

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Diseño de una bomba de hormigón estacionaria de baja
capacidad para operar en lugares sin energía eléctrica

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Stephano Marcel Alvarado Fernández

Jorge Guido Espinosa Morocho

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mi familia, ya que, gracias a su apoyo he podido alcanzar esta meta.

Stephano Marcel Alvarado Fernández

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, mis amigos y a todas las personas que de una u otra manera han contribuido conmigo para que pueda ser capaz de poder culminar esta etapa universitaria, especialmente a mis perros Hobilez que fue la razón para iniciar mi carrera universitaria para poder tener un mejor futuro para ambos y lamentablemente ya no está conmigo en este momento y a Osvaldo y Moisés, que estuvieron conmigo todos los días y noches que dediqué a este proyecto, muchas gracias por todo.

Jorge Guido Espinosa Morocho

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, la que me supo brindar su apoyo incondicional y confío en mi a lo largo de mi proceso de estudio, a mis profesores, que supieron guiar mi camino y que gracias a sus enseñanzas adquirí la formación que hoy tengo, a mis compañeros y amigos de la universidad, con los cuales compartí esta etapa de mi vida, la cual estuvo repleta de nuevas experiencias y finalmente a mí mismo, por haber perseverado a pesar de todos los obstáculos que se presentaron.

Stephano Marcel Alvarado Fernández

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre por su ayuda durante toda mi vida, especialmente por su paciencia y ayuda en todos estos años de universidad y durante la realización de este proyecto, gracias a tu apoyo es que he podido llegar hasta este punto de mi vida, tu ejemplo de superación y trabajo ha sido una guía muy importante para todas las decisiones que he tenido que tomar durante toda mi vida, te quiero mucho y te agradezco por todo lo que has hecho y seguro continuaras haciendo por mí, gracias por todo.

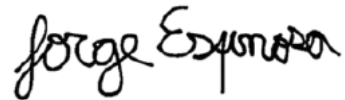
Jorge Guido Espinosa Morocho

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Stephano Marcel Alvarado Fernández* y *Jorge Guido Espinosa Morocho* y 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"



Stephano Marcel
Alvarado Fernández



Jorge Guido Espinosa
Morocho

EVALUADORES

.....
MSc. Andrea Boero Vera

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
MSc. Ernesto Martínez Lozano

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente trabajo aporta una alternativa al momento de transportar el hormigón a diferentes niveles sustituyendo el sistema de polipastos tradicional, el cual es poco eficiente e inseguro. Para lo cual se diseñó una bomba de hormigón estacionaria de 3 metros cúbicos de capacidad y seis metros de distancia vertical máxima, la cual se adapta a las necesidades de construcción de una casa promedio en el Ecuador. El diseño se basó en lo dictado por las normativas vigentes, además de ecuaciones empíricas que describen el comportamiento de fluidos no newtonianos e Inventor, el cual es un Software que permitió simular las cargas y el comportamiento de los elementos que componen al sistema. Con lo que se diseñó la tolva, los soportes de los pistones, entre otros. También se seleccionó equipos como, motor a gasolina, bomba hidráulica, válvulas, componentes electrónicos, entre otros. Seleccionado los componentes se obtuvo el diseño final de la bomba, donde se evaluó por método de elementos finitos los componentes más críticos para asegurar el correcto funcionamiento, con lo que se determinó que el sistema soporta sin problemas la carga requerida. También se cotizó la implementación del sistema donde se obtuvo un costo de 3999.14 dólares, que le permite ser competitivo dentro del mercado local. Finalmente concluimos que la implementación del sistema trae como principales beneficios, la seguridad, salud de los trabajadores y reducción de personal, lo que supondría un interés por parte de empresas constructoras o de alquiler de equipos industriales en la adquisición de este equipo.

Palabras Clave: Hormigón, Fluidos no newtonianos, Bombas de hormigón estacionarias, Construcción.

ABSTRACT

The present work provides an alternative when transporting the concrete to different levels, replacing the traditional hoist system, which is inefficient and unsafe. A low-capacity stationary concrete pump was designed that adapts to the construction of an average house in Ecuador. The design was based on what is dictated by current regulations in addition to empirical functions that described the behavior of non-Newtonian fluids and Inventor, which is a software that simulated the loads and behavior of the elements that make up the system. The hopper, the piston supports, among others were designed, and equipment such as gasoline engine, hydraulic pump, valves, electronic components, and others, was also selected. The most critical components were evaluated by the finite element method to ensure the correct functioning of the pump. It was determined that the system supports the required load. The implementation of the system was also quoted with a cost of 3999.14 dollars, concluding the proposed design is competitive within the local market. Finally, we conclude that the application of the system brings as main benefits, the safety, health of workers and reduction of personnel, which would suppose an interest on the part of construction companies or rental of industrial equipment in the acquisition of this equipment.

Keywords: *Concrete, Non-Newtonian fluids, Stationary concrete pumps, Construction.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS	VI
UNIDADES	VII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del Problema	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Funciones y requerimientos	2
1.5 Restricciones.....	2
1.6 Marco teórico	3
1.7 Equipos principales	7
1.8 Proyectos Similares.....	8
CAPÍTULO 2	9
2. Metodología.....	9
2.1 Alternativas de Solución.....	9
2.1.1 Por tipo de Combustible:.....	9

2.1.2	Por material de la tubería:.....	9
2.1.3	Por tipo de mecanismo:	10
2.2	Criterios de Diseño.....	11
2.2.1	Por tipo de Combustible:.....	11
2.2.2	Por material de la tubería:.....	11
2.2.3	Por tipo de mecanismo:	12
2.3	Selección	12
2.4	Diseño Conceptual	14
2.5	Metodología de diseño	15
2.6	Normativas	21
2.7	Selección de recursos	22
CAPÍTULO 3.....		24
3.	Resultados y análisis	24
3.1	Resultados	24
3.2	Análisis de Costos.....	40
3.3	Análisis de Resultados	42
CAPÍTULO 4		46
4.	Conclusiones y Recomendaciones	46
4.1	Conclusiones.....	46
4.2	Recomendaciones.....	47
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
ISO	International Organization for Standardization
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
ASME	The American Society of Mechanical Engineers
ACPA	American Concrete Pavement Association
SSPC	Steel Structures Painting Council
CETOP	Comité Europeo de Transmisiones oleohidráulicas y Neumática
SSPC	The Society for Protective Coatings

UNIDADES

kg	Kilogramo
Ton	Tonelada
in	Pulgada
ft	Pie
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro cuadrado
mm ³	Milímetro cúbico
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro cuadrado
cm ³	Centímetro cúbico
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
psi	Libra por pie cuadrado
bar	Bar
Pa	Pascales
kPa	Kilo Pascal
MPa	Mega Pascal
lbf	Libra Fuerza
N	Newton
kN	Kilo Newton
s	Segundo
min	Minuto
h	Hora
gal	Galón
lpm	Litro por minuto
GPM	Galón por minuto
lt	Litro
hp	Caballo de fuerza

W	Watt
kW	Kilo Watt
π	Pi

SIMBOLOGÍA

$A_{pistón\ nominal}$	Área nominal de pistón
$A_{pistón\ real}$	Área real de pistón
$A_{vástago\ nominal}$	Área nominal de vástago
$A_{vástago\ real}$	Área real de vástago
A_{avance}	Área de avance del pistón
$A_{avance\ s}$	Área de avance del pistón de la válvula S
$A_{retroceso\ s}$	Área de retroceso del pistón de la válvula S
A_{perno}	Área del perno
A_a	Área de la manguera de aceite hidráulico
A_h	Área de la manguera de hormigón
A_{Ts}	Área de sección transversal de la válvula S
A_{BH}	Área superficial de la bomba de hormigón
b	Parámetro de consistencia del concreto
C_p	Coefficiente de arrastre de la válvula S
$d_{pistón}$	Distancia de punto de aplicación de la fuerza de arrastre en la válvula S
dft_i	Espesor de capa seca de la pintura de imprimación
dft_a	Espesor de capa seca de la pintura de acabado
ϵ	Coefficiente de rugosidad de la manguera hidráulica
Q	Caudal de hormigón requerido
$Q_{corregido}$	Caudal corregido
$Q_{pistón\ nominal}$	Caudal nominal de cada pistón
$Q_{pistón\ real}$	Caudal real de cada pistón
$Q_{pistón}$	Caudal en el pistón seleccionado
$Q_{avance\ s}$	Caudal de avance del pistón de la válvula S
$Q_{retroceso\ s}$	Caudal de retroceso del pistón de la válvula S
$F_{pistón\ nominal}$	Fuerza de Avance nominal del pistón
$F_{pistón\ corregida}$	Fuerza de Avance del pistón corregido

$F_{piston\ s}$	Fuerza ejercida en el pistón de la válvula S
FC_{caudal}	Factor de Corrección del Caudal
$FC_{pistón}$	Factor de Corrección de la fuerza del pistón
$FC_{codo,30^\circ}$	Factor de Corrección por codo de 30°
$FC_{codo,90^\circ}$	Factor de Corrección por codo de 90°
$FC_{ref\ i}$	Factor de consumo para la pintura de imprimación
$FC_{ref\ a}$	Factor de consumo para la pintura de acabado
$FC_{tubería}$	Factor de Corrección por tipo de tubería
F_{perno}	Fuerza ejercida en el perno
$F_{arrastre\ lodo}$	Fuerza de arrastre producida por el lodo
f	Factor de fricción de Darcy
f_s	Factor de fricción de la manguera de la válvula S
g	Aceleración de la gravedad
Δh	Cabezal debido a las pérdidas de fricción en la manguera de hormigón
h_B	Cabezal de altura de la bomba
$h_{b\ avance\ s}$	Cabezal de avance para la válvula S
$h_{b\ retroceso\ s}$	Cabezal de retroceso para la válvula S
ρ_{lodo}	Densidad del lodo
ρ_h	Densidad del hormigón
ρ_I	Densidad del sistema modelado
ρ_{acero}	Densidad del acero
\forall_{Tolva}	Volumen de Tolva
$\forall_{cilindro\ de\ concreto}$	Volumen del cilindro de concreto
$\forall_{cilindro\ hidráulico}$	Volumen del cilindro hidráulico
$\forall_{pistón}$	Volumen del pistón seleccionado
$\forall_{pistón\ nominal}$	Volumen del pistón nominal
\forall_{aceite}	Volumen del tanque de aceite
\forall_i	Volumen necesario para la imprimación
\forall_a	Volumen necesario para la capa de acabado
K_H	Coefficiente de pérdidas de la manguera hidráulica
$K_{vástago}$	Coefficiente de vástago

$l_{sistema}$	Longitud del sistema
$l_{circuito}$	Longitud del circuito
$l_{vertical}$	Longitud vertical de la tubería
L	Longitud de la manguera de hormigón
L_a	Longitud de manguera conectada al pistón de la válvula S
$L_{circuito}$	Longitud corregida del circuito
L_H	Longitud de la manguera hidráulica
L_{Tolva}	Longitud de cara de la Tolva
$L_{pistón nominal}$	Longitud nominal de carrera del pistón
$L_{pistón real}$	Longitud real de carrera del pistón
$L_{pistón s}$	Longitud de carrera del pistón de la válvula S
$L_{vertical}$	Longitud equivalente de tubería por tramo vertical
$L_{horizontal}$	Longitud equivalente de tubería por tramo horizontal
$L_{codos,30^\circ}$	Longitud equivalente de tubería por codos de 30°
$L_{codos,90^\circ}$	Longitud equivalente de tubería por codos de 90°
$L_{tanque aceite}$	Longitud de cara del tanque de aceite
$L_{válvula S}$	Longitud de la válvula S
$L_{vástago nominal}$	Longitud nominal del vástago
M_{FA}	Momento producido por el arrastre del hormigón
$N_{pistones}$	Número de pistones
$N_{codos,30^\circ}$	Número de codos de 30°
$N_{codos,90^\circ}$	Número de codos de 90°
η_B	Eficiencia de la Bomba
η_M	Eficiencia del Motor
n	Factor de perno
$\#_{Bombeo}$	Bombeo por minuto realizado por cada pistón
ϕ_a	Diámetro de manguera hidráulica
$\phi_{pistón nominal}$	Diámetro nominal de pistón
$\phi_{pistón}$	Diámetro pistón estándar
$\phi_{pistón real}$	Diámetro real de pistón
$\phi_{vástago nominal}$	Diámetro nominal del vástago
$\phi_{vástago real}$	Diámetro real del vástago

$\phi_{rosca\ pistón}$	Diámetro real de la rosca del pistón
$\phi_{pistón\ s}$	Diámetro de pistón de la válvula S
ϕ_m	Diámetro de manguera de hormigón
$T_{pistón}$	Período del pistón
$\gamma_{concreto}$	Peso específico del concreto para losas
$P_{totales}$	Pérdida de presión total
P_e	Presión a la entrada del tanque
$P_{entrada}$	Presión a la entrada de la bomba hidráulica
P	Pérdida de presión en el circuito
P_S	Presión a la salida de la manguera hidráulica
P_I	Presión a la entrada de la manguera hidráulica
P_R	Pérdida de presión por tramo vertical
$P_{fricción}$	Pérdida de presión debido a la fricción en la manguera de hormigón
P_C	Presión de salida del hormigón
$P_{pistón\ nominal}$	Presión nominal en el pistón
$P_{pistón\ corregido}$	Presión corregida en el pistón
$P_{avance\ pistón}$	Presión avance en el pistón
$P_{pistón\ avance\ s}$	Presión de avance del pistón de la válvula S
$P_{pistón\ retroceso\ s}$	Presión de retroceso del pistón de la válvula S
$P_{trabajo}$	Presión de trabajo
P_{exp}	Presión de expulsión del pistón
P_t	Presión en el tranque de aceite hidráulico
P_{tanque}	Presión en el tanque de aceite
$P_{avance\ a\ la\ salida\ s}$	Presión de avance a la salida de la bomba requerida para la válvula S
$P_{retroceso\ a\ la\ salida\ s}$	Presión de retroceso a la salida de la bomba requerida para la válvula S
$P_{avance\ a\ la\ entrada\ s}$	Presión de avance a la entrada de la bomba requerida para la válvula S
$P_{retroceso\ a\ la\ entrada\ s}$	Presión de retroceso a la entrada de la bomba requerida para la válvula S

$Pot_{presión}$	Potencia requerida debido a las pérdidas de presión
Pot_h	Potencia hidráulica requerida para mover el hormigón por la manguera
Pot_T	Potencia total requerida para desplazar el hormigón
$Pot_{pistóns}$	Potencia para desplazar el pistón de la válvula S
Pot_S	Potencia del sistema
Pot_B	Potencia de la bomba
Pot_M	Potencia del motor
$Pot_{avance s}$	Potencia de avance para desplazar la válvula S
$Pot_{retroceso s}$	Potencia de retroceso para desplazar la válvula S
$P_{trabajo}$	Presión de trabajo
Re_a	Número de Reynolds del aceite hidráulico
Re_s	Número de Reynolds del aceite de la manguera de la válvula S
$Rendimiento_{real a}$	Rendimiento real de la pintura de acabado
$Rendimiento_{teórico a}$	Rendimiento teórico de la pintura de acabado
$Rendimiento_{real i}$	Rendimiento real de la pintura de imprimación
$Rendimiento_{teórico i}$	Rendimiento teórico de la pintura de imprimación
r_{perno}	Radio del perno
$t_{pistón}$	Tiempo de carrera del pistón
$t_{pistóns}$	Tiempo de carrera del pistón de la válvula S
μ_e	Coefficiente de viscosidad plástica del hormigón
V_a	Velocidad del aceite hidráulico
V_e	Velocidad a la entrada del tanque
V_h	Velocidad del hormigón
V_I	Velocidad del aceite a la entrada de la manguera hidráulica
$V_{pistóns}$	Velocidad de movimiento de pistón de la válvula S
$V_{pistón nominal}$	Velocidad nominal del pistón
V_{real}	Velocidad real del pistón
V_S	Velocidad del aceite a la salida de la manguera hidráulica
V_{Ts}	Velocidad de movimiento de la válvula S
$V_{pistóns}$	Velocidad del pistón de la válvula S

V_{avance}	Velocidad de avance del aceite en la manguera hacia la válvula S
$V_{retroceso}$	Velocidad de retroceso del aceite en la manguera hacia la válvula S
V_t	Velocidad del aceite en el tanque
$V_{pistón}$	Velocidad del pistón seleccionado
ν_a	Viscosidad cinemática del aceite hidráulico
W_{BH}	Peso total de la bomba de hormigón
W_I	Peso del sistema modelado
wft_i	Espesor de capa húmeda de la pintura de imprimación
wft_a	Espesor de capa húmeda de la pintura de acabado
γ_H	Peso específico del hormigón
γ_A	Peso específico del aceite hidráulico
Z_e	Altura a la entrada del tanque
Z_I	Altura a la entrada de la manguera hidráulica
Z_S	Altura a la salida de la manguera hidráulica
Z_t	Altura del tranque de aceite
$\%SV_i$	Porcentaje de sólidos en la pintura de imprimación
$\%SV_a$	Porcentaje de sólidos en la pintura de acabado

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Diseño de forma de la bomba de concreto	15
Figura 2.2 Tolva del sistema	16
Figura 2.3 Cilindros neumáticos para la operación de la bomba	17
Figura 3.2 Medidas de la Válvula S	28
Figura 3.3 Simulación en SolidWorks de la fuerza de arrastre en la válvula S	28
Figura 3.4 Configuración de la malla para el soporte del pistón	29
Figura 3.5 Configuración del análisis de convergencia para el soporte del pistón	29
Figura 3.6 Coeficiente de seguridad en el soporte del pistón bajo una carga de 32.83 N	30
Figura 3.7 Tensión Von Mises en el soporte del pistón bajo una carga de 32.83 N	30
Figura 3.8 Convergencia de la Tensión Von Misses en el soporte del pistón para una fuerza de 32.83 N.....	31
Figura 3.9 Desplazamiento en el soporte del pistón bajo una carga de 32.83 N	31
Figura 3.10 Convergencia en el desplazamiento del soporte del pistón para una carga de 32.83 N	32
Figura 3.11 Coeficiente de seguridad en el soporte del pistón bajo una carga de 500 N	32
Figura 3.12 Tensión Von Mises en el soporte del pistón bajo una carga de 500 N.....	33
Figura 3.13 Convergencia de la Tensión Von Misses en el soporte del pistón para una fuerza de 500 N.....	33
Figura 3.14 Desplazamiento en el soporte del pistón bajo una carga de 500 N	34
Figura 3.15 Convergencia en el desplazamiento del soporte del pistón para una carga de 500 N	34
Figura 3.16 Configuración de la malla para el vástago del pistón.....	35
Figura 3.17 Configuración del análisis de convergencia para el vástago del pistón.....	35
Figura 3.18 Coeficiente de seguridad en el vástago del pistón bajo una carga de 32.83 N	36
Figura 3.19 Tensión Von Mises en el vástago del pistón bajo una carga de 32.83 N ...	36
Figura 3.20 8 Convergencia de la Tensión Von Misses en el vástago del pistón para una fuerza de 32.83 N.....	37
Figura 3.21 Desplazamiento en el vástago del pistón bajo una carga de 32.83 N	37

Figura 3.22 Convergencia en el desplazamiento del vástago del pistón para una carga de 32.83 N	38
Figura 3.23 Coeficiente de seguridad en el vástago del pistón bajo una carga de 500 N	38
Figura 3.24 Tensión Von Mises en el vástago del pistón bajo una carga de 500 N	39
Figura 3.25 Convergencia de la Tensión Von Misses en el vástago del pistón para una fuerza de 500 N.....	39
Figura 3.26 Desplazamiento en el vástago del pistón bajo una carga de 500 N.....	40
Figura 3.27 Convergencia en el desplazamiento del vástago del pistón para una carga de 500 N	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Alternativas de diseño por tipo de combustible	9
Tabla 2.2 Alternativas de diseño por tipo de tubería.....	10
Tabla 2.3 Alternativas de diseño por tipo de mecanismo.....	10
Tabla 2.4 Sistema de Calificación	12
Tabla 2.5 Matriz de decisión del tipo de combustible	13
Tabla 2.6 Matriz de decisión por material de la tubería	13
Tabla 2.7 Matriz de decisión por tipo de mecanismo	14
Tabla 3.1 Resultados obtenidos para los pistones de los cilindros de concreto.....	24
Tabla 3.2 Resultados obtenidos para el pistón de la válvula S	25
Tabla 3.3 Resumen de requerimientos de Potencia	26
Tabla 3.4 Área y Peso de la Bomba de hormigón modelado	26
Tabla 3.5 Resumen de requisitos de elementos del sistema	27
Tabla 3.6 Costos de Fabricación de la Bomba de Hormigón	41

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Conexión del Circuito Hidráulico.....	129
Plano 2 Circuito Electrónico	130
Plano 3 Plano de la Tolva	131
Plano 4 Plano del depósito de agua	132
Plano 5 Plano de la tapa del depósito de agua	133
Plano 6 Plano de los cilindros de concreto	134
Plano 7 Plano Base del Motor	135
Plano 8 Plano Base del Tanque de Aceite	136
Plano 9 Plano Reja de la Tolva	137
Plano 10 Plano de la base de soporte del pistón de la válvula S.....	138
Plano 11 Soporte de pistón de válvula S.....	139
Plano 12 Plano Cubierta de Bomba	140
Plano 13 Plano Base de Remolque.....	141
Plano 14 Plano Bomba de Hormigón sin cubierta	142
Plano 15 Plano Bomba de hormigón	143

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del Problema

Actualmente las personas trabajadoras, principalmente las de estatus socioeconómico medio bajo, tienen como uno de sus principales objetivos obtener una vivienda propia. Las personas que no poseen los recursos suficientes no pueden aplicar a programas financiados y esto conlleva a que estos emprendan la construcción por medios propios.

La construcción usualmente implica elaborar pisos de concreto en sitios donde no se cuenta con servicio eléctrico. Esto conlleva invertir gran cantidad de horas hombre y en caso de requerir losa en la segunda planta se suelen utilizar polipastos y recipientes cilíndricos para trasladar el hormigón. Dicho sistema es rústico y poco seguro lo que pone en peligro la seguridad y bienestar de las personas.

Una alternativa de los sistemas de polipastos son las bombas de hormigón de gran capacidad, sin embargo, estas sobrepasan los requerimientos de este tipo de clientes e implican un costo muy elevado.

1.2 Justificación del proyecto

Con el diseño de la bomba de hormigón estacionaria se establecería la posibilidad de su construcción y posterior venta para que sea utilizada a través de un pago de menor cuantía por pequeños y medianos constructores o por personas que decidan realizar trabajos en su hogar. Lo cual redundaría realizar un trabajo con más seguridad y menor esfuerzo a un costo relativamente menor al costo actual con la utilización de los equipos que existen en el medio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una bomba de hormigón estática que opere sin suministro eléctrico, con una capacidad de 3 metros cúbicos por hora cuya presión de diseño transporte hormigón hasta un nivel de 6 metros.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema que permita el funcionamiento de la bomba de hormigón sin suministro eléctrico.
- Simular la operación del sistema de bombeo de hormigón.
- Evaluar la factibilidad económica del equipo comparándolo con productos similares en el mercado.

1.4 Funciones y requerimientos

- La bomba diseñada debe ser capaz de suministrar 3 metros cúbicos de hormigón por hora.
- El hormigón bombeado debe poseer la presión necesaria para alcanzar una altura máxima de 6 metros.
- La bomba se debe poder fijar en el sitio de la construcción.
- Las piezas y componentes que forman parte del sistema deben ser capaces de soportar el ambiente abrasivo debido al hormigón.
- La bomba de hormigón debe ser capaz de operar de manera ininterrumpida durante una jornada laboral de 8 horas.
- El sistema diseñado debe asegurar la seguridad del operario.
- El uso de la bomba de hormigón debe ser lo más intuitivo para el operador.

1.5 Restricciones

- La bomba diseñada debe ser capaz de funcionar en sitios donde no se tenga acceso a un suministro eléctrico.

- El peso y componentes del sistema diseñado deben permitir su traslado con ayuda de una camioneta.
- Se debe considerar la menor cantidad de elementos en el diseño para minimizar los costos de fabricación.

1.6 Marco teórico

Usualmente en las fundiciones de losas promedio se suele utilizar entre 7 y 10 trabajadores entre los cuales están los encargados de mezclar el hormigón, el personal dedicado a transportar el hormigón desde la zona de mezcla hasta el sitio de fundición de la losa y las personas que se encargan de colocar el hormigón en el encofrado.

A continuación, se listan ciertos conceptos previos que son necesarios definir para asegurar el entendimiento del trabajo desarrollado.

Cemento

El cemento es un aglomerante hidráulico, o en otras palabras un material de naturaleza inorgánica y mineral que es molido finamente y amasado con ayuda de agua para formar pastas que se fraguan y endurecen debido a la reacción de hidrólisis e hidratación de sus componentes dando a lugar a un material mecánicamente resistente al agua (Zuniga, 2021).

El cemento se puede clasificar en cemento artificial y cemento natural, el cual se subdivide en cemento natural rápido y cemento natural lento. Las principales diferencias entre estos son el contenido de arcilla en su composición, la temperatura de calcinación y el tiempo de cocción que toma preparar dicho cemento (Burgos, Olmo, & Pérez, 2014).

Concreto

El concreto es un material pétreo artificial obtenido de la mezcla en diferentes proporciones de pasta, la cual se compone a su vez de cemento y agua, y agregados minerales. El concreto tiene la propiedad de que al endurecerse forma un conglomerado similar a una roca debido a la reacción química producida por sus componentes (Cáceres & Belizario, 2018).

Las propiedades físicas que obtiene el concreto se basan en las características del mortero, el cual es la mezcla de cemento, agua y arena, de los agregados gruesos y de la interfase entre ambos. Se puede considerar a los agregados como el componente crítico dentro de la mezcla del concreto ya que estos conforman la mayor parte de su volumen (FLORES, 2017).

El concreto, a pesar de no poseer las propiedades de tenacidad y resistencia elevadas como el acero, es el material de ingeniería más extensamente utilizado debido principalmente a su resistencia al agua. Lo cual lo convierte en el material perfecto para la fabricación de acueductos, presas, tuberías de agua y tanques de almacenamiento. Otro motivo de su uso tan extenso es debido a la variedad de formas y tamaños que se pueden realizar con concreto estructural, lo cual se debe a que el concreto fresco posee consistencia plástica. El tercer motivo por el cual el concreto es tan utilizado es que representa un beneficio económico y con alta disponibilidad al momento de realizar obras, ya que sus componentes se encuentran disponibles en la mayor parte del mundo.

Hormigón

El hormigón es un material de construcción que se encuentra formado por una mezcla de cementos, grava, arena y aditivos en diferentes proporciones, lo cual le da diferentes propiedades físicas entre las cuales destacan la densidad, la viscosidad plástica y el esfuerzo cortante límite. Este material es

uno de los más utilizados principalmente en el área de construcción debido a sus ventajas como el aislamiento térmico y acústico, alta resistencia y permeabilidad. (Boucherie, 2016)

Fluido

Para entender el comportamiento del concreto como un fluido es necesario comprender conceptos básicos sobre estos, un fluido es en esencia un conjunto de partículas que se unen debido a fuerzas cohesivas débiles que no son suficientes para mantener rígido al conjunto de partículas por lo que estas se adaptan a la forma del recipiente que lo contiene (Zúñiga, 2018)

Para describir un fluido y determinar la energía que se requiere para desplazarlo, es necesario conocer propiedades como su densidad, que es la cantidad de masa que existe en el fluido por unidad de volumen, la viscosidad que es la manera de dimensionar cuanto se resiste el fluido a desplazarse debido a la fricción en el interior de los fluidos entre otros.

Un fluido inicia su movimiento debido a que las fuerzas que actúan sobre este pierden su equilibrio, dando paso al movimiento, cuando se aplica un esfuerzo cortante sobre un fluido, este se deforma, sin importar la magnitud del esfuerzo.

Fluidos newtonianos

Estos fluidos también se conocen como fluidos ideales, debido a que su viscosidad no varía por la aplicación de esfuerzos cortantes, su viscosidad depende de la presión a la cual se encuentra sometido y a la temperatura interna del mismo por lo que su análisis cumple las leyes de Newton.

Fluidos no newtonianos

En el caso de los fluidos no newtonianos, estos se definen como los fluidos cuya viscosidad cambia al aplicar esfuerzos cortantes en él, específicamente del cambio de la velocidad de deformación del fluido producto del esfuerzo cortante.

Los fluidos no newtonianos se pueden definir en 3 grupos:

- Independientes del tiempo: cuando el esfuerzo cortante aplicado sobre el fluido se encuentra en función a la velocidad de deformación del fluido.
- Dependientes del tiempo: Estos fluidos se caracterizan debido a que el esfuerzo cortante aplicado es función de la tasa de deformación y el tiempo que transcurre, en otras palabras, la viscosidad de este tipo de fluidos está dada en función del tiempo.
- Viscoelásticos: Este tipo de fluidos comparten ciertas propiedades con los sólidos que poseen comportamiento elástico antes de que se aplique sobre él un esfuerzo igual al esfuerzo de fluencia, en el caso de los fluidos viscoelásticos la energía empleada en la deformación de este no se disipa por completo y puede recuperarse.

En nuestro caso en particular, el concreto es una mezcla heterogénea, formada por cemento, agua y material agregado (agua y arena), al hacer fluir el concreto se observa que se comporta como un fluido newtoniano, sin embargo, de manera experimental se ha podido demostrar que el comportamiento del concreto corresponde a un fluido no newtoniano (Carillo & Aracely, 2021). El hormigón, a diferencia de fluidos newtonianos como el agua no se nivela en tubos comunicantes por acción de la gravedad, soportando una gran tensión por lo que se requiere la aplicación de esfuerzos externos para conseguir este resultado.

Fluido de Bingham

Para poder caracterizar a un fluido como fluido de Bingham, este debe ser visco-plástico o, en otras palabras, poseer un umbral de plasticidad, por lo que si se aplica una fuerza sobre dicho fluido que exceda el umbral, entonces el material empezará a fluir y se comportará como un fluido newtoniano. En caso contrario de que se aplique una fuerza que no supere el umbral, el material se comportará como un sólido rígido (Ordóñez, 2015).

1.7 Equipos principales

Además, se listan los principales elementos presentes en el sistema, así como la función que desempeñan de manera individual.

Motores de Combustión interna

Un motor de combustión interna es una máquina térmica la cual convierte energía química proveniente de un combustible con la finalidad de transformarla en energía mecánica. Este proceso se inicia cuando el combustible hace ignición dentro de las cámaras de combustión lo que provoca un cambio en la temperatura y en la presión de los gases que mueven los pistones transformando así la energía química a energía rotacional. Existen distintos tipos de motores de combustión interna como son: motor Otto, motor Diesel, motor rotatorio y turbina de combustión.

Bomba Oleohidráulica

Una bomba oleohidráulica es un mecanismo cuya función es la de transformar energía mecánica en energía hidráulica con la finalidad de desplazar un fluido sin producir un cambio de presión en el mismo. Estas bombas se pueden clasificar en bomba de desplazamiento negativo, la cual aumenta la presión disminuyendo el caudal y bomba de desplazamiento positivo que aumenta el caudal disminuyendo la presión. Un dispositivo oleohidráulico debe poseer entre sus componentes a los siguientes elementos: unidad generadora,

depósito de aceite, manómetros, enfriadores de aceite, bombas hidráulicas, válvulas y accionadores (Carnicer, 1998).

1.8 Proyectos Similares

Dentro del Ecuador no se cuentan con empresas encargadas de fabricar bombas de concreto estacionarias, de ser necesario adquirir una se debe optar por importar la misma y por nombrar algunas de las empresas que fabrican dichas bombas tenemos a: Putzmeister, Shantui, Cifa, Sany, entre otros. Todas estas empresas fabrican bombas de concreto de al menos $30 \frac{m^3}{h}$ de capacidad, sin embargo, el equipo que se necesita para satisfacer las necesidades del cliente es de dimensiones y capacidades muy inferiores a las que se encuentra en el mercado.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta de manera conceptual el proceso que se llevó a cabo para llegar al diseño detallado del sistema capaz de bombear concreto con los requerimientos especificados por el cliente.

2.1 Alternativas de Solución

2.1.1 Por tipo de Combustible:

Dado que el sistema diseñado no tendrá acceso a un suministro eléctrico, fue necesario utilizar un motor de combustión interna. El cual proporcionaría la energía para transportar el concreto a una altura determinada, para lo cual se tuvo las alternativas respecto al tipo de combustible utilizado por dicho motor resumidas en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Alternativas de diseño por tipo de combustible (Gómez, 2016)

Tipo de Motor	Ventajas
Motor a Diesel	<ul style="list-style-type: none">• Consumo menor de combustible• Precio del combustible más económico• Mantenimientos menos frecuentes
Motor a Gasolina	<ul style="list-style-type: none">• Arranque más rápido• Menor costo en los mantenimientos• Menos ruido producido• Motor más liviano

2.1.2 Por material de la tubería:

Para poder transportar el concreto a distintas locaciones es necesario hacer uso de tuberías, estas tienen distintas dimensiones, geometrías y materiales que las conforman, para nuestro sistema se consideró las siguientes opciones tabuladas en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Alternativas de diseño por tipo de tubería (Putzmeister, 2003)

Tipo de Tubería	Ventajas
Manguera de caucho	<ul style="list-style-type: none"> • Menor Peso • Mayor Durabilidad • Fácil de Manipular e instalar
Acero DIN2391-1ST52	<ul style="list-style-type: none"> • Provee rigidez estructural • Evita riesgos por latigazo • Mayor resistencia ante efectos externos

2.1.3 Por tipo de mecanismo:

Los mecanismos involucrados en el proceso de bombeo de concreto varían dependiendo de los elementos que lo componen lo que a su vez le otorga diferentes cualidades. A continuación, mencionamos los mecanismos analizados previo a su selección en la Tabla 2.3. Adicional a esto se encuentran imágenes de referencia de los mecanismos en el Apéndice A.

Tabla 2.3 Alternativas de diseño por tipo de mecanismo (Putzmeister, 2008)

Tipo de mecanismo	Características
Bomba de pistón simple	<ul style="list-style-type: none"> • Gran demanda de bombeo • Permite transportar sustancias externas • Permite transportar material rígido
Bomba de válvula de asiento hidráulico (HSP)	<ul style="list-style-type: none"> • Transporta material con tamaño de partícula pequeño • Larga vida de servicio • Mantenimiento de válvulas sencillo
Bomba con pistón con tubo S	<ul style="list-style-type: none"> • Transporta material de manera ininterrumpida • Buen desempeño en presencia de sustancias extrañas • Buen comportamiento ante lodos viscosos y material con sólidos gruesos

Tipo de mecanismo	Características
Bomba de válvula de bola	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de pastas con tamaño de partícula pequeño • Fácil instalación • Fácil mantenimiento

2.2 Criterios de Diseño

El diseño de la bomba de concreto se basó en las necesidades del cliente, además se establecieron algunos criterios adicionales con la finalidad de ser lo más objetivos posible en la evaluación del diseño. Dado que se contó con varios componentes en el sistema diseñado, definimos los criterios de la siguiente manera.

2.2.1 Por tipo de Combustible:

- Precio de Combustible: Este factor afectará al costo de operación.
- Rendimiento por galón: Afecta tanto al costo de operación, como al nivel de contaminación emitido.
- Costo de mantenimiento del motor: Implica los gastos periódicos que se deben realizar en el mantenimiento del motor.
- Peso del motor: Representa un alto porcentaje del peso final del sistema por lo que es un factor de mucho peso.

2.2.2 Por material de la tubería:

- Peso de la tubería: Este factor se ve relacionado con la facilidad de instalación, además que también afecta a la facilidad de transporte del sistema.
- Durabilidad: Asegura una buena resistencia del elemento a lo largo del tiempo.
- Maniobrabilidad e Instalación: Factor importante en el diseño que implica la facilidad de uso e instalación del sistema.

- Seguridad: Se considera la seguridad de los operarios.
- Resistencia a elementos externos: Implica la exposición a elementos abrasivos y condiciones climáticas variadas.

2.2.3 Por tipo de mecanismo:

- Número de piezas involucradas: Involucra directamente el costo del equipo.
- Facilidad de Instalación: Asegura que el operario maneje el equipo de manera intuitiva.
- Desempeño: Que tanto se adapta el sistema a los requerimientos del cliente.

2.3 Selección

El sistema de calificación utilizado para determinar la mejor alternativa entre las diferentes opciones se explica en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Sistema de Calificación (Elaboración propia)

Calificación	Descripción
1	Muy malo
2	Malo
3	Regular
4	Bueno
5	Excelente

En las Tablas 2.5, 2.6 y 2.7 se desglosan los parámetros utilizados en la selección de la mejor alternativa. Los cuales se basaron en los criterios de diseño y cuyas ponderaciones se calcularon usando la comparación por pares que se encuentra detallada en la Tabla A.1 hasta la Tabla A.6 del

Apéndice A. Concluyendo que el diseño optará por un motor a Diesel, tubería de caucho y un mecanismo de bomba con pistón con tubo S.

Tabla 2.5 Matriz de decisión del tipo de combustible (Elaboración propia)

Por tipo de Combustible					
		Gasolina	Valor Ponderado	Diesel	Valor Ponderado
Precio de Combustible	0.23	3	0.69	4	0.92
Rendimiento por Galón	0.09	3	0.27	4	0.36
Costo de Mantenimiento	0.36	4	1.44	1	0.36
Peso del motor	0.32	4	1.28	2	0.64
Calificación			3.68		2.28

Tabla 2.6 Matriz de decisión por material de la tubería (Elaboración propia)

Por material de la tubería					
		Manguera de Caucho	Valor Ponderado	Tubería de Acero	Valor Ponderado
Peso	0.14	5	0.7	3	0.42
Durabilidad	0.29	4	1.16	2	0.58
Maniobrabilidad e Instalación	0.29	4	1.16	2	0.58
Seguridad	0.07	3	0.21	5	0.35
Resistencia a elementos externos	0.21	4	0.84	3	0.63
Calificación			3.95		2.95

Tabla 2.7 Matriz de decisión por tipo de mecanismo (Elaboración propia)

Por tipo de Mecanismo									
		Bomba de pistón simple	Valor Ponderado	HSP	Valor Ponderado	Bomba con pistón con tubo S	Valor Ponderado	Bomba de Válvula de Bola	Valor Ponderado
Número de Piezas Involucradas	0.27	4	1.08	3	0.81	3	0.81	2	0.54
Instalación	0.18	3	0.54	2	0.36	3	0.54	4	0.72
Desempeño	0.55	3	1.65	2	1.1	5	2.75	2	1.1
	Calificación		3.27		2.27		4.1		2.36

2.4 Diseño Conceptual

Para el diseño conceptual de nuestro sistema se analizaron los principales componentes que conforman la bomba de concreto, así como la función que desempeñan cada uno de estos y como interactúan entre sí.

La bomba de concreto inicia con el motor de combustión interna, el cual acciona la bomba oleohidráulica que está representada por una caja de color celeste en la Figura 2.1. Esta bomba a su vez acciona un par de pistones que desplazan el concreto dentro del sistema, dicho par de pistones se representan con los tubos azules. El material es recibido en la tolva con ayuda de los operarios, la tolva se representa en la Figura 2.1 de color amarillo. Luego de que el concreto se impulsa fuera de los pistones, este pasa por un Tubo S, el cual permite el flujo de concreto de manera continua, este elemento se representa de color rojo. Finalmente, el concreto sale del sistema hacia la manguera de caucho para su posterior distribución. Todo este sistema se encuentra ubicado sobre una estructura conformada de acero y que posee un eje con llantas, la cual cumple la función de dar soporte y estabilidad a los elementos, así como permitir la movilización del sistema de manera más sencilla, esta estructura se representa en la Figura 2.1 de color gris.

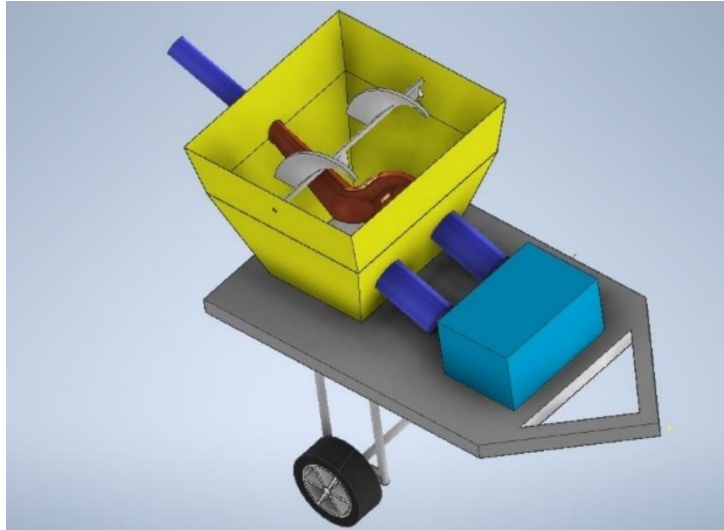


Figura 2.1 Diseño de forma de la bomba de concreto (Elaboración propia)

2.5 Metodología de diseño

Para el diseño de la bomba de concreto se inició seleccionando la tubería encargada de transportar el concreto desde la bomba hasta la losa. Para esto se buscó mangueras de hormigón dentro del mercado nacional e internacional, seleccionando una manguera flexible de 4 pulgadas de caucho natural y caucho estireno butadieno, con refuerzo textil. Esto para reducir la velocidad de salida del material y evitar cualquier problema de obstrucción. Con respecto a la longitud de esta, el fabricante vende por rollos de 3 o 10 metros, en nuestro caso, el equipo se diseña para operar con una altura máxima de 6 metros, que la bomba se puede ubicar máximo a 8 metros de la construcción y que el área promedio de construcción de viviendas es de 128 m^2 de acuerdo con (INEC, 2018). La longitud total de la manguera será de 30 m que corresponde a 10 tramos de manguera de 3 metros. Para poder transportar dicha manguera es necesario adecuar previamente el vehículo que desplaza la bomba y así poder colocar la manguera en el vehículo.

Luego se dimensionó la tolva con un requerimiento determinado por el cliente de $3 \text{ m}^3/h$ de concreto y consideramos que la tolva almacena 250 litros de

concreto. El volumen total de la bomba debe ser el menor posible para almacenarla en espacios reducidos. Con esto, se determinó que el tiempo entre cargas sea de 5 minutos con un volumen de tolva de 0.25 m^3 .

Seguido a esto se diseñó una reja superior, adecuándola a la geometría de la tolva, con la finalidad de evitar que ingresen materiales agregados a la mezcla de tamaños muy grandes. De acuerdo con el manual del constructor (Costa & Arriagada, 2002), el tamaño agregado de partícula tiene un máximo de 40 mm por lo que la reja diseñada con varillas, la reja y la tolva se diseñan con plancha de acero A-36, el cual es utilizado especialmente para fabricar estructuras.

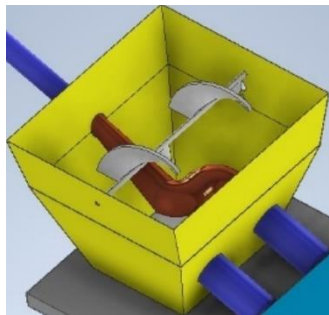


Figura 2.2 Tolva del sistema (Elaboración propia)

Para el bombeo del concreto se usaron 2 cilindros hidráulicos, los cuales se llenan y vacían de concreto alternadamente. Para ello nos basamos en la cantidad de concreto que se necesita desplazar, el cual es de $25 \text{ lt}/\text{min}$ por pistón por lo que determinamos un volumen de pistón de 5 litros con un período de carga y descarga de 12 segundos. Con estos parámetros y partiendo de un diámetro de pistón comercial, se calculó los valores nominales como presión, velocidad y fuerza a los que se sometería el pistón. Luego se agregó un factor de seguridad a la fuerza aplicada sobre los pistones para posteriormente volver a realizar el cálculo y así determinar el diámetro de pistón necesario. El cual se seleccionó utilizando los parámetros

reales y un catálogo de pistones comerciales y luego se determinó el caudal y presión que requieren.



Figura 2.3 Cilindros neumáticos para la operación de la bomba (Elaboración propia)

Para simplificar el diseño se optó por el uso de una válvula S. Donde los cilindros hidráulicos funcionan como un sistema cilindro pistón, con la salida de los cilindros se encuentran sumergidos en la tolva, igual que la válvula S. La válvula S se seleccionó considerando que la salida coincida en tamaño con la entrada de la manguera de hormigón y que su entrada se conecta alternadamente a la salida del cilindro que se encuentre expulsando el concreto desde su interior. Para realizar este movimiento se diseñó un eje unido rígidamente a la válvula S, que coincida concéntricamente al extremo de entrada del concreto de la manguera. El otro extremo del eje se conecta a un pistón neumático que hace rotar el eje, cuya rotación significa el cambio de la entrada de la válvula S de un cilindro neumático al otro.

Para del diseño del pistón que hace rotar la válvula S, se realizó una simulación en SolidWorks para conocer la fuerza de arrastre que se opone al movimiento de la válvula y analizando el equilibrio estático de la válvula, se determinó la potencia requerida en el pistón. Luego se determinó la velocidad angular de la válvula en base a la velocidad de carga y descarga de los cilindros neumáticos, considerando que mientras se descarga el concreto del pistón, la válvula permanece fija a la salida del cilindro.

Conociendo las condiciones de operación del pistón conectado a la válvula S se procedió a seleccionarlo.

Posteriormente se procedió a diseñar el circuito de alimentación los elementos hidráulicos. Respecto a los cilindros hidráulicos, se requiere una línea de alta presión que permita la succión del concreto y una línea de baja presión para expulsar el concreto. Lo mismo ocurre con el pistón de movimiento de la válvula S, para que este se encuentre fijo en una posición, el pistón necesita una línea de fluido a alta presión mientras que, para cambiar de posición, la presión se reduce. Conociendo las trayectorias, se seleccionó una manguera hidráulica, al igual que las juntas y uniones adecuadas.

A continuación, se calcularon las pérdidas primarias y secundarias del sistema en el recorrido del fluido de trabajo. Para lo cual primero se determinó la longitud total del circuito, considerando tramos verticales, horizontales y accesorios. Luego se encontró el parámetro de consistencia con el Cono de Abrams con lo cual se encontró, calculando así las pérdidas de presión. Después se determinó las pérdidas debido al cabezal estático utilizando la ecuación dada por el fabricante de bombas de hormigón estacionaria Pultzmeister.

También fue necesario calcular las pérdidas debido al traslado del concreto al momento de la succión en los cilindros. Así como la expulsión de estos y las pérdidas en su recorrido por toda la manguera hasta llegar a la losa. Para lo cual se utilizó la ecuación empírica para fluidos de Bingham, la cual nos permite determinar la pérdida de cabezal. De la misma forma se procede a determinar la potencia requerida en el pistón de rotación de la válvula S. Con esto se calculó la potencia total requerida en el sistema para seleccionar una bomba oleohidráulica adecuada para la operación.

Luego de esto se seleccionó la manguera hidráulica, para lo cual se utilizaron los parámetros de caudal y la presión que esta debe soportar y así determinar el diámetro que debe tener la misma. Teniendo el diámetro de la manguera y el recorrido dentro del sistema, se calcularon las pérdidas de cabezal debido a la fricción y se determinó la potencia adicional que necesita ser suministrada y el tamaño del tanque de aceite. Luego, se diseñó el circuito hidráulico compuesto por diferentes válvulas. Las cuales se seleccionaron con la finalidad de regular la presión, el caudal y la dirección del fluido en diferentes puntos del circuito. Dicho circuito se simuló con ayuda del Software FluidSim, verificando que el funcionamiento sea el deseado.

Dentro del circuito hidráulico se utilizaron componentes electrónicos que controlen la activación de las válvulas, tales como electroválvulas y finales de carrera. Sin embargo, también fue necesario implementar una función de temporizador para sincronizar los diferentes pistones. Para lo cual se utilizaron relés, resistencias una placa PCB, un Arduino UNO, el cual se programó para cumplir dicha función, y una batería que sirva como fuente de alimentación de todos los componentes nombrados. Este circuito se simuló utilizando el Software Tinkercad para comprobar que el funcionamiento sea el deseado.

Después de esto se buscó entre diferentes opciones hasta encontrar un motor a gasolina considerando la eficiencia que suelen este tipo de motores, que sea capaz de cumplir las necesidades del sistema. Además de las condiciones de bajo ruido, bajas vibraciones y reducción de emisiones debido a que el operador del equipo deberá estar junto a este cuando se encuentre funcionando, además del cumplimiento de las diferentes ordenanzas municipales y nacionales con respecto a las emisiones.

Más adelante, se diseñó una plataforma de sujeción para la colocación de la tolva, los cilindros hidráulicos, la bomba oleohidráulica y el motor de

combustión interna. Primero se determinó los equipos de mayores dimensiones para poder organizarlos con la finalidad de compactar el equipo sin afectar el funcionamiento de estos. Debido a que el tanque de agua, el tanque de aceite y el motor de la bomba son elementos pesados, se optó por colocarlos en la mitad de la bomba para evitar desbalances. Luego se distribuyeron los demás equipos a lo largo de los cilindros, asegurándonos que cumplan la función para lo cual fueron seleccionados. Una vez teniendo la distribución de todos los elementos, se necesita soldar una plancha de acero en la base, para lo cual se seleccionó una medida estándar en concreteiras.

Para el resto de la estructura se utilizó un perfil estructural comercial, que se seleccionó en base a su precio y disponibilidad en el mercado local. Dicha estructura debe ser soldada asegurando 3 de las 4 esquinas del área proyectada longitudinalmente con una garganta que cubre toda la ceja del perfil. Luego toda la estructura necesita ser soldada por su perímetro exterior e interior a la base que sostiene los equipos.

Debido a la necesidad de desplazar el equipo y dado a que el equipo posee un peso considerable. Se diseñó un sistema de ruedas, un punto de sujeción que permita ser sujetado a un vehículo para remolcarlo y por la colocación de 2 postes extensibles que incrementen los puntos de apoyo de la bomba con el suelo, brindando una mayor estabilidad al equipo. Este diseño se basó en un sistema de remolque existente, el cual se adaptó a las geometrías de la estructura.

Para completar el montaje de los elementos se procedió al diseño de las juntas soldadas y empernadas, además de la sujeción de los elementos flexibles internos con la finalidad de evitar interferencias en la operación de otros elementos.

Para proteger el equipo, se procedió a diseñar una cubierta que proteja las partes del equipo y al mismo tiempo, permita el acceso total a todos los componentes de la bomba, de tal manera que el mantenimiento pueda ser realizado de manera sencilla, sin tener que quitar toda la cubierta por lo que esta posee 2 compuertas laterales para el acceso. Toda la estructura es de placa de acero comercial de 3 mm, la cual asegura una correcta protección y no incrementa excesivamente el peso de la bomba. Todo este diseño, desde la distribución de los equipos, hasta el diseño de la cubierta se realizó con ayuda del Software Inventor.

Finalmente se seleccionó dos pinturas para brindar protección ante la corrosión. Para lo cual fue necesario determinar el tipo de material que debía ser pintado, que función iba a cumplir y las condiciones ambientales en donde se iba a utilizar. La primera pintura cumple la función de imprimante mientras que la segunda sirve para la capa intermedia y de acabado.

El desarrollo completo de las ecuaciones utilizadas para el diseño de la bomba de concreto se encuentra en el Apéndice B.

2.6 Normativas

Para la selección del motor a gasolina se consideraron las regulaciones ambientales del país, el motor deberá cumplir las normas de emisiones EURO 6 (Parlamento Europeo y del Consejo, 2007).

EL sistema oleohidráulico fue diseñado con la norma NTE INEN – ISO 12922 (Normalización, 2014) que se aplica a nivel internacional para el uso de lubricantes, aceites industriales y su aplicación en sistemas hidráulicos.

Para determinar la potencia requerida para el desplazamiento del concreto, se consideró que el concreto cumple la norma INEN 1855-2 (Hormigones. Hormigón preparado en obra. requisitos, 2015), la norma nacional (Cemento Portland. Requisitos, 2010) y la norma internacional ASTM C 105-07 (Especificación Normalizada para Cemento Portland, 2007).

Para la protección de la estructura metálica del equipo se procedió a diseñar el proceso de protección de superficies con base a las normas internacionales del consejo de pintura de estructuras de acero (SSPC, por sus siglas en inglés), cumpliendo la normativa SSPC-SP1 y SSPC-SP2 para la preparación de la superficie. Con respecto a la imprimación y el pintado de la estructura, se siguieron los estándares de la norma INEN 2 094 (Pinturas. Esmaltes alquídicos sintéticos para uso doméstico. requisitos., 1998).

Finalmente, para la operación del equipo, su uso, limpieza y mantenimiento, se procedió a establecer el proceso necesario en base las normas de la Asociación Americana de bombeo de Concreto (ACPA, por sus siglas en inglés) y el Manual de seguridad 6 de la asociación.

2.7 Selección de recursos

Fue necesario establecer una localización para así definir donde se adquirirían los recursos, para lo cual nos ubicamos en la ciudad de Guayaquil. Luego, se realizó una lista de materiales necesarios y se concluyó que algunos materiales debían importarse para abaratar costos o porque no se vendían de manera local.

Se designó ferreterías locales para así suministrar elementos que conforman la bomba como planchas y perfiles estructurales, pernos, tornillos y la manguera hidráulica. También se necesitó recurrir a un distribuidor local de neumáticos y rines. La manguera de caucho, la bomba oleohidráulica y el

motor serán importados ya que estos materiales no se pueden conseguir en el mercado local. Finalmente, y con colaboración de un taller mecánico de la localidad se puede fabricar el tubo S, la tolva, los pistones y la estructura que funcionará de soporte para todas las piezas de la bomba de concreto.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan resumidos los resultados más relevantes obtenidos de los cálculos, los cuales se encuentran totalmente detallados en el Apéndice B. Presentando así parámetros de diseño como geometrías, fuerzas, presiones, entre otros, que fueron tomados en cuenta para llegar finalmente al diseño detallado de la bomba de hormigón. Una vez terminado el diseño se analizaron los costos de fabricación de la bomba de hormigón y se realizaron los planos de los equipos principales, del circuito electrónico y del circuito hidráulico, los cuales se encuentran en el Apéndice C.

3.1 Resultados

En la Tabla 3.1 se definen los principales parámetros obtenidos para los pistones que mueven los cilindros de concreto, los cuales sirvieron como referencia en la selección de este elemento.

Tabla 3.1 Resultados obtenidos para los pistones de los cilindros de concreto (Elaboración propia)

Parámetro	Simbología	Valor
Período del pistón	$T_{pistón}$	12 s
Fuerza de Avance del pistón corregido	$F_{pistón\ corregida}$	13950 N
Diámetro real del vástago	$\phi_{vástago\ real}$	40 mm
Diámetro real de pistón	$\phi_{pistón\ real}$	70 mm
Diámetro de rosca del pistón	$\phi_{rosca\ pistón}$	$\frac{3}{8} in$
Longitud real de carrera del pistón	$L_{pistón\ real}$	700 mm
Velocidad real del pistón	V_{real}	$140 \frac{mm}{s}$
Caudal en el pistón seleccionado	$Q_{pistón}$	5.77 GPM
Presión de expulsión del pistón	P_{exp}	3.62 MPa
Presión real en el pistón	$P_{pistón\ real}$	5.38 MPa

En la Tabla 3.2 se muestran los principales parámetros obtenidos para el diseño del pistón encargado de mover la válvula S, la cual se encuentra sumergida en concreto y es la que conecta a los cilindros de concreto con la manguera de hormigón. Con estos parámetros se seleccionó el pistón comercial que se ajuste a nuestras necesidades.

Tabla 3.2 Resultados obtenidos para el pistón de la válvula S (Elaboración propia)

Parámetro	Simbología	Valor
Fuerza ejercida en el pistón de la válvula S	$F_{piston\ s}$	32.83 N
Longitud de carrera del pistón de la válvula S	$L_{piston\ s}$	70 mm
Tiempo de carrera del pistón de la válvula S	$t_{piston\ s}$	2 s
Diámetro del pistón de la válvula S	$\phi_{piston\ s}$	50.8 mm
Presión de avance del pistón de la válvula S	$P_{piston\ avance\ s}$	16197.71 Pa
Velocidad del pistón de la válvula S	$V_{piston\ s}$	$0.035 \frac{m}{s}$
Caudal de avance del pistón de la válvula S	$Q_{avance\ s}$	$7.1 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$
Presión de avance del pistón de la válvula S	$P_{piston\ avance\ s}$	16197.71 Pa
Potencia de avance para desplazar la válvula S	$Pot_{avance\ s}$	0.3577 W
Presión de retroceso del pistón de la válvula S	$P_{piston\ retroceso\ s}$	17279 Pa

Se cálculo los requerimientos de potencia que deben ser cumplidos para poder vencer el cabezal estático, cabezal de presión, contrarrestar las pérdidas de cabezal debido a la fricción dentro de la manguera de hormigón y dentro de la manguera que transporta el aceite hidráulico, los cuales se muestran en la Tabla 3.3. Para así finalmente obtener la potencia total

requerida para cumplir el propósito de este proyecto, el cual es bombear hormigón a una altura de 6 metros.

Tabla 3.3 Resumen de requerimientos de Potencia (Elaboración propia)

Parámetro	Simbología	Valor
Potencia requerida debido a las pérdidas de presión	$Pot_{presión}$	0.47 hp
Potencia hidráulica requerida para mover el hormigón por la manguera	Pot_h	1.05 hp
Potencia total requerida para desplazar el hormigón	Pot_T	1.52 hp
Potencia del sistema	Pot_S	2.60 hp
Potencia de la bomba	Pot_B	3.25 hp
Eficiencia de la Bomba	η_B	0.8
Potencia del motor	Pot_M	6.5 hp
Eficiencia del Motor	η_M	0.5

Se modelaron las diferentes piezas y componentes que conforman la bomba de hormigón utilizando el Software Inventor 2021 como se ve en la Figura 3.1. También se seleccionó ciertos elementos de la librería de este Software para facilitar el diseño. Con el modelo terminado, pudimos conocer las propiedades finales del sistema, como el área superficial total y el peso del sistema, así como conocer la configuración que tendrían los elementos y finalmente obtener los planos detallados de la bomba de hormigón.

Tabla 3.4 Área y Peso de la Bomba de hormigón modelado (Elaboración propia)

Parámetro	Simbología	Valor
Densidad del modelo	ρ_I	1.104 g/cm ³
Masa del modelo	m_I	162.665 kg
Área superficial de la Bomba de hormigón	A_{BH}	36.03 m ²

También se establecieron los requisitos que deben cumplir ciertos elementos del mecanismo como la tolva, los cilindros de concreto, el tanque de aceite, el tanque de combustible, entre otros. Estos requisitos están tabulados en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Resumen de requisitos de elementos del sistema (Elaboración propia)

Parámetro	Simbología	Valor
Volumen de Tolva	\forall_{Tolva}	$0.3125 m^3$
Volumen de cilindro de concreto	$\forall_{cilindro\ de\ concreto}$	$5.208 \times 10^{-3} m^3$
Volumen tanque de aceite	\forall_{aceite}	$12\ galones$
Volumen tanque de combustible	$\forall_{combustible}$	$8\ lt$
Diámetro de manguera hidráulica	ϕ_a	$\frac{1}{2}\ in$
Potencia de la Bomba	Pot_B	$3.25\ hp$
Potencia del Motor	Pot_M	$6.5\ hp$
Peso total de la Bomba de hormigón	W_{BH}	$1.16\ Ton$
Área superficial de la Bomba de hormigón	A_{BH}	$36.03\ m^2$

Se modeló la válvula S utilizando las medidas de una válvula S ya existente en el mercado, la cual se adapta a la geometría de nuestro diseño como se ve en la Figura 3.2. Para posterior a eso importar dicho modelo a SolidWorks con la finalidad de determinar la fuerza de arrastre ejercida por un fluido no newtoniano con comportamiento similar al hormigón como se ve en la Figura 3.3 para calcular el coeficiente de arrastre de la válvula y luego utilizando los parámetros del hormigón determinar la fuerza requerida para contrarrestar la fuerza de arrastre y así conseguir el movimiento deseado en la válvula S.

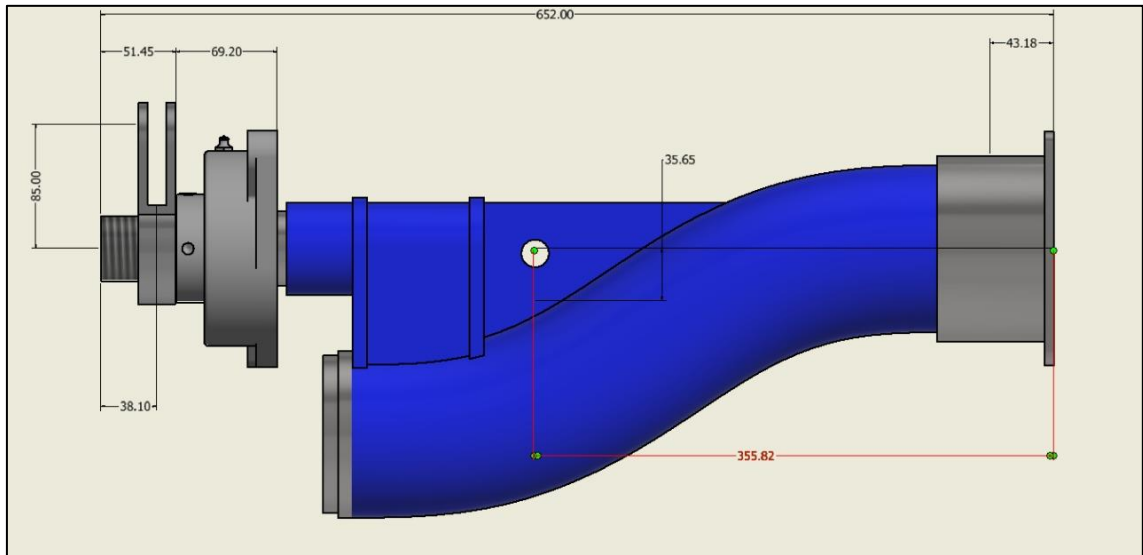


Figura 3.1 Medidas de la Válvula S (Elaboración propia)

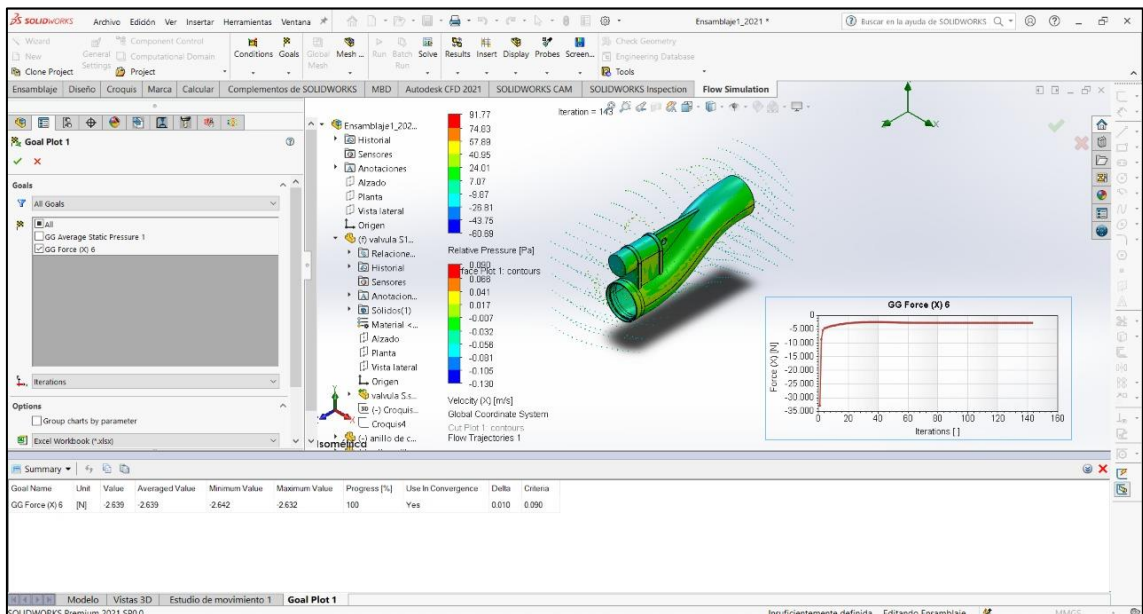


Figura 3.2 Simulación en SolidWorks de la fuerza de arrastre en la válvula S (Elaboración propia)

Se analizó diferentes elementos presentes en la bomba de hormigón estacionaria utilizando análisis por elementos finitos con ayuda del Software Inventor. En el cual se pudo observar el factor de seguridad y los esfuerzos

involucrados dentro de dichos elementos para asegurarnos que no fallen bajo las cargas a las que se someten.

Teniendo así los siguientes resultados para el soporte del pistón de la válvula S desde la Figura 3.3 hasta la Figura 3.14, donde primero se analiza el caso de la fuerza obtenida por cálculos, y luego una fuerza teórica que utilizan los fabricantes de bombas comerciales.

Configuración común	
Tamaño medio de elemento (como fracción de la longitud del cuadro delimitador)	0,008
Tamaño mínimo de elemento (como fracción del tamaño medio)	0,200
Factor de modificación	1,500
Ángulo máximo de giro	30,00 gr
<input checked="" type="checkbox"/> Crear elementos de malla curva	

Figura 3.3 Configuración de la malla para el soporte del pistón (Elaboración propia)

Configuración de convergencia	
10	Número máximo de refinados h
10,000	Criterios de parada (%)
0,750	Umbral de refinado h (de 0 a 1)
Resultados para converger	
<input checked="" type="radio"/>	Tensión de Von Mises
<input type="radio"/>	Primera tensión principal
<input type="radio"/>	Tercera tensión principal
<input type="radio"/>	Desplazamiento
Selecciones de geometría	
<input checked="" type="radio"/>	Toda la geometría
<input type="radio"/>	Incluir geometría seleccionada
<input type="radio"/>	Excluir geometría seleccionada
<input type="button" value="Caras"/>	

Figura 3.4 Configuración del análisis de convergencia para el soporte del pistón (Elaboración propia)

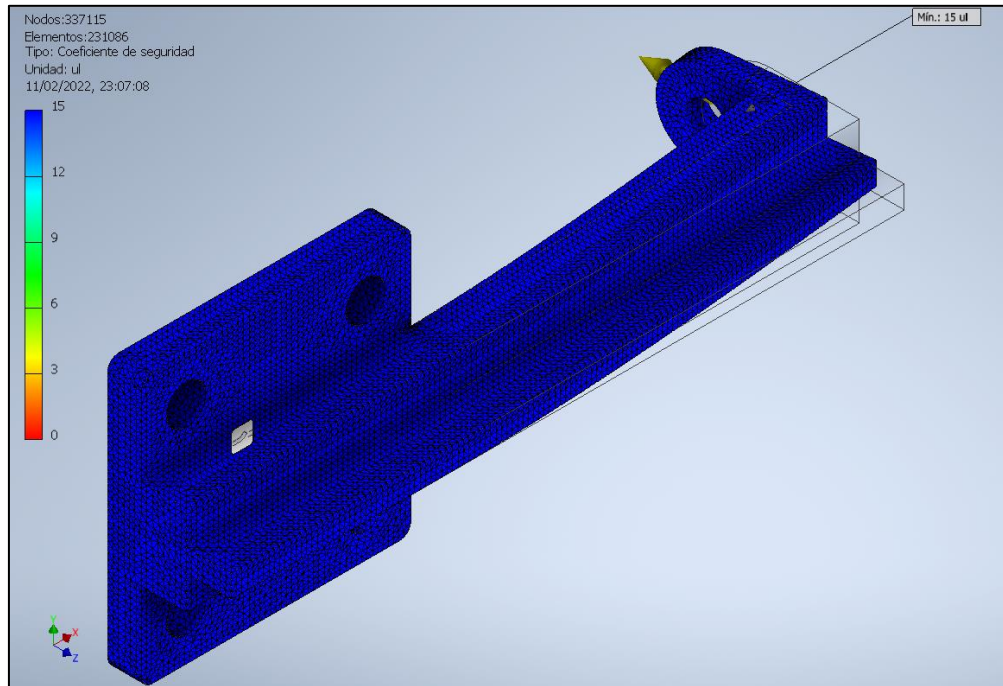


Figura 3.5 Coeficiente de seguridad en el soporte del pistón bajo una carga de 32.83 N (Elaboración propia)

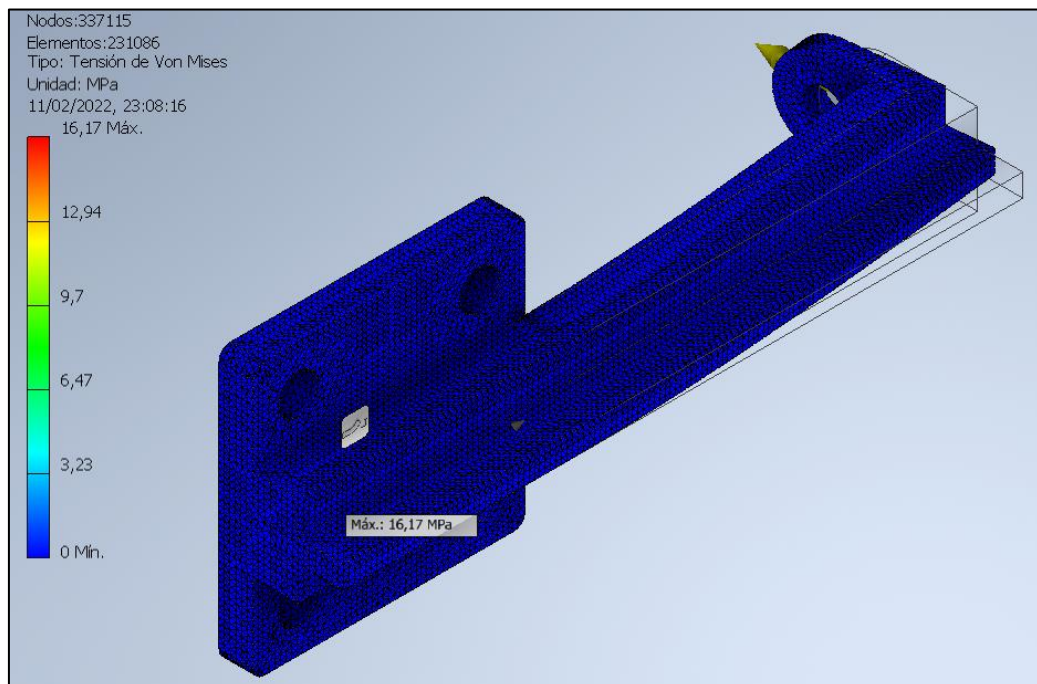


Figura 3.6 Tensión Von Mises en el soporte del pistón bajo una carga de 32.83 N (Elaboración propia)

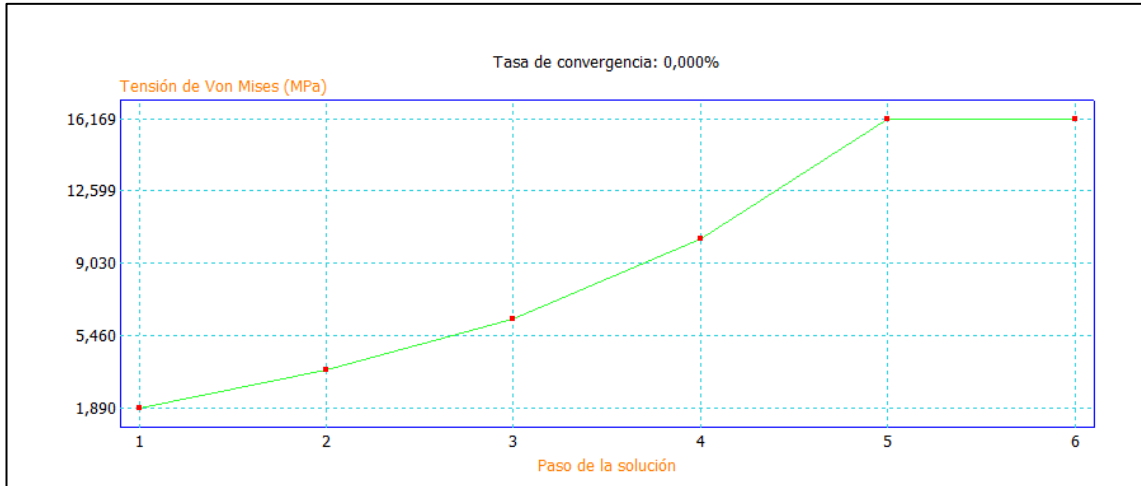


Figura 3.7 Convergencia de la Tensión Von Mises en el soporte del pistón para una fuerza de 32.83 N (Elaboración propia)

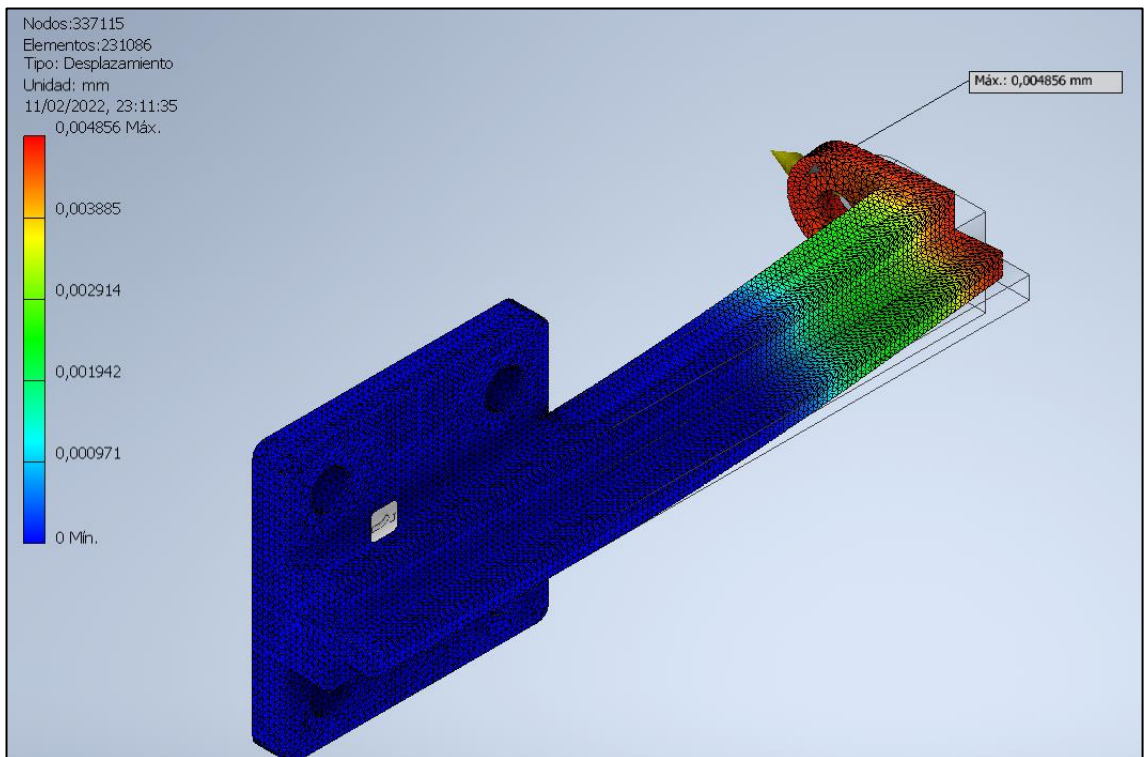


Figura 3.8 Desplazamiento en el soporte del pistón bajo una carga de 32.83 N (Elaboración propia)



Figura 3.9 Convergencia en el desplazamiento del soporte del pistón para una carga de 32.83 N (Elaboración propia)

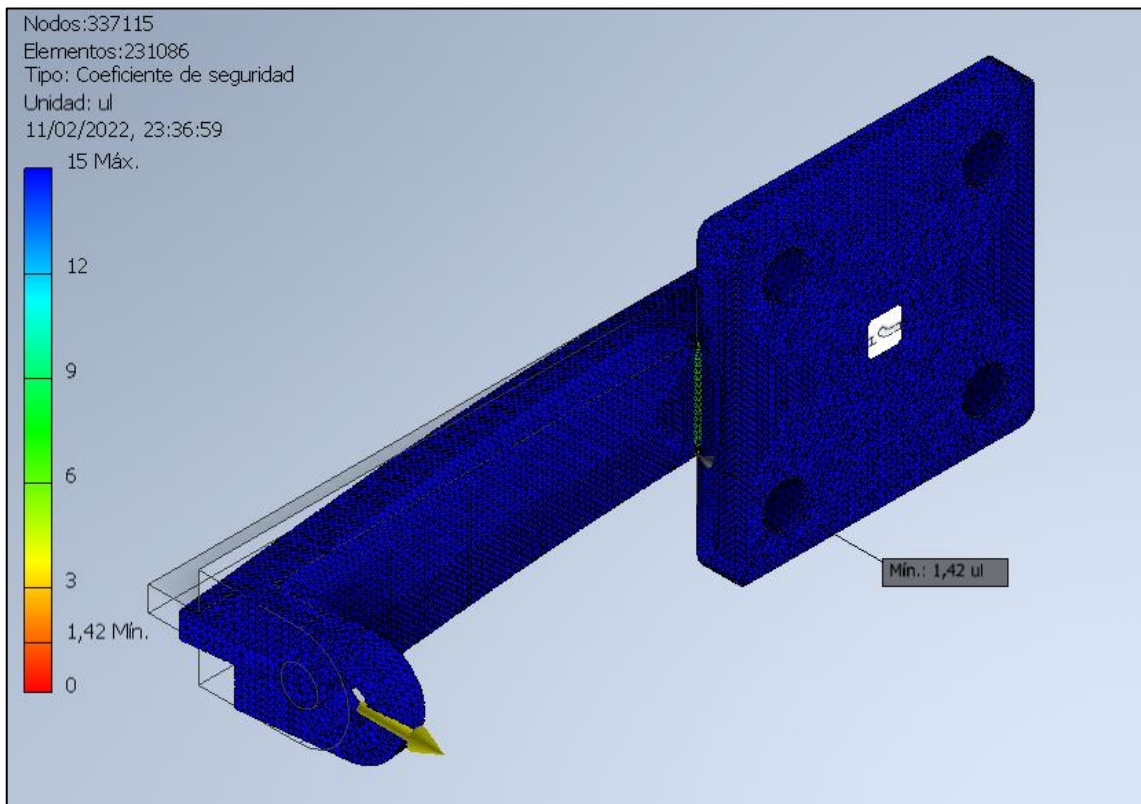


Figura 3.10 Coeficiente de seguridad en el soporte del pistón bajo una carga de 500 N (Elaboración propia)

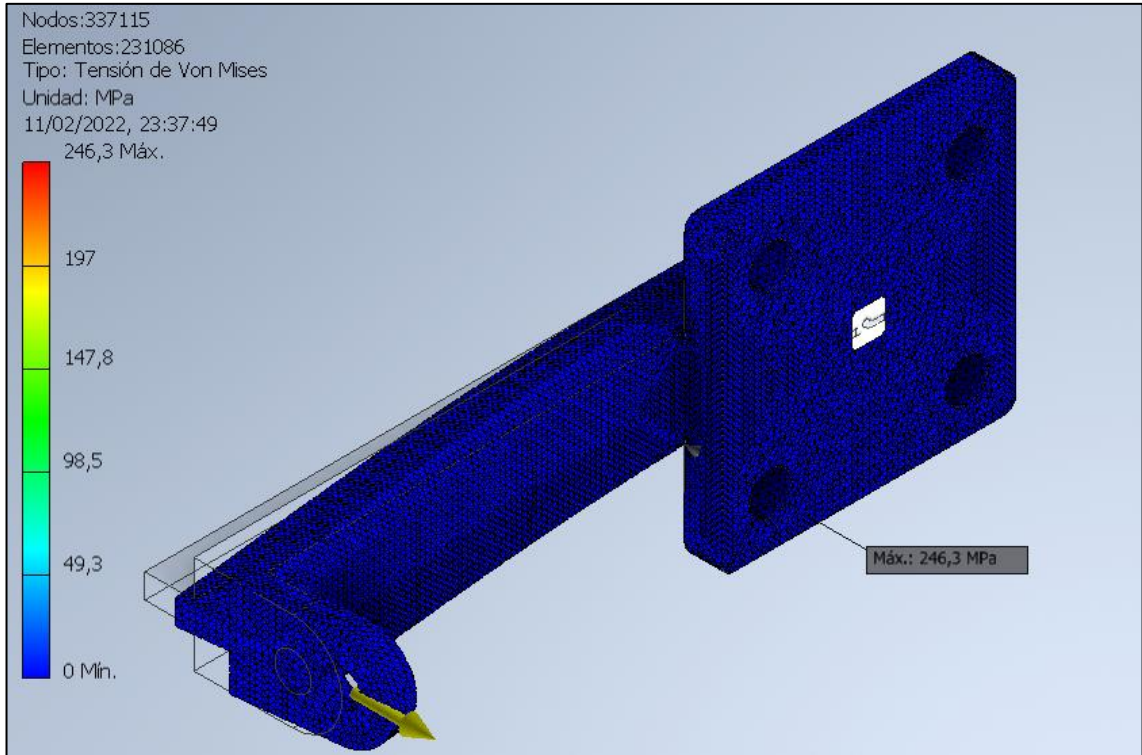


Figura 3.11 Tensión Von Mises en el soporte del pistón bajo una carga de 500 N (Elaboración propia)

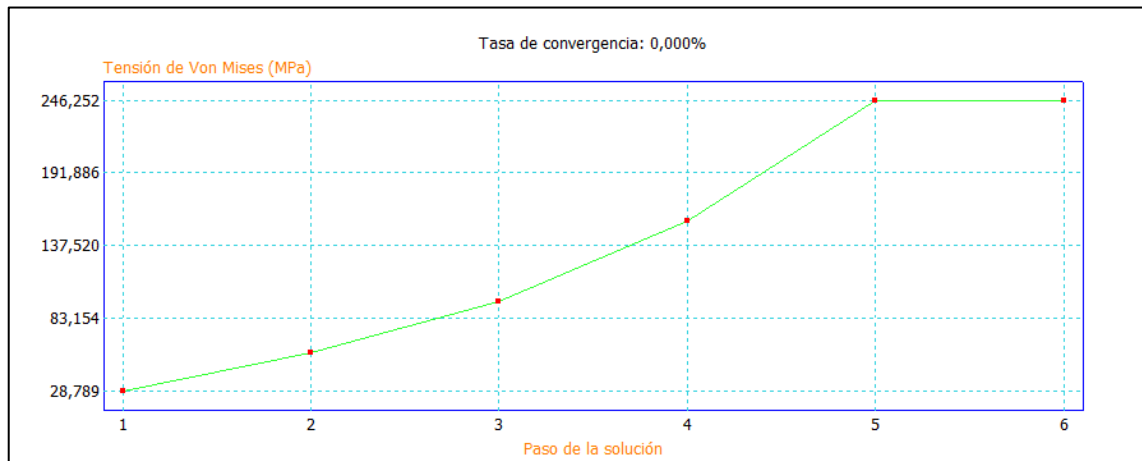


Figura 3.12 Convergencia de la Tensión Von Misses en el soporte del pistón para una fuerza de 500 N (Elaboración propia)

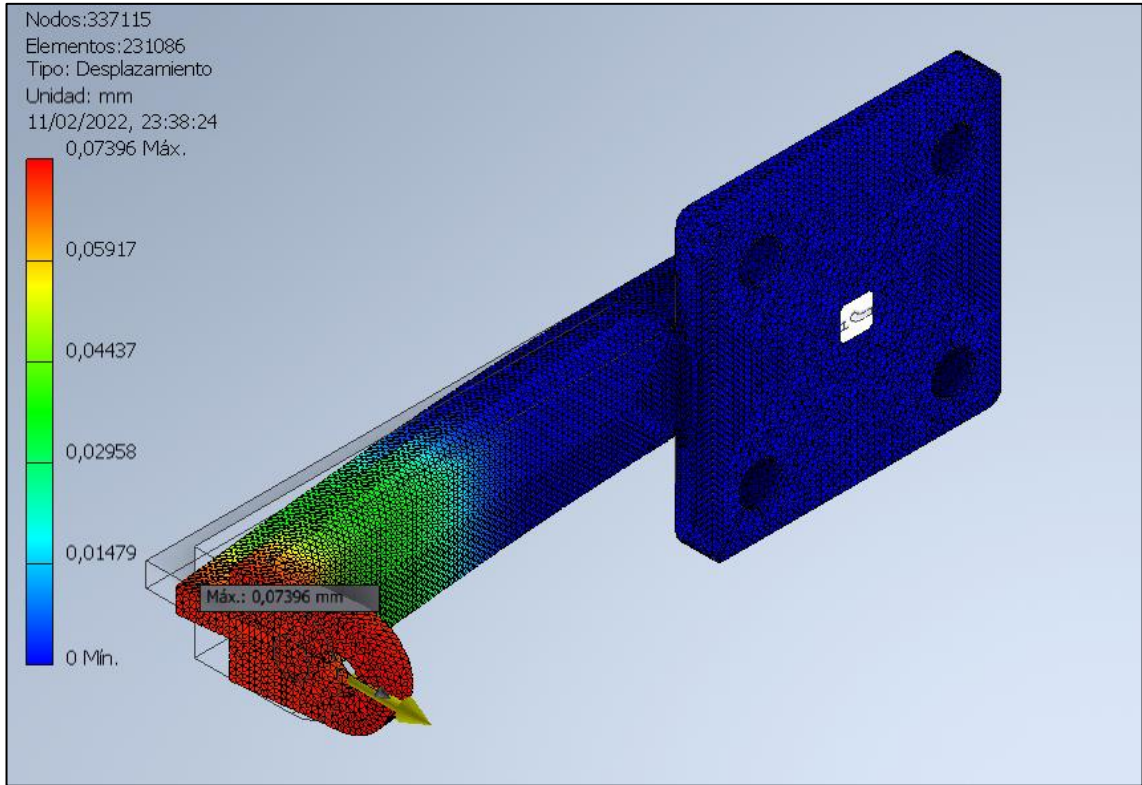


Figura 3.13 Desplazamiento en el soporte del pistón bajo una carga de 500 N (Elaboración propia)

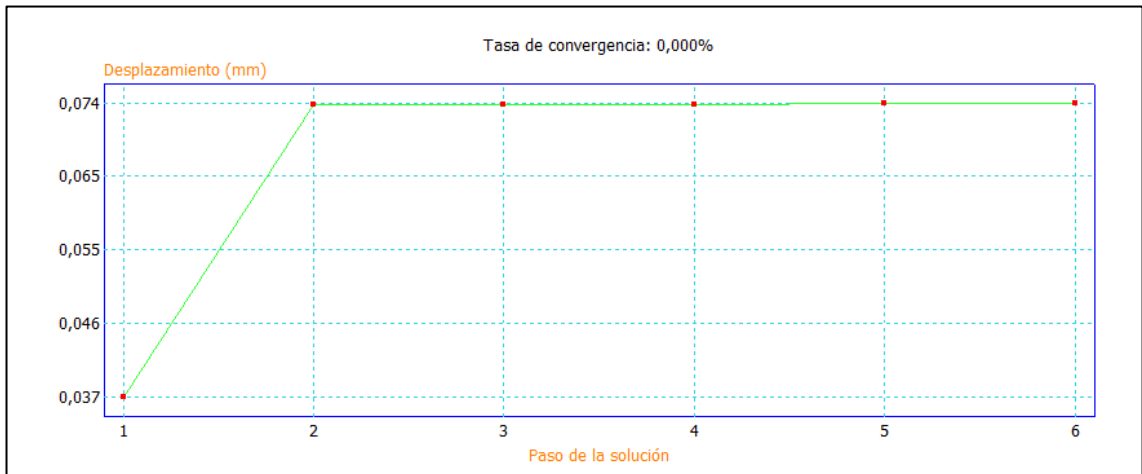


Figura 3.14 Convergencia en el desplazamiento del soporte del pistón para una carga de 500 N (Elaboración propia)

Del mismo modo se procedió a analizar por elementos finitos el vástago del cilindro hidráulico que está conectado a la válvula S, utilizando las mismas

cargas que en el caso del soporte del pistón, lo que se aprecia desde la Figura 3.15 hasta la Figura 3.26.

Configuración común

Tamaño medio de elemento (como fracción de la longitud del cuadro delimitador)	<input type="text" value="0,005"/>
Tamaño mínimo de elemento (como fracción del tamaño medio)	<input type="text" value="0,200"/>
Factor de modificación	<input type="text" value="1,500"/>
Ángulo máximo de giro	<input type="text" value="30,00 gr"/>

Crear elementos de malla curva

Figura 3.15 Configuración de la malla para el vástago del pistón (Elaboración propia)

<input type="text" value="12"/>	Número máximo de refinados h
<input type="text" value="10,000"/>	Criterios de parada (%)
<input type="text" value="0,750"/>	Umbral de refinado h (de 0 a 1)

Resultados para converger	Selecciones de geometría
<input checked="" type="radio"/> Tensión de Von Mises	<input checked="" type="radio"/> Toda la geometría
<input type="radio"/> Primera tensión principal	<input type="radio"/> Incluir geometría seleccionada
<input type="radio"/> Tercera tensión principal	<input type="radio"/> Excluir geometría seleccionada
<input type="radio"/> Desplazamiento	

Figura 3.16 Configuración del análisis de convergencia para el vástago del pistón (Elaboración propia)

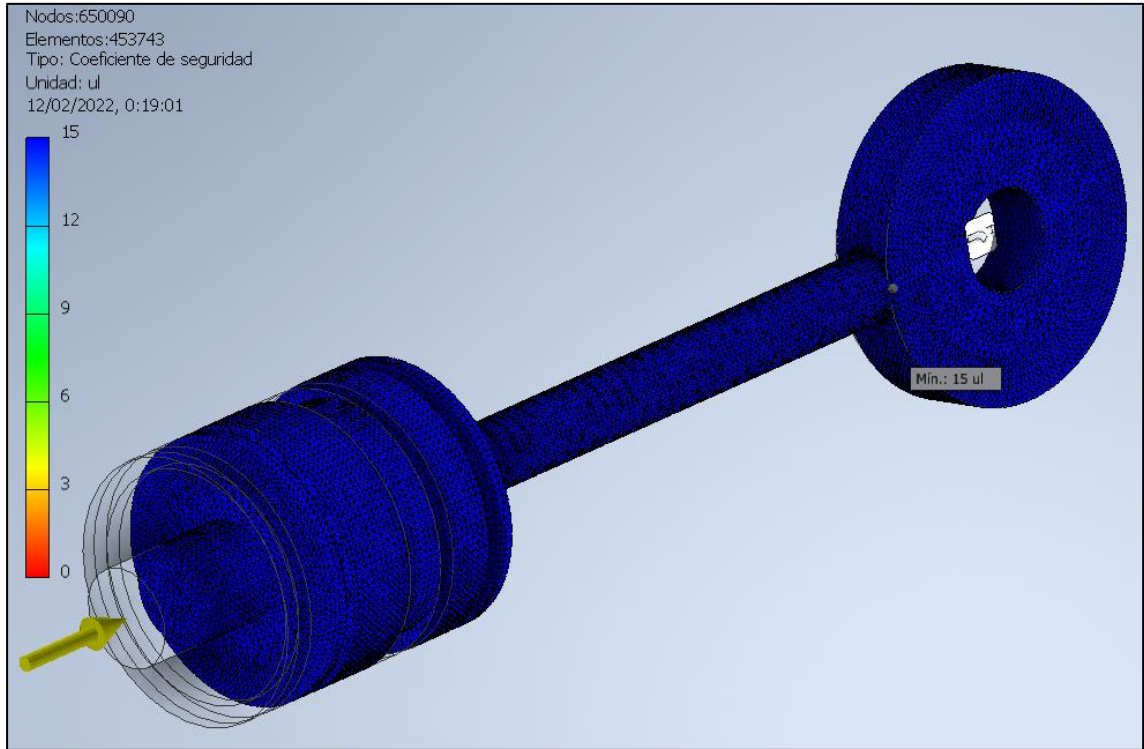


Figura 3.17 Coeficiente de seguridad en el vástago del pistón bajo una carga de 32.83 N (Elaboración propia)

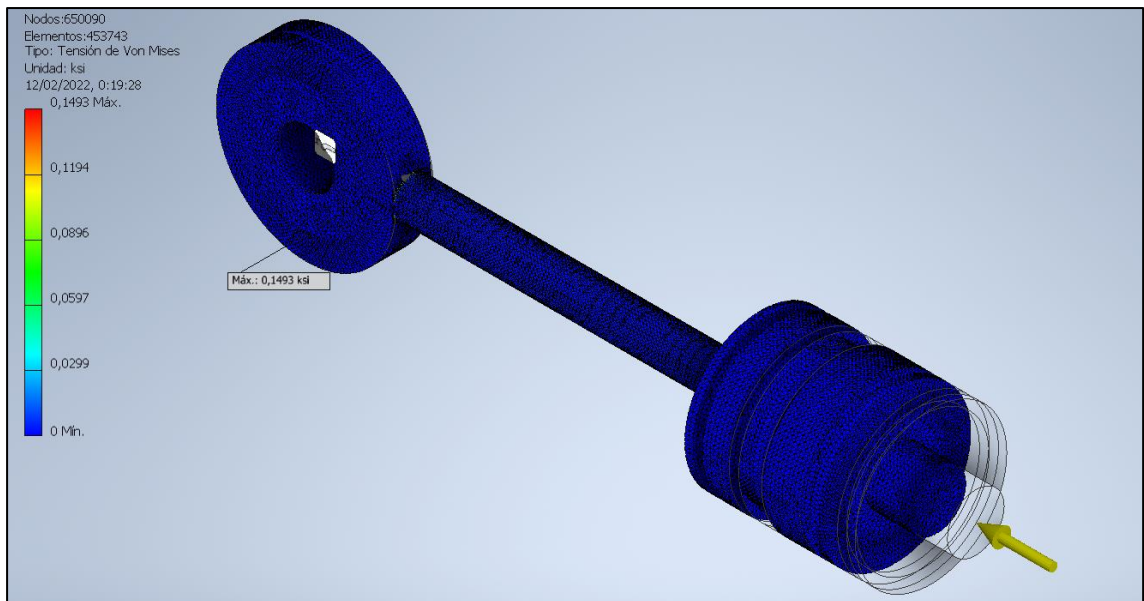


Figura 3.18 Tensión Von Mises en el vástago del pistón bajo una carga de 32.83 N (Elaboración propia)

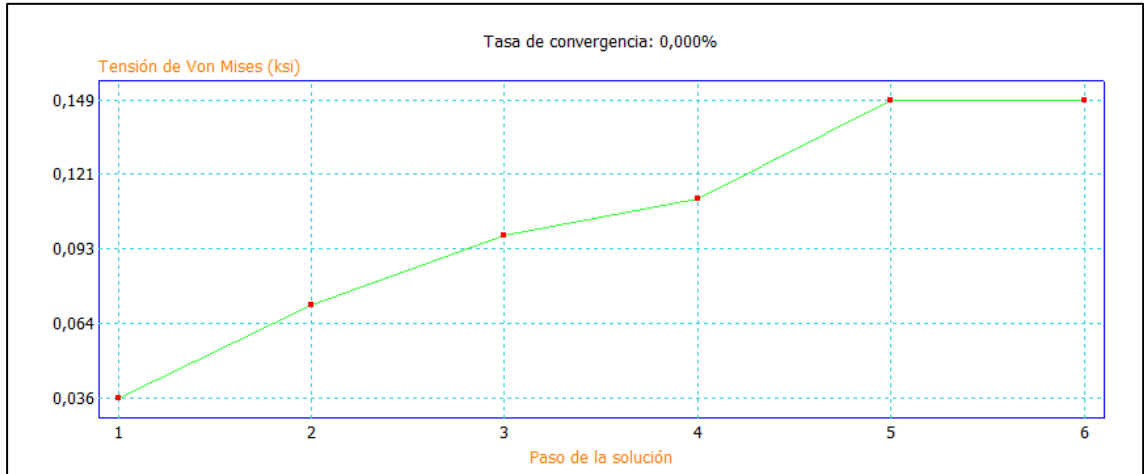


Figura 3.19 8 Convergencia de la Tensión Von Misses en el vástago del pistón para una fuerza de 32.83 N (Elaboración propia)

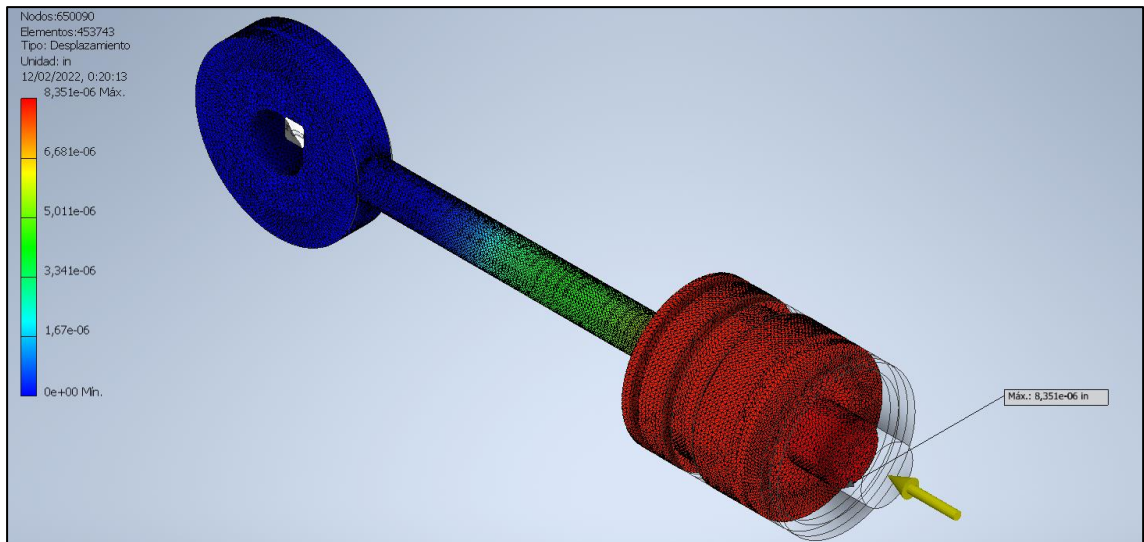


Figura 3.20 Desplazamiento en el vástago del pistón bajo una carga de 32.83 N (Elaboración propia)

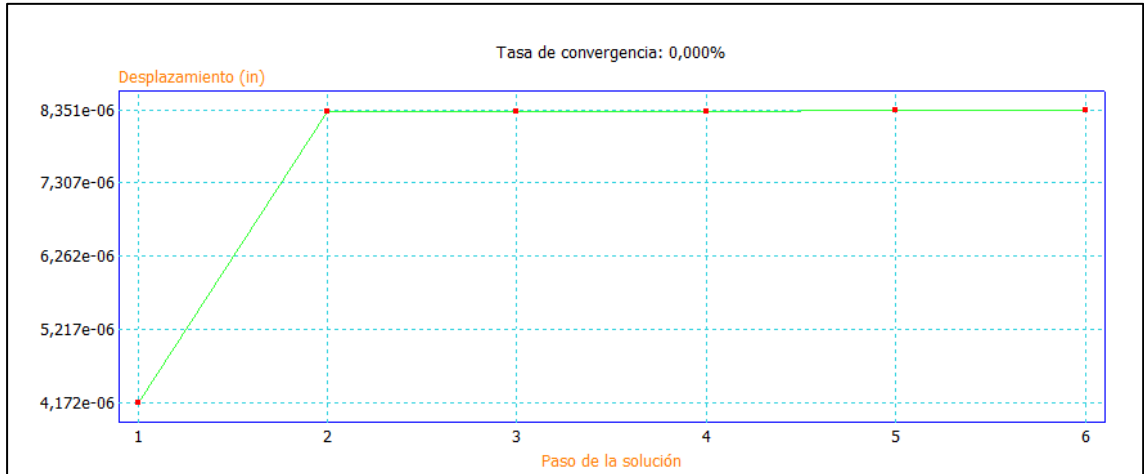


Figura 3.21 Convergencia en el desplazamiento del vástago del pistón para una carga de 32.83 N (Elaboración propia)

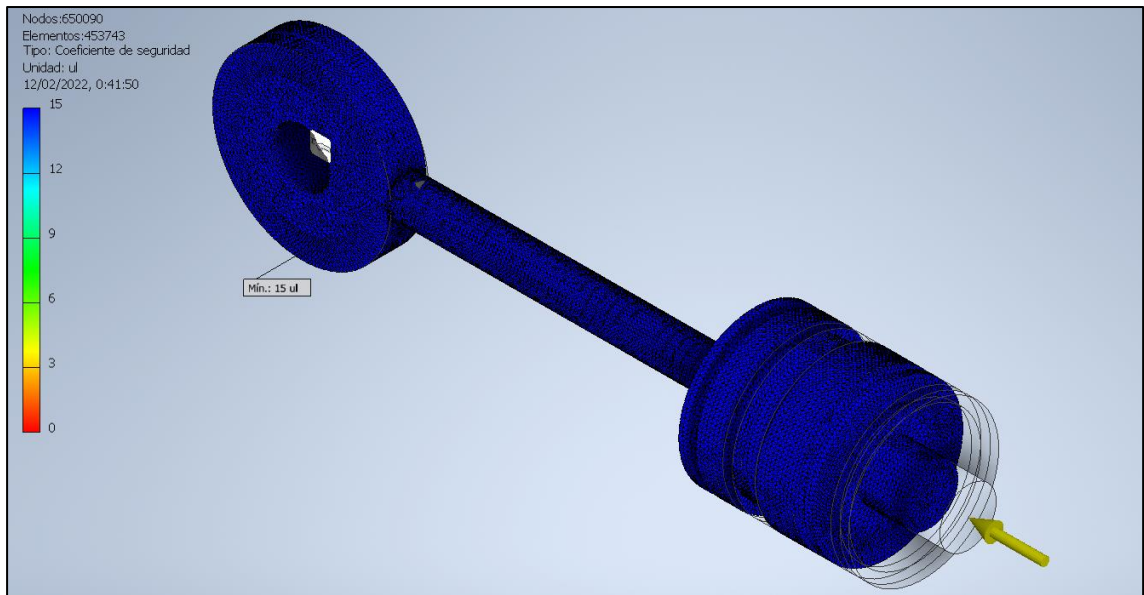


Figura 3.22 Coeficiente de seguridad en el vástago del pistón bajo una carga de 500 N (Elaboración propia)

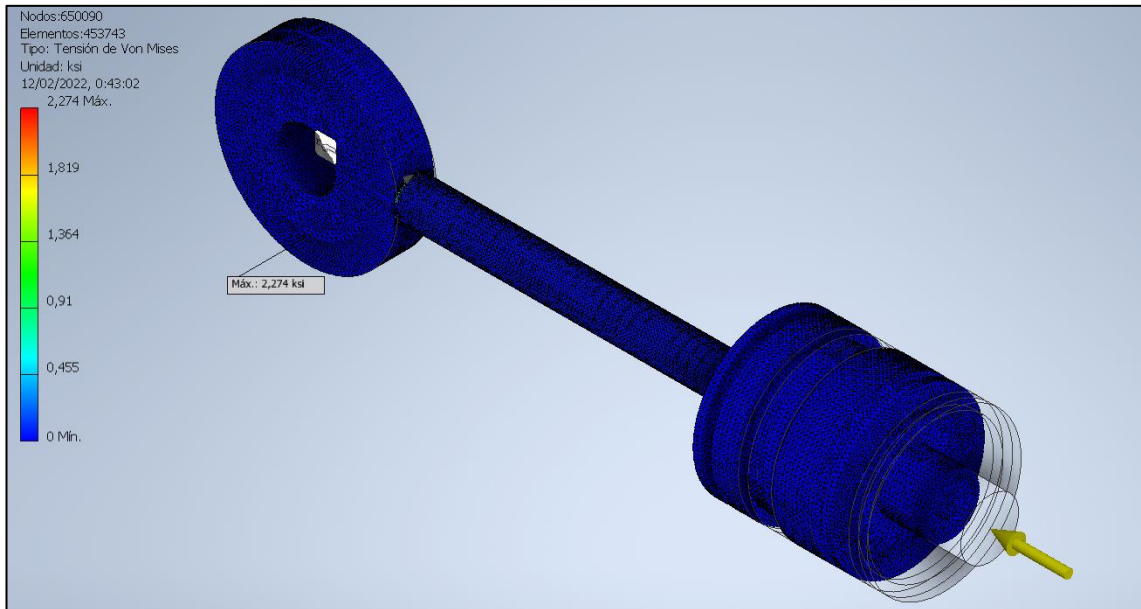


Figura 3.23 Tensión Von Mises en el vástago del pistón bajo una carga de 500 N (Elaboración propia)

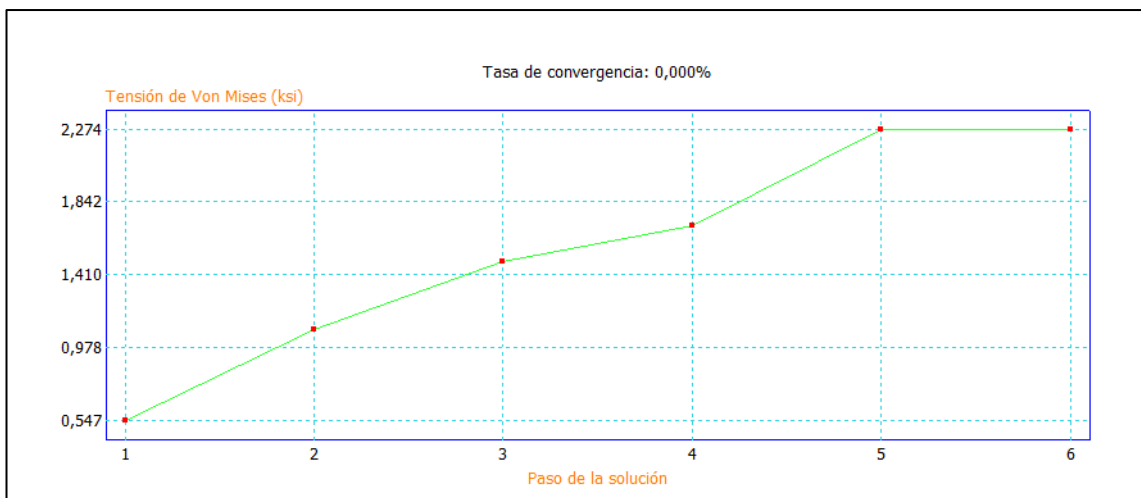


Figura 3.24 Convergencia de la Tensión Von Misses en el vástago del pistón para una fuerza de 500 N (Elaboración propia)

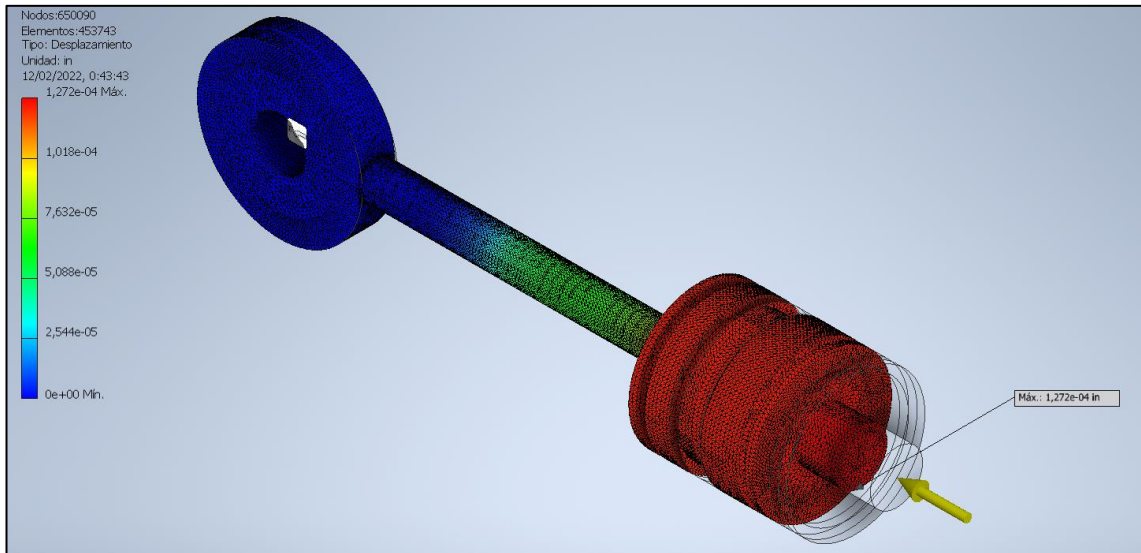


Figura 3.25 Desplazamiento en el vástago del pistón bajo una carga de 500 N (Elaboración propia)



Figura 3.26 Convergencia en el desplazamiento del vástago del pistón para una carga de 500 N (Elaboración propia)

3.2 Análisis de Costos

A continuación, en la Tabla 3.6 se detallan los costos implicados de los diferentes equipos y componentes que conforman la bomba de hormigón, los precios de cada elemento se los obtuvo cotizando en diferentes páginas de ventas como se evidencia en el Apéndice C.

Tabla 3.6 Costos de Fabricación de la Bomba de Hormigón (Elaboración propia)

Costos de	Equipo	Descripción	Costo Unitario	Costo por importación	Cantidad	Costo total
Componentes Mecánicos	pistón de válvula S	$\phi = 40 \text{ mm}$ $L = 70 \text{ mm}$	25	10	1	35
	Chumacera de pared Modelo SKFF2B200FM	$\phi = 2 \text{ in}$	15	0	1	15
	válvula S	$\phi = 4 \text{ in}$	150	60	1	210
	Bomba Hidráulica	$Q = 5.7 \text{ GPM}$	35	14	1	49
	Motor de gasolina	$Pot = 6.5 \text{ hp}$	120	48	1	168
	Acople	$\phi = 2 \text{ in}$	14.5	0	1	14.5
	Anillo de corte y gafas	<i>Material: Carburo Duro 22</i> $\phi = 4 \text{ in}$	235	94	1	329
	Angulo de acero	<i>Dimension: 30x30x2</i> <i>Dimension: 50x50x3</i>	60.84	0	1	60.84
	Plancha de acero galvanizado	<i>Espesor = 50 mm</i> <i>Espeso = 70 mm</i>	46.86	0	4	187.44
	Platina	<i>Espesor = 50 mm</i>	5.57	0	2	11.14
	pistón hidráulico	$\phi = 70 \text{ mm}$ $L = 700 \text{ mm}$	17.02	6.808	2	47.656
	Tubo acero	$\phi = 4 \text{ in}$	27.47	0	1	27.47
	Tubo cuadrado acero inoxidable	<i>Dimensión = 50x50x3</i>	43.6	0	0.5	21.8
	Tanque de aceite	$\forall = 12 \text{ Galones}$	129.99	51.996	1	181.986
	neumáticos y aros	<i>Juego de llantas Rin 13</i>	75	0	1	75
	Manguera para concreto	$\phi = 4 \text{ in}$	110	0	10	1100
	Pintura de acabado	<i>Esmalte acrílico</i>	16.41	0	1	16.41
	Pintura imprimante	<i>Imprimante Oleofenólico</i>	85	0	1	85
	Pernos	$r = 3/8 \text{ in}$	0.227	0	22	4.994
	Acople de Salida de manguera	$\phi = 4 \text{ in}$	15	0	1	15

Costos de	Equipo	Descripción	Costo Unitario	Costo por importación	Cantidad	Costo total
	Pistón de goma	$\phi = 4 \text{ in}$	4.9	1.96	1	6.86
	Unión de manguera	$\phi = 4 \text{ in}$	20	8	9	252
	Tanque de Combustible	$\nabla = 7 \text{ Galones}$	35	14	1	49
Componentes Hidráulicos	válvula reguladora de caudal	$\phi = 1/2 \text{ in}$	26.89	0	2	53.78
	válvula reguladora de presión	$\phi = 1/2 \text{ in}$	50	0	2	100
	Sello hidráulico	$\phi = 1/2 \text{ in}$	1	0	5	5
	Válvula Check	$\phi = 1/2 \text{ in}$	9.79	0	1	9.79
	Manguera hidráulica	$\phi = 1/2 \text{ in}$	6.5	0	5	32.5
Componentes Electrónicos	electroválvula	$\phi = 1/2 \text{ in}$ 3 posiciones	15	0	2	30
	Final de Carrera	N/A	6	0	2	12
	Arduino Uno	Arduino Uno + USB	12	0	1	12
	Resistencias eléctricas	$\Omega = 700 \text{ ohm}$ $\Omega = 500 \text{ ohm}$	2	0	1	2
	Batería	Voltaje = 12V Amperaje = 1.2 Ah	10.45	0	1	10.45
	Placa PCB	Diseño de Circuito y placa	35	0	1	35
	relé	LU – 5 – R	1.05	0	4	4.2
Manufactura	Tolva y Depósito de Agua	Fabricación	81	0	1	81
	armazón	Fabricación	68.6	0	1	68.6
	Costo de Fabricación	Mano de Obra Costo de Diseño			1	517.12
Costo total de la Bomba						3899.14

3.3 Análisis de Resultados

- Modificar el diámetro de la manguera de hormigón afecta de manera drástica la potencia que necesita suministrar el motor, pudiendo duplicar o triplicar la potencia si se reduce el diámetro, esto se aprecia mejor en

el nomograma de la Figura A.19 del Apéndice A. Es por esto, se optó por mantener un diámetro de manguera para el hormigón de 4 pulgadas, con la finalidad de reducir la potencia requerida y por ende los costos de los equipos.

- El tamaño de los pistones influye en la fuerza que necesita aplicarse para poder bombear el concreto, esto corresponde al principio de Pascal, el cual hace que el área de un fluido actúe como un multiplicador de fuerza. Es por esto que no es recomendable utilizar pistones con diámetros pequeños, ya que de esta manera necesitaríamos bombear el fluido con más fuerza para conseguir el mismo resultado, lo que implica un mayor consumo de potencia.
- La fuerza que se necesita para desplazar el pistón conectado a la válvula S es mínima, esto lo podemos atribuir a que la válvula se desplaza a una velocidad sumamente pequeña y como la fuerza de arrastre es proporcional al cuadrado de la velocidad de desplazamiento de la válvula, esta decrece de manera significativa. Que la fuerza necesaria en este pistón sea tan pequeña permite seleccionar pistones según la geometría, la que mejor se adapte a nuestro diseño.
- Al dimensionar el tanque de aceite, vemos que se necesita 12 galones lo cual es un tamaño considerable, y esto se debe a que se necesita un gran caudal para accionar los pistones debido al peso y viscosidad plástica del hormigón.
- Al analizar los elementos que componen la bomba de hormigón, como el pistón que mueve la válvula S, o la base de dicho pistón con ayuda del análisis por elementos finitos podemos ver que el factor de seguridad es superior a 15, esto indica que podemos manejar cargas con magnitudes

al menos 15 veces superiores y esto considerando el pistón con las dimensiones más pequeñas encontradas en el mercado local.

- El peso total de la bomba de hormigón al ser de 1.15 Ton es equiparable al de un auto pequeño por lo que para poder movilizarlo se necesitará de un vehículo de transporte pequeño, de preferencia una camioneta para evitar posibles daños en la carrocería debido al peso. Además, a pesar de contar con llantas, el punto de apoyo del sistema sirve para evitar que el equipo una vez colocado se mueva debido a la fuerza de reacción de bombear concreto.
- Analizando el sistema diseñado con los criterios de diseño propuestos, concluimos que la bomba de hormigón estacionaria compensa los costos debido al precio y rendimiento del combustible con el costo debido al mantenimiento. Además, que al usar un motor de gasolina su peso se reduce. En cuanto a la tubería, esta tiene un costo y peso considerable y una baja maniobrabilidad. Sin embargo, esta tiene una buena resistencia a elementos externos, buena durabilidad y aporta seguridad al operador. Por último, el mecanismo seleccionado cumple muy bien los tres criterios, ya que este sistema cuenta con pocas piezas que necesitan ser diseñadas y seleccionadas, el uso del sistema es intuitivo y el sistema se adapta a diferentes escenarios.
- Se calculó el costo unitario de producción una bomba de hormigón, el cual nos deja un precio de venta del equipo competitivo ya que, si bien es cierto que se pueden conseguir equipos hasta 1000 dólares más económicos, los aranceles disminuirían esa brecha entre los costos. Además de que, si llegase a fabricar la bomba por lotes, el precio se reduciría aún más, haciéndola una alternativa más viable para las personas que trabajan en el área de construcción y que cuentan con poco capital para invertir. Al comparar el diseño propuesto con las alternativas

existentes en el mercado, podemos ver que nuestra bomba es cuatro veces más pequeña, lo que no compensaría el costo de inversión, ya que, de existir una bomba de hormigón con nuestra misma capacidad, el precio estimado de dicho equipo estaría entre 1000 y 2000 dólares. Esto debido a que los grandes productores de equipos industriales tienen la facilidad de fabricar sus propias piezas reduciendo los costos de fabricación.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se logró diseñar de manera exitosa una bomba de hormigón estacionaria con la capacidad de bombear una cantidad de $3 \frac{m^3}{h}$, considerando que el destino a donde se enviará el hormigón se encuentra a una distancia horizontal de 24 m y a una altura de 6 m, permitiendo la fundición de una loza de una construcción con un mínimo de 3 obreros. Reduciendo de esta manera en un mínimo de 4 trabajadores, esto considerando que una fundición promedio toma en promedio entre 7 y 10 trabajadores.
- Implementar la bomba de hormigón propuesto permitirá el transporte de material a pisos superiores en obras de construcción de una manera más eficiente y segura, lo que evitará posibles accidentes debido a caídas a distinto nivel y enfermedades laborales relacionadas a la construcción como lesiones por transportar cargas pesadas.
- Con el uso de la dinámica de fluidos computacional, se logró determinar la fuerza de arrastre que produce el concreto sobre la válvula S al momento que esta alterna su entrada entre los pistones de bombeo de concreto. Aunque no fue posible realizar la simulación con el hormigón como fluido de trabajo, se realizó la simulación con un fluido de Bingham para luego corregir este valor mediante la relación de viscosidad y densidad existente entre el fluido simulado y el hormigón con la composición que fue considerada en el presente trabajo.
- Se logró determinar el costo aproximado de producción de la bomba de hormigón y se comparó con los costos de productos similares de producción de origen chino, obteniendo un costo superior. Esto se debe a que nuestro costo se basó en el precio minorista local de los diferentes

componentes y materia prima para la producción de la bomba. Además, a lo largo de todo el proceso de diseño se optó por ser conservadores al momento de dimensionar los componentes y calcular las pérdidas del sistema. También, promover la compra del diseño propuesto evita la fuga de divisas al importar los equipos, así como brinda la oportunidad de crear nuevas fuentes de ingresos para trabajadores nacionales, los cuales podrían dedicarse a la fabricación de estos equipos.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda que probar el sistema diseñado para verificar la exactitud de los resultados, lo que se podría realizar con un prototipo previo a su implementación ya que, el hormigón tiene un comportamiento muy particular, además de existir varios tipos de aditivos y clases de cementos autocompactantes que provocan grandes cambios al momento de calcular sus pérdidas, esto debido a que el concreto es considerado como un fluido no newtoniano, siendo encasillado como un fluido de Bingham. Con un comportamiento reológico que varía en función de las concentraciones de grava y arena que la mezcla posea.
- Las personas encargadas de operar la bomba de hormigón deben utilizar equipo de protección personal, tales como chaleco reflectivo, gafas de seguridad, protección auditiva y botas antideslizantes, y además deben ser previamente capacitadas en el uso de esta con la finalidad de evitar accidentes laborales que terminen perjudicando el bienestar de los operarios o la integridad del equipo.
- Realizar una limpieza de los componentes móviles al final de cada uso, esto evita que se formen cuerpos sólidos debido al hormigón bombeado que circula en contacto con estos y alarga el tiempo de vida del equipo.
- Evaluar la calidad de los materiales propuestos para el diseño de la bomba del presente documento y compararlo con los materiales empleados en las

bombas de fabricación china para lograr obtener una comparación más real, donde la relación calidad/precio pueda dar más claridad a la factibilidad para la construcción de una bomba de hormigón en el país, considerando los costos de importación del producto y el costo de operación y mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- AEM Innovación & Solución Bombeo de Concreto. (26 de Octubre de 2017). Bombas de Concreto- Sistema hidráulico de flujo libre.
- Aspiazu, L. (1924). *Inalterables por las aguas del mar y por las seleniotosas*. Zumaya: Cementos Uriarte Zubimendi, S.A.
- ASTM. (2007). Especificación Normalizada para Cemento Portland. *ASTM C150-07*. ASTM.
- Balbas, A. D. (2001). *Caracterización de morteros*. En: *Rocas, Morteros y Ladrillos. Caracterización y restauración*. Univ. Zaragoza.
- Boucherie, J. (2016). *Hormigón ligero*. Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación.
- Burgos, A., Olmo, J. C., & Pérez, M. S. (2014). *Hornos y fábricas de cemento natural en Andalucía oriental*. Málaga: Fundación Patrimonio Industrial de Andalucía.
- Cáceres, S., & Belizario, G. (2018). *Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento*. Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno Perú.
- Carillo, V., & Aracely, P. (2021). *Uso de levadura Saccharomyces cerevisiae como aditivo para modificar las propiedades de la*. Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Carnicer, E. (1998). *Oleohidráulica conceptos básicos*. Parainfo.
- Chan, P. (1993). Quantitative analysis of aggregate shape based on fractals. *ACI Materials journal*, 357.
- CICROSA HIDRAULICA. (2020). *Cilindros Doble Efecto Estándar Sin Amarres*. CICROSA HIDRAULICA.
- Collins, S. B. (2008). *Moody diagram*. University of Sheffield.
- Costa, R. C., & Arriagada, J. E. (2002). *Manual del Constructor*. Grupo Polpaico.

- FLORES, L. M. (2017). *PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO*. Moquegua: UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI.
- Gómez, J. (25 de 02 de 2016). *¿Diésel o Gasolina?: Estas son las diferencias entre ambas mecánicas*. Obtenido de autonación.com: <https://www.autonacion.com/diferencias-motor-gasolina-diesel/>
- INEC. (12 de 10 de 2018). Encuesta Anual de Edificaciones (Permisos de Construcción), 2017. Ecuador: Boletín Técnico N°01-2018-ENED.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (18 de 03 de 1998). Pinturas. Esmaltes alquídicos sintéticos para uso doméstico. requisitos. *NTE 2094:98*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010). Cemento Portland. Requisitos. *NTE INEN 152*. Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- KBK. (2019). *Acoplamiento de Precisión*. KBK Antriebstechnik GmbH.
- Martí, J. V., Yepez, V., & González, F. (2014). *Fabricación, transporte y colocación del hormigón*. Universitat Politècnica de València.
- Mehta, P. K. (2008). *Concreto. Microestructura, propiedades e materiais*. imcyc.
- Normalización, I. E. (2014). LUBRICANTES, ACEITES INDUSTRIALES Y PRODUCTOS RELACIONADOS (CLASE L). FAMILIA H (SISTEMASHIDRÁULICOS). ESPECIFICACIONES PARA LAS CATEGORÍAS HFAE, HFAS, HFB, HFC, HFDR Y HFDU) (ISO 12922:2012, IDT). *NTE INEN-ISO 12922*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Ordóñez, S. A. (2015). *Algoritmo paralelizado de Newton-Scharz para el flujo de un fluido de Bingham*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Palbol, L. (1996). Optimización de los agregados para concreto. "Construcción y tecnología. *Construcción y tecnología*, 30.
- Parlamento Europeo y del Consejo. (29 de 06 de 2007). Reglamento (CE) n°715/2007. Diario Oficial n° L171.
- Putzmeister. (2001). *Bombas de Hormigón Estacionarias*. Putzmeister.

- Putzmeister. (2003). *Sistemas de tuberías de transporte*. Putzmeister.
- Putzmeister. (2008). *Mining Equipment*. Recuperado el 02 de 12 de 2021, de Putzmeister.com: <https://www.putzmeister.com/web/northamerica/products/-/product-navigation/mining-equipment>
- Putzmeister. (22 de Febrero de 2019). Putzmeister: EKO Single piston pump.
- Putzmeister. (22 de Febrero de 2019). Putzmeister: HSP seat valve piston pump.
- Putzmeister. (22 de Febrero de 2019). Putzmeister: KOS double piston pump.
- Putzmeister. (22 de Febrero de 2019). Putzmeister: KOV Piston pump with ball valves.
- REPSOL. (2021). *MAKER TELEX HVLP*. REPSOL.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2015). Hormigones. Hormigón preparado en obra. requisitos. *NTE INEN 1855-2*. Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- TecniMan. (2021). *MANGUERA EN-854 2TE*. TecniMan.
- Vilorio, J. R. (2001). *Prontuario de hidráulica industrial*. Ediciones Parainfo.
- White, F. M. (1984). *Mecánica de Fluidos*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Zuniga, M. G. (2021). *Generalidades del cemento y del concreto*. Universidad Autónoma de Coahuila.
- Zúñiga, J. M. (2018). *LAS ECUACIONES DE NAVIER-STOKES UN ACERCAMIENTO AL PROBLEMA DE UN MILLON DE DOLARES. CONCIENCIA Y TÉCNICA*.

APÉNDICES

APÉNDICE A

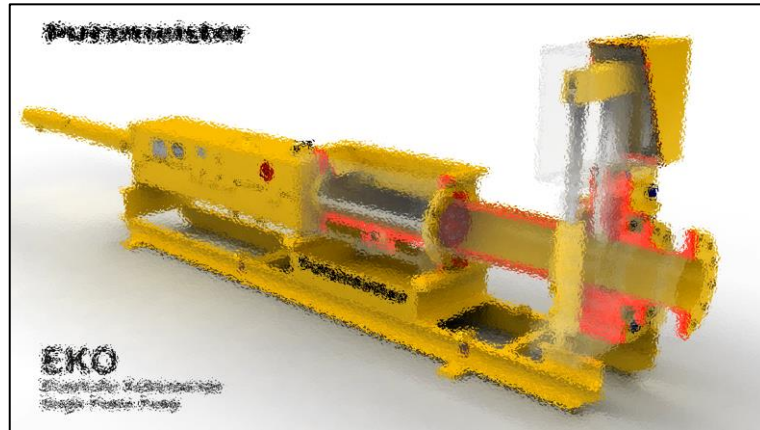


Figura A 1 Mecanismo con Bomba de pistón simple (*Putzmeister, Putzmeister: EKO Single piston pump, 2019*)

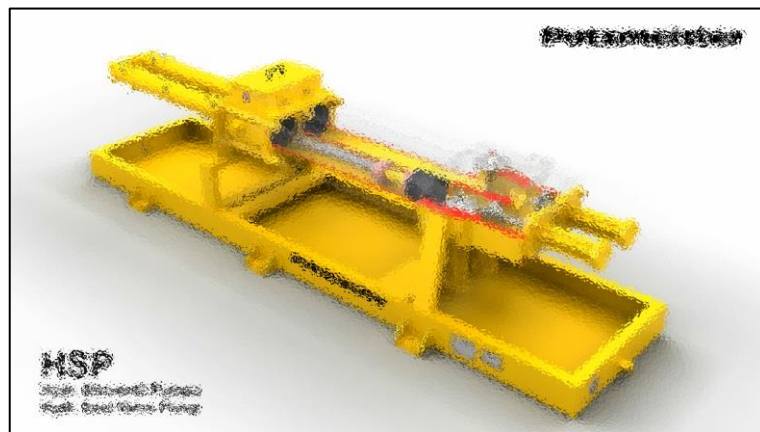


Figura A 2 Bomba de válvula de asiento hidráulico (HSP) (*Putzmeister, Putzmeister: HSP seat valve piston pump, 2019*)

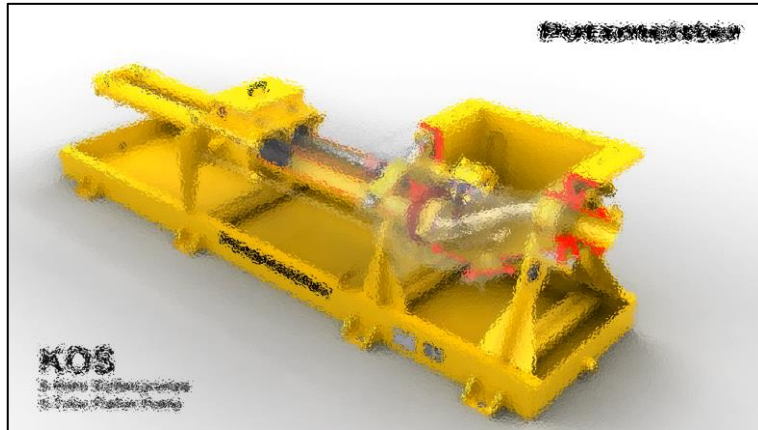


Figura A 3 Bomba de doble pistón KOS (*Putzmeister, Putzmeister: KOS double piston pump, 2019*)

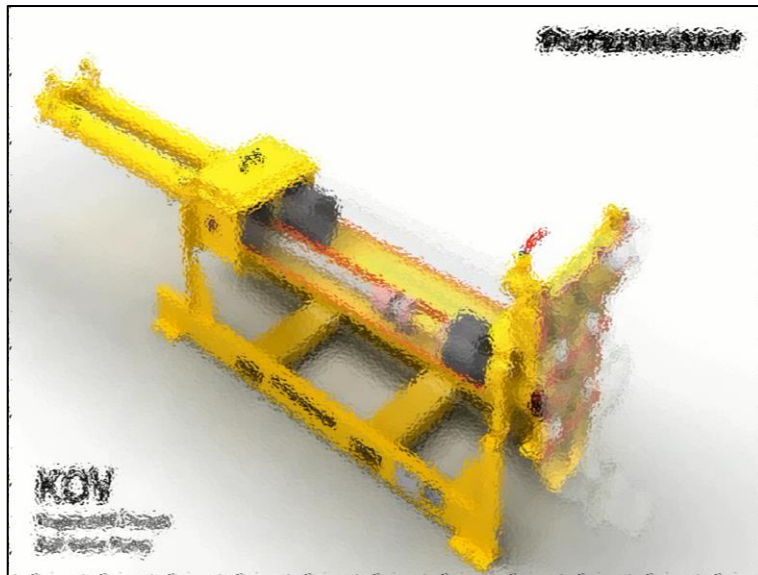


Figura A 4 Bomba de Válvula de Bola (*Putzmeister, Putzmeister: KOV Piston pump with ball valves, 2019*)



Figura A 5 Manguera de concreto de 4" marca orientflex



Figura A 6 Válvula S



Figura A 7 Sistema de pistones que mueven la válvula S (*Putzmeister, Putzmeister: KOS double piston pump, 2019*)

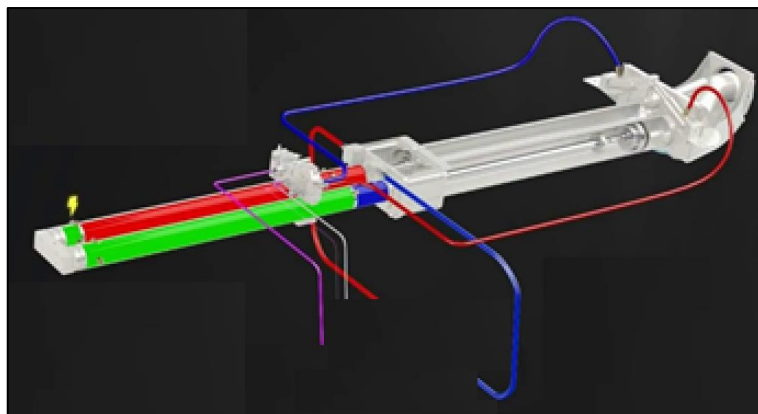


Figura A 8 Sistema hidráulico de la bomba de concreto (*AEM Innovación & Solución Bombeo de Concreto, 2017*)



Figura A 9 Motor de combustión interna de bomba de concreto comercial



Figura A 10 Base de la bomba de concreto, sistema de ruedas y puntos de apoyo

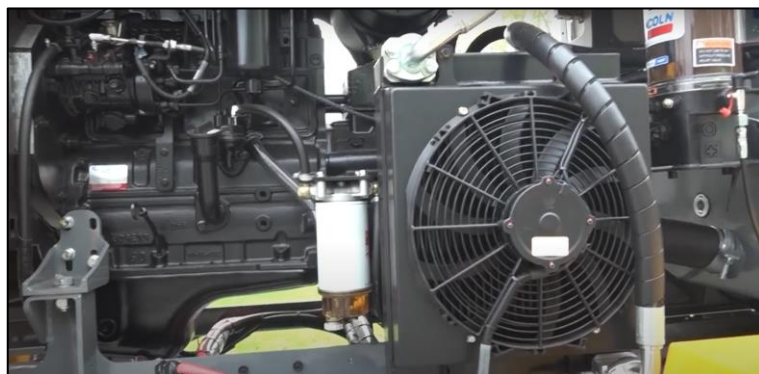


Figura A 11 Elementos de la bomba en sus respectivas posiciones finales



Figura A 12 Cubierta de la bomba con su compuerta abierta

Por tipo de Combustible

Tabla A 1 Evaluación por pares por tipo de combustible (Elaboración propia)

	A. Precio de Combustible	B. Contaminación	C. Rendimiento por Galón	D. Costo de Mantenimiento	E. Ruido producido por el motor	F. Peso del motor
A. Precio de Combustible		A/2	0	A/1	A/2	F/2
B. Contaminación			C/2	D/2	0	F/2
C. Rendimiento por Galón				D/1	D/2	F/1
D. Costo de Mantenimiento					D/2	D/1
E. Ruido producido por el motor						F/2
F. Peso del motor						

Tabla A 2 Resultado de la evaluación por pares por tipo de combustible (Elaboración propia)

	Total	Peso
A	5	0.23
B	0	0.00
C	2	0.09
D	8	0.36
E	0	0.00
F	7	0.32
Total	22	1

Por tipo de tubería

Tabla A 3 Evaluación por pares por tipo de tubería (Elaboración propia)

	A. Peso	B. Durabilidad	C. Maniobrabilidad e instalación	D. Seguridad	E. Resistencia a elementos externos
A. Peso		A/2	B/1	D/1	E/1
B. Durabilidad			B/2	B/1	E/1
C. Maniobrabilidad e instalación				C/2	C/2
D. Seguridad					E/1
E. Resistencia a elementos externos					

Tabla A 4 Resultado de la evaluación por pares por tipo de tubería (Elaboración propia)

	Total	Peso
A	2	0.14
B	4	0.29
C	4	0.29
D	1	0.07
E	3	0.21
Total	14	1.00

Por tipo de mecanismo

Tabla A 5 Evaluación por pares por tipo de mecanismo (Elaboración propia)

	A. Número de Piezas involucradas	B. Instalación	C. Mantenimiento	D. Adaptabilidad
A. Número de Piezas involucradas		A/2	A/1	D/2
B. Instalación			B/2	D/2
C. Mantenimiento				D/2
D. Desempeño				

Tabla A 6 Resultado de la evaluación por pares por tipo de mecanismo (Elaboración propia)

	Total	Peso
A	3	0.27
B	2	0.18
C	0	0.00
D	6	0.55
Total	11	1.00

REF.	VASTAGO ROD / TIGE KOLBENST. ØA	PISTON KOLBEN ØB	CARRERA STROKE COURSE HUB Z	E	ØG	H	J	K	L	M	P	VOL (l)	JUNTAS SEALS JOINTS DICHTUNG.	PESO (kg) WEIGHT POIDS GEWICHT
53560/150	35	60	150	310	70	54	31	45	16	3/8"	4	0,42	J3560N	5,6
53560/200			200	360								0,57		6,4
53560/250			250	410								0,71		7,2
53560/350			350	510								0,99		8,7
53560/400			400	560								1,13		9,5
53560/500			500	660								1,41		11,1
54070/150	40	70	150	310	80	46	33	49	16	3/8"	5	0,58	J74N	7,4
54070/200			200	360								0,77		8,4
54070/250			250	410								0,96		9,3
54070/300			300	460								1,15		10,3
54070/400			400	560								1,54		12,2
54070/500			500	660								1,92		14,1
54070/600			600	760								2,31		16,0
54070/700			700	860								2,69		17,9
54080/200			200	375								1,01		10,3

Figura A 13 Selección de pistón (CICROSA HIDRAULICA, 2020)

Presión en kg/cm ²	0 a 10	10 a 25	25 a 50	50 a 100	100 a 150	150 a 200	> 200
Velocidad en m/s	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6

Figura A 14 Velocidad del fluido en función de la presión (Viloria, 2001)

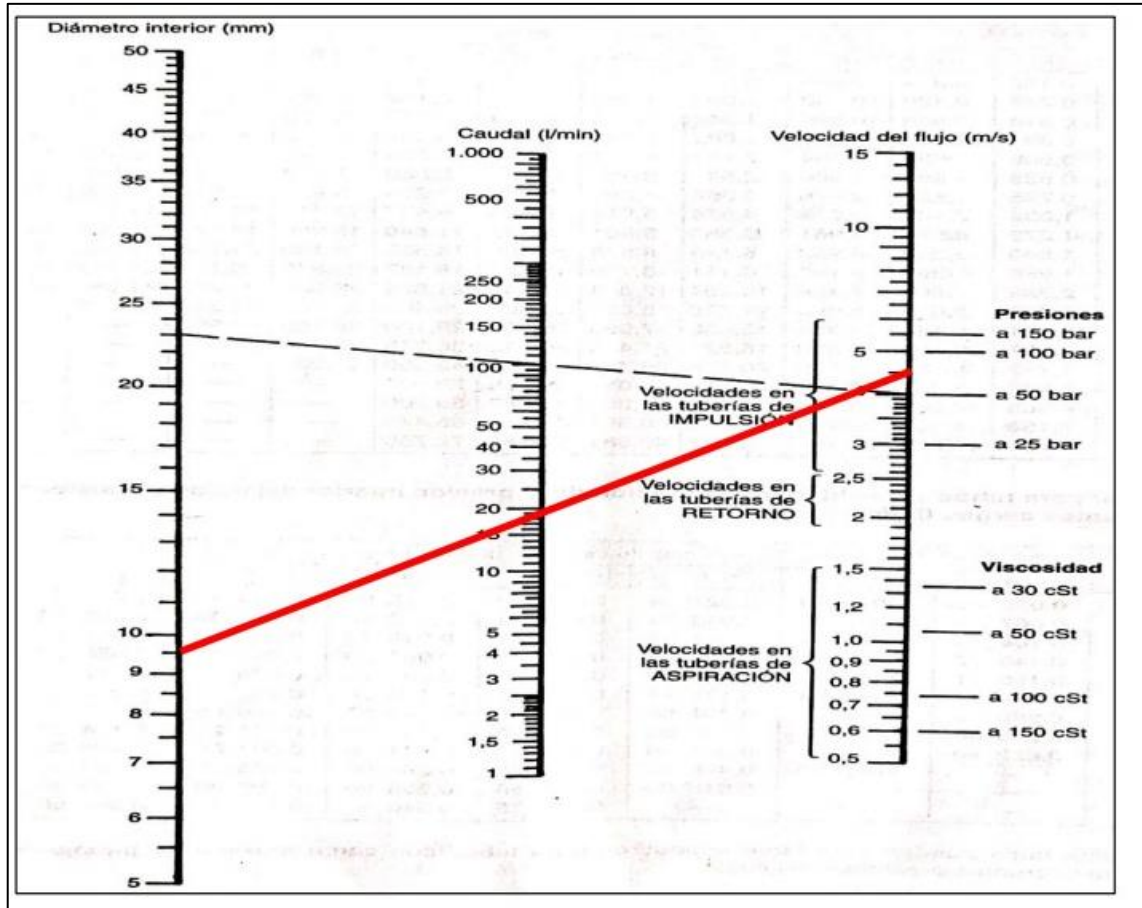


Figura A 15 Selección de diámetro interior de manguera en función del caudal y velocidad del flujo (Viloria, 2001)

MANGUERA EN-854 2TE



EN-854 2TE

CARACTERÍSTICAS
Manguera con cubierta interior de caucho sintético negro resistente a los aceites y cubierta exterior de caucho sintético resistente al aceite, abrasión y a la intemperie. Además va reforzada con una maila textil.

APLICACIONES
Manguera idónea para la conducción de fluidos hidráulicos, aceites minerales, hidrocarburos, etc. Cumple norma EN854.

TEMPERATURAS
De -40°C a +100°C, hasta +125°C en uso discontinuo.

∅ Interior pulgadas	∅ Interior m.m.	∅ Exterior m.m.	Presión trabajo bar	Presión rotura bar	Radio curvatura m.m.	Código
1/4"	6,4	13,4	75	300	40	RCVMAN0604
5/16"	7,9	14,9	68	272	50	RCVMAN0605
3/8"	9,5	16,5	63	252	60	RCVMAN0606
1/2"	12,7	19,7	58	232	70	RCVMAN0608
5/8"	15,9	23,9	50	200	90	RCVMAN0610
3/4"	19	27	45	180	110	RCVMAN0612
1"	25,4	34,4	40	160	150	RCVMAN0616

Figura A 16 Selección de la manguera hidráulica (TecniMan, 2021)

Características técnicas

	UNIDAD	MÉTODO	VALOR				
Grado ISO VG			15	22	32	46	68
Viscosidad a 100 °C	cSt	ASTM D445	3,7	4,8	6,1	7,9	10,4
Viscosidad a 40 °C	cSt	ASTM D445	15	22	32	46	68
Índice de viscosidad	-	ASTM D2270	145	147	141	143	143
Densidad a 15 °C	g/cm3	ASTM D4052	0,859	0,864	0,868	0,871	0,879
Punto de inflamación, vaso abierto	°C	ASTM D92	180	198	220	226	242
Punto de congelación	°C	ASTM D97	-45	-39	-33	-33	-33
Desemulsión a 54 °C	min	ASTM D1401	<25	<25	<25	<30	<45
Resistencia a la herrumbre, A y B	-	ASTM D665	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa	Pasa
Aeroemulsión a 50 °C	min	ASTM D3427	<1	<2	<2	<4	<5
Corrosión Cu, 3h a 100 °C	-	ASTM D130	1b	1b	1b	1b	1b
TAN	mg KOH/g	ASTM D664	0,5	0,5	0,38	0,38	0,38
N° Neutralización a 2.000 h	mg KOH/g	ASTM D943	<2	<2	<2	<2	<2
FZG, Escalón de daños	-	DIN 51354	11	11	12	12	12

Las características mencionadas representan valores típicos y no pueden ser consideradas especificaciones de producto.

Figura A 17 Selección de aceite hidráulico (REPSOL, 2021)

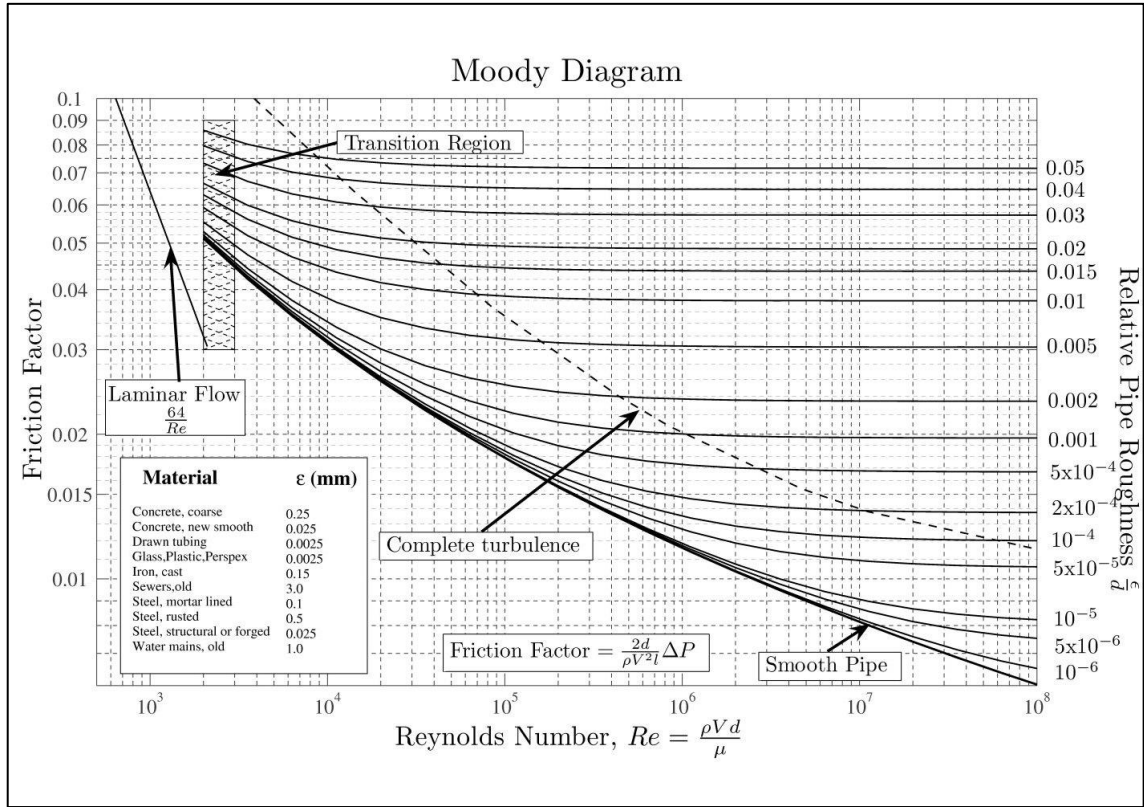


Figura A 18 Diagrama de Moody (Collins, 2008)

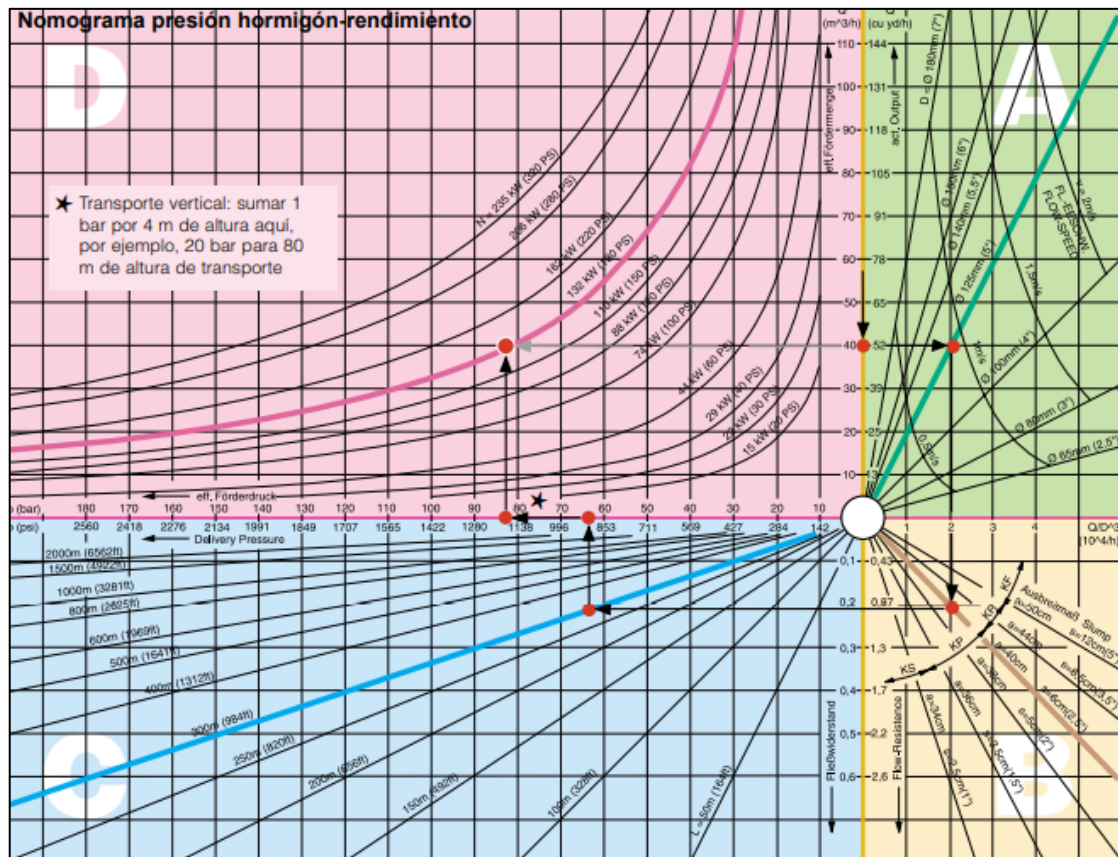


Figura A 19 Nomograma presión hormigón-rendimiento (Putzmeister, Bombas de Hormigón Estacionarias, 2001)

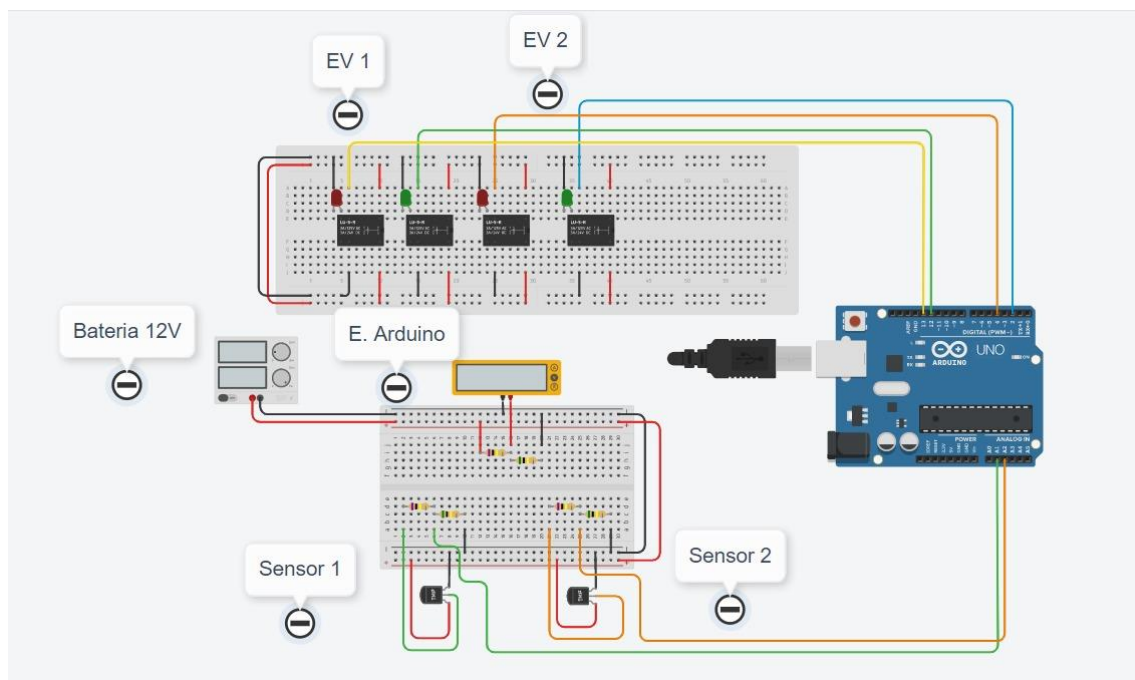


Figura A 20 Conexión de los componentes electrónicos (Elaboración propia)

```

//variables de entrada
int sensor1=A1; //definicion de variable que almacena el valor On/Off del sensor 1
int sensor2=A2; //definicion de variable que almacena el valor On/Off del sensor 2

//variables de salida
int EV1A=2; //definicion de la variable que activa electrovalvula 1 ducto A(pistones grandes)
int EV1B=4; //definicion de la variable que activa electrovalvula 1 ducto B(pistones grandes)
int EV2A=12; //definicion de la variable que activa electrovalvula 2 ducto A(valvula S)
int EV2B=13; //definicion de la variable que activa electrovalvula 2 ducto B(valvula S)
int a; //variable para mapeo

void setup() {
  //se declara los pines
  //entrada
  pinMode(sensor1, INPUT);
  pinMode(sensor2, INPUT);

  //salida
  pinMode(EV1A,OUTPUT);
  pinMode(EV1B,OUTPUT);
  pinMode(EV2A,OUTPUT);
  pinMode(EV2B,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int valor1 = analogRead(sensor1); //se define la lectura analogica del sensor 1
  int valor2 = analogRead(sensor2); //se define la lectura analogica del sensor 2
  float voltajeSensor1 = 5.0/1024*valor1;
  float voltajeSensor2 = 5.0/1024*valor2;

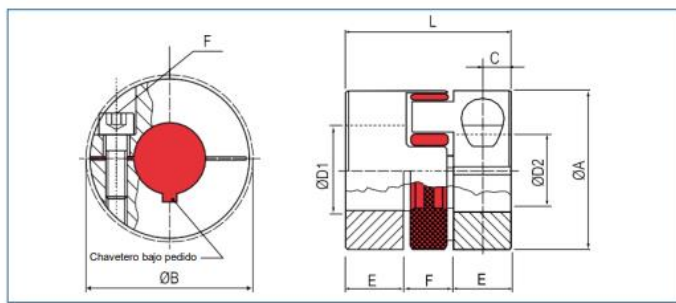
  //control condicional

  if(voltajeSensor1==5){ // condicion 1
    digitalWrite(EV1A,LOW);
    digitalWrite(EV2A,HIGH);
    delay(2000);
    digitalWrite(EV2A,LOW);
    digitalWrite(EV1B,HIGH);
  }

  if (voltajeSensor2==5){ // condicion 2
    digitalWrite(EV1B,LOW);
    digitalWrite(EV2B,HIGH);
    delay(2000);
    digitalWrite(EV2B,LOW);
    digitalWrite(EV1A,HIGH);
  }
}
}

```

Figura A 21 Programación del Arduino (Elaboración propia)



Ejemplo de pedido

KBE2C - 38 - 20 - 40 - 98Sh

Tipo Tamaño ØD1 (H7) ØD2 (H7) Dureza del elastómero

Tamaño	Dimensiones (mm)								Datos Técnicos			
	Ø A Exterior	L Longitud	Ø D1-D2 Agujeros (H7) min-max	E	F	C	B	G Tornillo (ISO4762) TA (Nm)	Velocidad Máxima (1/min)	Peso (g)	Momento de Inercia J	Par (Nm)
7	14	18	3 - 7	5	8	2.5	16.6	M2 0.43	27000	6	0.00018	1.2
9	20	24	4 - 11	7	10	3.5	21.3	M2.5 0.85	19000	15	0.00085	3
14	30	32	4 - 16	9.5	13	5	30.5	M4 4.5	13000	45	0.0166	12.5
19	40	50	8 - 21	17	16	8.5	45.7	M6 15	10000	139	0.0311	21
24	55	58	10 - 32	20	18	10	56.4	M6 15	7000	271	0.119	60
28	65	62	14 - 37	21	20	11	72.6	M8 40	6000	429	0.254	160
38	80	86	15 - 48	31	24	15	83.3	M10 84	5000	888	0.828	325
42	95	94	20 - 50	34	26	17.5	97.6	M12 145	4000	1425	1.866	450
48	105	110	20 - 57	47.5	28	23	105	M12 145	3750	2019	3.221	525

Mecanizados habituales. Par de fricción transmisible (Nm) de los cubos

Tamaño	Ø Tamaño del agujero (mm)																								
	3	4	6	8	10	12	14	15	16	18	19	20	24	25	28	30	32	35	38	40	42	45	48	50	55
7	1.2	1.3	1.5																						
9		2.3	2.5	2.8	3.0																				

Figura A 22 Selección de Acople (KBK, 2019)

APÉNDICE B

CÁLCULOS REALIZADOS

Primero se determina el caudal real necesario, para lo cual se utilizó un factor de corrección.

12 cargas por hora

$$Q = 3 \frac{m^3}{h}$$

$$FC_{caudal} = 1.25$$

$$Q_{corregido} = Q * FC_{caudal} \quad (4.1)$$

Donde:

$Q_{corregido}$

Caudal corregido

Q

Caudal de hormigón requerido

FC_{caudal}

Factor de Corrección del Caudal

$$Q_{corregido} = 3.75 \frac{m^3}{h}$$

Volumen de Tolva

Para definir el volumen necesario de la tolva se divide el caudal corregido por el número de cargas que se realizaran por hora.

$$V_{Tolva} = \frac{Q_{corregido}}{cargas\ por\ hora} \quad (4.2)$$

Donde:

V_{Tolva} Volumen de Tolva

$Q_{corregido}$ Caudal corregido

$$V_{Tolva} = \frac{3.75 \frac{m^3}{h}}{12 \frac{cargas}{hora}}$$

$$V_{Tolva} = 0.3125 m^3$$

Geometría de Tolva

Por simplificar la construcción y reducir costos, se optó por una geometría cúbica por lo que se determina la longitud de cada cara de la tolva.

$$L_{Tolva} = (V_{Tolva})^{\frac{1}{3}} \quad (4.3)$$

Donde:

V_{Tolva} Volumen de Tolva

L_{Tolva} Longitud de cara de la Tolva

$$L_{Tolva} = (0.3125 m^3)^{\frac{1}{3}}$$

$$L_{Tolva} = 0.6786 m \approx 0.7 m$$

Volumen del cilindro de concreto

Debido al diseño seleccionado se conoce el número de pistones, también se asume la cantidad de bombeos que realizan los pistones, lo cual junto al caudal corregido permite determinar el volumen de estos.

$$N_{pistones} = 2$$

$$\#_{Bombeo} = 6/min$$

$$Q_{pistón\ nominal} = \frac{Q_{corregido}}{N_{pistones}} \quad (4.4)$$

Donde:

$Q_{pistón\ nominal}$ Caudal nominal de cada pistón

$Q_{corregido}$ Caudal corregido

$N_{pistones}$ Número de pistones

$$Q_{pistón\ nominal} = \frac{3.75 \frac{m^3}{h}}{2}$$

$$Q_{pistón\ nominal} = 1.875 \frac{m^3}{h}$$

$$V_{cilindro\ de\ concreto} = \frac{Q_{pistón\ nominal}}{\#_{Bombeo}} \quad (4.5)$$

Donde:

$V_{cilindro\ de\ concreto}$ Volumen del cilindro de concreto

$Q_{pistón\ nominal}$ Caudal nominal de cada pistón

$\#_{Bombeo}$ Bombeo por minuto realizado por cada pistón

$$V_{cilindro\ de\ concreto} = \frac{1.875 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{60 min}}{6 /min}$$

$$V_{cilindro\ de\ concreto} = 5.208 \times 10^{-3} m^3$$

Longitud de pistón

Determinado el volumen, asumimos el diámetro del pistón que se encargará de desplazar el concreto hacia la válvula S para así encontrar la longitud respectiva.

$$\phi_{pistón\ nominal} = 4\ in \approx 0.1016\ m$$

$$V_{pistón\ nominal} = \pi * \left(\frac{\phi_{pistón\ nominal}}{2} \right)^2 * L_{pistón\ nominal} \quad (4.6)$$

Donde:

$\phi_{pistón\ nominal}$	Diámetro nominal de pistón
$L_{pistón\ nominal}$	Longitud nominal de carrera del pistón
$V_{pistón\ nominal}$	Volumen del pistón nominal

$$L_{pistón\ nominal} = \frac{V_{pistón\ nominal}}{\pi * \left(\frac{\phi_{pistón\ nominal}}{2} \right)^2} \quad (4.7)$$

$$L_{pistón\ nominal} = \frac{5.208 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{\pi * \left(\frac{0.1016 \text{ m}}{2} \right)^2}$$

$$L_{pistón\ nominal} = 0.64238 \text{ m} \approx 0.65 \text{ m}$$

Periodo del pistón

Se determina el tiempo entre los procesos de carga y descarga partiendo de la cantidad de bombeos que se realizan y el tiempo que tarda el pistón pequeño en cambiar de posición a la válvula S.

$$T_{pistón} = \frac{60 \text{ s}}{\#_{Bombeo}} + t_{pistón\ s} \quad (4.8)$$

Donde:

$T_{pistón}$	Período del pistón
$\#_{Bombeo}$	Bombeo por minuto realizado por cada pistón
$t_{pistón\ s}$	Tiempo de carrera del pistón S

$$T_{pistón} = \frac{60 \text{ s}}{6} + 2 \text{ s}$$

$$T_{pistón} = 12 \text{ s}$$

Pérdidas

Se considera que se trata de un fluido de Bingham, que se tiene una relación lineal de pérdidas de carga respecto al caudal y que el concreto bombeado no es autocompactante ni de alta resistencia.

Longitud del circuito

Se analiza los tramos horizontales y verticales desde la bomba hasta la zona de construcción, así como los accesorios empleados, los cuales involucran una pérdida de cabezal.

Tabla B 1 Factores de corrección del circuito (Elaboración propia)

Descripción	Factor de Corrección	Distancia o # de accesorios
Codos 30°	1.2 m	2
Codos 90°	3 m	3
Tramos Verticales	$l_{vertical} * 1.1$	6 m
Tramo Horizontal	-	24 m
Tubería flexible	$l * 2$	-

$$L_{vertical} = l_{vertical} * 1.1 \quad (4.9)$$

Donde:

$L_{vertical}$ Longitud equivalente de tubería por tramo vertical

$l_{vertical}$ Longitud vertical de la tubería

$$L_{vertical} = l_{vertical} * 1.1$$

$$L_{vertical} = 6 \text{ m} * 1.1$$

$$L_{vertical} = 6.6 \text{ m}$$

$$L_{horizontal} = 24 \text{ m}$$

$$L_{codos,30^\circ} = N_{codos,30^\circ} * FC_{codo,30^\circ} \quad (4.10)$$

Donde:

$L_{codos,30^\circ}$ Longitud equivalente de tubería por codos de 30°

$N_{codos,30^\circ}$ Número de codos de 30°

$FC_{codo,30^\circ}$ Factor de Corrección por codo de 30°

$$L_{codos,30^\circ} = 2 * 1.2 \text{ m}$$

$$L_{codos,30^\circ} = 2.4 \text{ m}$$

$$L_{codos,90^\circ} = N_{codos,90^\circ} * FC_{codo,90^\circ} \quad (4.11)$$

Donde:

$L_{codos,90^\circ}$ Longitud equivalente de tubería por codos de 90°

$N_{codos,90^\circ}$ Número de codos de 90°

$FC_{codo,90^\circ}$ Factor de Corrección por codo de 90°

$$L_{codos,90^\circ} = 3 * 3 \text{ m}$$

$$L_{codos,90^\circ} = 9 \text{ m}$$

$$L_{pistón \text{ nominal}} = 0.65 \text{ m}$$

$$L_{válvulas} = 0.53 \text{ m}$$

$$l_{sistema} = L_{vertical} + L_{horizontal} + L_{codos,30^\circ} + L_{codos,90^\circ} + L_{pistón\ nominal} + L_{válvula\ S} \quad (4.12)$$

Donde:

$l_{sistema}$	Longitud del sistema
$L_{vertical}$	Longitud equivalente de tubería por tramo vertical
$L_{horizontal}$	Longitud equivalente de tubería por tramo horizontal
$L_{codos,30^\circ}$	Longitud equivalente de tubería por codos de 30°
$L_{codos,90^\circ}$	Longitud equivalente de tubería por codos de 90°
$L_{pistón\ nominal}$	Longitud nominal de carrera del pistón
$L_{válvula\ S}$	Longitud de la válvula S

$$l_{sistema} = (6.6 + 24 + 2.4 + 9 + 0.65 + 0.53)m$$

$$l_{circuito} = 43.18\ m$$

$$L_{circuito} = l_{circuito} * FC_{tubería} \quad (4.13)$$

Donde:

$L_{circuito}$	Longitud corregida del circuito
$l_{circuito}$	Longitud del circuito
$FC_{tubería}$	Factor de Corrección por tipo de tubería

$$L_{circuito} = 43.18\ m * 2$$

$$L_{circuito} = 86.36\ m$$

Una vez conocida la longitud equivalente de tubería del circuito, hacemos uso del parámetro de consistencia del concreto para determinar las pérdidas con la ecuación de Darcy-Weisbach.

Tabla B 2 Parámetro de consistencia del concreto (Martí, Yepez, & González, 2014)

Cono de Abrams (mm)	25	35	50	60	85	120
Coefficiente b $10^{-6} \frac{\text{bar h}}{\text{m}}$	6.14	3.80	2.65	2.02	1.57	1.18

El material bombeado es concreto para losas por lo que utilizando el cono de Abrams se tiene que:

$$\gamma_{\text{concreto}} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Cono de Abrams} = 120 \text{ mm}$$

$$\therefore b = 1.18 \times 10^{-6} \frac{\text{bar h}}{\text{m}}$$

$$P = b * \frac{16L_{\text{circuito}}}{\pi} * \frac{1}{\phi_{\text{pistón nominal}}^3} * Q_{\text{corregido}} \quad (4.14)$$

Donde:

P Pérdida de presión en el circuito

b Parámetro de consistencia del concreto

L_{circuito} Longitud corregida del circuito

$Q_{\text{corregido}}$ Caudal corregido

$$P = \left(1.18 \times 10^{-6} \frac{\text{bar h}}{\text{m}} \right) \left(\frac{16 * 86.36 \text{ m}}{\pi} \right) \left(\frac{3.75 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{(0.1016 \text{ m})^3} \right)$$

$$P = 1.85573 \text{ bar}$$

Con la relación provista por Pultzmeister entre la altura y la pérdida de presión se obtiene que.

Relación Pultzmeister: 4 m altura = 1 bar de Pérdida

$$P_R = l_{vertical} * 25 \frac{kN}{m^3} \quad (4.15)$$

Donde:

P_R Pérdida de presión por tramo vertical

$l_{vertical}$ Longitud vertical de la tubería

$$P_R = 6 \text{ m} * 25 \frac{kN}{m^3}$$

$$P_R = 1.5 \text{ bar}$$

$$P_{totales} = P + P_R \quad (4.16)$$

Donde:

$P_{totales}$ Pérdida de presión total

P_R Pérdida de presión por tramo vertical

P Pérdida de presión en el circuito

$$P_{totales} = 1.85573 \text{ bar} + 1.5 \text{ bar}$$

$$P_{totales} = 3.35573 \text{ bar}$$

Potencia Requerida

Conociendo las pérdidas de presión se obtiene la potencia que necesita ser suministrada para contrarrestar dichas pérdidas y el cabezal estático.

$$Pot_{presión} = \frac{P_{totales} * Q_{corregido}}{36} \quad (4.17)$$

Donde:

$Pot_{presión}$ Potencia requerida debido a las pérdidas de presión

$P_{totales}$ Pérdida de presión total

$Q_{corregido}$ Caudal corregido

$$Pot_{presión} = \frac{3.36 * 3.75}{36}$$

$$Pot_{presión} = 0.35 \text{ kW}$$

$$Pot_{presión} = 0.47 \text{ hp}$$

Potencia hidráulica

Primero se calcula la velocidad y se determinan las características reológicas del hormigón. Se sabe que estos parámetros dependen de la relación de agua y sólidos en la mezcla, por lo que se escogió un valor medio con la finalidad de evitar escurrimientos, teniendo así.

$$\mu_e = 60 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$L = 31 \text{ m}$$

$$\phi_m = 4 \text{ in}$$

$$Q_{corregido} = V_h * A_h \quad (4.18)$$

Donde:

$Q_{corregido}$ Caudal corregido

V_h	Velocidad del hormigón
A_h	Área de la manguera de hormigón
ϕ_m	Diámetro de manguera de hormigón

$$V_h = \frac{4 * Q_{correctado}}{\pi * \phi_m^2} \quad (4.19)$$

$$V_h = \frac{4 * 3.75 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s}}{\pi * \left(\frac{4 * 2.54}{100} m\right)^2}$$

$$V_h = 0.13 \frac{m}{s}$$

Conociendo la velocidad a la que se mueve el hormigón dentro de las mangueras, obtenemos la pérdida de cabezal debido a la fricción del fluido con las paredes de la tubería y así obtenemos la potencia hidráulica necesaria para desplazar el hormigón.

$$\Delta h = \frac{32}{g} * \frac{\mu_e}{\rho_h * \phi_{pistón nominal} * V} * \frac{L}{\phi_{pistón nominal}} * V_h^2 \quad (4.20)$$

Donde:

g	Aceleración de la gravedad
μ_e	Coefficiente de viscosidad plástica del hormigón
ρ_h	Densidad del hormigón
$\phi_{pistón nominal}$	Diámetro nominal de pistón
L	Longitud de la manguera de hormigón
V_h	Velocidad del hormigón

$$Pot_h = \rho_h * g * Q_{corregido} * \Delta h \quad (4.21)$$

Pot_h	Potencia hidráulica requerida para mover el hormigón por la manguera
ρ_h	Densidad del hormigón
g	Aceleración de la gravedad
$Q_{corregido}$	Caudal corregido
Δh	Cabezal debido a las pérdidas de fricción en la manguera de hormigón

$$Pot_h = \frac{32 * Q_{corregido} * \mu_e * L * V_h}{\phi_{pistón\ nominal}^2} \quad (4.22)$$

$$Pot_h = \frac{32 * \left(\frac{3.75}{3600} \frac{m^3}{s} \right) * (60 Pa - s) * (31 m) * 0.13 \frac{m}{s}}{\left(4 * \frac{2.54}{100} m \right)^2}$$

$$Pot_h = 780.81 W = 1.05 hp$$

Además, calculamos la presión ejercida a la salida del concreto, para lo cual tenemos:

$$P_R = 1.86 bar$$

$$P_{estática} = 1.5 bar$$

$$Pot_h = 1.05 hp = 0.746 kW$$

$$Pot_h = \frac{P_{fricción} * Q_{corregido}}{36}$$

$$P_{fricción} = \frac{36 * Pot_h}{Q_{corregido}}$$

$$P_{fricción} = \frac{36 * 0.746 kW}{3.75 \frac{m^3}{h}}$$

$$P_{fricción} = 7.16 \text{ bar}$$

$$P_c = P + P_R + P_{fricción}$$

$$P_c = (1.86 + 1.5 + 7.16) \text{ bar}$$

$$P_c = 10.52 \text{ Bar}$$

Diseño de los pistones hidráulicos.

Los pistones hidráulicos obedecen a la ecuación:

$$F_{pistón\ nominal} = P_{pistón\ nominal} * A_{pistón\ nominal} \quad (4.23)$$

Donde:

$F_{pistón\ nominal}$ Fuerza de Avance nominal del pistón

$P_{pistón\ nominal}$ Presión nominal en el pistón

$A_{pistón\ nominal}$ Área nominal de pistón

En nuestro caso se conoce que la potencia total para desplazar el concreto, lo que nos permite determinar la fuerza que soportan los pistones.

$$Pot_T = \frac{F_{pistón\ nominal} * L_{piston\ nominal}}{t_{piston}} \quad (4.24)$$

Donde:

Pot_T Potencia total requerida para desplazar el hormigón

$F_{pistón\ nominal}$ Fuerza de Avance nominal del pistón

$L_{pistón\ nominal}$ Longitud nominal de carrera del pistón

$t_{pistón}$ Tiempo de carrera del pistón

$$Pot_T = Pot_{presión} + Pot_h \quad (4.25)$$

Donde:

Pot_T Potencia total requerida para desplazar el hormigón
 $Pot_{presión}$ Potencia requerida debido a las pérdidas de presión
 Pot_h Potencia hidráulica requerida para mover el hormigón

$$Pot_T = 1.05 \text{ hp} + 0.47 \text{ hp}$$

$$Pot_T = 1.52 \text{ hp} = 1133.46 \text{ W}$$

$$t_{pistón} = 5 \text{ s}$$

$$L_{pistón \text{ nominal}} = 0.65 \text{ m}$$

$$F_{pistón \text{ nominal}} = \frac{Pot_T * t_{pistón}}{L_{pistón \text{ nominal}}} \quad (4.26)$$

Donde:

$F_{pistón \text{ nominal}}$ Fuerza de Avance nominal del pistón
 Pot_T Potencia total requerida para desplazar el hormigón
 $t_{pistón}$ Tiempo de carrera del pistón
 $L_{pistón \text{ nominal}}$ Longitud nominal de carrera del pistón

$$F_{pistón \text{ nominal}} = \frac{1133.46 \text{ W} * 5 \text{ s}}{0.65 \text{ m}}$$

$$F_{pistón \text{ nominal}} = 8718.92 \text{ N}$$

Así mismo, podemos determinar la velocidad de los pistones conociendo el tiempo y la distancia de carrera.

$$V_{pistón\ nominal} = \frac{L_{pistón\ nominal}}{t_{pistón}} \quad (4.27)$$

Donde:

$V_{pistón\ nominal}$ Velocidad nominal del pistón

$L_{pistón\ nominal}$ Longitud nominal de carrera del pistón

$t_{pistón}$ Tiempo de carrera del pistón

$$V_{pistón\ nominal} = \frac{0.65\ m}{5\ s}$$

$$V_{pistón\ nominal} = 0.13\ \frac{m}{s}$$

Se determino el área del pistón partiendo de un diámetro estándar de pistón de 2.5 pulgadas.

$$A_{pistón\ nominal} = \pi * \left(\frac{\phi_{pistón}}{2}\right)^2 \quad (4.28)$$

Donde:

$A_{pistón\ nominal}$ Área nominal de pistón

$\phi_{pistón}$ Diámetro pistón estándar

$$A_{pistón\ nominal} = \pi * \left(\frac{2.5 * 25.4}{2 * 100}\ m\right)^2$$

$$A_{pistón\ nominal} = 3.17 \times 10^{-3}\ m^2$$

Con esto podemos determinar la presión del aceite.

$$P_{pistón\ nominal} = \frac{F_{pistón\ nominal}}{A_{pistón\ nominal}} \quad (4.29)$$

Donde:

$P_{pistón\ nominal}$	Presión nominal en el pistón
$F_{pistón\ nominal}$	Fuerza de Avance nominal del pistón
$A_{pistón\ nominal}$	Área nominal de pistón

$$P_{pistón} = \frac{8718.92\ N}{3.17 \times 10^{-3}\ m^2}$$

$$P_{pistón} = 2.75 \times 10^6\ Pa$$

Se considera que el fluido del circuito hidráulico realizará 2 trabajos, uno que contraiga y otro que extienda a los pistones, los cuales se encuentran desfasados, hasta sus posiciones de inicio y final de carrera respectivamente con la finalidad de succionar el concreto de la tolva y luego expulsarlo a través de la válvula S. Los fabricantes recomiendan utilizar un factor de corrección de 1.6, por lo que tenemos:

$$F_{pistón\ corregida} = FC_{pistón} * F_{pistón\ nominal} \quad (4.30)$$

Donde:

$F_{pistón\ corregida}$	Fuerza de Avance del pistón corregido
$FC_{pistón}$	Factor de Corrección de la fuerza del pistón
$F_{pistón\ nominal}$	Fuerza de Avance nominal del pistón

$$F_{pistón\ corregida} = 1.6 * 8718.92\ N$$

$$F_{pistón\ corregida} = 13950.272\ N$$

$$P_{pistón\ corregido} = \frac{F_{pistón\ corregido}}{A_{pistón\ nominal}} \quad (4.31)$$

Donde:

$P_{pistón\ corregido}$ Presión corregida en el pistón

$A_{pistón\ nominal}$ Área nominal de pistón

$F_{pistón\ corregida}$ Fuerza de Avance del pistón corregido

$$P_{pistón\ corregido} = \frac{13950.272\ N}{3.17 \times 10^{-3}\ m^2}$$

$$P_{pistón\ corregido} = 4.40 \times 10^6\ Pa$$

Caudal real dentro de los pistones.

Con la velocidad de avance del pistón y el área previamente calculada se obtiene el caudal que circula dentro de este.

$$Q_{pistón\ real} = V_{pistón\ nominal} * A_{pistón\ nominal} \quad (4.32)$$

Donde:

$Q_{pistón\ real}$ Caudal real de cada pistón

$V_{pistón\ nominal}$ Velocidad nominal del pistón

$A_{pistón\ nominal}$ Área nominal de pistón

$$Q_{pistón\ real} = 0.13 \frac{m}{s} * 3.17 \times 10^{-3}\ m^2$$

$$Q_{pistón\ real} = 4.121 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 6.54\ GPM$$

Se considero que los puntos de alimentación de los pistones se encuentran en la parte trasera, lo que nos permite decir que el caudal de avance y de retroceso de los pistones es el mismo. Tambien asumimos que se introduce aceite en el pistón que succiona el hormigón y este genera el movimiento en el pistón que expulsa el concreto. Adicional a esto se tomó una longitud de carrera de pistón estándar dada por los fabricantes.

Selección de pistón

Conociendo los requerimientos del pistón, se seleccionó un pistón comercial de la marca CICROSA de modelo 54070/700 serie 500 con las siguientes características.

$$\phi_{pistón\ real} = 70\ mm$$

$$L_{pistón\ real} = 700\ mm$$

$$\phi_{vástago\ real} = 40\ mm$$

$$\phi_{rosca\ pistón} = \frac{3}{8}\ in$$

Con los valores reales se procede a calcular los nuevos parámetros. Para lo cual primero se calcula el área real del pistón y el área del vástago para obtener el área real de avance.

$$A_{vástago\ real} = \pi * \left(\frac{\phi_{vástago\ real}}{2} \right)^2 \quad (4.33)$$

Donde:

$A_{vástago\ real}$ Área real de vástago

$\phi_{vástago\ real}$ Diámetro real del vástago

$$A_{vástago\ real} = \pi * \left(\frac{40\ mm}{2} \right)^2$$

$$A_{vástago\ real} = 400\ \pi\ mm^2$$

$$A_{avance} = A_{pistón\ real} - A_{vástago\ real} \quad (4.34)$$

Donde:

A_{avance} Área de avance del pistón

$A_{pistón\ real}$ Área real de pistón

$A_{vástago\ real}$ Área real de vástago

$$A_{avance} = A_{pistón\ real} - A_{vástago\ real}$$

$$A_{avance} = \pi * \left(\frac{\phi_{pistón\ real}}{2}\right)^2 - \pi * \left(\frac{\phi_{vástago\ real}}{2}\right)^2 \quad (4.35)$$

Donde:

A_{avance} Área de avance del pistón

$\phi_{vástago\ real}$ Diámetro real del vástago

$\phi_{pistón\ real}$ Diámetro real de pistón

$$A_{avance} = \pi * \left(\frac{70\ mm}{2}\right)^2 - \pi * \left(\frac{40\ mm}{2}\right)^2$$

$$A_{avance} = 825\ \pi\ mm^2$$

Teniendo el área de avance real del pistón y la fuerza aplicada, se calcula la presión real a la que se somete el pistón.

$$P_{avance\ pistón} = \frac{F_{pistón\ corregida}}{A_{avance}} \quad (4.36)$$

Donde:

$P_{avance\ pistón}$	Presión de avance en el pistón
A_{avance}	Área de avance del pistón
$F_{pistón\ corregida}$	Fuerza de Avance del pistón corregido

$$P_{avance\ pistón} = \frac{13950.272\ N}{825\ \pi\ mm^2}$$

$$P_{avance\ pistón} = 5.38\ MPa = 780.303\ psi$$

Finalmente se determina el volumen del cilindro hidráulico para lo cual es necesario ajustar el tamaño de la carrera con el valor real del pistón.

$$Q_{pistón} = V_{real} * A_{avance} \quad (4.37)$$

Donde:

$Q_{pistón}$	Caudal en el pistón seleccionado
A_{avance}	Área de avance del pistón
V_{real}	Velocidad real del pistón

$$V_{real} = \frac{L_{pistón\ real}}{t_{pistón}} \quad (4.38)$$

Donde:

V_{real}	Velocidad real del pistón
$L_{pistón\ real}$	Longitud real de carrera del pistón
$t_{pistón}$	Tiempo de carrera del pistón

$$V_{real} = \frac{700 \text{ mm}}{5 \text{ s}}$$

$$V_{real} = 140 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$Q_{pistón} = 140 \frac{\text{mm}}{\text{s}} * 825 \pi \text{ mm}^2$$

$$Q_{pistón} = 34125\pi \frac{\text{mm}^3}{\text{s}} = 5.77 \text{ GPM}$$

$$\forall_{cilindro \text{ hidráulico}} = A_{avance} * L_{pistón \text{ real}} \quad (4.39)$$

Donde:

$\forall_{cilindro \text{ hidráulico}}$

Volumen del cilindro hidráulico

A_{avance}

Área de avance del pistón

$L_{pistón \text{ real}}$

Longitud real de carrera del pistón

$$\forall_{cilindro \text{ hidráulico}} = 825\pi \text{ mm}^2 * 700 \text{ mm}$$

$$\forall_{cilindro \text{ hidráulico}} = 1.81 \text{ lt}$$

Presión en el aceite del cilindro de expulsión

Se calcula el valor de la presión a la que sale expulsado el aceite hidráulico luego de pasar por el segundo pistón.

$$A_{pistón \text{ real}} = \pi * \left(\frac{\phi_{pistón \text{ real}}}{2} \right)^2 \quad (4.40)$$

Donde:

$A_{pistón\ real}$

Área real de pistón

$\emptyset_{pistón\ real}$

Diámetro real de pistón

$$A_{pistón\ real} = \pi * \left(\frac{70\ mm}{2} * \frac{1\ m}{1000\ mm} \right)^2$$

$$A_{pistón\ real} = 3.85 \times 10^{-3}\ m^2$$

$$P_{exp} = \frac{F_{pistón\ corregido}}{A_{pistón\ real}} \quad (4.41)$$

Donde:

P_{exp}

Presión de expulsión del pistón

$F_{pistón\ corregida}$

Fuerza de Avance del pistón corregido

$A_{pistón\ real}$

Área real de pistón

$$P_{exp} = \frac{13950\ N}{3.85 \times 10^{-3}\ m^2}$$

$$P_{exp} = 3.62\ MPa$$

Longitud mínima del vástago

Para determinar este parámetro de la geometría del vástago es necesario utilizar un factor que para una rueda frontal rígidamente guiada es de 0.7.

$$L_{vástago\ nominal} = L_{pistón\ real} * K_{vástago} \quad (4.42)$$

Donde:

$L_{vástago\ nominal}$

Longitud nominal del vástago

$L_{pistón\ real}$	Longitud real de carrera del pistón
$K_{vástago}$	Coefficiente de vástago

$$L_{vástago\ nominal} = 700\ mm * 0.7$$

$$L_{vástago\ nominal} = 490\ mm$$

Teniendo esto podemos confirmar que la longitud de 795 mm de vástago con el pistón seleccionado cumplirá sin problemas los requerimientos.

Diseño de tanque de depósito de aceite

El manual de hidráulica industrial recomienda seleccionar un tanque utilizando la siguiente ecuación.

$$V_{aceite} = Q_{pistón} * 2 \quad (4.43)$$

Donde:

V_{aceite} Volumen del tanque de aceite

$Q_{pistón}$ Caudal en el pistón seleccionado

$$V_{aceite} = 5.77\ GPM * 2$$

$$V_{aceite} = 11.54\ gal \approx 12\ galones$$

Geometría del tanque

Para el diseño se contará con un depósito cúbico para poder almacenar el aceite por lo que bastará con determinar un lado de dicha geometría.

$$L_{tanque\ aceite} = \sqrt[3]{V_{aceite}} \quad (4.44)$$

Donde:

$L_{tanque\ aceite}$ Longitud de cara del tanque de aceite

V_{aceite} Volumen del tanque de aceite

$$L_{tanque\ aceite} = \sqrt[3]{45424.9\ cm^3}$$

$$L_{tanque\ aceite} = 35.7\ cm$$

Número de Reynolds del aceite Hidráulico

Se necesita diseñar el sistema hidráulico que desplazará los pistones, para lo cual es necesario determinar las pérdidas por fricción. Dichas pérdidas las calcularemos con la ecuación de Darcy-Weisbach. Inicialmente debemos conocer el número de Reynolds para saber que tipo de régimen tiene el fluido de trabajo y posteriormente poder determinar el factor de fricción.

$$\phi_a = 12.7\ mm$$

$$v_a = 61.2\ \frac{mm^2}{s}$$

$$V_a = \frac{Q_{pistón}}{A_a} \quad (4.45)$$

Donde:

V_a Velocidad del aceite hidráulico

$Q_{pistón}$ Caudal en el pistón seleccionado

A_a Área de la manguera de aceite hidráulico

ϕ_a Diámetro de manguera hidráulica

$$V_a = \frac{Q_{pistón}}{\pi * \left(\frac{\phi_a^2}{4}\right)} \quad (4.46)$$

$$V_a = \frac{0.0003638 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} * \left(12.7 \text{ mm} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}\right)^2}$$

$$V_a = 2.872 \frac{m}{s} = 2872 \frac{mm}{s}$$

$$Re_a = \frac{V_a * \phi_a}{v_a} \quad (4.47)$$

Donde:

Re_a	Número de Reynolds del aceite hidráulico
V_a	Velocidad del aceite hidráulico
ϕ_a	Diámetro de manguera hidráulica
v_a	Viscosidad cinemática del aceite hidráulico

$$Re_a = \frac{2872 \frac{mm}{s} * 12.7 \text{ mm}}{61.2 \frac{mm^2}{s}}$$

$$Re_a = 596$$

Presión a la salida de la Bomba Hidráulica

$$\epsilon = 0.002 \text{ mm}$$

$$K_H = \frac{0.02}{12.7}$$

$$K_H = 1.55 \times 10^{-4}$$

$$\gamma_A = 8506.4 \frac{N}{m^3}$$

Se utilizó la ecuación de Darcy-Weisbach entre la salida de la bomba hidráulica y el tanque para encontrar la presión de salida, y utilizando el Diagrama de Moody ubicado en el Apéndice A Figura A18 se determinó el factor f con el número de Reynolds y el factor coeficiente de rugosidad.

$$\frac{P_s}{\gamma_A} + Z_s + \frac{V_s^2}{2g} - \left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_s^2}{2g} \right] = \frac{P_l}{\gamma_A} + Z_l + \frac{V_l^2}{2g} \quad (4.48)$$

Donde:

P_s	Presión a la salida de la manguera hidráulica
P_l	Presión a la entrada de la manguera hidráulica
Z_s	Altura a la salida de la manguera hidráulica
Z_l	Altura a la entrada de la manguera hidráulica
V_s	Velocidad del aceite a la salida de la manguera hidráulica
V_l	Velocidad del aceite a la entrada de la manguera hidráulica
γ_A	Peso específico del aceite hidráulico
ϕ_a	Diámetro de manguera hidráulica
L_H	Longitud de la manguera hidráulica
g	Aceleración de la gravedad
f	Factor de fricción de Darcy

$$f = 0.1074$$

$$\left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_S^2}{2g} \right] = 0.1074 * \frac{1 \text{ m}}{0.0127 \text{ m}} * \frac{\left(2.872 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_S^2}{2g} \right] = 3.56 \text{ m}$$

$$P_s = \gamma_A \left(\frac{P_l}{\gamma_A} + (Z_l - Z_s) + \frac{V_l^2 - V_s^2}{2g} + \left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_S^2}{2g} \right] \right) \quad (4.49)$$

$$P_s = 8506.4 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * \left(\frac{5.38 \times 10^6 \text{ Pa}}{8506.4 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + (0.24 \text{ m} - 0 \text{ m}) + \frac{\left(0.14 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 - \left(2.872 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 3.56 \text{ m} \right)$$

$$P_s = 5.41 \text{ MPa}$$

Presión a la entrada de la Bomba Hidráulica

Se encuentra la presión de entrada utilizando nuevamente la ecuación de Darcy-Weisbach entre el punto de entrada de la bomba y el tanque de almacenamiento de aceite hidráulico.

$$P_{\text{tanque}} = P_{\text{entrada}}$$

$$V_a = V_e = 2.872 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{P_t}{\gamma_A} + Z_t + \frac{V_t^2}{2g} - \left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_t^2}{2g} \right] = \frac{P_e}{\gamma_A} + Z_e + \frac{V_e^2}{2g} \quad (4.50)$$

Donde:

P_t Presión en el tanque de aceite hidráulico

P_e Presión a la entrada del tanque

V_t Velocidad del aceite en el tanque

V_e Velocidad a la entrada del tanque

γ_A Peso específico del aceite hidráulico

Z_t	Altura del tranque de aceite
Z_e	Altura a la entrada del tanque
g	Aceleración de la gravedad
f	Factor de fricción de Darcy
ϕ_a	Diámetro de manguera hidráulica
L_H	Longitud de la manguera hidráulica

$$\left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_t^2}{2g} \right] = 0.1074 * \frac{1 \text{ m}}{0.0127 \text{ m}} * \frac{\left(2.872 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$\left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_t^2}{2g} \right] = 3.55 \text{ m}$$

$$P_e = \gamma_A \left(-Z_e - \frac{V_S^2}{2g} - \left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_S^2}{2g} \right] \right) \quad (4.51)$$

$$P_e = 8506.4 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * \left(-0.2 - \frac{\left(2.872 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - 3.55 \text{m} \right)$$

$$P_e = -4.17 \text{ Pa}$$

Potencia que la bomba transmite al sistema

Finalmente se encuentra el cabezal hidráulico que debe brindar la bomba. Lo cual se consigue al realizar el análisis anterior entre el punto de ingreso al pistón y el nivel del tanque.

$$\frac{P_t}{\gamma_A} + Z_t + \frac{V_t^2}{2g} + h_B - \left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_t^2}{2g} \right] = \frac{P_l}{\gamma_A} + Z_l + \frac{V_l^2}{2g} \quad (4.52)$$

Donde:

P_t	Presión en el tanque de aceite hidráulico
P_I	Presión a la entrada de la manguera hidráulica
γ_A	Peso específico del aceite hidráulico
ϕ_a	Diámetro de manguera hidráulica
L_H	Longitud de la manguera hidráulica
h_B	Cabezal de altura de la bomba
g	Aceleración de la gravedad
V_t	Velocidad del aceite en el tanque
V_I	Velocidad del aceite a la entrada de la manguera hidráulica
f	Factor de fricción de Darcy
Z_I	Altura a la entrada de la manguera hidráulica
Z_t	Altura del tanque de aceite

$$h_B + 3.55 \text{ m} + 3.56 \text{ m} = \frac{5.38 \times 10^6 \text{ Pa}}{8506.4 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + 0.44 \text{ m} + \frac{0.14 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_B = 625.80 \text{ m}$$

$$Pot_S = h_B * \gamma_A * Q_{pistón} \quad (4.53)$$

Donde:

Pot_S	Potencia del sistema
h_B	Cabezal de altura de la bomba
γ_A	Peso específico del aceite hidráulico
$Q_{pistón}$	Caudal en el pistón seleccionado

$$Pot_S = 625.80 \text{ m} * 8506.4 \frac{N}{m^3} * 0.0003638 \frac{m^3}{s}$$

$$Pot_S = 1936.62 \text{ W}$$

$$Pot_S = 2.60 \text{ hp}$$

Potencia real de la bomba y del motor

El valor Pot_B toma una eficiencia del 100% sin embargo, se deben considerar que las eficiencias de las bombas no alcanzan estos valores por lo que se debe aplicar un factor de eficiencia de 0.8. Así mismo se tomó el valor de eficiencia de un motor de combustión interna igual a 0.5

$$Pot_B = Pot_S * \frac{1}{\eta_B} \quad (4.54)$$

Donde:

Pot_B Potencia de la bomba

Pot_S Potencia del sistema

η_B Eficiencia de la Bomba

$$Pot_B = 2.60 \text{ hp} * \frac{1}{0.8}$$

$$Pot_B = 3.25 \text{ hp}$$

$$Pot_M = Pot_B * \frac{1}{\eta_M} \quad (4.55)$$

Donde:

Pot_M	Potencia del motor
Pot_B	Potencia de la bomba
η_M	Eficiencia del Motor

$$Pot_M = Pot_B * \frac{1}{\eta_M}$$

$$Pot_M = 3.25 \text{ hp} * \frac{1}{0.5}$$

$$Pot_M = 6.5 \text{ hp}$$

Diámetro interno de tubería hidráulica

Para determinar el diámetro de la tubería procedemos a guiarnos con la Tabla empírica del libro prontuario de hidráulica industrial que se encuentra en el Apéndice A en la Figura A.14 para lo cual necesitamos la presión del fluido de trabajo.

$$P_{pistón \text{ real}} = 3.71 \text{ MPa} = 37.83 \text{ kg/cm}^2$$

Con esto tenemos que la velocidad es igual a 4 m/s y con ayuda del valor del caudal y con el Apéndice A en la Figura A.15 se determinó el diámetro interno de la manguera.

$$Q_{pistón} = 5.766 \text{ GPM} = 21.8 \text{ lpm}$$

Teniendo así que se necesita un diámetro interno de manguera mínimo de 11 mm.

Uniones empernadas

Se empleará 4 pernos de 3/8 grado 8

$$F_{pistón\ corregida} = 9609.97\ N = 2160.40\ lbf$$

$$P_{trabajo} = 150000\ psi$$

$$A_{perno} = \pi * r_{perno}^2 \quad (4.56)$$

Donde:

A_{perno} Área del perno

r_{perno} Radio del perno

$$A_{perno} = \pi * \left(\frac{3}{16}\ in\right)^2$$

$$A_{perno} = 0.11\ in^2$$

$$F_{perno} = P_{trabajo} * A_{perno} \quad (4.57)$$

Donde:

F_{perno} Fuerza ejercida en el perno

$P_{trabajo}$ Presión de trabajo

A_{perno} Área del perno

$$F_{perno} = 150000 \frac{lbf}{in^2} * 0.11\ in^2$$

$$F_{perno} = 16500\ lbf * 4\ pernos$$

$$F_{perno} = 66000\ lbf$$

$$n = F_{perno} / F_{pistón\ corregida} \quad (4.58)$$

Donde:

n	Factor de perno
F_{perno}	Fuerza ejercida en el perno
$F_{pistón\ corregida}$	Fuerza de Avance del pistón corregido

$$n = \frac{66000\ lbf}{2160.4\ lbf}$$

$$n = 30.54$$

Diseño de Pistón de válvula S

Para diseñar el pistón primero se realizó una simulación para obtener el coeficiente de arrastre de la válvula y la fuerza de arrastre producida por un lodo con comportamiento de fluido no newtoniano como se ve la Figura 3.2.

$$F_{arrastre\ lodo} = 2.63\ N$$

$$\rho_{lodo} = 1647\ \frac{kg}{m^3}$$

$$F_{arrastre\ lodo} = \frac{1}{2} * Cp * \rho_{lodo} * A_{Ts} V_{Ts}^2 \quad (4.59)$$

Donde:

$F_{arrastre\ lodo}$	Fuerza de arrastre producida por el lodo
Cp	Coeficiente de arrastre de la válvula S
A_S	Área de sección transversal de la válvula S
V_{Ts}	Velocidad de movimiento de la válvula S
ρ_{lodo}	Densidad del lodo

$$\frac{F_{\text{arrastre lodo}}}{A_S * \rho_{\text{lodo}} * \frac{V_S^2}{2}} \quad (4.60)$$

$$Cp = \frac{2.63 \text{ N}}{0.072 \text{ m}^2 * \frac{1647 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.00665^2 \text{ m/s}}{2}}$$

$$Cp = 10.029$$

$$F_{\text{arrastre hormigon}} = \frac{1}{2} * Cp * \rho_{\text{hormigón}} * A_{Ts} V_{Ts}^2 \quad (4.61)$$

Donde:

$F_{\text{arrastre hormigón}}$	Fuerza de arrastre producida por el hormigón
Cp	Coefficiente de arrastre de la válvula S
A_S	Área de sección transversal de la válvula S
V_{Ts}	Velocidad de movimiento de la válvula S
$\rho_{\text{hormigón}}$	Densidad del hormigón

$$F_{\text{arrastre hormigon}} = \frac{1}{2} * 10.029 * 2300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.072 \text{ m}^2 * 0.0665^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$F_{\text{arrastre hormigon}} = 55 \text{ N}$$

Una vez obtenido la fuerza de arrastre del hormigón, utilizando estática y con ayuda de las Figuras 3.1 y 3.2 se encuentra la fuerza que ejerce el pistón para compensar la fuerza de arrastre del hormigón

$$M_{FA} = F_{\text{arrastre hormigón}} * d_{\text{pistón}} \quad (4.62)$$

Donde:

M_{FA} Momento producido por el arrastre del hormigón

$F_{\text{arrastre hormigón}}$ Fuerza de arrastre producida por el hormigón

$d_{\text{pistón}}$ Distancia de punto de aplicación de la fuerza de arrastre en la válvula S

$F_{\text{piston s}}$ Fuerza ejercida en el pistón de la válvula S

$$M_{FA} = 55 \text{ N} * \frac{35.64}{1000} \text{ m}$$

$$M_{FA} = 1.96 \text{ Nm}$$

$$\sum M(x) = 0$$

$$-M_{FA} + F_{\text{pistón s}} * \cos(10^\circ) * \frac{70}{1000} * \text{sen}(60^\circ) = 0$$

$$F_{\text{pistón s}} = \frac{M_{FA}}{\cos(10^\circ) * \frac{70}{1000} * \text{sen}(60^\circ)}$$

$$F_{\text{piston s}} = 32.83 \text{ N}$$

Conociendo la fuerza que debe ser aplicada en el pistón para producir el movimiento de la válvula S, se calcula la potencia necesaria para provocar dicho movimiento, para esto se hace uso de la geometría del pistón y el tiempo de carrera de este.

$$L_{\text{pistón s}} = 70 \text{ mm}$$

$$t_{\text{pistón s}} = 2 \text{ s}$$

$$Pot_{pistón s} = \frac{F_{pistón s} * L_{pistón s}}{t_{pistón s}}$$

$$Pot_{pistón s} = \frac{32.83 N * \frac{70}{1000} m}{2 s}$$

$$Pot_{pistón s} = 1.15 W$$

Repitiendo la metodología desde la determinación del número de Reynolds del aceite hidráulico hasta la determinación de la potencia que la bomba transmite al sistema. Se obtienen los valores de presión y caudal que necesita ser suministrada para poder mover el pistón conectado a la válvula S. Para esto se consideró que el aceite ingresa a este pistón por la parte trasera cuando se quiere mover el vástago hacia adelante y un ingreso de aceite por la parte frontal para hacerlo retrocede y que el diámetro de la manguera hidráulica no varía. También conociendo el valor de la fuerza que necesita ser aplicada deducimos que solo es necesario encontrar un pistón que se adapte geoméricamente a nuestras necesidades, ya que la fuerza es mínima.

$$\phi_{pistón s} = 50.8 mm$$

$$L_a = 1.7 m$$

Teniendo así los siguientes resultados cuando el pistón avanza:

$$A_{avance s} = 2.027 \times 10^{-3} m^2$$

$$P_{pistón avance s} = 16197.71 Pa$$

$$V_{pistón s} = 0.035 \frac{m}{s}$$

$$Q_{avance s} = 7.1 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{avance s} = 0.56 \frac{m}{s}$$

$$Re_s = 116.21$$

$$f_s = 0.5507$$

$$\left[f * \frac{L_a}{\phi_a} * \frac{V_{avances}^2}{2g} \right] = 1.18 \text{ m}$$

$$P_{avance \text{ a la salida } s} = 29230.05 \text{ Pa}$$

$$\left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_{avances}^2}{2g} \right] = 0.7 \text{ m}$$

$$P_{avance \text{ a la entrada } s} = -7792 \text{ Pa}$$

$$h_{b \text{ avance } s} = 0.6 \text{ m}$$

$$Pot_{avance \text{ } s} = 0.3577 \text{ W}$$

Por otro lado, cuando el pistón que mueve la válvula s retrocede tenemos los siguientes resultados:

$$A_{retroceso \text{ } s} = 1.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$P_{pistón \text{ retroceso } s} = 17279 \text{ Pa}$$

$$V_{pistón \text{ } s} = 0.035 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{retroceso \text{ } s} = 7.1 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{retroceso \text{ } s} = 0.56 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\left[f * \frac{L_a}{\phi_a} * \frac{V_{retroceso \text{ } s}^2}{2g} \right] = 1.18 \text{ m}$$

$$P_{retroceso \text{ a la salida } s} = 30311.33 \text{ Pa}$$

$$\left[f * \frac{L_H}{\phi_a} * \frac{V_{retroceso \text{ } s}^2}{2g} \right] = 0.7 \text{ m}$$

$$P_{retroceso \text{ a la entrada } s} = -7792 \text{ Pa}$$

$$h_{b \text{ retroceso } s} = 0.52 \text{ m}$$

$$Pot_{retroceso \text{ } s} = 0.32 \text{ W}$$

Peso total de la Bomba de Hormigón

Con ayuda de la Tabla 3.4 y del valor de la densidad del acero, podemos calcular el peso y área superficial de la bomba de hormigón

$$W_{BH} = W_I * \frac{\rho_I}{\rho_{acero}} \quad (4.63)$$

Donde:

W_{BH}	Peso total de la bomba de hormigón
W_I	Peso del sistema modelado
ρ_I	Densidad del sistema modelado
ρ_{acero}	Densidad del acero

$$W_{BH} = 162.665 \text{ kg} * \frac{7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1104 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$W_{BH} = 1156.63 \text{ kg} = 1.16 \text{ Ton}$$

Diseño de la pintura

Se optó por aplicar 3 capas de pintura, una de imprimación, una capa intermedia y una de acabado, para lo cual la capa intermedia y la de acabado usarán la misma pintura.

$$A_{BH} = 36028445.173 \text{ mm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{1000^2 \text{ mm}^2}$$

$$A_{BH} = 36.03 \text{ m}^2$$

Para la capa de imprimación tenemos lo siguiente:

$$dft_i: 25.4 \mu\text{m}$$

$$\%SV_i = 50$$

$$FC_{ref\ i} = 10\%$$

$$Rendimiento_{teórico\ i} = 75 \frac{m^2}{gal}$$

$$\%SV_i = \frac{dft_i}{wft_i} * 100 \quad (4.64)$$

Donde:

$\%SV_i$ Porcentaje de sólidos en la pintura de imprimación

dft_i Espesor de capa seca de la pintura de imprimación

wft_i Espesor de capa húmeda de la pintura de imprimación

$$wft_i = \frac{dft_i * 100}{\%SV_i} \quad (4.65)$$

$$wft_i = \frac{25.4 \mu m * 100}{50}$$

$$wft_i = 50.8 \mu m$$

$$Rendimiento_{real\ i} = Rendimiento_{teórico\ i} - FC_{ref\ i} * Rendimiento_{teórico\ i} \quad (4.66)$$

Donde:

$Rendimiento_{real\ i}$ Rendimiento real de la pintura de imprimación

$Rendimiento_{teórico\ i}$ Rendimiento teórico de la pintura de imprimación

$FC_{ref\ i}$ Factor de consumo para la pintura de imprimación

$$Rendimiento_{real\ i} = 75 \frac{m^2}{gal} - 0.1 * 75 \frac{m^2}{gal}$$

$$Rendimiento_{real\ i} = 67.5 \frac{m^2}{gal}$$

$$V_i = \frac{A_{BH}}{Rendimiento_{real\ i}} \quad (4.67)$$

Donde:

V_i	Volumen necesario para la imprimación
A_{BH}	Área superficial de la bomba de hormigón
$Rendimiento_{real\ i}$	Rendimiento real de la pintura de imprimación

$$V_i = \frac{36.03\ m^2}{67.5\ \frac{m^2}{gal}}$$

$$V_i = 0.53\ gal$$

Para la capa intermedia y de acabado tenemos lo siguiente:

$$dft_a: 25.4\ \mu m$$

$$\%SV_a = 42$$

$$FC_{ref\ a} = 10\%$$

$$Rendimiento_{teórico\ a} = 63\ \frac{m^2}{gal}$$

$$\%SV_a = \frac{dft_a}{wft_a} * 100 \quad (4.68)$$

Donde:

$\%SV_a$	Porcentaje de sólidos en la pintura de acabado
dft_a	Espesor de capa seca de la pintura de acabado
wft_a	Espesor de capa húmeda de la pintura de acabado

$$wft_a = \frac{dft_a * 100}{\%SV_a} \quad (4.69)$$

$$wft_i = \frac{25.4 \mu m * 100}{42}$$

$$wft_i = 60.48 \mu m$$

$$Rendimiento_{real a} = Rendimiento_{teórico a} - FC_{ref a} * Rendimiento_{teórico a} \quad (4.70)$$

Donde:

$Rendimiento_{real a}$ Rendimiento real de la pintura de acabado

$Rendimiento_{teórico a}$ Rendimiento teórico de la pintura de acabado

$FC_{ref a}$ Factor de consumo para la pintura de acabado

$$Rendimiento_{real a} = 63 \frac{m^2}{gal} - 0.1 * 63 \frac{m^2}{gal}$$

$$Rendimiento_{real a} = 56.7 \frac{m^2}{gal}$$

$$V_a = \frac{2 * A_{BH}}{Rendimiento_{real a}} \quad (4.71)$$

Donde:

V_a Volumen necesario para la capa de acabado

A_{BH} Área superficial de la bomba de hormigón

$Rendimiento_{real a}$ Rendimiento real de la pintura de acabado

$$V_a = \frac{2 * 36.03 m^2}{56.7 \frac{m^2}{gal}}$$

$$V_a = 1.26 gal$$

APÉNDICE C

Cotizaciones

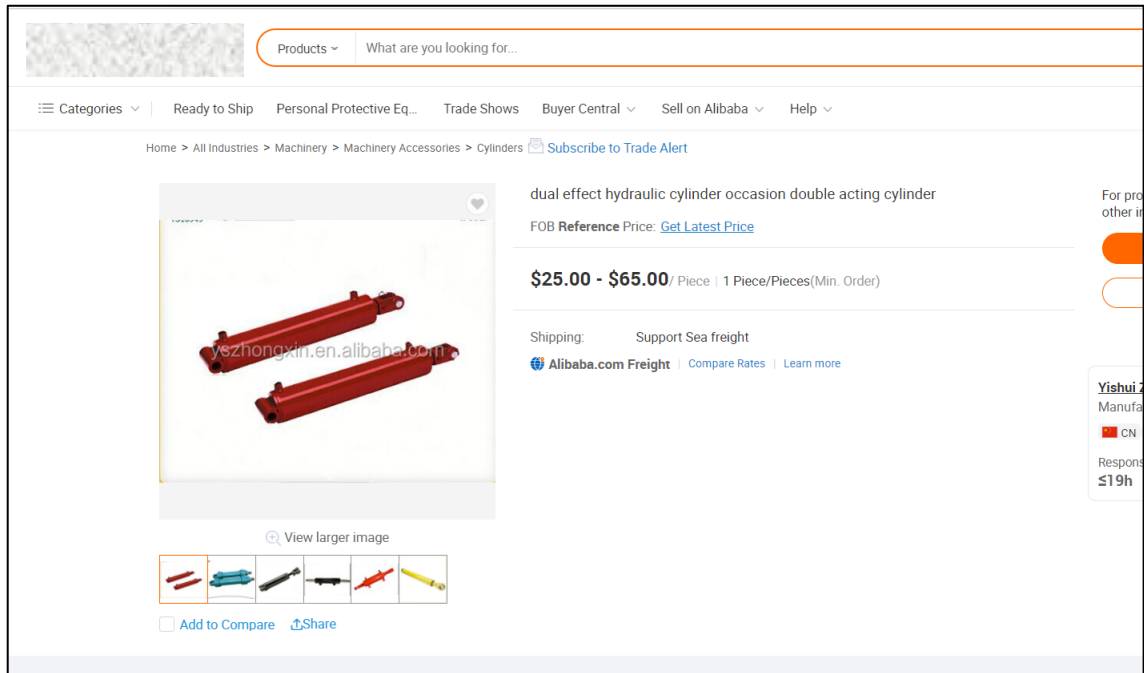


Figura C 1 Cotización de pistón para válvula S

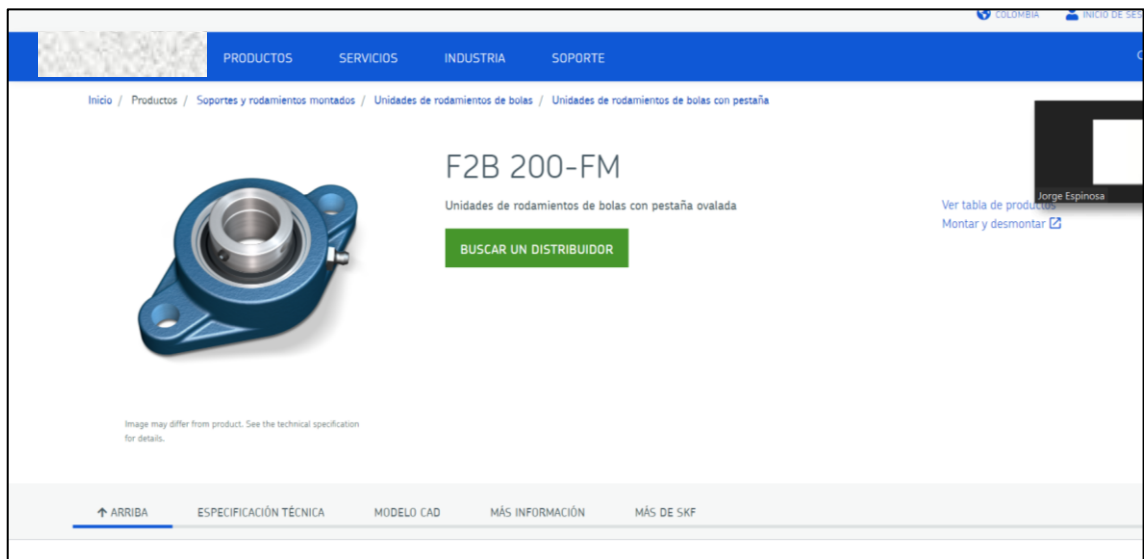



Figura C 2 Cotización para chumacera

Products ▾ What are you looking for... Search

Categories ▾ Ready to Ship Personal Protective Eq... Trade Shows Buyer Central ▾ Sell on Alibaba ▾ Help ▾

Home > All Industries > Machinery > Engineering & Construction Machinery > Construction Machinery Parts [Subscribe to Trade Alert](#)



Concrete Pump spare parts S valve for Chinese manufacturer
Steady Order Pricing
FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$150.00 - \$850.00 / Piece | 1 Piece/Pieces(Min. Order)

Model Number: s pipe valve

Compatible Bra... ZOOMLION Sany Other

Lead TimeⓄ:

Quantity(Pieces)	1 - 10	>10
Est. Time(days)	7	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 100 Pieces)
Customized packaging(Min. Order: 100 Pieces)
More ▾

Shipping: Support Express - Sea freight - Land freight - Air freight
✔ **6 months, Within 6 month** for machinery warranty

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)


Protection: [Trade Assurance](#) Protect your Alibaba.com orders

Figura C 3 Cotización de Válvula S

Products ▾ What are you looking for... Search

Categories ▾ Ready to Ship Personal Protective Eq... Trade Shows Buyer Central ▾ Sell on Alibaba ▾ Help ▾

Home > All Industries > Machinery > Machinery Accessories > Machinery Engines & Parts > Machinery Engines [Subscribe to Trade Alert](#)



Top quality 6.5 hp 4-stroke motor engine
FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$39.00 - \$120.00 / Set | 50 Set/Sets(Min. Order)

Fuel: Gasoline

Model Number: TL152F/P~TL192F/P

Lead TimeⓄ:

Quantity(Sets)	1 - 50	>50
Est. Time(days)	20	To be negotiated

Service: ✔ **1 Year** for machinery warranty **Other** for Core Components Ⓞ

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

For product pricing, customization, or other inquiries:
[Contact Supplier](#)
[Chat Now](#)

Chongqing Tenglong Shines Elect.
Manufacturer, Trading Company
CN 15 YRS
Response Time >24h On-time delivery rate 100.0%


Figura C 4 Cotización de motor

What are you looking for... Search

Categories Ready to Ship Personal Protective E... Trade Shows Buyer Central Sell on Alibaba Help

Home > All Industries > Tools & Hardware > Pumps & Parts > Pumps

POOCCA



Replace Taiwan Micro Aluminum Oil HGP-1A HGP-2A HGP-3A Gear Pump Hydraulic

★★★★★ 5.0 2 Reviews 5 buyers

1 - 49 Pieces **\$35.00** >=50 Pieces **\$30.00**

Type: Booster Pumps

Maximum Head: Stander

Maximum Flow: Stander

Samples: Booster Pumps, Stander, Stander \$35.00/Piece | 1 Piece (Min. Order) | Buy Samples

Lead Time:

Quantity(Pieces)	1 - 10	>10
Est. Time(days)	15	To be negotiated

Customization: Customized logo(Min. Order: 5 Pieces) Customized packaging(Min. Order: 10 Pieces) More

Shipping: Support Sea freight

Alibaba.com Freight Compare Rates Learn more

For product pricing, customization, or other inquiries:

Contact Supplier

Call us

Chat Now

Verified supplier

Poocca Hydraulic (shenzhen) Co., Ltd.
Manufacturer, Trading Company

CN 3 YRS

Response Time: On-time delivery rate: **92.0%**
54h

61 Transactions FloorSpace(m²): **80,000+**
500

Certificate: QA/QC inspectors: **0-4**

ODM Services Available

Finished Product Inspection


Figura C 5 Cotización de Bomba

Lo que estás buscando... Buscar

Categorías Equipo de protección p... Exhibiciones comercial... Central de compradores Vender en Alibaba

Casa > Todas las industrias > Transmisión eléctrica > Piezas de transmisión de energía > Acopladores de eje

Exterior diámetro 40mm de acero inoxidable de primavera acoplamiento del eje de Metal debajo de acoplamiento



5 - 49 Unidades **14,50 US\$** 50 - 99 Unidades **12,50 US\$** >=100 Unidades **10,00 US\$**

Número de Mod.: De Metal debajo de acoplamiento BW40C

Lead Time:

Cantidad(Unidades)	1 - 50	>50
Hora del Est. (días)	10	Se negociará

Alibaba.com Freight Compare Rates Learn more

Protección: **Garantía comercial** Protege tus pedidos de Alibaba.com

Garantía de envío a tiempo Política de reembolso

Para consultar por precios de productos, personalizaciones u otra información:

Contactar Proveedor

Llámanos

Hablar ahora

Jinan Golden Bridge Precision Me...
Manufacturer, Trading Company

CN 12 YRS

Tiempo de respues... Tasa de entrega a t.: **100.0%**
54h


26 Transacciones **10,000+**

Figura C 6 Cotización de Acople


Artículos ▾ Lo que estás buscando... NEW Iniciar Sesión

[Categorías ▾](#) | [Listo para enviar](#) | [Equipo de protección ...](#) | [Central de comprador... ▾](#) | [Vender en Alibaba ▾](#) | [Ayuda ▾](#)

Casa > Todas las industrias > Maquinaria > Maquinaria de ingeniería y construcción > Piezas de maquinaria de construcción [Suscribirse a Comercio alerta](#)



View larger image



Añadir para co... [Compartir](#)

Putzmeister-bomba de hormigón, válvula C, placa de desgaste y anillo de corte

10 - 19 Unidades	20 - 29 Unidades	>=30 Unidades
235,00 US\$	228,00 US\$	220,00 US\$

Beneficios Pro Cupones de 3.000 USD [Aplicar ahora >](#)

Número de Mo...

Marca Compati...

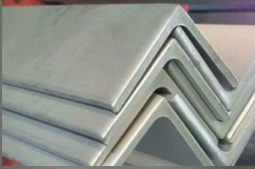
Muestras:
235,00 US\$/Unidad | 1 Unidad (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)

Lead Time@:

Cantidad(Unidades)	1 - 10	11 - 20	21 - 30	>30
Hora del Est.(días)	7	15	20	Se negociará

Personalización: [Logotipo personalizado\(Min. Order: 50 Unidades\)](#)
[Embalaje personalizado\(Min. Order: 50 Unidades\)](#)
[More ▾](#)

Figura C 7 Cotización de anillo y gafas de corte



ángulo de acero inoxidable

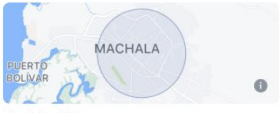
\$115

Publicado hace 19 semanas en Machala, El Oro

Detalles

Estado Usado - Como nuevo

Vendo ángulo de acero inoxidable de 1 1/4" x 1/4"



Machala, El Oro
La ubicación es aproximada

Información del vendedor [Detalles del vendedor](#)

Figura C 8 Cotización de ángulo de acero



Figura C 9 Cotización de plancha de acero

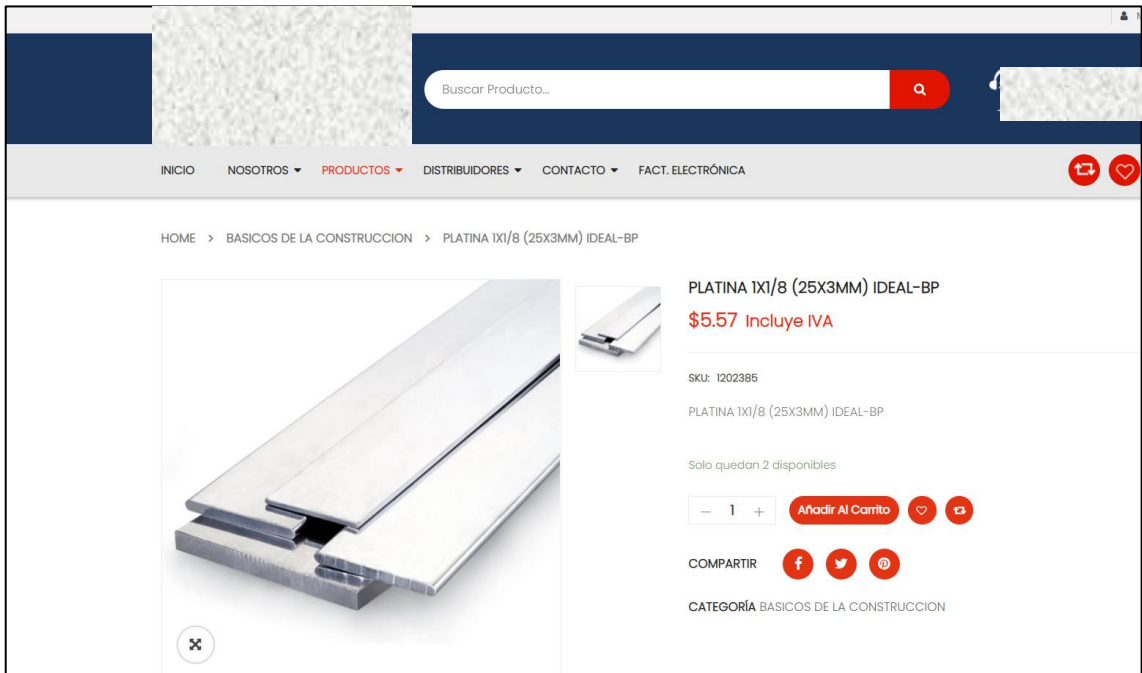


Figura C 10 Cotización de platina



Figura C 11 Cotización de pistón hidráulico



Figura C 12 Cotización de tubo de acero



Figura C 13 Cotización de tubo cuadrado de acero




Figura C 14 Cotización de válvula reguladora de caudal

Buscar productos, marcas y más...

Categorías Historial Vender Ayuda Crea tu cuenta Ingresar Mis compras

También puede interesarte: multímetro - mgsystem - amazon alexa - fire stick - tv box video television

Volver al listado | Electrónica, Audio y Video > Otros Compartir Vender uno igual



Nuevo | 37 vendidos

Valvula Solenoide
Electrovalvula 1/2 - 12v
Arduino,pic,avr

U\$S 15

Ver los medios de pago

Entrega a acordar con el vendedor
Guayaquil, Guayaquil
Ver costos de envío

Cantidad: 1 unidad (2 disponibles)

Comprar ahora

Información sobre el vendedor

Figura C 15 Cotización de Electroválvula

Fin de carrera Solo en Electrónica, Audio y Video

Vender Ayuda Crea tu cuenta Ingresar Mis compras

Electrónica, Audio y Video Ordenar por Más relevantes


Finales de carrera
38 resultados

Envío gratis


Categorías
Drones y Accesorios (6)
Componentes Electrónicos (3)
Otros (29)

Ubicación
Pichincha (18)
Tungurahua (6)
Azuay (4)
Guayas (3)
Chimborazo (3)


Condición
Nuevo (38)



Fin De Carrera Industrial Limit Switch Final
U\$S 6



Final De Carrera Tipo Pivote No+nc
U\$S 25




Final De Carrera 2 Posiciones
U\$S 17

Figura C 16 Cotización de final de carrera

Products ▾ What are you looking for... NEW Search Sign In Join F

Categories ▾ Ready to Ship Personal Protective Eq... Trade Shows Buyer Central ▾ Sell on Alibaba ▾ Help ▾ Get the App

Home > All Industries > Machinery > Engineering & Construction Machinery > Construction Machinery Parts [Subscribe to Trade Alert](#)



XPS
XTREAM PERFORMANCE SPARE PART

View larger image

[Add to Compare](#) [Share](#)

XPS HYDRAULIC MAIN PUMP SEAL KIT K5V180DT HPV90 K3V180 K3V140 K3V63DT K3V63BDT PC350-6 PC350-7 PC350-8 PC300-6 PC300-7 SEAL KIT

For product pricing, or other inquiries: [Contact](#) [Chat](#)

>=5 Sets
\$1.00

Model Number: EXCAVATOR

Compatible Bra... [John Deere](#) [Sumitomo](#) [hitachi](#) [Atlas Copco](#)
[Hyundai](#) [Komatsu](#) [Kobelco](#) [LiuGong](#)
[VOLVO](#) [Doosan](#) [Jcb](#) [XGMA](#) [CATERPILLAR](#)
[XCMG](#)

Lead Time①:	Quantity(Sets)	1 - 50	>50
	Est. Time(days)	5	To be negotiated

Customization: [Customized logo](#)(Min. Order: 1000 Sets)
[Customized packaging](#)(Min. Order: 1000 Sets)
More ▾ Lead Time

Shipping: [Support Express](#) · [Sea freight](#) · [Land freight](#) · [Air freight](#)
[3 months](#) for machinery warranty

[Alibaba.com Freight](#) | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Guangzhou Kupai Co

🇨🇳 CN 1 YR


Response Time 0
≤3h

Figura C 17 Cotización de sello hidráulico

Buscar artículos Todas las categor...

[Volver a la página anterior](#) | Anunciado en la categoría: [Equipo y maquinaria industrial](#) > [Sistemas hidráulicos, neumáticos, bombas y plomería](#) > [Válvulas y colectores](#) > [Válvulas reductoras de presión de agua](#)

¿CÓMO COMPRAR EN EBAY? Obtén tips de cómo encontrar y comprar los productos que quieres [APRENDE MÁS](#)



Pasa el cursor por encima para ampliar

Válvula de regulación de presión de agua Apollo 1/2" & Colador Bronce 3620302 pr-t112 - mostrar título original

★★★★★ Sé el primero en [escribir una reseña](#).

Estado: **Nuevo**

Precio: **US \$50.00**

Mejor oferta:

[¡Cómpralo ahora!](#)
[Agregar al carro de compras](#)
[Hacer oferta](#)
[Agregar a la Lista de favoritos](#)

Envío: **USD42.64** International Priority Shipping a Ecuador mediante el Programa de envíos globales [Ver detalles](#)
Ubicado en: Winchester, Virginia, Estados Unidos

Entrega: Prevísta entre el **jue. 17 feb.** y el **mié. 23 feb.** [Ver detalles](#)
Incluye seguimiento internacional

Devoluciones: El vendedor no acepta la devolución de este artículo. [Ver detalles](#)

Figura C 18 Cotización de válvula reductora de presión

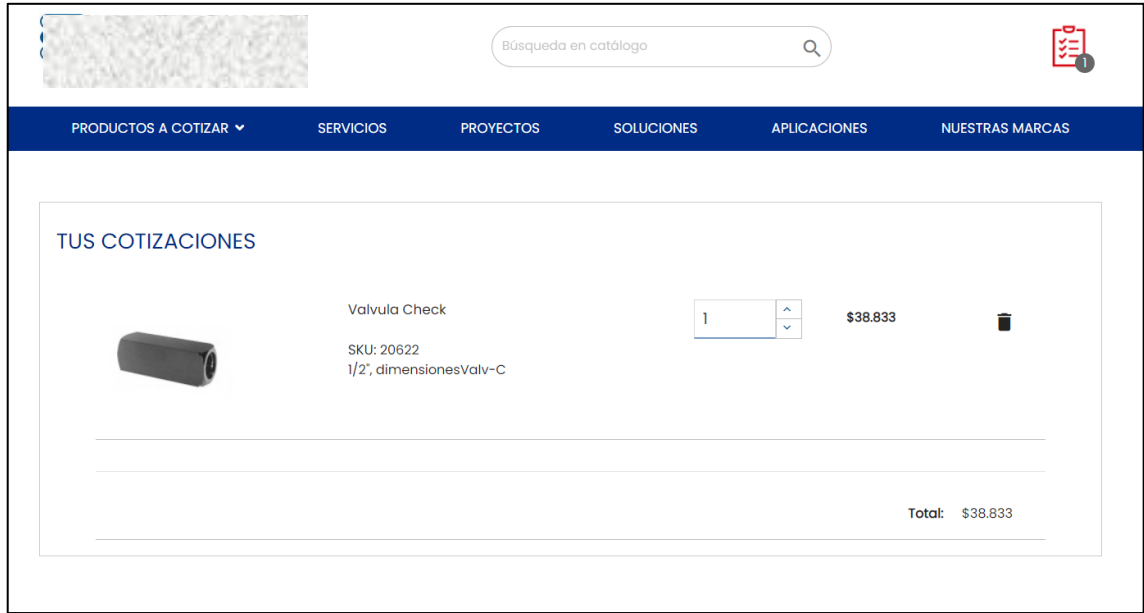


Figura C 19 Cotización Válvula Check



Figura C 20 Cotización de tubo cuadrado

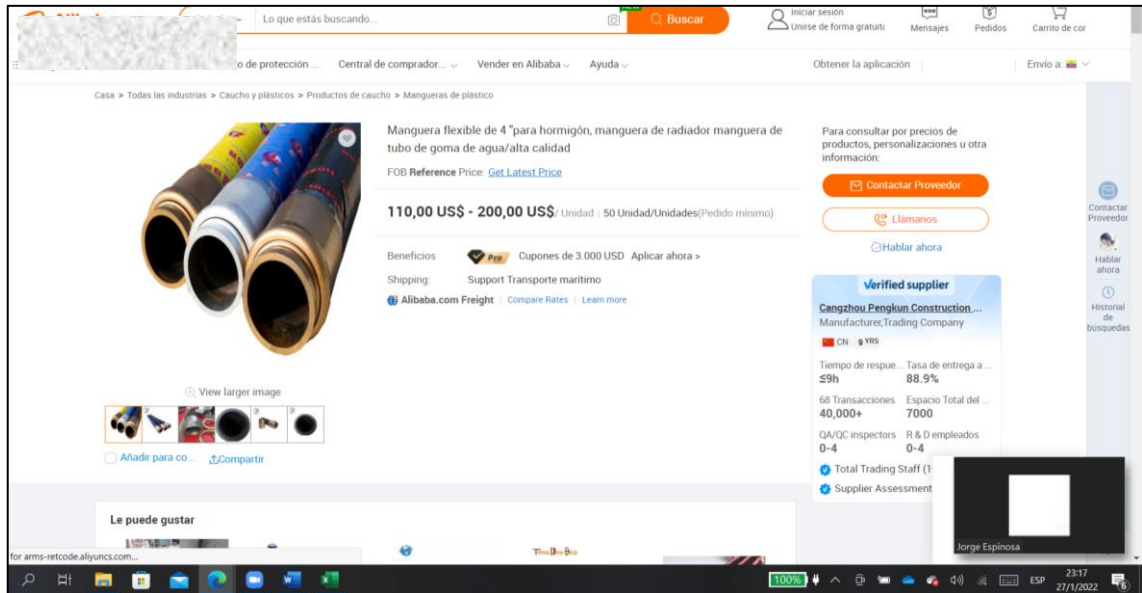


Figura C 21 Cotización de manguera para hormigón

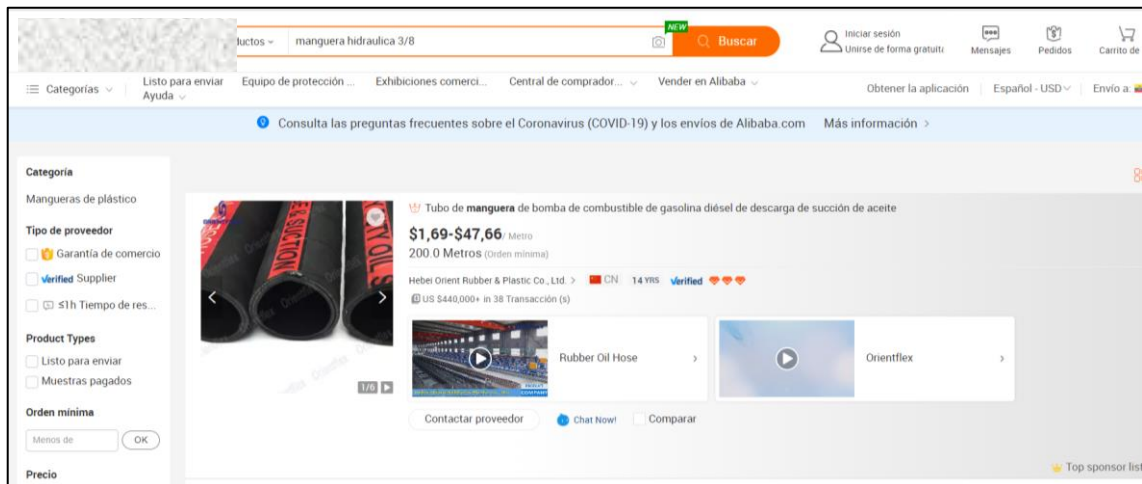


Figura C 22 Cotización para manguera hidráulica




Figura C 25 Cotización de unión de manguera



Figura C 26 Cotización del pistón de goma

Browse Engine/Performance Exterior Interior Lighting Suspension Wheels/Brake
Specials



Fuel Cell Tank 50 Liter / 13 Gallon Red Aluminum Black Cap
FT-500-RDBK
\$129.99

Quantity

[ADD TO CART](#)

[BUY IT NOW](#)

ADVANCED JDM PARTS

- 100% Brand New
- 50 Liter / 13.2 Gallon
- Not for use with alcohol, methanol, water
- Inspect foam for deterioration regularly
- Tank measures 20" (L) x 18" (W) x 9" (H) (WITH OUT MOUNTING TAB)
- Dual -10 Outlets

Figura C 27 Cotización del tanque de aceite

HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Imprimante Oleofenólico Negro

156091

DESCRIPCIÓN	El Imprimante Oleofenólico es un recubrimiento de un componente con base en resinas fenólicas modificadas con excelente poder de adherencia a superficies ferrosas.	
USOS	Como imprimante para estructuras metálicas, expuestas a ambientes urbanos y rurales de agresividad intermedia y moderada, sin exposición directa a ataques químicos.	
VENTAJAS	Buena adherencia al soporte Buena resistencia química	
MODO DE EMPLEO	<p>Preparación de la superficie La superficie debe estar limpia, seca, libre de óxido, cascarilla de laminación, pinturas en mal estado y demás contaminantes que puedan interferir con la adherencia del producto.</p> <p>Método de limpieza Realizar limpieza manual (SSPC-SP2) o con herramientas neumáticas (SSPC-SP3) de acuerdo con las normas internacionales. El perfil de anclaje recomendado debe estar entre 1.5 y 3.0 mils (38 y 75 micrones).</p> <p>Preparación del producto Agitar el producto antes de aplicar. Un galón puede diluirse máximo con 1/8 galón con el Colmasolvente Alquídic 958012</p> <p>Aplicación Aplicar con brocha o pistola convencional: de Vibiss JGA-510.</p> <p>Aspersión Convencional: El tiempo de aplicación entre capas debe ser de 12 horas a una temperatura de 25°C. Es importante agitar el producto durante el proceso de aplicación.</p> <p>Rendimiento Teórico 75 m²/galón a un espesor de película seca de 25,4 micrones (1,0 mils). El rendimiento práctico puede sufrir modificaciones debido a perfiles de anclaje mayores que los especificados, corrientes de aire, alta porosidad de la superficie, equipo de aplicación utilizado, diseño y forma del elemento a recubrir y mayores espesores de película aplicada, etc.</p>	
DATOS TÉCNICOS	<p>Color</p> <p>Densidad (ASTM D1475):</p> <p>Viscosidad (ASTM D562)</p> <p>Disolvente recomendado</p> <p>Espesor de película recomendado por capa (SSPC-PA2):</p> <p>% Sólidos/volumen (ASTM D2697)</p> <p>Pigmentos</p> <p>Límites de aplicación</p> <p>Humedad relativa máx.:</p> <p>Temp. ambiente mínimo:</p>	<p>Negro</p> <p>5 ± 0,8 kg/gal</p> <p>90 a 94 unidades Krebs 25°C</p> <p>Colmasolvente Alquídic ref. 958012</p> <p>50 a 63 micrones (2,0 a 2,5 mils)</p> <p>50 ± 2</p> <p>Oxidos de hierro</p> <p>90%</p> <p>8°C</p>

Figura C 28 Datasheet pintura imprimación



HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Esmalte Acrílico

SERIE 32

DESCRIPCIÓN	Recubrimiento con base en resinas acrílicas, brillante, de un componente, utilizado como acabado para la protección de estructuras metálicas en ambientes urbanos de mediana agresividad.
USOS	Para la protección de superficies metálicas tales como maquinarias, tuberías, cerchas, ventanas, pasamanos, transformadores, etc. y otros elementos metálicos en ambientes de mediana agresividad.
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente acabado brillante - Buena resistencia mecánica. - Resiste a la intemperie en ambientes de mediana agresividad. - Fácil aplicación. - Buen cubrimiento
MODO DE EMPLEO	<p>Preparación de la Superficie La superficie debe estar libre de óxido, grasa, aceite, humedad y pintura vieja que no esté bien adherida. En caso de existir pinturas viejas bien adheridas a la superficie y en buen estado se deben lijar hasta eliminar completamente el brillo. Sobre metales debidamente preparados se debe aplicar Imprimantes Epóxicos, Autoimprimantes Epóxicos y/o Barrera Epóxica Serie 23 y luego aplicar el Esmalte Acrílico. Nota: Cuando se aplique el Esmalte Acrílico Serie 32 sobre Imprimante Serie 13 o Barrera Serie 23, no debe pasar más de 48 horas entre capas. De lo contrario se debe reactivar la superficie.</p> <p>Preparación del Producto Agitar previamente el producto en su empaque, luego mezclar manualmente o con un taladro de bajas revoluciones (400 rpm) hasta obtener una mezcla homogénea y de color uniforme.</p> <p>Aplicación Se puede aplicar con brocha, rodillo ó equipo convencional. El tiempo de aplicación entre capas debe ser de 2 a 4 horas preferiblemente, a una temperatura ambiente de 25°C. Usar el Colmasolvente Epóxico referencia 958025 para diluir si es necesario o para lavar los equipos. Para aplicación con equipo convencional se recomienda una dilución del 10% al 20%. Con el fin de obtener el espesor de película seca recomendada, se debe aplicar dos o tres manos de producto.</p> <p>Rendimiento Teórico 63 m²/galón a un espesor de película seca de 25,4 micrones (1,0 mils). El rendimiento práctico puede sufrir modificaciones debido a perfiles de anclaje mayores que los especificados, corrientes de aire, alta porosidad de la superficie, equipo de aplicación utilizado, diseño y forma del elemento a recubrir y mayores espesores de película aplicada, etc.</p>

Figura C 29 Datasheet pintura capa intermedia y acabado

Inicio / SIKA Esmalte acrilico blanco x galon REF: T588723-01



SIKA Esmalte acrilico blanco x galon REF: T588723-01

\$64.500,00

Cantidad

1

Contáctanos para confirmar cantidades

Realizar compra

Usos


Para la protección de superficies metálicas tales como maquinarias, tuberías, cerchas, ventanas, pasamanos,

Figura C 30 Cotización Pintura Acabado

Buscar productos...

INICIO NOSOTROS ▾ SERVICIOS ▾ PRODUCTOS ▾ PROYECTOS CONTACTO

Carrito

Producto	Precio	Cantidad	Subtotal
 IMPRIMANTE OLEOFENOLICO NEGRO - Negro, 5 Galones	\$591,371	1	\$591,371

Código de cupón [Aplicar cupón](#) [Actualizar carrito](#)

Total del carrito

Subtotal	\$591,371
Envío	Precio fijo: \$8,000 Las opciones de envío se actualizarán durante el pago. Calcular envío

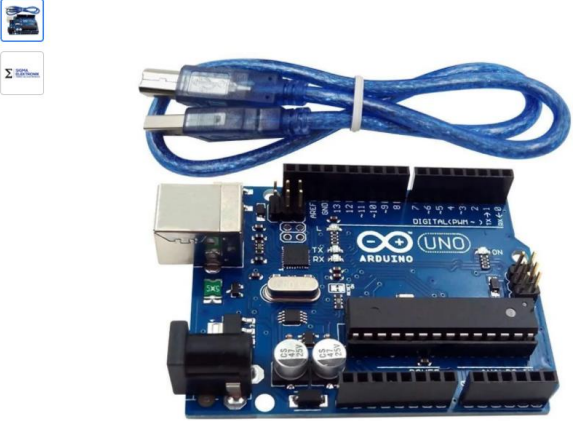
Figura C 31 Cotización Pintura Imprimación

productos, marcas y más...

Categorías Historial Vender Ayuda Crea tu cuenta Ingresar Mis compras

También puede interesarte: multímetro - mgsystem - amazon alexa - fire stick - tv box video television

Volver al listado | [Electrónica, Audio y Video](#) > [Componentes Electrónicos](#) > [Otros](#) [Compartir](#) | [Vender uno igual](#)



Nuevo | 1 vendido

Arduino Uno Genérico + Cable Usb

U\$S 12

[Ver los medios de pago](#)

Entrega a acordar con el vendedor
Guayaquil, Guayaquil
[Ver costos de envío](#)

Cantidad: 1 unidad (29 disponibles)

[Comprar ahora](#)

Información sobre el vendedor

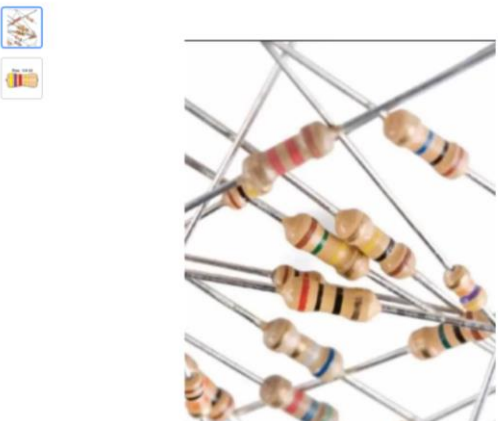
Figura C 32 Cotización de Arduino UNO

productos, marcas y más...

Categorías Historial Vender Ayuda Crea tu cuenta Ingresar Mis compras

También puede interesarte: multímetro - mgsystem - amazon alexa - fire stick - tv box video television

Volver al listado | [Electrónica, Audio y Video](#) > [Componentes Electrónicos](#) > [Pasivos](#) > [Resistores](#) [Compartir](#) | [Vender uno igual](#)



Nuevo | 5 vendidos

Paquete 20 Resistencias 1/4w - Valores A Escoger

U\$S 2

[Ver los medios de pago](#)

Entrega a acordar con el vendedor
Mariscal Sucre, Quito
[Ver costos de envío](#)

Cantidad: 1 unidad (97 disponibles)

[Comprar ahora](#)

Información sobre el vendedor


Figura C 33 Cotización de Resistencias

productos, marcas y más...


Categorías Historial Vender Ayuda Crea tu cuenta Ingresa Mis compras

También puede interesarte: multímetro - msystem - amazon alexa - fire stick - tv box video television

Volver al listado | Electrónica, Audio y Video > Otros [Compartir](#) | [Vender uno igual](#)




Nuevo | 4 vendidos

Batería Recargable Seca 12v 
1.2a 12 Voltios 1.2ah

U\$S 10⁴⁵

[Ver los medios de pago](#)

 Entrega a acordar con el vendedor
 Quito, Quito
[Ver costos de envío](#)

¡Última disponible!

[Comprar ahora](#)

[Información sobre el vendedor](#)

Figura C 34 Cotización de batería



LU-5-R

€ 0.916 (No impuestos)

Rayex

 La colección

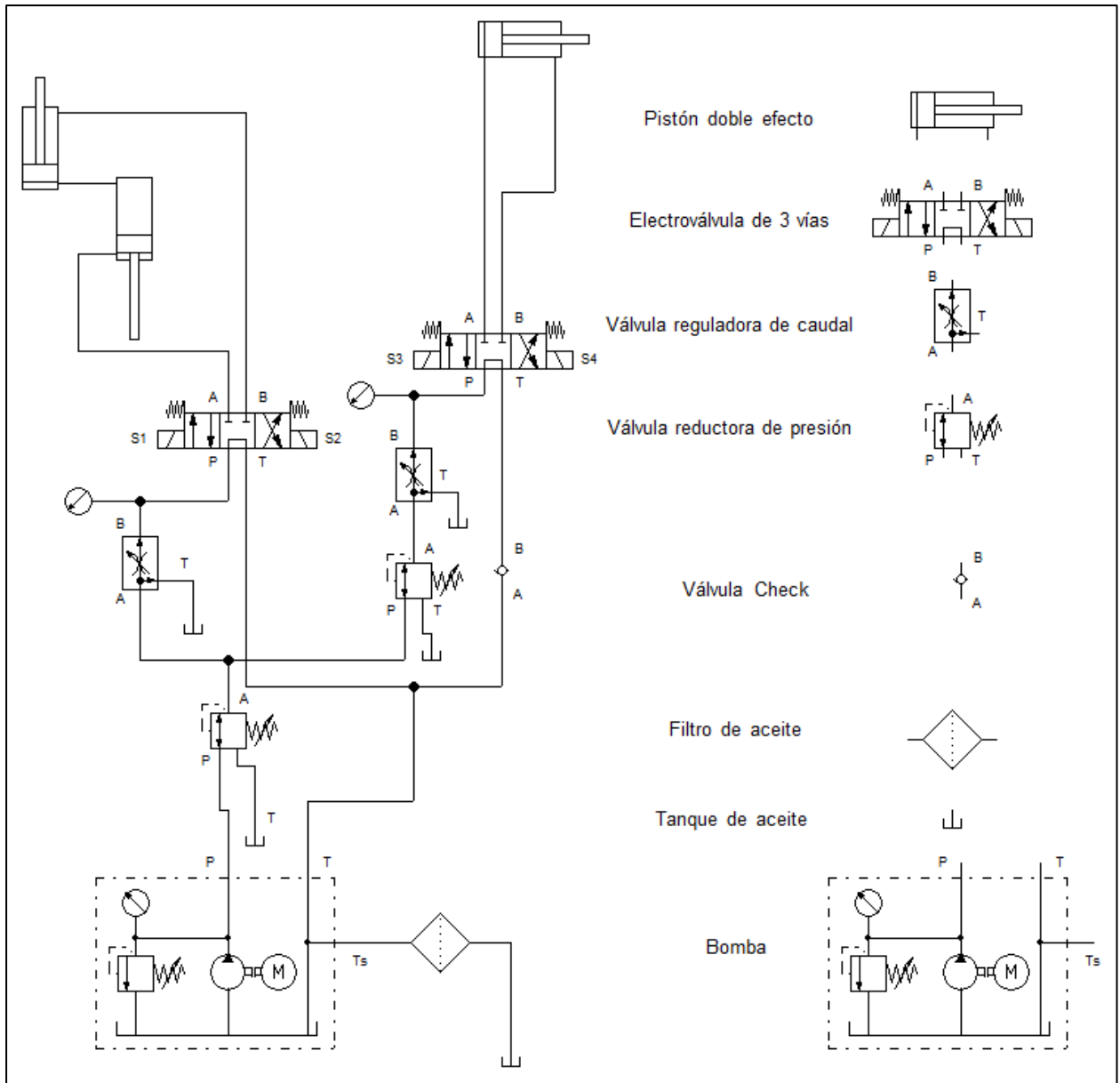
 PDF (1)

  2009

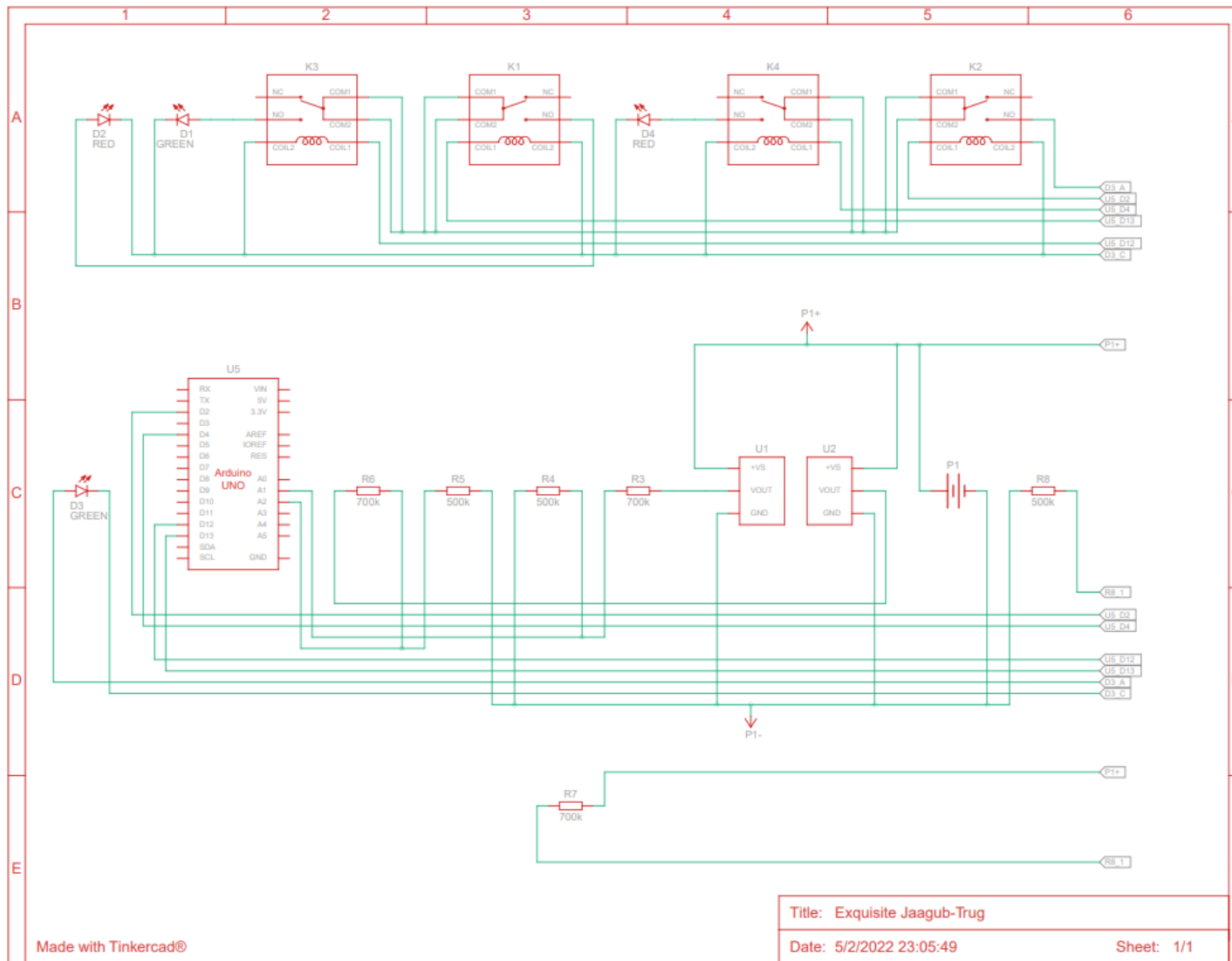
Tiempo de actualización: 2021-01-16 20:19:52

Figura C 35 Cotización Relés

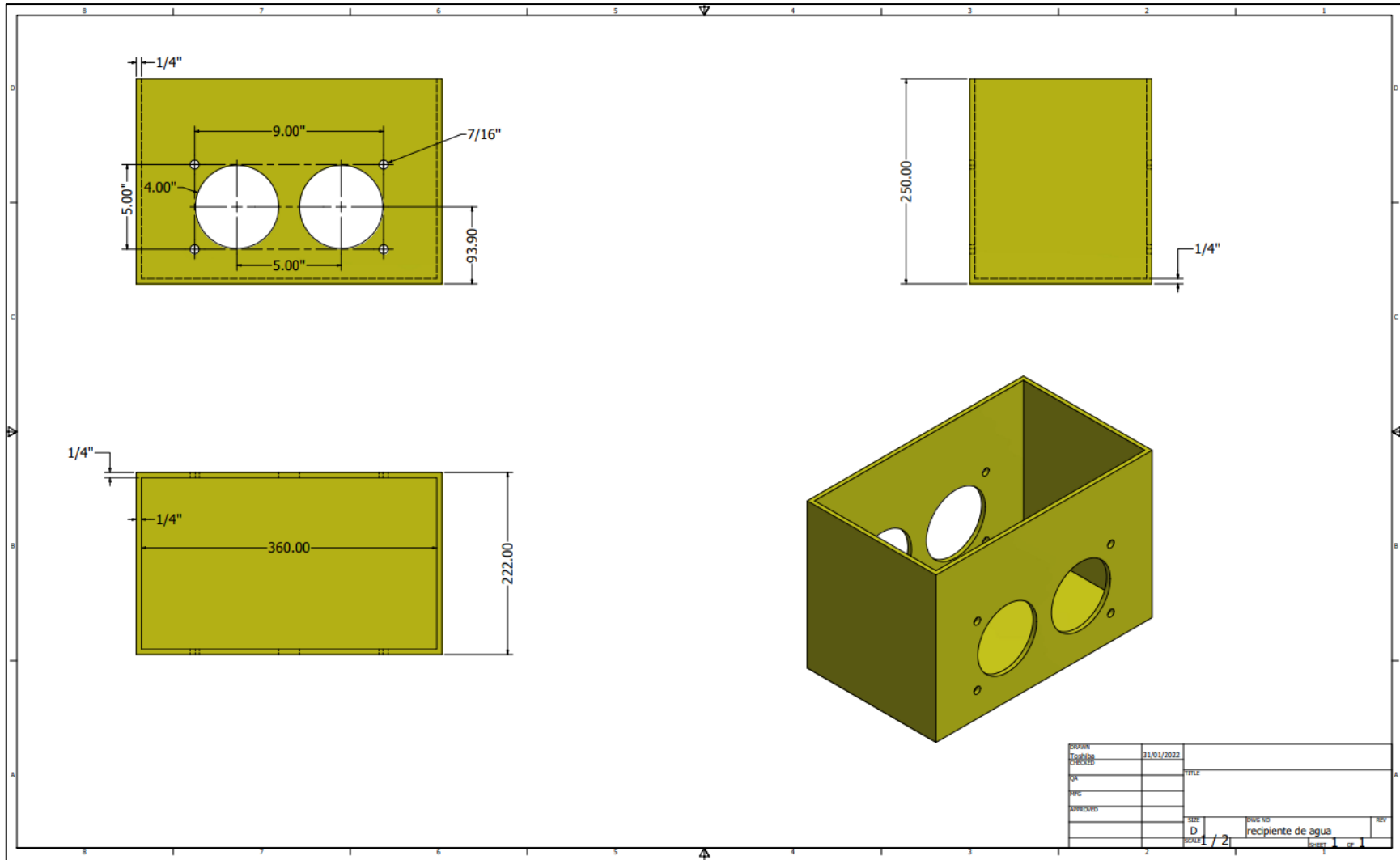
PLANOS



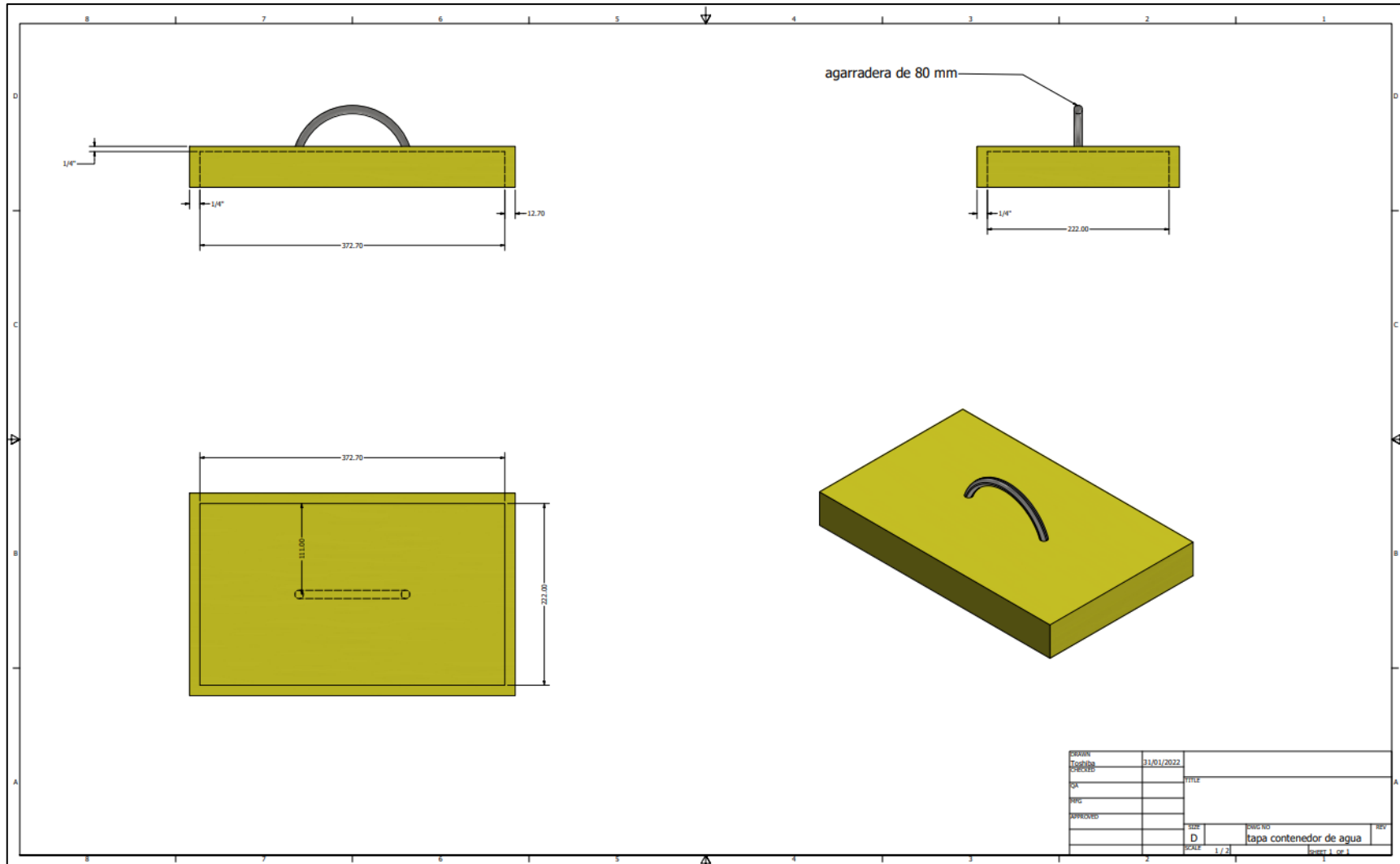
Plano 1 Conexión del Circuito Hidráulico (Elaboración propia)



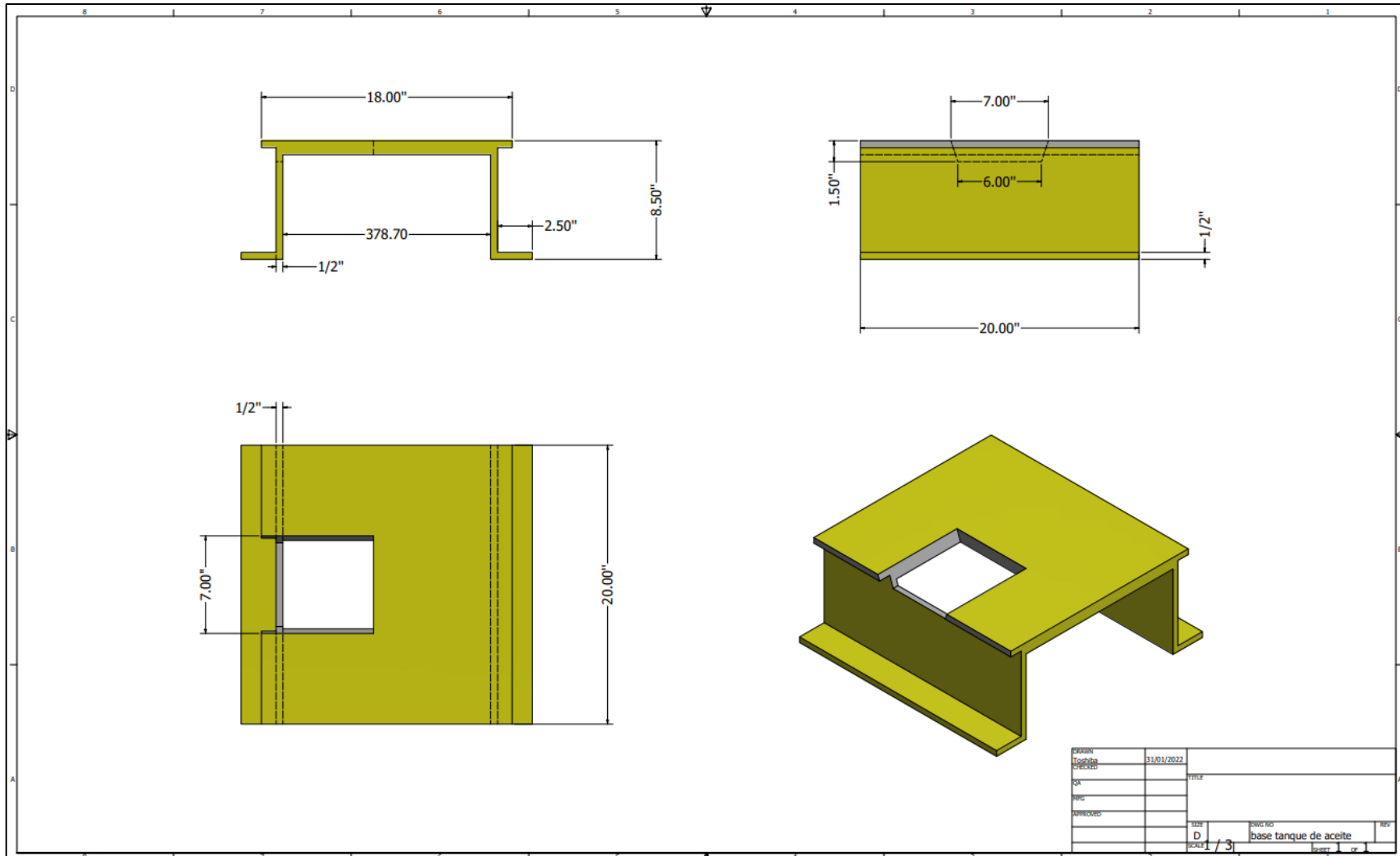
Plano 2 Circuito Electrónico (Elaboración propia)



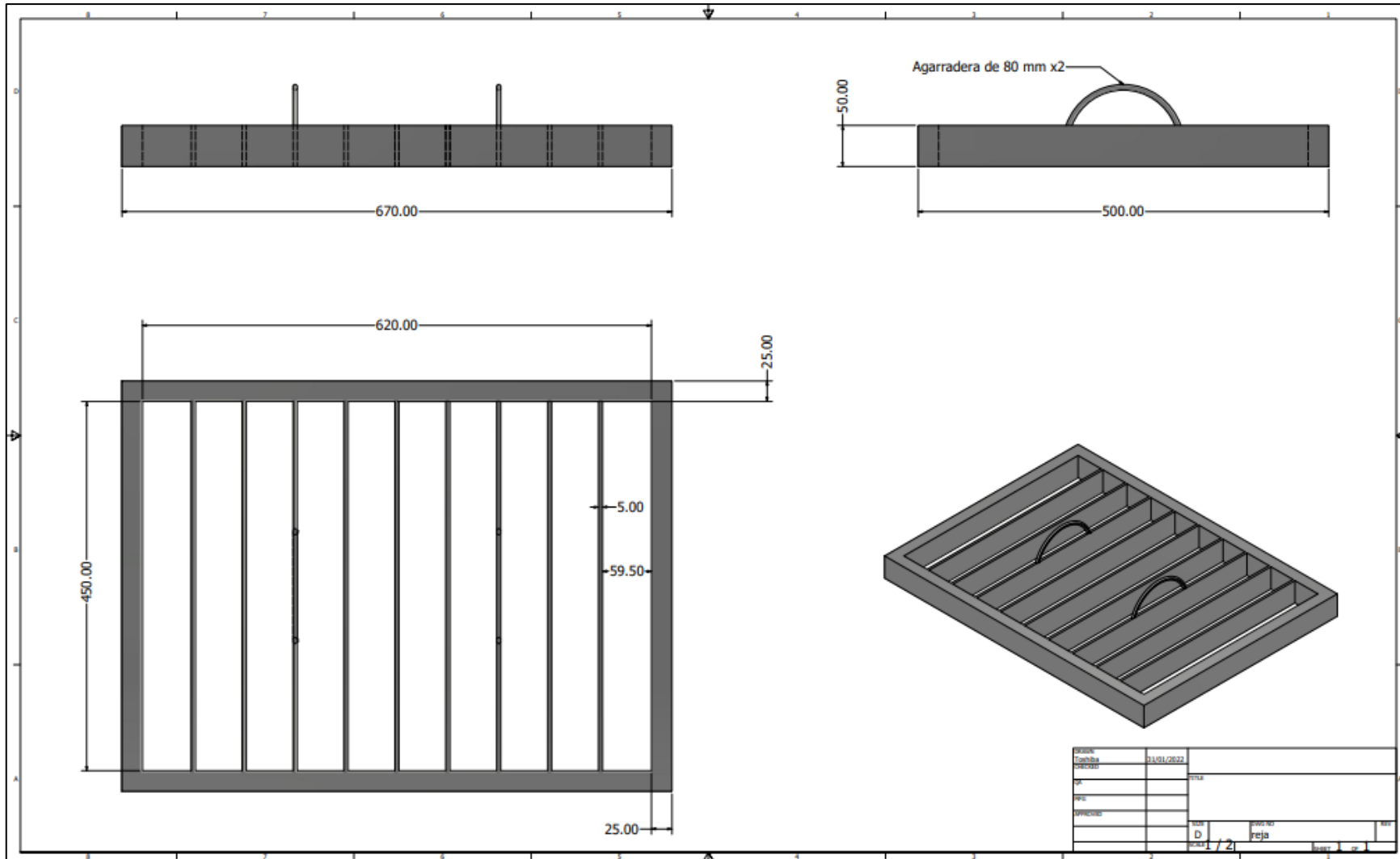
Plano 4 Plano del depósito de agua (Elaboración propia)



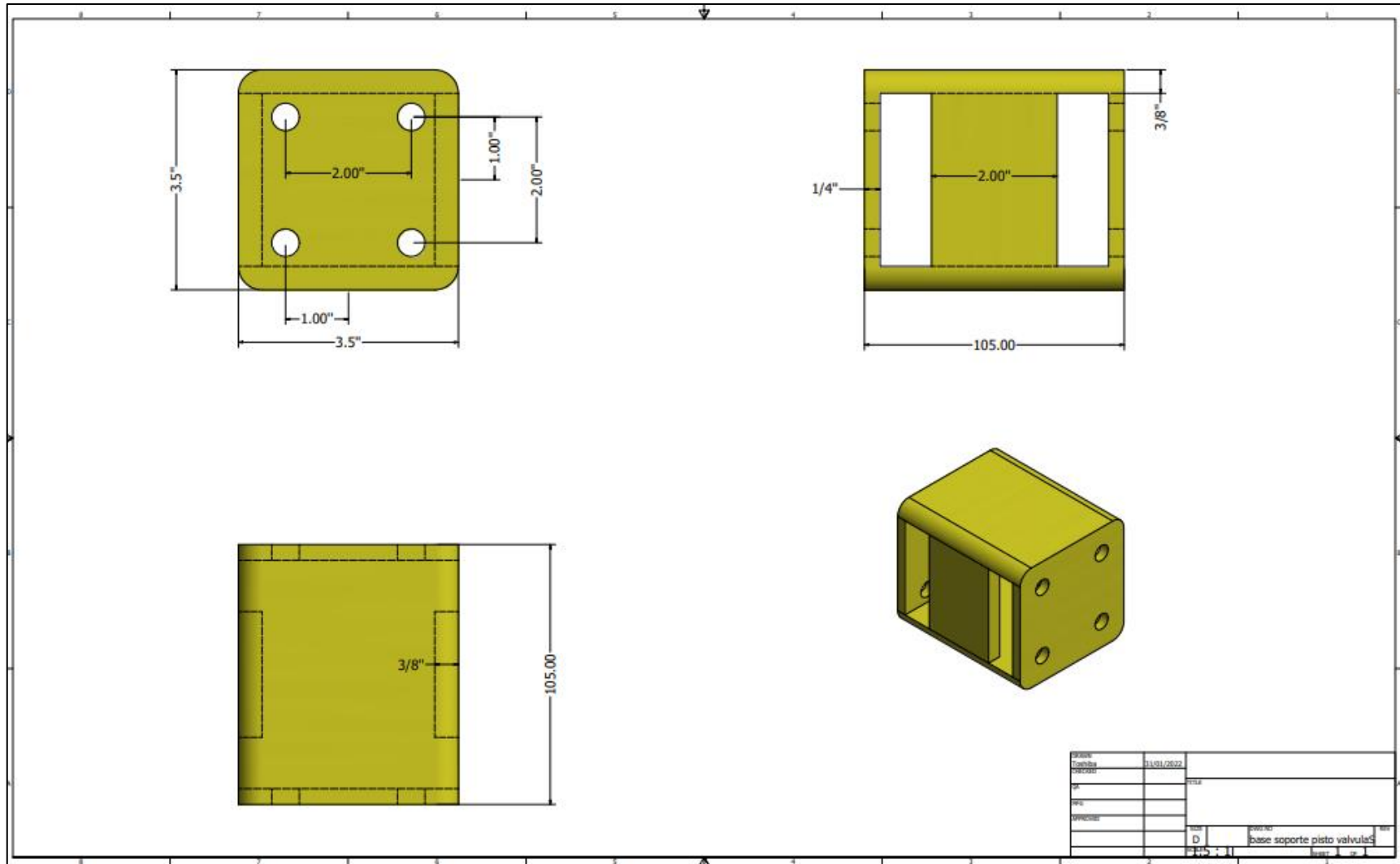
Plano 5 Plano de la tapa del depósito de agua (Elaboración propia)



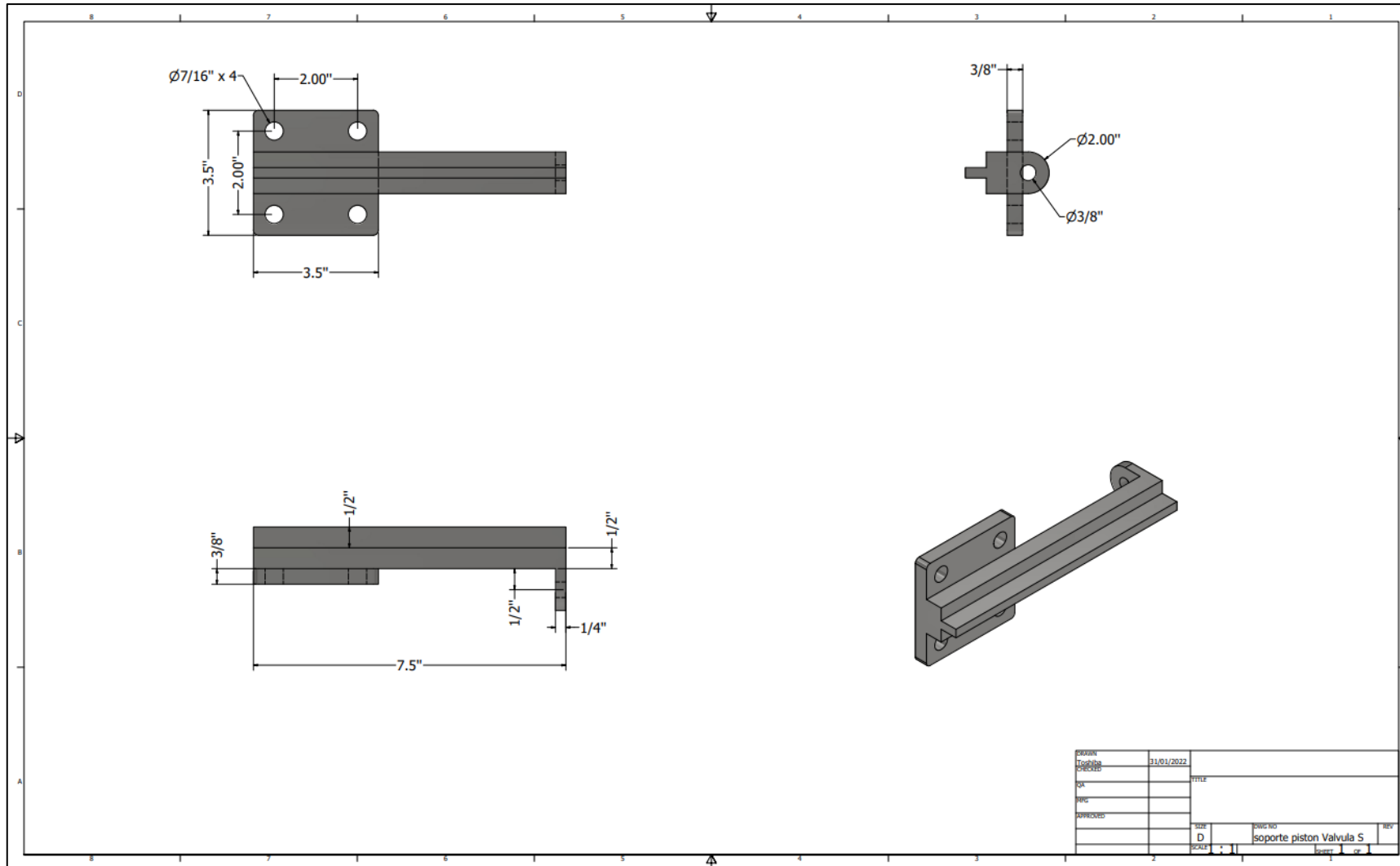
Plano 8 Plano Base del Tanque de Aceite (Elaboración propia)



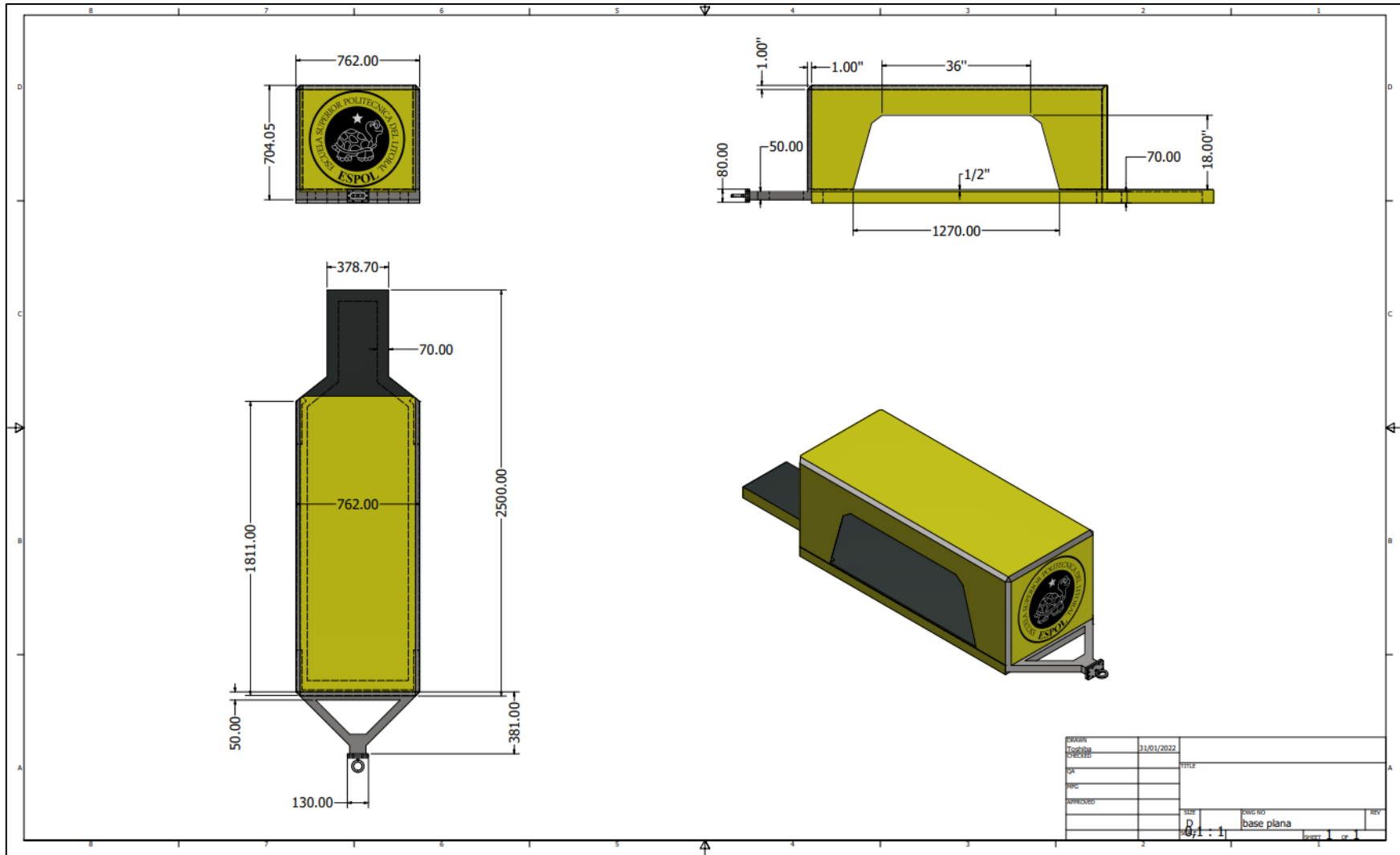
Plano 9 Plano Reja de la Tolva (Elaboración propia)



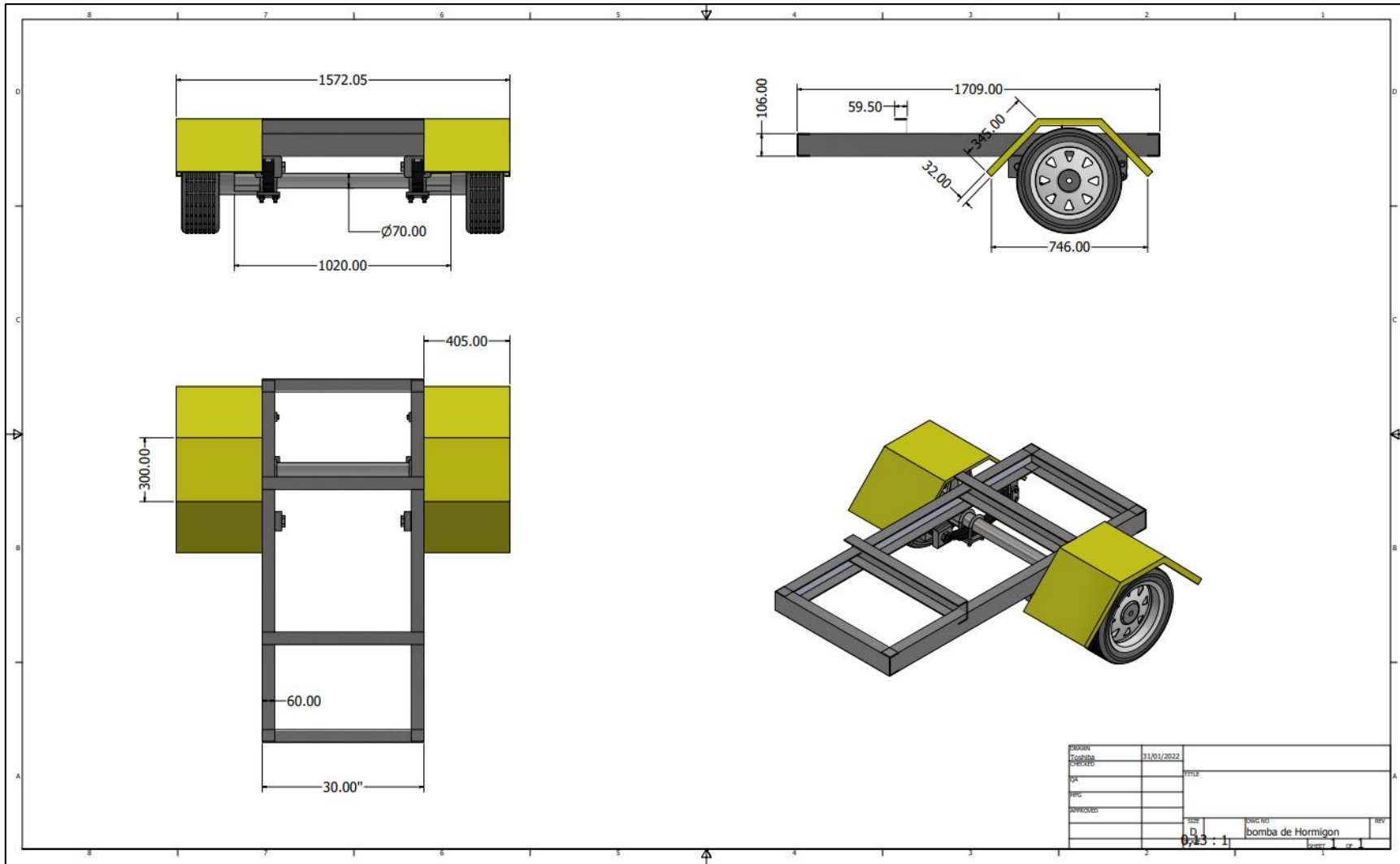
Plano 10 Plano de la base de soporte del pistón de la válvula S (Elaboración propia)



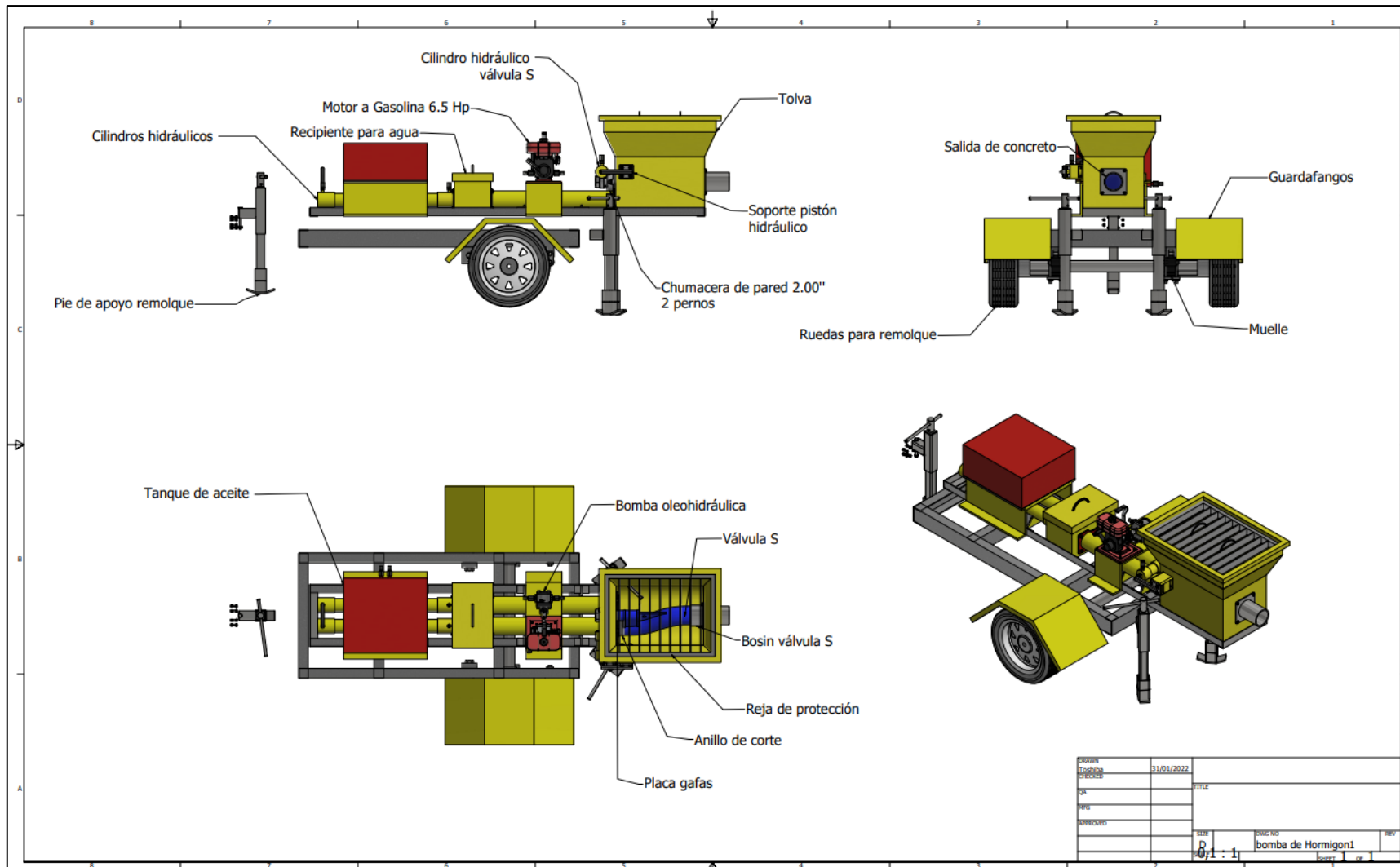
Plano 11 Soporte de pistón de válvula S (Elaboración propia)



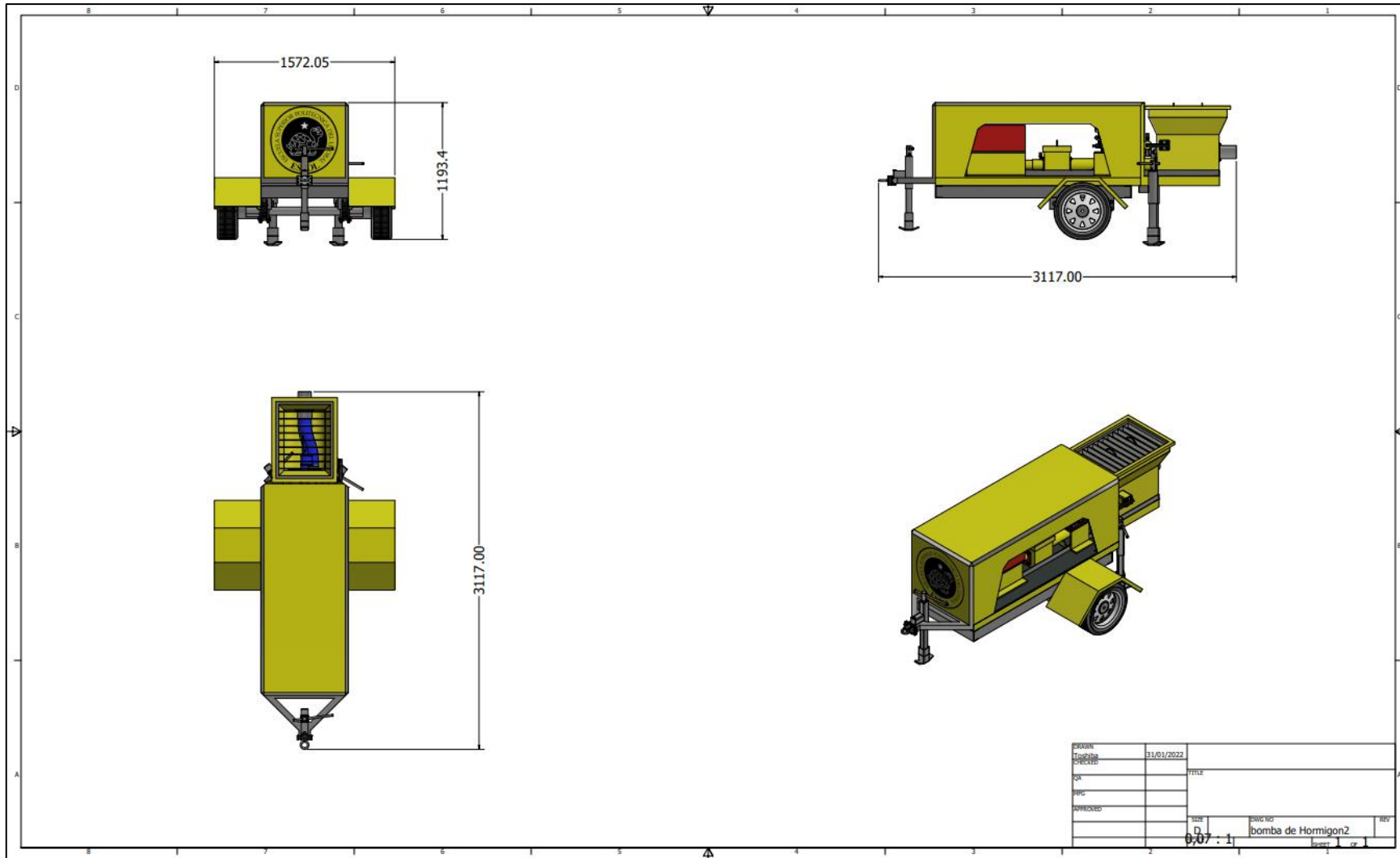
Plano 12 Plano Cubierta de Bomba (Elaboración propia)



Plano 13 Plano Base de Remolque (Elaboración propia)



Plano 14 Plano Bomba de Hormigón sin cubierta (Elaboración propia)



Plano 15 Plano Bomba de hormigón (Elaboración propia)