrete institute
INEN	Instituto de normalización ecuatoriano
CAD	Computer Aided Desig
ISO	International Organization for Standarization
AWS	American Welding Society
HB	Dureza Brinell
HRC	Dureza Rockwell
SLUMP	Medida de asentamiento del concreto
HP	Caballos de Fuerza
GPM	Galones por minuto
SAE	Society of Automotive Engineers

SIMBOLOGÍA

ρ	Densidad de material
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
L	Longitud
\emptyset	Diámetro
mV	milivoltio
p	Presión
μ	Coefficiente de fricción
ν	Viscosidad
V	Volumen
v	velocidad
q	Caudal
T	Periodo
N	Potencia de la bomba
P_o	Potencia útil
P	potencia del motor
η	Eficiencia
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
C_D	Coefficiente de arrastre
W	Peso
b	coeficiente de asentamiento

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Equipo básico usado en construcción	3
Figura 1.2 Uso de baldes y carretillas en la construcción	4
Figura 1.3 Uso de cabrestante y equipo a compresión	5
Figura 2.1 Metodología establecida para el diseño	11
Figura 2.2 Sistema de succión e impulsión de bomba de hormigón LIEBHERR	12
Figura 2.3: Funcionamiento del sistema. Alternativa 1	13
Figura 2.4 Funcionamiento del sistema. Alternativa 2	14
Figura 2.5 Funcionamiento del sistema. Alternativa 3.....	15
Figura 2.6 Bomba de hormigón. Diseño de forma.....	17
Figura 2.7 Dimensiones establecidas inicialmente para el diseño de la tolva ..	20
Figura 2.8 Válvula S	21
Figura 3.1 Dimensiones de cilindros de carga.....	25
Figura 3.2 Selección de cilindros oleo hidráulicos.....	26
Figura 3.3 Diseño de la parte superior e inferior de la tolva	27
Figura 3.4 Tolva de alimentación-Parte superior. Diseño final y dimensiones Generales	28
Figura 3.5 Tolva de alimentación-Parte inferior. Diseño final y dimensiones Generales	28
Figura 3.6 Diseño final y dimensiones generales de válvula S	30
Figura 3.7 Análisis por medio de elementos finitos del eje de la válvula	31
Figura 3.8 Diseño Realizado para la Estructura de la bomba	34
Figura 3.9 Análisis de elementos finitos de la estructura	34
Figura 3.10 Diseño final y dimensiones generales de la estructura de la bomba	35
Figura A.1 Nomograma presión de hormigón- Rendimiento.	46
Figura A.2 Coeficiente de arrastre promedio para flujo transversal sobre un cilindro circular liso y una esfera lisa	48
Figura A.3 Carta para determinar el espesor de pared mínimo de una tubería en función de la presión	50
Figura A.4 Rendimiento y presión de bombas Putzmeister	53
Figura A.5 Análisis de carga de la rejilla de la Tolva	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tolerancias permitidas en hormigones.....	9
Tabla 1.2 Ponderación de criterios de selección.....	10
Tabla 2.1 Ponderación de criterios de selección.....	16
Tabla 2.2 Rango de calificaciones.....	16
Tabla 2.3 Matriz de decisión.....	16
Tabla 2.4 Datos establecidos para el cálculo de presión	22
Tabla 3.1: Dimensiones de cilindro oleo hidráulico	26
Tabla 3.2 Especificaciones técnicas de la Bomba seleccionada	32
Tabla 3.3 Especificaciones técnicas del Motor seleccionado	33
Tabla 3.4 Especificaciones técnicas de operación del equipo diseñado	35
Tabla 3.5: Lista de mantenimiento programado	36
Tabla 3.6 Tabla de costos generales de los elementos de la bomba	37
Tabla 3.7 Resumen de costos directos	39
Tabla 3.8 Resumen de costos indirectos	39
Tabla 3.9 Costo total del equipo.....	39
Tabla A.1 Datos Técnicos referenciales de bombas de hormigón Putzmesiter serie TK	45
Tabla A.2 Coeficiente b para valores de asentamientos de hormigón	46
Tabla A.3 Coeficientes de pérdida KL de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación $hL = KLV^2/(2L)$, donde V es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio).....	47
Tabla A.4 Coeficientes de arrastre a bajas velocidades ($Re \leq 1$ donde $Re = VD/\nu$ y $A = \pi D^2/4$).....	47
Tabla A.5 Modelo semi-empírico para evaluar la viscosidad plástica	48
Tabla A.6 Modelo para evaluar el esfuerzo estático	49
Tabla A.7 Especificaciones de par de torsión recomendados para pernos métricos	49
Tabla A.8 Propiedades físicas y mecánicas comparativas del caucho	51
Tabla A.9 Equivalencias entre durezas Brinell, Rockwell, Vickers y Shore y la resistencia a la tracción	52
Tabla A.10 Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero	53
Tabla A.11 Datos de la bomba diseñada y condiciones de operación	56

Tabla B.1 Diámetros de tubos cromados para cilindros de carga	59
Tabla B.2 TUBOS LAPEADOS A FRIO SOLDADO EN10305-2 ALESADOS Y REDOBLADOS H8 PARA CILINDROS HIDRAULICOS-Datos técnicos	60
Tabla B.3 Acero 705 para ejes. Especificaciones Técnicas	61
Tabla B.4 Plancha anti-abrasiva. Especificaciones técnicas	62
Tabla C.1 Cilindros oleo hidráulicos de doble efecto. Fijación por patas	63
Tabla C.2 Información técnica y dimensiones de ensamblaje de bomba oleo hidráulica	64
Tabla C.3 Especificaciones técnicas del motor	65
Tabla C.4 Cojinete de fricción seleccionado, para eje válvula S. Especificaciones Técnicas	66
Tabla C.5 Cojinete de fricción seleccionado, para boca de salida de válvula S. Especificaciones Técnicas	67

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Bomba de hormigón-Partes principales
- PLANO 2 Diseño de Tolva - Parte superior
- PLANO 3 Dimensiones de la tolva - Parte superior
- PLANO 4 Dimensiones de rejilla de la tolva
- PLANO 5 Diseño de unidad de válvula (Parte inferior de la tolva)
- PLANO 6 Dimensiones de unida de válvula
- PLANO 7 Dimensiones de Tapa de purga – Unidad de válvula
- PLANO 8 Dimensiones de Tapa delantera de unidad de válvula
- PLANO 9 Dimensiones de válvula S
- PLANO 10 Dimensiones de eje de válvula S
- PLANO 11 Dimensiones de estructura de la Bomba de hormigón

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La obra civil es toda aquella construcción dotada de infraestructura destinada al servicio de la población en sus diversas actividades. Ejemplo de ello pueden ser campos deportivos, edificios, puentes, túneles, diques, plantas industriales, energéticas entre otros (UTEM, 2020). Para la materialización de estas obras es necesario el trabajo multidisciplinario de varios actores, siendo los principales el director de proyecto encargado de elaborar la planificación y determinar presupuesto, duración de obra, servicios, recursos materiales y humanos necesarios; seguido de ingenieros calculistas, eléctricos, hidrosanitarios y arquitectos delegados en la elaboración de planos según los requerimientos, capacidad y expectativa del cliente. Así también, en el trabajo de campo se requiere de un jefe de obra encargado de la inspección del lote o lugar de construcción en la etapa preliminar y posteriormente supervisar el cumplimiento de la construcción acorde a los planos y a las especificaciones técnicas como resistencias del concreto, distribución correcta de los tipos de materiales, dimensiones y curvatura en las armaduras, grosor de juntas en los muros entre otros aspectos relacionados a la seguridad y gestión de maquinaria e instalación de faenas. Finalmente, el maestro de obra y su cuadrilla son los encargados de la ejecución y armado de los componentes estructurales y de acabado de toda la obra desde los cimientos hasta el techo y fachada. (Porrás, 2015, pp.21)

Esta descripción de jerarquía y sus funciones se cumple bastante bien en obras de gran y mediana dimensión sean estas públicas o privadas mostrando justamente que existe un respaldo financiero y que se cuenta con capital, sin embargo, cuando hablamos de obras de menor escala como lo son viviendas, remodelaciones o ampliaciones de esta, el panorama es distinto. Debido a la falta de recursos, muchas personas optan por realizar los trabajos de construcción por autogestión, en la que contratan a un maestro de obra o incluso de forma autónoma cuando estos están familiarizados con los trabajos de albañilería. El emprendimiento de las obras

en estas condiciones conlleva a mayores riesgos de sufrir accidentes, extensión del tiempo para terminar la construcción, así como fallas técnicas tales como la falta de empotramiento de tuberías sanitarias, eléctricas o defectos constructivos identificados luego de finalizar la construcción (Origuela,2010, pp.50). La mejora de esta problemática a largo plazo requiere un accionar adecuado de las autoridades competentes orientadas a mejorar la economía familiar, impulsar el buen vivir y educar a la población sobre las buenas prácticas y procedimientos constructivos; entre tanto se logra, es adecuado brindar soluciones más específicas que mejoren las condiciones en este tipo de actividad.

1.1 Transporte del Hormigón en Obras Menores

Los tres equipos básicos para la construcción son la concreteira o mezclador, vibrador y medio para transportar el hormigón. El mezclado de los componentes del hormigón se realiza también manualmente; si se usa en concreteira, se recomienda que el tiempo de mezcla sea mayor a 2 minutos y su descarga sea completa antes de volver a cargar. El vibrador sirve para compactar el colado sobre los elementos estructurales eliminando los espacios vacíos o burbujas de aire, este debe usarse de forma vertical y no inclinada y su tiempo de aplicación no debe ser excesivo. En caso de no contar con este equipo se utiliza una varilla de acero golpeando con un martillo, acción que se conoce como chuzado. Respecto al medio utilizado para transportar el hormigón, este debe evitar la segregación, pérdida de la relación agua/cemento y conservar la trabajabilidad de la mezcla. Se debe tener en cuenta que el tiempo máximo de traslado no debe ser superior a los 30 minutos si la mezcla ha sido preparada en obra.

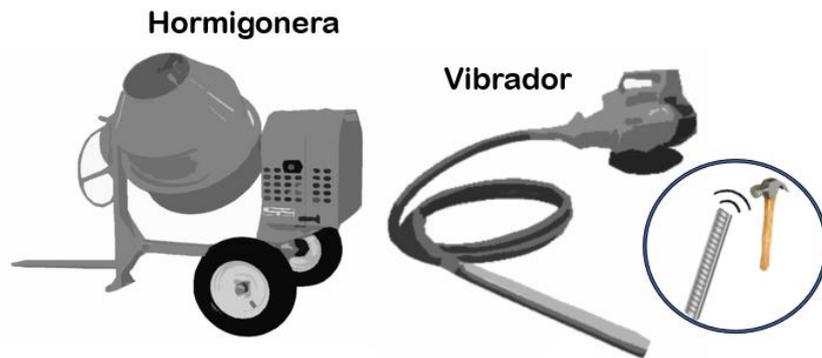


Figura 1.1 Equipo básico usado en construcción [Elaboración propia]

Baldes y Carretillas

El uso de baldes es el método tradicional y más común, sin embargo, presenta la posibilidad de producir segregación cuando su traslado es prolongado y expuesto a movimientos bruscos. Generalmente los baldes tienen capacidad de 15 o 20 litros con rendimiento aproximado de $0.5 \text{ m}^3/h$. Es prohibido subir baldes por escaleras de mano, se debe hacer mediante rampas y se recomienda que su peso no sea superior a los 23 o 25 kg. Al momento de vaciar el contenido debe hacerse verticalmente sin lanzar, desde una altura aproximada de 60 cm cuando el concreto es mezclado manualmente. El transporte por carretilla se recomienda cuando el punto de colocación es no mayor a los 7 metros; en el caso de terrenos elevados o en el colado de losas, las rampas deben tener pendiente ideal de 15 hasta 20 grados por lo que no deben usarse para el acceso a elevadas alturas. Cuando el terreno es irregular se deben usar tablonces para evitar segregación. Tienen capacidad entre los 50 y 90 litros y se estima un rendimiento de 0.5 a $1 \text{ m}^3/h$.



Figura 1.2 Uso de baldes y carretillas en la construcción (Extraído de: <https://www.youtube.com/watch?v=ryFyRFCIJsk>)

Elevadores y Bombas neumáticas

Otro medio de transporte es el uso del cabrestante, sea bien por impulsión manual o mecánica usado para elevar el concreto en baldes o carretillas hacia lugares elevados, lo que mejora el tiempo invertido permitiendo rendimientos de hasta $2 \text{ m}^3/h$. Se debe tener especial cuidado al momento de realizar el anclaje sobre losas o encofrados, estos deben estar bien sujetos mediante bridas de acero o pasadores para evitar el desplome, además deben contar con dispositivo limitador de carrera para cargas en ascenso y se debe respetar la carga máxima soportada. Otro medio más reciente y no muy aplicado es el uso de recipientes a presión, en los que se agrega la mezcla y se la presuriza conectando un compresor de aire. Este equipo es eficiente al permitir flujo superior a los $12 \text{ m}^3/h$, pero requiere mejoras en el control del caudal al final de cada bombeo.



Figura 1.3 Uso de cabrestante y equipo a compresión (Extraído de: <https://www.youtube.com/watch?v=GiGHsjvSxO4>)

1.2 Descripción del Problema

Las secciones precedentes muestran dos aspectos importantes en la actividad de la construcción, la calidad y la seguridad. Para tener viviendas confiables que cumplan los requerimientos básicos establecidos por códigos y normas es necesario contar con asesoramiento profesional y garantizar el acceso a recursos apropiados. La calidad en los trabajos de obra menor se compromete cuando los medios utilizados para transportar el hormigón revisados anteriormente se emplean con arbitrariedad. Además, el transporte realizado por baldes, carretillas y cabrestantes manuales representan un factor de riesgo de sufrir patologías o accidentes, situación que empeora cuando no se cuenta con la cantidad mínima de personas necesarias en la elaboración de los distintos elementos estructurales. Por otro lado, los cabrestantes mecánicos si bien son opciones más rápidas de transporte y accesibles en el mercado, bastantes personas optan por elaborarlos a cuenta propia, al igual que el caso del bombeo de concreto por compresor de aire justamente por tratarse de un equipo sencillo de pocos componentes, derivando en el mismo problema de inseguridad en muchos casos. Estos hechos evidencian la necesidad de tener acceso a un equipo que garantice calidad en la construcción de viviendas, seguridad para los trabajadores y que reduzca el esfuerzo físico y tiempo invertido en esta actividad.

1.3 Justificación del Proyecto

En nuestro medio existen variedad de bombas de hormigón, pero todas ellas de gran capacidad que sobrepasan los requerimientos de clientes que están interesados en realizar trabajos pequeños como remodelaciones o ampliaciones de sus viviendas o bien el caso de aquellos que desean llevar a cabo la construcción de sus casas pero que, por falta de recursos, el alquilar de este tipo de equipo les sería difícil de pagar. La propuesta de diseño de una bomba de hormigón estacionaria de menor capacidad respondería bien a la necesidad identificada, garantizaría calidad en la construcción de viviendas mediante el transporte seguro del hormigón, seguridad para los trabajadores, disminución en el esfuerzo físico empleado y reducción del tiempo invertido en la construcción de elementos que demanden mayor cantidad de horas hombre como lo son los cimientos, pisos y losas. Además, se establecería la posibilidad de su construcción y posterior venta para ser adquirida por los constructores o por empresas que se dedican al alquilar de equipos para la construcción, incentivando así, la actividad económica en este sector productivo, fomentando las buenas prácticas en la construcción y un buen vivir digno y seguro.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Proponer el diseño de una bomba estacionaria para hormigón con una capacidad de 5 metros cúbicos por hora y alcance vertical máximo de operación de 6 metros de altura respecto al nivel de la bomba, cuyo costo sea menor respecto a los equipos de bombeo que brinda el mercado, favoreciendo su adquisición en trabajos de obra menor, permitiendo una mejora en las condiciones de trabajo de los albañiles.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un diseño que brinde seguridad al operador.

2. Establecer especificaciones y atributos para el correcto uso y desempeño del equipo en servicio.
3. Determinar demanda energía necesaria para el funcionamiento del equipo.
4. Estimar costo para la elaboración del equipo.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 El hormigón y sus Componentes

El hormigón es un material usado en construcción que se obtiene a partir de la mezcla de agua, cemento, áridos finos y gruesos. Es común, además, utilizar aditivos para mejorar las características del hormigón dependiendo del uso que se le vaya a dar (NEC,2014). Según la composición y las proporciones de las materias primas, se tendrán diversos tipos de hormigón con propiedades y características distintas, pero en términos generales hay un estándar conocido como hormigón en masa, simple o de uso general, caracterizado por usar cemento Portland (Tipo I), piedra de 1, ½ o ¾, arena gruesa con áridos no mayor a 5 mm y agua; con un rango de densidad entre 2000 kg/m^3 y 2600 kg/m^3 .

Cemento Portland

Constituido por Clinker molido en presencia del yeso, el cemento Portland es un conglomerado hidráulico usado como aglutinante de los componentes del hormigón que mediante un proceso químico de hidratación con el agua produce su fraguado y endurecimiento incluso bajo el agua. En el país existen diferentes marcas de cemento tipo I que cumplen estrictamente las especificaciones de la Norma Técnica NTE INEN 2380.

Áridos

Los áridos corresponden al material granular del hormigón, usados para proporcionar resistencia y relleno, aportando el 80% del peso total de la mezcla y más del 70% del volumen. El árido grueso, tiene diámetro nominal mayor a 4.75 mm y puede ser piedra rodada obtenida de río o piedra chancada procedente de la trituración de rocas. El árido fino es arena y tiene granulometría entre los 75 μ m y 4.75 mm (NEC, 2014, pp.102). Los criterios para establecer el tamaño máximo del árido (TMA) en el hormigón son:

- 1/5 de la dimensión más pequeña de la sección transversal del elemento a construir.
- 3/4 del espacio libre entre varillas o paquetes de varillas de acero de refuerzo, cables de pretensado o ductos embebidos.
- El espesor de recubrimiento de las varillas de acero de refuerzo.
- En el caso de losas, no debe ser mayor que 1/3 del espesor de la losa.

Agua

El agua es el componente que reacciona con el cemento para conferirle sus propiedades mecánicas finales en estado sólido. Un hormigón con mayor agua tiene las ventajas de tener mejor trabajabilidad, fluidez en estado fresco y durabilidad, pero a su vez disminuye la resistencia a la compresión en estado sólido, por esta razón se utiliza la relación agua/cemento como criterio para el diseño de mezclas. En documentos normativos se presenta en tablas como factores máximos permitidos que dependen de la resistencia a la compresión mínima y condiciones de servicio, por ejemplo, un hormigón expuesto a condiciones de hielo – deshielo severo requiere como máximo un a/c de 0.45 y 31 MPa de resistencia mínima a la de compresión.

1.5.2 Dosificación y Propiedades del Hormigón

El diseño de mezcla del hormigón implica la selección de materiales y sus proporciones de tal manera que haya un equilibrio entre el factor económico, la calidad, seguridad y eficiencia en el trabajo para una determinada obra, factores que se miden a través de las variables presentadas en la tabla 2 con los respectivos porcentajes de desviación admitidos, establecidos por el INEC. La dosificación puede encargarse a empresas que brinden el servicio de hormigón premezclado o puede realizarse en obra con el uso de máquina o de forma manual. Independientemente de dónde se realice la dosificación, esta debe comprobarse mediante pruebas a muestras de hormigón previas al armado de los elementos.

Tabla 1.1 Tolerancias permitidas en hormigones.(Extraído de NTE INEN 1855-2, 2105)

Asentamiento especificado	Tolerancias
50 mm o menos	± 15 mm
Entre 50 mm y 100 mm	± 25 mm
Mayor que 100 mm	± 40 mm

Respecto a propiedades, el hormigón presenta dos estados fundamentales, el estado fresco o plástico, que toma lugar entre el tiempo de amasado hasta el final del fraguado, tiempo en el que puede ser transportado, colado y compactado; y el estado endurecido en donde el hormigón se vuelve rígido alcanzando más del 95% de la resistencia especificada a los 28 días en hormigones normales. La tabla 3 a continuación presenta las propiedades de ambos estados. La docilidad cuantificada por el revenimiento o slump mediante el ensayo denominado Asentamiento del cono de Abrams, es uno de los indicadores importantes para tener en cuenta cuando el hormigón estándar debe ser bombeado.

Tabla 1.2 Ponderación de criterios de selección [Elaboración propia]

Usos más comunes del hormigón		
Hormigón para contrapisos	Hormigón para plintos, muros y riostras	Hormigón para losas, vigas y columnas
Dosificación		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 saco de 50 kg de cemento Holcim Fuerte. ▪ 35 litros de agua potable. ▪ 3 parihuelas al ras de arena. ▪ 3,5 parihuelas al ras de piedra. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 saco de 50 kg de cemento Holcim Fuerte. ▪ 28 litros de agua potable. ▪ 2,5 parihuelas al ras de arena. ▪ 3 parihuelas al ras de piedra. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 saco de 50 kg de cemento Holcim Fuerte. ▪ 25 litros de agua potable. ▪ 2 parihuelas al ras de arena. ▪ 2,5 parihuelas al ras de piedra.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se analizó las diferentes alternativas de diseño de acuerdo con los requerimientos del cliente, los cuales van desde espacio que ocupará la maquina hasta costos de fabricación, así como también, la eficiencia y rendimiento que tendrá, entre otros parámetros importantes a considerar. Para la realización de un correcto diseño se estableció la siguiente metodología basada en los métodos más comunes adoptados en diferentes trabajos de investigación.

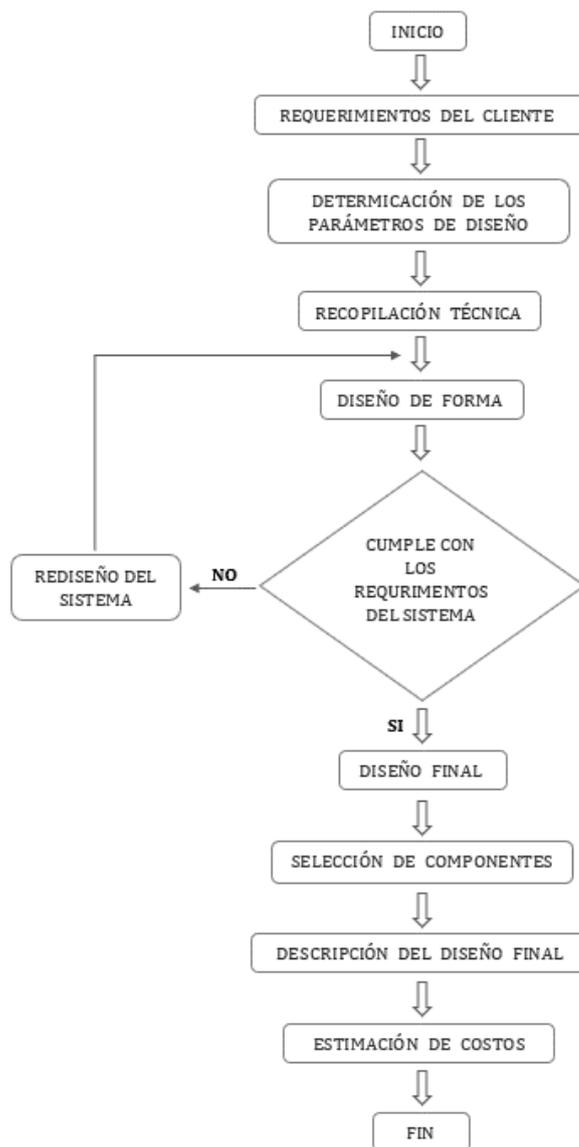


Figura 2.1 Metodología establecida para el diseño [Elaboración propia]

2.1 Consideraciones y alternativas de diseño

Para establecer y seleccionar la mejor alternativa se empezó por analizar los requerimientos de diseño establecidos por el cliente y otras consideraciones relevantes para cumplir con el objetivo planteado que consiste en diseñar una bomba de hormigón capaz de bombear 5 metros cúbicos de hormigón por hora, hasta una altura de 6 metros desde el nivel de la bomba.

La presión y el caudal son puntos claves en el diseño, ya que de estos depende el rendimiento de la bomba. De acuerdo con los requerimientos del cliente, la bomba de hormigón debe ser de preferencia de tipo hidráulica y mantener un diseño semejante a las bombas de hormigón convencionales de gran capacidad que existen en el mercado.

En la Figura 2.2 se puede observar la configuración del sistema de una bomba de hormigón convencional de la marca LIEBHERR, el cual consta de dos cilindros paralelos, dentro de los cuales se desplazan pistones de manera alternada para succionar y empujar el hormigón. La succión e impulsión del hormigón de manera constante se logra gracias a un tubo en forma de S que conecta los cilindros de concreto con la tubería de transporte como se observa en la imagen.

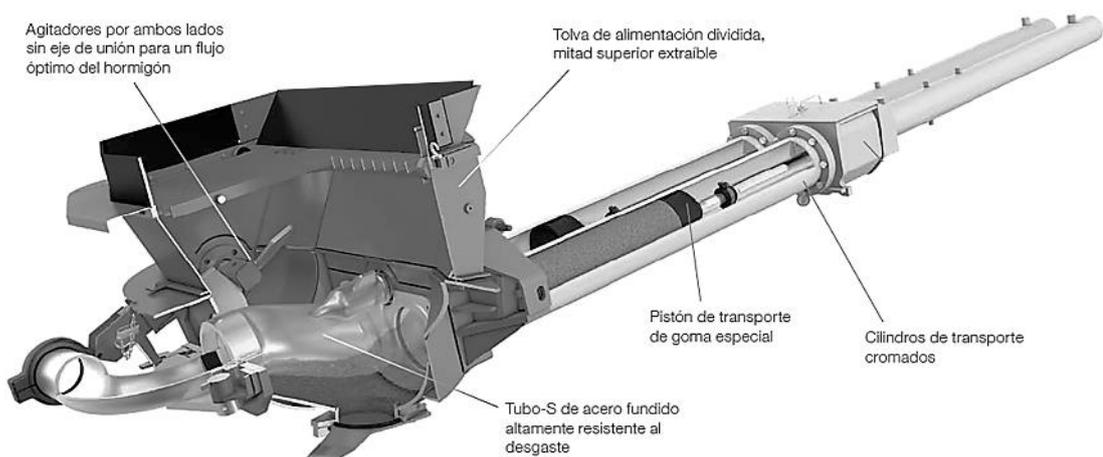


Figura 2.2 Sistema de succión e impulsión de bomba de hormigón LIEBHERR (LIEBHERR, 2018)

Otro de los puntos más importantes que se debe considerar para el diseño, es el costo del equipo, ya que las bombas que se venden

actualmente en el mercado tienen un costo elevado lo que las hace difíciles de adquirir.

2.1.1 Alternativas de diseño

ALTERNATIVA 1: BOMBA ESTACIONARIA HIDRÁULICA DE DOBLE PISTÓN CON VÁLVULA S.

Este sistema consta principalmente de dos cilindros de transporte de concreto y un tubo en forma de S que permite el paso del concreto de manera continua hasta la tubería de transporte.

Cuando el sistema comienza a funcionar, los pistones de concreto comienzan a moverse de manera alterna para realizar la aspiración e impulsión del concreto. Para la impulsión es necesario mantener conectados de manera alterna los cilindros de concreto con la tubería de transporte, esto se logra a través de la válvula S, la cual oscila de acuerdo con el movimiento de los pistones de concreto.

Este sistema de válvula S se caracteriza por que brinda una menor pérdida de presión, menor desgaste y menor deformación del hormigón por lo que es el principal mecanismo utilizado en la mayoría de las bombas de concreto disponibles en el mercado.

En la Figura 2.3 se puede observar de manera detallada el funcionamiento del sistema.

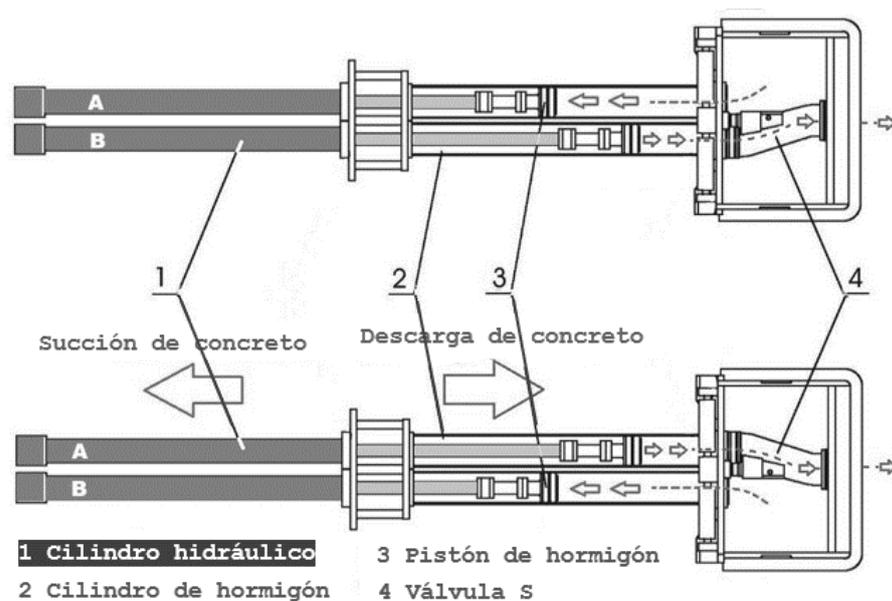


Figura 2.3: Funcionamiento del sistema. Alternativa 1 (Changsha Zoomwolf, 2019)

ALTERNATIVA 2: BOMBA ESTACIONARIA NEUMÁTICA DE DOBLE PISTÓN CON VÁLVULA S

Este sistema funciona igual que el sistema de la alternativa 1, con la diferencia que utiliza un compresor neumático en vez de una bomba hidráulica y cilindros neumáticos en vez de cilindros hidráulicos.

Este sistema presenta una desventaja grande en comparación con el sistema de la alternativa 1, debido a que la presión de diseño máxima que se puede lograr utilizando cilindros de vacío es baja, ya que, se necesitaría cilindros de gran diámetro y fuerzas elevadas para alcanzar una presión adecuada para el bombeo.

En la Figura 2.4 se puede observar de manera detallada el funcionamiento del sistema.

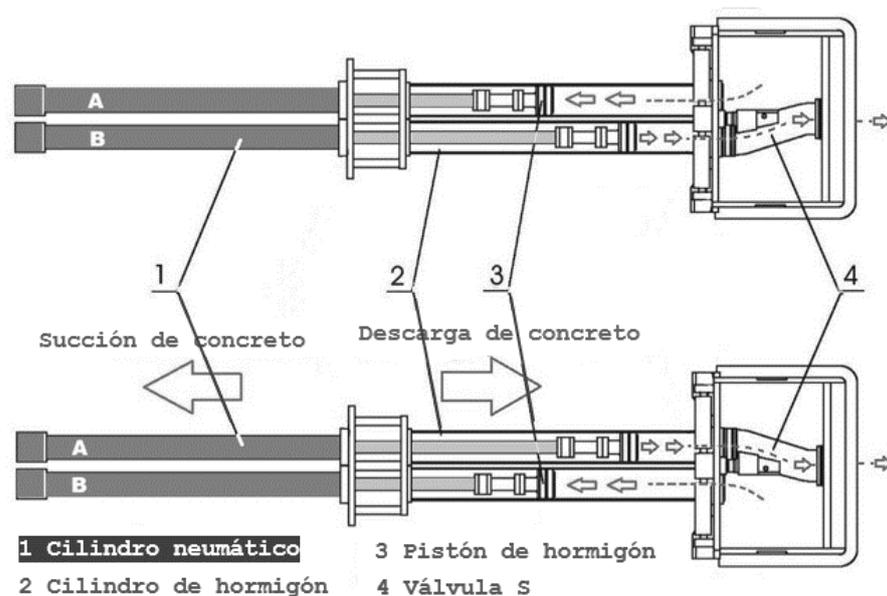


Figura 2.4 Funcionamiento del sistema. Alternativa 2 (Changsha Zoomwolf, 2019)

ALTERNATIVA 3: BOMBA ESTACIONARIA HIDRÁULICA DE COMPUERTA CON UN SOLO PISTÓN

Este sistema consta principalmente de un cilindro de transporte de concreto y una compuerta de paso que permite la entrada y salida del concreto de manera continua a medida que el pistón aspira y empuja el concreto.

Cuando el sistema comienza a funcionar, el pistón de concreto comienza a moverse hacia atrás y a medida que avanza, la compuerta de paso se abre y el cilindro se llena. Una vez que el cilindro de concreto está lleno, el pistón empuja el concreto hacia la tubería de transporte. Cuando el pistón empieza a empujar el concreto la compuerta se cierra debido a la misma presión que el concreto ejerce sobre ella y esto permite el paso del concreto hacia la tubería de transporte.

Este sistema puede presentar algunas desventajas en cuanto a transporte de hormigón, ya que puede generar pérdidas de presión debido a que la compuerta de paso se puede trabar o no cerrarse correctamente por los áridos gruesos que contiene el hormigón.

En la Figura 2.5 se puede observar una vista lateral del sistema y su funcionamiento.

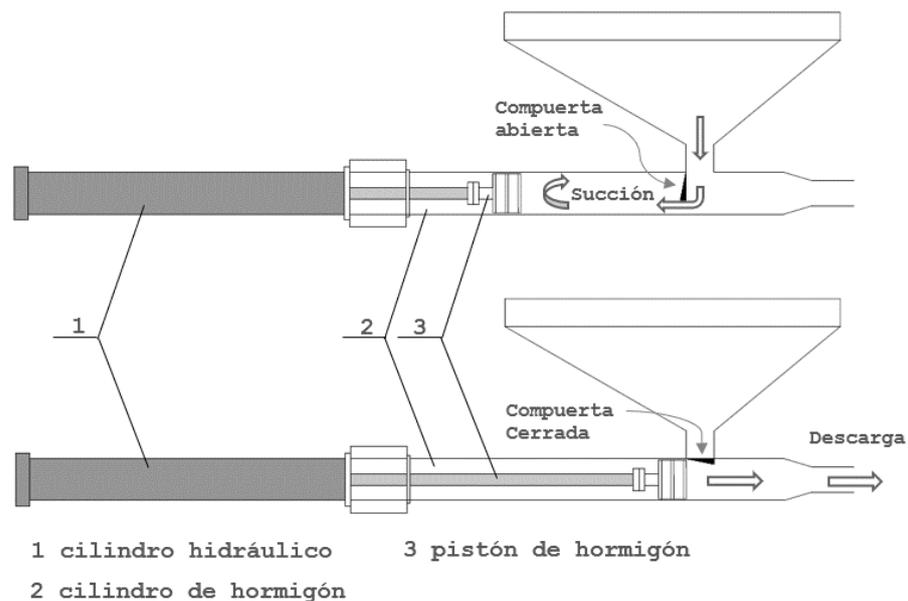


Figura 2.5 Funcionamiento del sistema. Alternativa 3 [Elaboración propia]

2.2 Selección de diseño

Para la selección de la alternativa ganadora se tuvo en cuenta los siguientes criterios:

Costo: El costo es uno de los principales requerimientos del cliente por lo que es importante que el costo del equipo sea lo más bajo posible.

Presión de diseño: La presión de diseño es otro de los requerimientos principales ya que de esta depende la altura a la que se podrá llevar el hormigón.

Manufactura: La fabricación de todas las partes del equipo debe poder realizarse en su mayoría dentro de la región y con materiales existentes en el mercado local.

Mantenimiento: El mantenimiento del equipo debe ser fácil de realizar y todos los componentes o accesorios necesarios para el mantenimiento deben estar disponibles en el mercado local.

Eficiencia de Bombeo: La eficiencia de bombeo es muy importante ya que de esto depende que se mantenga un régimen continuo y se cumpla con la capacidad de bombeo requerida.

Tabla 2.1 Ponderación de criterios de selección [Elaboración propia]

Parámetro	Ponderación
Costo	0.25
Presión de diseño	0.25
Mantenimiento	0.2
Manufactura	0.1
Eficiencia de Bombeo	0.2

Tabla 2.2 Rango de calificaciones [Elaboración propia]

Valor	Significado
1	Muy malo
2	Malo
3	Regular
4	Bueno
5	Muy bueno

Tabla 2.3 Matriz de decisión [Elaboración propia]

	COSTOS	PRESIÓN DE DISEÑO	MANTENIMIENTO	MANUFACTURA	EFICIENCIA DE BOMBEO	TOTAL
PONDERACIÓN	0.25	0.25	0.2	0.1	0.2	1
Alternativa 1	3	5	3	3	5	3.9
Alternativa 2	4	2	3	3	2	2.8
Alternativa 3	3	4	4	3	3	3.45

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la matriz de decisión, se muestra que la alternativa 1 (con un puntaje de 3.9/5) es la más adecuada para nuestro diseño.

2.3 Diseño de forma

De acuerdo con la selección realizada se determinó que la alternativa que permite cumplir con los requerimientos del cliente corresponde a la bomba de hormigón estacionaria tradicional, por lo que, se realizará un rediseño que permita bombear la capacidad de hormigón requerida por el cliente y disminuir el costo del equipo. En la figura 5 se muestra un bosquejo general de la bomba de hormigón que se va a diseñar y sus partes más representativas.

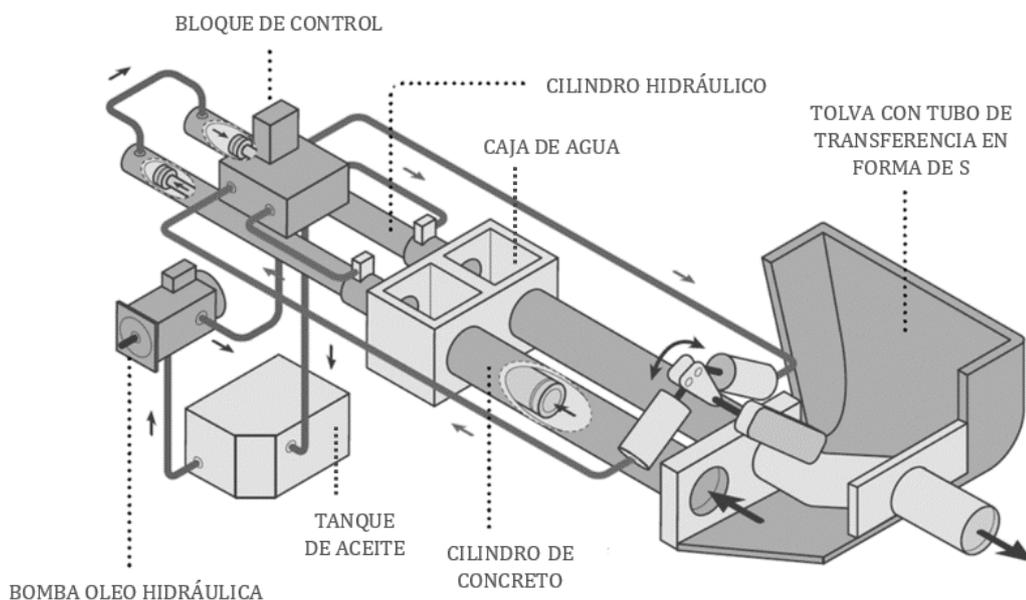


Figura 2.6 Bomba de hormigón. Diseño de forma (boschrexroth 2014)

2.4 Diseño y selección de los elementos del sistema

2.4.1 Selección de cilindros de carga y cilindros oleo hidráulicos

Cilindros de Carga

Para la selección de los cilindros de carga se tuvo en cuenta principalmente, el volumen de hormigón que los cilindros deben

almacenar para cumplir con el caudal de diseño, y las propiedades del hormigón.

El hormigón debido a los áridos que contiene es considerado una sustancia abrasiva, por lo que el material de los cilindros de carga debe ser resistente a la abrasión. Debido a esto, y en base a los cilindros de carga de las bombas de hormigón Putzmeister y Schwing, se estableció que las camisas seleccionadas para los cilindros deben contar con un revestimiento de cromo duro para evitar el desgaste producido por las partículas abrasivas del hormigón

En cuanto a las dimensiones de los cilindros de carga, de acuerdo con el estándar ACI 301.2R-17, se estableció un diámetro interno de 125 mm, el cual será uniforme para todas las piezas de transporte para evitar pérdidas de presión.

Una vez establecidos todos los parámetros iniciales se procedió a determinar la carrera de los cilindros de carga (ver apéndice E).

Cilindros oleo hidráulicos

La carrera de los cilindros oleo hidráulicos debe mantener una relación de 1 con la carrera de los cilindros de carga, por lo tanto, deben ser iguales, sin embargo, el diámetro de los cilindros oleo hidráulicos y los cilindros de carga no debe ser necesariamente el mismo. El diámetro del actuador hidráulico a seleccionar dependerá de la presión de trabajo que se requiere para accionar los pistones de los cilindros de concreto.

Una vez establecida la presión de trabajo de los cilindros oleo hidráulicos, se procedió a definir las dimensiones adecuadas que permitan cumplir con las condiciones de diseño, para esto se utilizó las ecuaciones generales de un cilindro hidráulico descritas a continuación:

$$A_p = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.1)$$

Donde, A_p y D son el Área y diámetro del pistón del cilindro hidráulico respectivamente.

$$A_R = \frac{\pi d^2}{4} \quad (2.2)$$

Donde, A_R y d son el Área y diámetro del vástago del pistón hidráulico respectivamente.

$$F_f = P x A_R \quad (2.3)$$

Donde, F_f es la fuerza de avance que tendrá el pistón y P la presión de trabajo del cilindro.

$$F_r = P x (A_P - A_R) \quad (2.4)$$

Donde, F_r es la fuerza de retroceso que tendrá el pistón del cilindro hidráulico.

$$V_f = Q / A_R \quad (2.5)$$

Donde, V_f es la velocidad de avance que tendrá el pistón del cilindro hidráulico y Q el caudal de aceite.

$$V_r = Q x (A_P - A_R) \quad (2.6)$$

Donde, V_r es la velocidad de retroceso que tendrá el pistón del cilindro hidráulico.

$$Potencia = P x Q \quad (2.7)$$

Debido a que en el mercado Local no existen fabricantes que ofrezcan catálogos con medidas estándar para la selección de los cilindros, se tomó como referencia otros catálogos.

2.4.2 Diseño de Tolva

El diseño y dimensionamiento de la tolva se realizó en base a la capacidad de las concreteras tradicionales de 1 saco que cuentan con un tambor de mezcla de 320 litros.

De acuerdo con la guía para la elaboración de hormigón para losas, vigas y columnas de Holcim, se tiene un rendimiento de 125 litros de hormigón por saco de cemento, entonces, para poder cumplir con el requerimiento de 5 metros cúbicos por hora, se debería ingresar en la tolva de la bomba de hormigón, 250 litros cada 3 min, que es el tiempo que la concretera demora en hacer la mezcla.

$$\frac{250 L}{3 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 h} \times \frac{0.001 m^3}{1 L} = 5 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto, se estableció las siguientes dimensiones para el diseño de la tolva, las cuales permitirán que la bomba tenga una capacidad aproximada de 320 litros de hormigón.

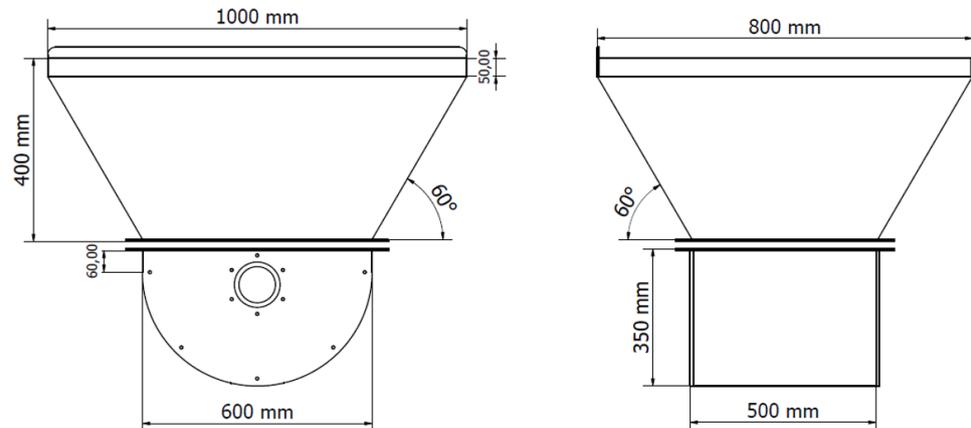


Figura 2.7 Dimensiones establecidas inicialmente para el diseño de la tolva (AutoCAD Student 2020)

Para la fabricación de la Tolva se utilizará planchas anti-abrasivas de 5 mm de espesor y 450 HB de dureza.

2.4.3 Diseño de válvula S

El diseño geométrico de la válvula S está definido principalmente por las dimensiones de los cilindros de carga y el espacio interno libre de la tolva. De acuerdo con las dimensiones de la Tolva la longitud máxima de la válvula S deberá ser de 450 mm aproximadamente y un diámetro interno máximo de 125 mm igual que el de los cilindros de carga. La longitud de la válvula S debe ser un poco menor que el ancho máximo de la tolva, debido a que, entre una de las paredes de la tolva y un extremo de la válvula S se añadirá una placa de sacrificio y un anillo para evitar el desgaste.

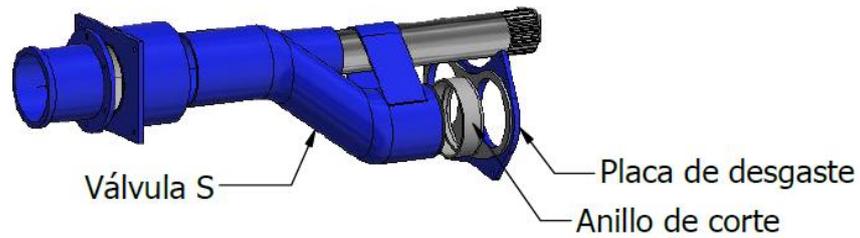


Figura 2.8 Válvula S (TAICHANG, 2018)

Diseño del eje de la válvula S

Como se observa en la Figura 2.8, la válvula S también posee un eje, que es el que permite el movimiento oscilatorio de este elemento.

El eje debe diseñarse en base a las cargas a las que va a estar sometido, las cuales dependen principalmente de las características del fluido en el que va a estar sumergida la válvula S y su peso.

Cálculo de Torque

Para calcular el torque del eje de la válvula S se consideró cuatro factores involucrados en la generación de fuerzas, que en este caso son, la fricción mecánica, la inercia, el impacto debido a los componentes abrasivos del concreto y el arrastre producido por el fluido. Entonces se tiene que:

$$T_{Total} = T_{fricción} + T_{inercia} + T_{impacto} + T_{arrastre} \quad (2.8)$$

Donde,

$$T = Fuerza \times distancia \quad (2.9)$$

Una vez establecida la geometría de la Tolva y la válvula S se procedió a realizar el cálculo a través de una hoja de Excel para facilitar el análisis y verificación de los resultados (ver apéndice E). También se realizó una simulación del eje utilizando el software Autodesk Inventor donde se sometió al eje de diámetro inicial de 80 mm (diámetro estándar en el mercado), al doble de la carga

obtenida teóricamente para verificar la hipótesis planteada inicialmente de utilizar un eje de 60 mm.

2.4.4 Selección de la bomba oleo hidráulica

**Tabla 2.4 Datos establecidos para el cálculo de presión
[Elaboración propia]**

Slump [cm]	2.5
Medio	Manguera
Longitud – unidad [m]	3
Diámetro Interno [mm]	125
Longitud Horizontal [m]	15
Longitud Vertical [m]	6
No. acoples	8
Reductor [mm/mm]	In/out 125/50
No. Reductor	1
Longitud – reductor [m]	1

Para determinar la presión de trabajo es necesario considerar todas las presiones involucradas en el proceso de bombeo, ya sea por pérdidas, accesorios, fricción u otros. Para obtener cada una de estas presiones se utilizará la ecuación empírica establecida por ACI, para bombas de hormigón en el estándar ACI 304.2r-17.

$$p[\text{bar}] = b * \frac{16 * L}{\pi} \cdot \frac{q}{D^3} \quad (2.10)$$

Donde, b es un parámetro que se selecciona de acuerdo con asentamiento del hormigón el cual se obtiene por medio de la prueba de Abrams, L y D son la longitud y el diámetro de la tubería respectivamente y q es el caudal que se entrega.

Esta ecuación también la utiliza el fabricante de bombas de hormigón Putzmeister lo que asegura la veracidad de los resultados.

Para este proyecto se consideró las siguientes presiones; por acoples, por longitud, por gravedad y por reducción de area, las cuales generar una presión total de:

$$P_T = P_{ac} + P_L + P_v + \bar{P}_R \quad (2.11)$$

Una vez establecida la presión de operación se procedió a seleccionar la bomba oleo-hidráulica, teniendo en cuenta también el caudal requerido por los actuadores hidráulicos ya seleccionados y otros parámetros necesarios para su elección bien conocidos como las RPM, eficiencia, etc.

2.4.5 Selección del motor

La selección del motor se realizó en base a los parámetros de la bomba hidráulica seleccionada y también teniendo como referencia las especificaciones de la bomba de hormigón estacionaria TK-7 de PUTZMEISTER. La hoja técnica de la bomba puede ser revisada en el apéndice.

Entonces, se sabe que la potencia requerida por un caudal hidráulico a una determinada presión está dada por la siguiente ecuación: (HIDRAOIL, 2021)

$$P_o = \frac{Q * P_r}{600} \quad (2.12)$$

Donde:

P_o = Potencia útil en Kilovatios

Q = Caudal en litros por minuto

P_r = Presión en bar

Este valor corresponde a la potencia útil del motor, es decir la potencia que se aprovecha sin considerar las pérdidas.

Para determinar la potencia total del motor requerido, se debe considerar la eficiencia de la bomba hidráulica seleccionada y la eficiencia mecánica de la transmisión entre el motor y la bomba que es de 90% aproximadamente. (HIDRAOIL, 2021)

Entonces, de acuerdo con la siguiente ecuación se tiene que:

$$P = \frac{P_o}{\eta_b * \eta_m} \quad (2.13)$$

Donde:

P = Potencia total requerida en Kilovatios

η_b = Eficiencia de la bomba hidráulica

η_m = Eficiencia mecánica de la transmisión entre el motor y la bomba.

2.4.6 Diseño de la estructura

Los elementos de la bomba fueron diseñados y seleccionados teniendo como referencia las bombas de concreto convencionales Putzmeister y Schwing, por lo que se siguió un diseño semejante al de éstas bombas para el diseño de la estructura.

El dimensionamiento de la estructura se realizó utilizando el software Autodesk Inventor y basándose en las dimensiones y disposición que deben tener los elementos sobre la estructura para ahorrar espacio, generar estabilidad y reducir cualquier riesgo para el o los operadores.

De acuerdo al peso de los elementos que debe soportar la estructura, se estableció utilizar perfiles rectangulares de acero estructural de 80mm x 40 mm y 2 mm de espesor.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Selección de cilindros de carga y cilindros oleo hidráulicos

Los cilindros de carga permitirán succionar y empujar el concreto por lo que deberán estar diseñados para resistir a la abrasión generada por los áridos del hormigón, debido a esto estarán fabricados con tubos de acero ST52 cromados por inducción y de acuerdo los cálculos realizados deberán tener una carrera igual 500 mm para cumplir con el caudal requerido.

En la Figura 3.1 se puede observar las dimensiones seleccionadas de las camisas para los cilindros de carga.

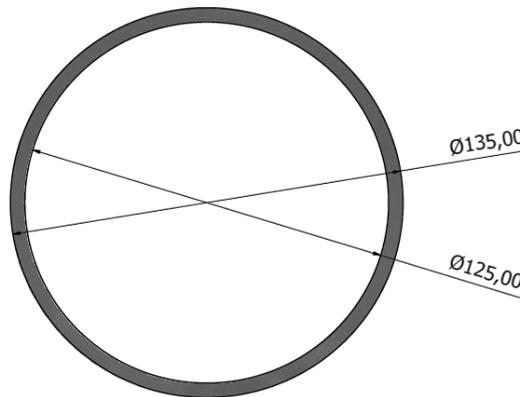


Figura 3.1 Dimensiones de cilindros de carga (AutoCAD Student 2020)

Por otra parte, los cilindros oleo hidráulicos seleccionados deben permitir, junto con la bomba oleo hidráulica, a los pistones de hormigón, recorrer toda la longitud de los cilindros de carga, para asegurar la succión y descarga de todo el volumen de hormigón (almacenado en los cilindros de carga) hacia la salida de la tubería de conducción, además deben poder fijarse de forma fácil sobre la estructura de la bomba, por lo que se seleccionó cilindros oleo hidráulicos con patas de doble efecto.

Como ya se mencionó en la metodología, la carrera de los cilindros oleo hidráulicos debe ser la misma que la de los cilindros de hormigón.

En la Figura 3.2 se puede observar los cilindros seleccionados de acuerdo con lo analizado y las dimensiones generales del mismo.

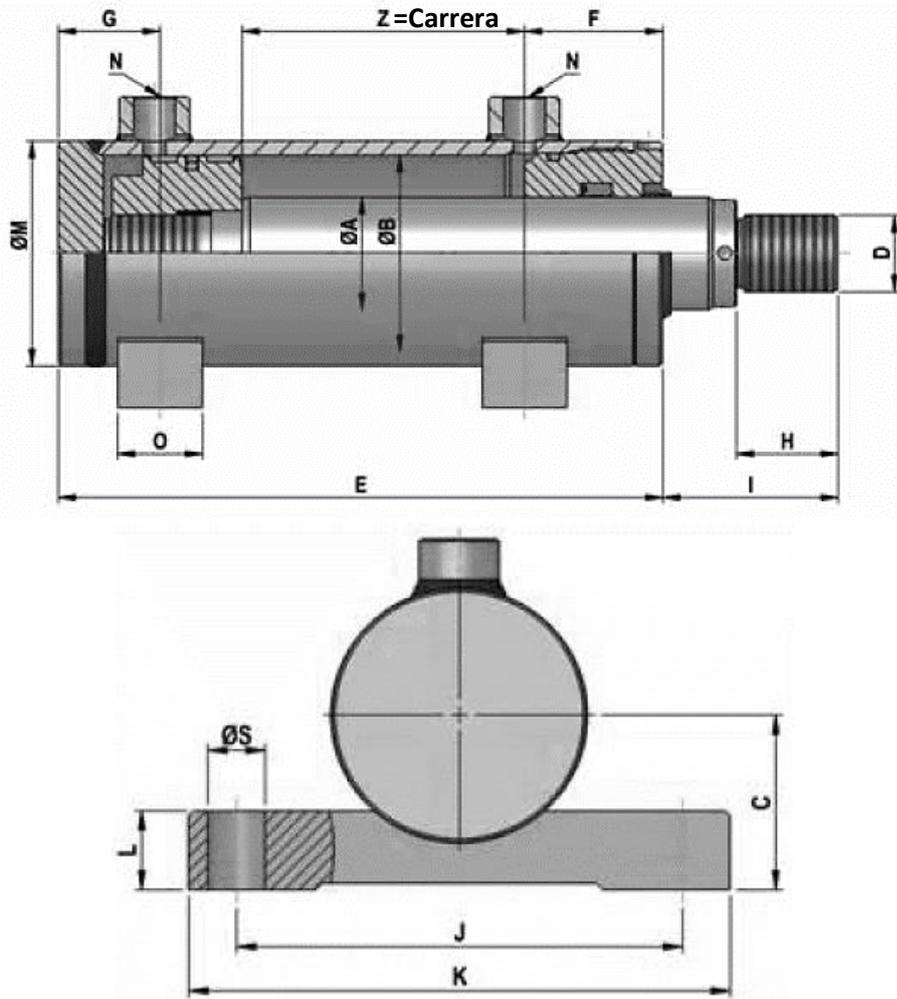


Figura 3.2 Selección de cilindros oleo hidráulicos (CICROSA 2021)

Tabla 3.1: Dimensiones de cilindro oleo hidráulico [Elaboración propia]

REF	ØA	ØB	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	N BSP	O	S
8522/Z	45	100	138+Z	73	M42x2	60	38	56	85	185	225	30	115	1/2	40	23
8523/Z	50															
8524/Z	56															
8525/Z	60															
8526/Z	70															

3.2 Dimensionamiento de la tolva

La Tolva es el depósito temporal del hormigón y está formada por dos partes; la parte baja que es donde va a estar el tubo o válvula S que

permitirá el paso del hormigón hacia la tubería de transporte, y la parte superior que es el depósito de hormigón más grande.

El diseño de la parte superior de la tolva tiene las paredes inclinadas, como se observa en la Figura 3.4, las cuales no deben tener un ángulo de inclinación menor a 60 grados con respecto a la normal, para no interferir en el paso de los pernos de unión de las dos partes.

En la Figura 3.4 y Figura 3.5, se puede visualizar las dimensiones generales establecidas para el diseño final de la tolva, las cuales van de acuerdo con la capacidad de bombeo requerida.

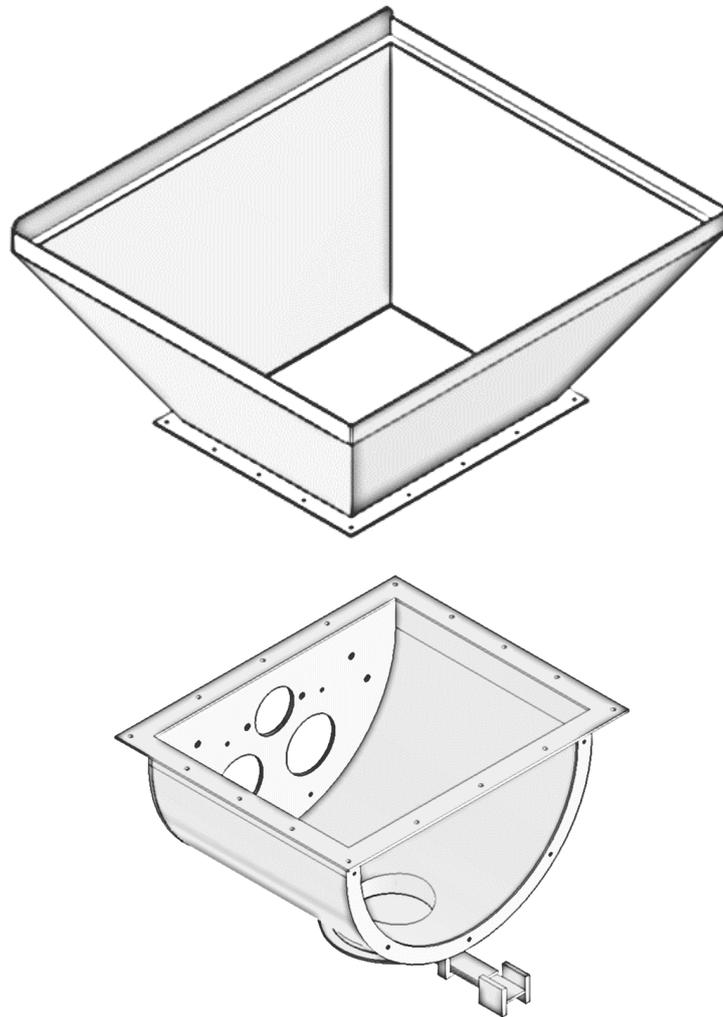


Figura 3.3 Diseño de la parte superior e inferior de la tolva (Autodesk Inventor Professional Student 2020)

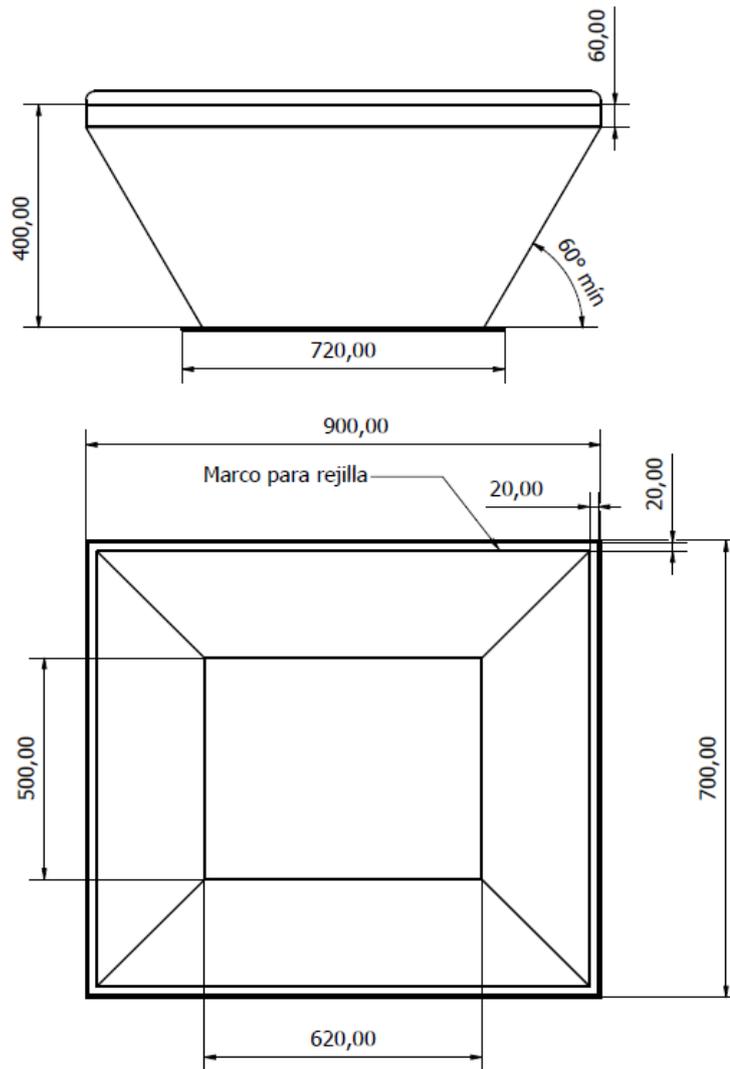


Figura 3.4 Tolva de alimentación-Parte superior. Diseño final y dimensiones Generales (Autodesk Inventor Professional Student 2020)

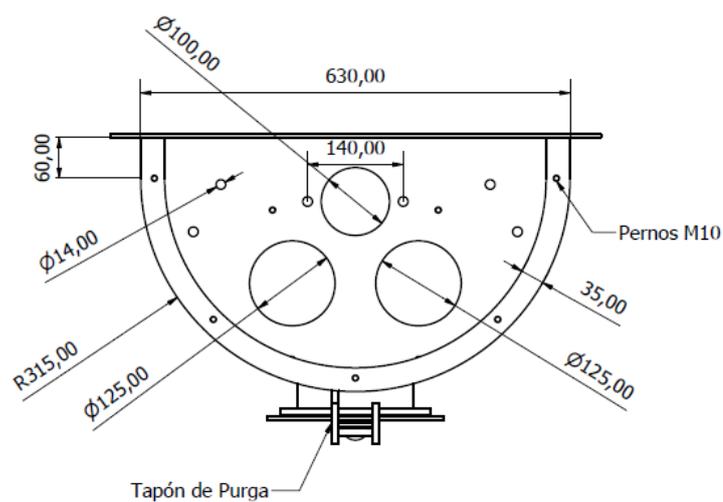


Figura 3.5 Tolva de alimentación-Parte inferior. Diseño final y dimensiones Generales (Autodesk Inventor Professional Student 2020)

En el apéndice D se encuentran los planos detallados de las dimensiones de la tolva y otros elementos adicionales como la rejilla de protección, los sellos de unión, la tapa de purga de la tolva y demás elementos de ensamble.

3.3 Diseño de la válvula S

La válvula o tubo S es uno de los elementos más importantes ya que, es la que permite el paso del hormigón desde los cilindros de carga hasta la tubería de transporte. Al igual que los cilindros de carga la válvula S está sometida a la abrasión por lo que es importante seleccionar un material resistente al desgaste. Por otra parte, la válvula S es una pieza irregular y su fabricación implica formas irregulares como codos de 45 grados, por lo que es importante también seleccionar un material que pueda adquirir la forma requerida.

De acuerdo con la función y propiedades que debe poseer el tubo S, se seleccionó al igual que para los cilindros de hormigón, tubo de acero ST52 cromado por inducción de 5mm de espesor, el cual permitirá obtener la forma requerida si se desea, a través del método de doblado de tubos por medio de virolas y así facilitar la fabricación de esta pieza.

En la Figura 3.6 se puede observar el diseño final de la válvula S y las dimensiones generales establecidas.

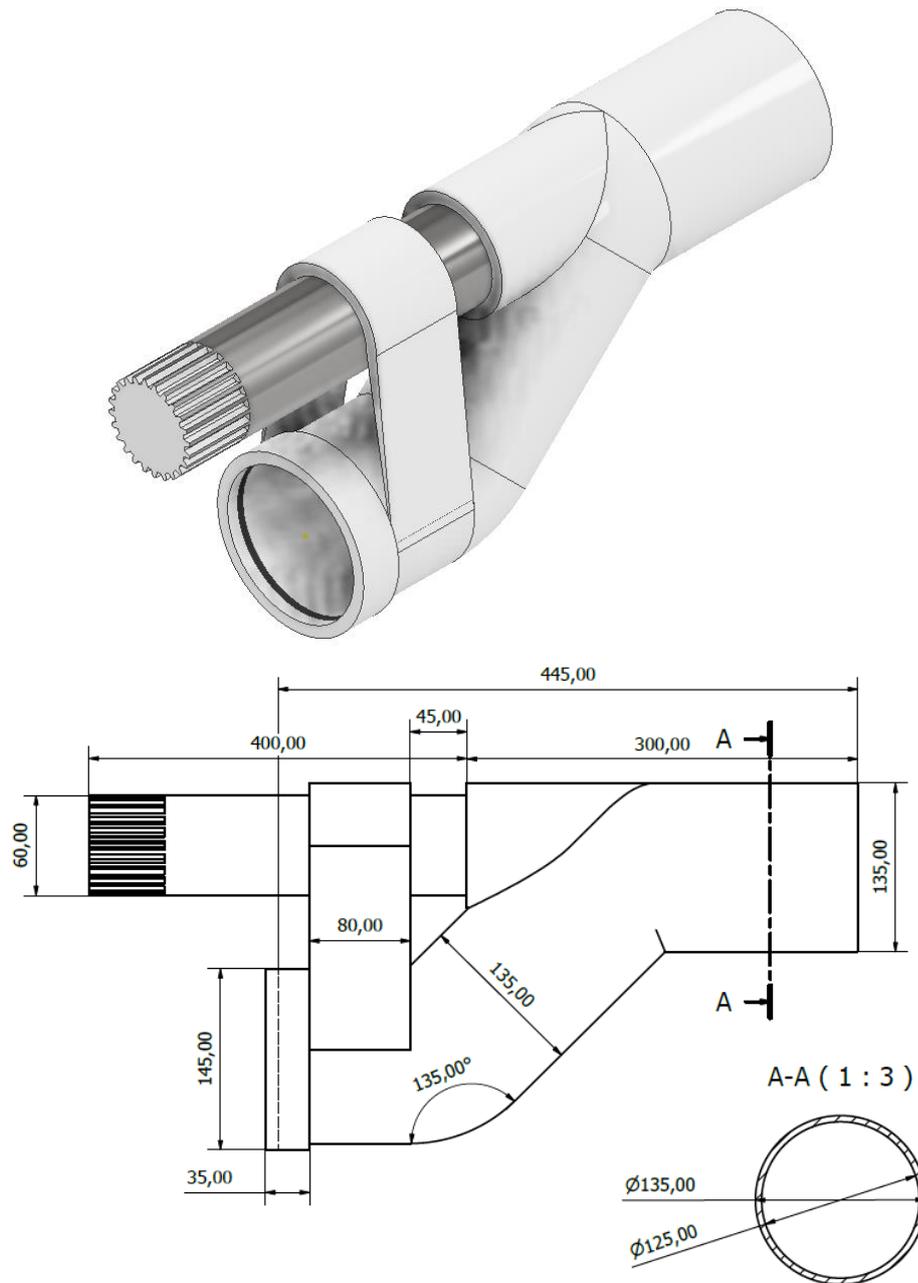


Figura 3.6 Diseño final y dimensiones generales de válvula S (Autodesk Inventor Professional Student 2020)

Por otra parte, se obtuvo un torque teórico de 720 N.m para el eje de la válvula, con el cual se realizó un análisis de elementos finitos como se mencionó en la metodología y se obtuvo que, para un torque del doble del valor obtenido, el eje diseñado de 80 mm presenta un factor de seguridad mínimo de 4.22, como se observa en la Figura 3.7, con el cual se asegura que el diámetro seleccionado es correcto. Sin embargo, el

factor de seguridad es lo suficientemente grande aun aplicando el doble de carga al eje, por lo que se puede reducir el diámetro del eje a 60 mm como se había establecido inicialmente.

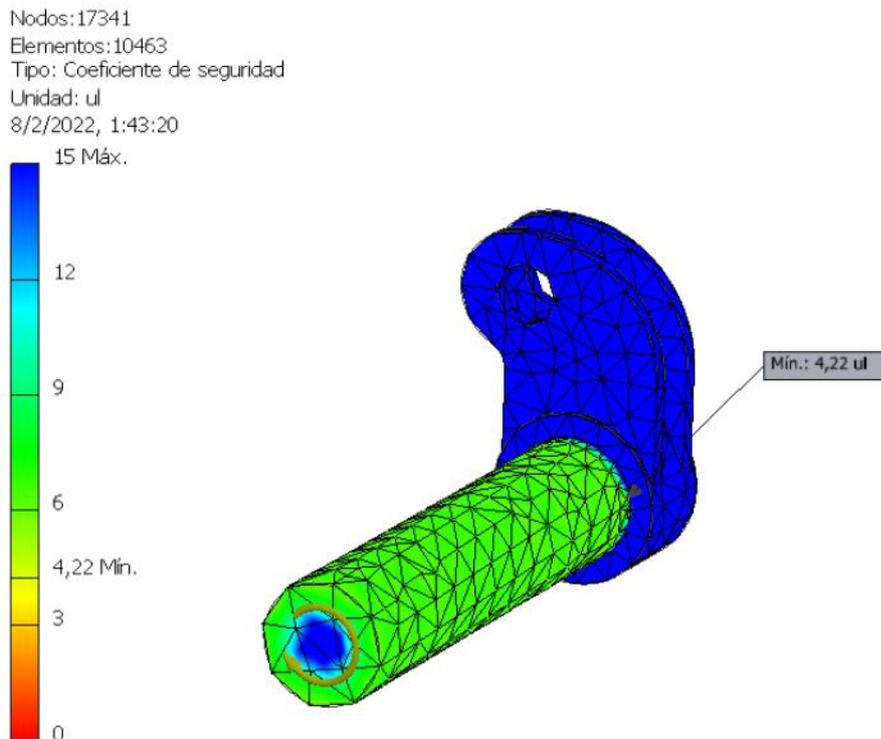


Figura 3.7 Análisis por medio de elementos finitos del eje de la válvula (Autodesk Inventor Professional Student 2020)

En el apéndice D se puede revisar más información detallada de los resultados de diseño de la válvula S.

3.4 Selección de bomba oleo hidráulica

De acuerdo con los requerimientos del cliente, la bomba oleo hidráulica debe ser capaz de bombear 5 metros cúbicos de hormigón por hora hasta una altura de 6 metros. En concordancia con los cálculos realizados, incluyendo las diferentes pérdidas de presión, se obtuvo que es necesario una presión máxima de 13 bares.

Incluyendo como factor de seguridad un valor de presión adicional, igual al 10% del valor total de la presión calculada, se obtuvo una presión final de 15 bares.

Para este caso, la presión máxima requerida es baja en comparación con la presión de operación que pueden alcanzar las bombas oleo hidráulicas estándar, sin embargo, esto no afecta el rendimiento, por lo que se seleccionó una bomba oleo hidráulica de engranajes de 1800 RPM, con una presión máxima de 140 bares.

Tabla 3.2 Especificaciones técnicas de la Bomba seleccionada (HYDROMECHANICA, 2022)

TIPO		GP1K1	GP1K1.2	GP1K1.6	GP1K2.1	GP1K2.5	GP1K3.2	GP1K3.5	GP1K4.2	GP1K5	GP1K6.2	GP1K7	GP1K8	GP1K10	
DESPLAZAMIENTO	cm ³ /rev	1,0	1,2	1,6	2,1	2,5	3,2	3,5	4,2	5,0	6,2	7,0	8,0	10,0	
GPA A 1800 RPM	GPA	0,48	0,57	0,76	1,00	1,19	1,52	1,66	2,00	2,38	2,95	3,33	3,80	4,76	
DIMENSION A	mm	37,70	38,40	39,90	41,80	43,30	45,90	47,00	49,60	52,60	57,20	60,20	63,60	71,00	
DIMENSION B	mm	18,85	19,20	19,95	20,90	21,65	22,95	23,50	24,80	26,30	28,60	30,10	31,80	35,50	
PRESIÓN CONTINUA MÁXIMA, P ₁	bar	250						240		230	220	210	170	140	
PRESIÓN CONTINUA MÁXIMA, P ₂	bar	270						260		250	240	230	190	160	
PICO DE PRESIÓN, P ₃	bar	290						280		270	260	250	210	180	
VELOCIDAD MÁXIMA P ₂ , n _{max}	min ⁻¹	4000						3500						3200	
VELOCIDAD MINIMA P ₁ , n _{min}	min ⁻¹	750						650			600				
PESO	kg	0,83	0,85	0,87	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,05	1,16	1,20	1,26	1,32	

En apéndice C se puede encontrar toda la información técnica detallada de la bomba oleo-hidráulica seleccionada.

3.5 Selección del Motor

Debido a que primero se seleccionó la bomba oleo-hidráulica, la selección del motor está sujeta a los parámetros de operación de la bomba. De acuerdo con los cálculos realizados, el motor debe generar una potencia de 5.6 kW que corresponden a 7.5 Hp.

Debido a que se tiene una potencia estándar, el motor se seleccionó a través del catálogo digital de la marca WEG, la misma que tiene presencia dentro del país, lo que facilita la adquisición de este producto.

Tabla 3.3 Especificaciones técnicas del Motor seleccionado (WEG, 2022)

Potencia [HP]	5.5	
Polos	4	
Frecuencia [Hz]	60	
Tensión nominal [V]	460	
Corriente nominal [A]	7.28	
Corriente de arranque [A]	58.2	
Ip/In [A]	8.0	
Corriente en vacío [A]	4.25	
Rotación nominal [RPM]	1755	
Resbalamiento [%]	2.50	
Torque nominal [Nm]	22.3	
Torque de arranque [%]	250	
Torque máximo [%]	350	
Factor de servicio	1.25	
Elevación de temperatura	80 K	
Tiempo de rotor bloqueado	34s (frío) 19s (caliente)	
Nivel de ruido ²	56.0 dB(A)	
Rendimiento (%)	25%	87.2
	50%	87.5
	75%	89.5
	100%	89.5
Cos ϕ	25%	0.33
	50%	0.58
	75%	0.70
	100%	0.77

Teóricamente se sabe que un motor solo puede operar máximo con un 75% de eficiencia, por lo que, se debe seleccionar un motor con una potencia mayor a la determinada, sin embargo, para el cálculo ya se tomó en cuenta la eficiencia reducida del motor.

En apéndice C se puede observar la hoja técnica completa del motor seleccionado y todas sus características detalladas.

3.6 Diseño de la estructura

La estructura debe diseñarse para soportar las diferentes cargas generadas por los componentes de la bomba, por lo que debe ser rígida y resistente, y también tener buena estabilidad debido a que estará sometida a cargas de desestabilización por la acción del bombeo. Además, la bomba debe poseer un sistema que permita trasladarla de un lugar a otro de manera fácil. En base a esto se diseñó una estructura simple semejante a la de las bombas tradicionales, la cual cuenta

también con dos ruedas adaptadas y un gancho para poder remolcar la bomba. Como ya se había mencionado en la metodología, la estructura se fabricará con perfiles rectangulares de acero estructural de 2 mm de espesor y de 80mmx40mm.

En la Figura 3.8 se puede observar el diseño establecido para la estructura, la misma que respeta todas las características de forma de cada elemento de la bomba, para que puedan ser montados con facilidad, y en la Figura 3.9 y Figura 3.10 se presenta las dimensiones generales y un análisis de cragas para asegurar que la estructura no falle.

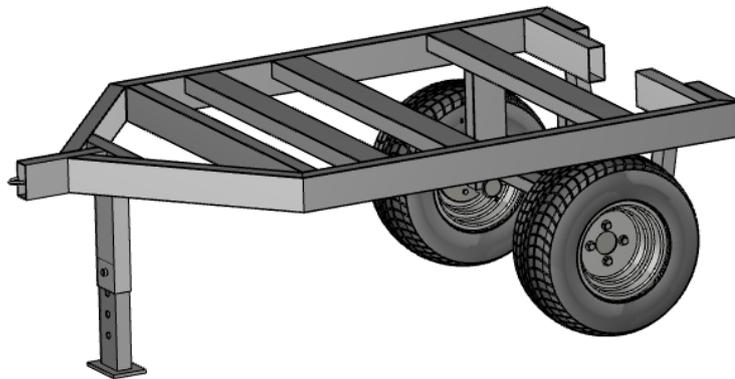


Figura 3.8 Diseño Realizado para la Estructura de la bomba (Autodesk Inventor Professional Student 2020)

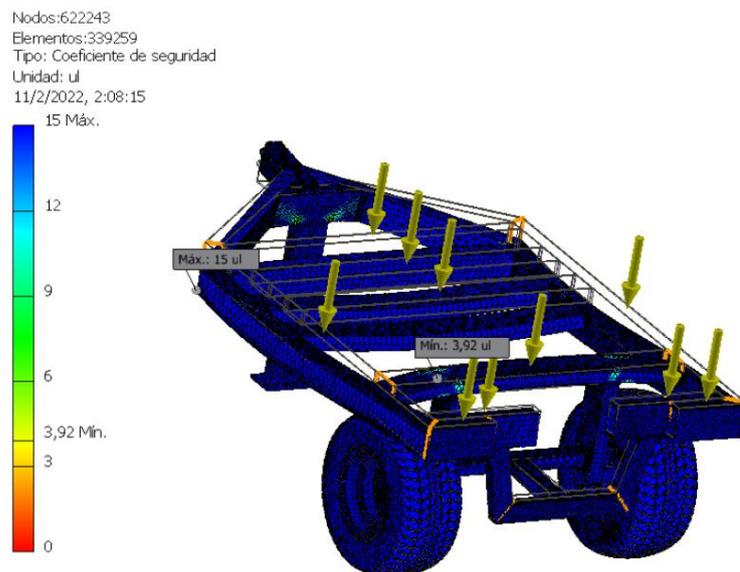


Figura 3.9 Análisis de elementos finitos de la estructura (Autodesk Inventor Professional Student 2020)

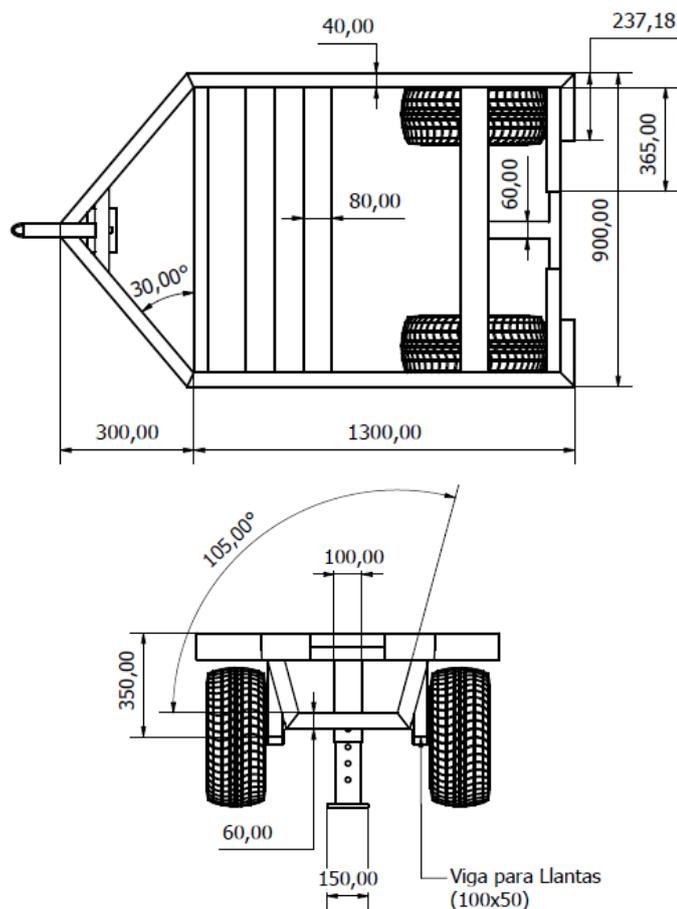


Figura 3.10 Diseño final y dimensiones generales de la estructura de la bomba (Autodesk Inventor Professional Student 2020)

3.7 Especificaciones técnicas del equipo

Tabla 3.4 Especificaciones técnicas de operación del equipo diseñado [Elaboración propia]

Criterio	Especificaciones
Capacidad	5m ³ /h
Presión	15 bar
Distancia horizontal de transporte	15 m
Distancia vertical de transporte	6m
Motor	Eléctrico, 460 V, 60 HZ
Potencia	7.5 HP
Diámetro de cilindros de carga	125 mm
Capacidad máx de la Tolva	360 L
Eficiencia volumétrica (Empuje)	77%
Eficiencia volumétrica (Succión)	91%

3.8 Mantenimiento del equipo

Tabla 3.5: Lista de mantenimiento programado (SCHWING, 2021)

	TAREA	Diariamente	Semanalmente	Mensualmente	Semestralmente	Anualmente	Siempre que sea necesario
1	Verifique el aceite hidráulico. Si el aceite tiene apariencia lechosa es un signo de contaminación de agua y debe ser cambiado (Usar aceite de la misma marca y tipo).	✓					
2	Purgue el agua de la parte inferior del tanque hidráulico a través del grifo de drenado. Cuando el líquido drenado cambie de agua a aceite, cierre la válvula.	✓					
3	Inspeccione las empaquetaduras de las bielas de los cilindros. Para comprobar el desgaste de las empaquetaduras, llene la caja de agua por arriba del nivel de las bielas de los cilindros y deje reposar durante un par de minutos, si el aceite comienza a flotar en la parte superior del agua es una indicación de que las empaquetaduras están gastadas.	✓					
4	Inspeccione los pernos de la válvula oscilante y la unidad de válvula. Si observa algo sospechoso, apague la bomba e inspeccione utilizando una llave de apriete.	✓					
5	Engrase los cojinetes de la válvula oscilante a través de los accesorios de engrase.	✓					
6	Inspeccione la unidad de válvula para ver si hay daños o fugas.	✓					
7	Inspeccione la tuerca de tensión de la válvula oscilante para verificar que no tiene juego.		✓				
8	Inspeccione el anillo de corte para comprobar si hay desgaste.		✓				
9	Lubrique las piezas mecánicas móviles con aceite o lubricante.		✓				
10	Verifique las presiones hidráulicas. Los cambios en las presiones pueden indicar problemas en uno o más componentes.			✓			

11	Cambie el aceite hidráulico debido a cambios de temperatura. Esto depende del cambio de clima del lugar donde se encuentra operando la bomba.				✓		
12	Cambie el aceite hidráulico si aún no lo ha hecho, debido al tiempo de uso. El aceite debe estar frío para poder cambiarlo.					✓	
13	Otros						
14							

3.9 Análisis de costos

3.9.1 Costos de materiales y equipos de fabricación

La mayoría de los materiales, equipos y elementos fueron cotizados con proveedores nacionales. También, algunas piezas y elementos fueron cotizados con proveedores extranjeros para realizar una comparación con los precios locales y así poder reducir el costo del equipo.

En la siguiente tabla se muestra el costo de cada material o equipo necesario para la fabricación de la bomba.

Tabla 3.6 Tabla de costos generales de los elementos de la bomba [Elaboración propia]

Elemento	Componentes	Material	Cantidad	Costo
"REJILLA 1,141 M2"	Platina 1135X30X3	Acero Antiabrasivo 400 HB	2	\$209,95
	Platina 995X30X3	Acero Antiabrasivo 400 HB	23	
TOLVA-279 L- 5mm e	Embudo 60°	Acero Antiabrasivo 400 HB	1	\$721.86
	Marco Superficial		1	
	Porta Rejilla		1	
	Marco de Sujeción		1	
Unidad de válvula 94 L	Cubierta Posterior Soldada	Acero Antiabrasivo 400 HB -5MM	1	\$686.18
	Marco de Sujeción		1	
	Cavidad de Válvula		1	
	Brida Semiluna		1	
	Brida de Purga		1	
	Tapa de Purga		1	
	Aleta de Descarga	DIN 17100 St 52 - 3	1	
	Cuñas		2	
Yunques de Aleta de Descarga		2		

	Soporte L		1	
	Porta Remache		1	
CUBIERTA DELANTERA (5mm)		Acero Antiabrasivo 400 HB	1	\$219.98
TOMA PRINCIPAL (DN 125 mm) (Dureza 60 HCR)		DIN 17100 St 52 - 3	1	\$127.82
VÁLVULA S (DN 125 MM) Recubrimiento con dureza 60 HRC [3+2])	Eje de Basculación	AISI 1018	1	\$610
	Mangas	AISI 1045	2	
	Pipa		1	
	Recubrimiento Interno CCOs	VAUTID 150 - Cr7C3		
Placa y Anillo de desgaste (Recubrimiento con dureza 60 HRC [5+5])	"Recubrimiento Interno WC"	VAUTID Ultra 301 - W2C	1	\$527
Brida 1-válvula s		Acero Antiabrasivo 400 HB -5MM	1	\$175.75
Brida 2-válvula s		Acero Antiabrasivo 400 HB -5MM	1	\$191.57
Acople de vástago		AISI304	1	\$265
Cilindros de transporte (cromado interno 30 micras)		EN 10305 5 SRt 37-2	2	\$563,56
Émbolo de pistón	Émbolo	AISI 304	2	\$196.57
	Platillo de copa	AISI 304	2	
Copa de Pistón (60 HCR)		Poliuretano	2	\$223.59
Juntas	Cuadradas - tolva	Neopreno	1	\$259,76
	Redonda - Bridas	Neopreno	9	
Cojinete 1	DN135	Nylon	1	\$130,27
Cojinete 2	DN60	Nylon	1	\$54,42
Actuador hidráulico	DN 50 MM / 500 MM		2	\$736.57
	DN 37,5 MM / 172 MM		1	\$284.05
Bomba hidráulica (10 cm3/rev 4.75 GPM - 1800 RMP)			1	\$177,08
Motor eléctrico 5.6 kW - 7.5 HP Trifásico - 4 Polos - 1800 RPM			1	\$477,50
Accesorios de circuito hidráulico	Tanque, mangueras, válvulas			\$330
Estructura	Vigas (80x60x1.5), Llantas RIN 14			\$550
TOTAL				\$7719,21

3.9.2 Costos directos

Para nuestro caso, los costos directos estuvieron formados por los costos de los materiales de fabricación, los costos de mano de obra y los costos por transporte necesario para el traslado de los materiales.

Tabla 3.7 Resumen de costos directos [Elaboración propia]

Costo de materiales de fabricación [\$]	7719,21
Costo de mano de obra y herramientas [\$]	
Costo de transporte de materiales [\$]	
Total	7719,21

3.9.3 Costos indirectos

Los costos indirectos estuvieron formados por los costos de supervisión del diseño y fabricación de la máquina, más una utilidad del 10 % del valor total.

Tabla 3.8 Resumen de costos indirectos [Elaboración propia]

Costos ingenieriles	Cantidad [Horas]	No. Personal	Precio unitario [\$/Hr]	Subtotal [\$]
Ensamblado	30	2	5.00	\$300,00
Supervisión	30	1	7.50	\$225,00
Diseño de Control	120	1	5.00	\$600,00
Total de costos ingenieriles				\$1125,00
Utilidad				\$ 772,00
Total				\$ 1897,00

1.1.1. Costo total de la máquina

El costo total del equipo es el equivalente a la suma de los costos directos, más los costos indirectos como se muestra a continuación:

Tabla 3.9 Costo total del equipo [Elaboración propia]

Costos directos	\$7719,21
Costos indirectos	\$1897,00
Total	\$9616,21

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- A través de la metodología establecida se logró diseñar una bomba de hormigón de baja capacidad, la cual cumple con los requerimientos del cliente y permitirá como principal punto, disminuir el esfuerzo físico y los riesgos a los que están sometidas las personas que realizan trabajos de construcción a través de métodos convencionales, cumpliendo así con el objetivo principal propuesto.
- El equipo cuenta con elementos de protección en las partes que implican algún riesgo para el operador o trabajadores y recomendaciones de seguridad y uso del equipo, lo cual garantizará la eficiencia del proceso de bombeo y seguridad de las personas involucradas.
- El diseño y selección de los elementos principales del sistema de bombeo se realizó a partir de materiales y equipos estándares que se encuentran en el mercado local, lo cual facilita el tiempo de fabricación de la bomba. Por lo tanto, se consiguió diseñar un sistema que será asequible para un conjunto más amplio de la población local.
- A partir de una simulación realizada con los datos de los tiempos de operación de la bomba se comprobó el rendimiento del equipo, sin embargo, esta simulación muestra un rendimiento de 4.85 m³/h en comparación con los 5 m³/h determinados inicialmente a través del método empírico. Por lo tanto, se considera que el dimensionamiento de los elementos de la bomba de hormigón es adecuado.
- Una limitante en el diseño fue el costo que debe tener el equipo, por lo que se realizó un modelo sencillo en comparación con los equipos convencionales de gran capacidad, logrando disminuir

- significativamente los costos del equipo y haciéndolo más asequible para las personas que se dedican a la construcción a escala pequeña o mediana.

4.2 Recomendaciones

- La eficiencia volumétrica de bombeo puede ser mejorada y calculada con mayor precisión reduciendo el tiempo de oscilación de la válvula S, tiempo que puede ser simulado en softwares de automatización e instrumentación para validar el tiempo global de respuesta de los actuadores para la señal hidráulica y de las electroválvulas para la señal eléctrica
- El hormigón es un fluido pseudoplástico de sólidos en suspensión cuyo modelado varía según el diseño de mezcla, por ello es adecuado realizar ensayos experimentales para corroborar la caída de presión durante el funcionamiento de la bomba para distintos tipos de hormigón en la configuración máxima de 15 metros horizontal y 6 metros vertical mediante la instrumentación adecuada.
- La bomba de pistones alternantes es una máquina con capacidad de desplazar o triturar el árido grueso, dado el sesgo en el cálculo del torque necesario para triturar las piedras, se recomienda el uso de piedras chancadas frente a las rodadas con diámetro nominal de 3/4, 1 pulgada o inferior.
- Los elementos diseñados para la bomba están medianamente sobredimensionados para asegurar el rendimiento requerido por el cliente, debido a que no se pudo realizar pruebas experimentales, por lo que pueden ser redimensionados de forma más exacta de acuerdo con los fabricantes del producto, para reducir las dimensiones del equipo y los costos.

BIBLIOGRAFÍA

ACI Committee 304. (2017). Estándar 304 2R 304.2R-17: Guide to Placing Concrete by Pumping Methods. <https://es.scribd.com/document/486791995/304-2R-17-pdf>

MIDUVI. (2015). NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC: ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-HM-Hormig%C3%B3n-Armado.pdf>

HOLCIM. (2020). Elaboración de hormigón con cemento Holcim Fuerte. https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/atoms/files/holcim_fuerte_v2.pdf

PUTZMEISTER. (2015). Tecnología del hormigón para bombas de hormigón. <https://pdf.directindustry.es/pdf/putzmeister-21069.html>

Budynas, R. G., & Nisbett J, K. (2015). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (McGraw-Hill, Ed.; Décima edición).

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones (McGraw-Hill, Ed.; Cuarta edición).

Victoryepesblogs, Formulas empíricas para cálculo de la presión y la potencia de bombeo del hormigón. Accedido el 4 de noviembre, 2021, desde <https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/02/09/bombeo-hormigon-nomogramas/>

Rodríguez López, A. J. (2015) Determinación automática de la eficiencia volumétrica y otros parámetros de operación de bombas alternativas de hormigón mediante análisis de los pulsos de presión en su salida [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/40677/1/ANGEL_J_RODRIGUEZ_LOPEZ.pdf

PUTZMEISTER. (2021). Catálogo de máquinas PUTZMEISTER: Bombas de hormigón. <https://pdf.directindustry.es/pdf/putzmeister-21069.html>

Bassem N. Zakher, Dalia M. Ammar. (2019). Simulation of new design of stationary concrete pump. <http://rpublication.com/ijst/2019/apr19/4.pdf>

Turabimana, Pacifique. (2019). Design of Automobile Concrete Pump https://www.researchgate.net/publication/330881102_Design_of_Automobile_Concrete_Pump

SCHWING. (2021). Manual de operación - Bomba Schwing. <https://www.schwing.es/index.php/productos/bombas-hormigon-estacionarias.html>

Bestsupportunderground, soporte sobre el shotcrete y el funcionamiento de una bomba de hormigón. Accedido el 20 de noviembre, 2021, desde <https://bestsupportunderground.com/shotcrete-bomba-hormigon/>

Hidraoil, calculadora para determinar la potencia que consume un determinado caudal hidráulico a una cierta presión de trabajo. Accedido el 15 de enero, 2021, desde <https://hidraulicahidraoil.es/articulos/la-potencia-hidraulica/>

WEG, Catálogo en línea para selección de motor. Accedido el 12 de enero, 2022, desde https://www.weg.net/catalog/weg/US/es/c/MT_IEC_3PHASE_LV_TEFC_W22_I_E2/list

Moldeddimensions, propiedades físicas y mecánicas del caucho. Accedido el 12 de enero, 2022, desde <https://moldeddimensions.com/mechanical-properties.php>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Tablas, gráficas, métodos y cálculos relacionadas con la investigación

Tabla A.1 Datos Técnicos referenciales de bombas de hormigón Putzmesiter serie TK (PutzmesiterAmerica, 2013)

Rendimiento	TK 7	TK 10	TK 15HP	TK 20
Salida máxima de volumen	4,6 m ³ /hr	4,6 m ³ /hr	11 m ³ /hr	13 m ³ /hr
Presión máxima del hormigón	85 bar	144 bar	103 bar	138 bar
Tamaño máximo de agregados	19 mm	19 mm	19 mm	25 mm
Información técnica				
Cilindros de material	76 x 610 mm	76 x 610 mm	102 x 1.000 mm	114 x 762 mm
Recorridos máximos por minuto	37	36	24	31
Control de volumen variable	0 a lleno	0 a lleno	0 a lleno	0 a lleno
Válvula en S (moldeada)	76 x 76 mm	76 x 76 mm	Fab. 100 x 100 mm	114 x 100 mm
Número de cilindros de cambios	1	1	1	1
Capacidad del depósito hidráulico	128 L	140 L	144 L	144 L
Altura de la tolva	1.016 mm	1.219 mm	1.194 mm	1.245 mm
Capacidad de la tolva	125 L	227 L	285 L*	270 L
Diámetro de la salida	76 mm HD	76 mm HD	102 mm HD	102 mm HD
Motor				
Modelo del fabricante <small>(todos enfriados por agua excepto TK 15HP, TK 40)</small>	Motor TEFC	Deutz D2011L04i	Deutz TD2011L04i	Deutz TD2011L04i
Potencia	22 kW	45 kW	51 kW	51 kW
Capacidad del depósito de combustible	56 L	56 L	98 L	83 L
Remolque				
Eje	–	Simple	Simple	Simple
Capacidad del eje	–	2.258 kg	3.175 kg	3.175 kg
Neumáticos/Rango de carga	–	ST 225/75R15D	LT 235/85R16G	LT 235/85R16G
Frenos	–	Eléctricos	Eléctricos	Eléctricos
Estabilizadores	–	Manuales	Manuales	Manuales
Dimensiones				
Longitud	2,24 m	3,75 m	4,65 m	4,42 m
Ancho	1,02 m	1,62 m	1,89 m	1,89 m
Altura	1,37 m	1,57 m	1,75 m	1,78 m
Peso (aprox.)	1.134 kg	1.814 kg	2.315 kg	2.177 kg

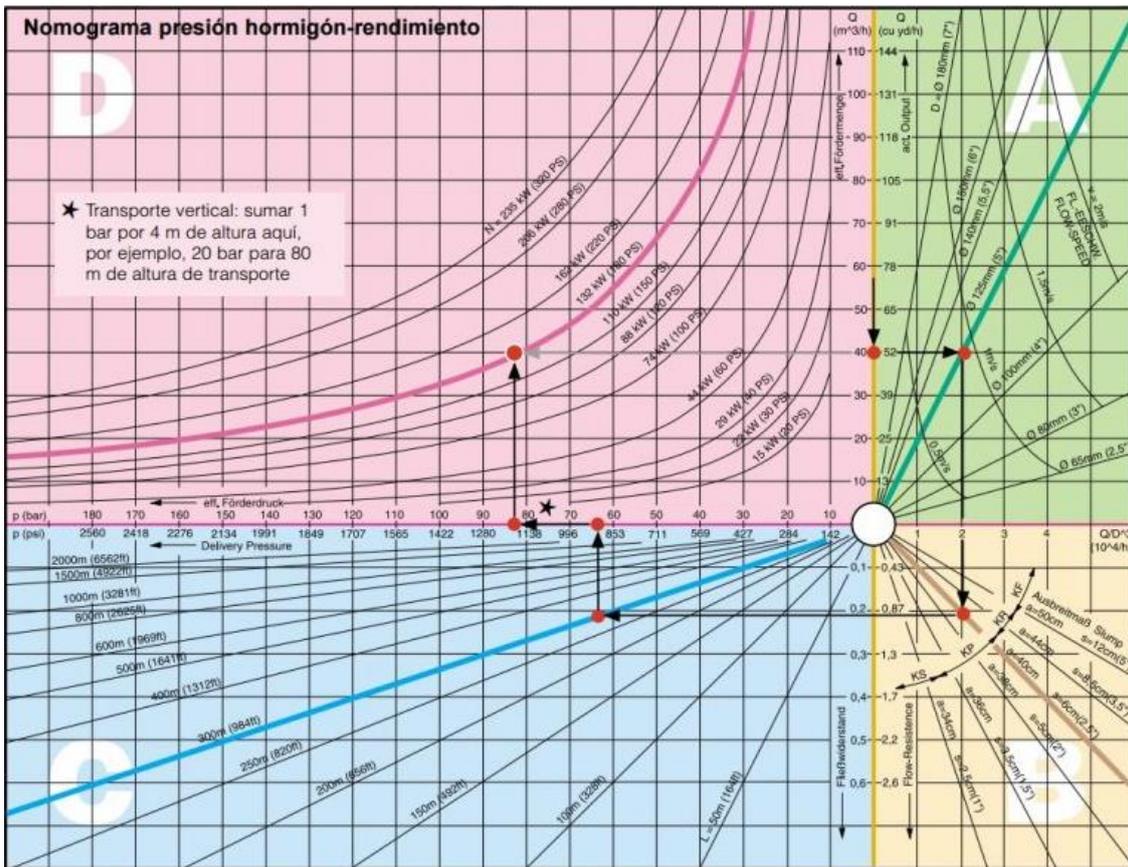


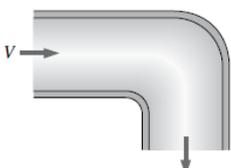
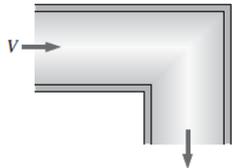
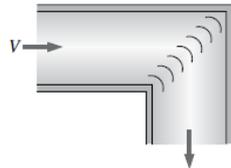
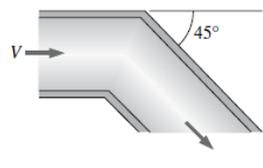
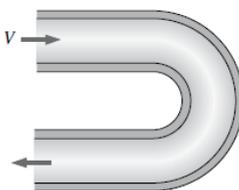
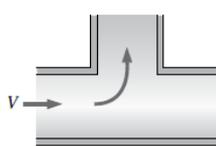
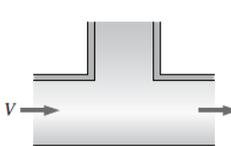
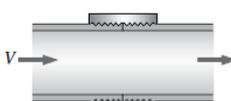
Figura A.1 Nomograma presión de hormigón- Rendimiento. (PUTZMEISTER, 2017)

Tabla A.2 Coeficiente b para valores de asentamientos de hormigón (RODRÍGUEZ-LÓPEZ, 2014)

Cono de Abrams (mm)	25	35	50	60	85	120
Coeficiente b ($10^{-6} \cdot \text{bar} \cdot \text{h}/\text{m}$)	6,14	3,80	2,65	2,02	1,57	1,18

Tabla A.3 Coeficientes de pérdida K_L de varios accesorios de tubería para flujo turbulento (para usar en la relación $h_L = K_L V^2 / (2L)$, donde V es la velocidad promedio en la tubería que contiene el accesorio) (Çengel & Cimbala, 2018)

TABLA 8-4 (Continuación)

<p><i>Codos y ramificaciones</i> Codo suave de 90°: Embridado: $K_L = 0.3$ Roscado: $K_L = 0.9$</p> 	<p>Codo esquinado de 90° (sin álabes directores): $K_L = 1.1$</p> 	<p>Codo esquinado de 90° (con álabes directores): $K_L = 0.2$</p> 	<p>Codo roscado de 45°: $K_L = 0.4$</p> 
<p>Codo de retorno de 180°: Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 1.5$</p> 	<p>Conexión en T (flujo deriv.): Embridado: $K_L = 1.0$ Roscado: $K_L = 2.0$</p> 	<p>Conexión en T (flujo en línea): Embridado: $K_L = 0.2$ Roscado: $K_L = 0.9$</p> 	<p>Unión roscada: $K_L = 0.08$</p> 

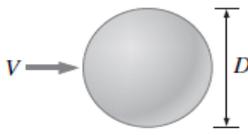
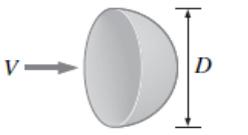
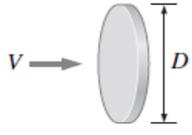
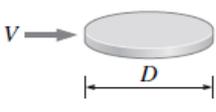
Válvulas

Válvula de globo, totalmente abierta: $K_L = 10$
Válvula de ángulo, totalmente abierta: $K_L = 5$
Válvula de bola, totalmente abierta: $K_L = 0.05$
Válvula de charnela: $K_L = 2$

Válvula de compuerta, totalmente abierta: $K_L = 0.2$
 $\frac{1}{4}$ cerrada: $K_L = 0.3$
 $\frac{1}{2}$ cerrada: $K_L = 2.1$
 $\frac{3}{4}$ cerrada: $K_L = 17$

* Esos son valores representativos para coeficientes de pérdida. Los valores reales dependen principalmente del diseño y la fabricación de los accesorios y pueden diferir considerablemente de los valores dados (en especial para las válvulas). En el diseño final se deben usar los datos reales del fabricante.

Tabla A.4 Coeficientes de arrastre a bajas velocidades ($Re \leq 1$ donde $Re = VD/\nu$ y $A = \pi D^2/4$) (Çengel & Cimbala, 2018)

<p>Esfera</p>  <p>$C_D = 24/Re$</p>	<p>Hemisferio</p>  <p>$C_D = 22.2/Re$</p>
<p>Disco circular (normal al flujo)</p>  <p>$C_D = 20.4/Re$</p>	<p>Disco circular (paralelo al flujo)</p>  <p>$C_D = 13.6/Re$</p>

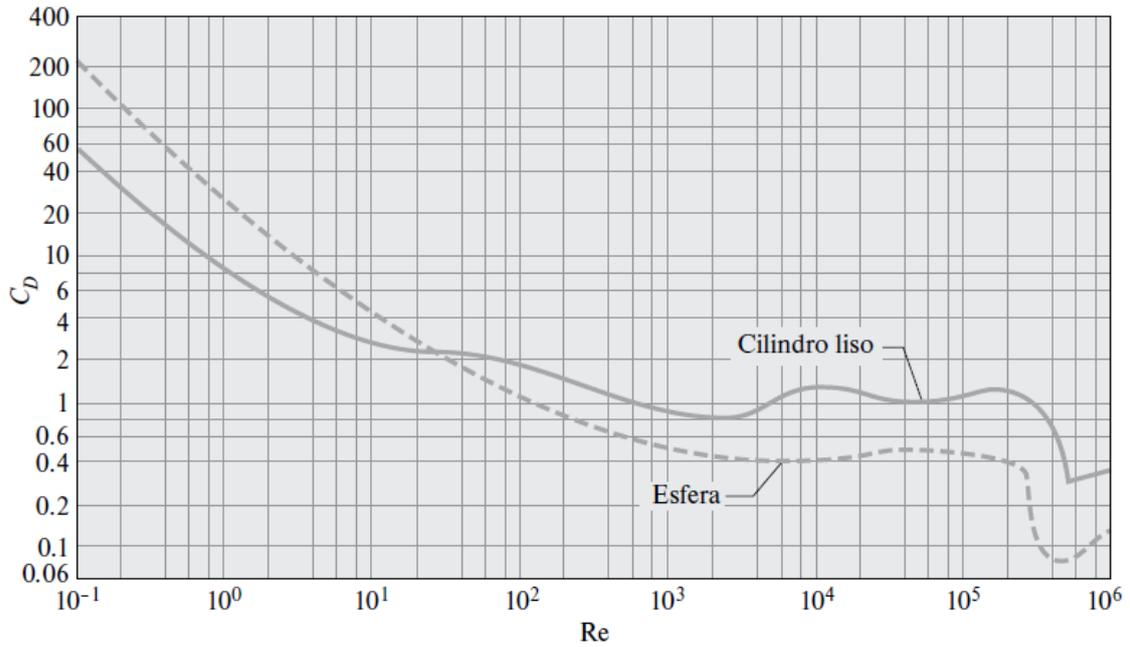


Figura A.2 Coeficiente de arrastre promedio para flujo transversal sobre un cilindro circular liso y una esfera lisa (Çengel & Cimbala, 2018)

Tabla A.5 Modelo semi-empírico para evaluar la viscosidad plástica (Portugal Pablo, 2003)

Para evaluar la viscosidad plástica de los resultado de la prueba de slump modificado, las siguiente hipótesis fue usada: para un mismo slump final y una misma densidad del concreto, una diferencia en el tiempo de slump puede ser atribuida a una diferente viscosidad plástica. Realizando el análisis dimensional de los parámetros de la prueba y las medidas realizadas en un reómetro se proponen las siguientes formulas:

$$\begin{aligned} \mu &= 1.08 \cdot 10^{-3} (S - 175) \rho T & 200 < S < 260 \text{ mm} \\ \mu &= 25 \cdot 10^{-3} \rho T & S < 200 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6)$$

donde: ρ densidad del concreto en Kg/m³
 S slump medido en mm
 T tiempo de slump
 μ Viscosidad en Pa.s

La prueba de slump modificado esta actualmente siendo evaluada por ASTM, como un posible ensayo que sirva para caracterizar al concreto en estado fresco.

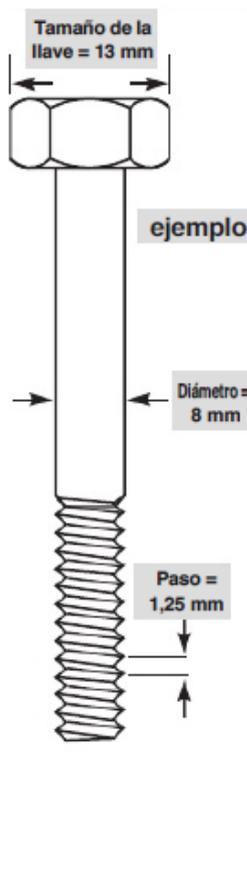
Tabla A.6 Modelo para evaluar el esfuerzo estático (Portugal Pablo, 2003)

Basado en el análisis del modelo de Bingham para la prueba de slump y las medidas del esfuerzo estático usando un reómetro. Se propuso la siguiente fórmula relacionando el slump “s” al esfuerzo estático.

$$\tau_0 = \frac{\rho(300 - s)}{347} + 212 \quad (5)$$

donde: ρ densidad del concreto en Kg/m³
 s slump medido en mm
 τ_0 Esfuerzo estático en Pa

Tabla A.7 Especificaciones de par de torsión recomendados para pernos métricos (SCHWING, 2021)



ESPECIFICACIONES DE PAR DE TORSIÓN para la rosca métrica NORMAL				
TAMAÑO DEL PERNO	TAMAÑO DE LA LLAVE mm	8,8 dureza libra-pie (N-m)	10,9 dureza libra-pie (N-m)	12,9 dureza libra-pie (N-m)
M 6 x 1	10	7 (10,5)	11 (15,5)	12 (18)
M 8 x 1,25	13	17 (25)	26 (37)	30 (44)
M 10 x 1,5	17	35 (50)	51 (73)	60 (86)
M 12 x 1,75	19	60 (86)	87 (125)	100 (145)
M 14 x 2	22	94 (135)	140 (200)	165 (235)
M 16 x 2	24	150 (210)	215 (310)	256 (360)
M 18 x 2,5	27	210 (300)	300 (430)	350 (500)
M 20 x 2,5	30	300 (430)	420 (610)	500 (710)
M 22 x 2,5	32	400 (580)	575 (830)	670 (970)
M 24 x 3	36	510 (730)	720 (1040)	850 (1220)
M 27 x 3	41	750 (1080)	1080 (1550)	1250 (1800)
M 30 x 3,5	46	1000 (1450)	1460 (2100)	1700 (2450)
M 33 x 3,5	50	1400 (2000)	1940 (2800)	2300 (3300)
M 36 x 4	55	1750 (2500)	2500 (3600)	2900 (4200)
M 39 x 4	60	2300 (3300)	3260 (4700)	3800 (5500)

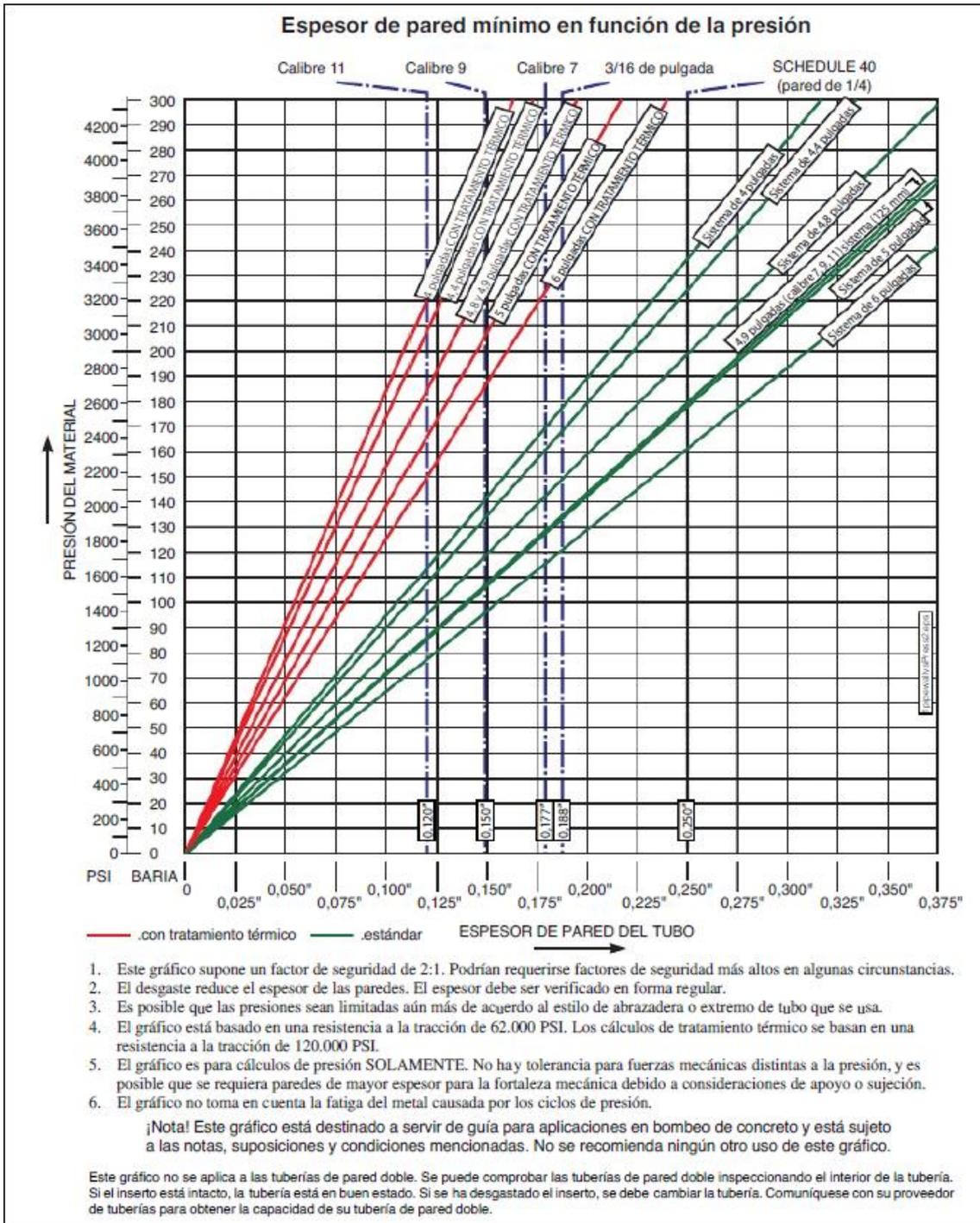


Figura A.3 Carta para determinar el espesor de pared mínimo de una tubería en función de la presión (SCHWING, 2021)

**Tabla A.8 Propiedades físicas y mecánicas comparativas del caucho
(MoldedDimensions, 2022)**

ESCRIBE	CAUCHO NATURAL	ESTIRENO BUTADIENO	BUTILO	NITRILO	NEOPRENO	SILICONA	FLUOROCARBONO	HIDRINA	EPDM	PENTANO
Designación ASTM	NR	SBR	IIR	NBR	RC	VMQ	FKM	CO, ECO	EPM, EPDM	AU, UE
PROPIEDADES FÍSICAS										
Gravedad específica	0,92-0,93	0,94	0,92	0,98	1,23-1,25	1,1-1,6	1,4-1,95	1,27-1,49	0,86	1,02-1,20
Conductividad térmica	0,082	0,143	0,053	0,143	0,11	0,13	0,06-1,3	-	0,15	0,09-0,10
Btu/pie/h/pie cuadrado/F	37	37	32	39	34	45	-	-	32	-
Coef of Ther Exp (cúbico) 10 ⁻⁵ por F Gum										
PROPIEDADES MECÁNICAS										
Dureza, Durómetro	30A-90A	30A-90A	30A-95A	30A-95A	90A-95A	20A-90A	55A-95A	30A-95A	30A-90A	10A-80D
Resistencia a la tracción 1000 psi	3.5-4.5	2.5-3.0	2.0	1.0-3.5	0.5-3.5	1.5	2.0	2-3	0.5-3.5	.08-8.0
Módulo (100%), psi	150-3000	300-1500	50-500	100-1500	100-3000	-	200-2000	150-2000	100-3000	25-5000
Elongación, %	500-700	450-500	300-800	400-600	100-800	100-800	150-450	320-350	100-700	250-800
Conjunto de compresión, método B, %	10-30	5-30	25	5-20	20-60	10	20-25	20	20-60	0.7-45
Resiliencia (ASTM 945) %	80	20-90	30	-	50-80	30-60	40-70	50-80	40-75	5-75
Rebote (Bashore)	-	10-60	-	-	50-80	-	40-70	50-80	40-75	20-65
Resistencia a la histéresis	Excelente	Buena feria	-	-	Muy bien	Buena feria	Bien	Bien	Bien	Buena feria
Resistencia al agrietamiento por flexión	Excelente	Bien	-	Buena feria	Muy bien	Regular-Excelente	Bien	Muy bien	Muy bien	Excelente
Resistencia al desgarró	Excelente	Justo	Bien	Bien	Bien	Justo	Regular-Muy Bueno	Muy bien	Buena feria	Sobresaliente
Resistencia a la abrasión	Excelente	Excelente	Bien	Excelente	Excelente	Pobre	Bien	Buena feria	Buena-Excelente	Sobresaliente
Resistencia al impacto	Excelente	Excelente	Bien	Bien	Excelente	Pobre-Bueno	Bien	Bien	Muy bien	Sobresaliente

Tabla A.9 Equivalencias entre durezas Brinell, Rockwell, Vickers y Shore y la resistencia a la tracción (Cemausa, 2021)

Brinell Diámetro Huella	Brinell Dureza HB	Rockwell Dureza Ha	Rockwell Dureza HRb	Rockwell Dureza HRC	Vickers Dureza HV	Shore	Resistencia a la tracción Kg/mm ²
2.35	682	64.0	-	65	885	91.0	232.9
2.40	652	83.0	-	63	820	87.2	221.5
2.45	627	81.5	-	61	765	84.8	213.5
2.5	600	80.5	-	59	633	76.5	188.7
2.55	578	79.5	-	59	717	81.5	204.0
2.60	555	79.0	120	57	675	78.5	195.1
2.65	534	78.0	119	54	598	73.5	181.3
2.70	514	77.0	119	52	567	71.0	174.9
2.75	495	76.5	117	51	540	68.5	168.0
2.80	477	75.5	117	49	515	66.7	162.2
2.85	461	74.4	116	48	494	65.0	157.0
2.90	444	73.5	115	46	472	63.0	150.6
2.95	429	73.0	115	45	454	61.0	145.6
3.00	415	72.5	114	44	437	59.0	140.0
3.05	401	71.5	113	42	420	57.2	136.0
3.10	388	71.0	112	41	404	65.8	132.0
3.15	375	70.5	112	40	389	54.0	127.5
3.20	363	70.0	110	39	375	52.2	123.4
3.25	352	69.5	110	38	363	50.5	120.0
3.30	341	68.5	109	36	350	49.2	115.9
3.35	331	68.0	109	35	339	48.0	112.4
3.40	321	67.5	108	34	327	46.7	109.1
3.45	311	67.0	108	33	316	45.2	105.6
3.50	302	66.5	107	32	305	44.5	102.7
3.55	293	66.0	106	31	296	43.2	99.6
3.60	285	65.5	105	30	287	42.0	96.9
3.65	277	65.0	104	29	279	41.0	94.2
3.70	269	64.5	104	28	270	40.0	91.5
3.75	262	64.0	103	27	263	39.2	89.1
3.80	255	63.0	102	25	256	38.5	86.7
3.85	248	62.5	102	24	248	37.5	84.3
3.90	241	62.0	100	23	241	36.5	81.9
3.95	235	61.5	100	22	235	35.7	79.9
4.00	229	61.0	99	21	229	35.0	77.9

Tabla A.10 Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero* (Budynas & Nisbett J, 2015)

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

[†] Las resistencias mínimas son las resistencias que exceden 99% de los sujetadores.

Las relaciones de superficie entre pistón de transporte (verde en la ilustración) e hidráulico (rojo) determinan la relación de presión hidráulica/hormigón. De esta relación dependen el rendimiento y la presión sobre el hormigón.

En alimentación por el lado vástago del sistema hidráulico, la relación de presión hydr./hormigón es mayor a la generada por la alimentación por el lado pistón: esto significa un mayor rendimiento, pero una menor presión sobre el hormigón.

Por el lado pistón se consigue una mayor presión con un menor rendimiento.

Como ejemplo una BSA 2110 HP-D:

Alimentación	lado vástago	lado pistón
Rendimiento	102 m ³ /h	76 m ³ /h
Presión	150 bar	220 bar
Rel. pres. hydr./horm.	2,3	1,6
Carreras/min	28	19

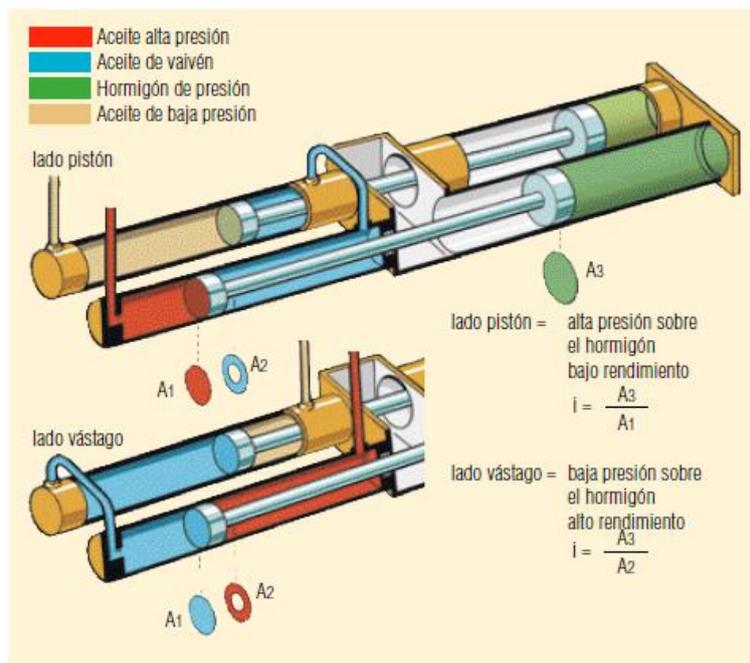


Figura A.4 Rendimiento y presión de bombas Putzmeister (PUTZMEISTER, 2021)

CÁLCULO DE PRESIÓN DE OPERACIÓN

Para el cálculo se utilizó los datos establecidos en la tabla 2.4 y la ecuación 2.10

$$p[\text{bar}] = b * \frac{16 * L}{\pi} \cdot \frac{q}{D^3}$$

- Presión por acoples

$$l_{acples}(No_{(ac)}) = l_{acp}(8) = 8 [m]$$

$$p_{acoples} = (6.14 \times 10^{-6}) \frac{16}{\pi} \frac{(8)}{(0.125)^3} (6.666)$$

$$P_{acc} = 0.85 [\text{bar}]$$

- Presión por longitud

$$p_{hose} = 0.497 (l_{hose}) = 0.497(21)$$

$$p_{hose} = 10.44 [\text{bar}]$$

- Presión por longitud

$$b(\text{slump}) = d(2.5 \text{ cm}) = 6.14 \times 10^{-6} [\text{bar} \cdot \text{h}/\text{m}]$$

$$P_l = b \frac{16 L}{\pi D^3} Q$$

$$p_l = (6.14 \times 10^{-6}) \frac{16 (15 + 6)}{\pi (0.125)^3} (6.666)$$

$$P_l = 2.24 [\text{bar}]$$

$$p_{hose} = 3(P_l) = 3(2.24)$$

$$p_{hose} = 6.72 [\text{bar}]$$

- Presión por gravedad

$$p_v = 1.53 [\text{bar}]$$

- Presión por reductor

$$\emptyset = 125 \text{ mm}$$

$$p_m = b \frac{16 L}{\pi D^3} Q$$

$$p_m = (6.14 \times 10^{-6}) \frac{16 (1)}{\pi (0.125)^3} (6.666)$$

$$P_m = 0.11 [\text{bar}]$$

$$\emptyset = 50 \text{ mm}$$

$$p_M = (6.14 \times 10^{-6}) \frac{16 (1)}{\pi (0.05)^3} (6.666)$$

$$p_M = 1.68 [\text{bar}]$$

$$\bar{p}_R = \frac{P_M + P_m}{2} = \frac{1.68 + 0.11}{2}$$

$$\bar{P}_R = 0.9 \text{ [bar]}$$

- Presión total

$$p_{op} = p_v + p_{hose} + p_{acc} + \bar{p}_R = 1.53 + 6.72 + 0.85 + 0.9$$

$$p_{op} = 13 \text{ [bar]}$$

CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

De acuerdo con las especificaciones de la bomba seleccionada y la Ecuación 2.12, se tiene que:

$$P_o = \frac{Q * P_r}{600}$$

$$P_o = \frac{18 \frac{L}{min} * 140}{600}$$

$$4.2 \text{ kW}$$

Reemplazando en la ecuación 2.13, tenemos:

$$P = \frac{P_o}{\eta_b * \eta_m}$$

$$P = \frac{4.2 \text{ kW}}{0.83 * 0.90}$$

$$P = 5.6 \text{ kW} = 7.5 \text{ Hp}$$

CÁLCULO DE LONGITUD MÁXIMA DE OPERACIÓN

Slump [cm]	2.5
Presión Vertical [bar]	2.17

$$P_{hose} = 3(P_l)$$

$$P_l = P_{hose}/3 = 2.17/3$$

$$P_l = 0.723$$

$$L_{eq} = \frac{P_l D^3 \pi}{Q b 16} = \frac{0.723 (0.125)^3 \pi}{8.333 (6.14 \times 10^{-6}) 16}$$

$$L_{eq} = 6.778 \text{ [m]}$$

$$L_{max} = L_{eq} + L = 6.778 + 15$$

$$L_{max} = 21.78 \text{ [m]}$$

VERIFICACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA BOMBA

Tabla A.11 Datos de la bomba diseñada y condiciones de operación [Elaboración propia]

Potencia	5.6kW
Eficiencia	0.68
Altura de transporte	6 metros
Tiempo de operación	2 horas
Peso específico del hormigón	24 kN/m ³
Cono de Abrams	120 mm
b	1,18 10 ⁻⁶ ·bar·h/m
Diámetro de la tubería	
Longitud Total de la tubería	21 m

Consideraciones:

- Debido a los tiempos muertos, el rendimiento esperado es de 45 minutos por cada hora.
- La tubería es rígida,
- longitud total de la tubería es de 21 m (15 m son en horizontal y 6 m en vertical),
- La tubería presenta 4 codos de 90°.
- Los 4 codos de 90° suponen un incremento adicional de 4x3=12 m.
- La distancia en vertical equivalente será de 1,1x6=6.6 m

Longitud equivalente de la tubería

$$L=15+12+6.6 = 33.6 \text{ m.}$$

Aplicando la fórmula empírica de ACI 304.2r-96, tenemos:

$$p[\text{bar}] = b * \frac{16 * L}{\pi} * \frac{q}{D^3}$$

$$p[\text{bar}] = 1,18 * 10^{-6} * \frac{16 * 33.6[\text{m}]}{\pi} * \frac{q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{0.125^3[\text{m}^3]}$$

$$p[\text{bar}] = 0.104 q \text{ m}^3/\text{h}$$

Para elevar el hormigón a 6 m de altura es necesario una presión adicional p_h , igual a:

$$p_h = 6m \frac{24 \text{ kN}}{m^3} = 144 \frac{\text{kN}}{m^2} = 1.44 \text{ bar}$$

La potencia de la bomba N [kW] será:

$$N[\text{kW}] = \frac{(p + p_h)[\text{bar}] \cdot q[\frac{m^3}{h}]}{36 \cdot \eta}$$

$$N[\text{kW}] = \frac{(0.104q + 1.44) * q}{36 * 0.68} = 4.1 \text{ kW}$$

$$0.104q^2 + 1.44q - 100.4 = 0$$

Despejando q de la ecuación de segundo grado (la raíz positiva), se tiene que:

$$q = 24.9 \text{ m}^3/h$$

Sin embargo, sólo disponemos de 45 minutos de trabajo efectivo cada hora, lo que supone una hora y media sin demoras. Entonces en una jornada laboral de dos horas podremos bombear:

$$24.9 \times 1.5 = 37 \text{ m}^3$$

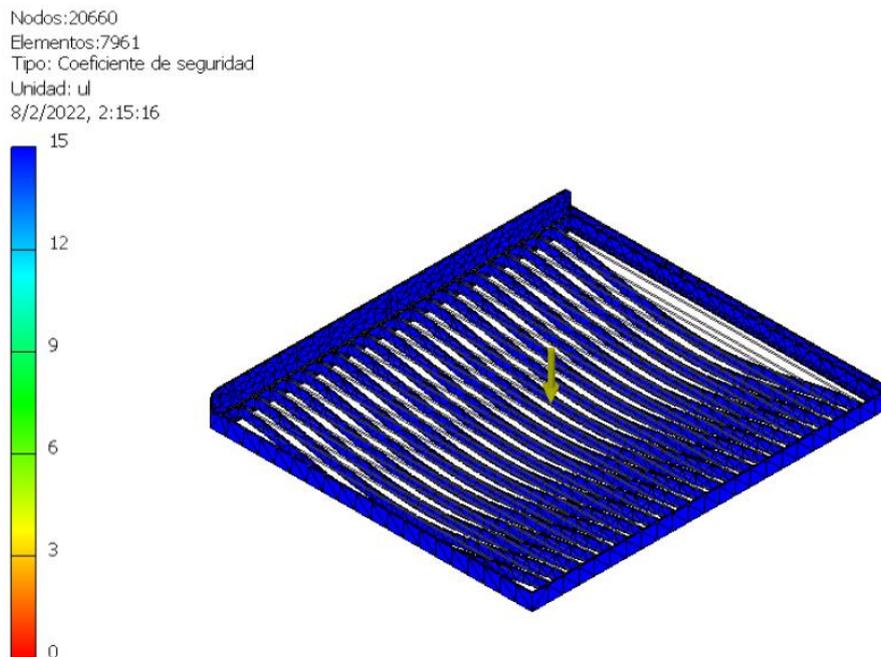


Figura A.5 Análisis de carga de la rejilla de la Tolva (Autodesk Inventor Professional Student, 2020)

APÉNDICE B

Especificaciones técnicas de Materiales

**Tabla B.1 Diámetros de tubos cromados para cilindros de carga
(HYDROMECHANICA, 2020)**

DIÁMETROS, CAPA DE CROMO Y TOLERANCIA

Diámetros de hasta 20mm, Capa de cromo de 14 µm min., Tolerancia f8

Diámetros de más de 20mm, Capa de cromo de 20 µm min., Tolerancia f7

I.D. mm	O.D. mm	W.T. mm	Kg/m	Tolerancia	
114,30	133,35	9,53	29,07	H8	
115,00	130,00	7,50	22,65		
115,00	140,00	12,50	39,28		
120,00	130,00	5,00	15,41	H9	
120,00	135,00	7,50	23,57	H8	
120,00	140,00	10,00	32,04		
120,00	145,00	12,50	40,82		
125,00	135,00	5,00	16,02	H10	
125,00	140,00	7,50	24,49	H8	
125,00	145,00	10,00	33,28		
125,00	150,00	12,50	42,37		
127,00	139,70	6,35	20,87		
127,00	142,87	7,94	26,39		
127,00	146,05	9,53	32,05		
130,00	140,00	5,00	16,64		H10
130,00	145,00	7,50	25,42	H8	
130,00	150,00	10,00	34,51		
139,70	152,40	6,35	22,86		
139,70	158,75	9,53	35,04	H10	
140,00	150,00	5,00	17,87		
140,00	155,00	7,50	27,27		
140,00	160,00	10,00	36,97	H8	
140,00	165,00	12,50	46,99		
150,00	160,00	5,00	19,10		H10
150,00	165,00	7,50	29,12		
150,00	170,00	10,00	39,44		
152,40	165,10	6,35	24,85		
152,40	168,28	7,94	31,38		
152,40	171,45	9,52	38,02		
160,00	180,00	10,00	41,90	H8	
160,00	185,00	12,50	53,15		
170,00	190,00	10,00	44,37		
180,00	200,00	10,00	46,83		

Tabla B.2 TUBOS LAPEADOS A FRIO SOLDADO EN10305-2 ALESADOS Y REDOBLADOS H8 PARA CILINDROS HIDRAULICOS-Datos técnicos (HIDROMECAICA, 2020)

DIÁMETROS, CAPA DE CROMO Y TOLERANCIA

Diámetros de hasta 20mm, Capa de cromo de 14 µm min., Tolerancia f8

Diámetros de más de 20mm, Capa de cromo de 20 µm min., Tolerancia f7

***LAS BARRAS SON COMPLETAMENTE CROMADAS HASTA LAS PUNTAS**

Cuando usarlas

Cuando un servicio de presión específica es muy alto o hay un riesgo de dañar la superficie de barras cromadas por choques o abrasiones, se recomienda usar barras cromadas endurecidas por inducción.

En este caso la cubierta de cromo recibe un mejor soporte por el material base endurecido, por ende es menos delicado.

Grado de Acero	Dureza de Acero	
	HRC	HV
UNI C45	53,2 - 60	580 - 660
UNI C50	56 - 64	700 - 750
42 CD4	55,2 - 61,9	620 - 750
20Mn V6	42 - 48	410 - 485
38Mn V6	46 - 54	455 - 580

Composición química

Tubos trefilados a frío soldados EN 10305-2					
ACERO	%C	%Mn	%Si	%P	%S
E355SR	≤0,20	≤1,55	≤0,50	≤0,020	≤0,010

Características mecánicas

DOM Tubos trefilados a frío soldados EN 10305-2				
ACERO	Límite de Enervamiento	U.T.S.	Alargamiento	Resiliencia a -20°C Joules(10x10)
E355SR	RP 0,2 MPa >520	RmMPa >600	% >22	longitudinal ≥27

DOM Tubos trefilados a frío soldados EN 10305-2				
ACERO	Límite de Enervamiento	U.T.S.	Alargamiento	Resiliencia a -20°C Joules(10x10)
E355SR	RP 0,2 MPa >520	RmMPa >600	% >22	longitudinal ≥27

Tabla B.3 Acero 705 para ejes. Especificaciones Técnicas (Dipac, 2021)

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 4340 (705)

Descripción: Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a la fragilidad del revenido.

Aplicaciones: Partes de maquinarias sometidas a altos esfuerzos, brazo de dirección, cigueñales, árboles de leva, barras de torsión, embragues, piñones, barras de cardán, ejes de bomba, ejes para aviones, muñones, pernos de alto grado de tensión, rodillos de transportadora, etc.

Largo: 6 metros

DIMENSIONES	
DIÁMETRO	
12 mm	
19 mm	
25 mm	
32 mm	
38 mm	
45 mm	
50 mm	
60 mm	
70 mm	
90 mm	



COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0,34	0,1- 0,35	0,60 - 0,80	0,04 - 0,30	0,002 - 0,03

PROPIEDADES MECÁNICAS				
DIÁMETRO (mm)	RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm ²)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm ²)	Elongación % Mín.	DUREZA ROCKWELL B
16 o MENOS	1200 - 1400	1000	9	240 - 380
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 380
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 380

Tabla B.4 Plancha anti-abrasiva. Especificaciones técnicas (Dipac, 2021)



Especificaciones Generales:

Calidad:	Plancha aleada
Dureza:	400 HB y 500 HB
Espesores:	En 400 HB de 5mm a 20mm En 500 HB de 12mm a 25mm
Dimensiones:	2000 x 6000

* Oxicortes según medidas específicas (oxicortes se realizarán de acuerdo a la disponibilidad del producto)

Descripción:

- Mayor resistencia a la corrosión que otros aceros al carbono.
- Disponible en presentación de Acero Negro, dureza 400HB y 500HB.
- Formato estándar de 2000 x 6000 mm.
- Útil para elementos de movimiento de tierra, minerales y materiales abrasivos tales como tolvas de volquetes, cucharas de máquinas cargadoras, etc.

COMPOSICIÓN QUÍMICA (Max)

DUREZA	C	Si	Mn	Cr	Ti	B
400 HB	0.26	0.55	1.6	0.4	0.02	0.004
500 HB	0.36	0.55	1.6	0.8	0.02	0.004

PROPIEDADES MECÁNICAS (Max)

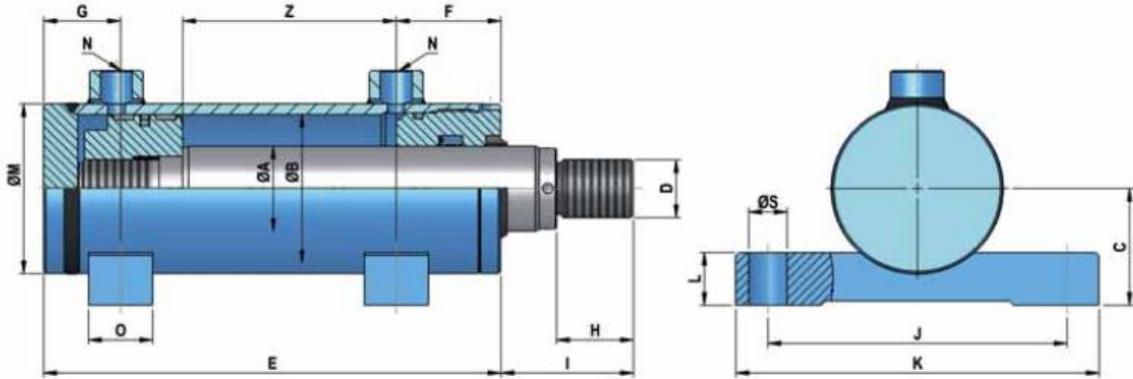
	Resistencia Mecánica	Punto de Frecuencia
DUREZA	N/mm ²	N/mm ²
400 HB	1316	1163
500 HB	1449	1449

DUREZA	ESPEORES (mm)
400 HB	5,6,10, 12, 19, 20
500 HB	12, 25

APÉNDICE C

Especificaciones técnicas de elementos seleccionados

**Tabla C.1 Cilindros oleo hidráulicos de doble efecto. Fijación por patas
(CICROSA, 2018)**



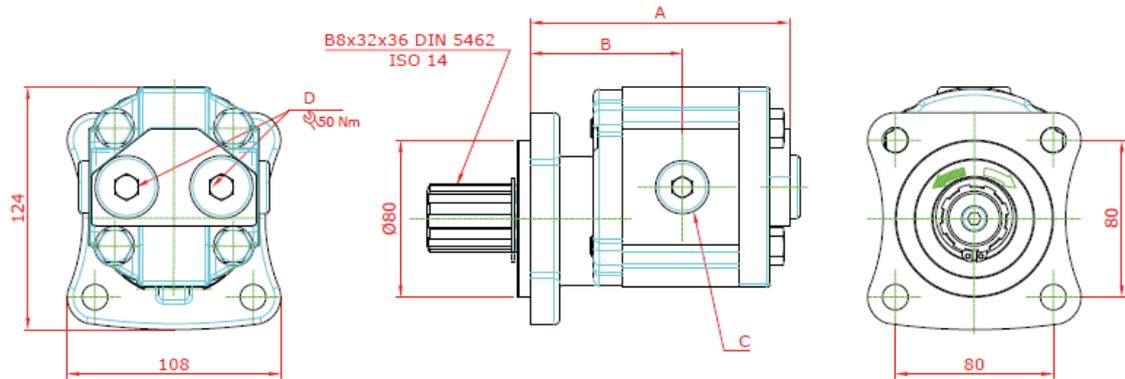
REF.	ØA	ØB	E	C	D	F	G	H	I	J	K	L	M	N BSP	O	S
8500/Z	20	32	107 + Z	28	M14x1,5	35	29	18	35	75	95	16	42	1/4	20	11
8501/Z	22															
8502/Z	25	40	97 + Z	35	M16x1,5	40	32	22	40	94	118	20	50	3/8	25	13
8503/Z	28															
8504/Z	25															
8505/Z	28	50	104 + Z	40	M20x1,5	43	35	28	48	105	130	20	60	3/8	25	15
8506/Z	30															
8507/Z	36															
8508/Z	30															
8509/Z	35	60	106 + Z	50	M27x2	45	34	36	58	130	160	25	70	3/8	30	17
8510/Z	40															
8511/Z	36															
8512/Z	40	63	106 + Z	50	M27x2	45	34	36	58	130	160	25	75	3/8	30	17
8513/Z	45															
8514/Z	35															
8515/Z	40	70	114 + Z	55	M27x2	49	36	36	58	140	170	25	80	3/8	30	18
8516/Z	45															
8517/Z	36															
8518/Z	40															
8519/Z	45	80	126 + Z	62	M33x2	54	36	45	68	160	195	30	95	3/8	40	19
8520/Z	50															
8521/Z	56															
8522/Z	45															
8523/Z	50															
8524/Z	56	100	138 + Z	73	M42x2	60	38	56	85	185	225	30	115	1/2	40	23
8525/Z	60															
8526/Z	70															
8527/Z	70	125	210 + Z	88	M48x2	82	48	63	92	220	265	35	145	3/4	45	25
8528/Z	90															
8529/Z	80	140	223 + Z	100	M64x3	90	58	85	120	250	300	40	160	3/4	50	30
8530/Z	90	160	238 + Z	115	M80x3	100	58	95	130	295	355	40	180	1	60	35
8531/Z	110															
8532/Z	110	200	278 + Z	140	M80x3	111	63	95	130	355	425	50	230	1	70	41

Z = carrera (a definir por el cliente). Consultar amarres de vástago en la página 39.

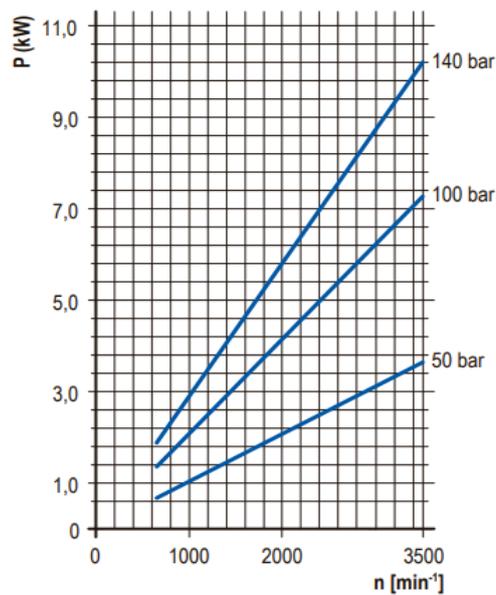
Z = stroke (to be defined by customer). Check rod attachments on page 39.

Z = course (à définir par le client). Vérifiez les fixations de tige sur page 39.

Tabla C.2 Información técnica y dimensiones de ensamblaje de bomba oleo hidráulica (Bezares, 2021)



TIPO		GP1K1	GP1K1.2	GP1K1.6	GP1K2.1	GP1K2.5	GP1K3.2	GP1K3.5	GP1K4.2	GP1K5	GP1K6.2	GP1K7	GP1K8	GP1K10
DESPLAZAMIENTO	cm ³ /rev	1,0	1,2	1,6	2,1	2,5	3,2	3,5	4,2	5,0	6,2	7,0	8,0	10,0
GPA A 1800 RPM	GPA	0,48	0,57	0,76	1,00	1,19	1,52	1,66	2,00	2,38	2,95	3,33	3,80	4,76
DIMENSION A	mm	37,70	38,40	39,90	41,80	43,30	45,90	47,00	49,60	52,60	57,20	60,20	63,60	71,00
DIMENSION B	mm	18,85	19,20	19,95	20,90	21,65	22,95	23,50	24,80	26,30	28,60	30,10	31,80	35,50
PRESIÓN CONTINUA MÁXIMA, P ₁	bar	250						240		230	220	210	170	140
PRESIÓN CONTINUA MÁXIMA, P ₂	bar	270						260		250	240	230	190	160
PICO DE PRESIÓN, P ₃	bar	290						280		270	260	250	210	180
VELOCIDAD MÁXIMA P ₂ , n _{max}	min ⁻¹	4000						3500					3200	
VELOCIDAD MINIMA P ₁ , n _{min}	min ⁻¹	750					650				600			
PESO	kg	0,83	0,85	0,87	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,05	1,16	1,20	1,26	1,32



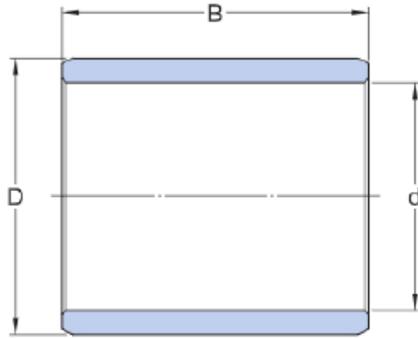
GP1K10

Tabla C.3 Especificaciones técnicas del motor (WEG, 2022)

HOJA DE DATOS					
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula					
Cliente : M.MAZA					
Línea del producto : W22 Tru-Metric IE3 Trifásico		Código del producto :	11587705		
		Catalog # :	00518ET3Y132S-W22		
Carcasa : 132S		Método de refrigeración :	IC411 - TEFC		
Clase de aislamiento : F		Forma constructiva :	B3L(E)		
Régimen de servicio : S1		Sentido de giro ¹ :	Ambos		
Temperatura ambiente : -20°C hasta +40°C		Método de Arranque :	Partida directa		
Altitud : 1000 m		Masa aproximada ³ :	69.1 kg		
Grado de protección : IP55		Momento de inercia (J) :	0.0528 kgm ²		
Categoría : N					
Potencia [HP]	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Polos	4	4	4	4	4
Frecuencia [Hz]	60	50	50	50	50
Tensión nominal [V]	460	380	400	415	415
Corriente nominal [A]	9.07	10.6	10.3	10.2	10.2
Corriente de arranque [A]	94.3	102	98.9	97.9	97.9
Ip/In [A]	10.4	9.6	9.6	9.6	9.6
Corriente en vacío [A]	4.43	4.40	4.70	5.10	5.10
Rotación nominal [RPM]	1775	1460	1465	1470	1470
Resbalamiento [%]	1.39	2.67	2.33	2.00	2.00
Torque nominal [Nm]	30.1	36.6	36.4	36.3	36.3
Torque de arranque [%]	260	210	240	260	260
Torque máximo [%]	430	300	340	370	370
Factor de servicio	1.25	1.00	1.00	1.00	1.00
Elevación de temperatura	80 K	80 K	80 K	80 K	80 K
Tiempo de rotor bloqueado	32s (frío) 18s (caliente)	27s (frío) 15s (caliente)	27s (frío) 15s (caliente)	27s (frío) 15s (caliente)	27s (frío) 15s (caliente)
Nivel de ruido ²	58.0 dB(A)	56.0 dB(A)	56.0 dB(A)	56.0 dB(A)	56.0 dB(A)
Rendimiento (%)	25%	87.6	90.5	89.8	89.3
	50%	88.5	90.4	90.0	89.6
	75%	91.0	90.7	90.7	90.7
	100%	91.7	90.3	90.7	90.8
Cos Φ	25%	0.39	0.44	0.41	0.38
	50%	0.65	0.71	0.67	0.64
	75%	0.77	0.82	0.79	0.76
	100%	0.83	0.87	0.85	0.83
Tipo de cojinete	Delantero : 6308 ZZ	Trasero : 6207 ZZ	Fuerzas en la fundación		
Sello	V'Ring	V'Ring	Tracción máxima : 2149 N		
Intervalo de lubricación	-	-	Compresión máxima : 2827 N		
Cantidad de lubricante	-	-			
Tipo de lubricante	Mobil Polyrex EM				

Tabla C.4 Cojinete de fricción seleccionado, para eje válvula S. Especificaciones Técnicas (SKF, 2021)

Material	Bobinado de filamento
Temperatura de funcionamiento	min.-50 °C
Temperatura de funcionamiento	max.140 °C



DIMENSIONES

d	60 mm	Diámetro del agujero
D	70 mm	Diámetro exterior
B	40 mm	Ancho

AJUSTES RECOMENDADOS

Tolerancia del eje		h8
Tolerancia del soporte		H7
Factor de carga dinámica específica	K	140 N/mm
Factor de carga estática específica	K_0	200 N/mm
Sección transversal de carga eficaz	A	2 280 mm
Velocidad admisible de deslizamiento	v	max.0.5 m/s
Coefficiente de fricción	μ	min.0.03
Coefficiente de fricción	μ	max.0.08

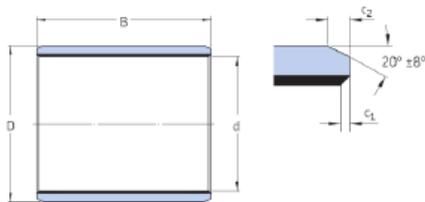
MASA

Cojinete de fricción de masa	0.076 kg
------------------------------	----------

**Tabla C.5 Cojinete de fricción seleccionado, para boca de salida de válvula S.
Especificaciones Técnicas (SKF, 2021)**

Material	Material compuesto de PTFE
Temperatura de funcionamiento	min. -200 °C
Temperatura de funcionamiento	max. 250 °C

DIMENSIONES



d	135 mm	Diámetro del agujero
D	140 mm	Diámetro exterior
B	60 mm	Ancho
c ₁	min. 0.2 mm	Longitud del agujero del chaflán, sentido axial
c ₁	max. 1 mm	Longitud del agujero del chaflán, sentido axial
c ₂	min. 1.2 mm	Longitud diámetro exterior del chaflán, sentido axial
c ₂	max. 2.4 mm	Longitud diámetro exterior del chaflán, sentido axial

AJUSTES RECOMENDADOS

Tolerancia del eje	h8
Tolerancia del soporte	H7

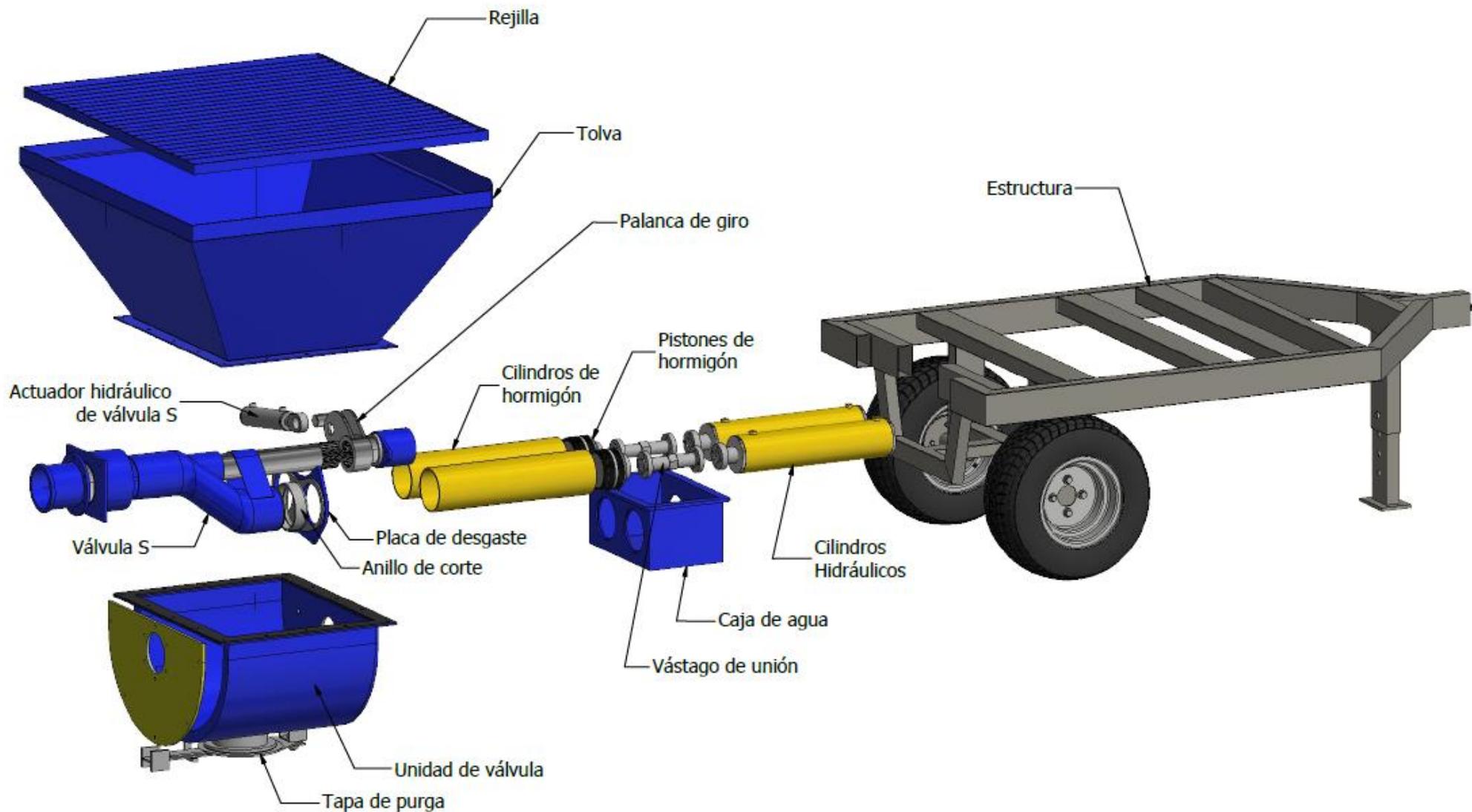
DATOS DEL CÁLCULO

Capacidad de carga dinámica básica, sentido radial	C	640 kN
Capacidad de carga estática básica, sentido radial	C ₀	2 000 kN
Factor de carga dinámica específica	K	80 N/mm
Factor de carga estática específica	K ₀	250 N/mm
Factor según el tipo de material y rodamiento	K _M	480
Velocidad admisible de deslizamiento	v	max. 2 m/s
Coefficiente de fricción	μ	min. 0.03
Coefficiente de fricción	μ	max. 0.25

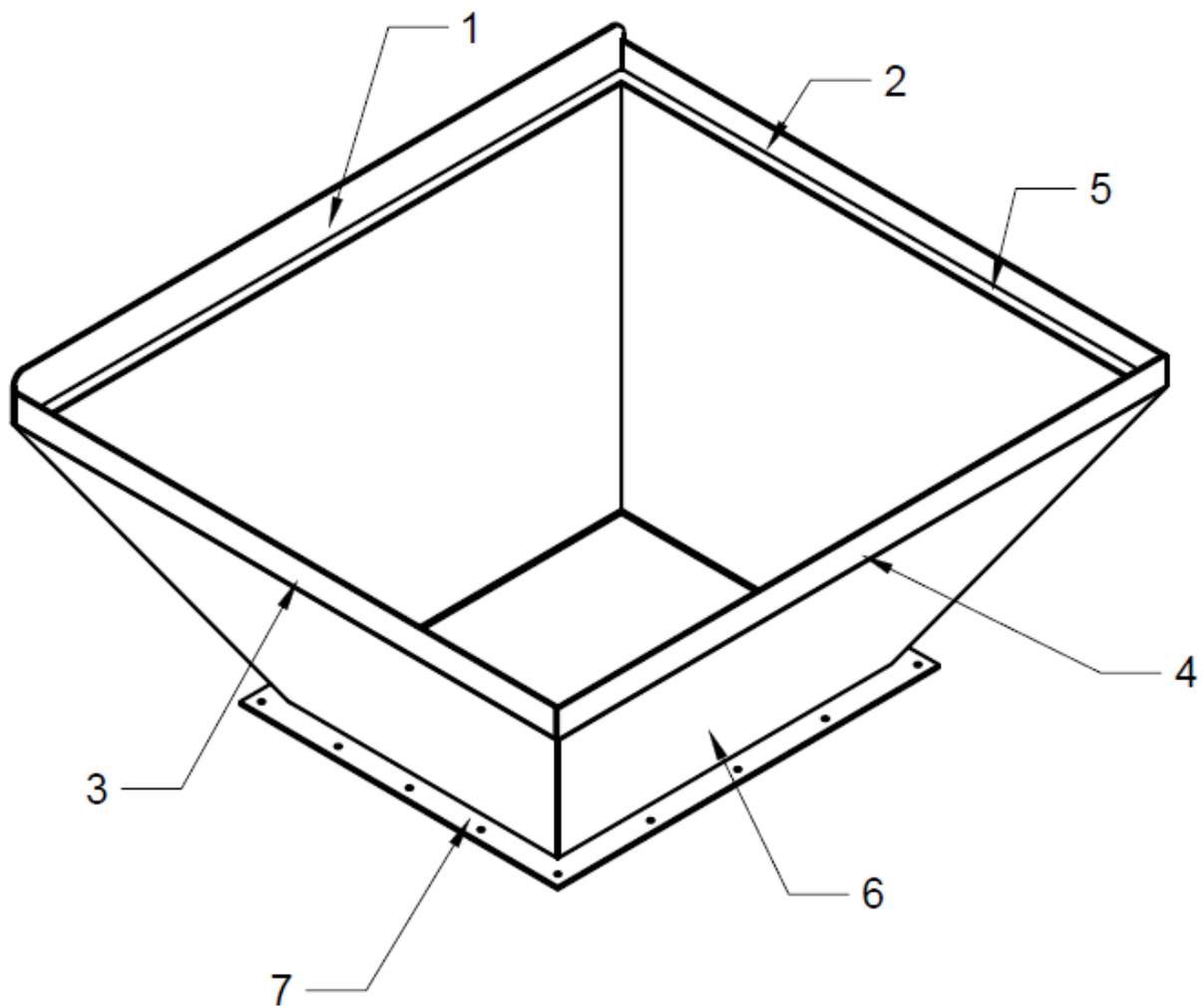
MASA

Cojinete de fricción de masa	0.48 kg
------------------------------	---------

APÉNDICE D



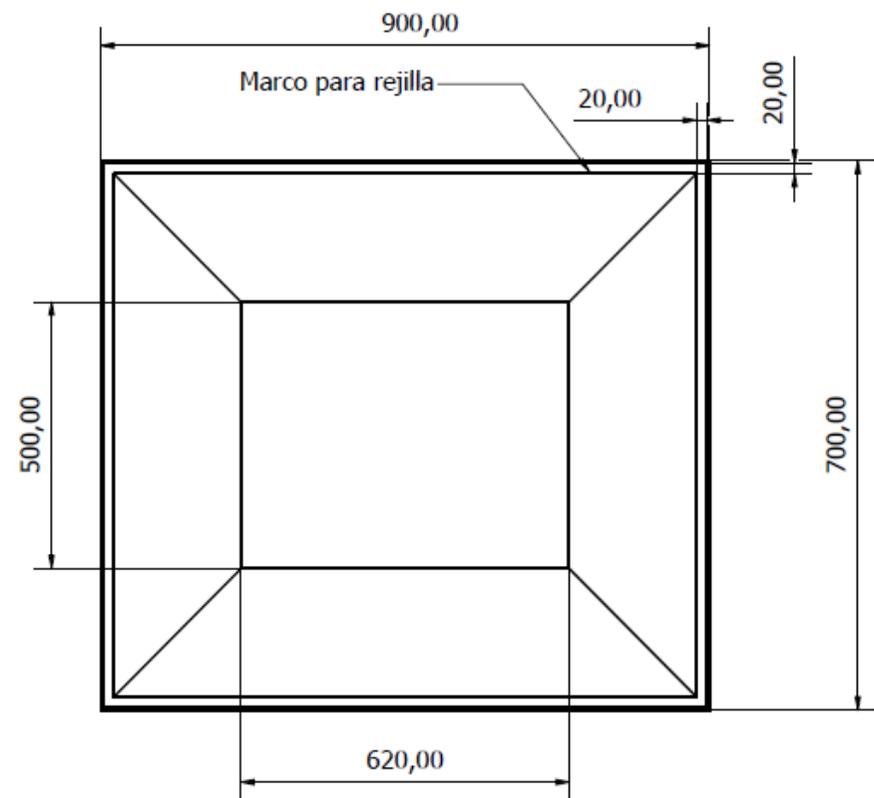
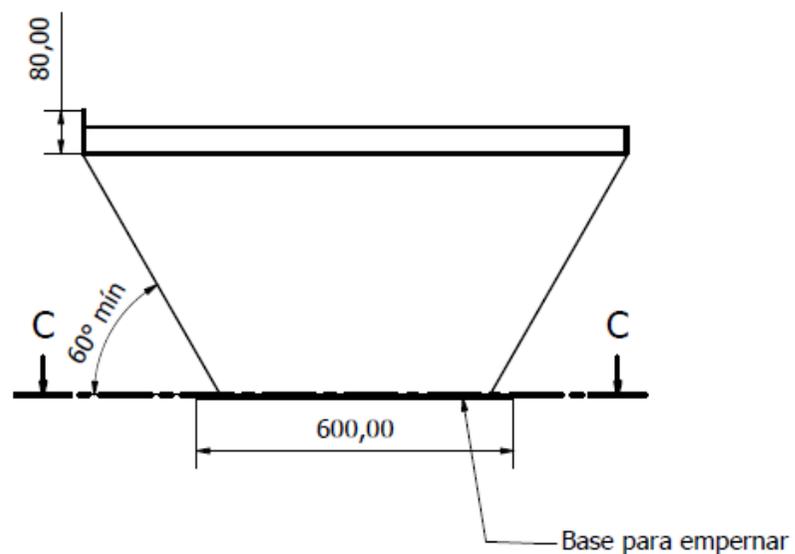
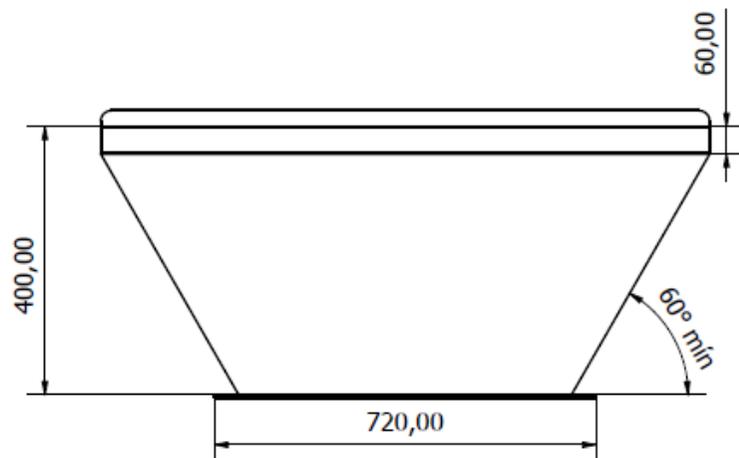
Diseño de Maza M, BORJA G	Revisado por MARTÍNEZ.E	Aprobado por MARTÍNEZ.E	Fecha	Fecha 7/2/2022	
ESPOL			BOMBA DE HORMIGÓN		
			Edición	Hoja 1 / 1	



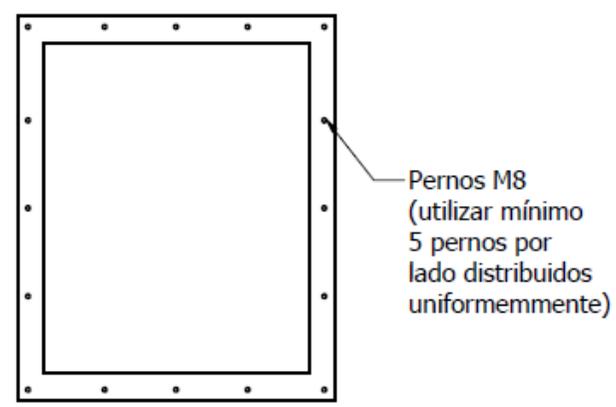
No.	Elementos
1	Borde posterior
2	Borde lateral izquierdo
3	Borde lateral derecho
4	Borde anterior
5	Asiento de rejilla
6	Hoja de embudo
7	Marco de sujeción

Material: RAEX 400 - 5MM

BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO DE ENSAMBLE	
Pieza: 2	TOLVA	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 3		Aprobador:	E. Martínez
Escala: 1:10		Fecha:	08/02/2022



C-C (1 : 10)

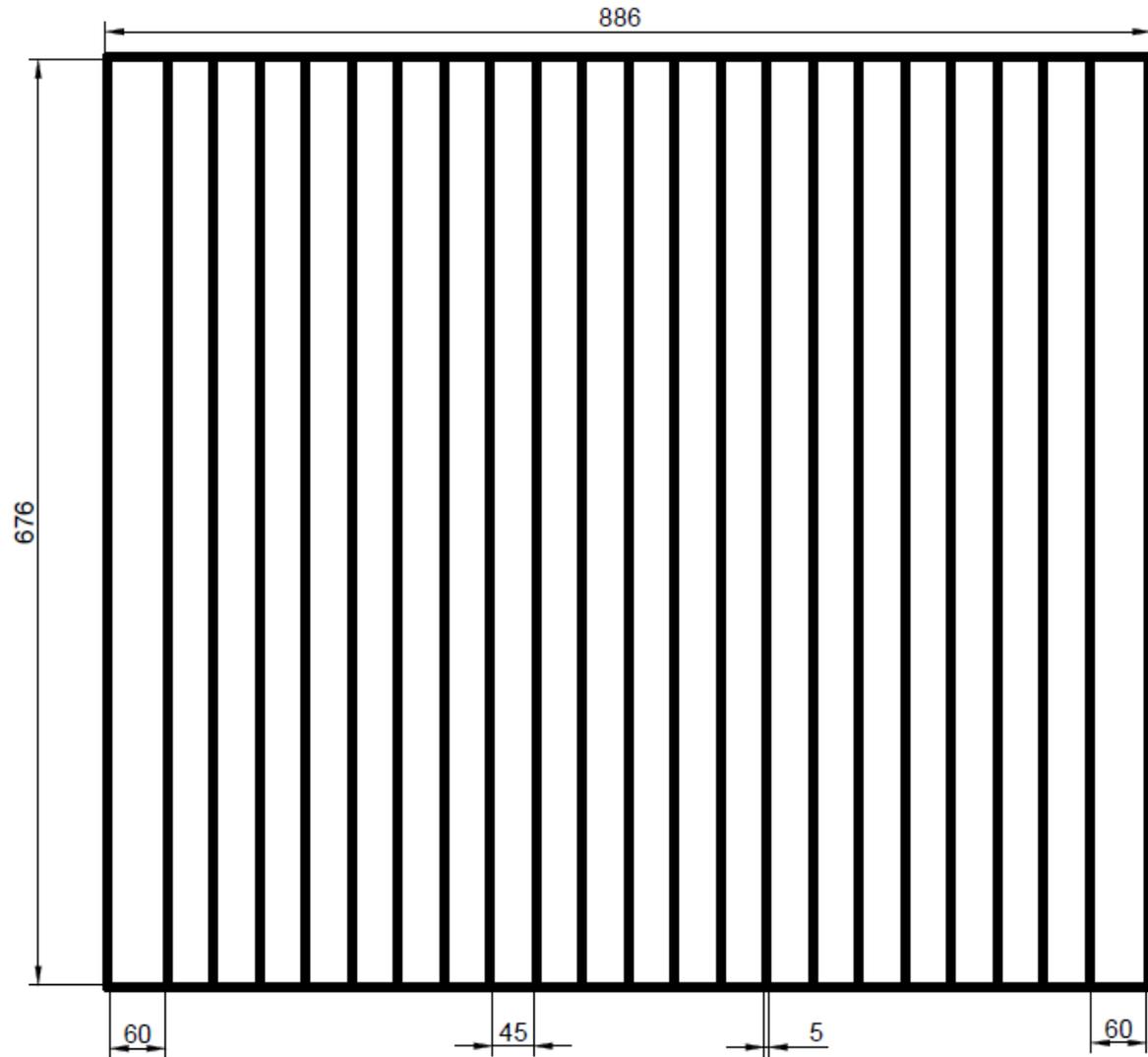


Diseño de Maza.M, BORJA G	Revisado por MARTÍNEZ.E	Aprobado por MARTÍNEZ.E	Fecha 9/2/2022	Fecha	
ESPOL			TOLVA(PARTE SUPERIOR)-DIMENSIONES		
			Edición 1	Hoja 1 / 1	

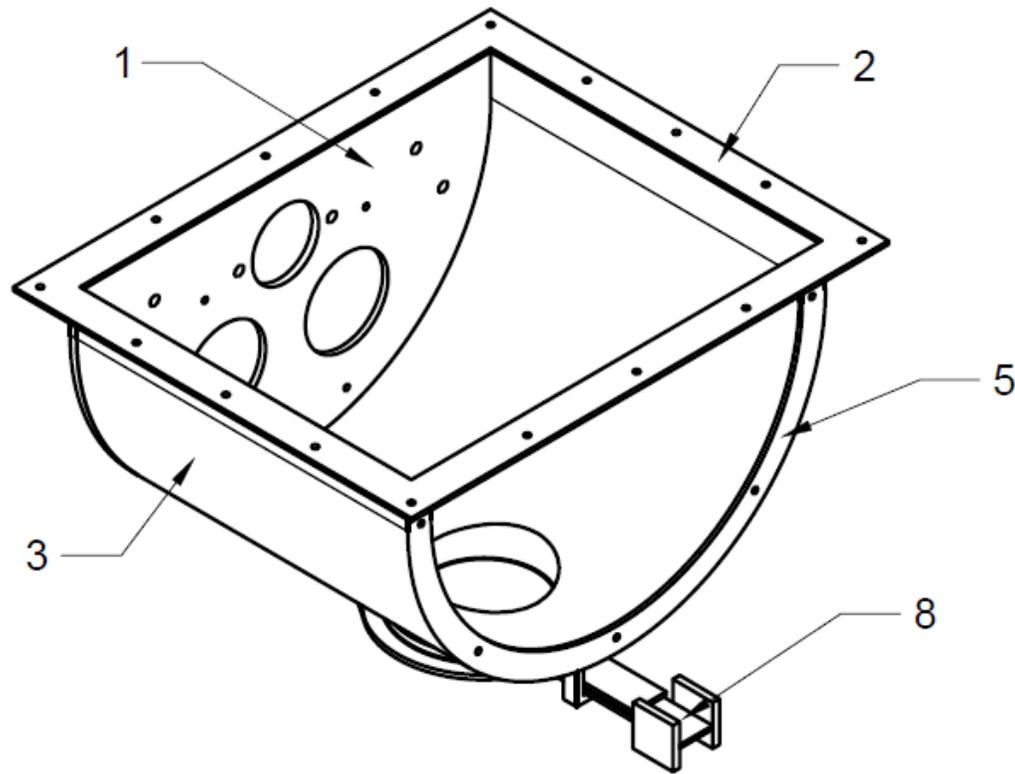
Platina longitudinal

RAEX 400 - GROSOR 5 MM

Platina transversal

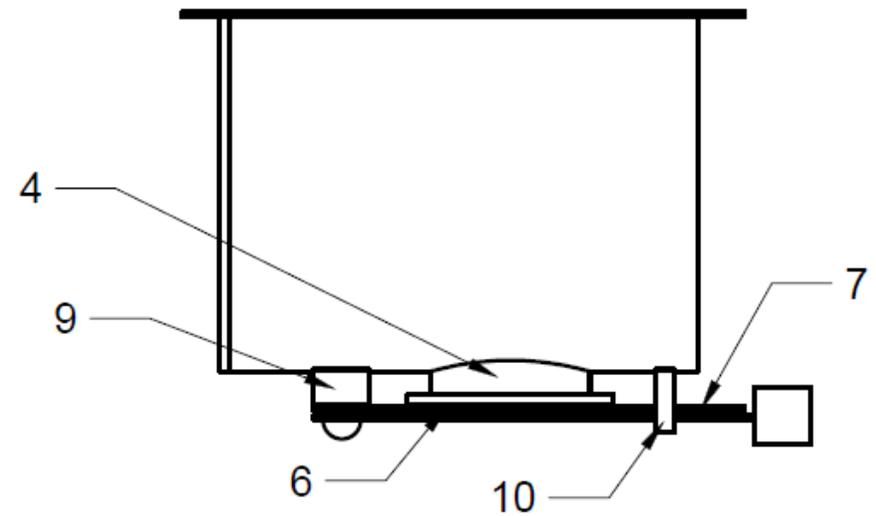


BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 1	REJILLA DE TOLVA No. Elementos: 25	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 1		Aprobador:	E. Martínez
Escala: 1:8		Fecha:	08/02/2022

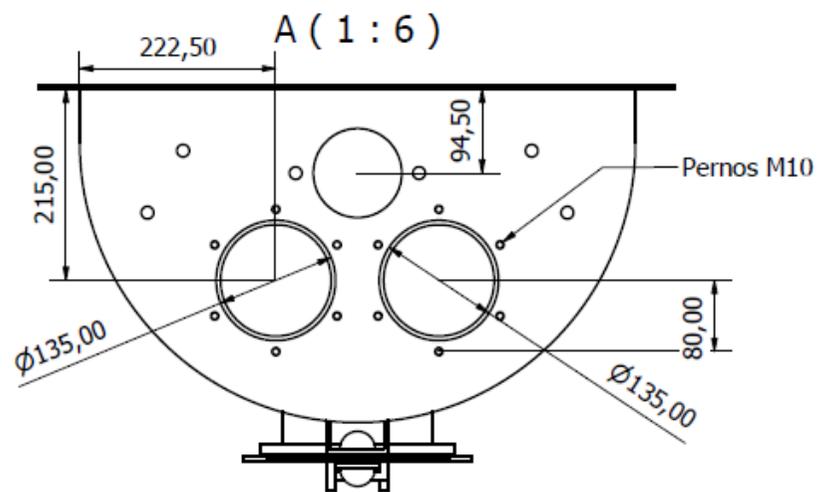
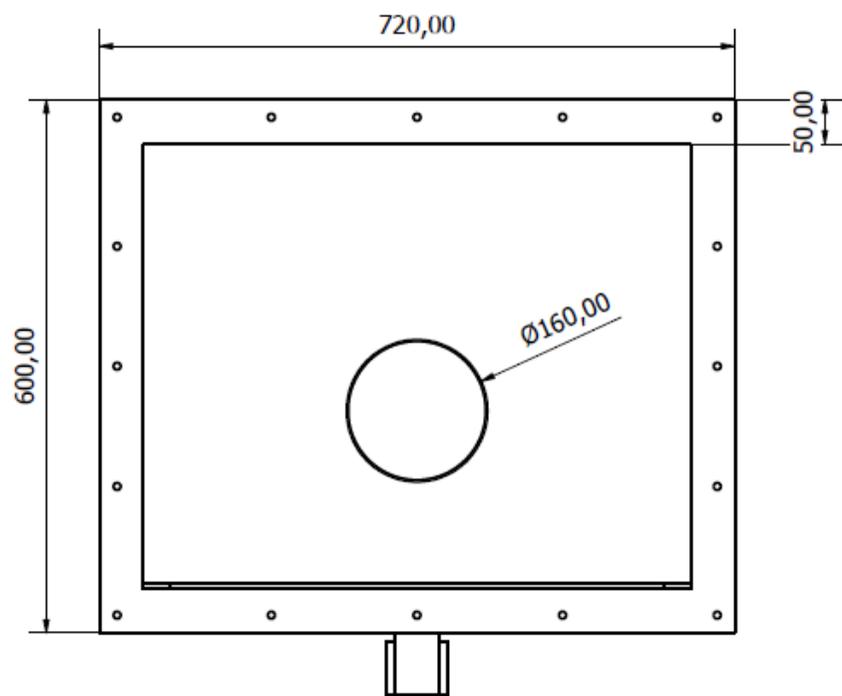
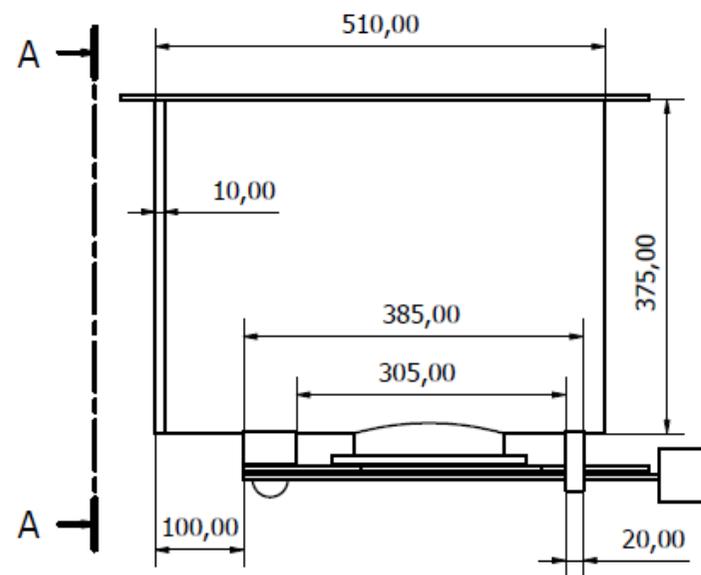
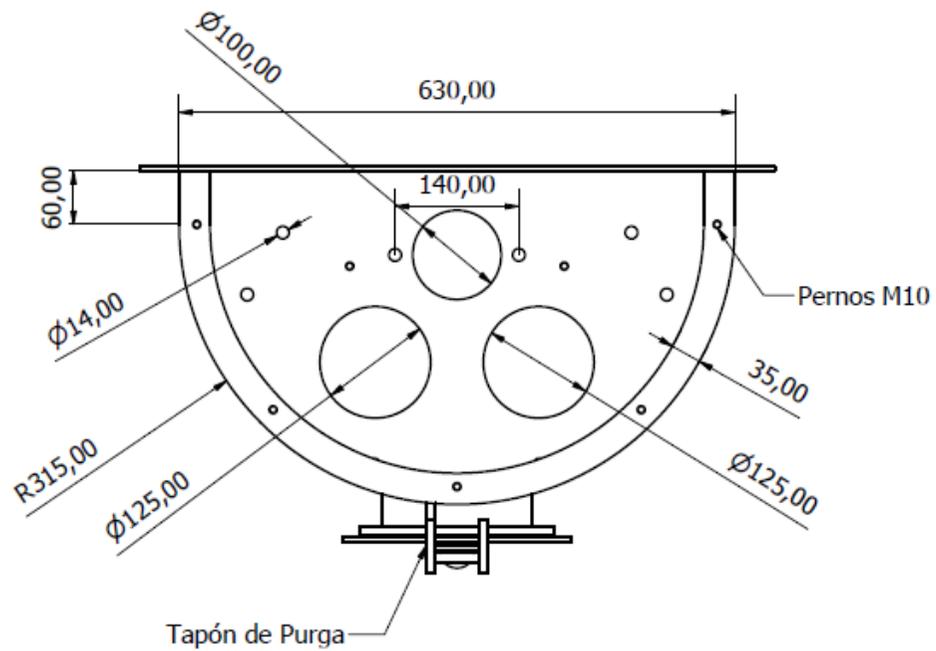


No.	Elementos
1	Tapa posterior
2	Marco de sujeción
3	Cavidad base
4	Brida de descarga
5	Brida semiluna

No.	Elementos
6	Junta - brida de descarga
7	Tapa de purga
8	Aleta de descarga
9	Soporte de remache
10	Soporte de cuña anterior

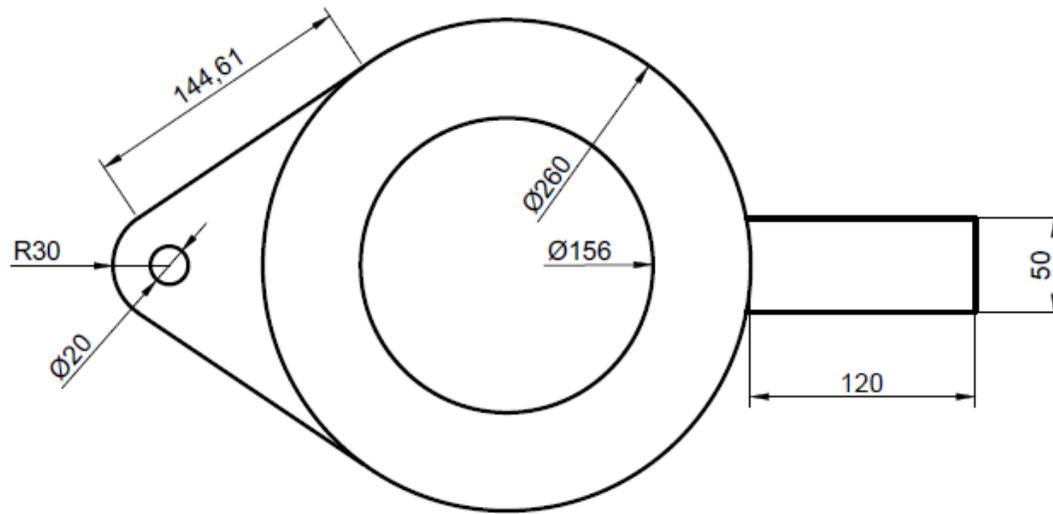
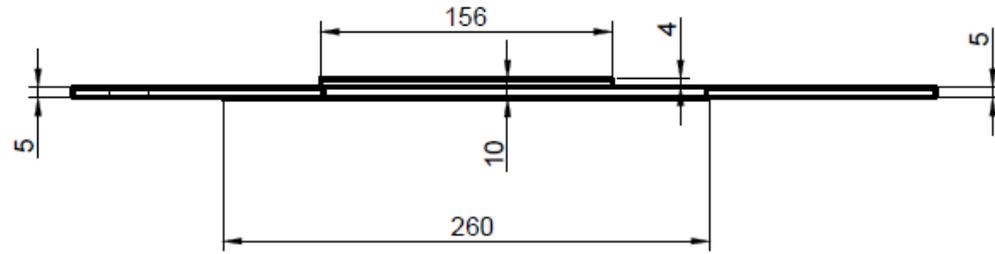


BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO DE ENSAMBLE	
Pieza: 3	UNIDAD DE VÁLVULA	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 7		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:8		Fecha:	08/02/2022



Diseño de M.MAZA, BORJA G	Revisado por MARTÍNEZ.E	Aprobado por MARTÍNEZ.E	Fecha	Fecha 9/2/2022	
ESPOL			UNIDAD DE VÁLVULA-DIMENSIONES		
			Edición 2	Hoja 1 / 1	

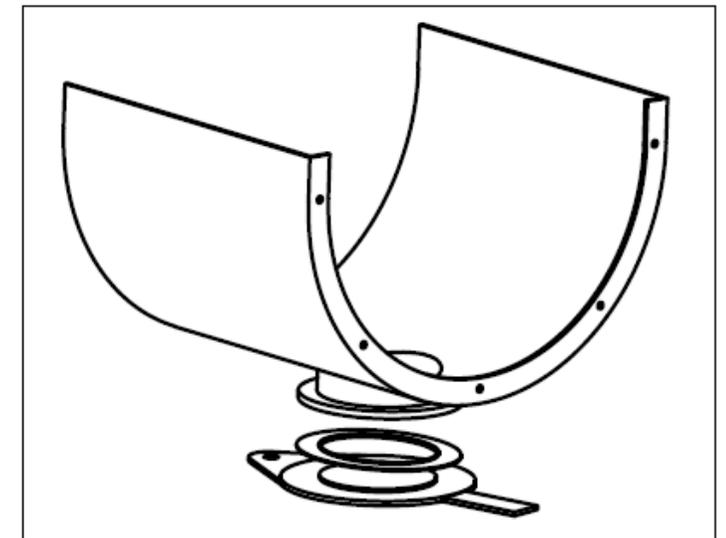
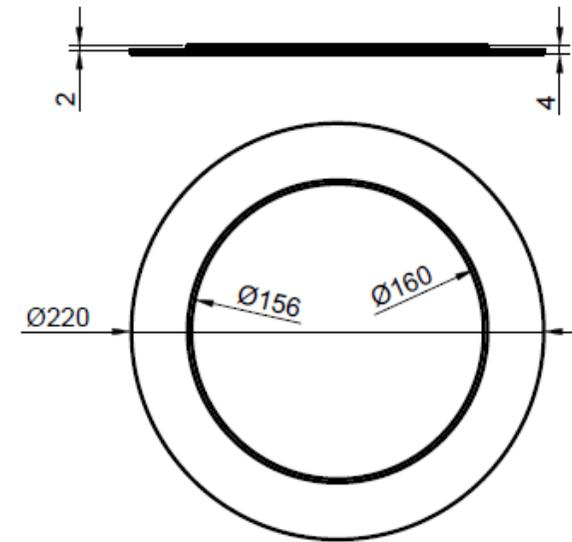
TAPA DE PURGA



Material: RAEX 400

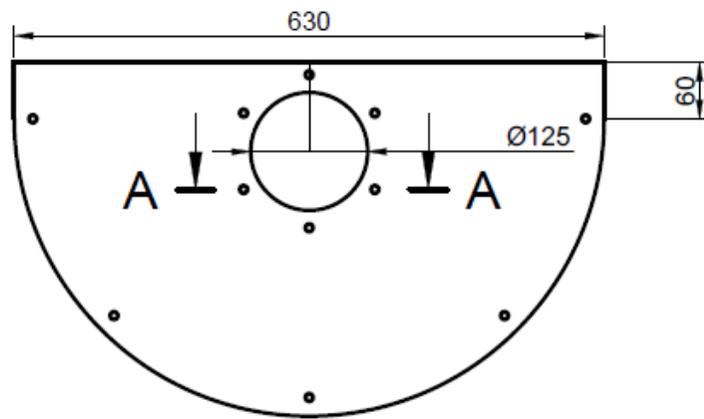
JUNTA

Material: NEOPRENO CR

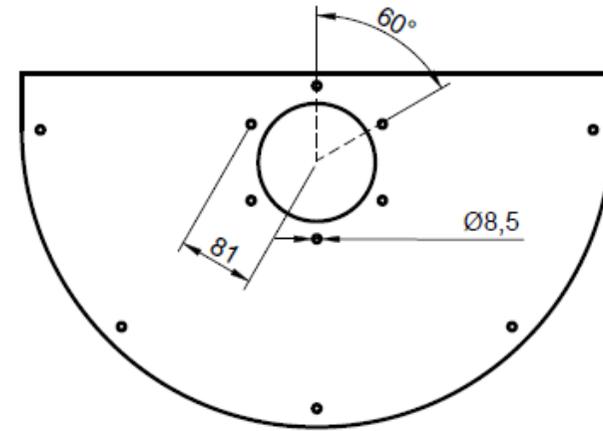
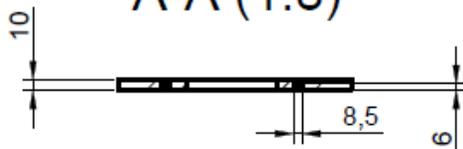


BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 3-4	TAPA DE PURGA JUNTA	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 7		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:4		Fecha:	08/02/2022

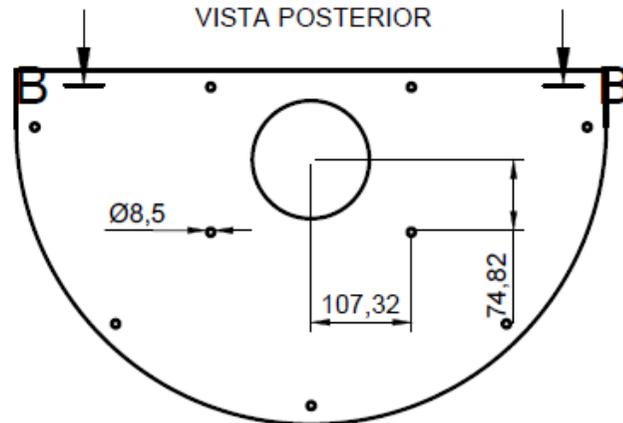
VISTA FORNTAL



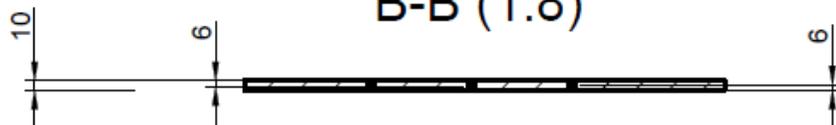
A-A (1:8)



VISTA POSTERIOR

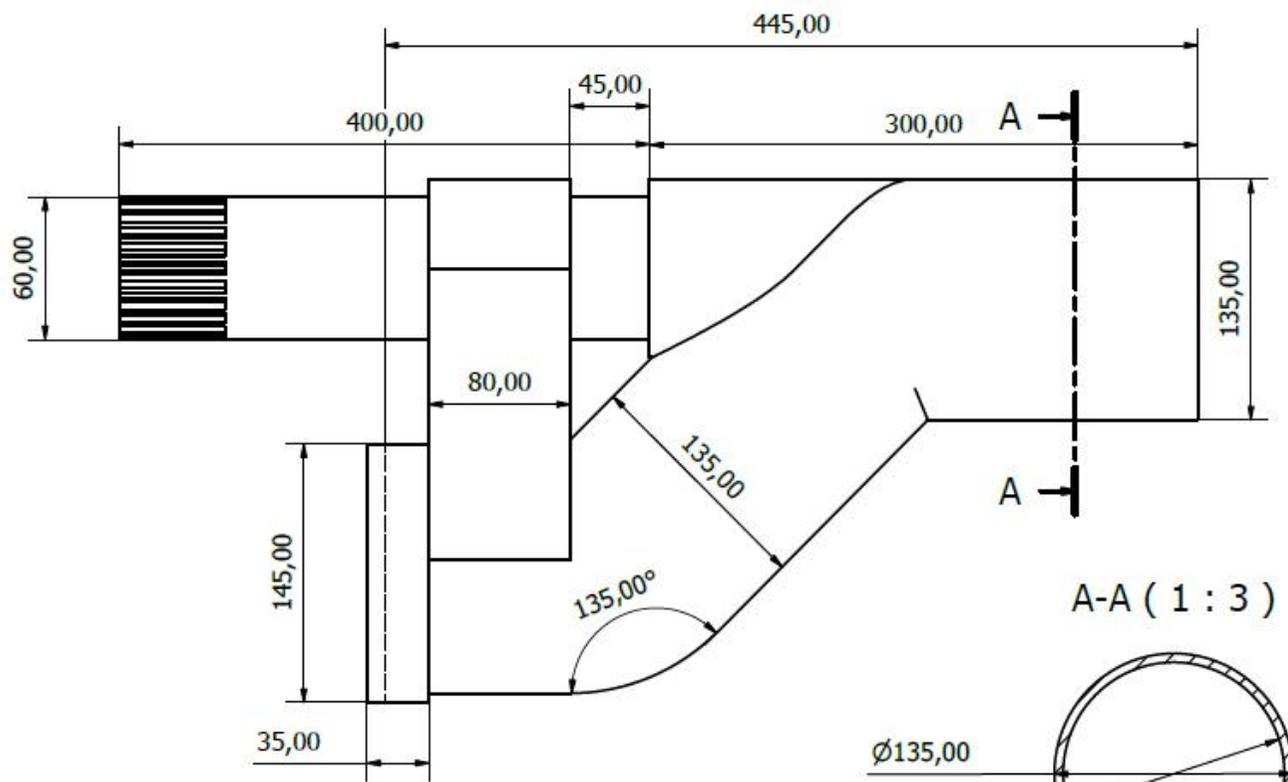


B-B (1:8)

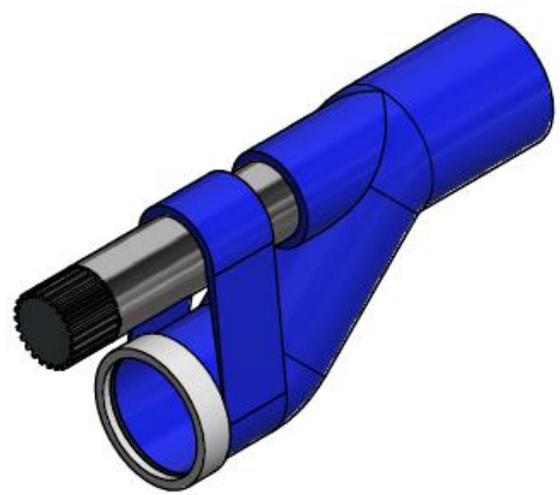
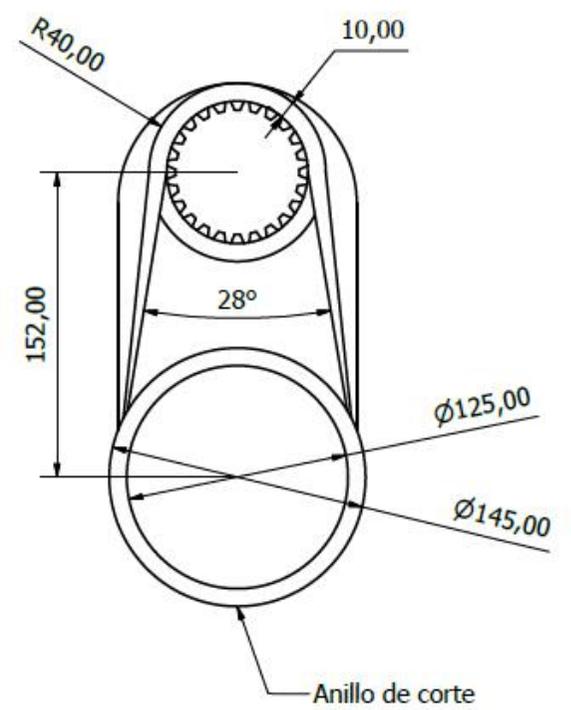
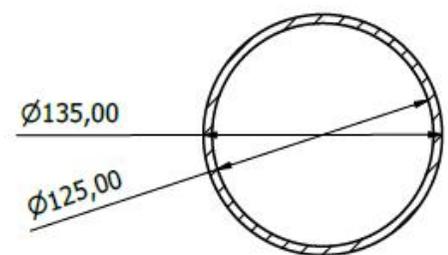


Material: RAEX 400 - GROSOR 10 MM

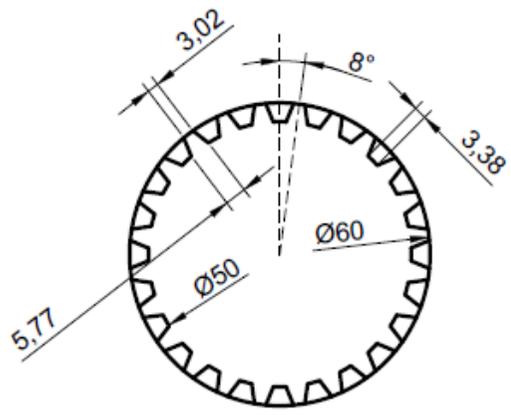
BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 6	TAPA DE UNIDAD DE VÁLVULA	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 12		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:5		Fecha:	08/02/2022



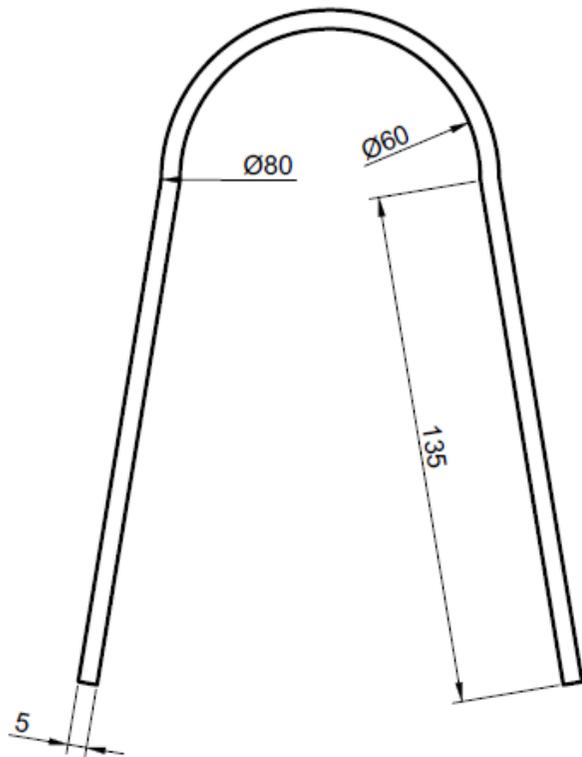
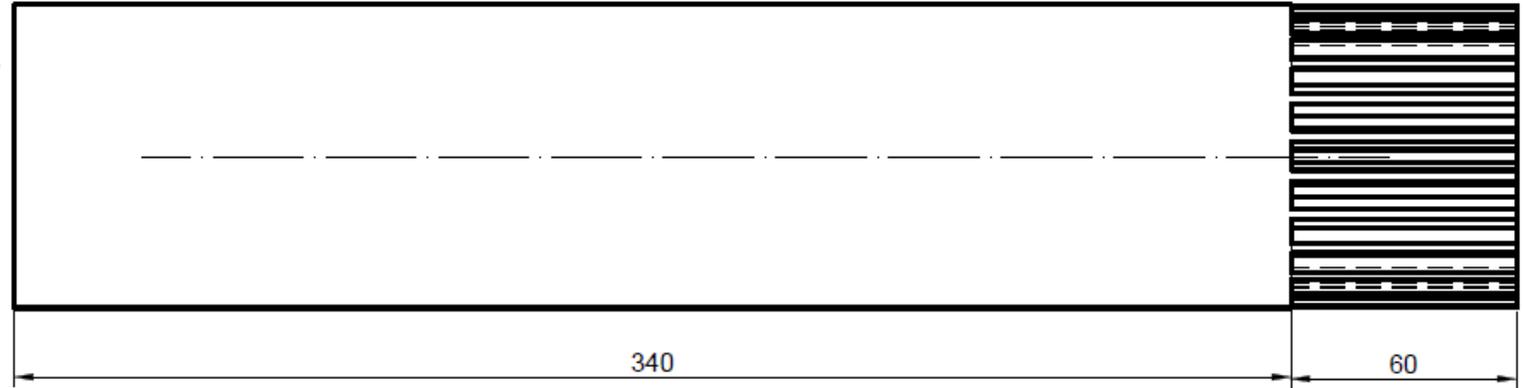
A-A (1 : 3)



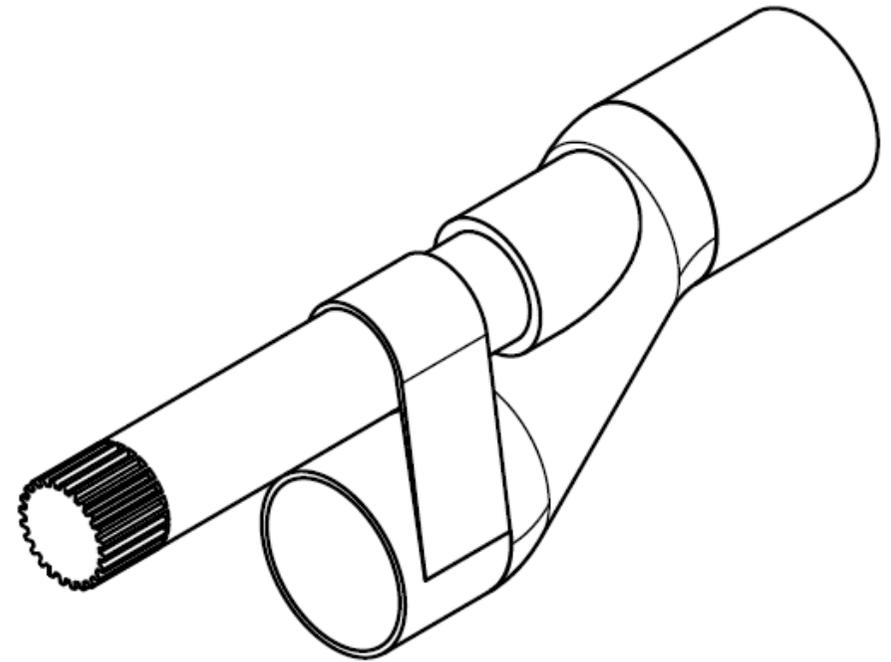
Diseño de MAZA M, BORJA G	Revisado por MARTÍNEZ.E	Aprobado por MARTÍNEZ.E	Fecha 9/2/2022	Fecha	
ESPOL			Válvula S-Dimensiones		
			Edición 3	Hoja 1 / 1	



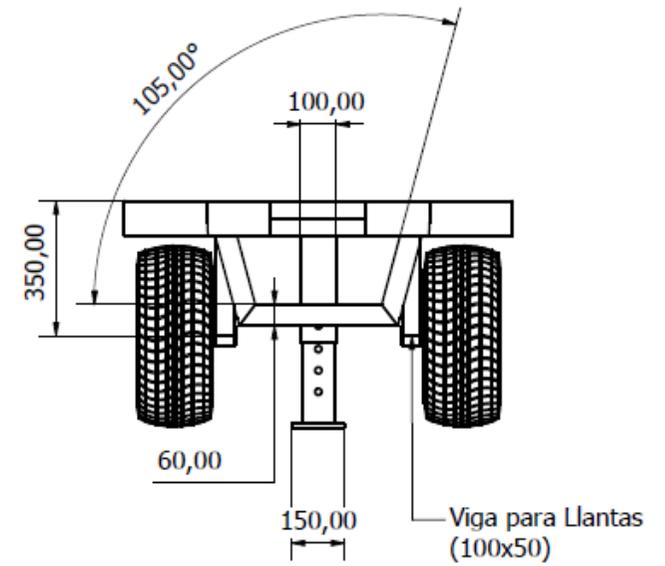
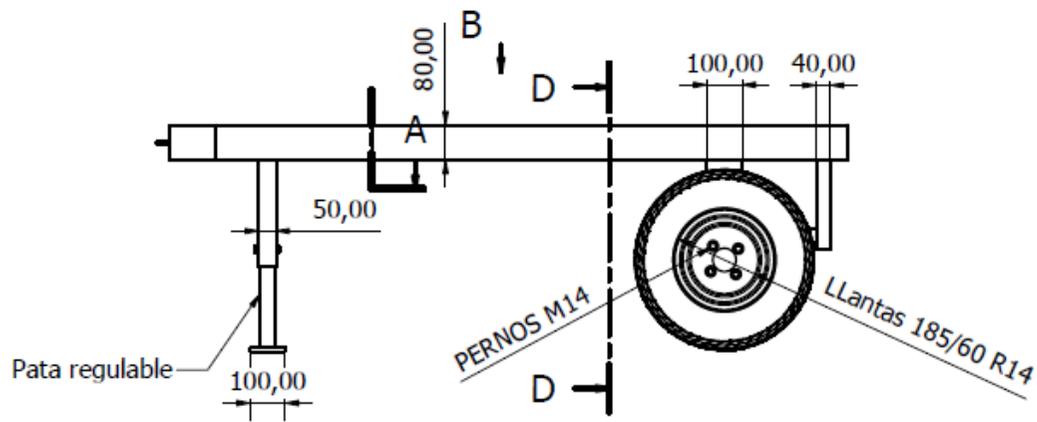
Acero ASTM A36



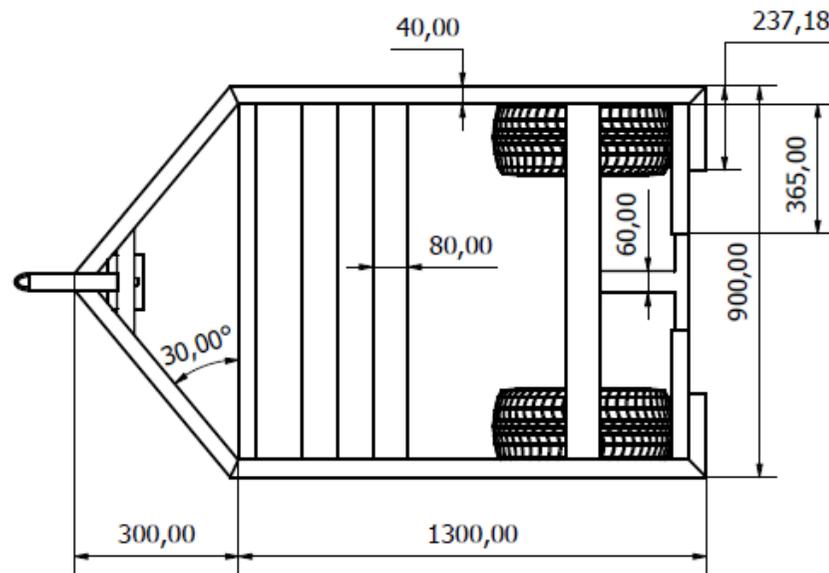
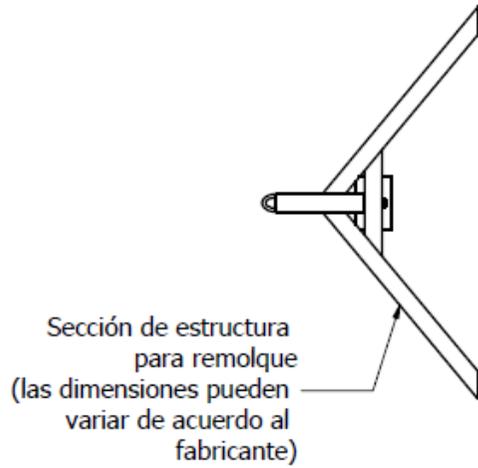
RAEX 400 - GROSOR 5MM



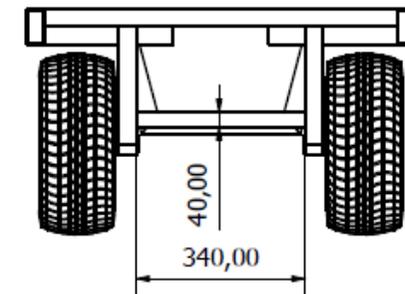
BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 9	VÁLVULA S	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 16		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:2		No. Elementos: 4-5	Fecha:



A-A (1 : 15)



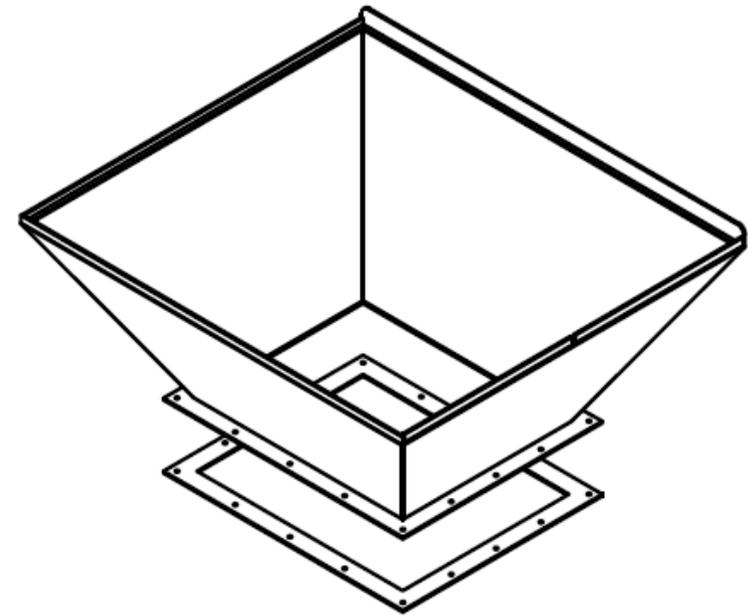
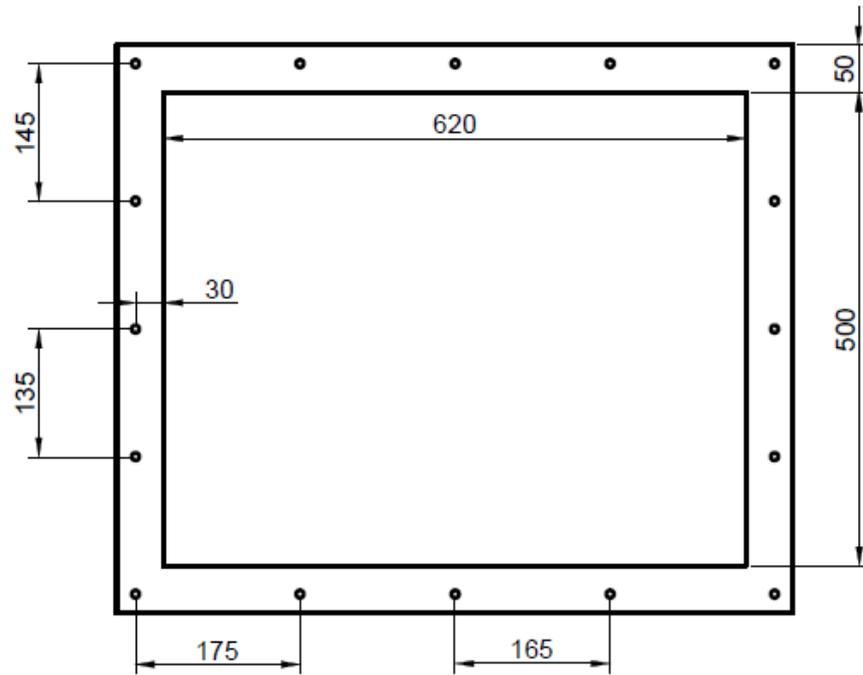
D-D (1 : 15)



Diseño de Maza M, Borja G	Revisado por MARTÍNEZ.E	Aprobado por MARTÍNEZ.E	Fecha	Fecha 31/1/2022
ESPOL			Estructura-Dimensiones	
			4	Edición Hoja 1 / 1

OTROS PLANOS SOPORTE PARA LA FABRICACIÓN

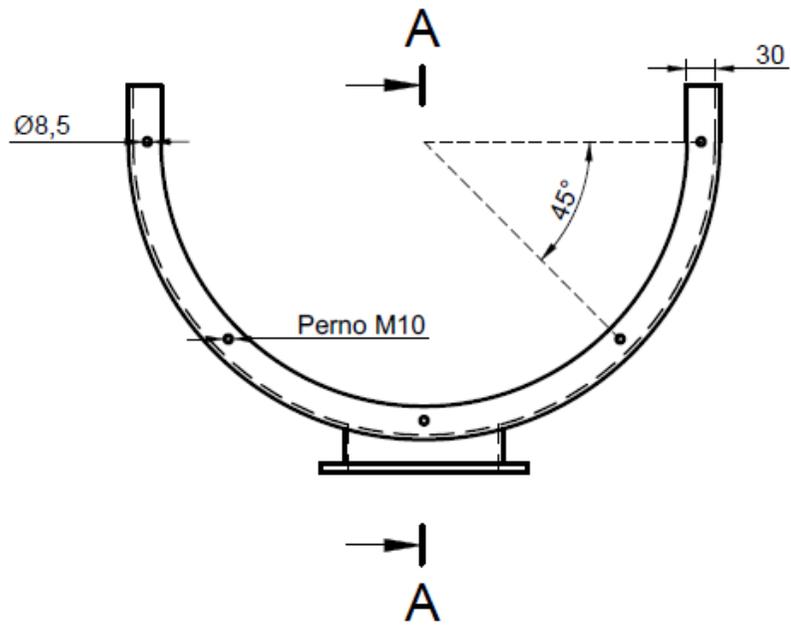
Escala: 1:16



Material: NEOPRENO CR - GROSOR 5MM

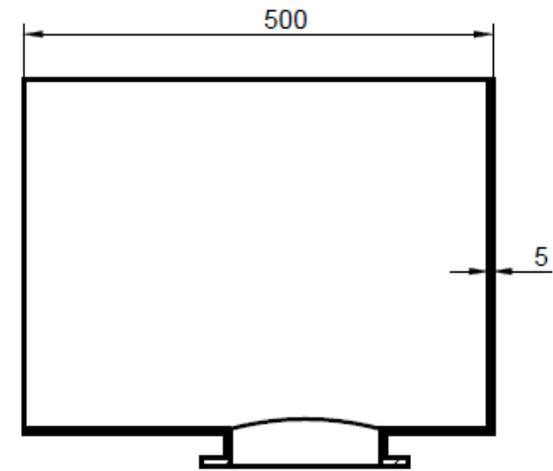
BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 5	JUNTA DE TOLVA	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 11		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:8		Fecha:	08/02/2022

Escala: 1:8

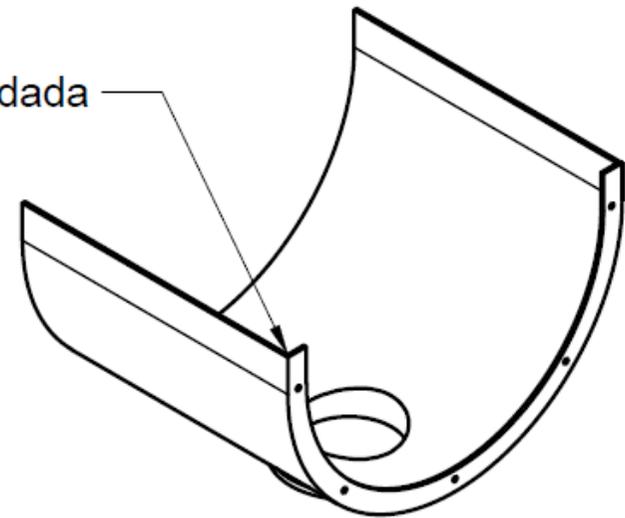


Material: RAEX 400 - GROSOR 5MM

A-A (1:8)



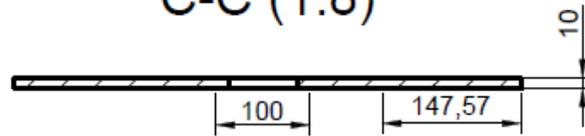
Semiluna soldada



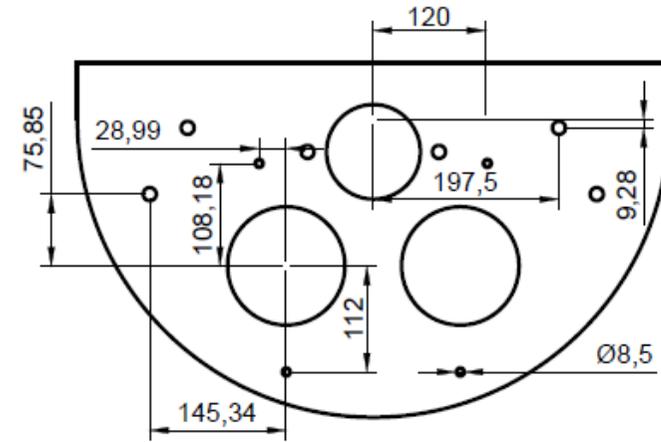
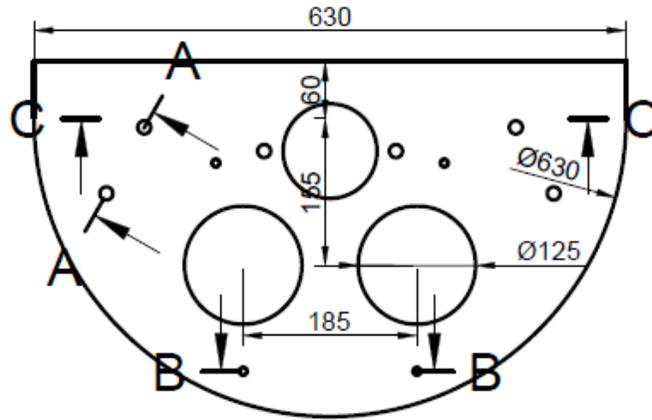
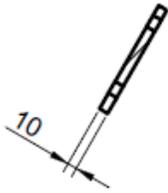
BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 3	UNIDAD DE VÁLVULA No. Elemento: 5	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 6		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:8		Fecha:	08/02/2022

VISTA FRONTAL

C-C (1:8)

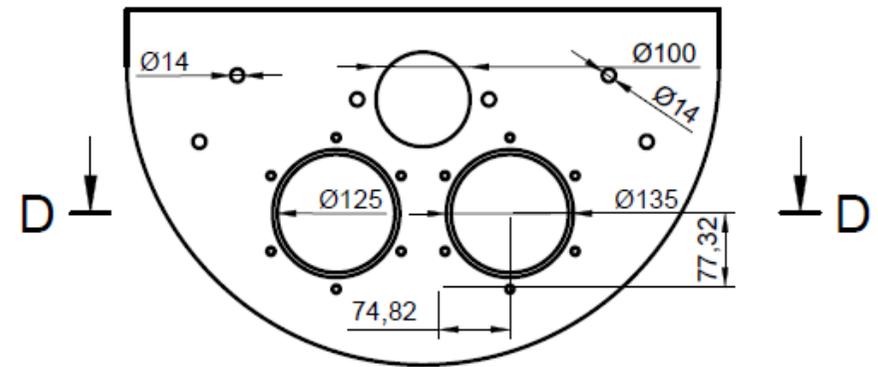
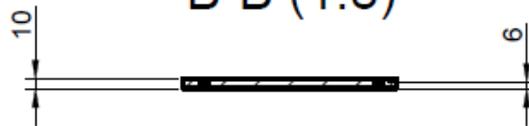


A-A (1:8)

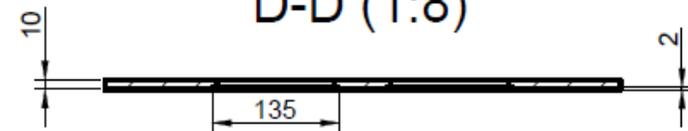


VISTA POSTERIOR

B-B (1:8)



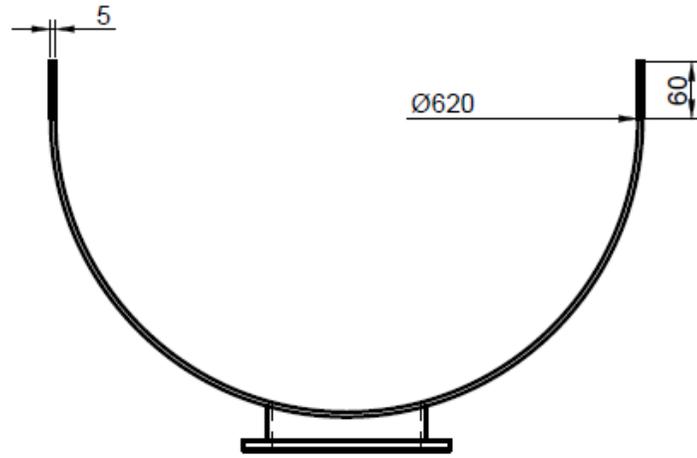
D-D (1:8)



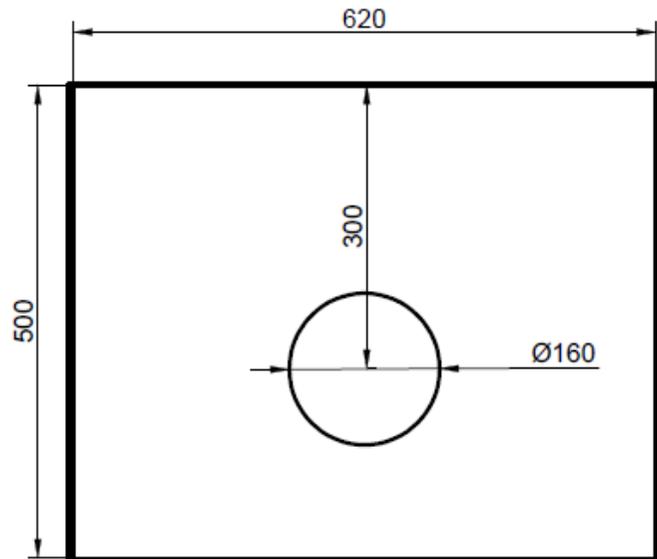
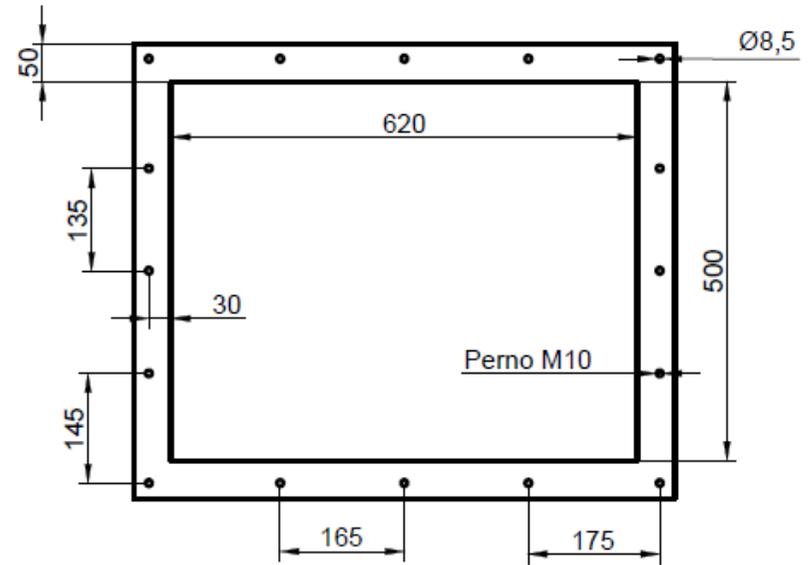
Material: RAEX 400 - GROSOR 10MM

BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 3	UNIDAD DE VÁLVULA No. Elemento: 1	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 4		Aprobador:	E. Martínez
Escala: 1:8		Fecha:	08/02/2022

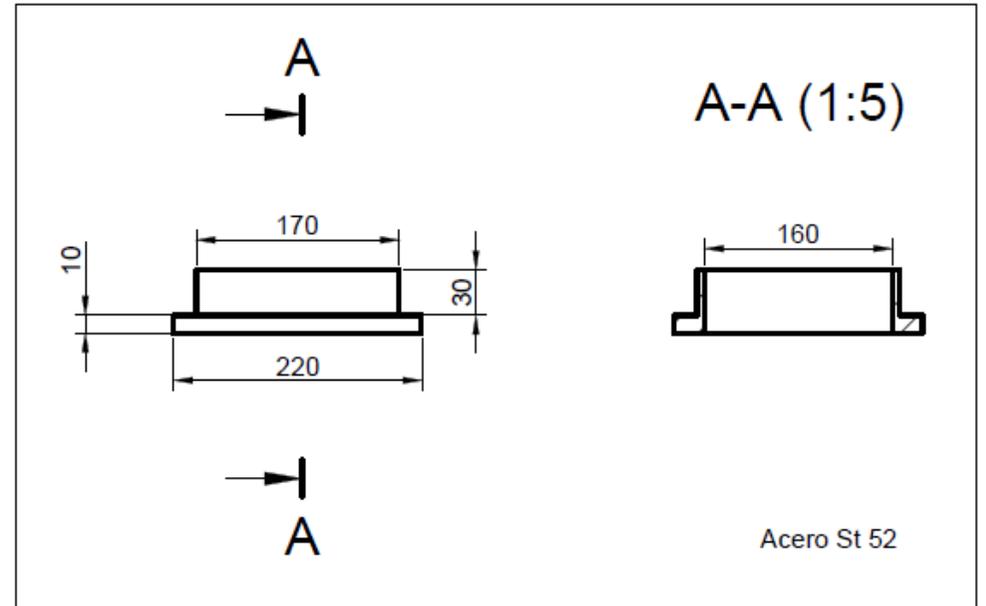
Escala 1:8



Escala 1:10

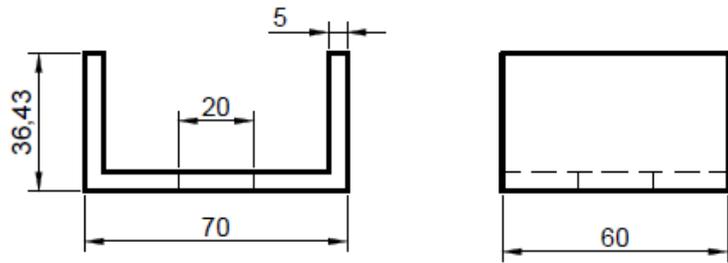


Plancha RAEX 400 - GROSOR 5MM

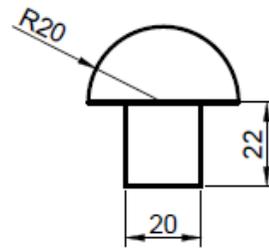


BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 3	UNIDAD DE VÁLVULA No. Elementos: 2-3-4	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 5		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:8		Fecha:	08/02/2022

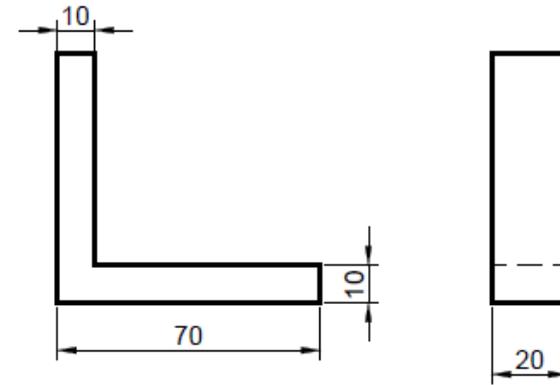
PORTA REMACHE



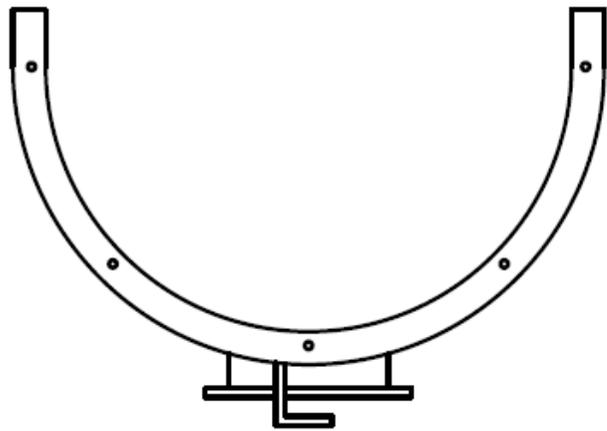
REMACHE



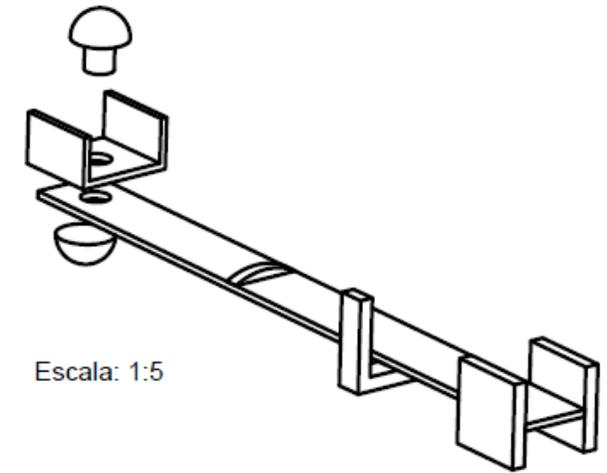
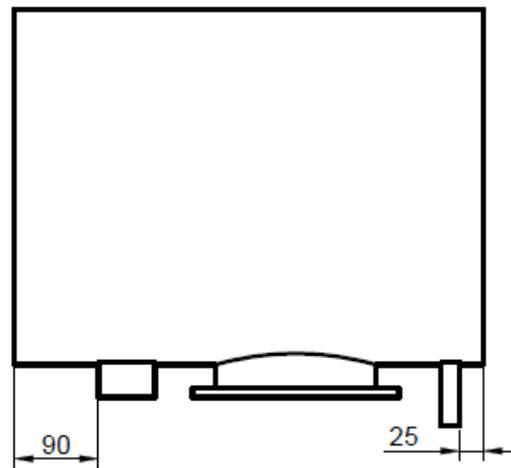
SOPORTE DE CUÑA



Escala: 1:2



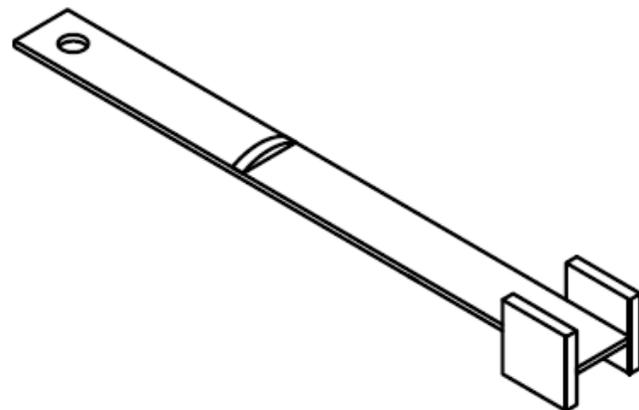
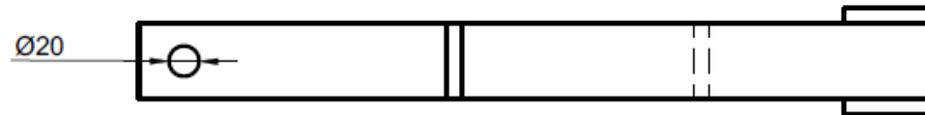
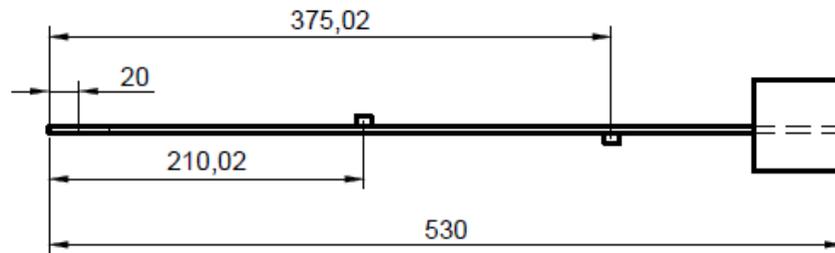
Escala: 1:8



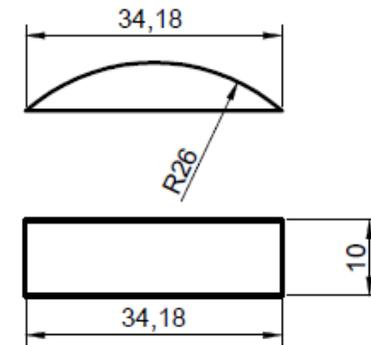
Escala: 1:5

BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 3	ELEMENTOS DE DESCARGA No. Elementos: 3	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 9		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:2		Fecha:	08/02/2022

ALETA DE DESCARGA

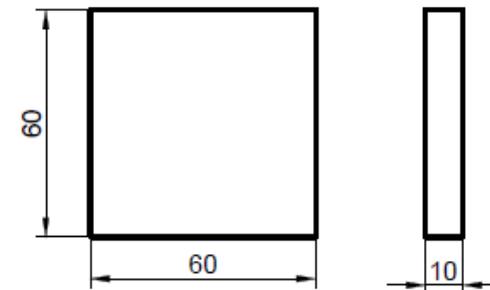


CUÑA



Escala: 1:1

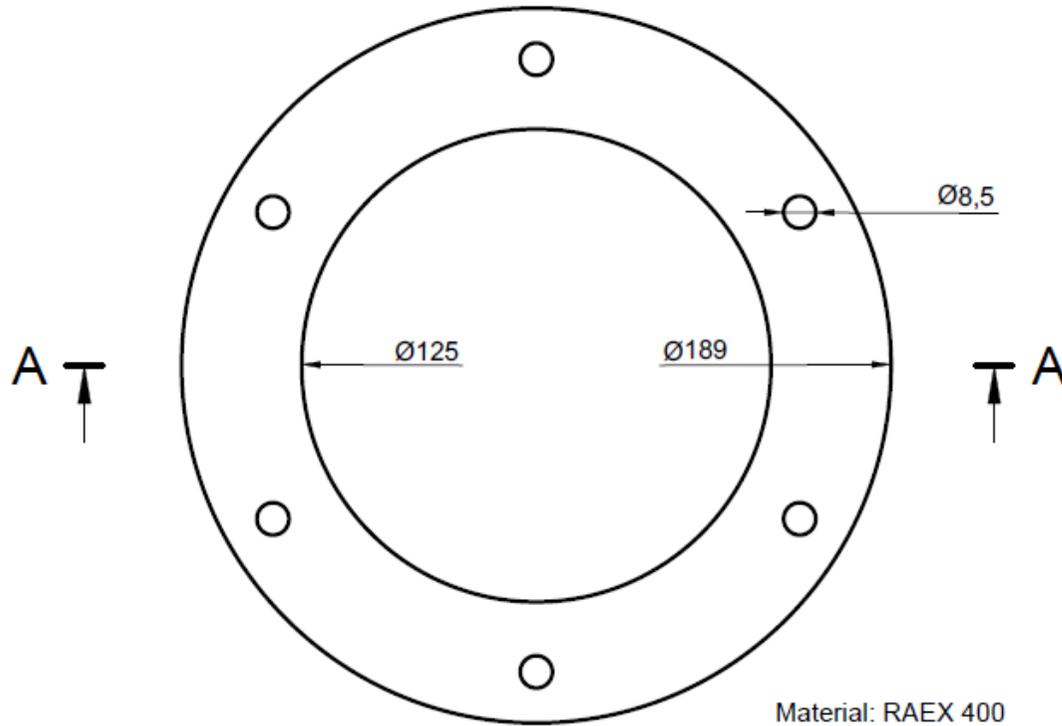
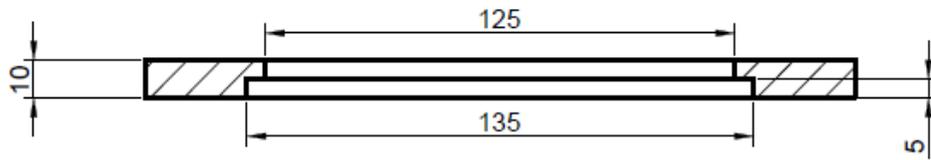
YUNQUE LATERAL



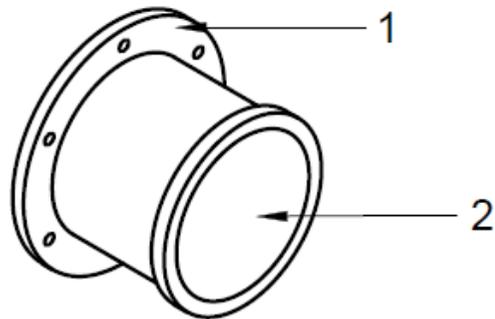
Escala: 1:2

BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 3	ALETA DE DESCARGA No. Elementos: 5	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 8		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:5		Fecha:	08/02/2022

A-A (1:2)

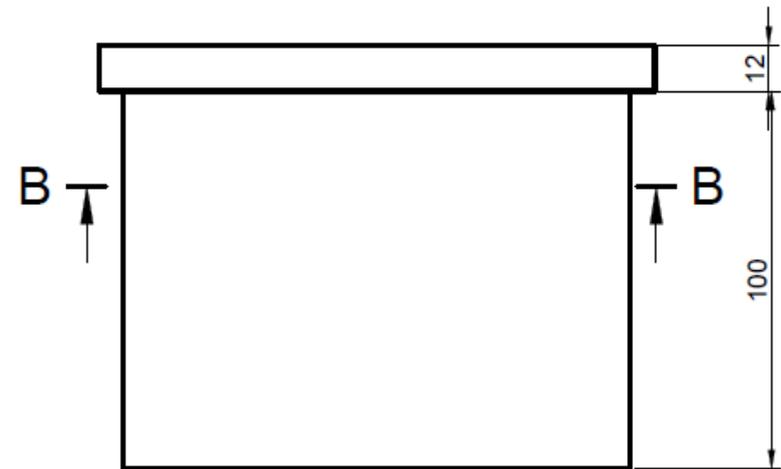
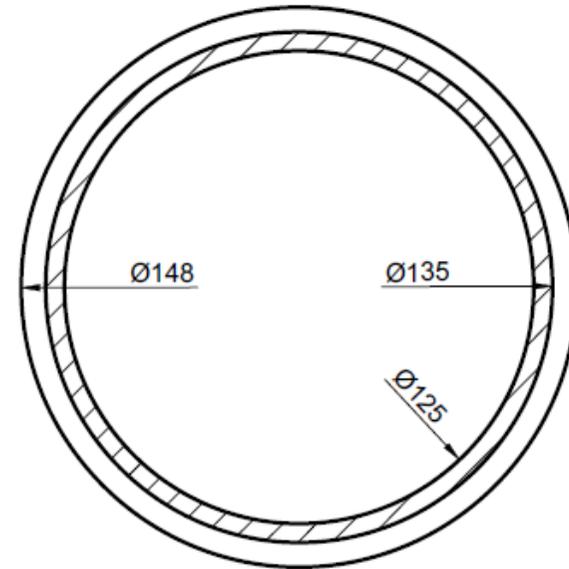


Material: RAEX 400



No.	Elementos
1	Brida
2	Tubo de salida

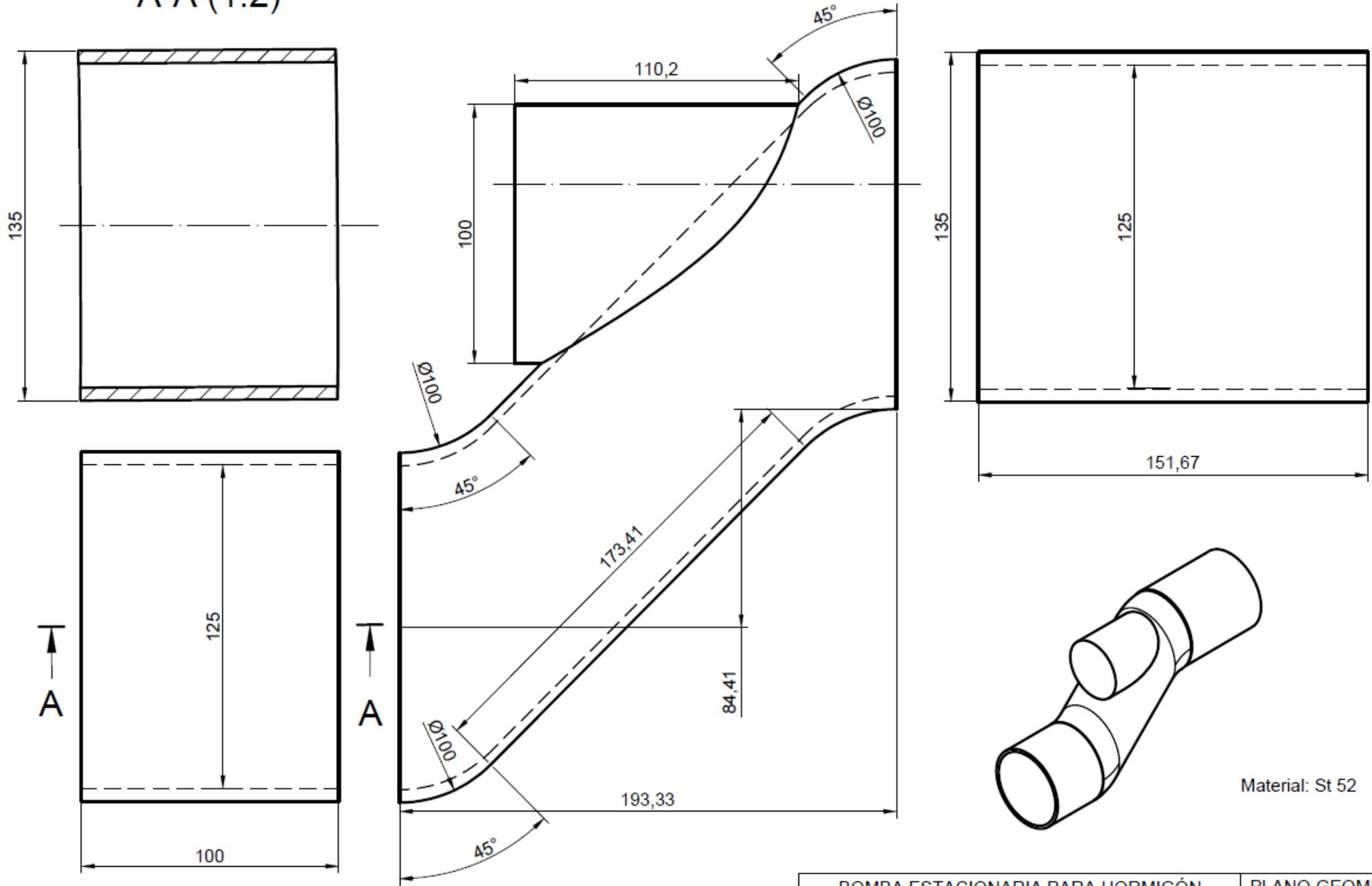
B-B (1:2)



Material: Acero St 52

BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 7	TOMA PRINCIPAL No. Elementos: 1-2	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 13		Instructor:	E. Martínez
Escala: 1:2		Fecha:	08/02/2022

A-A (1:2)



Material: St 52

BOMBA ESTACIONARIA PARA HORMIGÓN		PLANO GEOMÉTRICO	
Pieza: 9	VÁLVULA S	Diseñador:	Borja-Maza
Lámina: 15		Aprobador:	E. Martínez
Escala: 1:2		Fecha:	08/02/2022
No. Elementos: 3			

APÉNDICE E

Enlace de acceso a hoja de cálculos:

https://espolec-my.sharepoint.com/:x/g/personal/gborja_espolec/EQQss7dwp-RNnbwdOE83Ds8BXIRT152sYXxZWsHEKj3lQg?e=5WcrBC