



Diseño de un sistema de bombeo de agua para los cultivos acuícolas en la finca el Rubí “Aipe Huila”

**Luis Fernando Arias Ramos
Fredy Olaya Idarraga**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
Año 2020

Diseño de un sistema de bombeo de agua para los cultivos acuícolas en la finca el Rubí “Aipe Huila”

**Luis Fernando Arias Ramos
Fredy Olaya Idarraga**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Director:

Ing. JUAN GONZALO ARDILA MARÍN, MEn.

Línea de Investigación:

REM (Research on Energy and Materials)

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Neiva, Colombia
Año 2020

Dedicatoria

A Dios por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi familia por haber sido mi apoyo durante toda la carrera universitaria y a lo largo de la vida.

Luis Fernando Arias Ramos

A Dios por todo lo que me ha brindado, a mi mamá por alentarme siempre a seguir y salir adelante, llevando mi cabeza en alto, a mi señora esposa y a mis hijos por su paciencia durante este largo proceso de estudio, no ha sido fácil trabajar, estudiar, ser papá y esposo a la misma vez.

Fredy Olaya Idarraga

Agradecimientos

En primer lugar, queremos expresar nuestro agradecimiento al señor Francisco Javier Morales, propietario de las instalaciones en las que se desarrolló la idea de diseño. Quien siempre estuvo presto a colaborarnos, al disponer de su tiempo y brindarnos información pertinente para la realización del proyecto.

A nuestro tutor el Ing. Juan Gonzalo Ardila, gracias por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo.

También queremos agradecer de forma muy especial a la vicedecana la Ing. Martha Lucia Solano y al Ing. Fredy Alexander Parra, quienes desde el planteamiento de la idea de proyecto nos han asesorado desde sus conocimientos y experiencia, realizando grandes aportes que nos permitieron llevar con éxito la ejecución del proyecto.

Por último, agradecemos a todos los profesores y compañeros que de alguna forma han contribuido a la formación como persona y futuros profesionales.

A todos, muchas gracias.

Resumen

La finca el Rubí, ubicada en el municipio de Aipe - Huila es utilizada para la producción acuícola demandando gran cantidad de agua en la explotación de este cultivo, el proyecto consiste en el diseño del sistema hidráulico de bombeo de agua, con el fin de entregar el caudal requerido para abastecer los estanques en tierra donde se encuentran los cultivos acuícolas de la finca. El problema que presenta el sistema de bombeo actual es que posee unas instalaciones rudimentarias y obsoletas generando pérdidas mecánicas debido a múltiples factores como la desalineación de la bomba, mal estado del skid, altas vibraciones y sedimentos que entran por la cabeza de succión de la bomba. Para dar solución a estos problemas, el proyecto tiene como objetivo diseñar adecuadamente el sistema de bombeo según los requerimientos hidráulicos necesarios, teniendo en cuenta las características técnicas establecidas para el correcto dimensionamiento de estos sistemas.

Además del diseño del sistema de bombeo, el proyecto contempla la realización de planos de instalación de toda la infraestructura con su respectivo manual de instalación y disposición final del sistema, también se brindará al propietario de la finca un presupuesto puntual de cada uno de sus componentes para así calcular el retorno de la inversión y la viabilidad económica del proyecto.

Palabras clave: (Diseño Hidráulico, Acuícola, Bombeo).



Abstract

The Rubí farm is used for aquaculture production demanding large amounts of water in the exploitation of this crop, the Project consists of the design of the hydraulic water pumping system, in order to deliver the flow required to supply the ponds on land where the aquaculture crops of the farm are located, located in the municipality of Aipe –Huila. The problem presented by the current pumping system is that it has rudimentary and obsolete installations generating mechanical losses due to multiple factors such as pump misalignment, bad skid condition, high vibrations and sediments that enter through the pump suction head. To solve these problems, the Project aims specifically to design the pumping system according to the necessary hydraulic requirements, considering the technical characteristics established for the correct sizing of these systems.

In addition to the design of the pumping system, the Project contemplates the realization of installation plans for the entire infrastructure with its respective installation manual and final disposal of the system, it can also provide the owner of the farm with a specific Budget for each of its components in order to calculate the return on investment and the economic viability of the Project.

Keywords: (Hydraulic Design, Aquaculture, Pumping)

Contenido

	Pág.
Resumen.....	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas.....	XV
Lista de símbolos y abreviaturas.....	XVII
Introducción.....	1
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
1 Capítulo 1.....	5
Estado del arte.....	5
1.1 Marco legal.....	5
1.1.1 Concesión otorgada a la finca el Rubí.....	6
1.2 Panorama regional en distritos de riego.....	7
1.3 Sistemas de bombeo.....	9
1.3.1 Clasificación y generalidades de las bombas.....	9
1.3.2 Clasificación de bombas centrifugas.....	10
2 Capítulo 2.....	13
Cálculos y determinación de parámetros de diseño hidromecánicos.....	13
2.1 Datos del sistema de bombeo actual.....	13
2.2 Porcentaje de recambio de agua.....	13
2.2.1 Caudal y velocidad en tubería existente.....	16
2.2.2 Velocidad óptima en la succión e impulsión.....	17
2.3 Diámetro de la tubería.....	18
2.4 Número de Reynolds calculado en cada sección de tubería.....	18
2.5 Factor de flujo (Laminar o turbulento) para cada sección de tubería.....	19
2.6 Pérdidas por fricción en tubería.....	19
2.7 Pérdidas en accesorios.....	20
2.7.1 Perdidas secundarias por accesorios en la succión y descarga.....	21
2.8 Carga total de la bomba.....	22
2.9 NPSH Disponible.....	23
2.10 Presión dentro del sistema.....	24

2.11	Potencia útil o efectiva	25
2.12	Resumen Capitulo 2.....	25
3	Capítulo 3.....	27
	Diseño del grupo hidromecánico	27
3.1	Vista general de diseño	27
3.2	Selección del material para la tubería.....	27
3.2.1	Espesor nominal de tubería	28
3.3	Selección de la bomba hidráulica	33
3.3.1	Requerimientos mínimos de la bomba según la gráfica	33
3.4	Selección de motor eléctrico	34
3.4.1	Selección de transformador para el motor eléctrico	35
3.5	Selección de la junta de expansión	36
3.6	Selección de acople omega "Motor y bomba".....	37
3.7	Selección de filtro.....	39
3.8	Diseño del skid.....	40
3.8.1	Dimensiones de motor eléctrico.....	41
3.8.2	Dimensiones de la bomba	42
3.8.3	Vista general del skid.....	43
3.8.4	Material del skid.....	44
3.8.5	Análisis estático del skid.....	44
3.8.6	Resultado de estudio estático	47
3.8.7	Análisis dinámico del Skid	48
3.8.8	Resultado de estudio dinámico	49
3.8.9	Análisis de Resonancia y frecuencia natural de la estructura.....	50
3.9	Cimentación, anclajes y grouting.....	52
3.9.1	Requisitos para la cimentación	52
3.9.2	Anclajes:.....	53
3.9.3	Grouting.....	55
3.10	Costos estimados para la implementación del proyecto	57
	Conclusiones.....	59
	Recomendaciones.....	60
A	Anexo: Fabricación de placa en concreto para bomba.....	61
B	Anexo: Alineación y montaje	63
C	Anexo: Fabricación del Skid.....	65
D	Anexo: Montaje de tubería	66
E	Anexo: Accesorios del sistema	67
F	Anexo: Plano N° 4.....	69
G	Anexo: Ficha técnica acople omega línea E	70
	BIBLIOGRAFÍA	73

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2.1 Vista panorámica de lagos sur y norte	14
Figura 2.2 Vista panorámica lagos norte.....	14
Figura 2.3 Vista panorámica lagos sur.....	15
Figura 3.1 Vista general de diseño del grupo hidromecánico.....	28
Figura 3.2 Propiedades de la tubería ASTM A106.....	30
Figura 3.3 Propiedades mecánicas de la tubería	31
Figura 3.4 Dimensiones y SCH de tubería comercial.....	31
Figura 3.5 Dimensión de tubería de 18" SCH	32
Figura 3.6 Dimensión de tubería de 12" SCH	32
Figura 3.7 Dimensión de tubería 6" SCH	33
Figura 3.8 Grafica de selección de la bomba.....	34
Figura 3.9 Bomba a utilizar	35
Figura 3.10 placa de motor central	35
Figura 3.11 Junta de expansión tipo JEBA	37
Figura 3.12 Características de las juntas según su dimensión.....	37
Figura 3.13 Cuadro de rendimiento de pre-filtro autolimpiante.....	40
Figura 3.14 Clase de cargas.....	40
Figura 3.15 Plano de motor eléctrico	41
Figura 3.16 Dimensiones de la bomba	43
Figura 3.17 Vista 3D de diseño general del skid.....	43
Figura 3.18 Ficha técnica del perfil en canal.....	44
Figura 3.19 Dimensiones del canal.....	45

Figura 3.20 Cargas sobre el Skid.....	45
Figura 3.21 Cimentación tipo bloque.	52
Figura 3.22 Pernos	53
Figura 3.23 Torque para perno rosca en pulgadas	54
Figura 3.24 Torque para pernos rosca en milímetros.....	55
Figura 3.25 instalación de grouting y disposición final de equipo.....	56

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.1 Distritos de riego actuales en el país	7
Tabla 1.2 Estudios de nuevos proyectos de distrito de riego en el Huila	9
Tabla 1.3 Clasificación de las bombas	10
Tabla 2.1 Volumen de Lagos norte	15
Tabla 2.2 Volumen lagos sur.....	16
Tabla 2.3 Valores para cada espesor de tubería.....	18
Tabla 2.5 Factor de fricción de flujo	19
Tabla 2.6 Perdidas a la entrada y salida de la bomba	20
Tabla 2.7 Resistencia expresada como longitud por diámetros de tubería.....	20
Tabla 2.8 Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial nueva y limpia.	21
Tabla 2.9 Perdidas secundarias en la succión	22
Tabla 2.10 Perdidas secundarias en la descarga.....	22
Tabla 2.11 Carga sobre la bomba	23
Tabla 2.12 NPSH disponible	24
Tabla 2.13 Presión dentro del sistema	25
Tabla 3.1 Especificaciones de los equipos para la selección del acople.	38
Tabla 3.2 factor de servicio	38
Tabla 3.3 torque máximo de acoples omega.....	39
Tabla 3.4 Motor eléctrico.....	41
Tabla 3.5 Medidas de motor eléctrico	42
Tabla 3.6 datos de la bomba.....	42

Tabla 3.7 Datos para análisis estático.....	46
Tabla 3.8 Cargas y sujeciones	46
Tabla 3.9 fuerzas resultantes, análisis estático	47
Tabla 3.11 datos para análisis dinámico	49
Tabla 3.14 Resultado de estudio dinámico.....	49
Tabla 3.15 Frecuencias potenciales de excitación.	51
Tabla 3.16 Participación de masa	51
Tabla 3.17 Longitud de los pernos de anclaje	54
Tabla 3.18 Numeración de disposición final de equipo.....	57
Tabla 3.19 Costos de la implementación del proyecto	57

Lista de símbolos y abreviaturas

SÍMBOLO	TÉRMINO	UNIDAD SI	DEFINICIÓN
A	Área	m ²	Ec. 2.1
Q	Caudal	$\frac{m^3}{s}$	Ec. 2.1
D	Diámetro	m	Ec. 2.3
D_{min}	Diámetro mínimo	m	Ec. 2.3
V	Velocidad	$\frac{m}{s}$	Ec. 2.2
g	Gravedad	$\frac{m}{s^2}$	Ec. 2.13
P_{atm}	Presión atmosférica	pa	Ec. 2.11
P	Densidad	(kg/m ³)	Ec. 2.12
H_s	Altura de succión	m	Ec. 2.12
T_{nom}	Espesor de tubería	m	Ec 3.1
P_{dise}	Presión de diseño	pa	Tabla. 2.13
V_{max}	Velocidad máxima	$\frac{m}{s}$	Ec. 2.2
K	Coefficiente de fricción	K	Ec. 2.9
ε	Rugosidad	ε	Ec. 2.5
U	Viscosidad cinemática del agua	U	Ec. 2.4
Re	Numero de Reynolds	Re	Ec. 2.4
μ	Viscosidad dinámica del agua	μ	Ec. 2.4
Z	Número de arranques por hora	Z	
h_L	Perdidas de energía	m	Ec. 2-9
NPSH_d	NPSH Disponible	NPSH _d	Tabla. 2.12
NPSH_d	NPSH Requerido	NPSH _d	Ec. 2.12
P_{efec.}	Potencia efectiva	W	Ec. 2.13
Rpm	Velocidad angular	rpm	Fig. 3.8
S	Esfuerzo permisible en tensión	Pa	Ec. 3.1
E	Factor de calidad junta longitudinal	E	Ec. 3.1

Introducción

Los sistemas hidráulicos de bombeo han sido muy importantes desde su aparición con el tornillo de Arquímedes, utilizado para transportar líquidos a desnivel. Uno de sus mayores campos de aplicación se da en el sector agrícola pues los sistemas de bombeo permiten la captación y transporte de múltiples caudales de agua para su posterior uso. Con el estudio y la aparición de ciencias aplicadas a este campo se fue optimizando el proceso y se redujo el gasto energético utilizado en su operación. No obstante, en la actualidad no todas las instalaciones se realizan teniendo en cuenta los criterios técnicos requeridos, trayendo con esto problemas y daños en las máquinas traducidas en pérdidas económicas o continuas fallas en el servicio.

Este proyecto se enfoca en el desarrollo óptimo y eficiente de un sistema de bombeo, teniendo en cuenta su finalidad, altura a vencer y caudal requerido, ya que se han evidenciado grandes pérdidas de energía y material en instalaciones de bombeo que se han puesto en funcionamiento sin un estudio y diseño previo, trayendo consigo problemas en los equipos, reduciendo considerablemente su tiempo de vida por fenómenos no tenidos en cuenta en su operación como la cavitación y golpe de ariete.

El departamento del Huila, es el mayor productor de tilapia a nivel nacional, gran cantidad de proyectos se encuentran ubicados en la represa de Betania en jaulas flotantes, pero un porcentaje considerable lo hacen es estanques en tierra a las riveras de los ríos, siendo así necesario un sistema de bombeo que facilite la captación y transporte del líquido hasta donde es requerido para su posterior uso. Esta cantidad es regulada por Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena – CAM que autoriza un caudal de agua máximo según su disponibilidad en la zona para así preservar especies y caudales mínimos en los afluentes hídricos.

La finca el Rubí se encuentra ubicada en el municipio de Aipe, zona norte del departamento del Huila, en donde se cultiva tilapia de la especie niloticus con una producción de 120 toneladas anual, cuenta con 19 estanques en tierra que son abastecidos de agua por el río bache, por lo anterior el objetivo principal de este proyecto es diseñar un sistema de bombeo para la finca el Rubí, que cumpla con los requerimientos técnicos necesarios y con las condiciones legales para uso de agua.

Los objetivos específicos correspondieron a realizar visitas de campo donde se obtuvieron los datos para parametrizar el diseño, realizar planos y calcular esfuerzos presentes en base a herramientas de elementos finitos, además realizar una proyección de presupuesto que permite calcular el retorno de la inversión y el impacto económico que traerá la puesta en marcha del proyecto.

Para llevar a cabo este proyecto se calculó el consumo de agua utilizado por el cultivo, se determinó el desnivel a vencer por el fluido y se realizaron las muestras del líquido para determinar cantidad de sólidos que puedan afectar las máquinas hidráulicas posteriormente se calculó y seleccionó los equipos óptimos. En la ejecución del proyecto fue necesario hacer un estudio previo que permitió conocer los datos de caudal mínimo necesario a ser bombeado, el máximo autorizado por la CAM, el lugar óptimo para el bombeo, la calidad de agua a bombear, la infraestructura disponible, desnivel a vencer y distancia hasta el punto de descarga.

Para la ejecución de este proyecto es utilizado la metodología Scrum que nos guía de forma grupal hacia la ejecución de tareas para alcanzar los objetivos de una forma ágil y precisa reduciendo costos.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un sistema de bombeo de agua para los cultivos acuícolas en la finca el Rubí municipio de Aipe –Huila

Objetivos específicos

- Establecer los requerimientos necesarios para el diseño del nuevo sistema de bombeo.
- Calcular el sistema de bombeo y su estructura.
- Estimar costos para la implementación del proyecto

1 Capítulo 1

Estado del arte

En este capítulo se exponen algunos temas relacionados con el marco legal a nivel nacional y el contexto actual sobre el diseño de sistemas de bombeo, además de cómo estos han impactado de forma positiva en el desarrollo de la agro-industria, cómo han venido evolucionando y el panorama en el que se encuentran actualmente.

1.1 Marco legal

La norma que establece los requerimientos para hacer uso de las aguas de dominio público en el país están contempladas en el decreto 1545 de 1978 donde se indica que el derecho al uso de las aguas y de los cauces se adquiere de conformidad por uno de los siguientes cuatro motivos.

- Por ministerio de la ley
- Por concesión
- Por permiso
- Por asociación

Aclarando que solo se puede conceder para uno de los siguientes usos

- Abastecimiento doméstico en los casos que requiera derivación riego y silvicultura
- Abastecimiento de abrevaderos cuando se requiera derivación
- Uso industrial
- Generación térmica o nuclear de electricidad

- Explotación minera y tratamiento de minerales
- Explotación petrolera
- Inyección para generación geotérmica
- Generación hidroeléctrica
- Generación cinética directa
- Flotación de maderas
- Transporte de minerales y sustancias tóxicas
- Acuicultura y pesca
- Recreación y deportes
- Usos medicinales
- Otros usos minerales.

El uso de las aguas en el país de dominio público “Entiéndase por dominio público todas aquellas aguas que corran libremente por ríos, riberas, cauces naturales o artificiales, derivaciones, lagos, pantanos” se da a través de concesión de uso de agua que es entregado por el instituto nacional de los recursos naturales renovables y del ambiente – INDERENA-. (*Decreto_1541_de_1978.pdf*, s. f.)

1.1.1 Concesión otorgada a la finca el Rubí

La Corporación autónoma del alto magdalena -CAM- a través de resolución de licencia y/o permiso 0972 del 16 de abril de 2016 concede a la finca el Rubí un caudal máximo de 24.5 l/seg para uso piscícola en un área de 7 has, teniendo en cuenta lo siguiente:

“El rio bache es una corriente de uso público que nace sobre los 3400 msnmm, entre los sitios de santa librada y Jerusalem en las estribaciones del nevado del huila en jurisdicción del municipio de santa maria, desembocando en el rio magdalena, por la margen izquierda. El área de influencia de la reglamentación del rio bache es la enmarcada por la curva de nivel 650 msnm (el sector de la mesa de Hernández) hasta la desembocadura sobre el rio magdalena, con un total de 57524 has, área total de los predios a beneficiar 5765 has, área cultivada 2468 has y 3294 has se encuentran sin cultivar.

Se encuentran unos módulos para uso de agua según el tipo de cultivo y la zona del río, para uso piscícola se otorgan 3.5 L/seg X has”

La única condición que presenta es que el proyecto no debe estar en cercanía con infraestructura eléctrica, proyectos de hidrocarburos o que éste presente riesgo para preservación del medio ambiente. No encontrando ningún tipo de cercanía a las condiciones nombradas se da seguimiento a la solicitud concediendo el permiso de concesión de aguas superficiales para uso piscícola a la finca el Rubí, a nombre del señor Álvaro Solano Quintero (Res972—CONCESION DE CAUDAL.PDF, s. f.).

1.2 Panorama regional en distritos de riego

El país actualmente cuenta con un total de 780 distritos de Adecuación de Tierras en 23 departamentos y con 3 Proyectos Estratégicos Nacionales en proceso constructivo o de transición donde gran parte se hace a través de bombeo de agua utilizando máquinas hidráulicas (Distritos y Proyectos de Adecuación de Tierras, 2019), como se puede apreciar en la tabla 1.1

Tabla 1.1 Distritos de riego actuales en el país

Dpto	Gran escala >5000 Ha			Mediana escala (501 a 5000 Ha)			Pequeña escala (30 a 500 Ha)			Total N° distritos	Total N° Hectáreas	Total N° de usuarios
	N° dsto	N° Ha	N° Usuarios	N° dsto	N° Ha	N° Usuarios	N° dsto	N° Ha	N° Usuarios			
Antioquia							42	4631	2368	42	4631	2368
Atlántico	1	22243	1855	2	5308	613	18	647	409	21	28198	2887
Bolívar	1	9689	2035				8	296	239	9	9985	2274
Boyacá	1	9348	8835	3	5615	1793	74	11156	8678	78	26119	19306
Caldas							4	495	360	4	495	360
Casanare							7	626	365	7	626	356
Cauca							60	4992	4514	60	4992	4514
Cesar							19	1221	741	19	1221	741
Córdoba	1	43818	5026	1	2462	289	14	1504	861	16	47784	6176
Cundinamarca							39	5122	7224	39	5122	7224
Huila				6	7879	966	85	9967	4662	91	17846	5628
La guajira							21	2124	992	21	2124	992

Magdalena	4	31510	1844				13	1095	631	17	32605	2475
Meta							13	994	362	13	994	362
Nariño							96	11835	11318	96	11835	11318
Norte de Santander	1	9952	1132	2	1819	705	87	7657	5475	90	19428	7312
Putumayo	1	8500	2915							1	8500	2915
Quindío							1	50	15	1	50	15
Risaralda							8	530	428	8	530	428
Santander	1	9060	250				41	3085	2516	42	12145	2865
Sucre							27	702	589	27	702	589
Tolima	3	49257	3804	4	6374	669	54	4830	1853	61	60471	6326
Valle del Cauca	2	20245	2234	1	4421	229	14	1887	1050	17	26553	3413
Total General	16	213622	29930	19	33878	5264	745	75446	55650	780	322956	90844

Nombre de la fuente: ADR- Agencia de desarrollo rural. (ADR - Agencia de Desarrollo Rural, s. f.)

El departamento del Huila, a pesar de no tener la mayor cantidad de hectáreas irrigadas por distritos de riego, si se ubica como un departamento donde los distritos de riego son de suma importancia para su desarrollo rural y crecimiento económico.

Según un informe técnico y de gestión presentado en el año 2011 por equipo técnico de la unidad de adecuación de tierras del departamento del Huila, éste es uno de los líderes en distritos de riegos donde gran porcentaje se hace por medio de sistemas de bombeo (*Distritos y Proyectos de Adecuación de Tierras, 2019*).

A lo largo y ancho de nuestro departamento, encontramos grandes extensiones de tierra que se encuentran improductivas, subutilizándose, sin generar mayores ingresos a sus propietarios, forjando marginamiento y pobrezas en estas zonas.

Para ese año (2011) se llevaron a cabo 3 estudios de factibilidad de distritos de riego siendo uno de ellos considerado de gran escala pretendiendo beneficiar a los municipios de Aipe, Palermo y Neiva en un área potencial de 7.000 hectáreas, que a la fecha por problemas administrativos y de corrupción no han sido entregados, aún se generan expectativas para los posibles beneficiarios y aún más cuando la zona es de bajas precipitaciones, lo que ha delimitado el desarrollo agrícola en el sector (*INFORME DE GESTION RIEGOS 2011.pdf, s. f.*).

Tabla 1.2 Estudios de nuevos proyectos de distrito de riego en el Huila

N°	NOMBRE DEL PROYECTO	MUNICIPIO	HECTAREAS	FAMILIAS
1	Distrito de riego de pequeña escala Valle del contador en el municipio de Pitalito.	Pitalito	600	300
2	Distrito de riego de pequeña escala El criollo en el municipio de Pitalito	Pitalito	300	200
3	Distrito de riego de gran escala Bache en los municipios de Aipe, Neiva y Palermo, del departamento del Huila	Aipe, Neiva y Palermo	7000	1000
		TOTAL	7900	1500

Nombre de la fuente: Secretaria de Agricultura y Minería. Unidad de adecuación de tierras. (Secretaría de Agricultura y Minería, s. f.)

1.3 Sistemas de bombeo

Un equipo de bombeo, es un sistema que se encarga de captar un fluido que generalmente es agua y transportarlo a un lugar diferente, éste consta de dos elementos principales, una bomba o rotor y su accionador que generalmente es un motor eléctrico o motor de combustión. El accionador entrega energía mecánica y la bomba la convierte en energía cinética que un fluido adquiere en forma de presión, de posición y de velocidad para así moverse a través de una tubería donde va a ser su disposición final (Sistemas De Bombeo, s. f.).

1.3.1 Clasificación y generalidades de las bombas

Las bombas se clasifican con base en una gran cantidad de criterios, que van desde sus aplicaciones, materiales de construcción, hasta su configuración mecánica. Un criterio básico que incluye una clasificación general es el que se basa en el principio por el cual se adiciona energía al fluido. Bajo este criterio las bombas pueden dividirse en dos grandes grupos: Dinámicas y de desplazamiento positivo (dragon, 2017).

- **DINÁMICAS.** Bombas a las que se agrega energía continuamente para incrementar la velocidad del fluido dentro de la bomba a valores mayores de los que existen en la succión, de manera que la subsecuente reducción de velocidad dentro o más allá de la bomba, produce un incremento en la presión.
- **DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.** Bombas en las cuales se agrega energía periódicamente mediante la aplicación de una fuerza de uno o más elementos móviles para desplazar un número deseado de volúmenes de fluido, lo que resulta en un incremento directo en la presión.

Tabla 1.3 Clasificación de las bombas

BOMBA	Desplazamiento positivo	Reciprocante	<i>Embolo</i>
			<i>Diafragma</i>
			<i>Rotor Simple</i>
		Rotatoria	<i>Rotor múltiple</i>
	Rotodinámica	Centrifuga	<i>Flujo Radial</i>
			<i>Flujo Mixto</i>
			<i>Flujo Axial</i>
		Periférica	<i>Unipaso</i>
			<i>Multipaso</i>
		Especial	<i>Electromagnética</i>

Nombre de la fuente: Clasificación de las bombas (Mike Pérez Torres, 16:39:57 UTC)

1.3.2 Clasificación de bombas centrífugas

Las bombas centrífugas se clasifican de acuerdo con la trayectoria del fluido en el interior del impulsor en:

- **Flujo radial:** El movimiento del fluido se inicia en un plano paralelo al eje de giro del impulsor de la bomba y termina en un plano perpendicular a éste. Estas bombas pueden ser horizontales o verticales.
- **Flujo axial:** La dirección del fluido en el impulsor es en forma axial y alrededor del eje de giro del impulsor de la bomba, sin tener cambio de dirección. Estas bombas

desarrollan su carga por la acción de un impulso o elevación de los álabes sobre el líquido y usualmente son bombas verticales de un solo paso

- Flujo mixto: El movimiento del fluido dentro del impulsor se desarrolla en tres direcciones, tangencial, radial y axial al eje de giro del impulsor de la bomba. Estas bombas desarrollan su carga parcialmente por fuerza centrífuga y parcialmente por el impulso de los álabes sobre el líquido.

2 Capítulo 2

Cálculos y determinación de parámetros de diseño hidromecánicos

En este capítulo se plasman los datos obtenidos, junto con los análisis realizados para la determinación de parámetros que serán usados para el diseño del sistema de bombeo para la finca el Rubí (Aipe – Huila).

2.1 Datos del sistema de bombeo actual

El sistema de bombeo actual se encuentra construida en 3 tipos de tubería según su etapa (Succión y descarga).

La longitud de la tubería de succión es de 13,3 m siendo esta de 14". Para la descarga se divide en 2 siendo una parte de 12" con una longitud de 18,7 m y una tubería de 6" que va hacia los lagos sur con una longitud aproximada de 100 m, como dato adicional se halló una altura geodésica de 21,2 m.

2.2 Porcentaje de recambio de agua

Los lagos sur y norte tienen un volumen total de 205519 m³, se requiere un caudal necesario de recambio al 5% sur y 9% norte (17328,28 m³ al día).

Para la producción en estanques de tierra bajo el modelo de piscicultura semiintensiva (10 a 15 peces/m²) en estanques con áreas superiores a 2000 m² se recomienda mantener un recambio permanente del agua entre 10 a 50 litros por segundo (recambios superiores al 9% del volumen por hora) (Andrés & Roberto, s. f., p. 253).

Este caudal se estableció una vez se calculó el volumen de cada lago, luego se evalúan diferentes porcentajes de recambio de agua en cada lago y se escoge el recomendado por algunos textos de infraestructura para piscicultura.

Figura 2.1 Vista panorámica de lagos sur y norte



Nombre de la fuente: Autor

Figura 2.2 Vista panorámica lagos norte



Nombre de la fuente: Autor

Tabla 2.1 Volumen de Lagos norte

PISCINAS NORTE

Sitio	Superficie de agua (m ²)	Profundidad media (m)	Volumen (m ³)
Levante	1178,4	2,3	2710,3
1	2701	2,5	6752,5
2	4317	2,3	9929,1
3	5017	2,8	14047,6
4	4750	2,4	11400,0
5	7405	2,3	17031,5
6	9817	2,5	24542,5
7	4710	2,5	11775,0
8	4650	2,3	10695,0
9	4640	2,6	12064,0
10	4565	2,3	10499,5
11	3815	2,4	9156,0
12	14941	2,8	41834,8
Total	72506,4		182437,8

Nombre de la fuente: Autor

Figura 2.3 Vista panorámica lagos sur



Nombre de la fuente: Autor

Tabla 2.2 Volumen lagos sur

PISCINAS SUR

Sitio	Superficie de agua (m ²)	Profundidad media (m)	Volumen (m ³)
Reservorio	2724	1,8	4903,2
Piscina A	845	2	1690
Piscina B	1454	1,8	2617,2
Piscina C	1506	1,8	2710,8
Piscina D	1564	2	3128
Piscina E	1594	1,8	2869,2
Piscina F	1412	1,8	2541,6
Piscina G	1456	1,8	2620,8
Total	12555		23080,8

Nombre de la fuente: Autor

2.2.1 Caudal y velocidad en tubería existente

$$Q = V \cdot A \quad (2.1)$$

V=Velocidad en m/s

A=m²

Velocidad en la tubería de succión, actualmente su diámetro es de 14", Entonces:

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (2.2)$$

D= 14" = 0,3556m

r=0,1778 m

A= $\pi (0,1778)^2 = 0,0993 \text{ m}^2$ Q= Es la necesidad de caudal que debe fluir al día hacia los estanque, recordemos que es de 17328,28 m³ al día, equivalente a 0,2005 m³/s

$$V = Q/A = (0,2005 \text{ m}^3/\text{s}) / (0,0993) = \mathbf{2,019 \text{ m/s}}$$

Velocidad en la tubería de impulsión, actualmente su diámetro es de 12", Entonces:

$$D = 12" = 0,3048 \text{ m}$$

$$r = 0,1524 \text{ m}$$

$$A = \pi (0,1524)^2 = 0,0729 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A = (0,2005 \text{ m}^3/\text{s}) / (0,0729) = \mathbf{2,750 \text{ m/s}}$$

2.2.2 Velocidad óptima en la succión e impulsión

El libro de mecánica de fluidos aplicada de Mott recomienda una velocidad de flujo a la salida de la bomba de aproximadamente 3 m/s, y, para garantizar un desempeño apropiado en la entrada, la velocidad recomendada es de 1 m/s aproximadamente (Robert mott, s. f.).

Como la velocidad recomendada en la línea de succión es de 0,7 a 1,5 m/s se debe aumentar el diámetro el diámetro en la succión para disminuir la velocidad (Robert mott, s. f.).

Según criterio de Bonnet, se obtiene el diámetro mínimo que ha de tener la tubería.

$$D_{min} = 0,835 * \sqrt[5]{Q^2} \quad (2,3)$$

$$D_{min} = D_{min} = 0,835 * \sqrt[5]{(0,2005)^2} = 0,4390 \text{ m} = \mathbf{17,28"}$$

Como 17,28" no es un diámetro comercial, se dispondrá del diámetro siguiente a la medida indicada: 18".

$$D = 18" = 0,4572$$

$$r = 0,2286 \text{ m}$$

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi (0,2286)^2 = 0,1641 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A = (0,2005 \text{ m}^3/\text{s}) / (0,1641 \text{ m}^2) = \mathbf{1,2218 \text{ m/s}}$$

Para la descarga se selecciona la tubería de 12" ya que se encuentra en el rango de las velocidades recomendadas (V=2,750 m/s).

2.3 Diámetro de la tubería

Para hallar el espesor de la tubería, se realizan los cálculos con los diámetros nominales de la tubería (OD), esto para tener una presión de diseño de referencia y así ser exactos con el cálculo de las velocidades del fluido dentro de la tubería, las pérdidas, la carga total sobre la bomba y la potencia efectiva. Recordemos que el caudal necesario es de 17328,28 m³ al día, si pasamos este valor a m³/s obtenemos un valor de 0,2005588 m³/s.

Tabla 2.3 Valores para cada espesor de tubería

	NPS	OD (m)	ID (m)	ÁREA (m ²)	VELOCIDAD (m/s)
Succión	18"	0,4572	0,44744	0,157238718	1,275505185
Descarga	12"	0,3048	0,31476	0,077812426	2,577464948
	6"	0,1524	0,1615	0,020484951	2,577464948

Nombre de la fuente: Autor

2.4 Número de Reynolds calculado en cada sección de tubería

$$Re = (V \cdot D) / V_{cin} \quad (2.4)$$

Re= Número de Reynolds

V= Velocidad del fluido

D=Diámetro interior de la tubería

V_{cin}= Viscosidad cinemática =1,2E-06

Tabla 2.4 Número de Reynolds para cada sección de tubería

	Número de Reynolds	
	Viscosidad cinemática (v) (m ² /s)	Re
Succión	1,02E-06	5,60E+05
Descarga	1,02E-06	7,95E+05
	1,02E-06	4,08E+05

Nombre de la fuente: Autor

2.5 Factor de flujo (Laminar o turbulento) para cada sección de tubería

Éste es un valor adimensional necesario para calcular la pérdida de carga dentro de la tubería debido a su fricción. Como la tubería es de acero entonces se toma como una superficie rugosa con un coeficiente de $\epsilon = 1,50E-06$ (Robert mott, s. f.).

Recordemos que si el número de Reynolds nos da un valor menor a 2000 representa flujo laminar y mayor de 4000 es turbulento (Robert mott, s. f.).

Ecuación Swamme y Jain si es flujo turbulento

$$F = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{K}{\frac{D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}} \right) \right]^2} \quad (2.5)$$

Cuando el fluido es laminar, Entonces

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.6)$$

Tabla 2.5 Factor de fricción de flujo

Factor de fricción de flujo (f)

g (m/s ²)	ϵ	Turbulento (f)	Laminar (f)	
18"	9,81	1,50E-06	0,0128896	0
12"	9,81	1,50E-06	0,01217127	0
6"	9,81	1,50E-06	0,01371156	0

Nombre de la fuente: Autor

2.6 Pérdidas por fricción en tubería

Al fluir líquido dentro de una tubería se pierde energía debido a la fricción que ejerce sobre las paredes, esto depende del material del cual está construido y de la velocidad a la que fluye, para calcular las pérdidas por fricción en la tubería es utilizada la ecuación de Darcy (Robert mott, s. f.).

$$hL = F * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} \quad (2.7)$$

Tabla 2.6 Perdidas a la entrada y salida de la bomba

Perdidas entrada y salida de la bomba			
	hL (m)	Perdidas a la entrada	Perdidas a la salida
18"	0,031770324	0,041460588	/
12"	0,24484129	/	0,3386
6"	2,874755036	/	

Nombre de la fuente: Autor

2.7 Pérdidas en accesorios

Al igual que sucede en las pérdidas por fricción de la tubería, se encuentra una resistencia en válvulas y acoplamientos, esto puede ser expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería (L/D).

Tabla 2.7 Resistencia expresada como longitud por diámetros de tubería

TIPO	L/D
Válvula de globo - abierta por completo.	340
Válvula de ángulo - abierta por completo.	150
Válvula de compuerta - abierta por completo.	8
Válvula de compuerta - 3/4 abierta.	35
Válvula de compuerta - 1/2 abierta.	160
Válvula de compuerta - 1/4 abierta.	900
Válvula de verificación - tipo giratorio.	100
Válvula de verificación - tipo bola.	150
válvula de mariposa abierta por completo de 2" a 8"	45
válvula de mariposa abierta por completo de 10" a 14"	35
válvula de mariposa abierta por completo de 16" a 24"	25
Válvula de pie - tipo disco de vástago.	420
Válvula de pie - tipo disco de bisagra.	75
Codo estándar a 90.	30
Codo a 90 de radio largo.	20
Codo roscado a 90.	50
Codo estándar a 45.	16
Codo roscado a 45.	26
Vuelta cerrada en retorno.	50

Te estándar - con flujo directo.	20
Te estándar - con flujo en el ramal.	60

Nombre de la fuente: (Robert mott, s. f.)

Tabla 2.8 Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tubería de acero comercial nueva y limpia.

NPS (pulg.)	Factor de fricción (f _T)
1/2	0,027
3/4	0,025
1	0,023
1 1/4	0,022
1 1/2	0,021
2	0,019
2 1/2 - 3.	0,018
3 1/2 - 4.	0,017
5	0,016
6	0,015
8 - 10	0,014
12 - 16	0,013
18 - 24	0,012

Nombre de la fuente: (Robert mott, s. f.)

2.7.1 Pérdidas secundarias por accesorios en la succión y descarga

Estas pérdidas constituyen a la resistencia que ofrecen al fluido elementos como válvulas, filtros, reducciones y deben ser tenidas en cuenta a la hora de calcular la potencia que debe ser suplida por la bomba, a continuación la fórmula para calcular coeficiente de resistencia (*mecanica-de-fluidos-robert-mott-6ta-edicion.pdf*, s. f.).

$$k = \left(\frac{L_e}{D}\right) f_T \quad (2.8)$$

Fórmula para calcular coeficiente de fricción (*mecanica-de-fluidos-robert-mott-6ta-edicion.pdf*, s. f.).

$$h_L = k \left(\frac{v^2}{2 * g}\right) \quad (2.9)$$

Tabla 2.9 Perdidas secundarias en la succión**Perdidas secundarias por accesorios en la succión.**

cantidad	Descripción	$k = \left(\frac{L_e}{D}\right) f_T$	$h_L = k \left(\frac{v^2}{2 * g}\right)$
1	18" NPS BW 90 LR Elbow Sch - STD	0,24	0,019901082
1	Válvula de pie - tipo disco de vástago.	5,04	0,417922728
1	Filtro en cabeza de succión.	6,08	0,04648318
		Total	0,484306991

Nombre de la fuente: Autor

Tabla 2.10 Perdidas secundarias en la descarga**Perdidas secundarias por accesorios en la descarga.**

2	Codo de 90 de radio largo	0,26	0,176071829
1	Codo estándar a 45	0,208	0,070428732
2	T estándar con flujo en el ramal	0,78	0,528215488
1	Válvula cheque de 12" de retención	2,5	0,846499179
1	Válvula mariposa 12"	0,455	0,154062851
1	Válvula mariposa 6"	0,675	0,228554778
		Total	2,003832857

Nombre de la fuente: Autor

La sumatoria total de todas las perdidas es igual a 6,0195 metros (h_L)

2.8 Carga total de la bomba

La carga total de la bomba es la potencia que debe ser suministrada para vencer el total de las resistencias y poder suministrar el caudal requerido para el proyecto, para hallar la carga total sobre la bomba, se debe tener en cuenta el criterio de Bernoulli que hace referencia a que cuando la aspiración se realiza a presión atmosférica la P_1 se cancela junto con la P_2 , ya que la descarga se hará también a presión atmosférica (Robert mott, s. f.). También se cancelará la V_1 , entonces:

$$h_A = (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{V^2}{2g}\right) + h_L \quad (2.10)$$

Donde:

$Z_2 - Z_1$ = Altura geodésica del sistema

V^2 = Velocidad de la tubería de descarga

g = Constante de gravedad

h_L = Sumatoria total de las pérdidas

h_A = Carga total sobre la bomba

Tabla 2.11 Carga sobre la bomba

Carga total sobre la bomba		
Z2 - Z1 (m)	V (m/s)	h_A (m)
21,2	2,577464948	27,55816643

Nombre de la fuente: Autor

2.9 NPSH Disponible

El NPSH disponible trata de la diferencia entre la presión del líquido en el eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, para ello se conocen los datos para el cálculo de presión atmosférica a la altura en msnm en la que se encuentra la estación de bombeo.

Según el concepto técnico DTN no. 495 de 2016, informa que se realizó la visita el 29/02/2016 y se verificó que la captación se realizará por bombeo, aguas del río Baché, margen derecha; se georreferenció el sitio de la captación arrojando un valor de 839243N – 862383E, a una altura de 398 msnm. El predio está ubicado en la coordenada 862530E – 839208N, altura de 409 msnm. En cuanto al uso del suelo se verificó que el área del proyecto piscícola no se desarrolla en cercanías a infraestructuras eléctricas, zonas de riesgo ni conservación y no se evidenció obras de hidrocarburos en el área evaluada. Se aforó el caudal de la fuente arrojando un valor de 2394 litros por segundo (lps) (*Res972 - CONCESION DE CAUDAL.PDF*, s. f.).

Según la CAM el sitio desde el cual se realiza la captación se encuentra a 398 msnm, a partir de este dato se calcula la P_{atm} con la siguiente ecuación:

$$P = P_{atm} * e^{-\left(\frac{P_e}{P_{atm}} * h\right)} \quad (2.11)$$

$$P_{(398)} = 101325 \text{ pa} * e^{-\left(\frac{12,01 \frac{N}{m^3}}{101325 \text{ pa}} * 398\right)} = 96656,014 \text{ pa}$$

$$NPSH_d = \frac{P_{atm}}{\rho * g} + \Delta H_s - h_L - \frac{P_v}{\rho * g} \quad (2.12)$$

$$P_{atm} = 96656,014$$

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Densidad del agua a } 20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\Delta H_s = 2,2 \text{ m} \quad (\text{cabeza de succión negativa})$$

$$H_L = 0,9367 \text{ m} \quad (\text{Perdidas en la succión})$$

$$P_v = 2330,43 \text{ Pa} = 0,338 \text{ Psi} \quad (\text{Presión de vapor de agua a } 20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$NPSH_d = \frac{96656,04}{998 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2} - 2,2 \text{ m} - 0,9367 \text{ m} - \frac{2330,04 \text{ Pa}}{998 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2}$$

Tabla 2.12 NPSH disponible

NPSH disponible					
Patm (Pa)	Densidad (kg/m ³)	Hs (m)	HL (m)	Pv	NPSHd (m)
96656,04	998	2,2	0,557538	2330,4	6,876981901

Nombre de la fuente: Autor

2.10 Presión dentro del sistema

En base a datos obtenidos por la carga asumida por la bomba se calculan las presiones que van a ejercer los componentes dentro del sistema.

Tabla 2.13 Presión dentro del sistema

	Presión de diseño	Presión de diseño con coeficiente de seguridad de 1,5.
m.c.a.	27,5581664	41,33724964
PSI	39,1877127	58,78156899
Pa	270245,852	405368,7781

Nombre de la fuente: Autor

2.11 Potencia útil o efectiva

Es la potencia que la bomba le trasmite al fluido (Robert mott, s. f.).

$$P_{efec.} = Q * \rho * g * H_a \quad (2.13)$$

Q = 0,2005 m³/s (Caudal)

ρ = 998 kg/m³ (Densidad del agua a 20 °C)

g = 9,81 m/s² (Gravedad)

H_a = 21,2 m + 6,3988 m = 27,5988 m (Altura geodésica + pérdidas)

$$P_{efec.} = 0,2005 \text{ m}^3/\text{s} * 998 \text{ kg}/\text{m}^3 * 9,81 \text{ m}/\text{s}^2 * 27,5988 \text{ m}$$

$$P_{efec.} = 54175,64 \text{ W} = \mathbf{54,175 \text{ KW}}$$

2.12 Resumen Capitulo 2

	NPS	OD (m)	ID (m)	ÁREA (m ²)	VELOCIDAD (m/s)
Succión	18"	0,4572	0,44744	0,157238718	1,275505185
	12"	0,3048	0,31476	0,077812426	2,577464948
Descarga	6"	0,1524	0,1615	0,020484951	2,577464948

Número de Reynolds		
	Viscosidad cinemática (ν) (m ² /s)	Re
Succión	1,02E-06	5,60E+05
Descarga	1,02E-06	7,95E+05
	1,02E-06	4,08E+05

Perdidas entrada y salida de la bomba			
	hL (m)	Perdidas a la entrada	Perdidas a la salida
18"	0,031770324	0,041460588	/
12"	0,24484129	/	0,3386
6"	2,874755036	/	

Perdidas secundarias por accesorios en la succión.

cantidad	Descripción	Coefficiente R mecánica	Coefficiente R Fricción
1	18" NPS BW 90 LR Elbow Sch - STD	0,24	0,019901082
1	Válvula de pie - tipo disco de vástago.	5,04	0,417922728
1	Filtro en cabeza de succión.	6,08	0,04648318
	Total		0,484306991

Perdidas secundarias por accesorios en la descarga.

2	Codo de 90 de radio largo	0,26	0,176071829
1	Codo estándar a 45	0,208	0,070428732
2	T estándar con flujo en el ramal	0,78	0,528215488
1	Válvula cheque de 12" de retención	2,5	0,846499179
1	Válvula mariposa 12"	0,455	0,154062851
1	Válvula mariposa 6"	0,675	0,228554778
	Total		2,003832857

NPSH disponible

Patm (Pa)	Densidad (kg/m³)	Hs (m)	H_L (m)	P_v	NPSD_d (m)
96656,04	998	2,2	0,557538	2330,4	6,876981901

Presión de diseño

**Presión de diseño con coeficiente de
seguridad de 1,5.**

m.c.a.	27,5581664	41,33724964
PSI	39,1877127	58,78156899
Pa	270245,852	405368,7781

3 Capítulo 3

Diseño del grupo hidromecánico

En este capítulo se realizan los cálculos mecánicos y diseños a partir de los datos obtenidos en el capítulo anterior, así como simulaciones y comprobación de resultados utilizando software de diseño CAD (Solidwork) haciendo uso de su simulador de cargas estáticas y dinámicas para verificar resultados teóricos, además se tendrá en cuenta modificaciones y posibles variaciones para mejorar la eficiencia del grupo hidromecánico.

3.1 Vista general de diseño

Se hace un diagrama general de diseño donde se dimensionan y acotan la altura a vencer junto con la ubicación y espesor de la tubería y cada componente, en éste se evidencia el recorrido que hace el líquido hasta el primer tanque de descarga donde inicia su recorrido por gravedad.

3.2 Selección del material para la tubería

Para seleccionar el material de la tubería iniciamos calculando su espesor, lo hacemos mediante la siguiente fórmula. (*mecanica-de-fluidos-robert-mott-6ta-edicion.pdf*, s. f., p. 344)

$$T_{\text{nominal}} = 1.143 \left[\frac{pD}{2(SE+pY)} + A \right] \quad (3.1)$$

Dónde:

t=Espesor básico de pared (pulgadas o mm)

p= Presión de diseño (psig o pa)

D= Diámetro exterior de la tubería (Pulg o mm)

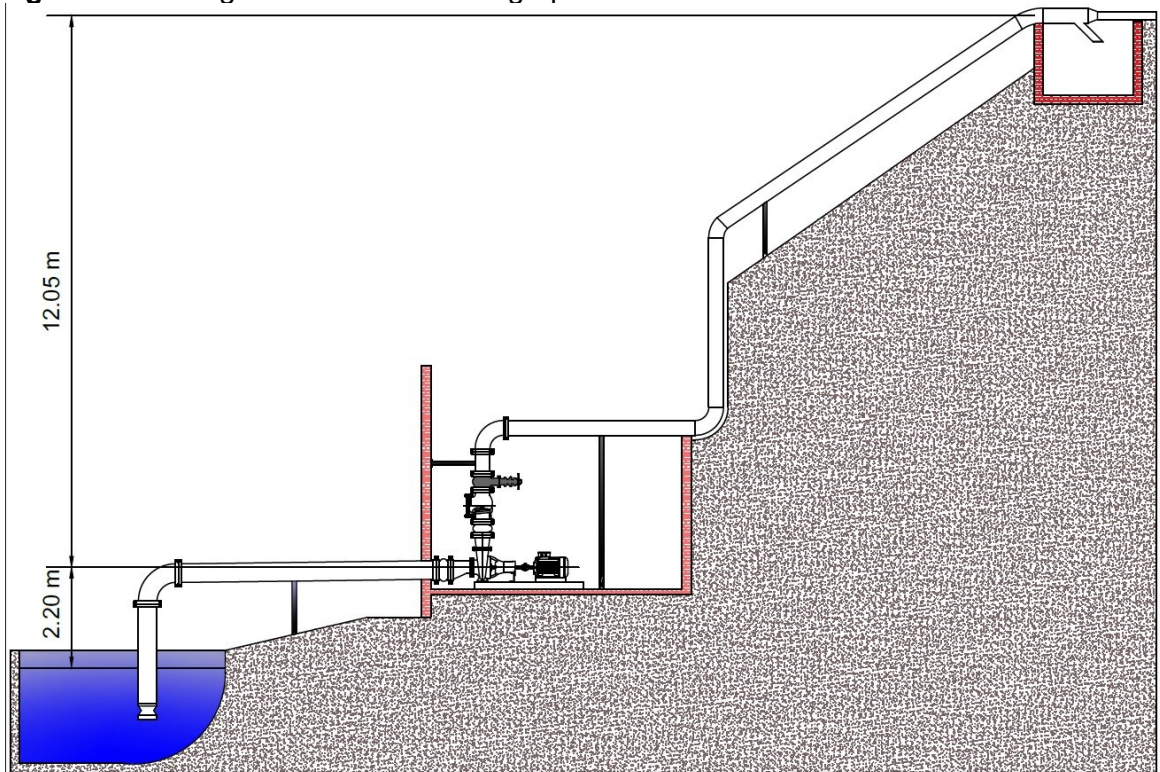
S=Esfuerzo permisible en tensión (psi o mpa)

E=Factor de calidad junta longitudinal

y=Factor de corrección con base en el tipo de material y temperatura

Datos teóricos para el cálculo del espesor de la tubería fueron obtenidos de (2. *POWER PIPING ASME B31.1.pdf*, s. f.)

Figura 3.1 Vista general de diseño del grupo hidromecánico



Nombre de la fuente: Autor

3.2.1 Espesor nominal de tubería

Para tubería de 18" NPS.

$$t_{nom} = 1,143 * \left(\frac{(415,5833Kpa) * (457,2 mm)}{2 * (82737,08Kpa + 415,5833Kpa * 0,4)} + 2 \right) = 3,595 mm$$

Para tubería de 16" NPS.

$$t_{nom} = 1,143 * \left(\frac{(415,5833Kpa) * (396,84 mm)}{2 * (82737,08Kpa + 415,5833Kpa * 0,4)} + 2 \right) = 3,422 mm$$

Para tubería de 12" NPS.

$$t_{nom} = 1,143 * \left(\frac{(415,5833Kpa) * (323,8 mm)}{2 * (82737,08Kpa + 415,5833Kpa * 0,4)} + 2 \right) = 3,2136 mm$$

Para tubería de 6" NPS

$$t_{nom} = 1,143 * \left(\frac{(415,5833Kpa) * (168,3 mm)}{2 * (82737,08Kpa + 415,5833Kpa * 0,4)} + 2 \right) = 2,7681 mm$$

Una vez se calcula el espesor nominal de la tubería se selecciona el material óptimo a utilizar y el SCH que debe tener, esto se hace basado en 2 normas (*DIN 1626 Grade St 37.0 normalized or normalized formed (+N) - Low Carbon Steel - Matmatch*, s. f.) la DIN 1626 y la ANSI/ASME B31.1 que establecen los tipos de material diferentes para las tuberías según su temperatura de operación y aplicación.

El material que se adapta a los requerimientos es el ASTM A 106 A Acero al carbono (C – Si). La tubería sin soldadura de acero al carbono ASTM A106 se utiliza en aplicaciones industriales que implican bajas y altas temperaturas, incluidas las tuberías de proceso y estaciones bombeo, también es conocida como tubería ASME SA106. (Tubo de acero al carbono A106, Tubo sin soldadura ASTM A106 Grado B, A106 Gr. C Tubería, s. f.)

Se selecciona la tubería según el SCH calculado en relación con el comercial, para ellos la norma ANSI establece un método indicado mediante la siguiente fórmula.

$$t_{ped} \geq \frac{t_{nom} * 100}{100 - x}; X= 12,5 \text{ para este tipo de tubería.} \quad (3.2)$$

Tubería de 18" NPS.

$$t_{ped} \geq \frac{3,595mm * 100}{100 - 12,5} = 4,11 mm$$

Tubería de 12" NPS.

$$t_{ped} \geq \frac{3,2136 \text{ mm} * 100}{100 - 12,5} = 3,651 \text{ mm}$$

Tubería de 6" NPS.

$$t_{ped} \geq \frac{2,7681 \text{ mm} * 100}{100 - 12,5} = 3,1455 \text{ mm}$$

De acuerdo con la siguiente tabla, se escoge el SCH 10s para los 3 diámetros de trabajo, puesto que este SCH supera al t_{ped} , como lo establece la norma ANSI.

Figura 3.2 Propiedades de la tubería ASTM A106**ASTM A106 Gr. Tubería y Tubo de acero al carbono A / B / C Composición química**

	GRADO A	GRADO B	GRADO C
Carbón máx. %	0.25	0.30	0.35
Manganeso %	0.27 to 0.93	0.29 to 1.06	0.29 to 1.06
Fosforoso, máx. %	0.035	0.035	0.035
Azufre, máx. %	0.035	0.035	0.035
Silicio, min.%	0.10	0.10	0.10
Cromo, máx. %	0.40	0.40	0.40
Cobre, máx. %	0.40	0.40	0.40
Molibdeno, máx. %	0.15	0.15	0.15
Níquel, máx. %	0.40	0.40	0.40
Vanadio, min.%	0.08	0.08	0.08

Nombre de la fuente: (*Tubo de acero al carbono A106, Tubo sin soldadura ASTM A106 Grado B, A106 Gr. C Tubería, s. f.*)

Figura 3.3 Propiedades mecánicas de la tubería

Grado	Resistencia a la tracción (Mpa), mín.	Fuerza de producción (Mpa), mín.
A	330	205
B	415	240
C	485	275

Nombre de la fuente: (*Tubo de acero al carbono A106, Tubo sin soldadura ASTM A106 Grado B, A106 Gr. C Tubería, s. f.*)

Figura 3.4 Dimensiones y SCH de tubería comercial

Tamaño Nominal del Tubo (NPS)		Diámetro Exterior (pulgada)	Tubos Cédula / Pipe Schedule																		
NPS	DN	OD	SCH 5s	SCH 10s	SCH 10	SCH 20	SCH 30	SCH 40s	SCH STD	SCH 40	SCH 60	SCH 80s	SCH XS	SCH 80	SCH 100	SCH 120	SCH 140	SCH 160	SCH XXS		
1/8	6	0.405		1.240				0.068	0.068	0.068		0.095	0.095	0.095							
1/4	8	0.540		1.650				0.088	0.088	0.088		0.119	0.119	0.119							
3/8	10	0.675		1.650				0.091	0.091	0.091		0.126	0.126	0.126							
1/2	15	0.840	0.065	2.110				0.109	0.109	0.109		0.147	0.147	0.147					0.188	0.294	
3/4	20	1.050	0.065	2.110				0.113	0.113	0.113		0.154	0.154	0.154					0.219	0.308	
1	25	1.315	0.065	2.770				0.133	0.133	0.133		0.179	0.179	0.179					0.250	0.358	
1 1/4	32	1.660	0.065	2.770				0.140	0.140	0.140		0.191	0.191	0.191					0.250	0.382	
1 1/2	40	1.900	0.065	2.770				0.145	0.145	0.145		0.200	0.200	0.200					0.281	0.400	
2	50	2.375	0.065	2.770				0.154	0.154	0.154		0.218	0.218	0.218					0.344	0.436	
2 1/2	65	2.875	0.083	3.050				0.203	0.203	0.203		0.276	0.276	0.276					0.375	0.552	
3	80	3.500	0.083	3.050				0.216	0.216	0.216		0.300	0.300	0.300					0.438	0.600	
3 1/2	90	4.000	0.083	3.050				0.226	0.226	0.226		0.318	0.318	0.318							
4	100	4.500	0.083	3.050				0.237	0.237	0.237		0.337	0.337	0.337		0.438			0.531	0.674	
5	125	5.563	0.109	3.400				0.258	0.258	0.258		0.375	0.375	0.375		0.500			0.625	0.750	
6	150	6.625	0.109	3.400				0.280	0.280	0.280		0.432	0.432	0.432		0.562			0.719	0.864	
8	200	8.625	0.109	3.760		0.250	0.277	0.322	0.322	0.322	0.406	0.500	0.500	0.500	0.594	0.719	0.812		0.906	0.875	
10	250	10.750	0.134	4.190		0.250	0.307	0.365	0.365	0.365	0.500	0.500	0.500	0.594	0.719	0.844	1.000	1.125	1.000		
12	300	12.750	0.156	4.570		0.250	0.330	0.375	0.375	0.406	0.562	0.500	0.500	0.688	0.844	1.000	1.125	1.312	1.000		
14	350	14.000	0.156	4.780	0.250	0.312	0.375		0.375	0.438	0.594		0.500	0.750	0.938	1.094	1.250	1.406			
16	400	16.000	0.165	4.780	0.250	0.312	0.375		0.375	0.500	0.656		0.500	0.844	1.031	1.219	1.438	1.594			
18	450	18.000	0.165	4.780	0.250	0.312	0.438		0.375	0.562	0.750		0.500	0.938	1.156	1.375	1.562	1.781			
20	500	20.000	0.188	5.540	0.250	0.375	0.500		0.375	0.594	0.812		0.500	1.031	1.281	1.500	1.750	1.969			
22		22.000	0.188	5.540	0.250	0.375	0.500		0.375		0.875		0.500	1.125	1.375	1.625	1.875	2.125			
24	600	24.000	0.218	6.350	0.250	0.375	0.562		0.375	0.688	0.969		0.500	1.219	1.531	1.812	2.062	2.344			
26		26.000			0.312	0.500	0.000		0.375				0.500								
28	700	28.000			0.312	0.500	0.625		0.375				0.500								
30		30.000	0.250	7.920	0.312	0.500	0.625		0.375				0.500								
32	800	32.000			0.312	0.500	0.625		0.375	0.688			0.500								
34		34.000			0.312	0.500	0.625		0.375	0.688			0.500								

Nombre de la fuente: («Tabla de Dimensiones de Tubos de Acero (Medidas Para Tubos Cedula 40, 80)», 2018)

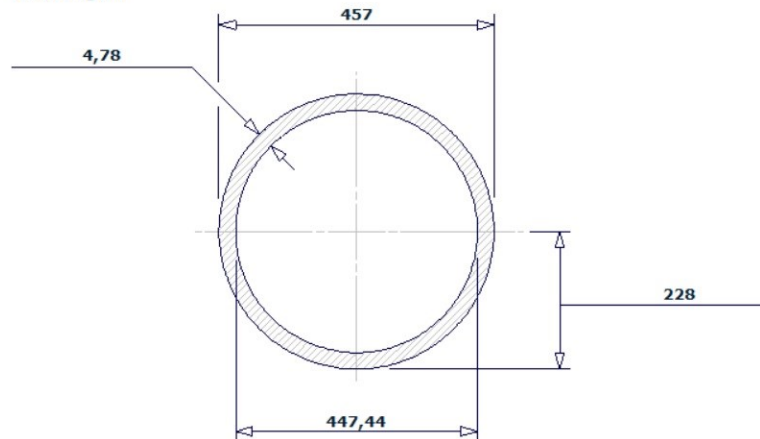
En base del resultado obtenido en el software de diseño "Pipedata-pro" para cada una de las siguientes dimensiones de tubería.

Figura 3.5 Dimensión de tubería de 18" SCH

18" NPS Sch-10s Pipe

Weight = 53,31 kg/m

Weight full with water = 210,46 kg/m



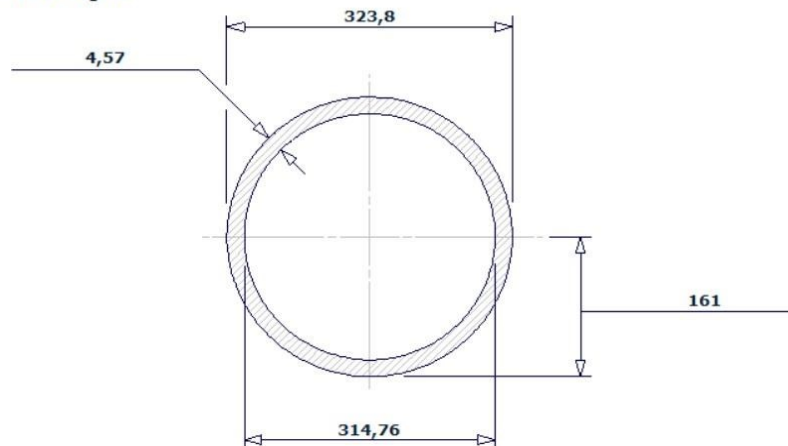
Nombre de la fuente: Fuente: Pipedata-pro. Versión 12.2.09.30.

Figura 3.6 Dimensión de tubería de 12" SCH

12" NPS Sch-10s Pipe

Weight = 35,99 kg/m

Weight full with water = 113,76 kg/m

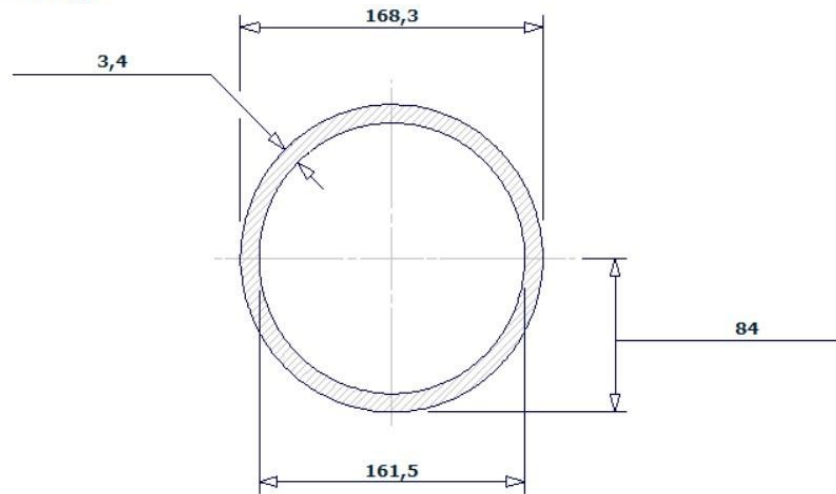


Nombre de la fuente: Pipedata-pro. Versión 12.2.09.30.

Figura 3.7 Dimensión de tubería 6" SCH**6" NPS Sch-10s Pipe**

Weight = 13,83 kg/m

Weight full with water = 34,3 kg/m



Nombre de la fuente: Pipedata-pro. Versión 12.2.09.30.

3.3 Selección de la bomba hidráulica

$$NPSH_d > NPSH_r \quad (3.3)$$

$$Q = 722,01 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$h_a = 27,9374 \text{ m}$$

$$NPSH_d = 6,4977 \text{ m}$$

3.3.1 Requerimientos mínimos de la bomba según la gráfica

Para seleccionar los requerimientos mínimos a cumplir de una bomba se han establecido unas gráficas, para este caso se toma como referencia la figura 3,8 de selección de la bomba

$$\text{RPM} = 1750$$

$$\text{Potencia} = 100 \text{ HP}$$

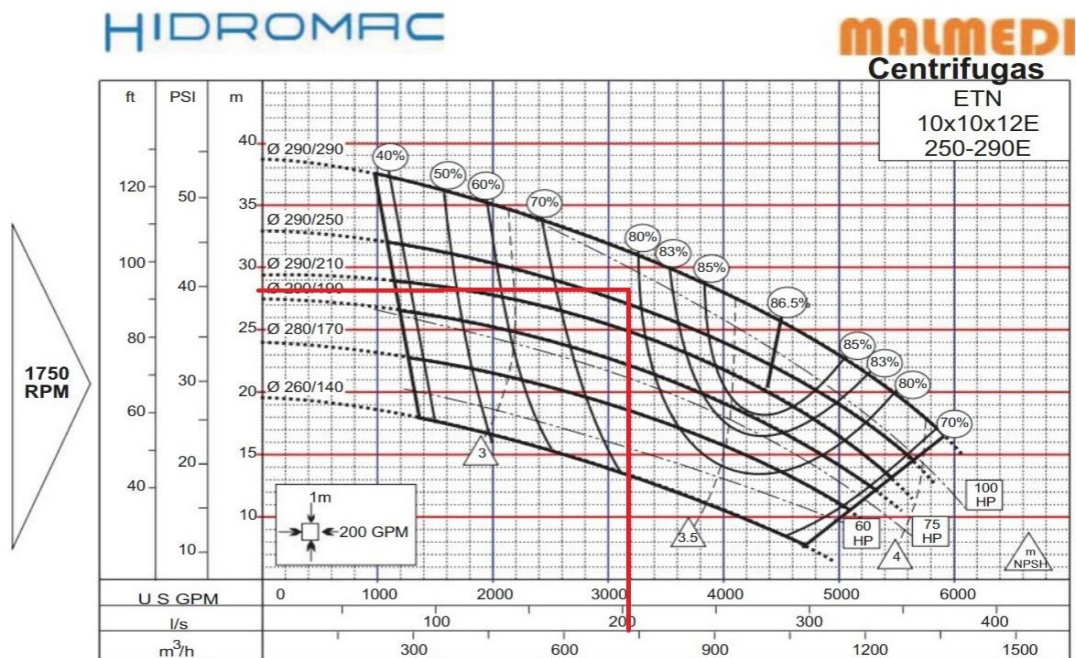
$$NPSH_r = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Eficiencia} = 80 \%$$

3.4 Selección de motor eléctrico

Cómo se mencionó anteriormente, las especificaciones técnicas mínimas a cumplir de un motor son de 100 HP y 1750 Rpm. Actualmente se cuenta con un motor de 125 HP y 1780 Rpm lo que nos indica que es idóneo para la bomba a utilizar.

Figura 3.8 Grafica de selección de la bomba



Nombre de la fuente: (Bombas de agua centrifuga, Centrifugal Pump, Fabrica de Bombas Bombas Malmedi C.A., s. f.)

Figura 3.9 Bomba a utilizar



- ✓ Marca : Hidromac
- ✓ Construcción : Hierro Fundido
- ✓ Modelo : ETN 250/290E
- ✓ Etapas : 1
- ✓ Caudal : 4000 GPM
- ✓ C.D.T : 26 Mts
- ✓ Eficiencia : 85%
- ✓ Impulsor : Hierro/290mm
- ✓ Cierre del eje: Prensa Estopa
- ✓ Eje : Acero 1045
- ✓ Fluido : Agua
- ✓ Temperatura: 60°C
- ✓ Succión : 10" Brida
- ✓ Descarga : 10" Brida
- ✓ Potencia Req 125 HP
- ✓ Velocidad : 1800 Rpm

Nombre de la fuente: (Bombas de agua centrifuga, Centrifugal Pump, Fabrica de Bombas Bombas Malmedi C.A., s. f.)

Figura 3.10 placa de motor central



Nombre de la fuente: Autor

3.4.1 Selección de transformador para el motor eléctrico

Se calcula el transformador óptimo para la carga del motor eléctrico en base a una fórmula ya establecida y según la conexión del motor, en este caso se conecta a una tensión de 440 V, recordemos que es un motor trifásico.

$$kVA \text{ transformador trifásico} = \frac{\text{Tensión de motor} \cdot \text{Corriente} \cdot \sqrt{3}}{1000} \quad (3.4)$$

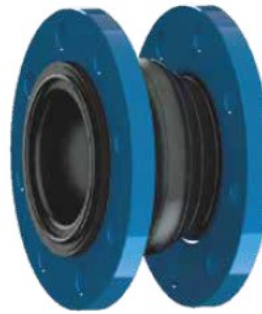
$$\text{kVA} = \frac{440 \text{ V} * 146 * \sqrt{3}}{1000} = 111.26 \text{ kVA}$$

Se recomienda incrementar la potencia en un 15% para efectos de eficiencia y seleccionar el transformador comercialmente más cercano. En este caso se tiene una potencia aparente necesaria de 127 kVA y pasamos a seleccionar un transformador trifásico de 150 kVA para esta carga (*2013 NOV - Selección de Transformadores para Motores Electricos.pdf*, s. f.).

3.5 Selección de la junta de expansión

Las juntas de expansión son accesorios flexibles que se montan en las tuberías para absorber los movimientos causados por dilatación térmica y/o vibración mecánica facilitando el montaje de válvulas y equipos. Para la selección de estas juntas se consulta el catálogo técnico de flexilatina y el modelo adecuado es del tipo JEBA que es fabricado integralmente en EPDM, elastómero que presenta excelentes propiedades de resistencia química, al envejecimiento térmico por exposición a los rayos solares y el ozono. Se aplican en sistemas que operan con presión interna positiva o bajo vacío, lo que la hace apropiada para trabajar en succión o descarga de bombas. Los terminales de juntas de caucho son bridas giratorias en acero carbono dimensionadas según norma ASME b 16.5 clase 150 (*Catalogo-juntas-de-caucho.pdf*, s. f.).

Figura 3.11 Junta de expansión tipo JEBA



Nombre la fuente. (*Catalogo-juntas-de-caucho.pdf, s. f.*)

Recordemos que la presión del sistema es de 58,78 psi, para la junta de expansión de 12” la presión de operación máxima permisible es de 150 psi, ósea que está dentro de su rango de operación permisible, observamos el valor en la siguiente tabla.

Figura 3.12 Características de las juntas según su dimensión

DIÁMETRO NOMINAL		LONGITUD DE INSTALACION	DIAMETRO EXTERNO	AGUJERO DE BRIDAS			ESPESOR		MOVIMIENTOS ADMISIBLES				PRESION DE OPERACIÓN MAX.	
D.N		L	DE	DF	N	ØK	C1	C	AXIAL -X	AXIAL +X	LATERAL ±y	ANGULAR ±θ	P	P
mm	pul	mm	mm	mm	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	grados	kgf/cm	psi
32	1.1/4	130	64	117,5	88,9	4	15,9	16	25	10	15	20	16	225
40	1.1/2	130	69	127	98,4	4	15,9	16	25	10	15	20	16	225
50	2	130	87	152,4	120,6	4	19,0	16	25	10	15	20	16	225
65	2.1/2	130	109	177,8	139,7	4	19,0	16	25	10	15	20	16	225
80	3	130	118	190,5	152,4	4	19,0	19	25	10	15	17	16	225
100	4	130	147	228,6	190,5	8	19,0	19	25	10	15	14	16	225
125	5	130	177	254	215,9	8	22,2	19	25	15	15	14	16	225
150	6	130	202	279,4	241,3	8	22,2	19	20	15	15	10	16	225
200	8	130/150	263	342,9	298,4	8	*3/4"/22,2	19	20/25	15/12	15	10	16	225
250	10	130/175	323	406,4	361,9	12	*7/8"/25,4	22	15/20	15/12	15	8	10	150
300	12	130/200	372	482,6	431,8	12	*7/8"/25,4	25	15/25	15/12	15	8	10	150
350	14	200	422	533,4	476,2	12	28,6	32	35	25	15	8	10	150
400	16	200	479	596,9	539,7	16	28,6	32	35	25	15	8	10	150
450	18	200	525	635	577,8	16	31,8	32	35	25	15	8	10	150
500	20	200	576	698,5	635	20	31,8	32	35	25	15	8	10	150

Vácio máximo = Vácio total Temperaturas: Máx = 90°C

Nombre de la fuente: (*Catalogo-juntas-de-caucho.pdf, s. f.*)

3.6 Selección de acople omega “Motor y bomba”

Se debe seleccionar un acople omega entre la bomba y el motor que sea capaz de transmitir el torque generado por el motor eléctrico.

Tabla 3.1 Especificaciones de los equipos para la selección del acople.

Equipo	Potencia (hp)	Revoluciones (RPM)
Bomba centrífuga	125	1780
Motor eléctrico	125	1780

Nombre de la fuente: Autor

El fabricante de Acoples Raptor de Dodge establece un método para el cálculo y selección del acople en sus catálogos. Método por el cual se realizará la selección de acople para la actual configuración motor - bomba.

Fórmula para cálculo torque según Raptor de Dodge

$$Torque_{(lb*in)} = \frac{63025*HP*SF}{RPM}$$

HP = potencia (HP).

SF = Factor de servicio.

RPM = Revoluciones (RPM)

Tabla 3.2 factor de servicio

Application (Read Footnotes)	Factor Δ Raptor
PAPER MILLS (continued)	
Suction Roll	2.00
Winder	1.50
PARAFFIN FILTER PRESS	1.50
PRINTING PRESS	1.50
PROPELLER Marine	1.50
PULLERS	
Barge Hall	2.50
PULVERIZERS	
Hammermill-Light Duty	1.50
Hammermill-Heavy Duty	2.00
Hog	2.00
Roller	1.50
PUMPS	
For Stock Pumps See Paper Mills	
Centrifugal	1.00
Descaling Gear Type	1.50
Oil Well Pumping (Not over 150% peak torque)	2.00

Nombre de la fuente: (ABB Group - Leading digital technologies for industry, s. f.)

Una vez establecido el factor de servicio del acople omega para bombas centrifugas, se aplica la fórmula para calcular el torque al cual estará sometido el acople.

Entonces:

$$HP = 125 \text{ HP}$$

$$SF = 1$$

$$RPM = 1780 \text{ (RPM)}$$

$$T = \frac{63025 \cdot 125 \cdot 1}{1780} = 4425,91 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

Tabla 3.3 torque máximo de acoples omega

Coupling Size	Recom. Max. Bore (in) Ⓞ	Continuous HP/100 RPM	Continuous Torque (lb-in)	Max. RPM	Dimensions (in)							Weight Ⓞ (lb)
					A	B	C		D	F		
							(In)	(Out)		(In)	(Out)	
E2	1.13	0.30	190	6600	3.50	0.94	1.34	1.90	1.85	3.22	3.78	1.2
E3	1.38	0.58	365	6600	4.00	1.50	0.81	1.31	2.32	3.81	4.31	2.4
E4	1.63	0.88	550	6600	4.56	1.69	0.44	1.31	2.60	3.81	4.69	3.0
E5	1.88	1.48	925	6600	5.38	1.75	0.81	1.81	3.13	4.31	5.31	5.4
E10	2.13	2.30	1450	6600	6.38	1.88	0.56	1.84	3.65	4.31	5.56	8.2
E15	2.13	2.86	1800	6600	6.38	1.88	0.56	1.84	3.65	4.31	5.56	8.3
E20	2.38	3.65	2300	6600	7.25	2.06	0.50	2.38	4.48	4.62	6.50	13.0
E30	2.88	5.79	3650	5800	8.25	2.31	0.56	2.44	5.42	5.19	7.06	21
E40	3.38	8.85	5500	5000	9.50	2.50	0.56	2.68	6.63	5.56	7.68	35
E50	3.63	12.14	7650	4200	11.00	2.75	0.63	3.38	8.13	6.13	8.88	54
E60	4	19.84	12,500	3800	12.50	3.25	0.69	3.44	8.75	7.19	9.94	72
E70	4.5	35.12	22,125	3600	14.00	3.62	0.75	3.75	9.25	8.00	11.00	86
E80	6	62.7	39,500	2000	16.00	4.87	0.75	5.00	11.25	10.50	14.75	170
E100	6.75	135	85,050	1900	21.00	5.50	1.75	3.75	14.13	12.75	14.75	244
E120	7.5	270	170,100	1800	25.00	6.00	2.25	4.88	17.63	14.24	16.88	425
E140	9.00	540	340,200	1500	30.00	7.00	3.00	5.00	20.88	17.00	19.00	746

Nombre de la fuente: (*Omega-Elastomeric-Couplings_Catalog.pdf*, s. f.)

Se selecciona el acople E40 ya que su torque máximo es superior al torque calculado y necesario en el conjunto motor - bomba. Más información en Anexo G

$$T_{E40} = 5500 \text{ lb} \cdot \text{in} > T_{calculado} = 4425,91 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

3.7 Selección de filtro

El filtro es un accesorio importante para proteger a la bomba de posibles daños en el impeler por atascamientos o golpes de elementos sólidos, debido a la succión de sedimentos provenientes del Río Baché.

Este filtro se selecciona a partir del caudal requerido por el sistema: (*odis 18100.pdf*, s. f.)

$$Q_{req} = 0,2005 \text{ m}^3/s = 721.8 \text{ m}^3/h$$

Además, este filtro se selecciona con la condición de que sea de tipo autolimpiante. Para evitar las paradas del sistema de bombeo por las limpiezas que se le deban hacer a este accesorio, más información. ver anexo H.

En el siguiente cuadro se selecciona el pre-filtro autolimpiante serie 18112 normal 2.500 micras (8 mesh), ya que su caudal maximo se adapta al requerido por el sistema.

Figura 3.13 Cuadro de rendimiento de pre-filtro autolimpiante

Modelos	Ø	Caudal máximo bomba m ³ /h aproximado	
		Normal 2.500 micras (8 mesh)	Opcional 1.200 micras (18 mesh)
18104	4"	100	80
18106	6"	230	180
18108	8"	380	300
18110	10"	550	420
18112	12"	750	600
18114	14"	1.000	800
18116	16"	1.200	1.000

Nombre de la fuente: (*odis 18100.pdf*, s. f.)

3.8 Diseño del skid

El skid o estructura base es el elemento que soporta los componentes hidromecánicos principales, en este caso motor y bomba para que estén de forma lineal y puedan operar sin inconveniente alguno, para el diseño del skid se identifica el tipo de carga a sujetar.

Figura 3.14 Clase de cargas

Tabla 1-1 Clases de carga		
	Cargas constantes	Cargas variables con el tiempo
Elementos estacionarios	Clase 1	Clase 2
Elementos móviles	Clase 3	Clase 4

Nombre de la fuente: (Norton, 2011)

De acuerdo con la anterior ilustración del tipo de cargas, se define la carga de clase 1 para el análisis estático del Skid, ya que es una carga estática de forma constante.

Al realizar el diseño adecuado del skid se deben tener en cuenta las medidas y geometrías exactas de los equipos que van a ser instalados, por lo tanto presentamos las medidas suministrada por el fabricante para el motor eléctrico y la bomba.

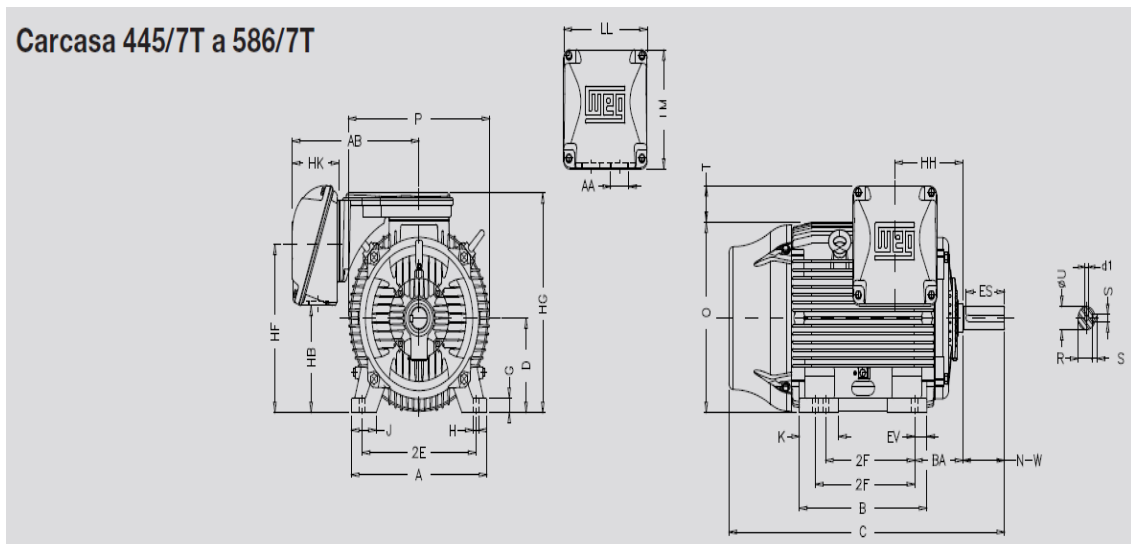
3.8.1 Dimensiones de motor eléctrico

Tabla 3.4 Motor eléctrico

Descripción		Peso (kg)
<i>Motor eléctrico WEG modelo W22</i>		691
<i>Potencia.</i>	HP 125	
	KW 90	
<i>Velocidad (RPM)</i>	1780	
<i>Voltaje.</i>	220/380/440	
<i>Amperios.</i>	292/169/146	

Nombre de la fuente: (*WEG-w22-motor-trifasico-50044029-brochure-spanish-web.pdf*, s. f.)

Figura 3.15 Plano de motor eléctrico



Nombre de la fuente: (*WEG-w22-motor-trifasico-50044029-brochure-spanish-web.pdf*, s. f.)

Tabla 3.5 Medidas de motor eléctrico

<i>Cota</i>	<i>medida (inch)</i>	<i>medida (mm)</i>
2E	18	457,2
2F	16,5	419,1
A	21,929	556,9966
AA		0
AB	18,57	471,678
B	20,315	516,001
BA	7,5	190,5
C	45,157	1146,9878
D	11	279,4
EV	1,929	48,9966
G	1,63	41,402
HB	5,687	144,4498
T+O	22,795	578,993
HF	11,832	300,5328
HH	15,748	399,9992
HK	5,97	151,638

Nombre de la fuente: ([WEG-w22-motor-trifasico-50044029-brochure-spanish-web.pdf](#), s. f.)

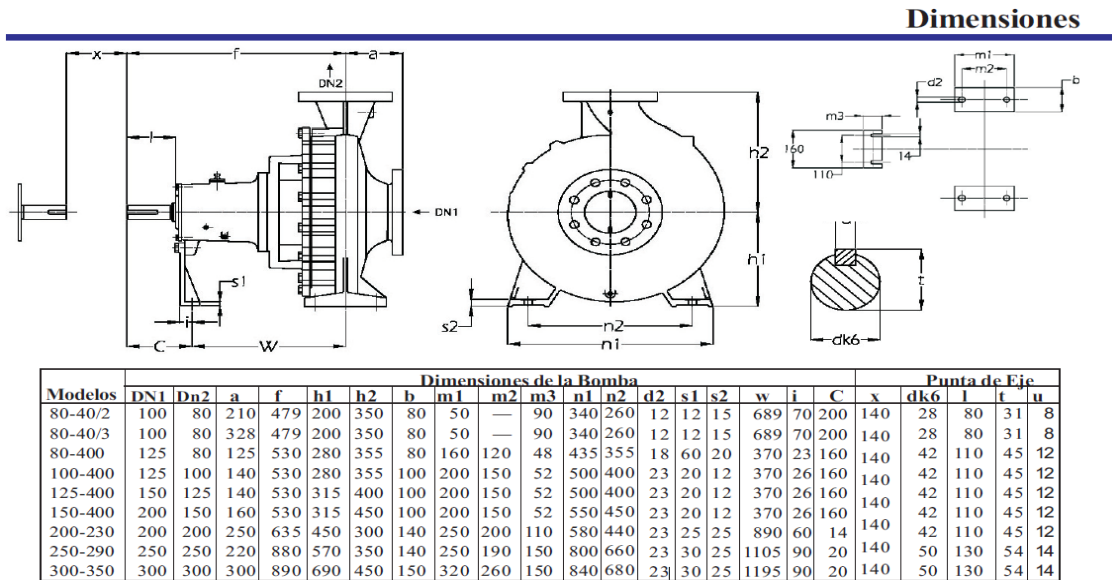
3.8.2 Dimensiones de la bomba

Tabla 3.6 datos de la bomba

<i>Descripción</i>	<i>Peso (kg)</i>	
<i>Bomba centrifuga Hydromac modelo ETN 250/290E.</i>	659,5	
<i>Potencia req. (HP)</i>		125
<i>Caudal max. (GPM)</i>		4000
<i>Eficiencia (%)</i>		85
<i>Velocidad (RPM)</i>		1800

Nombre de la fuente: ([FICHAS_DE_BOMBAS_MALMEDI.pdf](#), s. f.)

Figura 3.16 Dimensiones de la bomba

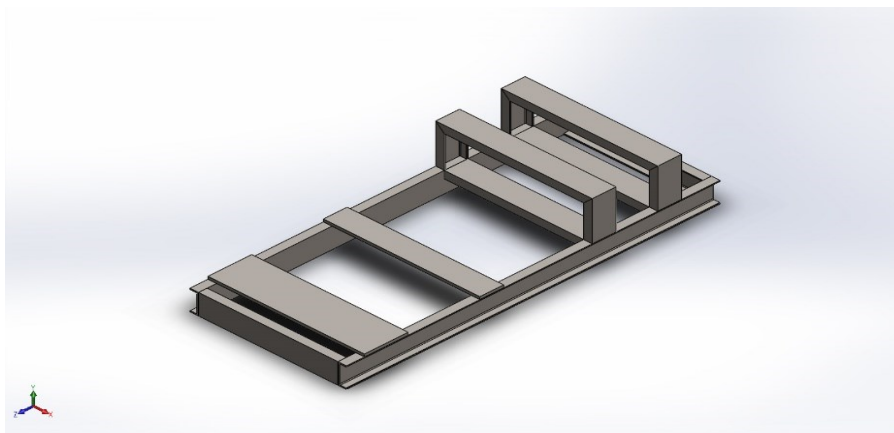


Nombre de la fuente: (FICHAS_DE_BOMBAS_MALMEDI.pdf, s. f.)

Una vez se definieron las medidas y geometrías exactas se procede a realizar el diseño del skid, para ello se utiliza el software de diseño CAD Solidwork.

3.8.3 Vista general del skid

Figura 3.17 Vista 3D de diseño general del skid



Nombre de la fuente: Elaboración propia

3.8.4 Material del skid

Para el material de skid se elige la calidad de acero ASTM A36 laminados en caliente. Esta norma abarca láminas, barras, vigas, canales, etc. Además, sus aplicaciones son la construcción de puentes, edificios y otros usos en estructuras en general (*Canales Estructurales*, s. f.).

A continuación, se muestra una ficha técnica del perfil del material a usar y las medidas comerciales según el fabricante DEACERO.

3.8.5 Análisis estático del skid.

Carga sobre la estructura:

- ✓ Motor

Masa = 691 Kg

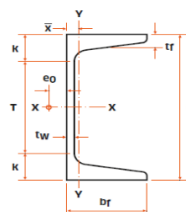
$$F = M \cdot g = (691 \text{ kg}) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) = \mathbf{6778.71 \text{ N}}$$

- ✓ Bomba

Masa = 659.5 Kg

$$F = M \cdot g = (659.5 \text{ kg}) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) = \mathbf{6469.69 \text{ N}}$$

Figura 3.18 Ficha técnica del perfil en canal.



Nombre de la fuente: (*canales-estructurales-deacero-ficha-tecnica.pdf*, s. f.)

Figura 3.19 Dimensiones del canal

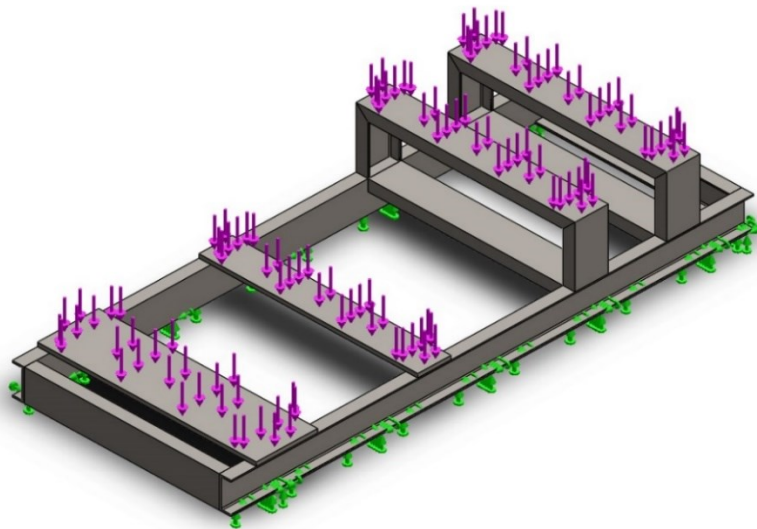
Sección Peralte x Peso Nominales (in. X lb/ft)	Peso (kg/m)	DIMENSIONES						PROPIE					
		Peralte d (mm)	Espesor del Alma t _w (mm)	Patin		k (mm)	T (mm)	Área A (cm ²)	e ₀ (cm)	Eje X-X			
				Ancho b _r (mm)	Espesor t _r (mm)					I (cm ⁴)	S (cm ³)	r (cm)	Z (cm ³)
C 3X3.5	5.21	76.2	3.35	34.8	6.93	17.5	41.3	6.65	1.25	65.3	17.0	3.05	20.3
C 3X4.1	6.10	76.2	4.32	35.8	6.93	17.5	41.3	7.81	1.17	68.7	18.0	2.97	21.6
C 4X4.5	6.70	102	3.17	40.2	7.52	19.0	63.5	8.52	1.49	152	30.0	4.14	34.7
C 4X5.4	8.04	102	4.67	40.2	7.52	19.0	63.5	10.26	1.27	160	31.5	3.96	37.5
C 6X8.2	12.2	152	5.08	48.8	8.71	20.6	111	15.48	1.52	545	71.3	5.94	84.6
C 6X10.5	15.6	152	7.98	51.7	8.71	20.6	111	19.94	1.23	629	82.6	5.64	101
C 6X13	19.3	152	11.1	54.8	8.71	20.6	111	24.71	0.97	720	94.7	5.41	119
C 8X11.5	17.1	203	5.59	57.4	9.91	23.8	156	21.81	1.77	1353	133	7.90	158

Nombre de la fuente: (*canales-estructurales-deacero-ficha-tecnica.pdf, s. f.*)

Se escoge las dimensiones del canal C6X13, para la realizar el diseño del skid en SolidWorks.

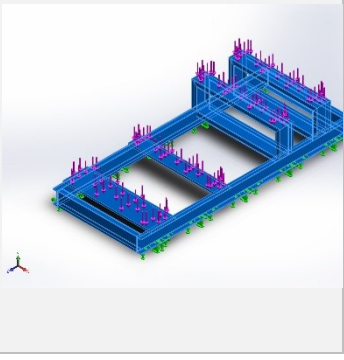
Se definen 5 puntos fijos a los dos lados de la superficie inferior, estos son los anclajes de la estructura a la cimentación. También se le proporciona al software los datos de la fuerza en cada zona que se ejercen sobre la estructura.

Figura 3.20 Cargas sobre el Skid.



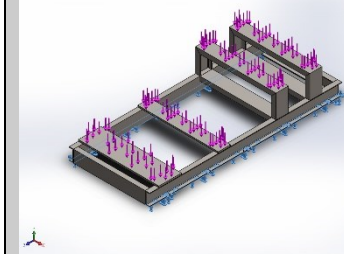
Nombre de la fuente: Autor

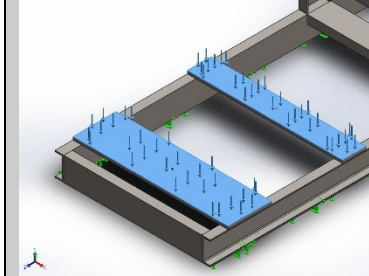
Tabla 3.7 Datos para análisis estático

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Acero	Sólido 1(Saliente-Extruir6[2])(Pieza2), Sólido 2(Saliente-Extruir4[2])(Pieza2), Sólido 3(Saliente-Extruir7[2])(Pieza2), Sólido 4(Barrer2)(Pieza2), Sólido 5(Saliente-Extruir1[2])(Pieza2), Sólido 6(Saliente-Extruir1[1])(Pieza2), Sólido 7(Saliente-Extruir6[1])(Pieza2), Sólido 8(Saliente-Extruir4[1])(Pieza2), Sólido 9(Saliente-Extruir7[1])(Pieza2), Sólido 10(Barrer1)(Pieza2)
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal	
	Criterio de error predeterminado: Desconocido	
	Límite elástico: 2.5e+008 N/m ²	
	Límite de tracción: 4e+008 N/m ²	
	Módulo elástico: 2e+011 N/m ²	
	Coefficiente de Poisson: 0.26	
	Densidad: 7850 kg/m ³	
	Módulo cortante: 7.93e+010 N/m ²	
	Datos de curva:N/A	

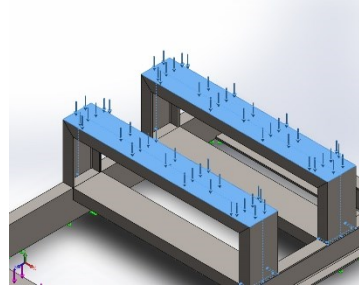
Nombre de la fuente: Autor

Tabla 3.8 Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades:	2 cara(s)		
		Tipo:	Geometría fija		
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-0.000829697	13248.4	0.000343323	13248.4	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		Entidades:	2 cara(s)
		Tipo:	Aplicar fuerza normal
		Valor:	6469.69 N

Fuerza-2



Entidades: 2 cara(s)
 Tipo: Aplicar fuerza normal
 Valor: 6778.71 N

Nombre de la fuente: Autor

Tabla 3.9 fuerzas resultantes, análisis estático

CONJUNTO DE SELECCIONES	UNIDADES	SUM X	SUM Y	SUM Z	RESULTANTE
TODO EL MODELO	N	-0.000829697	13248.4	0.000343323	13248.4

Nombre de la fuente: Autor

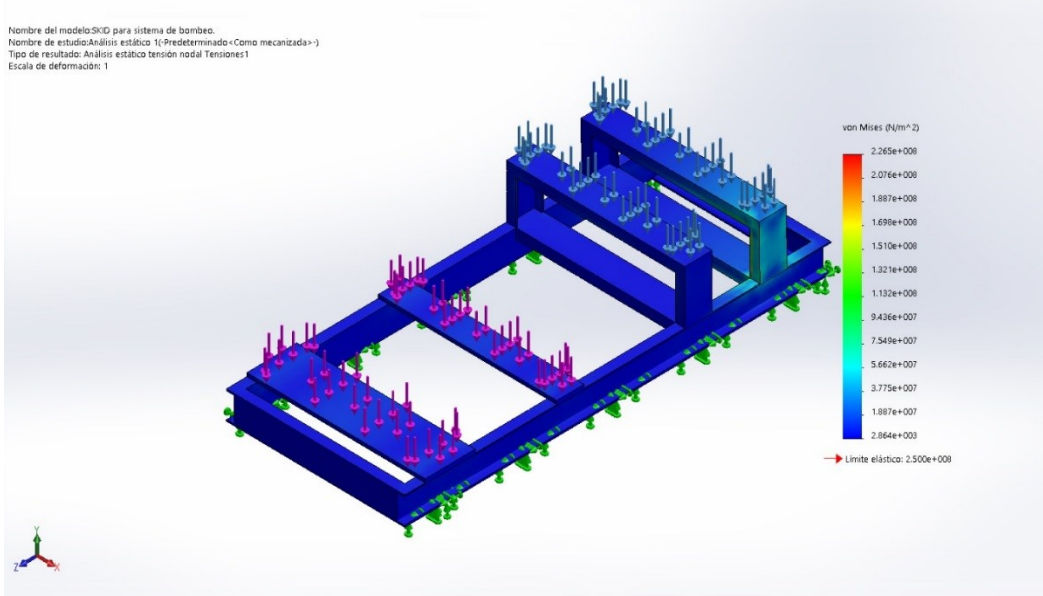
3.8.6 Resultado de estudio estático

En el resultado de estudio se observa que el límite de deformación máximo de la estructura no supera el límite elástico del material, por el cual es óptimo para ser usado en la instalación de los componentes hidromecánicos.

Tabla 3.10 Análisis de estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2864.45 N/m ² Nodo: 12314	2.2646e+008 N/m ² Nodo: 6071

Nombre del modelo: SKID para sistema de bombeo.
 Nombre de estudio: Análisis estático 1<-Predeterminado<Como mecanizada>->
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 1



SKID para sistema de bombeo.-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre de la fuente: Elaboración propia

3.8.7 Análisis dinámico del Skid

La estructura del skid también experimenta cargas dinámicas, debido a que está soportando máquinas de tipo rotativas. Estas pueden generar desplazamientos de la estructura en los ejes X, Y y Z. Además, allí se presente una fuerza de torque debido a las RPM a las que gira el eje del motor.

Estos sistemas cargados dinámicamente también experimentan cargas por vibración, las cuales tiene su origen en diferentes causas. Si los elementos que se utilizan en la estructura fueran infinitamente rígidos, no habría vibraciones en la estructura. Por el contrario los materiales tienden a tener cierta elasticidad por ende tiende a deformarse cuando se le aplica una fuerza.

Por ello este sistema se analizará desde el desarrollo de un estudio por elementos finitos desde el software SolidWorks siguiendo la teoría del movimiento armónico simple, el cual se compone de un sistema masa - resorte.

Se establecen los puntos de apoyo y las cargas fijas generadas por el peso de la bomba y el motor.

Carga sobre la estructura:

Motor

Masa = 691 Kg

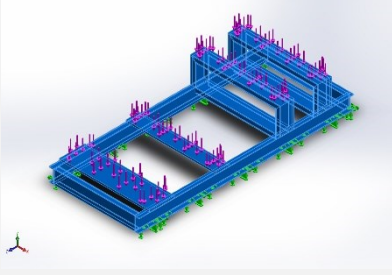
$$F = M \cdot g = (691 \text{ kg}) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) = \mathbf{6778.71 \text{ N}}$$

Bomba

Masa = 659.5 Kg

$$F = M \cdot g = (659.5 \text{ kg}) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) = \mathbf{6469.69 \text{ N}}$$

Tabla 3.11 datos para análisis dinámico

Referencia de modelo	Propiedades
	Nombre: ASTM A36 Acero
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal
	Criterio de error predeterminado: Desconocido
	Límite elástico: 2.5e+008 N/m ²
	Límite de tracción: 4e+008 N/m ²
	Módulo elástico: 2e+011 N/m ²
	Coefficiente de Poisson: 0.26
	Densidad: 7850 kg/m ³
	Módulo cortante: 7.93e+010 N/m ²

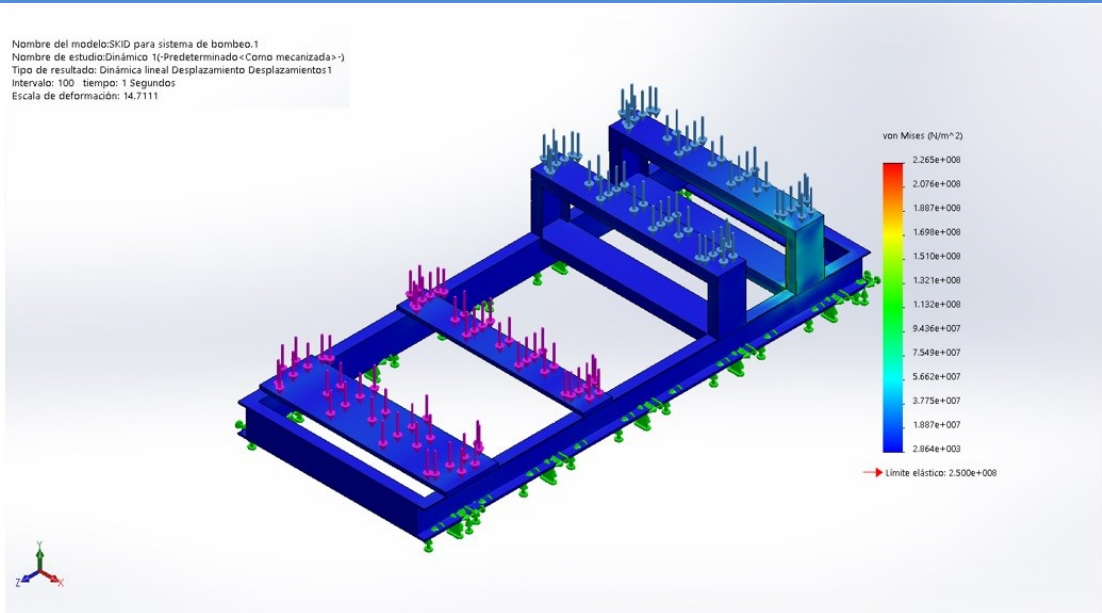
Datos de curva:N/A
 Nombre de la fuente: Autor

3.8.8 Resultado de estudio dinámico

Tabla 3.14 Resultado de estudio dinámico

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises en paso nº: 241	0.00186196 N/m ² Nodo: 1988	1.67947e+008 N/m ² Nodo: 13409

Nombre del modelo:SKID para sistema de bombeo.1
 Nombre de estudio:Dinámico 1(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
 Tipo de resultado: Dinámica lineal Desplazamiento Desplazamientos1
 Intervalo: 100 tiempo: 1 Segundos
 Escala de deformación: 14.7111



SKID para sistema de bombeo.1-Dinámico 1

Nombre de la fuente: autor

En este resultado de estudio se observa que el límite de tensión máximo de la estructura no supera el límite elástico del material, por lo que se concluye que soportara las cargas dinámicas que se le aplicarían.

$$Lim_{elastico} = 2,5 * 10^8$$

$$T_{max} = 1.679 * 10^8$$

3.8.9 Análisis de Resonancia y frecuencia natural de la estructura

Para efectos de que la estructura del skid no entre en resonancia, debido a que coincidan algunas de su frecuencia natural con la frecuencia a las que funcionan las maquinas rotatorias ya que estas generan una excitación de tipo oscilatoria sobre la estructura.

El fabricante del motor eléctrico WEG, establece evaluar los siguientes ítems:

- La frecuencia de giro del motor.
- El doble de la frecuencia del giro del motor.
- La frecuencia eléctrica del motor.

Menciona que de acuerdo con la norma DIN 4024-1. La frecuencia natural de la base de 1mer orden debe estar fuera del rango comprendido entre 0.8 y 1.25, las demás frecuencias naturales deben estar fuera de rango entre 0.9 y 1.1 veces cualquiera de las frecuencias potenciales de excitación.

Conversión de RPM del motor en frecuencia

Velocidad de giro del motor: 1780 RPM

$$\frac{Velocidad\ en\ RPM}{60} = Frecuencia\ Hz = \frac{1780\ RPM}{60} = 29.66\ Hz$$

Tabla 3.15 Frecuencias potenciales de excitación.

Frecuencia de giro del motor	29.66 Hz
El doble de la frecuencia del giro del motor.	59.33 Hz
La frecuencia eléctrica del motor.	60 Hz

Nombre de la fuente: (*WEG-w22-motor-trifasico-50044029-brochure-spanish-web.pdf*, s. f.)

El estudio por elementos finitos realizado a la estructura del skid en el software SolidWorks, realizo una simulación de 15 modos de vibración que se puedan presentar en la estructura, de acuerdo con las cargas dinámicas soportadas. Arroja una tabla con las frecuencias naturales de la estructura y las coordenadas en las que se presenta.

Tabla 3.16 Participación de masa

Modo nº.	Frecuencia(Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	104.74	1.9407e-008	0.09681	5.8909e-006
2	107.66	2.3304e-007	0.051668	1.7466e-009
3	120.21	0.25414	3.7754e-007	3.1685e-007
4	129.37	0.0061527	2.4569e-007	7.8702e-008
5	197.42	0.09517	1.7381e-008	3.4011e-008
6	209.43	4.2982e-006	0.04584	5.2902e-006
7	209.72	2.0428e-008	0.00027917	2.2421e-005
8	242	0.046501	2.3868e-008	1.442e-007
9	247.28	7.0273e-007	0.0041386	0.0029943
10	247.54	5.7865e-006	0.0001455	0.15627
11	248.8	1.1602e-007	0.10407	0.00029843
12	249.44	5.6301e-006	0.033821	0.0042357
13	255.91	3.1425e-007	0.0024453	0.018935
14	264.04	1.4011e-008	0.00058503	0.036967
15	273.58	2.6776e-006	9.7401e-006	0.0003629
		Sum X = 0.40199	Sum Y = 0.33982	Sum Z = 0.22009

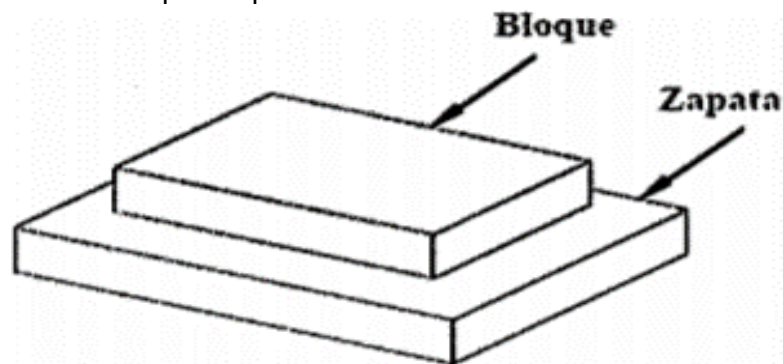
Nombre de la fuente: Autor

3.9 Cimentación, anclajes y grauting

La cimentación es la base de la estructura que soporta el conjunto bomba – motor, la cual debe adsorber vibraciones y proporcionar un soporte rígido a la estructura. La Norma ACI351.3R-04 "Foundations for Dynamic Equipment", establece tipos de cimentaciones para maquinarias. En el caso de la aplicación actual y con la configuración bomba centrífuga – motor eléctrico, el tipo de estructura más adecuado y recomendado por los fabricantes es la cimentación tipo bloque (Lee et al., s. f.).

La marca Hidrostal, fabricante reconocido de bombas recomienda una losa de concreto tipo bloque sin zapata de base 1-3-5 (cemento, arena y ripio), asegurándose de que el tratamiento del concreto debe cumplir con la norma Din 1045. El grosor de la placa dependerá de las necesidades de cada instalación y de la disposición del suelo, para vista a detallar ver plano N° 4 en Anexo F (*manual-bomba-centrifuga-2858.pdf*, s. f.).

Figura 3.21 Cimentación tipo bloque.



Nombre de la fuente: (Lee et al., s. f.)

3.9.1 Requisitos para la cimentación

La cimentación constituye el elemento intermedio que permite transmitir las cargas que soportan una estructura al suelo subyacente, de modo que no rebase la capacidad portante del suelo y que las deformaciones producidas en éste sean admisibles para la estructura.

Por tanto, para realizar una correcta cimentación habrá que tener en cuenta las características geotécnicas del suelo y además dimensionar el propio cimiento como elemento de hormigón, de modo que sea suficientemente resistente (CimentacionesCTE.pdf, s. f.).

Las dimensiones del bloque de concreto deben extenderse al menos 50 mm más allá de la estructura base de la bomba y 100 mm de los pernos de anclaje del skid.

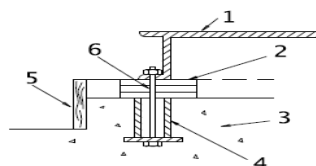
- El espesor de la cimentación no deberá ser inferior a 60 cm.
- El borde superior de la cimentación debe mantenerse a unos 30 cm del nivel natural del terreno o de la superficie en que se encuentre.
- La ubicación y el tamaño de los orificios para los pernos de cimentación deben coincidir con los que se muestran en el diagrama de montaje incluido con el paquete de datos de la bomba.
- El peso de la cimentación debe ser entre dos y tres veces el peso de la bomba.

3.9.2 Anclajes:

Los pernos de cimentación que se utilizan comúnmente para este tipo de montaje son los de tipo manguito.

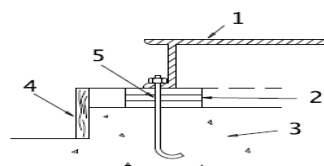
Figura 3.22 Pernos

Pernos de tipo manguito



1. Plancha de base
2. Separadores o cuñas
3. Cimentación
4. Manguito
5. Presa
6. Perno

Pernos de tipo J



1. Plancha de base
2. Separadores o cuñas
3. Cimentación
4. Presa
5. Perno

Nombre de la fuente: (*InstallationOperationMaintenance_3600_es_ES.pdf*, s. f.)

Tabla 3.17 Longitud de los pernos de anclaje**LONGITUD MINIMA DE ANCLAJE DE LOS PERNOS**

Pernos mm	Lo (cm) pernos fijos	Lo (cm) Pernos desmontables
<=20	40	40
22-30	50	40
32-36	60	50
40-50	70	50
55-60	80	60
65-70	80	70
75-80	80	80
85-90	80	90

Nombre de la fuente: (Contreras, s. f.)

Figura 3.23 Torque para perno rosca en pulgadas

Nominal Bolt Diameter (in.)	Number of Threads (per in.)	Torque (ft-lb)	Compression (lb)
1/2	13	30	3780
5/8	11	60	6600
3/4	10	100	9060
7/8	9	160	12,570
1.0	8	245	16,530
1 1/8	8	355	21,840
1 1/4	8	500	27,870
1 1/2	8	800	42,150
1 3/4	8	1500	59,400
2.0	8	2200	79,560
2 1/4	8	3180	102,690
2 1/2	8	4400	128,760
2 3/4	8	5920	157,770
3.0	8	7720	189,720

Nombre de la fuente: (Norma API 686 (Pernos de anclaje).pdf, s. f.)

3.9.3 Grouting

“El grout es un material fluido, autonivelante que se utiliza para rellenar completamente espacios estrechos, principalmente como relleno entre un anclaje y la perforación, y entre una placa base de una máquina o estructura y la fundación sobre la que se apoya”.

“Al endurecer, el grout debe ser capaz de transmitir uniformemente los esfuerzos de la máquina o estructura hacia la fundación, permitiendo el óptimo funcionamiento de todo el conjunto. Una vez en servicio, el grout experimenta tensiones estáticas y dinámicas, que pueden ser uniaxiales, biaxiales o triaxiales. Se llama grouting a la operación de aplicación del grout en su sitio”. (C, 2006)

Figura 3.24 Torque para pernos rosca en milímetros

Nominal of Bolt Diameter (mm)	Torque Newton-Meters	Compression (lb)
M12	31	1778
M16	110	3311
M24	363	7447
M30	1157	18,247
M52	3815	37,136

Nombre de la fuente: (*Norma API 686 (Pernos de anclaje).pdf, s. f.*)

Tipos de grout.

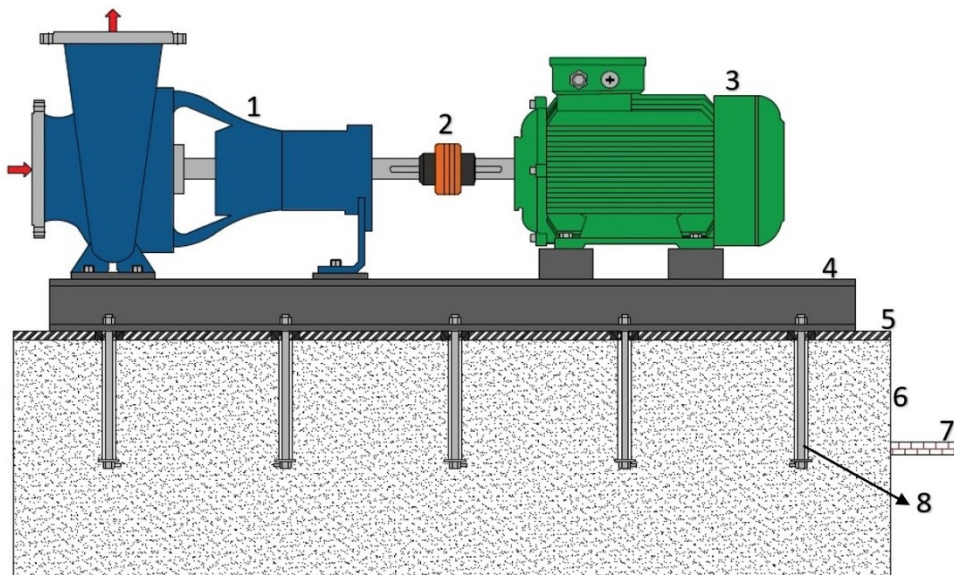
- Grout cementicios: Es una mezcla cementicia predosificada en seco compuesta de cementos especiales, áridos seleccionados y aditivos químicos. Su mínima retracción garantiza una expansión controlada y estable.
- Grout epóxicos: Los grouts epóxicos se presentan en tres componentes, dos líquidos y uno en polvo. Estos grouts epóxicos presentan cualidades adicionales respecto a los cementicios, ya que otorgan resistencias mecánicas mayores a muy corto plazo y una alta resistencia química.

La empresa fabricante de bombas llamada Hidrostral, expone en sus manuales algunas recomendaciones de instalación para la bomba centrífuga ISO 2858.

Teniendo en cuenta las normas existentes y las recomendaciones de los fabricantes para la instalación del equipo de bombeo, se establece:

- La cimentación debe ser como mínimo de 70cm de espesor y se debe tener en cuenta dejar los 30 cm por encima sobre el nivel del piso, de esta forma se tendrá más del 50% de la cimentación empotrada sobre el terreno.
- El tratamiento del concreto debe cumplir con la norma Din 1045
- Las dimensiones de la cimentación deben extenderse 100mm con respecto a la estructura del skid.
- Los anclajes deben ser de perno tipo manguito.
- Se pueden disponer los siguientes diámetros de pernos: 3/4" X 10 FPP, 7/8" X 9 FPP, M12, O M16. se debe tener en cuenta que la longitud mínima recomendada para estos diámetros es de 50 cm para la de 7/8" y de 40 cm para el resto.
- Debido a cuestión de costos y propiedades requeridas del grouting, se recomienda el uso del grout tipo cementicos (mortero). Este tipo de grout proporciona una resistencia a la compresión superior a los 180 kg/cm² y a un menor costo, ideal para actual aplicación. Algunas referencias de grouts son: Grout LANKO 701, FESTERGROUT NM600, SIKAGROUT – 200, entre otros.

Figura 3.25 instalación de grouting y disposición final de equipo



Nombre de la fuente: Autor

Tabla 3.18 Numeración de disposición final de equipo

Disposición del equipo de bombeo, cimentación, anclajes y grouting	
No.	Descripción
1	Bomba centrífuga - Hydromac modelo ETN 250/290E.
2	Acople omega estándar E40.
3	Motor eléctrico - WEG modelo W22 - 125 HP.
4	Skid - Base del equipo de bombeo.
5	Grouting - 1" de espesor.
6	Cimentación - mínimo 300 mm por fuera de la superficie del suelo, resto de la cimentación empotrada.
7	Superficie del suelo - subestación de bombeo.
8	Pernos de anclaje - tipo manguito con cuñas de nivelación a cada lado de los pernos.

Nombre de la fuente: Autor

3.10 Costos estimados para la implementación del proyecto

Recordemos que actualmente hay un sistema de bombeo que presenta fallas, pero algunos componentes coinciden con los seleccionados y calculados para el montaje, es el caso del transformador, motor eléctrico, filtro de succión y válvula de retención de 18", además de tener el montaje eléctrico completo que cumple con las condiciones necesarias para el nuevo montaje. A continuación, presentamos un cuadro de análisis de precio unitario que está sustentado en los anexos A, B, C, D y E

Tabla 3.19 Costos de la implementación del proyecto

Ítem	Cantidad	CONCEPTO	Precio unitario	Total
1	1	CIMENTACIÓN	\$ 1.557.115	\$ 1.557.115
2	1	ALINEACIÓN Y MONTAJE	\$ 5.110.000	\$ 5.110.000
3	1	FABRICACIÓN DEL SKID	\$ 1.300.000	\$ 1.300.000
4	1	FABRICACION Y MONTAJE DE LA TUBERÍA SIN BRIDAS	\$ 4.500.000	\$ 4.500.000
5	1	BOMBA CENTRIFRUGA	\$ 16.115.800	\$ 16.115.800
6	1	ACOPLE OMEGA ESTANDAR E40 (INCLUYE NUCLEOS EN ACERO + ELEMENTO NARANJA)	\$ 1.112.500	\$ 1.112.500
7	1	JUNTA EXPANSIÓN CAUCHO, 12" Y 18" TENSORES JEBA NPS	\$ 4.312.000	\$ 4.312.000

8	1	CODO 90 GR. 18" RADIO STD. SCH STD. ACERO SOLDAR	\$ 3.896.000	\$ 3.896.000
9	7	BRIDA WN. 18" X 150 RF SCH STD (40)	\$ 1.051.000	\$ 7.357.000
10	1	REDUCCION EXCENTRICA 18"X10" STD (40) con bridas	\$ 2.321.100	\$ 2.321.100
11	1	BRIDA WN. 10" X 150 RF SCH STD (40) ASTM A-105 IMPORTADA	\$ 360.000	\$ 360.000
12	1	AMPLIACIÓN CONCÉNTRICA 10"X12" SCH STD (40) SOLDAR con bridas	\$ 1.078.000	\$ 1.078.000
13	1	VALVULA RETENCIÓN 12" ANSI 150 RF ACERO BRIDA	\$ 11.235.658	\$ 11.235.658
14	1	VALVULA COMPUERTA 12" ANSI 150 RF ACERO BRIDA	\$ 6.200.000	\$ 6.200.000
15	1	CODO 90 GR. 12" RADIO STD. SCH STD. ACERO SOLDAR con bridas	\$ 1.636.000	\$ 1.636.000
16	4	BOLSA DE GROUT X 25 KG	\$ 232.000	\$ 928.000
17	10	PERNOS	\$ 15.000	\$ 150.000
18	1	CODO 45 GR. 12" STD (40) ACERO SOLDAR con bridas	\$ 1.580.000	\$ 1.580.000
19	1	REDUCCIÓN CONCENTRICA 12"X6" STD (40) SOLDAR con bridas	\$ 1.009.000	\$ 1.009.000
20	1	Válvula de pie serie 18900 Ø 12" brida PN 16	4.032.762	4.032.762
21	1	Brida Ø 12" PN 16	617.259	617.259
22	1	Pre-filtro autolimpiante serie 18112 normal 2.500 micras (8 mesh) brida PN 16 Ø 12"	9.258.894	9.258.894
23	1	Ampliación concéntrica 12"X18" SCH STD (40) SOLDAR	1.140.000	1.140.000
24	1	Diseño e ingeniería	\$ 7.000.000	\$ 7.000.000
Subtotal			\$ 93.807.178	
Algunos componentes son facturados con IVA del 19%				
TOTAL			\$ 110.072.479	

Nombre de la fuente: Autor

Conclusiones

Una vez finalizado el proyecto podemos dar respuesta a nuestros objetivos específicos, y dar solución a la problemática optimizando recurso energético, recordemos que el sistema de bombeo actual entrega un caudal de 12.405 m³/día “2.728.800 de galones diarios”. Presentando un total de pérdidas mecánicas en todo el sistema de 10,33 metros. con el diseño se logró reducir estas pérdidas un 41,77% con un total de pérdidas de 6,019 metros. Además, el sistema diseñado puede bombear en 11 horas lo que bombea el sistema actual en 24 horas.

En cuanto al conjunto motor-bomba. Se pudo establecer por el diseño que el motor eléctrico posee una eficiencia del 94,16%. Resultado de dividir la potencia activa de entrada y la potencia nominal de salida. La bomba, según su curva característica es capaz de transmitir al fluido un 80% de esa potencia recibida por el motor.

Por otra parte, el sistema de bombeo actual ha presentado consumos de hasta 40.000 kWh/mes. Considerando que se reducen las horas de bombeo para alcanzar el caudal requerido y que las frecuencias de bombeo dependerán de que todos los lagos estén en producción. Se pudo establecer una reducción de horas de bombeo en aproximadamente 9 horas por frecuencia de bombeo esto se traduce en un ahorro aproximado de 20.000 kWh/mes de energía y en dinero esto represente un valor de \$ 10'000.000 de ahorro mensual en el costo de la energía, si comparamos el costo de la implementación del proyecto “ \$ 110.072.479” con el ahorro mensual, tendremos un retorno de inversión aproximadamente de 12 meses y una vida útil estimada de 25 años con su respectivo mantenimiento preventivo.

Recomendaciones

Para la implementación del sistema de bombeo se recomienda realizar la alineación y montaje por personal capacitado, si bien no es de estricto cumplimiento hacerlo con las personas que se cotizó para el servicio, se debe asegurar que sea hecho por personal idóneo con equipos para tal fin, también debemos disponer de la totalidad de los equipos seleccionados ya que estos trabajan en conjunto para un óptimo funcionamiento.

Aunque el sistema eléctrico actual está en funcionamiento, se recomienda el aval de un técnico electricista que certifique la idoneidad de ellos en el sistema.

Se recomienda mejorar el acceso hacia los equipos para comodidad en la instalación y en mantenimientos periódicos. También, el fabricante del pre-filtro autolimpiante serie 18112 establece una verificación periódica de la malla y del funcionamiento del sistema de autolimpieza. Si bien no hay un tiempo establecido para hacer esta actividad, recomendamos realizar esta verificación del estado de la malla en acero inoxidable normal 2.500 micras (8 mesh) por lo menos 1 vez cada 15 días y de ser necesario sustituir la misma.

A Anexo: Fabricación de placa en concreto para bomba

Neiva, 30 de Abril de 2020

Ingeniero
0213


CT-

OSCAR GARCIA

Jefe de Mantenimiento
Contegral S.A.S. Planta
Neiva Ciudad

ASUNTO: FABRICACION DE PLACA EN CONCRETO PARA BOMBA.

De acuerdo con su solicitud me permito adjuntar la siguiente cotización:

PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS E INGENIERÍA S.A.S.				 PROARQ-ING S.A.S.	
NIT 900.753.247-8					
PRESENTADO A: Contegral S.A.S. Planta Neiva					
Ing. Oscar garcia, Ing. Angie Julieth Peralta					
Fecha: 30-4-2020					
ACTIVIDA D					
fabrica de placa cemento para bomba					
fabrica de placa cemento para bomba					
ITE M	DESCRIPCIÓN	CANTIDA D	UNIDA D	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	varilla de 1/2	5	UND	\$ 26.000,00	\$ 130.000
2	bulto cemento	8	UND	\$ 33.000,00	\$ 264.000
3	bolsa arena gruesa	28	UND	\$ 4.000,00	\$ 112.000
4	bolsa de gravilla 1/2	28	UND	\$ 5.000,00	\$ 18.000
5	tabla 3x0,30x2cm	4	UND	\$ 35.000,00	\$ 140.000
6	puntilla de 2 1/2" comun	1	LB	\$ 8.500,00	\$ 8.500
7	alambre	1	KG	\$ 6.000,00	\$ 6.000

8	mano de obra	1	GLO	\$ 630.000,00	\$ 630.000
COSTOS DIRECTOS					\$ 1.308.500
IVA				19%	\$ 248.615
TOTAL					\$ 1.557.115

❖ **EL VALOR DEL COSTO DIRECTO EN REFERENCIA NO INCLUYE IVA**

VALOR EN LETRAS: UN MILLON TRECIENTOS OCHO MIL QUINIENTOS PESOS M/CTE.

TIEMPO DE ENTREGA: tres (3) días

FORMA DE PAGO: Crédito a 30 días.

CONDICIONES DEL SERVICIO

1. El costo del servicio incluye la mano de obra, herramientas y demás elementos de consumo y protección personal, considerando el trabajo en jornada diurna.
2. PROARQ-ING S.A.S. no se hará responsable por daños a terceros y/o lucro cesante durante el desarrollo de las actividades del servicio.
3. Para el inicio de los trabajos se requiere la autorización por parte del Cliente mediante la emisión de la Orden de compra o servicio.

VALIDEZ OFERTA: 15 días a partir de la fecha de presentación de esta

oferta. Estaremos atentos a cualquier inquietud.

Cordialmente,

Juan José Galarza

PROARQ-ING S.A.S.

B Anexo: Alineación y montaje

ATENCIÓN: Oscar García
TELEFONO: ---
CELULAR: 3209625769
E-MAIL: oscar.garcia@contegral.co

UBICACIÓN CLIENTE: Neiva
FORMA DE PAGO: Contado
VALIDEZ OFERTA: 15 días
RESPONSABLE: Carolina Duque

PROPUESTA ECONOMICA

En lo posible realizar este servicio en la misma visita del predictivo para disminuir los costos por tiquetes y viáticos

PROPUESTA TECNICA

ALINEACIÓN O CHEQUEO LASER A EJES COLINEALES, ACOPLEROS, POLEAS Y ENGRANES

OBJETIVOS Y BENEFICIOS: Dar colinealidad a los ejes de una máquina para conseguir una buena transmisión de potencia que aumente la vida útil de elementos (sellos mecánicos, rodamientos, ejes, carcazas, etc.) y reduzca la tensión en acoples, ruido, vibraciones y fricción, aumentando la disponibilidad de máquina y disminuyendo el consumo de energía.

EL INFORME INCLUYE: Diagrama esquemático del equipo a intervenir, estado final de alineamiento, comentarios y recomendaciones (pata coja, movilidad horizontal, vertical, etc.).

EQUIPOS UTILIZADOS: se emplearán equipos de tecnología Alemana y Americana de alta generación, los cuales permiten obtener información confiable, de forma rápida y segura.

CERTIFICACIONES: Contamos con ingenieros de gran experiencia, altamente calificados y certificados a nivel internacional en vibraciones según la norma ISO 18436-2 y ASNT (American Society for Nondestructive Testing), por el Vibration Institute y por Technical Associates of Charlotte.

DESCRIPCION	VALOR	OBSERVACIONES
Correctivos para máximo dos días continuos de disponibilidad en planta (máximo 16 horas). Día adicional de disponibilidad \$1.855.000. Hora adicional en el mismo día \$265.000.	\$ 3.710.000	Alineación o chequeo de alineación de Molino (motor y bomba).
Tiquetes y viáticos de un ingeniero para dos días, si es por viaje aéreo. Día adicional de viáticos \$265.000. Si no se puede viajar por avión se hará recargo por el tiempo de transporte por tierra.	\$ 1.400.000	En lo posible realizar este servicio en la misma visita del predictivo para disminuir los costos por tiquetes y viáticos.
Total servicio.	\$ 5.110.000	

Las tarifas propuestas solo se cumplen para las condiciones indicadas en la tabla y en esta cotización.

Los precios NO incluyen IVA

C Anexo: Fabricación del Skid



REPARACIONES Y MANTENIMIENTOS
INDUSTRIALES ARISTI S.A.S

NEIVA, 05 de Mayo del 2020

SEÑORES: FREDY OLAYA IDARRAGA

COTIZACION N°: 079

DIRECCION: Neiva (Huila)

TEL: 3158386944

CANT	ARTICULO	V/R UNITARIO	V/R TOTAL
	Fabricación de SKID PARA SISTEMA DE BOMBEO, Fabricado en canal U de 6" según plano.		\$1.300.000
			MAS IVA DEL 19%
FIRMA Y SELLO DEL CLIENTE		MAURICIO A. ARISTIZABAL SILVA	
		GERENTE	

D Anexo: Montaje de tubería



REPARACIONES Y MANTENIMIENTOS
INDUSTRIALES ARISTI S.A.S

NEIVA, 05 de Mayo del 2020

SEÑORES: FREDY OLAYA IDARRAGA

COTIZACION N°: 080

DIRECCION: Neiva (Huila)

TEL: 3158386944

CAN	ARTICULO	V/R UNITARIO	V/R TOTAL
T	MONTAJE SISTEMA DE RIEGO, en tubo de 18" y 12". Parte soldada y parte bridada.		\$4.500,000
			MAS 19%DE IVA
FIRMA Y SELLO DEL CLIENTE		MAURICIO A. ARISTIZABAL SILVA	
		GERENTE	

E Anexo: Accesorios del sistema



FERREASESORES INDUSTRIALES

NIT: 813003711-1
 DIR: CALLE 49 #6-29 OFICINA 301-C
 TEL: (8) 8766319-(8) 8769833-3153233977
 NEIVA - HUILA

COTIZACIÓN

FECHA: 8 DE MAYO DE 2020

RETECREE : 0,3%

RETEICA: 0,5%

ACTIVIDAD ECONÓMICA: 4752

REGIMEN COMÚN

NÚMERO DE ORDEN

2.285

CON GUSTO, ESTAMOS COTIZANDO EL SIGUIENTE MATERIAL.

Señores:

CONTEGRAL S.A

Atención:

ING SEBASTIAN DELGADO

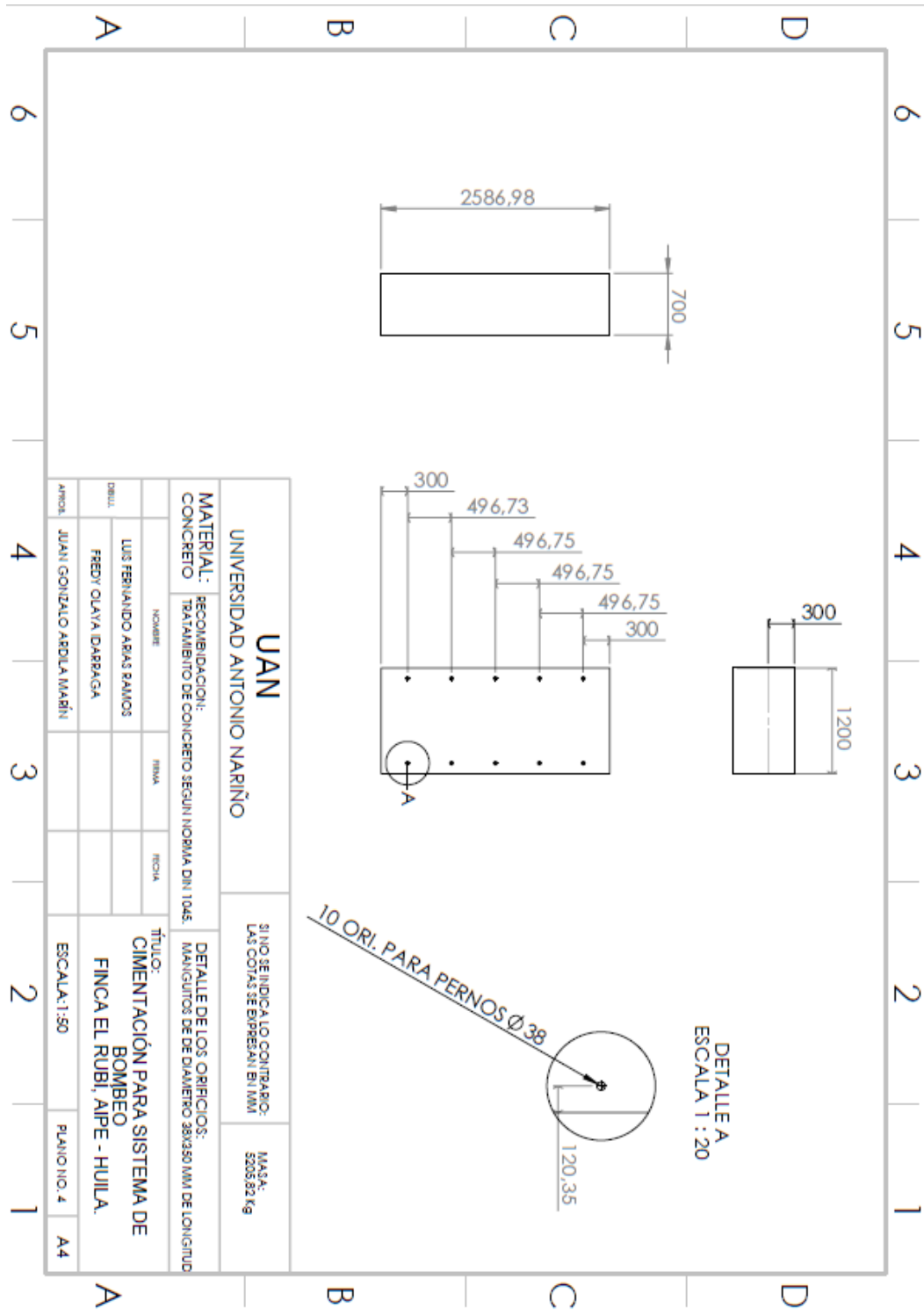
Ciudad:

RIVERA-HUILA

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN DE LA MERCANCÍA	PRECIO UNITARIO	TOTAL
	12	MTS. TUBERÍA ACERO CARBÓN. ASTM A-53, PARA SOLDAR	-	\$ -
		IMPORTADA. EXTREMOS BISELADOS. SCH STD (40) 18"	-	\$ -
	1	CODO 90 GR. 18" RADIO STD. SCH STD. ACERO SOLDAR CON 2 BRIDAS DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 18"	3.896.000	\$ 3.896.000
	7	BRIDA WN. 18" X 150 RF SCH STD (40)	1.051.000	\$ 7.357.000
	1	REDUCCION CONCENTRICA 18"X10" STD (40) CON 1 BRIDA DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 18" CON 1 BRIDA DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 10"	2.321.100	\$ 2.321.100
	1	BRIDA WN. 10" X 150 RF SCH STD (40) ASTM A-105 IMPORTADA	360.000	\$ 360.000
	1	AMPLIACIÓN CONCÉNTRICA 10"X12" SCH STD (40) SOLDAR CON 1 BRIDA DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 12"	1.078.000	\$ 1.078.000

		CON 1 BRIDA DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 10"		
	1	VALVULA RETENCIÓN 12" ANSI 150 RF ACERO BRIDA	11.235.658	\$ 11.235.658
	1	VALVULA COMPUERTA 12" ANSI 150 RF ACERO BRIDA	6.200.000	\$ 6.200.000
	1	CODO 90 GR. 12" RADIO STD. SCH STD. ACERO SOLDAR		
		CON 2 BRIDAS DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 12"	-	\$ -
	6	BRIDA WN. 12" X 150 RF ACERO SOLDAR. IMPORTADA	-	\$ -
	18	MTS. TUBERÍA ACERO CARBÓN. ASTM A-53, PARA SOLDAR		
		IMPORTADA. EXTREMOS BISELADOS. SCH STD (40) 12"	-	\$ -
	1	CODO 90 GR. 12" RADIO STD. SCH STD. ACERO SOLDAR		
		CON 2 BRIDAS DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 12"	1.636.000	\$ 1.636.000
	1	CODO 45 GR. 12" STD (40) ACERO SOLDAR		
		CON 2 BRIDAS DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 12"	1.580.000	\$ 1.580.000
	1	REDUCCIÓN CONCENTRICA 12"X6" STD (40) SOLDAR		
		CON 1 BRIDA DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 12"	1.009.000	\$ 1.009.000
		CON 1 BRIDA DE CUELLO SCH STD (40) RF X 150 DE 6"		
	6	MTS. TUBERÍA ACERO CARBÓN. ASTM A-53, SOLDAR DE 6" STD (40)	-	\$ -
	1	JUNTA EXPANSIÓN CAUCHO, 12" Y 18" TENSORES JEBA NPS	4.312.000	\$ 4.312.000
	1	BOMBA CENTRIFUGA HIDROMAC MODELO ETN250/290E 100HP	16.115.800	\$ 16.115.800
	4	BOLSA DE GROUT X 25KG	232.000	\$ 928.000
	10	PERNOS	15.000	\$ 150.000
	1	ACOPLE OMEGA ESTANDAR E40 (INCLUYE NUCLEOS EN ACERO)	1.112.500	\$ 1.112.500
			SUBTOTAL	\$ 59.291.058
FORMA DE PAGO: 30 DIAS			IVA 19%	\$ 11.265.301
ENTREGA: ENTREGA: 8 DÍAS HÁBILES			TOTAL	\$ 70.556.359

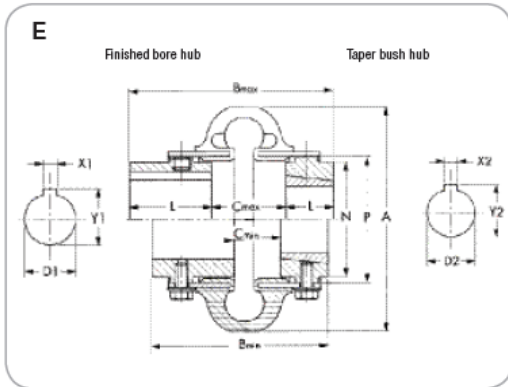
F Anexo: Plano N° 4



G Anexo: Ficha técnica acople omega línea E

Rexnord Omega® E

Features	Benefits
▶ Split in half element	▶ Ease of installation
▶ Torsionally soft	▶ Visual inspection
▶ Interchangeable hubs	▶ Excellent vibration damping
	▶ Low inventory requirements



Torque Demands Driven Machine	Typical Application for Electric Motor or Turbine Driven Equipment	Typical Service Factor
	Constant torque such as centrifugal pumps, blowers and compressors	1.0
	Continuous duty with some torque variations including plastic extruders and forced draft fans	1.5
	Light shock loads from metal extruders, cooling towers and log haulers	2.0
	Moderate shock loading as expected from a car dumper, stone crusher, vibrating screen	2.5
	Heavy shock load with some negative torques from reciprocating pumps, compressors, reversing turn-out tables	3.0
	Frequent torque reversals such as reciprocating compressors with frequent torque reversals which do not necessarily include reverse rotations	Consult Rexnord Engineering

Size	Tnom Nm	n-max n-min	D1 max mm	Taper bush mm	D2 max mm	A	B1min FRB	B1max FRB	B2min HTL	B2max HTL	C1min FRB	C1max FRB	C2min HTL	C2max HTL	L FRB	L HTL	N FRB	N HTL	P	J kgm	m kg
E2	22	7 500	28	-	-	89	84	94	-	-	36	46	-	-	24	-	38	-	47	0,00032	0,5
E3	41	7 500	34	1008	25	102	84	122	87	87	8	46	43	43	38	22	50	50	59	0,00032	1,0
E4	62	7 500	42	1008	25	116	84	122	87	87	8	46	43	43	38	22	57	57	66	0,0012	1,3
E5	105	7 500	48	1210	32	137	97	147	103	103	8	59	52	52	44	25	70	71	80	0,0032	2,3
E10	164	7 500	55	1610	42	162	97	147	103	103	8	59	52	52	44	25	84	84	93	0,0064	3,4
E20	260	6 600	60	1610	42	184	113	169	114	114	9	65	64	64	52	25	95	89	114	0,016	6,8
E30	412	5 800	75	2012	50	210	125	185	128	128	7	68	64	64	59	32	114	102	138	0,034	10
E40	622	5 000	85	2517	65	241	135	201	150	150	9	75	60	60	63	45	146	117	168	0,08	17
E50	864	4 200	90	2517	65	279	151	231	165	165	11	91	76	76	70	45	152	124	207	0,158	24
E60	1 412	3 800	105	3020	75	318	173	261	186	186	9	97	84	84	82	51	165	146	222	0,266	34
E70	2 490	3 600	120	3535	90	356	189	279	238	238	19	109	60	60	85	89	175	165	235	0,366	39
E80	4 460	2 000	155	4040	100	406	245	377	299	299	17	149	95	95	114	102	240	194	286	1,054	77
E100	9 600	1 900	171	4545	110	533	324	375	267	267	44	95	38	38	140	114	260	260	359	2,19	95
E120	19 200	1 800	190	5050	125	635	362	429	305	305	57	127	51	51	152	127	299	299	448	2,93	163
E140	38 400	1 500	229	7060	177	762	432	483	381	381	76	127	76	76	178	152	381	381	530	4	280

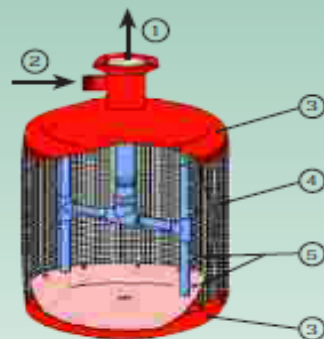
*Weight and inertia with maximum bore and key way • Dimension C(1) finished bore hubs - C(2) with Taper Bush hubs

H Anexo: Ficha técnica de pre-filtro autolimpiante serie 18100

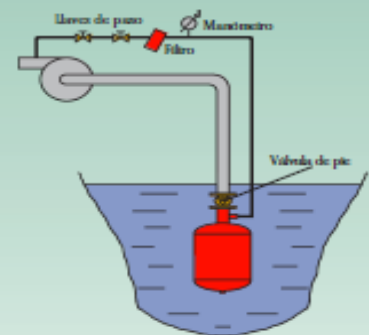
Cuadro de rendimientos

Modelos	Ø	Caudal máximo bomba m ³ /h aproximado	
		Normal 2.500 micras (8 mesh)	Opcional 1.200 micras (18 mesh)
18104	4"	100	80
18106	6"	230	180
18108	8"	380	300
18110	10"	550	420
18112	12"	750	600
18114	14"	1.000	800
18116	16"	1.200	1.000

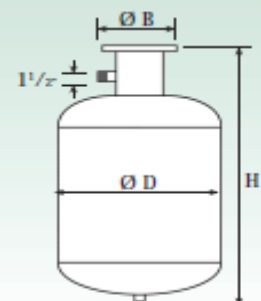
Descripción, instalación y dimensiones del pre-filtro autolimpiante



- 1 - Aspiración bomba.
- 2 - Toma de agua de contralavado.
- 3 - Cuerpo robusto de dos componentes, protegido contra la corrosión.
- 4 - Malla de acero inoxidable.
- 5 - Boquillas de lavado.



Modelos	H mm	Ø D mm	Ø B mm	Ø B "	Peso Kg
18104	650	390	100	4"	24
18106	770	480	150	6"	35
18108	970	480	200	8"	40
18110	1.040	610	250	10"	53
18112	1.240	610	300	12"	62
18114	1.340	900	350	14"	71
18116	1.340	900	400	16"	81



BIBLIOGRAFÍA

2. *POWER PIPING ASME B31.1.pdf*. (s. f.).

2013 NOV - Seleccion de Transformadores para Motores Electricos.pdf. (s. f.).

ABB Group—Leading digital technologies for industry. (s. f.). Recuperado 22 de mayo de 2020, de <https://new.abb.com>

Andrés, S. O. I., & Roberto, S. C. (s. f.). *INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA PARA ACUICULTURA. Un aporte en la compilación y adaptación del conocimiento ingenieril a la Acuicultura*. 52.

Bombas de agua centrifuga, Centrifugal Pump, Fabrica de Bombas Bombas Malmedi C.A. (s. f.). Recuperado 25 de abril de 2020, de http://bombasmalmedi.com/p159/ETA/-ETN/product_info.html

C, F. A. (2006, mayo 21). Ingeniería y Construcción: Grouting:Tipos,Caracteristicas y Requisitos para su Colocacion. *Ingeniería y Construcción*. <https://facingyconst.blogspot.com/2006/05/groutingtiposcaracteristicas-y.html>

Canales Estructurales. (s. f.). Deacero. Recuperado 26 de abril de 2020, de <https://www.deacero.com/canales-estructurales>

Canales-estructurales-deacero-ficha-tecnica.pdf. (s. f.).

Catalogo-juntas-de-caucho.pdf. (s. f.).

CimentacionesCTE.pdf. (s. f.).

Contreras, J. C. S. (s. f.). *SANGOLQUÍ, ENERO DE 2013*. 184.

DIN 1626 Grade St 37.0 normalized or normalized formed (+N)—Low Carbon Steel—Matmatch. (s. f.). Recuperado 24 de abril de 2020, de <https://matmatch.com/materials/minfm29468-din-1626-grade-st-37-0-normalized-or-normalized-formed-n->

FICHAS_DE_BOMBAS_MALMEDI.pdf. (s. f.).

InstallationOperationMaintenance_3600_es_ES.pdf. (s. f.).

Lee, J. P., Golod, Y. S., Bounds, W. L., Brant, W. D., Fang, S., Harsh, S., Hughes, C. S., Larson, E., Louis, F. G., Moll, J., Pearce, I. W., Rossi, A., Rowan, R. L., Rushing, W. E., Sheikh, A. H., Smalley, A. J., Smith, P. A., Sutton, W. T., & Wiley, F. A. (s. f.). *Foundations for Dynamic Equipment*. 26.

Manual-bomba-centrifuga-2858.pdf. (s. f.).

Mecanica-de-fluidos-robert-mott-6ta-edicion.pdf. (s. f.).

Norma API 686 (Pernos de anclaje).pdf. (s. f.).

Norton, R. L. (2011). *Diseño de máquinas un enfoque integrado*. Pearson.

Odis 18100.pdf. (s. f.).

Omega-Elastomeric-Couplings_Catalog.pdf. (s. f.).

Res972—CONCESION DE CAUDAL.PDF. (s. f.).

Robert mott. (s. f.). *Mecánica de fluidos: Vol. 6ta Edición* (Capítulo 11 - pag 344).

Tabla de Dimensiones de Tubos de Acero (Medidas para Tubos Cedula 40, 80). (2018, septiembre 6). *OctalAcero*. <https://www.octalacero.com/dimensiones-de-tubos-cedula-40-80>

Tubo de acero al carbono A106, Tubo sin soldadura ASTM A106 Grado B, A106 Gr. C Tubería. (s. f.). Recuperado 24 de abril de 2020, de <https://www.tubos-acero-aleacion.com/astm-a106-gr-b-c-tuberia-tubos-de-acero-al-carbono.html>

WEG-w22-motor-trifasico-50044029-brochure-spanish-web.pdf. (s. f.).