



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA**



**REDISEÑO DE BANCO DE PRUEBAS DE BOMBAS HIDRÁULICAS EN  
ASMAR TALCAHUANO**

POR

**Guillermo Hernán Jerez Muñoz**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para  
Optar al Título Profesional de Ingeniero Civil Mecánico

Profesores Guías:  
**Cristián Alberto Cuevas Barraza.**  
**Cristián Javier Vicuña Molina.**

Marzo 2024  
Concepción (Chile)

© 2024 Guillermo Hernán Jerez Muñoz

El presente informe está sujeto a acuerdos de confidencialidad por lo que su contenido total o parcial no debe ser copiado, reproducido o divulgado a otras partes o terceros, y/o usado para otros propósitos sin el y expreso permiso escrito de ASMAR (T).

## **AGRADECIMIENTOS**

Los desafíos para un ingeniero, al igual que los desafíos personales, se presentarán constantemente en el ejercicio de la profesión y en nuestra vida diaria como obstáculos a superar los cuales nos ayudan a formarnos y crecer, y ante esto también, es que existen personas a quienes agradecer su apoyo, y en especial para la culminación de mis estudios con el desarrollo de este proyecto quiero partir expresando mis más sinceros agradecimientos a mi familia, quienes son mi pilar y apoyo fundamental, que ante mis fracasos iniciales se mantuvieron firmes en mis deseos de continuar mis estudios. Para quienes siempre estuvieron y espero estar, mi madre Sandra del Carmen Muñoz Vergara, mi padre Guillermo Hernán Jerez Rodríguez, mi hermana Claudia Andrea Jerez Muñoz, mi abuelita Griselda Vergara Vallejos, y demás integrantes de mi familia, tías, primos, etc. con quienes, al reunirnos y compartir cada momento, me hace feliz.

Por la oportunidad para desarrollar mi última etapa universitaria en ASMAR Talcahuano quisiera agradecer al Capitán de Corbeta Nicolás Sepúlveda Morales, una de las personas más inteligentes que he conocido y admiro, quien me dio la confianza para postular al puesto de Ingeniero de Diseño del Departamento de Ingeniería Naval, al cual pude optar con mi título previo de Ingeniero de Ejecución Mecánica. Quien conocí cuando me desempeñé como mecánico de maquinaria naval en el Taller 38, dándome su apoyo y dejando las puertas abiertas cuando tuve que renunciar para continuar mis estudios. Tal confianza que era mayor a la que yo podía sentir hasta ese entonces, se lo agradezco infinitamente.

A mi actual jefe de especialidad mecánica Sr. Carlos González Osorio y colega Ingeniero de Diseño Sr. Fidel Santelices Laucirica, por su orientación, apoyo y valiosos consejos a lo largo de este proceso. Profesionales dedicados y altamente competentes, positivos y enérgicos, que disfrutaban de la mecánica y de esta profesión igual que yo, formando así un gran equipo.

Igualmente agradezco a mis compañeros de la especialidad por el grato ambiente laboral y a cada integrante del Departamento de Ingeniería Naval, de quienes he aprendido y espero ser un aporte positivo. Así mismo, agradezco a mis antiguos colegas del Taller 38, a quienes espero cooperar con el desarrollo de mi Proyecto de Ingeniería y Memoria de Título.

A mi amigo y compañero Miguel Ángel Urzúa Venegas, con quien dimos el salto a la continuidad de estudios, por el apoyo y cada desafío que enfrentamos juntos. Y a cada compañero de la Facultad con quien pude trabajar, aprender y compartir.

A mis profesores Sr. Cristián Cuevas Barraza y Sr. Cristián Vicuña Molina, quienes me guiaron en esta memoria para entregar el resultado esperado, y a cada profesor que tuve en este proceso de estudio, contribuyendo con sus conocimientos, experiencias y consejos para enriquecer este trabajo.

Por último, quiero agradecer a mi mismo por la energía puesta en esta etapa, para nunca olvidar mis capacidades, seguir adelante con esfuerzo, no rendirme y lograr mis objetivos.

***GRACIAS TOTALES***

## Resumen

Esta memoria de título presenta un proyecto de rediseño de un banco de pruebas de bombas hidráulicas del Taller 38 de Maquinaria Naval en ASMAR Talcahuano. La memoria adopta una metodología de diseño sistemática, guiada por los principios establecidos por Pahl y Beitz, con el propósito de optimizar el banco, mejorar su eficiencia operativa y aumentar la versatilidad del sistema, cumpliendo con normativas específicas y considerando las necesidades de los usuarios.

El proceso sigue una estructura que comienza con un análisis detallado de las condiciones de diseño, la formulación de objetivos y el listado de requisitos. La fase de ingeniería conceptual es central, explorando diversas soluciones para abordar los desafíos identificados con respecto a la estructura de funciones que posee el banco. La evaluación de estas soluciones se realiza de manera cualitativa, técnica y económicamente, principalmente siguiendo la metodología del análisis costos-beneficios, proporcionando una guía integral de toma de decisiones, generando un árbol de objetivos del sistema los cuales son ponderados para su correlación y evaluación con las soluciones en desarrollo.

Posterior a la ingeniería conceptual, donde se selecciona la solución principal, se expone la ingeniería básica y de detalle, donde se definen aspectos específicos del diseño, como las líneas de succión, el montaje de bombas y las líneas de descarga, entre otros aspectos generales del sistema, prestando especial atención a su validación detallada y la elaboración final de planos de ejecución. Se reconoce la importancia de considerar tanto los aspectos técnicos como los económicos, manteniendo un equilibrio entre las restricciones esenciales, necesidades y deseos de los usuarios.

Como parte de los resultados obtenidos, se proponen diversas soluciones para mejorar el banco de pruebas, las cuales se someten a evaluación para determinar y dar enfoque a la solución de mayor ponderación ante las necesidades expuestas. Esta solución final incluye la optimización del diseño del circuito hidráulico mediante la reubicación estratégica de líneas de succión y descarga, la propuesta de actualización de los sistemas de control y monitoreo junto con la integración de sistemas de seguridad, la mejora de la versatilidad y aumento de los rangos de trabajo para las pruebas.

En conclusión, se logra rediseñar un banco de pruebas que optimiza los circuitos, minimizando pérdidas de carga, y junto a esto, se aumentan las capacidades de trabajo, lo que es evidente al caracterizar las curvas de resistencia del sistema. Además, se logra entregar los planos para su revisión y posterior ejecución. Se destaca el éxito de la metodología sistemática, en cuanto a su capacidad para abordar proyectos multidisciplinarios de manera efectiva y flexible. Se reconoce que, aunque la evaluación se realiza principalmente cualitativa, técnica y económicamente de forma individual y en parte, de forma subjetiva, existe un reconocimiento de la necesidad de evaluaciones integrales realizadas por un equipo multidisciplinario de diseño. En última instancia, el proyecto no solo apunta a mejorar la operación de este servicio ofrecido por ASMAR (T), sino que también se presenta como un modelo de desarrollo para futuros desafíos con respecto a diseño.

## Abstract

This thesis presents a redesign project for a hydraulic pump test bench at Workshop 38 of Naval Machinery in ASMAR Talcahuano. The thesis adopts a systematic design methodology, guided by the principles established by Pahl and Beitz, with the purpose of optimizing the bench, improving its operational efficiency, and increasing the system's versatility, while complying with specific regulations and considering user needs.

The process follows a structure that begins with a detailed analysis of the design conditions, formulation of objectives, and listing of requirements. The conceptual engineering phase is central, exploring various solutions to address the identified challenges regarding the functional structure of the bench. The evaluation of these solutions is carried out qualitatively, technically, and economically, primarily following the cost-benefit analysis methodology, providing a comprehensive guide for decision-making, generating a system goal tree that is weighted for correlation and evaluation with the solutions under development.

Following the conceptual engineering phase, where the main solution is selected, basic and detailed engineering is presented, defining specific aspects of the design, such as suction lines, pump assembly, and discharge lines, among other general system aspects, with special attention to detailed validation and the final preparation of execution plans. The importance of considering both technical and economic aspects is recognized, maintaining a balance between essential constraints, user needs, and desires.

As part of the results obtained, various solutions are proposed to improve the test bench, which are subjected to evaluation to determine and focus on the highest weighted solution to meet the exposed needs. This final solution includes optimizing the design of the hydraulic circuit through strategic relocation of suction and discharge lines, proposing updates to control and monitoring systems along with the integration of safety systems, and enhancing versatility and expanding working ranges for tests.

In conclusion, a test bench is redesigned to optimize circuits, minimize pressure losses, and increase working capacities, as evidenced by characterizing system resistance curves. Additionally, plans are provided for review and subsequent execution. The success of the systematic methodology in addressing multidisciplinary projects effectively and flexibly is highlighted. It is acknowledged that, although evaluation is primarily qualitative, technical, and economic on an individual basis and partly subjective, there is recognition of the need for comprehensive evaluations carried out by a multidisciplinary design team. Ultimately, the project aims not only to improve the operation of this service offered by ASMAR (T) but also to serve as a model for future design challenges.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
NOMENCLATURA .....	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. OBJETIVO GENERAL .....	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.4. ORGANIZACIÓN .....	3
1.5. CONTEXTO DEL PROYECTO: ASMAR TALCAHUANO.....	4
CAPÍTULO 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA.....	6
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E IMPORTANCIA DE ABORDARLO .....	6
2.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	9
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE INGENIERÍA.....	11
3.1. CONDICIONES DE DISEÑO .....	11
3.2. PROPÓSITO DEL REDISEÑO .....	15
3.3. FORMULACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN .....	17
CAPÍTULO 4. INGENIERÍA CONCEPTUAL.....	20
4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS ESENCIALES Y ESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES.....	20
4.2. PRINCIPIOS, VARIANTES Y SELECCIÓN DE SOLUCIONES .....	22
4.3. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y MODELOS .....	34
4.4. CARACTERIZACIÓN DE MODELOS Y EVALUACIÓN DE SOLUCIONES.....	41
CAPÍTULO 5. INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE.....	50
5.1. DISEÑO DE MATERIALIZACIÓN.....	51
5.1.1. LÍNEAS DE SUCCIÓN .....	51
5.1.2. MONTAJE DE BOMBAS.....	54
5.1.3. LÍNEAS DE DESCARGA.....	55
5.1.4. CONSIDERACIONES GENERALES.....	58

5.2. DISEÑO DE DETALLE .....	60
CONCLUSIONES.....	61
REFERENCIAS .....	62
ANEXO A “MEMORIA DE CÁLCULO”.....	63
ANEXO B “CORRELACIONES DE LOS PARÁMETROS CON LA ESCALA DE VALOR” ...	72
ANEXO C “PLANOS DE INGENIERÍA DE DETALLE” .....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Configuraciones óptimas presentes en el Banco de Pruebas (Fuente: [1]).	13
Tabla II. Lista de Requerimientos para el rediseño del Banco de Pruebas (Fuente: [1]).	18
Tabla III. Principios de Soluciones con respecto a las subfunciones de la Figura 4.1 (Fuente: Realización Propia).	23
Tabla IV Caudales máximos en función de los diámetros y velocidades recomendadas (Fuente: [6]).	26
Tabla V. Tabla de Selección (Fuente: Realización Propia, [2]).	33
Tabla VI. Configuraciones de Succión y Descarga de los modelos del banco de pruebas realizados (Definición Propia).	41
Tabla VII. Criterios de Evaluación y Sus Parámetros Objetivos (Definición Propia).	46
Tabla VIII. Escalas de Valores (Fuente: [2]).	47
Tabla IX. Evaluación de Modelos Propuestos (Fuente: Evaluación Propia [2]).	49
Tabla X. Dimensiones Principales para Carretes Según Norma (Fuente: Designación Propia [8]).	54
Tabla A.1 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Propuesto N°1 (Fuente: Diseño Propio).	63
Tabla A.2 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Propuesto N°2 (Fuente: Diseño Propio).	64
Tabla A.3-1 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Propuesto N°3 sobre la plataforma de pruebas (Fuente: Diseño Propio).	65
Tabla A.3-2 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Propuesto N°3 bajo la plataforma de pruebas (Fuente: Diseño Propio).	67
Tabla A.4 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Final de Solución (Fuente: Diseño Propio).	68
Tabla A.5 Propiedades físicas del agua (Fuente: [10]).	71
Tabla B.1 Correlaciones de parámetros con respecto a criterios relacionados a “Eficiencia Operativa” (Fuente: Desarrollo Propio).	73
Tabla B.2 Correlaciones de parámetros con respecto a criterios relacionados a “Capacidad de Trabajo” (Fuente: Desarrollo Propio).	75
Tabla B-J.1 Intervalos predeterminados de calibración según Norma (Fuente: [8]).	77
Tabla B.3 Correlaciones de parámetros con respecto a criterios relacionados a “Seguridad Operacional” (Fuente: Desarrollo Propio).	78
Tabla B.4 Correlaciones de parámetros con respecto a criterios relacionados a “Costos y Sostenibilidad” (Fuente: Desarrollo Propio).	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Organización de ASMAR 2024 (Fuente: [3]).	3
Figura 1.2 Vista aérea de planta ASMAR Talcahuano. (Fuente: [4]).	4
Figura 1.3 Taller 38 Maquinaria Naval ASMAR (T) (Fuente: Fotografía ASMAR).	5
Figura 1.4 Estructura orgánica ASMAR (T) con respecto al T-038 (Fuente: [5]).	5
Figura 2.1 Fotografía frontal del banco de ensayos de bombas de agua (Fuente: [1]).	6
Figura 2.2 Curvas características del Banco de Pruebas (Fuente: [1]).	7
Figura 2.2 Identificación de las Curvas características del Banco de Pruebas (Fuente: [1]).	7
Figura 2.4 Disposición de prueba en una Bomba a Ensayar. (Fuente: [1]).	8
Figura 2.5 Etapas de la Ingeniería de Diseño (Realización Propia. Fuente: [2]).	10
Figura 3.1 Captura de nube de puntos del banco de pruebas desde Trimble RealWorks Viewer (Fuente: Departamento Ingeniería Naval ASMAR (T)).	11
Figura 3.2 Isométrica del modelo actual del banco de pruebas (Fuente: Modelación propia).	12
Figura 3.3 Vista frontal del modelo actual del banco de pruebas (Fuente: Modelación propia).	13
Figura 3.4 Curvas características de configuraciones óptimas del banco de pruebas (Fuente: [1]).	14
Figura 3.5 Curvas de NPSH Disponible del banco de pruebas (Fuente: [1]).	14
Figura 3.6 Ilustración isométrica de la disposición de tomas de presión en la bomba (Fuente:[8]).	15
Figura 4.1 Estructura funcional del Banco de Pruebas (Fuente: Esquemización Propia).	22
Figura 4.2 Esquema lógico con respecto a los principios de solución de las subfunciones (Fuente: Esquemización Propia. AutoCAD2023).	25
Figura 4.3 VS2; Carrete brida a acoplamiento rápido según norma (Fuente: Diseño Propio).	27
Figura 4.4 VS3; Carrete brida a brida según norma (Fuente: Diseño Propio).	27
Figura 4.5 Interfaz del programa del banco de ensayos (Fuente: Impresión de Pantalla).	28
Figura 4.6 Rendimiento de dos bombas que operan en serie (Fuente [10]).	29
Figura 4.7 Rendimiento de dos bombas que operan en paralelo (Fuente [10]).	30
Figura 4.8 Fotografía de bomba de dos impulsores montada en banco de pruebas (Fuente: Fotografía propia).	31
Figura 4.9 Modelo propuesto N°1 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).	35
Figura 4.10 Bomba vertical en Modelo propuesto N°1 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).	36
Figura 4.11 Modelo propuesto N°2 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).	37
Figura 4.12 Bomba vertical en Modelo propuesto N°2 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).	38

Figura 4.13 <i>Modelo propuesto N°3 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).</i>	39
Figura 4.14 <i>Modelo propuesto N°3 vista isométrica superior (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).</i>	40
Figura 4.15 <i>Rangos de trabajo con respecto al Modelo N°1 (Fuente: Resultados de programación en EES).</i>	42
Figura 4.16 <i>Rangos de trabajo con respecto al Modelo N°2 (Fuente: Resultados de programación en EES).</i>	42
Figura 4.17 <i>Rangos de trabajo con respecto al Modelo N°3-1 (Fuente: Resultados de programación en EES).</i>	43
Figura 4.18 <i>Rangos de trabajo con respecto al Modelo N°3-2 (Fuente: Resultados de programación en EES).</i>	43
Figura 4.19 <i>Árbol de Objetivos para Rediseño de Banco de Pruebas (Fuente: Realización Propia).</i>	45
Figura 5.1 <i>Vista de Conexión de Líneas de Succión con Estanque (Fuente: Renderización Propia).</i>	52
Figura 5.2 <i>Ubicación Espacial de la Línea de Succión (Fuente: Renderización Propia).</i>	52
Figura 5.3 <i>Protección en Operación de sistemas Eléctricos (Fuente: Renderización Propia).</i>	53
Figura 5.4 <i>Montaje de Bombas para Pruebas (Fuente: Renderización Propia).</i>	55
Figura 5.5 <i>Líneas de descargas para pruebas (Fuente: Renderización Propia).</i>	56
Figura 5.6 <i>Modelado Final de la Solución. (Fuente: Renderización Propia).</i>	57
Figura 5.7 <i>Curvas Características del Rediseño Final Propuesto (Fuente: Resultados de programación en EES).</i>	59
Figura 5.8 <i>Curvas NPSH Disponible del Rediseño Final Propuesto (Fuente: Resultados de programación en EES).</i>	59
Figura 5.9 <i>P&amp;ID Solución Propuesta Final (Fuente: AutoCAD Plant 3D. Realización Propia).</i>	60

## NOMENCLATURA

AC	:	Acero
ANSI	:	American National Standards Institute
ASMAR	:	Astilleros y Maestranzas de la Armada
bba	:	Bomba
BEP	:	Best Efficiency Point
CAD	:	Computer Aided Design - Diseño asistido por ordenador.
dwt	:	Deadweight tonnage; tonelaje de peso muerto, capacidad de carga de una embarcación.
EES	:	Engineering Equation Solver
H	:	Altura [m.c.a]
HI	:	Hydraulic Institute; Autoridad global en bombas y sistemas de bombeo
HMI	:	Interfaz hombre-máquina
HVAC	:	Climatización (H; Heating, calefacción – V; Ventilating, ventilación – AC; Air conditioning, aire acondicionado)
m.c.a	:	Metros columna de agua
NPSH	:	Net Positive Suction Head
OV	:	Overall Unweighted Value – Valor General No Ponderado
OWV	:	Overall Weighted Value – Valor General Ponderado
P&ID	:	Piping and Instrumentation diagram/drawing – Diagrama de Tuberías e Instrumentación
R	:	Rating - Calificación
VDI	:	Verein Deutscher Ingenieure – Asociación de Ingenieros Alemanes
VS	:	Variante de Solución
WS	:	Succión Agua
WD	:	Descarga Agua
WR	:	Weighted Rating – Calificación Ponderada
$\dot{Q}$	:	Caudal
(T)	:	Talcahuano

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto representa una continuación lógica del proyecto de ingeniería mecánica “Propuesta de mejora del banco de pruebas de bombas hidráulicas en ASMAR Talcahuano” [1]. El enfoque de esta memoria consiste en abordar de manera sistemática y detallada los desafíos identificados en el proyecto anterior, con el propósito de optimizar significativamente el banco de pruebas y mejorar su eficiencia operativa.

El banco de pruebas actual desempeña una función crucial en la verificación del correcto funcionamiento de las bombas hidráulicas, asegurando su rendimiento óptimo en condiciones de operación específicas. Este proyecto de rediseño busca optimizar el banco de pruebas en función de las necesidades actuales, garantizar su conformidad con las normativas relacionadas y mejorar su seguridad operativa. Además, se pretende hacer que el sistema sea versátil, capaz de manejar una variedad de pruebas en bombas de diferentes tamaños y capacidades.

Para cumplir con este objetivo se emplea una metodología de ingeniería de diseño sistemática basada en principios establecidos por Pahl y Beitz [2]. Esta metodología guía el desarrollo de diseño, estableciendo una estructura rigurosa para identificar y priorizar los requisitos del proyecto, siendo complementada con la utilización de herramientas de modelación computacional que son de utilidad en el proceso de selección de las soluciones.

Dentro de los aspectos técnicos y económicos, mayoritariamente trabajados cualitativamente, se abordarán considerando tanto las restricciones esenciales como las necesidades y deseos de los usuarios, incluyendo operadores, técnicos e ingenieros de ASMAR (T), con la búsqueda de una solución que no solo cumpla con los requisitos críticos, sino que también proporcione un valor añadido al proceso de pruebas hidrodinámicas.

Finalmente, este proyecto espera representar un esfuerzo colaborativo que involucra una amplia gama de disciplinas de ingeniería, desde la mecánica hasta la electrónica y la automatización. El cumplimiento de los objetivos de este proyecto no solo mejorará la operatividad de uno de los servicios de ASMAR Talcahuano, sino que también servirá como un modelo guía para futuros desarrollos y mejoras de sistemas de prueba en la industria de bombas hidráulicas.

## **1.2. OBJETIVO GENERAL**

- Rediseñar el banco de pruebas de bombas del Taller de Maquinaria Naval en ASMAR Talcahuano, con el fin de optimizar la operación y aumentar sus capacidades de trabajo.

## **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir los requerimientos del rediseño ante las necesidades actuales presentes en el banco de pruebas.
- Desarrollar la ingeniería conceptual para determinar técnica y económicamente, la solución que permita entregar la información requerida para la aceptación de las bombas, dentro de los estándares definidos, y presente beneficios dentro de la operación.
- Desarrollar la ingeniería básica y de detalle del rediseño, definiendo las especificaciones técnicas, cálculos, caracterización del sistema y planos de ejecución.

## 1.4. ORGANIZACIÓN

Astilleros y Maestranzas de la Armada, en adelante ASMAR, es la empresa de construcción naval más importante de Chile. Originada como una sección de servicios de la Armada de Chile en 1895, dada la necesidad de reparación y mantenimiento de sus unidades. El 6 de abril de 1960 se crea formalmente ASMAR como empresa del Estado, de administración autónoma, con la función principal de reparar, carenar y construir unidades de la Armada de Chile, además de, con su capacidad excedente, naves nacionales o extranjeras. En la Figura 1.1 se representa un organigrama de la actual organización, conformada por un Consejo Superior, una Dirección Corporativa y tres Plantas Industriales ubicadas en Valparaíso, Talcahuano y Punta Arenas [3].

Con más de 120 años de experiencia en la construcción y reparación de buques para la Armada de Chile, con clientes particulares nacionales e internacionales, junto con una infraestructura y procesos de producción adecuados, y un personal altamente capacitado, se ha orientado a lograr el máximo rendimiento de su capacidad instalada, con costos y calidad que la ubiquen como una empresa seria, confiable y competitiva.

A nivel mundial, ASMAR es reconocida por su experiencia y calidad en la construcción naval, y ha participado en importantes proyectos de reparación y modernización de naves de Armadas de Argentina, Colombia, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, entre otros, siendo el centro de reparaciones líder en la costa occidental de Sudamérica. Es considerada una empresa líder en ingeniería en la industria naval de América Latina. La empresa cuenta con un equipo de profesionales altamente capacitados en diversas áreas de la ingeniería, incluyendo ingeniería naval, mecánica, eléctrica, electrónica, industrial, entre otras [4].

ASMAR divide sus actividades comerciales en dos segmentos principales que son Construcción Naval y Reparaciones, siendo ésta última la principal actividad productiva, basada en las capacidades que la Armada de Chile demanda a la empresa y que son de naturaleza estratégica. Durante 2022, se adjudicaron los primeros contratos para la construcción de dos buques de transporte anfíbio multipropósito para la Armada de Chile, que se llevará a cabo entre 2023 y 2030.



Figura 1.1 Organización de ASMAR 2024 (Fuente: [3]).

## 1.5. CONTEXTO DEL PROYECTO: ASMAR TALCAHUANO

ASMAR Talcahuano es el principal astillero de la empresa, ubicado en la Bahía de Concepción en la ciudad de Talcahuano, Chile. Esta planta cuenta con personal altamente calificado el cual efectúa el mantenimiento, reparación integral, modernización y recuperación de unidades de guerra y comerciales de hasta 96.000 dwt y, además, la construcción de buques militares y comerciales de hasta 50.000 dwt. Cuenta con una amplia infraestructura, como se aprecia en la Figura 1.2, que incluye diques secos, flotantes, talleres, grúas, maquinaria especializada y áreas de almacenamiento. Está estratégicamente ubicada en una zona portuaria, lo que facilita el acceso y la movilización de buques y materiales [4].



**Figura 1.2** Vista aérea de planta ASMAR Talcahuano. (Fuente: [4]).

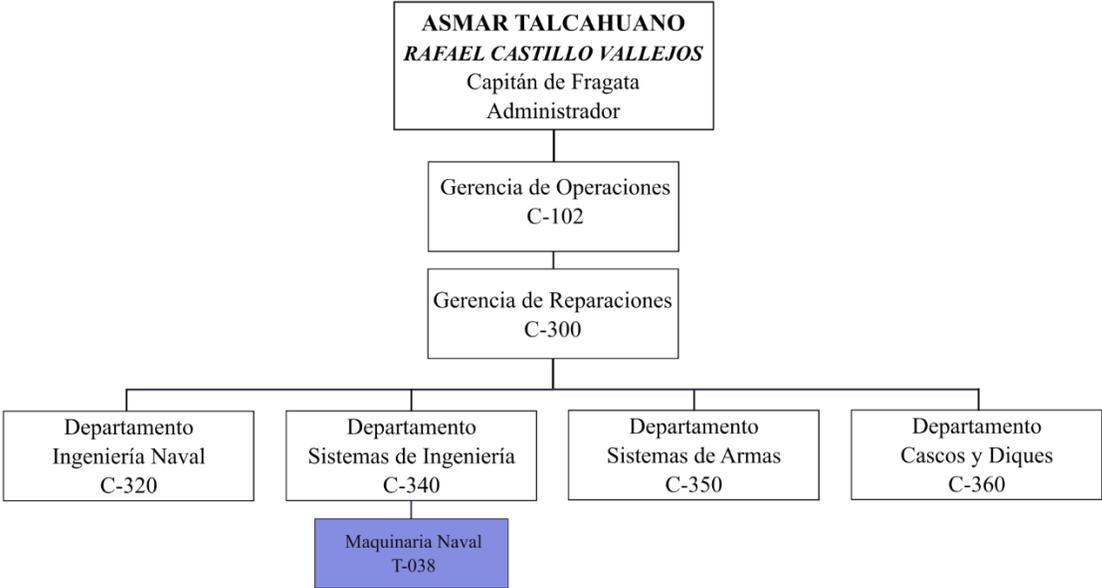
ASMAR (T) cuenta con nueve gerencias dependientes de una administración, las cuales se constituyen de departamentos, talleres y secciones especialistas. Dentro de sus capacidades de reparaciones se encuentran estructuras, casco y diques, maquinaria naval, combustión interna, electricidad, calderas y cañerías, electrónica, sistemas especiales, ingeniería naval y laboratorio de patrones. En cuanto a sus capacidades de construcción naval cuenta con talleres de aceros, cañerías y estructuras menores, habitabilidad, electricidad y electrónica, departamento de planificación y control de gestión, de diseño de construcción naval, control de calidad, grada de lanzamiento y molo Ugarte para trabajos a flote, además de diques flotantes y secos [4].

El desarrollo de esta memoria se llevará a cabo en el Taller 38 de Maquinaria Naval, Figura 1.3, dentro de la Sección Mecánica, sector Bombas, con la importancia de alinear las actividades y

propuestas finales con el perfil de la entidad, haciendo énfasis en los valores como compromiso y responsabilidad con el resultado, con el propósito del mejoramiento continuo para lograr el máximo rendimiento de su capacidad instalada. La Figura 1.4 presenta la estructura orgánica de ASMAR (T) con respecto al Taller 38.



**Figura 1.3** Taller 38 Maquinaria Naval ASMAR (T) (Fuente: Fotografía ASMAR).

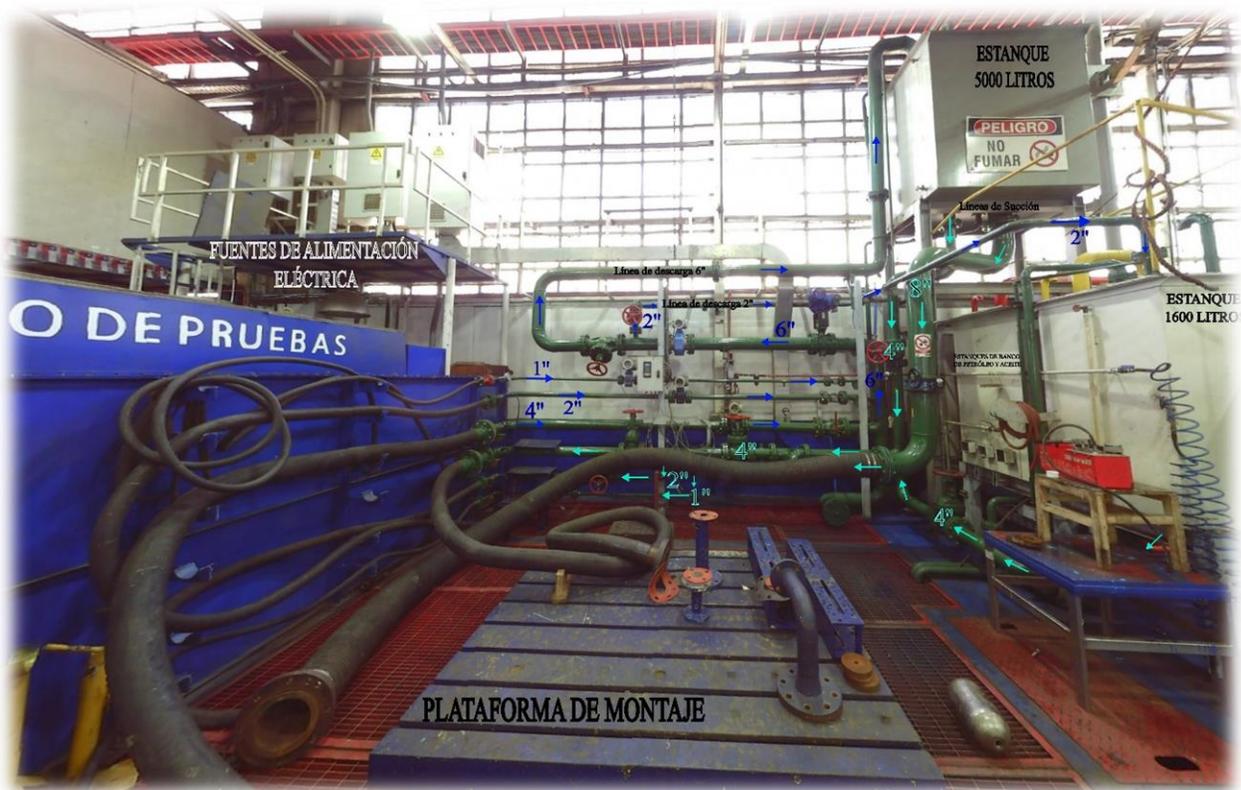


**Figura 1.4** Estructura orgánica ASMAR (T) con respecto al T-038 (Fuente: [5]).

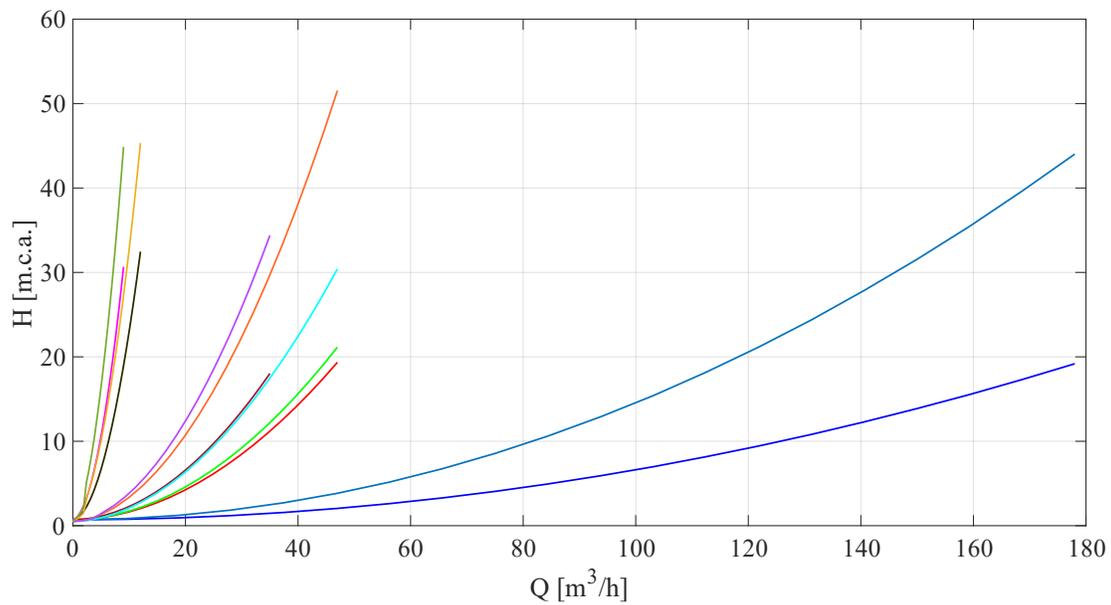
## CAPÍTULO 2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y METODOLOGÍA

### 2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E IMPORTANCIA DE ABORDARLO

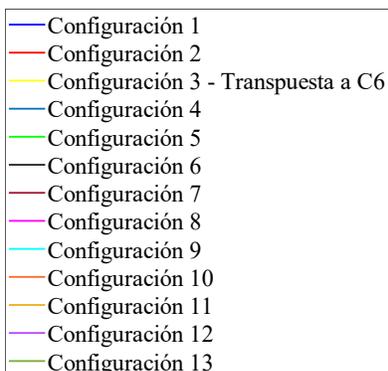
Tras el desarrollo del proyecto de ingeniería mecánica “Propuesta de mejora al banco de pruebas hidráulicas en ASMAR Talcahuano” [1] se logró caracterizar el sistema determinando así, las capacidades actuales del banco de prueba de la Figura 2.1. Se evidenció una falta de optimización en la disponibilidad de las configuraciones posibles de succión y descarga, como se observa en la Figura 2.2, existe una gran cantidad de curvas características resistentes, identificadas por los colores expuestos en la Figura 2.3, las cuales se concentran en una zona de menor rango de trabajo con respecto al flujo.



**Figura 2.1** Fotografía frontal del banco de ensayos de bombas de agua (Fuente: [1]).



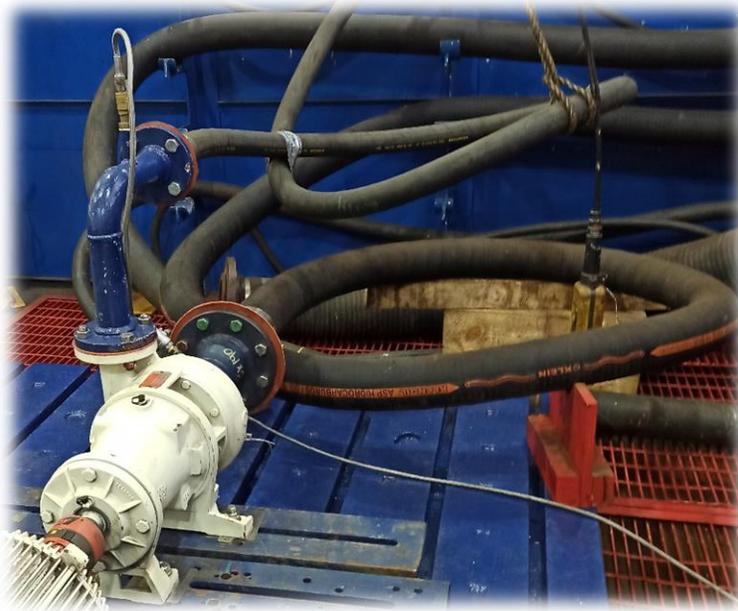
**Figura 2.2** Curvas características del Banco de Pruebas (Fuente: [1]).



**Figura 2.2** Identificación de las Curvas características del Banco de Pruebas (Fuente: [1]).

Con estos resultados se expuso la necesidad de optimizar el sistema, del cual además se observó la presencia de una gran cantidad de fittings que aumentan las pérdidas de carga singulares del sistema, largos excesivos de flexibles los cuales se posicionaban de forma curvada desde las conexiones de la bomba, como se aprecia en la Figura 2.4, lo que genera turbulencias internas. Además, para caracterizar el sistema se limitó el caudal de trabajo dependiendo de las velocidades recomendadas por el manual del U.S. Army Corps of Engineers, Liquid Process Piping [6], donde se indica que, para aplicaciones de servicio de líquidos normales, la velocidad aceptable en las tuberías es de  $2,1 \pm 0,9$  m/s, y lo establecido por E.E. Stephenson en el libro Marine Engineering [7], donde la velocidad límite en la descarga de sistemas de agua dulce fría es de 6 m/s. En función de los diámetros de cada configuración, se estableció el caudal de trabajo máximo de  $178 \text{ m}^3/\text{h}$  dentro del banco de prueba, lo

cual al analizar y revisar antecedentes de pruebas de bombas a un caudal superior a los 200 m<sup>3</sup>/h, se determinó que la problemática del calentamiento del agua se debe a que se exceden las velocidades recomendadas, generando así una mayor fricción dentro de las líneas de menor diámetro. Finalmente, para resolver la problemática general del banco de pruebas, la solución propuesta en esta memoria de título se centrará en la optimización y el aumento de las capacidades actuales de trabajo.



**Figura 2.4** Disposición de prueba en una Bomba a Ensayar. (Fuente: [1]).

La importancia de este proyecto radica en que el banco de pruebas de bombas hidráulicas es una herramienta fundamental para la evaluación de estas, siendo un servicio transversal dentro de los ofrecidos por ASMAR (T), dado que estos equipos tienen una alta presencia en cada buque, tanto en construcción como en reparación, como también dentro del mismo astillero. Las limitaciones actuales afectan a la eficiencia y la precisión de las pruebas, abordar este tema permitirá optimizar la operación y mejorar la calidad de los resultados obtenidos. Tomando en cuenta e implementando la metodología presente en la norma ANSI/HI 14.6-2022 [8], se garantizará la confiabilidad de las pruebas y la aceptación de las bombas.

Este proyecto se presenta como una oportunidad dentro de la innovación y competitividad del astillero, ya que, mantener un banco de pruebas actualizado y eficiente, mejora los servicios y aumenta la competitividad de ASMAR (T) en el campo de la ingeniería naval. La innovación en la infraestructura técnica es esencial para destacar en un entorno industrial en constante evolución, es por esto por lo que los alcances esperados del proyecto en el ámbito tecnológico se centrarán en la actualización o calibración de instrumentación junto con la implementación técnica de la norma, lo

que no implica cambios drásticos en otros sistemas de la organización. En el ámbito económico, si bien implicará una inversión inicial en términos de diseño, adquisición de componentes y posible formación del personal, se espera que los beneficios en términos de eficiencia operativa y calidad de las pruebas superen los costos a largo plazo. Desde el punto de vista ambiental el alcance puede ser limitado, ya que el proyecto se enfocará principalmente en aspectos técnicos y operativos. Finalmente, desde el punto de vista social el proyecto puede tener un impacto positivo al mejorar la calidad de trabajo del personal involucrado en las pruebas, reduciendo la posibilidad de errores humanos y aumentando la confiabilidad de los resultados. El desarrollo de habilidades técnicas y el aprendizaje sobre estándares relacionados a las pruebas de bombas pueden ser aspectos enriquecedores para el equipo de trabajo

## **2.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

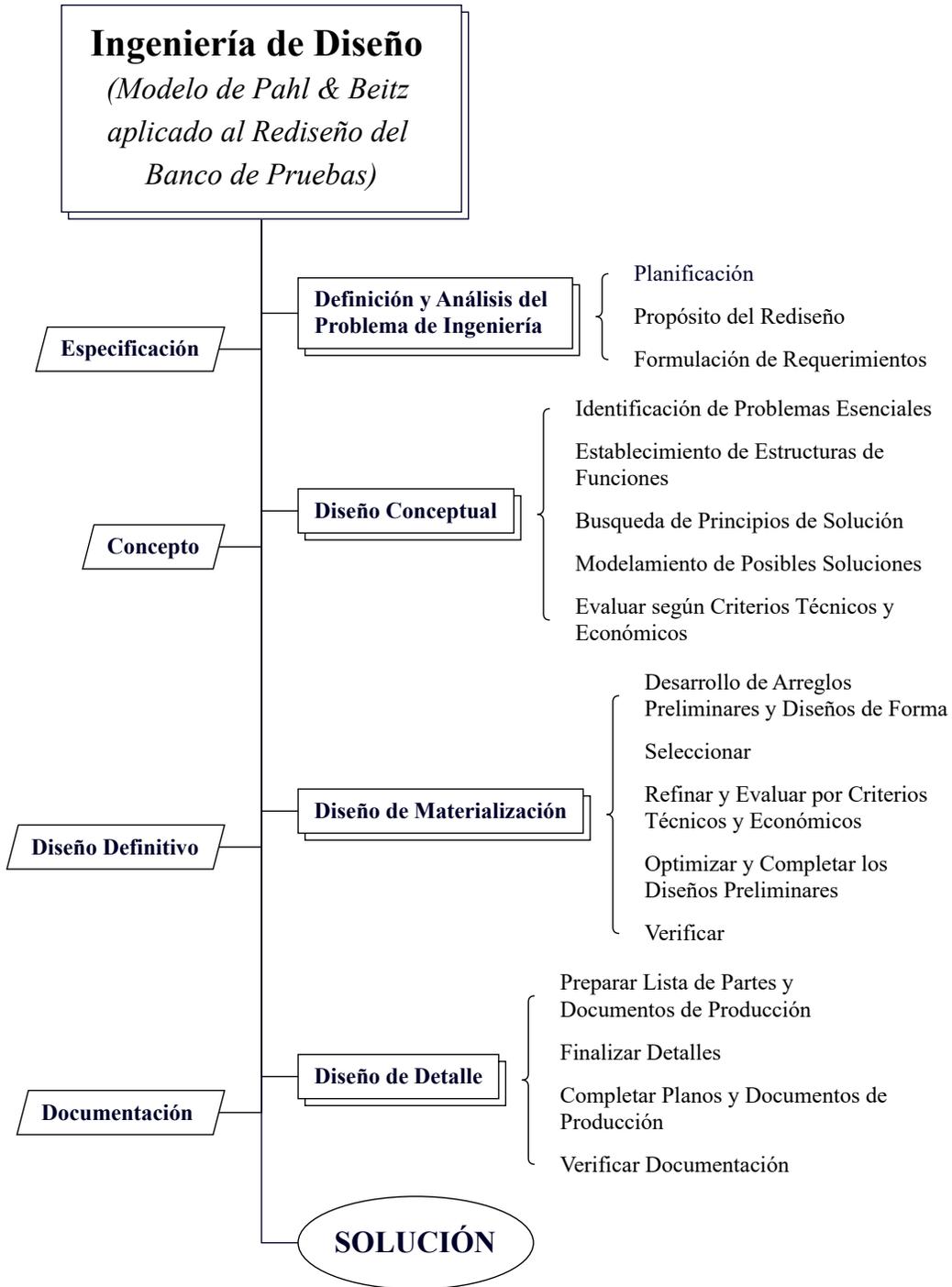
La metodología a utilizar en el desarrollo de este proyecto se basará en un enfoque sistemático y estructurado para abordar problemas de diseño en ingeniería, principalmente con la referencia del *Engineering Design: A Systematic Approach* de G. Pahl y W. Beitz [2]. Esquemáticamente este se representa en la Figura 2.5, donde en primera instancia se debe identificar el problema, al analizar en profundidad el banco de pruebas actual, proceso que se llevó a cabo previamente en el proyecto de ingeniería mecánica [1]. De este se comprendieron las limitaciones del banco de pruebas, presentando desafíos y objetivos para el rediseño. Examinando la disposición de componentes, sistemas de medición, modos de operación y cualquier otro factor relevante se clasificarán los roles y formularán los requerimientos de la posible solución, siendo este el primer resultado esperado.

En segunda instancia, el resultado esperado es el desarrollo de la ingeniería conceptual, generando múltiples soluciones potenciales para el rediseño, modelando distintas disposiciones de los circuitos que cumplan con las necesidades definidas previamente, además de abordar aspectos específicos, como la automatización y optimización de los procesos de prueba y la mejora en la disposición y precisión de las mediciones, utilizando como guía la norma ANSI/HI 14.6-2022. Al caracterizar cada modelo se evaluará y determinará técnica y económicamente la solución más conveniente, en función de criterios como la capacidad para cumplir con los objetivos del rediseño, viabilidad técnica, impacto de costos, factibilidad de implementación y posibles beneficios para la operación.

El tercer resultado esperado, es el desarrollo de la ingeniería básica o diseño de materialización, verificando y validando la ingeniería conceptual, se definirán las especificaciones técnicas, cálculos de los procesos principales, es decir caracterización final del sistema, y planos de ejecución.

Todo lo anterior conduce al resultado final esperado del proyecto, que es la ingeniería o diseño de detalle, presentando la documentación completa y detallada para la ejecución del rediseño del banco de pruebas que permite optimizar y aumentar las capacidades de trabajo actuales. Cabe mencionar que dado que, en los procesos de diseño en general, al momento de ir desarrollando y adquiriendo

más información, es necesario el ir realizando ajustes en los pasos previos, por lo que lógicamente puede ser visto como un proceso guía e iterativo.



**Figura 2.5** Etapas de la Ingeniería de Diseño (Realización Propia. Fuente: [2]).

## CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE INGENIERÍA

Antes de comenzar el desarrollo de un proyecto de diseño, es necesario aclarar con mayor detalle la tarea encomendada o en este caso el problema que se busca resolver. Como resultado se obtiene la especificación de información en una lista de requisitos que se centra y está en sintonía con los intereses del proceso de diseño y los pasos posteriores.

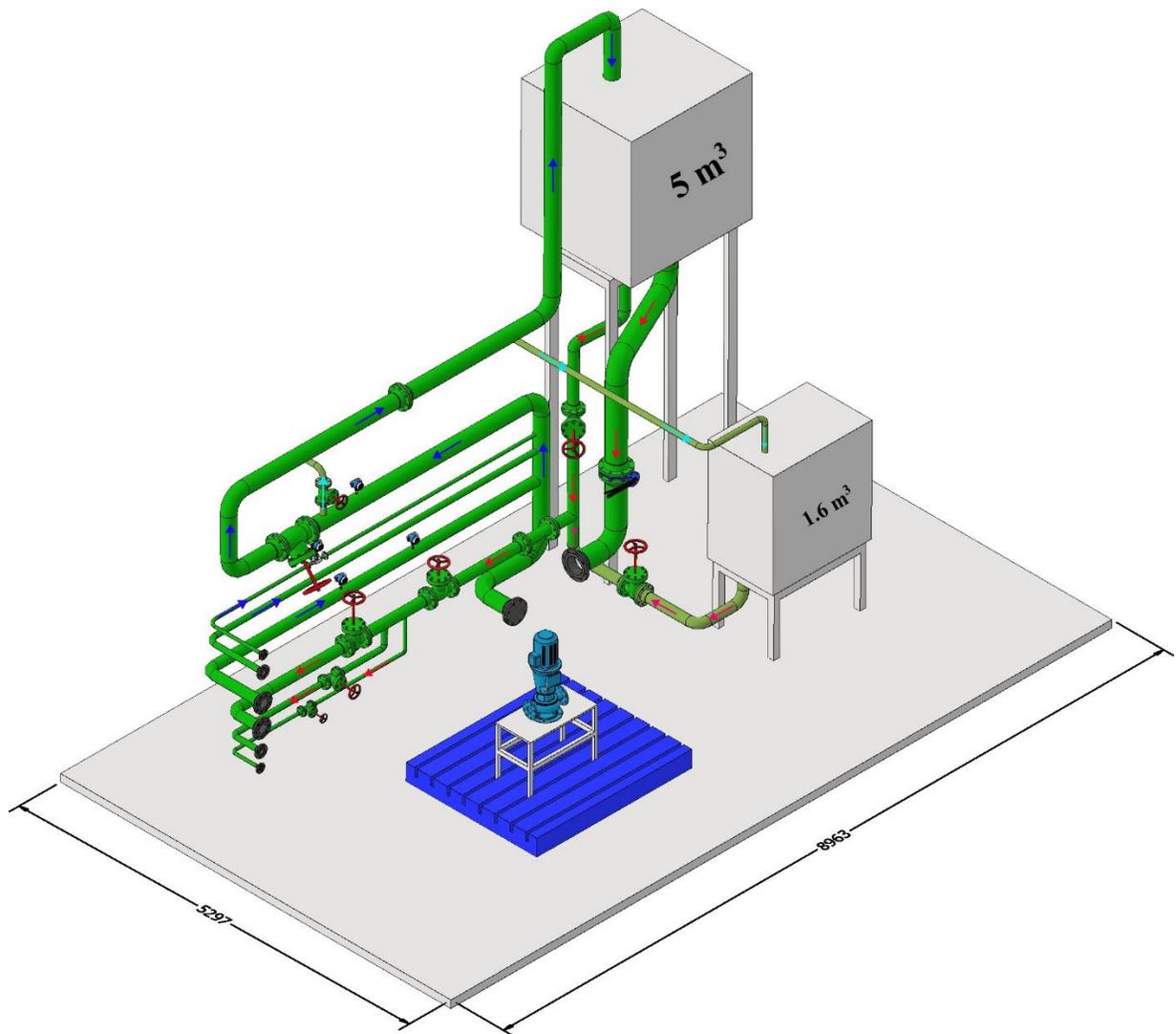
### 3.1. CONDICIONES DE DISEÑO

Las condiciones de diseño establecerán los límites y restricciones dentro de los cuales se desarrollará la solución, siendo estos los parámetros iniciales que garantizan que el rediseño sea factible y viable. Los principales puntos para tener en cuenta serán; el espacio físico al cual el rediseño debe ajustarse sin la necesidad de realizar modificaciones estructurales significativas. La norma, y cómo disponer eficientemente dentro del circuito la medición de parámetros relevantes para la aceptación de las bombas. Compatibilidad con equipamiento existente, verificando las condiciones de los componentes actuales y evaluando si estos deben ser reparados, reemplazados, calibrados en el caso de equipo de medición, etc.

Para determinar el espacio físico disponible, se dispuso de una nube de puntos capturada por el Departamento de Ingeniería Naval de ASMAR (T), la cual se aprecia en la Figura 3.1. Asociando esta nube al software Inventor se modeló sobre ella el circuito del banco de prueba que pueden ser mayormente apreciadas en las Figuras 3.2 y 3.3. Esta nube de puntos es altamente beneficiosa para el desarrollo del proyecto, ya que se pueden obtener las dimensiones reales existentes, con una ocupación actual del banco de aproximadamente 35 m<sup>2</sup>. Finalmente, la nube de puntos entrega las restricciones espaciales para la modelación de las posibles soluciones de rediseño.



**Figura 3.1** Captura de nube de puntos del banco de pruebas desde Trimble RealWorks Viewer (Fuente: Departamento Ingeniería Naval ASMAR (T)).



**Figura 3.2** Isométrica del modelo actual del banco de pruebas (Fuente: Modelación propia).

Luego del desarrollo del proyecto de ingeniería mecánica y la obtención de las curvas características de la Figura 2.2, como acción correctiva, se limita y optimiza el uso de las líneas existentes, redefiniendo las configuraciones en función de la disponibilidad de aquellas que poseen mayor rango de trabajo según los diámetros principales, reduciendo a tres las configuraciones efectivas, las cuales se especifican en la Tabla I. Las curvas características de estas y las de NPSH Disponible se visualizan respectivamente en las Figuras 3.4 y 3.5. Estas tres configuraciones principales pertenecen al circuito alimentado por el estanque de 5 m<sup>3</sup> el cual tiene una mayor elevación, supliendo todo el rango de trabajo de las configuraciones dispuestas por el circuito alimentado desde el estanque de 1,6 m<sup>3</sup>, por lo que la utilización de este último no será necesaria.

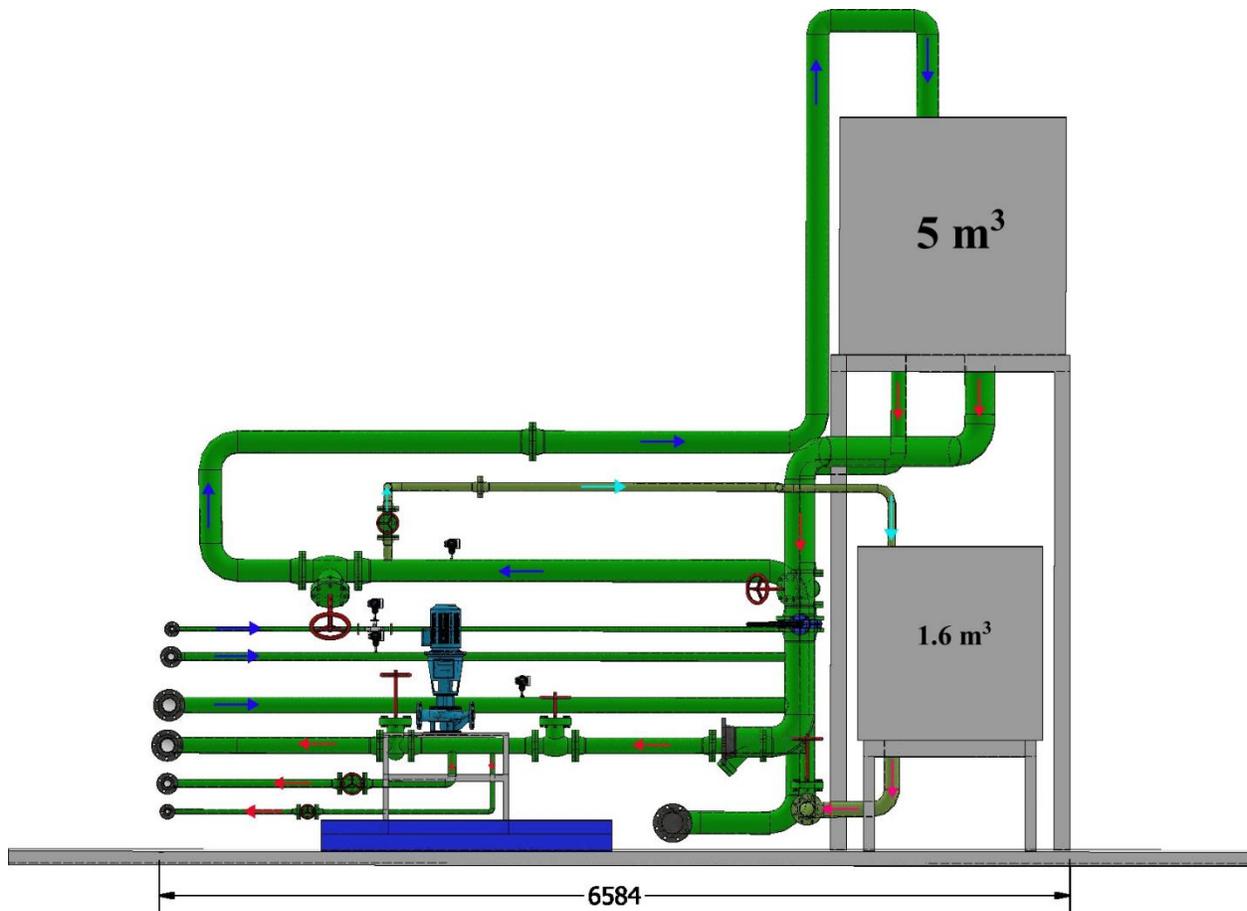
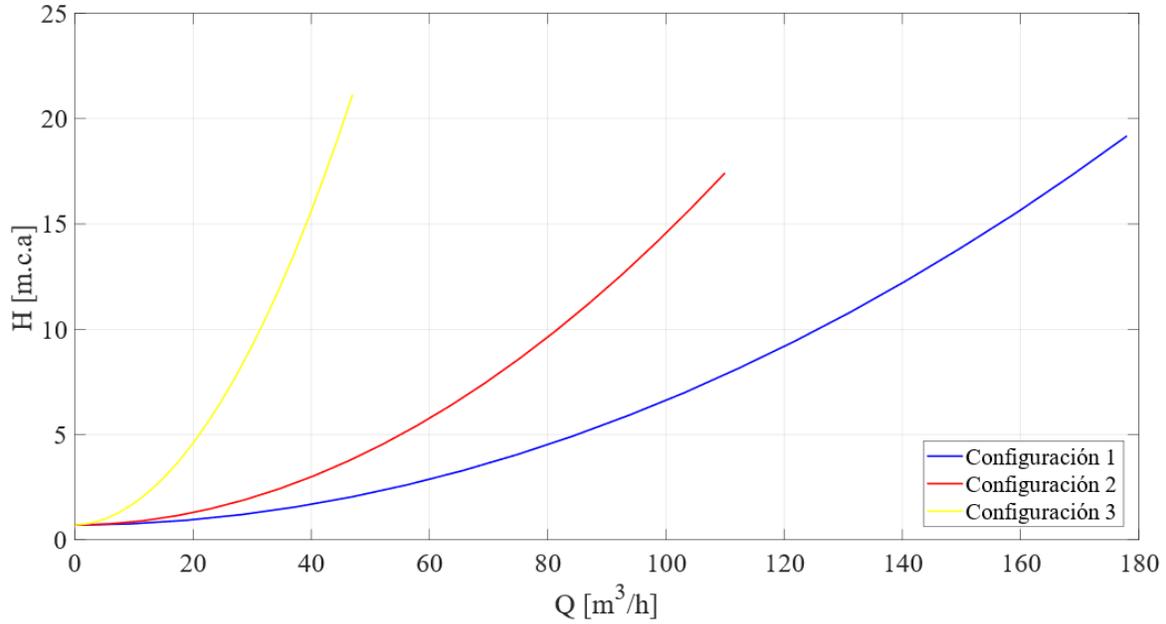


Figura 3.3 Vista frontal del modelo actual del banco de pruebas (Fuente: Modelación propia).

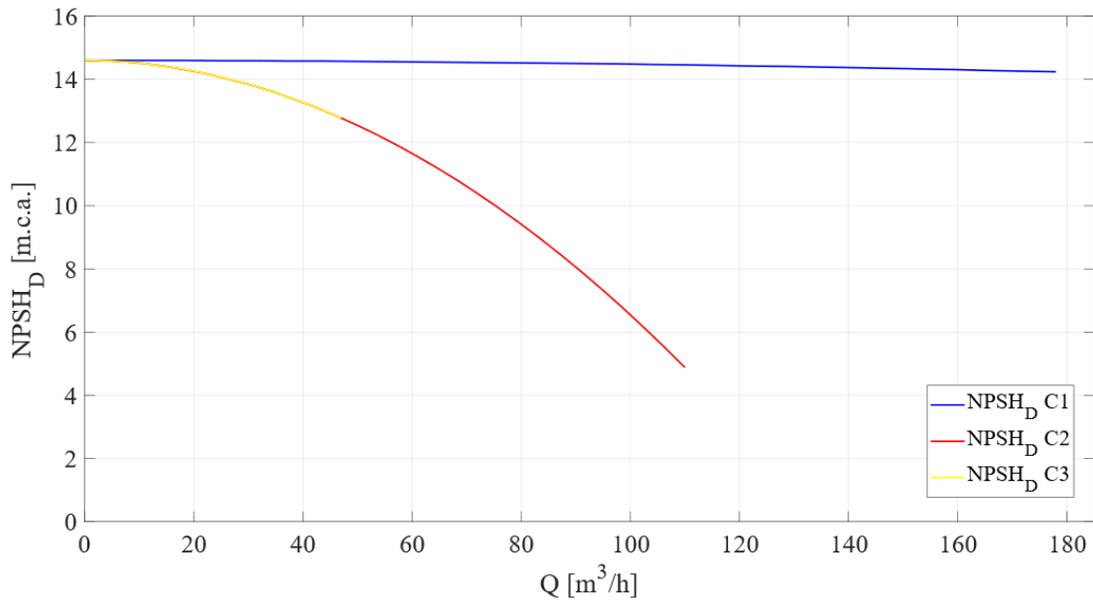
Esta información es parte de una acción correctiva de corto plazo, con la cual los operadores del banco de prueba podrán verificar mediante tabla y gráficas la configuración que posee el rango de trabajo requerido para ensayar la bomba en evaluación.

Tabla I. Configuraciones óptimas presentes en el Banco de Pruebas (Fuente: [1]).

Alimentación Principal	Configuración	Q <sub>límite de trabajo</sub> [m <sup>3</sup> /h] [V <sub>max</sub> = 6 m/s]*	Q <sub>max recomendado</sub> [m <sup>3</sup> /h] [V <sub>max</sub> = 3 m/s]*
Estanque de 5 m <sup>3</sup>	C <sub>1</sub> Succión 8" - Descarga 4"	178	90
	C <sub>2</sub> Succión 4" - Descarga 4"	110	90
	C <sub>3</sub> Succión 4" - Descarga 2"	47	23

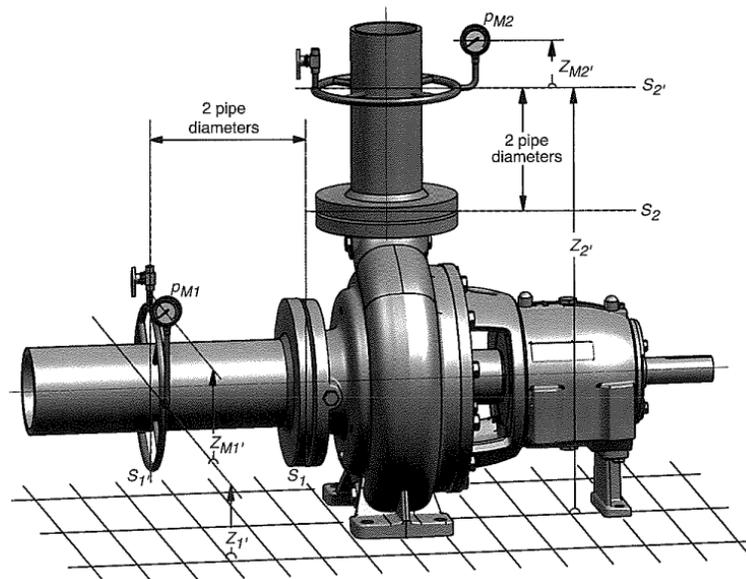


**Figura 3.4** Curvas características de configuraciones óptimas del banco de pruebas (Fuente: [1]).



**Figura 3.5** Curvas de NPSH Disponible del banco de pruebas (Fuente: [1]).

Con respecto a lo establecido en la norma para la medición de variables de operación, como se ilustra en la Figura 3.6, se deben diseñar conexiones directas a la bomba, por lo que se definirán los diámetros típicos de bombas que son probadas para disponer de estos componentes con el largo y punto de medición establecidos. A estos componentes se les conoce como carretes de prueba.



**Figura 3.6** Ilustración isométrica de la disposición de tomas de presión en la bomba (Fuente:[8]).

Finalmente, como último punto principal, se tienen los componentes ya existentes en el banco de prueba, al evaluar la compatibilidad de estos con el rediseño se espera evitar conflictos entre los cambios requeridos y asegurar una transición fluida hacia el nuevo diseño. Esto implica verificar si los componentes actuales pueden integrarse con el rediseño o si necesitan ser adaptados, reparados o reemplazados. También será importante considerar la calibración de los equipos de medición existentes para garantizar mediciones precisas y confiables.

### 3.2. PROPÓSITO DEL REDISEÑO

Como se mencionó en la metodología de trabajo, se tendrá un enfoque sistemático, para identificar y priorizar los requisitos del proyecto. Antes de realizar esta identificación, es importante comprender completamente el contexto y los objetivos del proyecto. Para ello, se debe definir claramente cuál es el propósito del rediseño del banco de pruebas, ya expuestos los problemas y limitaciones actuales que se deben abordar, se establecen las metas y objetivos específicos que se desean lograr.

El banco de pruebas actual tiene la función de, mediante pruebas hidrodinámicas, verificar el correcto funcionamiento de las bombas, en su punto óptimo de placa y/o punto de operación informado previamente por el cliente o el ingeniero a cargo. Esto mediante el control de parámetros principales como presión y caudal, además de temperatura y parámetros eléctricos del motor como tensión, corriente y potencia. Otros procedimientos llevados a cabo son el alineamiento entre la bomba y el motor, así como la medición de vibraciones, posteriormente a las pruebas hidrostáticas para la verificación de filtraciones no deseadas.

El propósito principal de rediseñar el banco de pruebas es optimizar y aumentar su capacidad de trabajo de manera que no se presenten problemáticas debido a las características propias del sistema, como resistencia excesiva del circuito con respecto al flujo, y obtención de parámetros físicos relevantes para determinar finalmente el estado de operación de las bombas. Este rediseño beneficiará a varios grupos de interés, incluyendo operadores, técnicos, ingenieros, la gerencia y, por supuesto, la planta misma de ASMAR (T). Por lo que es necesario comprender sus necesidades, expectativas y preocupaciones en relación con el banco de pruebas rediseñado.

Las problemáticas expuestas en el desarrollo del proyecto de ingeniería [1] se abordarán como requerimientos de solución junto a los requisitos técnicos del personal involucrado, dando respuesta a las necesidades actuales. Tal como lo plantea la metodología de Pahl y Beitz, para identificar los requisitos que determinarán la solución es necesario responder a las siguientes preguntas;

➤ ¿Cuáles son los objetivos que se espera que satisfaga la solución prevista?

Los objetivos que se espera satisfagan la solución incluyen la optimización del sistema, cumplimiento de normativas, facilitar la operación, mejora en la seguridad, versatilidad y flexibilidad. Siendo el objetivo principal optimizar y aumentar la capacidad de trabajo del banco de prueba. Esto implica la capacidad de realizar pruebas hidrodinámicas con una precisión y eficiencia mejorada al utilizar circuitos de prueba adecuados para las características de cada bomba, sin que se presenten problemáticas como la expuesta en el proyecto de ingeniería y otras como la elevación de temperatura por exceso de velocidad recomendada de fluido para cada línea.

El cumplimiento de normativas pertinentes, en particular la Norma ANSI/HI 14.6-2022 para pruebas de aceptación de rendimiento hidráulico, permitirá que las pruebas y obtención de parámetros sean confiables y aceptadas a nivel internacional.

Se espera que la solución simplifique la operación del banco de pruebas, lo que incluye características como la automatización de procesos al mejorar el sistema de control de flujo, una interfaz de usuario intuitiva para la integración y entrega del servicio de curvas características de las bombas probadas, además de un mantenimiento sencillo y planificado del sistema.

La seguridad del personal es un objetivo fundamental. La solución debe garantizar que las pruebas se realicen de manera segura y que se minimicen los riesgos para los operadores, ya sea en el proceso de montaje o pruebas de las bombas.

Finalmente, se busca que la solución sea versátil y capaz de realizar pruebas en bombas de diferentes tamaños y capacidades, lo que aumenta su utilidad en una variedad de situaciones, al tener a disposición líneas de conexión adecuadas para cada prueba, es decir, de dimensiones para operaciones dentro de los rangos aceptados.

➤ ¿Qué propiedades debe tener?

De acuerdo con los objetivos previamente mencionados, la solución debe tener las propiedades de precisión, fiabilidad, cumplimiento normativo, facilidad de uso y eficiencia energética.

Debe ser capaz de realizar mediciones precisas de parámetros hidráulicos, como presión y caudal, con tolerancia mínima de error de acuerdo con la norma. La solución debe ser confiable y estar disponible para su uso en todo momento, minimizando las interrupciones debidas a fallas o mantenimiento. Debe cumplir con las normativas aplicables en lo que respecta a pruebas hidrodinámicas y seguridad. La interfaz de usuario debe ser intuitiva permitiendo a los operadores realizar pruebas de manera eficiente y precisa sin requerir de capacitaciones extensas. Finalmente, debe ser eficiente en cuanto al consumo de energía para minimizar costos operativos, esto mediante la correcta disposición de prueba desde el primer momento, sin la necesidad de probar en más de una configuración posible.

➤ ¿Qué propiedades no debe tener?

La solución prevista no debe ser inestable, es decir, no debe ser propensa a fallas o a un funcionamiento que pueda poner en peligro la seguridad o la integridad de las pruebas. No debe tener una complejidad excesiva en su operación o mantenimiento, además de proveer la información necesaria de manera clara para no dificultar una operación eficiente que pueda incluso aumentar los costos operativos. No debe incumplir normativa ya que se perderá la confiabilidad en los resultados de cada prueba. Finalmente, no debe requerir un alto costo y frecuente necesidad de mantenimiento que pueda afectar negativamente la viabilidad económica del banco de pruebas.

### **3.3. FORMULACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE LA SOLUCIÓN**

La metodología de Pahl y Beitz se basa en la generación de soluciones y la clasificación de requisitos en las categorías de demandas (D), las cuales deben cumplirse bajo toda circunstancia, y deseos (W), los que deben tenerse en cuenta siempre que sea posible. Aun cuando el diseño no es original o de un producto nuevo, y el principio de la solución está fijado de modo que sólo es necesario realizar adaptaciones o cambios dimensionales, como será el caso de este proyecto de rediseño, estos deben ejecutarse basándose en una lista de requisitos, las cuales toman forma de plantilla o cuestionarios.

En el contexto de este proyecto de rediseño, la lista de requisitos no sólo servirá como guía para el desarrollo de la solución, sino también como una valiosa fuente de información detallada sobre las propiedades demandadas o deseadas del producto, lo que facilita la toma de decisiones informada, convirtiéndose en una herramienta de gestión del conocimiento permitiendo una lectura directa de la información y control de calidad. Al mismo tiempo estos requerimientos deben ser jerarquizados de acuerdo con el grado de importancia que tendrán en el proyecto, siendo esenciales, necesidades o deseos.

- **Esenciales:** Estos son requisitos críticos que deben cumplirse para que el proyecto sea un éxito. Deben ser específicos y medibles. Ejemplos: precisión de las mediciones, cumplimiento de estándares, seguridad del personal.
- **Necesidades:** Estos son importantes, pero no críticos. Son requisitos que aumentan la eficiencia, la comodidad o la calidad, pero el proyecto podría continuar sin ellos. Ejemplos: automatización de procesos, facilidad de mantenimiento.
- **Deseos:** Estos son requisitos que agregarían valor adicional pero no son esenciales. Son mejoras que pueden implementarse si hay recursos disponibles. Ejemplos: características de interfaz de usuario avanzadas, opciones de personalización.

Esto ayudará a enfocarse en los requisitos más críticos y garantizar que se cumplan antes de abordar los menos críticos. Antes de avanzar en el rediseño, se deben validar los requisitos con todas las partes interesadas para asegurarte de que estén de acuerdo y que no se hayan pasado por alto necesidades importantes. En general, a medida que los proyectos de diseño avanzan, es probable que los requisitos cambien o evolucionen, por lo que se recomienda llevar un registro de estos cambios y asegurar de que todos los miembros del equipo estén al tanto de las actualizaciones.

Finalmente, el listado inicial de requerimientos de este proyecto de rediseño se presenta en la plantilla de la Tabla II.

*Tabla II. Lista de Requerimientos para el rediseño del Banco de Pruebas (Fuente: [1]).*

<i>ASMAR (T)</i>	<b>Lista de Requerimientos para el Rediseño del Banco de Pruebas de Bombas Hidráulicas (Circuito de Agua)</b>	
<i>Demands (D)</i>	<i>Requisitos</i>	<i>Rol</i>
<i>Wishes (W)</i>		
	<b>Geometría</b>	
<b>D</b>	Área de Construcción = 35 m <sup>2</sup> (Dentro del mismo espacio ya existente)	<b>Necesario</b>
<b>D</b>	Conexiones de Succión por cubrir; desde 1" hasta 8"	<b>Necesario</b>
<b>D</b>	Conexiones de Descarga por cubrir; desde 1" hasta 6"	<b>Necesario</b>
<b>W</b>	Aumento de la capacidad del estanque	<b>Deseable</b>
	<b>Cinemática</b>	
<b>D</b>	Flujos de prueba por sobre los 200 m <sup>3</sup> /h	<b>Necesario</b>
<b>D</b>	Velocidad máxima en los circuitos: 3 m/s	<b>Esencial</b>
	<b>Energía</b>	
<b>D</b>	Minimizar pérdidas de cargas por diseño	<b>Esencial</b>
<b>D</b>	Líquido de prueba; Agua limpia a Temperatura ambiente (15- 25°C)	<b>Esencial</b>
<b>W</b>	Suministro de agua de la red con llenado automático	<b>Deseable</b>
	<b>Material</b>	

D	Líneas de acero y conexiones flexibles	<b>Necesario</b>
	<b>Seguridad</b>	
D	Seguridad del operador	<b>Esencial</b>
D	Seguridad operacional y ambiental	<b>Esencial</b>
D	Sistema de seguridad directo (paradas de emergencia)	<b>Esencial</b>
	<b>Ergonomía</b>	
D	Facilidad de montaje en plataforma	<b>Necesario</b>
W	Conexión rápida en la succión y descarga	<b>Deseable</b>
D	Tramos de conexión más cortos y livianos	<b>Necesario</b>
W	Sistema de llenado y achique automático	<b>Deseable</b>
	<b>Control de Calidad</b>	
D	Calibración actualizada de instrumentos de medición	<b>Esencial</b>
D	Control y medición de parámetros según normativa	<b>Esencial</b>
	<b>Operación</b>	
D	Manejo automático de válvula de control de flujo	<b>Esencial</b>
W	Interfaz amigable con operador	<b>Deseable</b>
D	Control de variables de operación desde interfaz	<b>Necesario</b>
D	Generación de curvas características de bombas	<b>Esencial</b>
	<b>Mantenimiento</b>	
D	Facilidad de mantenimiento	<b>Esencial</b>
D	Intervalos controlados y no acotados en el tiempo	<b>Necesario</b>
	<b>Costos</b>	
D	Disminución en los costos de operación en las pruebas	<b>Esencial</b>
W	Reutilización de líneas, materiales y equipos que se encuentren en condiciones óptimas de calidad	<b>Deseable</b>
D	Reducción de procesos y componentes	<b>Necesario</b>
D	Capacidad de construcción de componentes dentro de la misma planta	<b>Deseable</b>
	<b>Plazos</b>	
D	Fecha de finalización del desarrollo, planificación y control del proyecto (Por determinar)	<b>Necesario</b>
W	Intervención y construcción que no genere inhabilitación del actual banco	<b>Deseable</b>

## **CAPÍTULO 4. INGENIERÍA CONCEPTUAL**

La ingeniería o diseño conceptual, es parte del proceso en donde, luego de identificar los problemas esenciales, establecer estructuras funcionales, buscar principios de trabajo apropiados y combinarlos, se establece el camino de solución básica mediante la elaboración de un modelo o principio de solución. En este punto se identificará la viabilidad técnica y económica del proyecto para la posterior ingeniería básica y de detalle.

La representación de una solución principal puede adoptar distintas formas, siendo suficiente una representación esquemática, un diagrama de circuito o de flujo, sin embargo, para lograr evaluar de mejor manera los aspectos esenciales de un principio de solución, es necesario transformarla en una representación más concreta, ya sea considerando materiales preliminares, produciendo un diseño dimensional aproximado y considerando las posibilidades tecnológicas aplicables. En este sentido, es una gran ventaja la obtención de la nube de puntos mostrada en la Figura 3.1, con la cual en su conjunto se utilizarán herramientas que permitan modelar posibles soluciones en el espacio disponible.

Como señala la metodología de Pahl y Beitz, en la búsqueda de soluciones óptimas, para resolver el problema del apego a ideas convencionales, se utiliza la abstracción. Esto permite a los diseñadores ignorar lo que es particular y enfatizar lo que es general y esencial, siendo la identificación del meollo de la tarea con las funcionalidades y las limitaciones específicas lo que revela los problemas esenciales para los cuales es necesario encontrar soluciones. En el caso de este proyecto se presenta un banco de prueba de bombas, las cuales son variables en tamaño, condición de montaje, operación, etc, por lo que, para un correcto ensayo el banco debe presentar una amplia capacidad de adaptación para cada una de estas, en cuanto a montaje, conexiones de succión y descarga, resistencias del circuito, etc, pudiendo obtener y representar las condiciones técnicas y de operación de cada bomba de forma correcta.

### **4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS ESENCIALES Y ESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES**

En este punto se analizará la lista de requisitos con respecto a la función requerida y las restricciones esenciales. Pahl y Beitz entrega una forma de abstracción paso a paso, con la cual se espera revelar los aspectos generales y problemas esenciales de la tarea que fue formulada a través de la lista de requisitos. Estos pasos son los siguientes:

- Paso 1. Eliminar las preferencias personales.
- Paso 2. Omitir requisitos que no contengan relación directa con la función y las limitaciones esenciales.

- Paso 3. Transformar datos cuantitativos en cualitativos y reducirlos a declaraciones esenciales
- Paso 4. En la medida que sea útil, generalizar los resultados del paso anterior.
- Paso 5. Formular el problema en términos de solución neutral.

Al aplicar los pasos anteriores al listado de requisitos se reformula el problema general en términos de una solución neutral como;

*“Diseñar un banco de pruebas de bombas hidráulicas que cumpla con los requisitos espaciales y de conexión, asegure una operación segura y eficiente, garantice la calidad de las pruebas y minimice los costos operativos”*

En su conjunto, el listado de requisitos y la formulación del problema a través de la abstracción tienen la misma función de representar la relación general prevista entre las entradas y salidas, en este caso del sistema banco de pruebas. Entiéndase como un sistema al conjunto de entidades y sus relaciones, cuya funcionalidad es mayor que la suma de las entidades individuales [9]. Así mismo al formular el problema general, es posible indicar una función general, que es determinar el correcto funcionamiento de distintas bombas hidráulicas. Esta es la función esencial que está directamente relacionada con el propósito del rediseño, y a diferencia de un caso de diseño original, en este caso adaptativo de rediseño, la estructura general con sus conjuntos y componentes es mucho más conocida, y al analizar el banco ya existente se obtiene una estructura funcional que pretende facilitar la generación de soluciones. Utilizando un enfoque jerárquico, la Figura 4.1 presenta la descomposición de funciones en subfunciones y se establecen las relaciones entre ellas dentro de sistemas modulares. Estos módulos de función representan la implementación de funciones técnicas de forma independiente o en combinación con otras, complementadas con aclaraciones verbales específicas de cada función.

Las funciones básicas son fundamentales para el sistema banco de pruebas. Pueden cumplir la función general con o sin la combinación de otras funciones, es decir son imprescindibles y no se pueden eliminar sin afectar la integridad del sistema. Las funciones auxiliares son aquellas que se mantienen en sintonía con las funciones básicas. Las funciones especiales son subfunciones complementarias y específicas de tareas que no necesitan aparecer en todas las variantes de funciones generales, incorporándose para abordar situaciones particulares o necesidades específicas, como son los diagnósticos de fallas. Las funciones adaptativas permiten al sistema adaptarse a diferentes condiciones o requisitos cambiantes, como podría ser el caso de un circuito de prueba sumergido que permitiría aumentar las capacidades del servicio de prueba. Finalmente, las funciones específicas del cliente, en este caso siendo los operadores del banco de pruebas, son personalizadas según las necesidades. Estas no se encuentran en una estructura modular y deben diseñarse individualmente para tareas específicas [8].

A partir de esta estructura funcional aproximada obtenida mediante el análisis del sistema conocido, se procederá con el desarrollo de una estructura de trabajo y a la búsqueda de una solución optimizada.

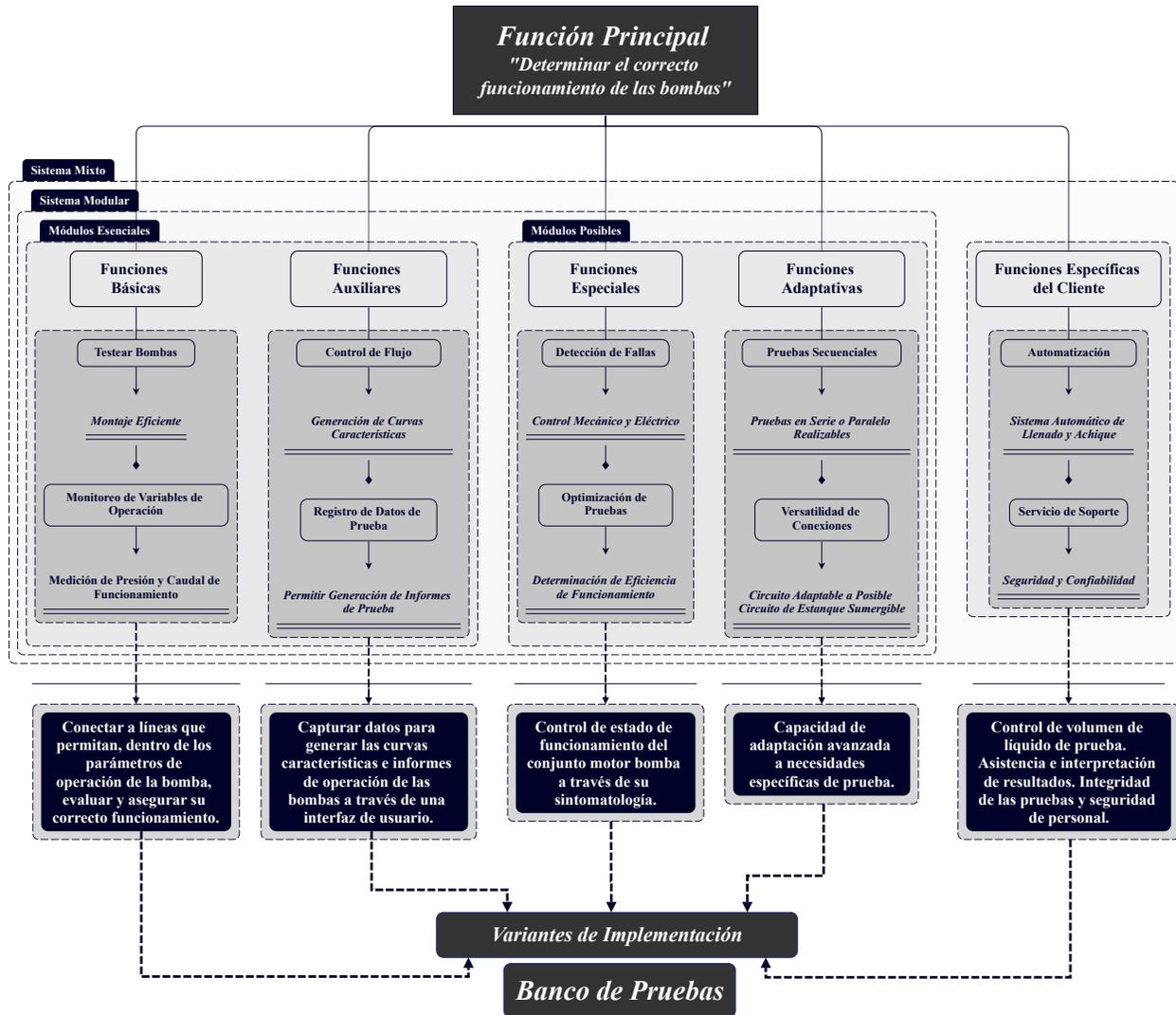


Figura 4.1 Estructura funcional del Banco de Pruebas (Fuente: Esquematización Propia).

## 4.2. PRINCIPIOS, VARIANTES Y SELECCIÓN DE SOLUCIONES

El desarrollo de una estructura de trabajo conduce a variantes de solución, hasta obtener la solución principal. Dentro de la metodología de Pahl y Beitz se analizan distintos métodos y herramientas para encontrar soluciones, sin embargo, cabe mencionar dos métodos generales de búsqueda que son útiles en este proyecto. La investigación, que se enfoca en la exploración de nuestra memoria, consultas bibliográficas y análisis de sistemas técnicos conocidos, y la invención o capacidad inventiva, que es

un método basado en intuición, centrada en la actitud mental, conocimientos, esfuerzo, capacidades o aptitudes.

Generalmente las estructuras de trabajo no son muy concretas y las propiedades de los principios de funcionamiento referidos a las subfunciones del sistema solo se conocen cualitativamente. Por ello, uno de los procedimientos de selección más adecuados, y el cual se utiliza en el presente proyecto, es el de selección de variantes de solución a través de criterios de eliminación y preferencia. Cuando en un proceso de diseño el campo de soluciones es amplio, esto representa una fortaleza y debilidad en los enfoques sistemáticos, ya que es necesario reducir lo antes posible el gran número de soluciones teóricamente aceptables, pero difíciles de replicar. Al enfrentarse a una gran cantidad de propuestas de solución, y para limitar los esfuerzos de diseño posterior, estas deben reducirse luego de que surjan principios de trabajo o funcionamiento factibles, al compararlos principalmente con las demandas de la lista de requisitos.

Este caso de rediseño puede verse como un desarrollo evolutivo, para lo cual se deben comprobar los principios y estructuras de trabajo conocidas y ya aplicadas, para determinar si aún cumplen con los estándares tecnológicos y requisitos actuales, es decir, se basa mayoritariamente en la intuición, o experiencia previa aplicable. Se identifican directamente estructuras de trabajo que cumplan la función general, sin tener la necesidad de buscar inicialmente soluciones individuales para las subfunciones, sin embargo, ambas pueden combinarse útilmente. Así, previo a la búsqueda de efectos físicos y sus características del diseño de forma, mediante el desarrollo de bocetos o esquemas de solución, se presenta en la Tabla III una matriz de soluciones con respecto a las subfunciones presentadas en la Figura 4.1. Cada una con principios de solución general desarrollados con la metodología de lluvia de ideas, guiada principalmente por la lista de requisitos y el sistema ya conocido. Posteriormente, estos se pueden complementar en conjunto o descartar aquellos que no cumplan con el propósito del rediseño.

*Tabla III. Principios de Soluciones con respecto a las subfunciones de la Figura 4.1 (Fuente: Realización Propia).*

<b>Subfunción</b>		<b>Principios de solución</b>		
<b>Básicas, Auxiliares y Especiales</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>1</b>	<b>Montaje Eficiente</b>	Circuito con las características de diámetro que proporciones una velocidad de flujo seguro.	Mangueras de conexión ajustadas con un largo y posición optimizada.	Carretes de conexión variables a los diámetros de bombas frecuentemente probadas.

2	<b>Medición de Presión y Caudal de Funcionamiento</b>	Manómetros y Flujómetros digitales de los cuales se pueda visualizar su lectura en la interfaz de usuario.	Manómetros digitales en puntos específicos del circuito.	Mediciones de acuerdo con normativa.
3	<b>Generación de Curvas Características</b>	Generación automática desde la interfaz.	Generación manual en la interfaz.	Variación automática o manual del flujo.
4	<b>Permitir Generación de Informes de Prueba</b>	Captura automática de parámetros de operación.	Informe rápido y automático con información más relevante tomada desde la interfaz.	Informe formal realizado por el operador de acuerdo con los datos prueba recopilados
5	<b>Control Mecánico y Eléctrico</b>	Medición de sintomatología de los equipos en prueba.	Control de temperatura y medición de vibraciones en equipos y circuito del banco.	Medición y control de parámetros eléctricos entre la red y el motor.
6	<b>Determinación de Eficiencia de Funcionamiento</b>	Pruebas en vacío y a máxima capacidad que determinen un rango y características de operación.	Cálculo a través de plantilla manual.	Integración automática en interfaz.
<b><i>Adaptativas y Específicas</i></b>				
7	<b>Pruebas en Serie o Paralelo</b>	Circuito adaptable.	Líneas múltiples.	Aumento de capacidad de energía eléctrica suministrada.
8	<b>Circuito Adaptable a Posible Circuito de Estanque Sumergible</b>	Circuito desmontable variable.	Estanque sumergible.	Red para circuito sumergible.
9	<b>Sistema Automático de Llenado y Achique</b>	Bombas de Llenado y achique.	Sistema sensorizado de niveles de agua.	Sistema de alarma de nivel.
10	<b>Seguridad y Confiabilidad</b>	Asistencia e interpretación de resultados.	Capacitación técnica.	Control seguro de operación.

El sistema del banco de pruebas existente junto con las propuestas realizadas tiene múltiples componentes con funciones y subfunciones propias que pueden desarrollarse y evaluarse aún más en profundidad por separado en cuanto a estructuras de trabajo, principios de funcionamiento y metodología de diseño, sin embargo, para efectos prácticos, se desarrolla de forma general, y como se mencionó anteriormente, la abstracción es la clave para determinar las soluciones esenciales. Así, en base a lo anterior, se desarrolla la primera idea de solución mediante el esquema lógico presente en la Figura 4.2.

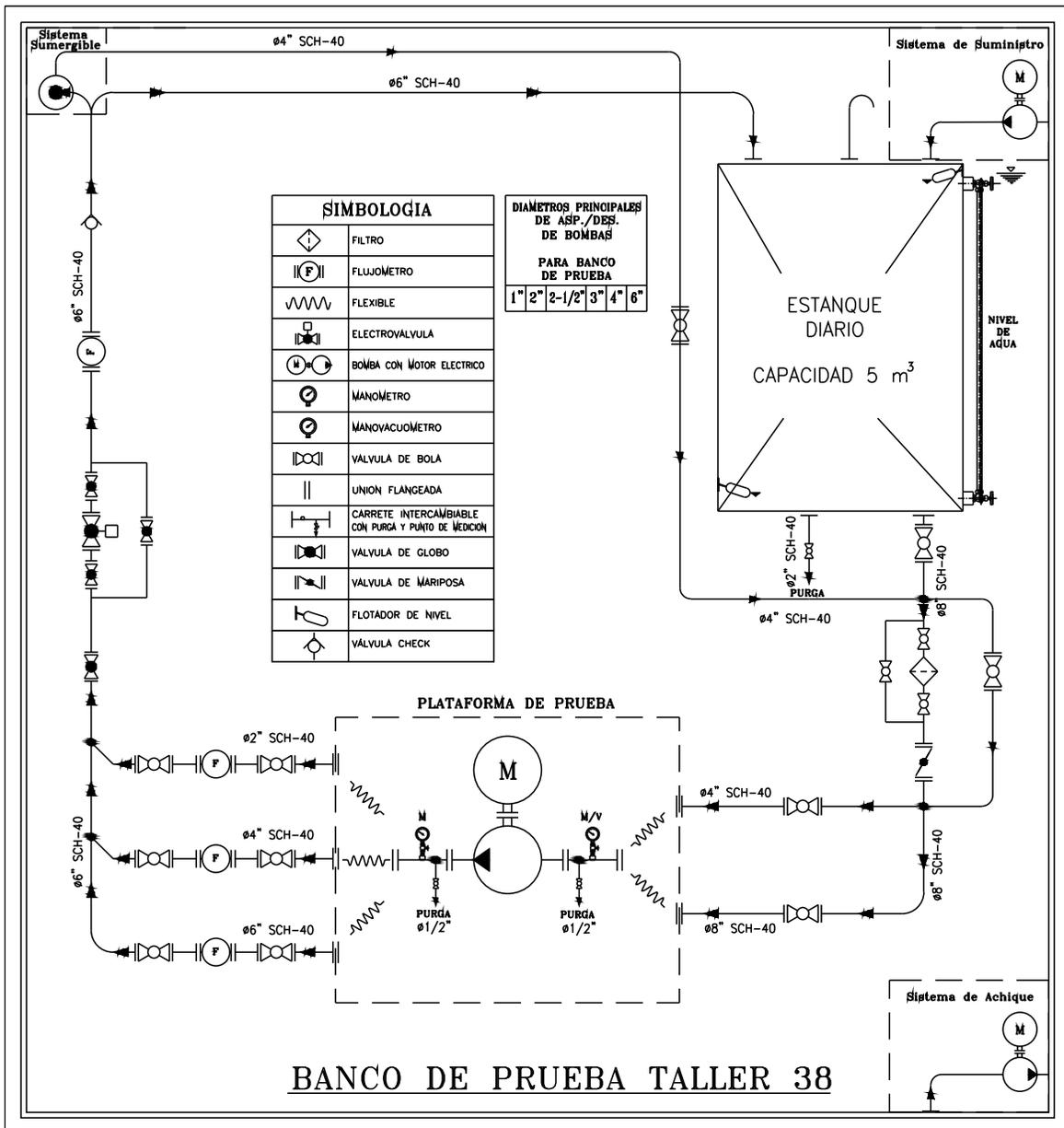


Figura 4.2 Esquema lógico con respecto a los principios de solución de las subfunciones (Fuente: Esquematización Propia. AutoCAD2023).

Este esquema es el resultado inicial en base a la estructura de funciones con las subfunciones y los principios de solución. De forma práctica, se deben combinar únicamente subfunciones compatibles, así como buscar soluciones que cumplan con las demandas de la lista de requisitos y que estén dentro del presupuesto propuesto (en este caso aún no determinado), y enfocarse en combinaciones prometedoras donde se establezca el por qué deberían preferirse por sobre el resto.

A continuación, se analizarán los principios más relevantes para generar y evaluar como variantes de soluciones posibles.

En cuanto al montaje eficiente se requiere que el banco tenga circuitos de succión y descarga en donde el fluido de prueba no exceda los límites de caudal y velocidad recomendada de acuerdo con las necesidades características de las bombas que usualmente son probadas. Teniendo en cuenta lo que establece el manual del U.S. Army Corps of Engineers, Liquid Process Piping [6] y los requisitos específicos de la Tabla II, se presentan los diámetros usuales de cañería con los respectivos caudales de trabajo en la Tabla IV.

*Tabla IV Caudales máximos en función de los diámetros y velocidades recomendadas (Fuente: [6]).*

<b>Dimensión</b>	$V_{\text{max recomendada}}$	$V_{\text{límite}}$	$Q_{\text{max recomendado}}$	$Q_{\text{límite de trabajo}}$
[pulg]	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]
<b>1</b>	3	4,5	6	9,0
<b>2</b>			23,4	35,1
<b>4</b>			88,8	133,2
<b>6</b>			201,4	302,1
<b>8</b>			348,5	522,8

Si bien se define una velocidad máxima recomendada de 3 m/s para evitar mayores fricciones y pérdidas de carga en el circuito, existe la recomendación de E.E. Stephenson [7] de 4,5 a 6 m/s de velocidad máxima en líneas de descarga, por lo que la primera recomendación no es estricta para el funcionamiento, pero sí para una operación más segura. Así, como se observa de la Figura 4.2, las líneas principales de succión representadas son de 4'' y 8'', mientras que la descarga presenta líneas de 2'', 4'' y 6''. Esto representaría una variante de solución con respecto a este punto, por lo tanto, la variante de solución 1 considera un circuito principal de cañerías del banco de pruebas para succión 4'' y 8'' y descarga de 2'', 4'' y 6''.

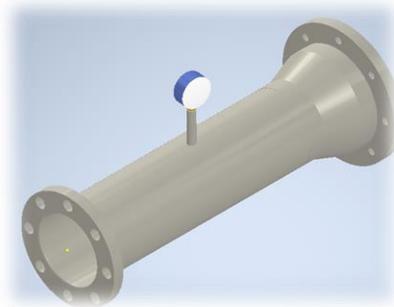
Otro principio de solución es la longitud eficiente de las mangueras, lo cual es difícil de determinar en esta etapa, por lo que se procede al siguiente principio relevante que tiene relación con los tramos de conexión directos entre las bombas y las mangueras. Esto a su vez, tiene relación con la medición de presión de acuerdo con normativa. Como se observa de la Figura 3.6, la norma ANSI/HI 14.6-

2022 indica que estos tramos deben ser del mismo diámetro y rectos, con un largo mínimo cuatro veces el diámetro de la brida de conexión de la bomba, y con un punto de medición a una distancia de dos veces el diámetro. Si bien la disposición y características geométricas de estos se debe determinar en base a los diámetros de bombas más comunes que se prueban, se generará previamente para su evaluación la variante de solución 2 y 3 las cuales compara el tipo de conexión hacia la manguera flexible.

La variante de solución 2, presente en la Figura 4.3, representa un acoplamiento rápido el cual podría adaptarse mediante unión roscada al carrete, mientras que la variante de solución 3, presente en la Figura 4.4, representa un acoplamiento entre bridas. Ambos sistemas deberían fabricarse y pueden contener en sus extremos expansiones o reducciones, o bien, ser del mismo diámetro. Se debe tener en cuenta que las presiones de trabajo de un acoplamiento rápido son menores que el de una brida, por lo que por seguridad no sería conveniente en todas las configuraciones, sin embargo, tiene la ventaja de requerir menor tiempo de conexión.



**Figura 4.3** VS2; Carrete brida a acoplamiento rápido según norma (Fuente: Diseño Propio).



**Figura 4.4** VS3; Carrete brida a brida según norma (Fuente: Diseño Propio).

La siguiente variante de solución tiene relación con la subfunción 2 de la Tabla IV, y la instrumentación para obtener los parámetros de prueba. Como se observó del proyecto anterior [1],

el banco de pruebas cuenta con su instrumentación para medir presión, caudal y temperatura del fluido, las cuales son presentadas en la interfaz de usuario que muestra la Figura 4.5. Estos instrumentos requieren de calibración para asegurar la confiabilidad de las mediciones realizadas, por lo que, dada la solución final determinada, es un requerimiento esencial que se debe cumplir y no se considera como un elemento de diferenciación para la evaluación de una solución final.

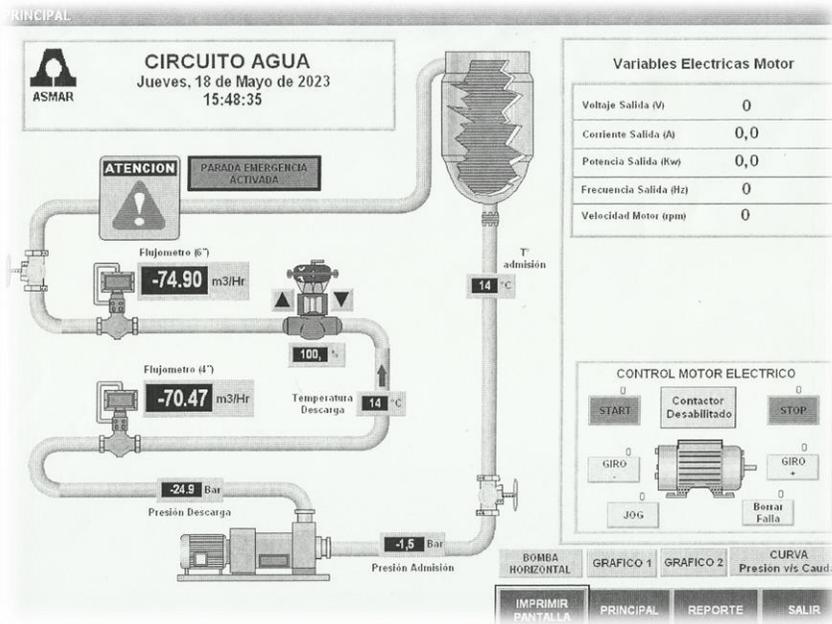


Figura 4.5 Interfaz del programa del banco de ensayos (Fuente: Impresión de Pantalla).

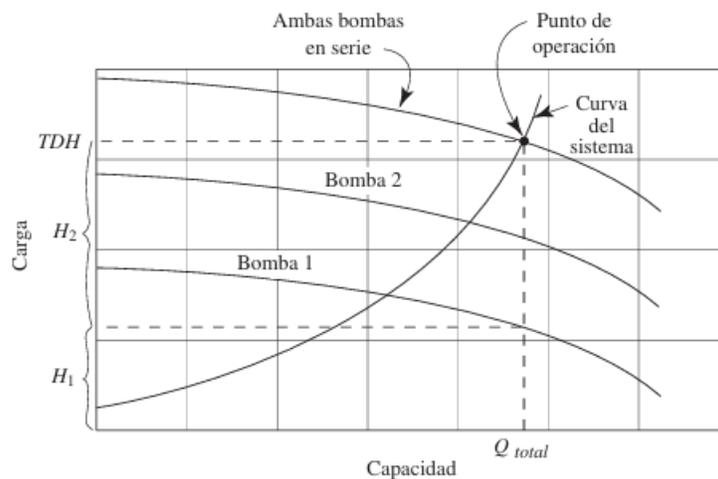
Dentro de los principios de solución de las subfunciones 3 y 4, desde un punto de vista de propuesta de valor, se considera la implementación de sistemas automáticos de captura y entrega de datos versus un manejo y control manual. Esto tiene relación con la electrónica y programación, y es una implementación que moderniza el sistema de operación del banco. El banco tiene implementada la interfaz de usuario, la que se observó en la Figura 4.5, donde se muestran los parámetros de operación, sin embargo, las curvas características no se generan automáticamente, así como la válvula de control no se encuentra operativa para realizar las restricciones. En su conjunto, la interfaz, la adquisición de datos, y el control de flujo podrían integrarse de forma automática, y a su vez, la generación de la curva característica. El control manual debe estar presente como ya es utilizado, pero se debe evaluar la modernización del sistema en estos aspectos, por lo que, de estos principios se evaluarán las siguientes variantes de solución: Para el control de flujo la variante de solución 4 se define como implementación de válvula de control automático del flujo desde la interfaz (ya sea determinando la posibilidad de reparar la existente u obteniendo una nueva, ya que cual sea la solución final, la presencia de esta en el sistema es uno de los requisitos esenciales). Con respecto a la adquisición de

datos la variante de solución 5 se define como adquisición y generación automática de informe rápido del estado de funcionamiento del equipo desde la interfaz. Esto puede implicar una actualización de la interfaz y su relación con el operador, lo que a su vez dirige a la posibilidad de la variante de solución 6, que se define como la generación automática de la curva característica de la bomba en prueba. Aun así, los informes de prueba ya existentes como instructivos de trabajo [1] deben mantenerse como un documento generado y revisado por el operador.

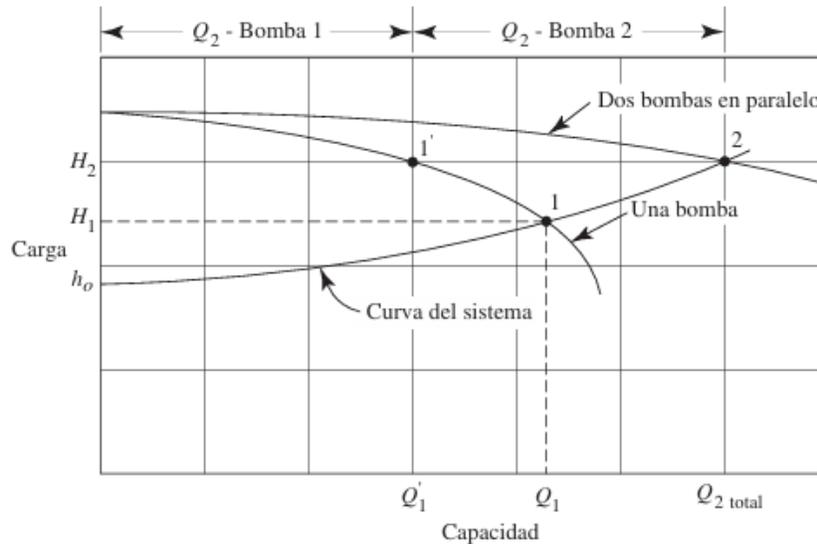
Luego, de la subfunción 5, control mecánico y eléctrico, el banco ya contempla la medición de vibraciones y temperaturas por parte del personal operador, así como las variantes eléctricas. De este conjunto de principios de solución se puede exponer la variante de solución 7 presentada como captura y visualización en tiempo real de las variables de operación sintomatológicas y eléctricas en la interfaz de usuario. Como las variables eléctricas y mecánicas, como potencia de entrada que transmite el motor eléctrico a la bomba, y la potencia que la bomba entrega al fluido, podrían ser incluidas en la visualización de la interfaz, esto complementaría una variante de solución para lo expuesto en relación con la subfunción 6. Denominada como variante de solución 8, la entrega de la eficiencia de operación de la bomba en la interfaz de usuario.

Con respecto a las subfunciones adaptativas y específicas, estas han sido incluidas como parte de la propuesta de valor que permitirán aumentar las capacidades, en cuanto a funcionalidades, y servicios del banco de pruebas. Se evaluarán los principios de solución de estas, expuestas en la Tabla III, para desarrollar variantes de solución.

El desarrollo de pruebas de bombas en serie o paralelo implica la existencia de una nueva curva característica de bombeo en la cual aumenta la presión y el caudal respectivamente según el tipo de combinación, como se observa de la Figura 4.6 y 4.7.



**Figura 4.6** Rendimiento de dos bombas que operan en serie (Fuente [10]).



**Figura 4.7** Rendimiento de dos bombas que operan en paralelo (Fuente [10]).

Para el punto de operación de ambos casos, la presión y caudal de prueba aumentarían, es decir, para que sea una prueba segura se debe verificar previamente que este caudal no sobrepase los máximos recomendados en la Tabla II según los diámetros de la línea utilizada. Para el caso de prueba de bombas en serie esto beneficiaría en reducir el tiempo de prueba que se requeriría para cada bomba por separado en el caso de una sobre exigencia con respecto a la carga de trabajo, sin embargo, esto se daría en el caso de que las bombas fueran iguales, ya que la función principal del banco de pruebas es determinar el correcto funcionamiento en base al desarrollo de la curva de bomba y la verificación del punto de operación óptimo específico de cada una. Similar sería el caso en pruebas de bombas en paralelo, sin embargo, existe el registro de prueba de bombas de dos volutas impulsadas por un único motor, como se observa de la Figura 4.8, por lo que en ese caso el caudal de operación aumentaría y se debe tener el cuidado de no sobrepasar las velocidades recomendadas. Otra opción es montar bombas en paralelo, pero realizar las pruebas de forma independiente, lo cual tendría el beneficio de ahorro de tiempo con respecto al montaje y preparación de las pruebas. Disponer de los elementos que permitan conectar y obtener los parámetros de operación entre los equipos en prueba, además de realizar un montaje eficiente serían los puntos clave para evaluar la conveniencia de este tipo de pruebas y que sean realizadas con éxito, es decir dependerá de la configuración del circuito existente en conjunto con los elementos definidos en las variables de solución 2 o 3. Ante esto, y en conjunto con el primer principio de solución de la subfunción 8, se define la variante de solución 9 como, circuito adaptable y variable a través de uniones por bridas (flanges), por lo que se debe determinar los rangos de operación y disponibilidad del sistema ante posibles pruebas en serie o paralelo, así como, de ser necesario, aumentar la capacidad eléctrica del banco de pruebas, lo que se define como variable de solución 10.



**Figura 4.8** Fotografía de bomba de dos impulsores montada en banco de pruebas (Fuente: Fotografía propia).

Ante la implementación de un circuito variable, es decir que se puede adaptar a través de sus uniones por bridas, existe la posibilidad de implementación de un circuito de prueba sumergible o bajo nivel. La variante de solución 11, se define como creación de un circuito para pruebas sumergibles o con fluido bajo línea de succión de la bomba.

Otra de las subfunciones consideradas para la modernización del banco es la implementación de un sistema automático de llenado del estanque y achique del pozo, lo que requeriría de un sistema de medición de nivel preciso y eficiente en conjunto con bombas que trasladen el fluido, para dar una solución automatizada y confiable, ya sea con un sistema de alarma (sonora o lumínica) para dar funcionamiento a estas bombas o con un sistema completamente autónomo. Para ello se define la variante de solución 12 como, implementación de sensores de nivel en conjunto de bombas para el llenado y achique automatizado dentro del banco. Dentro de esto se debe definir los tiempos requeridos que sean eficientes para estas operaciones, y si, además, dada los requerimientos de aumento de las capacidades y optimización del banco, si es necesario y factible el aumento de volumen del estanque disponible para las pruebas, y si la cantidad de líquido desperdiciado se controla para su disminución, con lo cual se tendrán las variables necesarias para realizar una correcta selección de las bombas.

Por último, dadas las soluciones que sean implementadas, el servicio de pruebas de bombas debe ser complementado por la óptima operación y asistencia de los líderes de estas pruebas, incluyendo aspectos técnicos y de seguridad. Para ello se propone la variante de solución 13 que se define como capacitación técnica, seguridad y confiabilidad en la operación y asistencia del servicio de pruebas de bombas. Esta pretende entregar los conocimientos desarrollados dentro de este proyecto, en conjunto con actividades y capacitaciones que sean consideradas pertinentes, hasta incluso el desarrollo de un programa de mantenimiento, proponiendo una visión integral.

En resumen, se han generado las siguientes variantes de solución;

- VS1: Circuito principal de cañerías del banco de pruebas para succión 4'' y 8'', y descarga de 2'', 4'' y 6''.
- VS2: Carrete brida a acoplamiento rápido según norma.
- VS3: Carrete brida a brida según norma.
- VS4: Implementación de válvula de control automático del flujo desde la interfaz.
- VS5: Adquisición y generación automática de informe rápido del estado de funcionamiento del equipo desde la interfaz.
- VS6: Generación automática de la curva característica de la bomba en prueba.
- VS7: Captura y visualización en tiempo real de las variables de operación sintomatológicas y eléctricas en la interfaz de usuario.
- VS8: Entrega de la eficiencia de operación de la bomba en la interfaz de usuario.
- VS9: Circuito adaptable y variable a través de uniones por bridas (flanges).
- VS10: Aumentar la capacidad eléctrica del banco de pruebas.
- VS11: Creación de un circuito para pruebas sumergibles o con fluido bajo línea de succión.
- VS12: Implementación de sensores de nivel en conjunto de bombas para el llenado y achique automatizado dentro del banco.
- VS13: Capacitación técnica, seguridad y confiabilidad en la operación y asistencia del servicio de pruebas de bombas.

Finalmente, las variantes de solución presentadas anteriormente se evalúan mediante un cuadro de selección, con los siguientes criterios según Pahl y Beitz [2];

- Criterio A. Ser compatibles con la tarea general y entre sí.
- Criterio B. Satisfacer las demandas de la lista de requisitos.
- Criterio C. Ser realizable con respecto al rendimiento, diseño, etc.
- Criterio D. Estar dentro de los costos permisibles.

Para la eliminación de soluciones inadecuadas, se aplica secuencialmente estos cuatro criterios. Los criterios A y B son adecuados para decisiones de sí o no y se aplican de manera sencilla. En cambio, los criterios C y D a menudo requieren un enfoque más cuantitativo y se utilizan una vez que se han cumplido los criterios A y B. Es importante tener en cuenta que los criterios C y D no solo eliminan

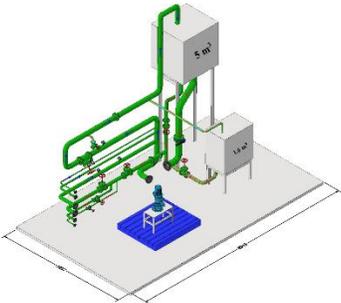
soluciones que no cumplen con los requisitos, sino también aquellas que exceden innecesariamente dichos requisitos.

Los criterios de preferencia aplicables a ciertas soluciones son;

- Criterio E. Incorporar medidas de seguridad directas o introducir condiciones ergonómicas favorables.
- Criterio F. Son los preferidos por la empresa; es decir, puede desarrollarse fácilmente con los conocimientos, materiales y procedimientos habituales y en condiciones favorables de patente.

Entre un gran número de alternativas, primero se eliminan las propuestas completamente inadecuadas. Si aún quedan demasiadas opciones, se da preferencia a aquellas que claramente sobresalen del resto. Es así, como la Tabla V contiene la primera evaluación según estos criterios, lo que permite reducir variantes de solución para la siguiente etapa.

*Tabla V. Tabla de Selección (Fuente: Realización Propia, [2])*

ASMAR (T)		Tabla de Selección Para Banco de Pruebas								
Variantes de Solución (VS)	<b>Variantes de Solución (VS) evaluadas por;</b>						<b>Marcar variantes de solución (VS)</b>			
	<b>CRITERIO DE SELECCIÓN</b>						<b>DECISIÓN</b>			
	(+)						(+)		Buscar Solución	
	(-)						(-)		Eliminar Solución	
	(?) Falta de Información						(?)		Recopilar Información (Reevaluar la solución)	
	(!) Consultar lista de requisitos						(!)		Consultar lista de requisitos para ver cambios	
	Compatibilidad Asegurada	Cumple con las exigencias de la lista de requisitos	Realizable en principio	Dentro de los costos permitidos	Incorpora medidas directas de seguridad	Preferido por la empresa	Observaciones	Decisión		
	A	B	C	D	E	F				
	VS1	+	+	+	?	+	+	Costos aún por definir	+	
	VS2	-	+	-	?	-	+	Se pueden fabricar en parte	-	
VS3	+	+	+	?	-	+	Se pueden fabricar	+		
VS4	+	+	+	?	+	+	Se debe evaluar reparación o reemplazo	+		

VS5	+	+	-	?	-	+	Evaluar con equipo de ingenieros electrónicos	+/?
VS6	+	+	-	?	-	+	Evaluar con equipo de ingenieros electrónicos	+/?
VS7	+	+	-	?	+	?	Mayor compatibilidad con la obtención de variables eléctricas	+/?
VS8	+	+	-	?	-	?	Evaluar con equipo de ingenieros electrónicos	+
VS9	+	+	+	?	-	+	Beneficioso para mantenimiento	?
VS10	-	+	?	?	+	?	Evaluar según los requerimientos	?/!
VS11	-	+	-	?	?	?	Evaluar condiciones para su construcción	-/?
VS12	+	+	+	?	+	+	Se requiere información para la correcta selección	+
VS13	+	+	+	?	+	+	Desarrollado en conjunto por ingenieros y operadores	+

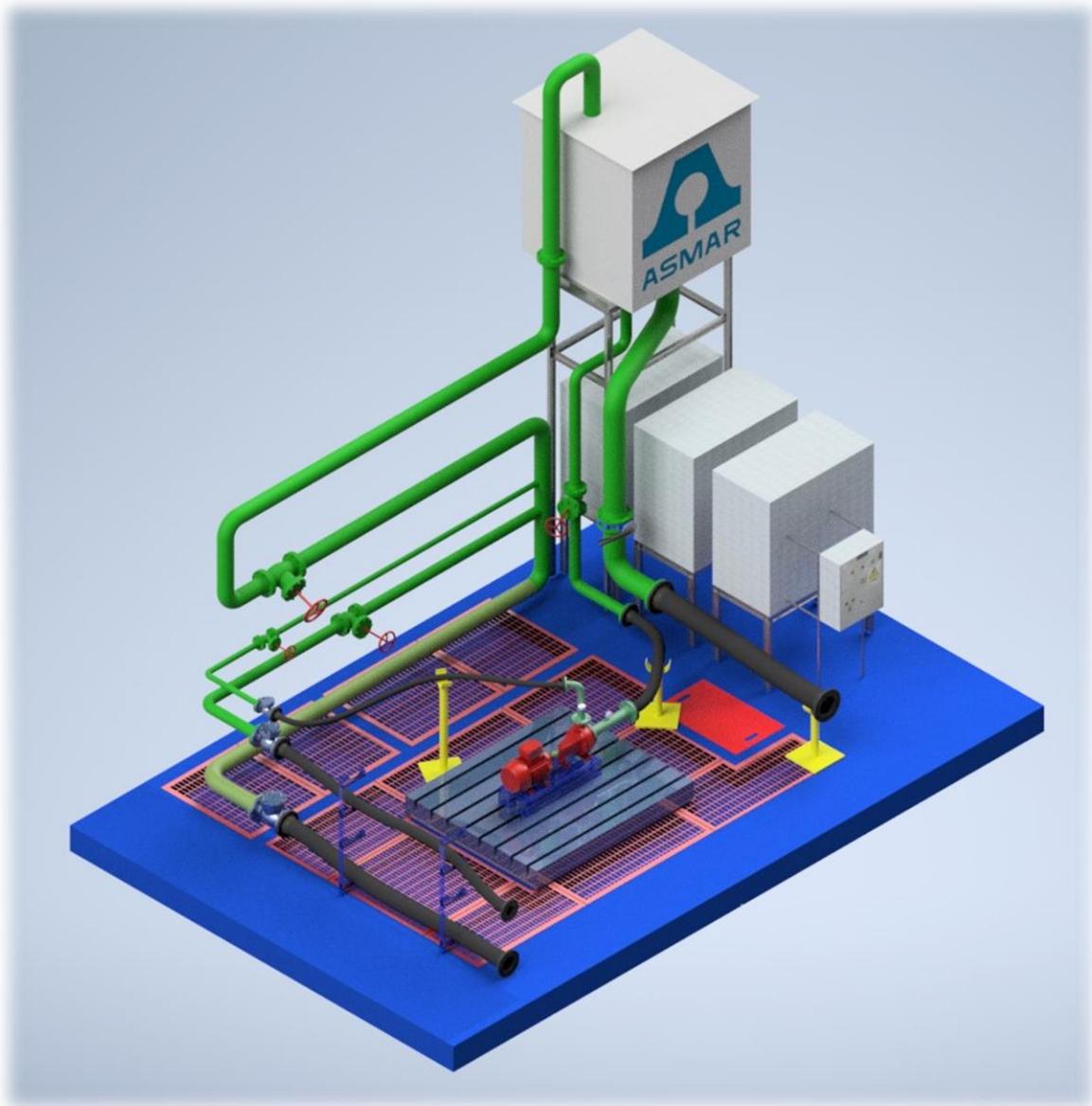
### 4.3. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y MODELOS

La búsqueda de una solución se basa en la estructura funcional, apuntando al cumplimiento de una función técnica, y dicha solución está determinada por los objetivos y limitaciones generales. Se consideran objetivos generales el cumplimiento de las funciones técnicas, lograr viabilidad económica, y cumplir con los requisitos de seguridad para las personas y el medio ambiente, lo cual debe imponerse por razones éticas. Estos objetivos ya se han desarrollado en el transcurso de esta memoria, y antes de que se puedan evaluar las variantes conceptuales de solución, es necesario consolidarlas, lo que implica un esfuerzo considerable dentro de las etapas de diseño.

Se requiere conocer, al menos aproximadamente, características importantes de los principios de funcionamiento (como los rangos de trabajo), de realización (como el espacio disponible), y las limitaciones específicas que puedan surgir. Será necesario obtener información más detallada para combinaciones prometedoras, y si es necesario, luego de recopilar más información se debe realizar un segundo o tercer proceso de selección.

A continuación, se desarrolla la construcción de modelos primarios (sin completar en cuanto a detalles de composición con componentes que no influirán en la decisión final al eventualmente ser requeridos independiente del modelo) que complementan el análisis y la visualización de las posibles soluciones. La ventaja principal de esto es poder determinar las posibles configuraciones y disposición de las líneas de succión y descarga, simulando la conexión de distintas bombas y montaje de los circuitos para una posterior evaluación.

Como primer modelo se tiene el presente en la Figura 4.9, el cual representa una mínima intervención a la actual configuración del banco de pruebas.

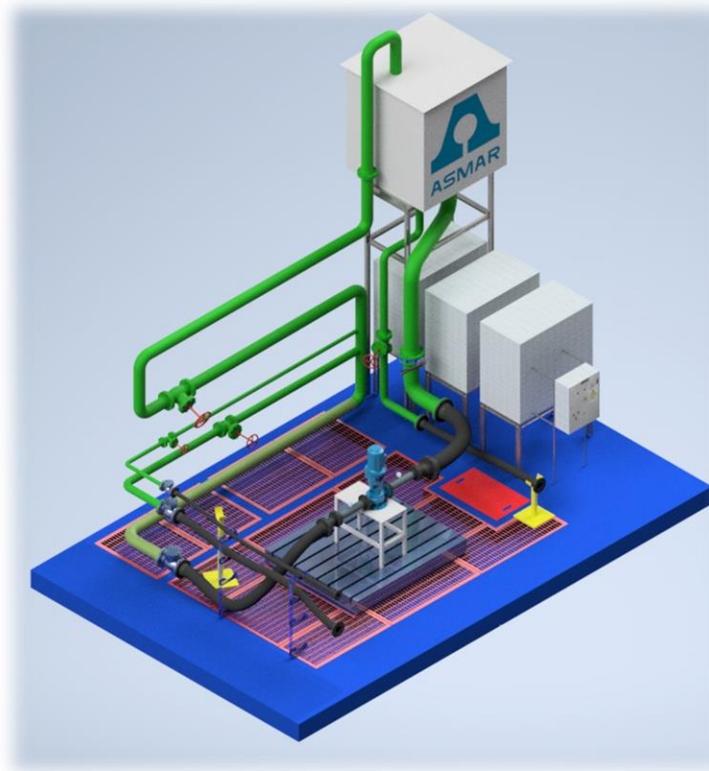


**Figura 4.9** Modelo propuesto N°1 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).

Se observa de este, en comparación con lo representado en la Figura 3.2, la eliminación de gran parte del tramo de succión de 4'', utilizando además un tramo en la dirección de succión de lo que es la línea de 4'' del estanque de 1600 litros, el cual ya no se tiene presente dentro del circuito. Para el codo final del tramo de succión de 8'' se realiza un giro a 90°, y así ambas conexiones de succión quedan en la misma posición por el costado derecho del banco.

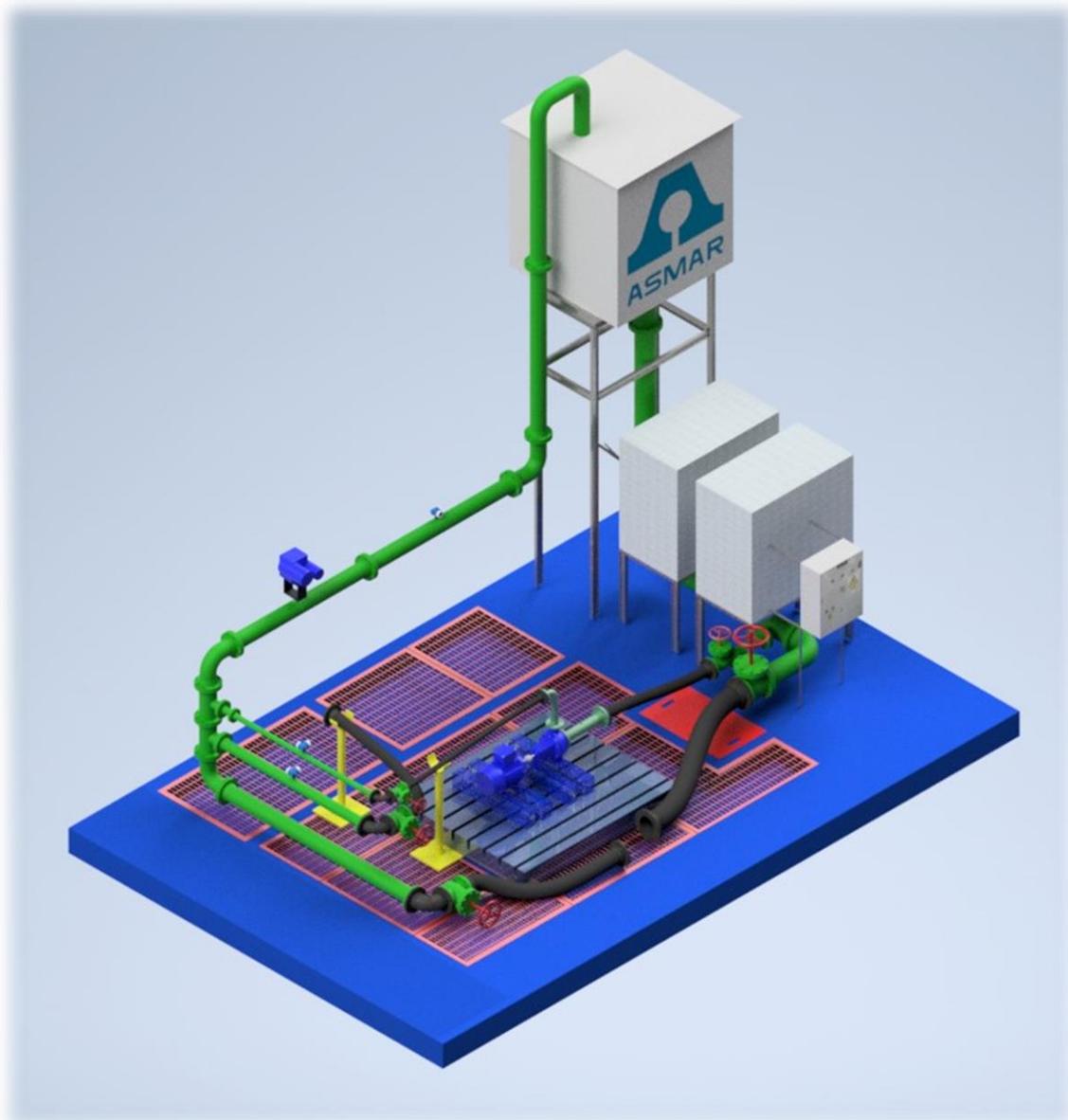
Con respecto a las líneas de descarga, se conserva las de 4'' y 2'', con la incorporación de un tramo de descarga de 6'' (representado con color verde olivo), quedando las tres conexiones de descarga en la misma posición por el costado izquierdo del banco. Además, previo a la conexión a los tramos de flexible, se incorporan válvulas anti-retorno (representadas con color azul), esto evitaría, como ocurre actualmente, una mayor pérdida de agua al desmonte posterior de la prueba de bomba. La pérdida sería, en la succión, el volumen de líquido posterior a las válvulas de corte, y en la descarga, el volumen de líquido dentro de los flexibles, los cuales para ambas secciones se mantendrían de las mismas dimensiones y largos (ya que es el modelo de menor intervención, por ende, de menor costo de implementación).

Del modelo N°1 además se observa el montaje de una típica bomba centrífuga de incendio, con las conexiones rectas según normativa. De la Figura 4.10, se observa el montaje de una bomba vertical dentro de este mismo modelo, conectada a una succión de 8'' y descarga de 6''.



**Figura 4.10** Bomba vertical en Modelo propuesto N°1 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).

Como segundo modelo, se tiene el presente en la Figura 4.11, el cual representa una mayor intervención, reemplazando la mayoría de los circuitos actuales. Se elimina el circuito del estanque de 1600 litros, además del propio estanque, lo que permitiría desplazar los dos estanques de petróleo y aceite presentes del circuito existente al costado de este banco de pruebas. Esto dejará un espacio libre para una trayectoria más recta de la succión, para luego pasar por debajo de los estanques más pequeños. Siendo una sola línea de 8'', a la cual se le incorpora dentro del tramo final una salida de 4'', ambas ubicándose por el lado derecho en una posición de frente a la plataforma de montaje.



**Figura 4.11** Modelo propuesto N°2 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).

Para la descarga, se tiene desde la posición izquierda, de frente a la plataforma de montaje, las líneas de 6", 4" y 2", con la incorporación de válvulas de control previo a la conexión de flexibles (con la misma intención del modelo anterior en disminuir las pérdidas de agua en al desmontar). Las líneas de 4" y 2" se incorporan en la línea común de 6", disminuyendo así pérdidas de cargas por tramos de mayor extensión como lo previsto en la Figura 3.2, y al extender las líneas de cañerías a una posición frontal, se disminuiría el largo de flexibles requeridos, lo que también representa una mejor maniobrabilidad en el montaje. Al igual que en modelo anterior, se visualiza el montaje de una bomba centrífuga con conexiones similares de 4" a 2" en la succión y descarga respectivamente, además, se previsualiza las posibles posiciones de la instrumentación, como flujómetros en las distintas líneas de descarga, y la válvula de control automático en la línea común de 6"

De la Figura 4.12, se observa el montaje de una bomba vertical, y un cambio en la totalidad de las uniones del circuito, en donde es a través de flanges y codos, como se aprecia a la descarga del estanque, esto a diferencia de una cañería plegada como en la Figura 4.11, lo cual permite observar estos detalles singulares como opciones para evaluar y definir en la ingeniería básica y de detalle, así mismo como la incorporación o no de las válvulas anti-retorno.



**Figura 4.12** Bomba vertical en Modelo propuesto N°2 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).

Finalmente, como tercer y último modelo desarrollado, el cual se presenta en la Figura 4.13, se tiene una configuración similar al modelo N°2, incorporando un circuito con estaque bajo el nivel de la plataforma de prueba. Se compone de circuitos totalmente flangeados que permiten unir las líneas de succión y descargas, pero independizar a través de válvulas.

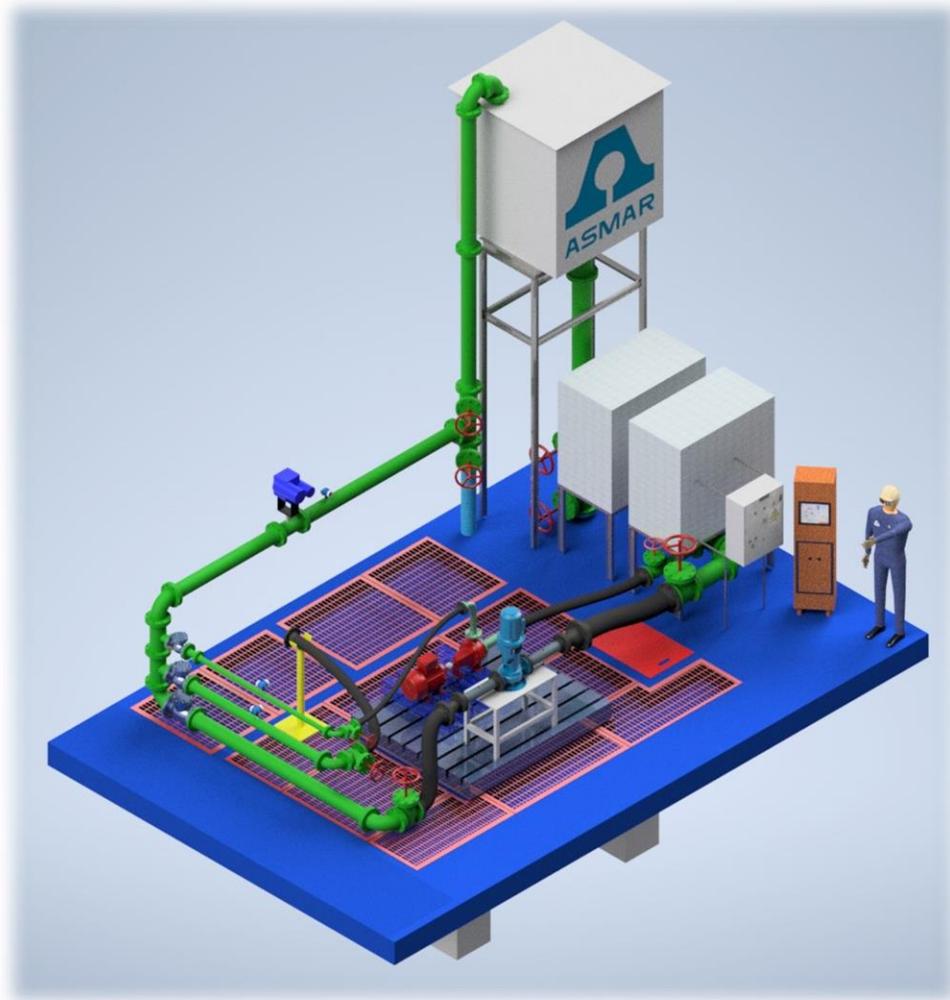
A diferencia del anterior, y al igual que en el modelo N°1, se incorporan válvulas anti-retorno, con la función principal de que el fluido no se desvíe a la línea que no se esté utilizando, lo que puede generar aumentos de presión en estas y mayores pérdidas al momento de las pruebas.



**Figura 4.13** Modelo propuesto N°3 (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).

Se considera y es dimensionado un estanque horizontal con características dimensionales de un estanque de 10 m<sup>3</sup>, y de la Figura 4.14, se logra tener una mayor apreciación de la conexión de dos

bombas, lo que también sería posible en los modelos anteriores, y es parte de los requerimientos, como el tipo de bomba mostrado en la Figura 4.8. Además, dentro de la visualización, se incluye el modelo del monitor de pruebas y un operador respectivo.



**Figura 4.14** Modelo propuesto N°3 vista isométrica superior (Fuente: Modelación propia. Renderizado Autodesk Inventor).

Cada uno de estos modelos representa distintas soluciones dentro de las funciones del banco de prueba, las que se pueden combinar entre sí, sin embargo, como aspecto general de solución que se ha visualizado y que se someterán a la evaluación final serán; un circuito reutilizado y mejorado (Modelo N°1), circuito nuevo adaptable (Modelo N°2), y un doble circuito nuevo adaptable (Modelo N°3). Al nombrar como adaptable, se refiere a su forma de unión (bridas) y como estas permiten variar la disposición del circuito en el espacio.

#### 4.4. CARACTERIZACIÓN DE MODELOS Y EVALUACIÓN DE SOLUCIONES

El desarrollo de las estructuras de trabajo previo se debe realizar hasta un estado que permita una evaluación, para finalmente, en esta etapa de concepto, poder tomar una decisión segura de la variante de solución principal. Es por ello por lo que se llevó a cabo el desarrollo de modelos vistos como solución general, y de esto, resultará útil obtener, a través de cálculos, los rangos de trabajos posibles, ya que el aumento de estos es parte de los requisitos esenciales dentro del problema.

Se definen cinco configuraciones en común entre los modelos, las cuales se clasifican en la Tabla VII. Para el desarrollo del Bernoulli de los circuitos sobre la plataforma de prueba se considera el punto 1 y 2 como la superficie del estanque, y la descarga a él, respectivamente. Para el circuito del estanque bajo la plataforma de prueba se considera el punto 1 y 2 como la entrada de succión del estanque, y la descarga al mismo estanque respectivamente. La fórmula resultante, accesorios y dimensiones consideradas se presentan en el Anexo A “Memoria de Cálculo”.

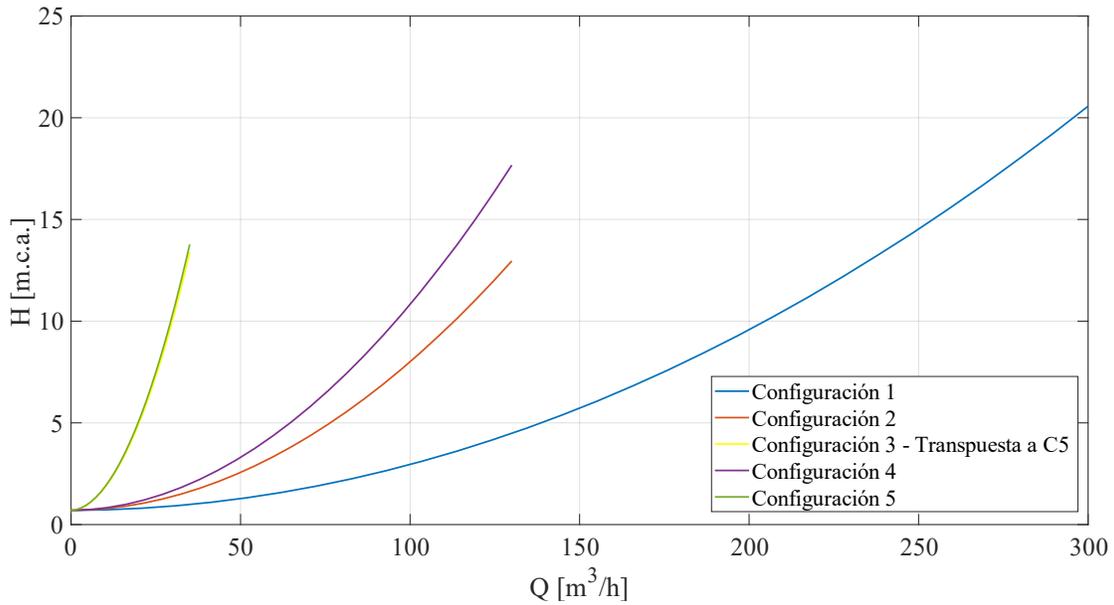
*Tabla VI. Configuraciones de Succión y Descarga de los modelos del banco de pruebas realizados (Definición Propia).*

<b>Estanque</b>	<b>Configuración</b>	<b>Descripción</b>
<b>5000 litros / 10000 litros</b>	$C_1$	Succión 8" a Bba - Descarga 6" a Estanque
	$C_2$	Succión 8" a Bba - Descarga 4" a Línea 6" a Estanque
	$C_3$	Succión 8" a Bba - Descarga 2" a Línea 6" a Estanque
	$C_4$	Succión 4" (Desde línea 8'' para M2 y M3) a Bba - Descarga 4" a Línea 6" a Estanque
	$C_5$	Succión 4" (Desde línea 8'' para M2 y M3) a Bba - Descarga 2" a Línea 6" a Estanque

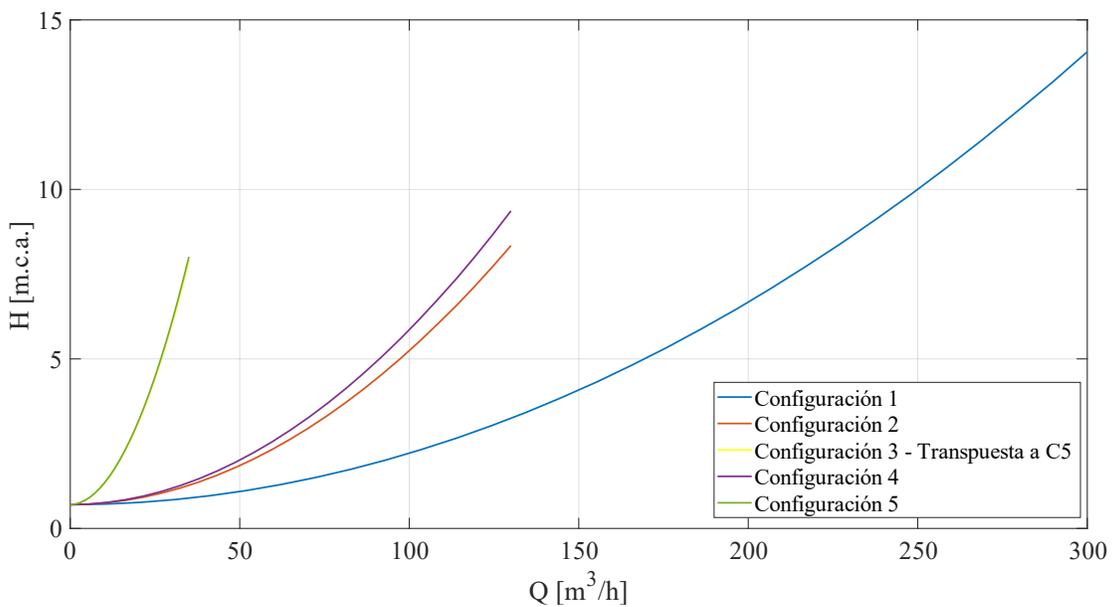
El gráfico de la Figura 4.15 representa las curvas características del Modelo Propuesto N°1, de este, y en comparación con las curvas del sistema del actual banco, se grafican hasta un caudal límite en que la velocidad máxima en cada configuración es de hasta 4,5 m/s, se observa como a un mismo caudal la presión o resistencia del sistema es menor, como por ejemplo para la Configuración 1 a los 200 m<sup>3</sup>/h, la presión requerida por la bomba es cercano a 10 m.c.a., mientras que, en el banco actual es cercano a 20 m.c.a., representando así una disminución cercana al 50% en la resistencia del sistema, y por ende un aumento de su capacidad.

Luego, el gráfico de la Figura 4.16 representa las curvas características del Modelo Propuesto N°2, el cual muestra otra disminución en la presión requerida con respecto a las curvas del sistema del Modelo N°1. Siguiendo el mismo ejemplo anterior, para la Configuración 1 a los 200 m<sup>3</sup>/h, la presión requerida por la bomba es cercano a 7 m.c.a., lo que representa una disminución de 30% con respecto al mismo punto en el Modelo N°1 y un 65% con respecto a la configuración actual.

Cabe destacar que estas comparaciones porcentuales son ejemplificadoras para un punto de una configuración en específico, lo que no representa, porcentualmente, una disminución equitativa en cada punto de los rangos de trabajos.

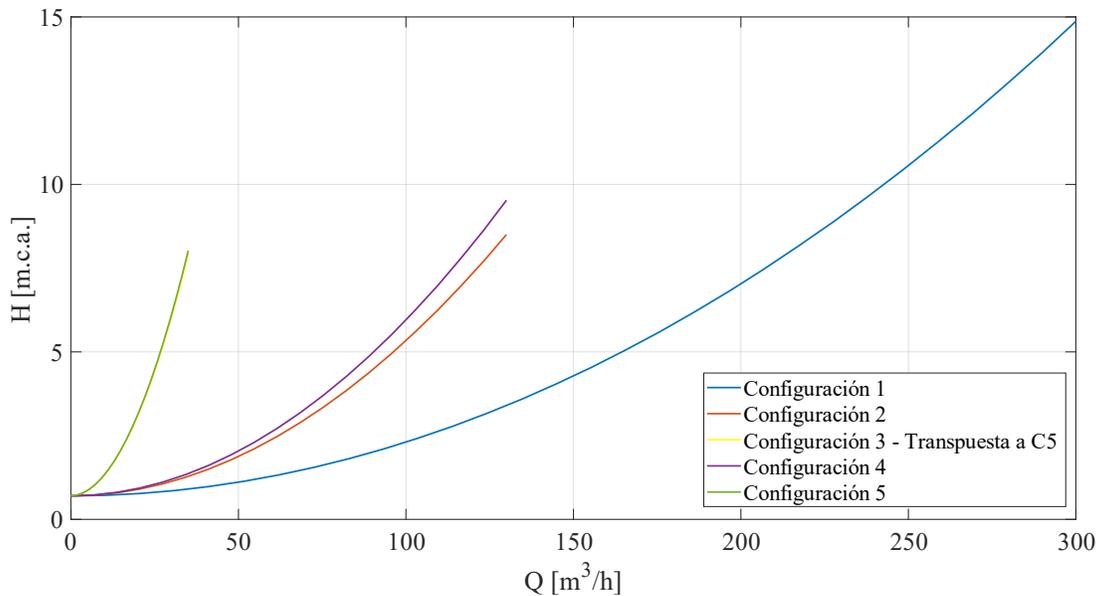


**Figura 4.15** Rangos de trabajo con respecto al Modelo N°1 (Fuente: Resultados de programación en EES).

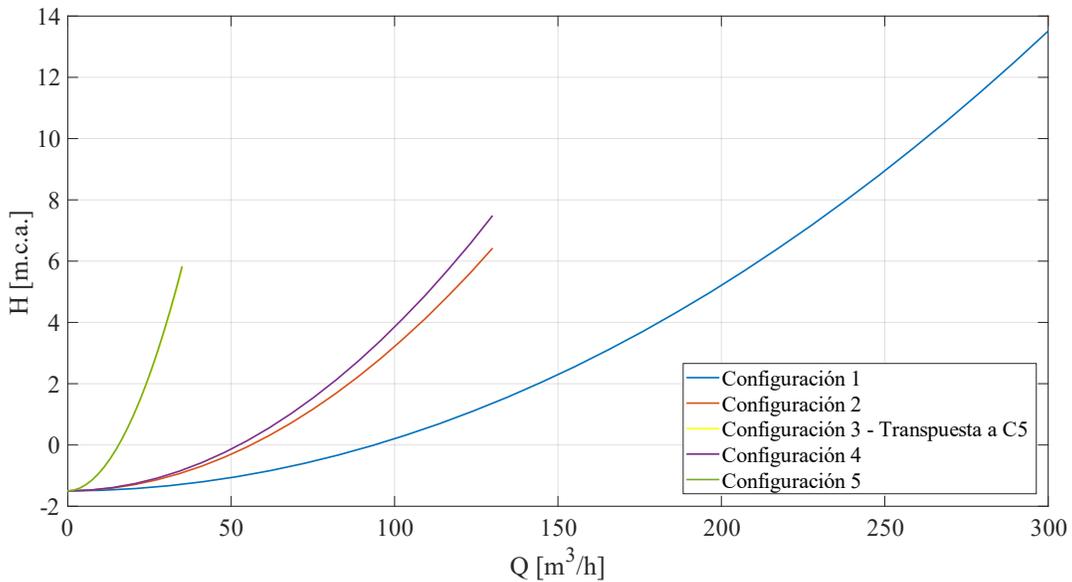


**Figura 4.16** Rangos de trabajo con respecto al Modelo N°2 (Fuente: Resultados de programación en EES).

Finalmente, las Figuras 4.17 y 4.18, representan las curvas características del Modelo Propuesto N°3. En primera instancia, se muestran los rangos de trabajo del circuito con estanque sobre el nivel de la plataforma de prueba, donde en comparación a los del Modelo N°2, en el cual se tiene la misma disposición de cañerías, estos son levemente menores, ya que se considera mayor presencia de fittings al tener codos flangeados por sobre tramos plegados de cañerías, además de las uniones con el otro circuito.



**Figura 4.17** Rangos de trabajo con respecto al Modelo N°3-1 (Fuente: Resultados de programación en EES).



**Figura 4.18** Rangos de trabajo con respecto al Modelo N°3-2 (Fuente: Resultados de programación en EES).

Para el caso del circuito con el estanque bajo el nivel de la plataforma de prueba se tiene una similitud en las curvas resistentes, sin embargo, al encontrarse el estanque por bajo el nivel de la plataforma de prueba, se tendrá una succión negativa, esto asimilado a las condiciones de las bombas de los buques. Comparando ambos circuitos, se tiene una condición más favorable con el estanque sobre nivel y menos favorable con el estanque bajo nivel, el cuál por consecuencia tendrá menor NPSH disponible. En cuanto a tipos de bombas, ambos circuitos permiten probar, de acuerdo con la capacidad de montaje de la plataforma, los mismos conjuntos motor bomba, lo que no hace una diferencia ante lo que sería un estanque abierto para, por ejemplo, bombas sumergidas o multi estados.

Finalmente, con toda la información recopilada y desarrollada hasta este punto se realiza el proceso de evaluación. Como lo indica Pahl y Beitz [2], los procesos de evaluación son más elaborados que los procesos de selección, aplicándose al final, teniendo como objetivo determinar el “valor”, la “utilidad” o “fortaleza” de la solución con respecto a un objetivo determinado, siendo de suma importancia identificar criterios de evaluación que abarquen todos los aspectos relevantes, evitando centrarse solo en aspectos individuales como el costo, la seguridad, ergonomía o el medio ambiente. Los métodos presentados por Pahl y Beitz no solo pretenden elaborar propiedades cuantitativas sino también cualitativas de las variantes, ya que, esto permite aplicarlas durante esta fase conceptual, donde se tiene un menor nivel de materialización e información. De estos, para el desarrollo de esta memoria, se utilizará el método de análisis costo-beneficio basado en el enfoque de sistemas.

El primer paso de este método es la elaboración de un conjunto de objetivos, los que inicialmente ya fueron planteados, y de estos, derivar los criterios de evaluación. Parte de estos se derivan principalmente de la lista de requisitos y restricciones generales que fueron identificadas en el transcurso de la búsqueda de solución, generando así un árbol de objetivos, los cuales individualmente se ordenan jerárquicamente. Al establecer criterios de evaluación, también llamados factores de ponderación, se debe evaluar la contribución relativa de estos al valor general de la solución. Las ponderaciones se basan en factores que van de 0 a 1, y al determinar su importancia el siguiente paso es la asignación de parámetros conocidos o determinados analíticamente, los cuales deberían ser cuantificables o, si esto es imposible, expresarse mediante declaraciones formuladas de forma concreta, lo que, para este caso de memoria, será lo más factible. La Figura 4.19 muestra el árbol de objetivos con respectivas ponderaciones dadas subjetivamente por el autor de esta memoria, en consideración con los aspectos relevantes determinados durante su desarrollo. Posteriormente estas deben ser evaluadas en conjunto por los interesados, siendo lo presentado una guía de evaluación sistemática, como lo ha sido también el procedimiento de diseño. En la Tabla VII, de estos subobjetivos del último nivel, se describen sus ponderaciones y se le son asignados los parámetros de evaluación correspondientes. El siguiente paso será dar valor a cada criterio de evaluación, donde dichos valores se derivan de una consideración de la escala relativa de los parámetros previamente determinados, los cuales, por lo tanto, igualmente tienen un carácter subjetivo. Pahl y Beitz define esta escala de valores, los que se muestran en la Tabla VIII [2], siendo posteriormente definidos y aplicados.

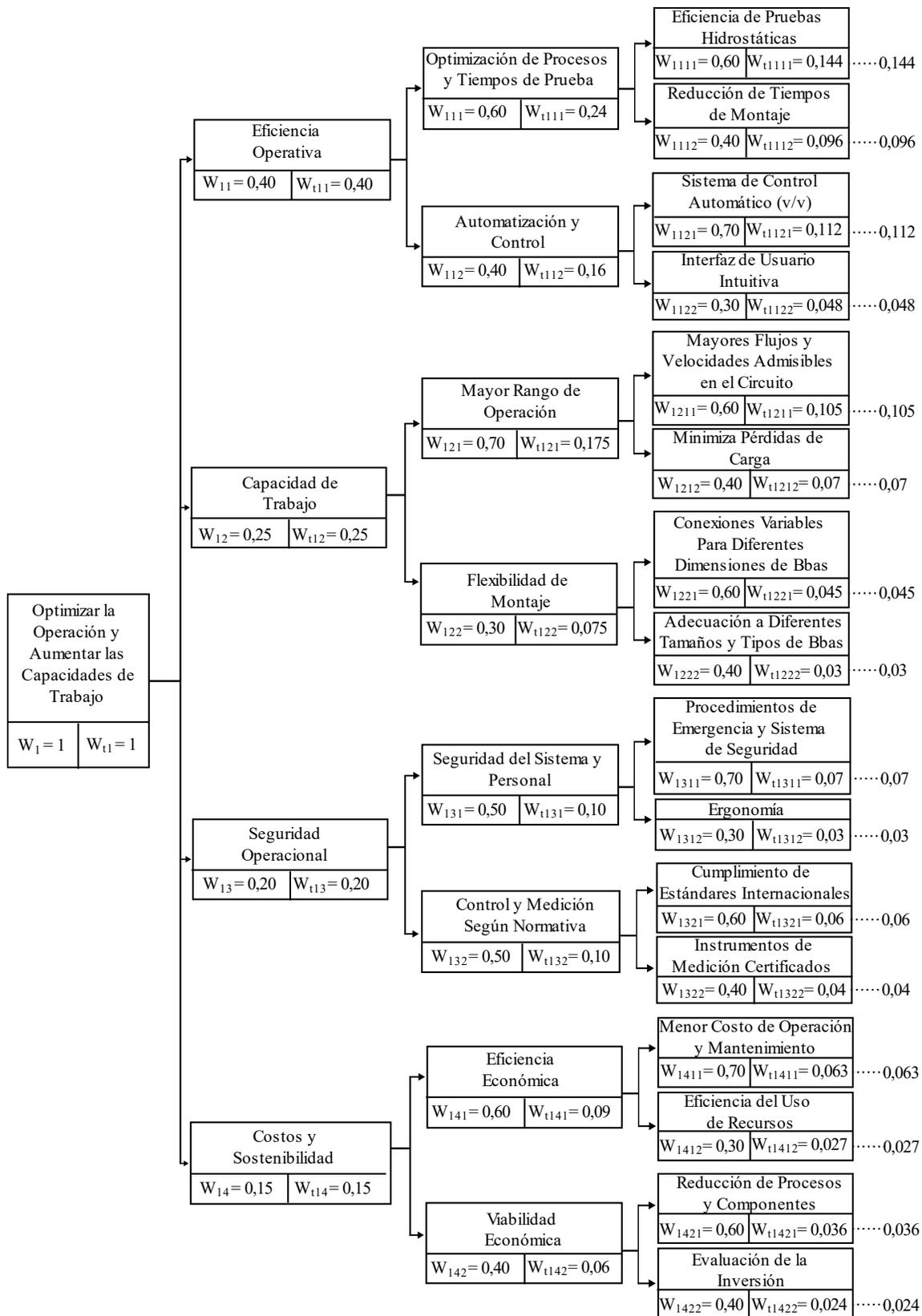


Figura 4.19 Árbol de Objetivos para Rediseño de Banco de Pruebas (Fuente: Realización Propia).  $\sum WZ = 1$

Tabla VII. Criterios de Evaluación y Sus Parámetros Objetivos (Definición Propia).

<b>Criterio de Evaluación</b>			<b>Parámetros</b>	
<b>N°</b>		<b>W<sub>i</sub></b>		<b>Unidad</b>
1	Eficiencia de Pruebas Hidrostáticas	0,144	Distribución eficiente de cañerías y fittings en el diseño.	-
2	Reducción de Tiempos de Montaje	0,096	Facilidad de montaje para preparar el banco de prueba para una nueva prueba.	-
3	Sistema de Control Automático	0,112	Grado de automatización con respecto a v/v de control y otros componentes durante las pruebas.	-
4	Interfaz de Usuario Intuitiva	0,048	Adaptabilidad de la Interfaz a la configuración del banco de pruebas.	-
5	Mayores Flujos y Velocidades Admisibles en el Circuito	0,105	Capacidad de flujo y/o velocidad admisible de forma segura en comparación con el diseño actual.	m <sup>3</sup> /h - m/s
6	Mínimiza Pérdidas de Carga	0,070	Porcentaje de reducción en las pérdidas de carga respecto al diseño actual.	%
7	Conexiones Variables Para Diferentes Dimensiones de Bbas	0,045	Grado de adaptabilidad a diferentes dimensiones de bombas.	-
8	Adecuación a Diferentes Tamaños y Tipos de Bbas	0,030	Cantidad de tamaños y tipos de bombas que se pueden montar en el banco.	-
9	Procedimientos de Emergencia y Sistema de Seguridad	0,070	Efectividad de los procedimientos de emergencia implementados.	-
10	Ergonomía	0,030	Nivel de comodidad y facilidad de uso para los operadores.	-
11	Cumplimiento de Estándares Internacionales	0,060	Nivel de ajuste a normativas y estándares específicos.	-
12	Instrumentos de Medición Certificados	0,040	Frecuencia de calibración y precisión de los instrumentos de medición.	-
13	Menor Costo de Operación y Mantenimiento	0,063	Tendencia de los componentes a requerir mantenimiento, durabilidad y facilidad para ser mantenidos.	-
14	Eficiencia del Uso de Recursos	0,027	Relación en la reutilización de componentes del diseño actual.	-
15	Reducción de Procesos y Componentes	0,036	Reducción en procesos y componentes respecto al diseño actual.	-
16	Evaluación de la Inversión	0,024	Evaluación de la relación costo-beneficio de la inversión realizada.	-
		$\sum W_i = 1$		

Del árbol de objetivos presentados en la Figura 4.19, se observan los subobjetivos derivados del objetivo general de esta memoria, “optimizar la operación y aumentar las capacidades de trabajo del banco de prueba”, en donde se encuentran ponderados en cada nivel. El ir desarrollando subniveles de objetivos aumentará el trabajo de evaluación de cada uno de estos, pero facilitará y simplificará la determinación de su parámetro, lo que es una ventaja cuando se tiene en evaluación un sistema integral como el banco de pruebas, el cual comprende componentes, que como ya se ha mencionado, podrían someterse a estos procesos de evaluación de forma individual. Estos parámetros de evaluación se definen para cada criterio en la Tabla VII, y por la característica general de evaluación del sistema, son en su gran mayoría aspectos cualitativos sin unidad de medida, a diferencia de los dos aspectos como la capacidad de flujo y porcentaje de pérdidas que se pueden determinar del proceso previamente realizado de caracterización de los modelos.

La Tabla VIII define la escala de valores con su significado, de 0 a 10 en la metodología de análisis costo-beneficio y su relación de 0 a 4 con la directriz VDI 2225, la cual es otra metodología de evaluación técnica y económica presentada por Pahl y Beitz, y perteneciente a la asociación de ingenieros alemanes VDI. Al requerir menor detalle para el desarrollo de las escalas, se utilizará la Directriz VDI 2225, correlacionando los puntos de esta con las magnitudes y características de cada parámetro, lo cual se presenta con mayor detalle en el Anexo “B” de esta memoria.

*Tabla VIII. Escalas de Valores (Fuente: [2]).*

<i>Escala de Valores</i>			
<i>Análisis Costo-Beneficio</i>		<i>Directriz VDI 2225</i>	
<b>Pts.</b>	<b>Significado</b>	<b>Pts.</b>	<b>Significado</b>
0	Solución Absolutamente Inútil	0	Insatisfactorio
1	Solución Inadecuada		
2	Solución Débil	1	Simplemente Tolerable
3	Solución Tolerable		
4	Solución Adecuada	2	Adecuado
5	Solución Satisfactoria		
6	Buena Solución con Pocos Inconvenientes	3	Bueno
7	Buena Solución		
8	Muy Buena Solución	4	Muy Bueno (Ideal)
9	Solución que Excede el Requisito		
10	Solución Ideal		

El análisis costo-beneficio define los valores de escala  $V_i$  como valores objetivos, y a los valores ponderados  $W_i$  como valores de beneficio. Es habitual, en la evaluación de productos técnicos, sumar

los valores objetivos, considerándose exacto en el caso de que los criterios de evaluación sean independientes, sin embargo, es común obtener el valor global a través del producto de estos, por lo que para cada variante (Modelos) evaluada en la Tabla IX el valor global se obtendrá como;

$$\text{No Ponderado: } OV_j = \sum_{i=1}^n v_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Ponderado: } OWV_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_{ij} = \sum_{i=1}^n wv_{ij} \quad (2)$$

Al comparar las variantes, se determina que la mejor es la que posee el mayor valor global, siendo una comparación relativa.

$$OV_j \rightarrow \max \quad \text{O} \quad OWV_j \rightarrow \max$$

En caso de ser insuficiente, se establece la calificación absoluta de las variantes, donde el valor global es referido a un valor ideal imaginario, resultante del valor máximo posible de la siguiente forma;

$$\text{No Ponderado: } R_j = \frac{OV_j}{v_{max} \cdot n} = \frac{\sum_{i=1}^n v_{ij}}{v_{max} \cdot n} \quad (3)$$

$$\text{Ponderado: } WR_j = \frac{OWV_j}{v_{max} \cdot \sum_{i=1}^n w_i} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot v_{ij}}{v_{max} \cdot \sum_{i=1}^n w_i} \quad (4)$$

Pahl y Beitz además indica que, si se dispone de información que permita realizar estimaciones de costes sobre las variantes, es aconsejable determinar por separado una calificación técnica de una calificación económica, sin embargo, para este caso y en este punto, ese método no aplicará dada la falta de información con respecto a los costes de las diferentes variantes de solución, las cuales son consideradas para cada modelo de la misma forma, por ejemplo, en cuanto a la variante de solución 6 (VS6) evaluada en la Tabla V, la cual se refiere a la interfaz de usuario y la propuesta de integrar el desarrollo de las curvas características, esto se acoge como aplicable en los tres modelos principales a evaluar, ya que además, como se indica en la Tabla II, es un requisito esencial, y no será un elemento diferenciador en la evaluación. Así mismo, dentro del Anexo “B” junto a las correlaciones realizadas se detallan las variantes evaluadas de acuerdo con los criterios presentados.

Finalmente, la evaluación y valoración realizada a los tres Modelos se presenta en la Tabla IX, en donde los dieciséis criterios de evaluación presentados en la Tabla VII son valorizados. Se puede observar como las puntuaciones finales son muy similares y los criterios diferenciadores se dan con respecto a la eficiencia para las pruebas hidrostáticas, la ergonomía, los costos de operación y el uso de recursos. Si bien los tres modelos cumplen con el objetivo principal de optimizar el proceso y aumentar las capacidades de trabajo, esto con leves diferencias, este proceso permite una evaluación más exhaustiva, cubriendo un espectro más amplio de objetivos que tienen relación con la lista de requisitos y las limitaciones generales de un rediseño, siendo así como el resultado visible de la Tabla IX indica que el Modelo N°2 representa la mejor solución conceptual, con la cual se desarrollará la fase de diseño de materialización y detalle.

Tabla IX. Evaluación de Modelos Propuestos (Fuente: Evaluación Propia [2]).

CE	Modelo N°1			Modelo N°2			Modelo N°3		
	Magnitud $m_{i1}$	Valor $V_{M1}$	Ponderación del Valor $WV_{M1}$	Magnitud $m_{M2}$	Valor $V_{M2}$	Ponderación del Valor $WV_{M2}$	Magnitud $m_{M3}$	Valor $V_{M3}$	Ponderación del Valor $WV_{M3}$
1	Tolerable	1	0,14	Bueno	3	0,43	Bueno	3	0,43
2	Adecuado	2	0,19	Bueno	3	0,29	Bueno	3	0,29
3	Bueno	3	0,34	Bueno	3	0,34	Bueno	3	0,34
4	Adecuado	2	0,10	Adecuado	2	0,10	Adecuado	2	0,10
5	>100 m <sup>3</sup> /h	4	0,42	>100 m <sup>3</sup> /h	4	0,42	>100 m <sup>3</sup> /h	4	0,42
6	50%	3	0,21	65%	4	0,28	65%	4	0,28
7	Bueno	3	0,14	Bueno	3	0,14	Bueno	3	0,14
8	Adecuado	2	0,06	Adecuado	2	0,06	Adecuado	2	0,06
9	Bueno	3	0,21	Bueno	3	0,21	Bueno	3	0,21
10	Tolerable	1	0,03	Adecuado	2	0,06	Adecuado	2	0,06
11	Bueno	3	0,18	Bueno	3	0,18	Bueno	3	0,18
12	Bueno	3	0,12	Bueno	3	0,12	Bueno	3	0,12
13	Adecuado	2	0,13	Bueno	3	0,19	Bueno	2	0,13
14	Bueno	3	0,08	Adecuado	2	0,05	Adecuado	2	0,05
15	Adecuado	2	0,07	Bueno	4	0,14	Bueno	3	0,11
16	Adecuado	2	0,05	Bueno	3	0,07	Tolerable	1	0,02
		$OV_{M1} =$ <b>39</b> $R_{M1} =$ <b>0,61</b>	$OWV_{M1} =$ <b>2,46</b> $WR_{M1} =$ <b>0,62</b>		$OV_{M2} =$ <b>47</b> $R_{M2} =$ <b>0,73</b>	$OWV_{M2} =$ <b>3,08</b> $WR_{M2} =$ <b>0,77</b>		$OV_{M3} =$ <b>43</b> $R_{M3} =$ <b>0,67</b>	$OWV_{M3} =$ <b>2,93</b> $WR_{M3} =$ <b>0,73</b>

## **CAPÍTULO 5. INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE**

En un procedimiento de ingeniería como el que se ha desarrollado hasta ahora, una vez elaborada la ingeniería conceptual y definido la solución principal, el siguiente paso es consolidarla. A diferencia de la ingeniería conceptual, la ingeniería básica o de materialización principalmente busca concretar los detalles de diseño, abordando aspectos específicos como la selección de materiales, métodos de fabricación, resistencias estructurales, etc, además de factores como disponibilidad de materiales, costos asociados y viabilidad en términos de producción o adquisición. Esto en general implica aplicar métodos de identificación de errores que determinan fallas de diseño, sin embargo, como lo expone Pahl y Beitz [2], dentro de los distintos enfoques de esta etapa, son muchos los productos que no se desarrollan desde cero, y más bien son desarrollos de mejoras de otros existentes, que contemplan nuevos requisitos, conocimientos y experiencias. Como menciona, y también como se ha dado este caso de memoria, ha sido útil comenzar analizando las fallas y los factores que perturban la solución existente, con lo cual se expuso una nueva lista de requisitos para llevar a cabo un desarrollo conceptual de soluciones, además de la construcción de modelos que en general son desarrollados en la etapa de materialización hasta obtener un diseño definitivo, lo que en parte tiene la finalidad de trabajar este hasta un punto que se pueda realizar un claro control de funcionamiento, durabilidad, montaje, costes, etc. Posterior a esto será posible preparar la documentación de diseño y producción final en la llamada ingeniería de detalle.

En la ingeniería básica es necesario aclarar, confirmar y optimizar cada detalle, lo que al examinar de cerca permite evidenciar que se ha seleccionado el concepto de solución correcto. En general este proceso comienza con diseños preliminares a escala de acuerdo con requisitos espaciales, lo que se realizó en gran medida en el capítulo anterior, gracias a la información dispuesta y la utilización de softwares de modelación, luego, se continúa considerando aspectos de seguridad, ergonomía, montaje, operación, mantenimiento, costos, entre otros, pudiendo evidenciar la variedad de interrelaciones entre las soluciones, teniendo un enfoque progresivo e iterativo.

Las reglas básicas de la ingeniería de materialización entregadas por Pahl y Beitz [2] son la claridad, simplicidad y seguridad. La claridad se refiere a la claridad de la función o falta de ambigüedad en un diseño, lo que facilita una predicción confiable del desempeño del producto final, ahorrando tiempo y análisis costosos. La simplicidad, en general, garantiza una viabilidad económica, con un número menor de componentes o formas simplificadas las cuales se producen más fácil y rápidamente. Por último, la seguridad tiene un enfoque hacia los problemas de resistencia, fiabilidad, prevención de accidentes y protección del medio ambiente. Al considerar estas tres reglas básicas se pretende combinar eficiencia funcional, económica y seguridad, permitiendo obtener una solución satisfactoria.

Además de estas tres reglas básicas, se presentan directrices como pautas de diseño, las que son internacionalmente conocidas como “Diseño para X”, las cuales ayudan a los diseñadores a cumplir

con los requisitos y restricciones específicas. Dentro de esta memoria se utilizarán implícitamente las directrices asociadas al proyecto de rediseño.

## **5.1. DISEÑO DE MATERIALIZACIÓN**

El proceso de materialización puede ser complejo ya que implica la realización de varias acciones de forma simultánea, otros pasos deben repetirse al adquirir más información, y las adiciones o modificaciones en un área pueden tener repercusiones en el diseño existente en otras áreas. Esto es algo para tener en cuenta dado el enfoque de sistema que es un banco de pruebas, y la necesidad de ser desarrollado desde el conjunto de las especialidades asociadas, principalmente mecánica, eléctrica y electrónica, recordando que el enfoque de esta memoria ha sido mayoritariamente desde el punto de vista hidráulico mecánico.

Utilizando la lista de requisitos, el primer paso de esta etapa es identificar aquellos que tienen relación con el diseño de materialización, los cuales determinan el tamaño, disposición, direcciones de flujo, componentes y materiales, para luego determinar las limitaciones espaciales o condiciones de borde que restringen el diseño. Ya determinada la solución principal, correspondiente al Modelo propuesto N°2, estos aspectos fueron identificados en gran medida, por lo que el siguiente paso será verificar que se cumplan con las restricciones espaciales generales y funciones principales, utilizando las reglas básicas y las directrices de diseño mencionadas anteriormente, por lo que la solución se mostrará de forma simplificada por áreas, para luego combinarlas en el diseño final.

### **5.1.1. LÍNEAS DE SUCCIÓN**

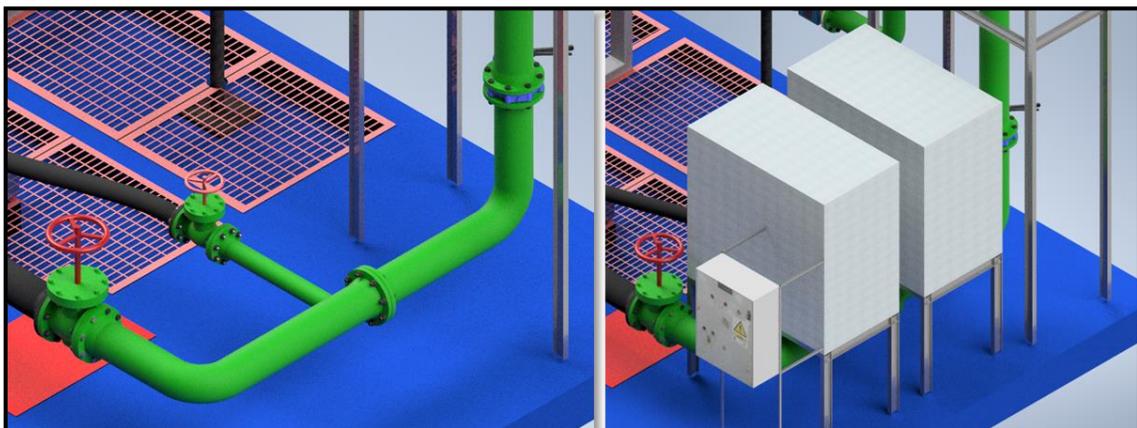
Una de las condiciones de borde principal es el rediseño dentro del espacio existente ocupado por el banco actual, con leves márgenes, dentro de los aproximadamente 35 m<sup>2</sup>. Además, dentro de los requisitos se encuentra la necesidad de reutilizar en lo posible y óptimamente ciertos componentes del banco, siendo uno de estos el estanque de 5 m<sup>3</sup>, no así será el caso para las cañerías, las cuales se estima su mayor beneficio, por aspectos de control y mantenimiento, y el tipo de unión flangeable, el cambiar en su totalidad. El astillero cuenta con la capacidad para la fabricación de este tipo de cañerías, las cuales se consideran de acero sch40, sin descartar la reutilización de estas, que como lo menciona Pahl y Beitz [2] dentro de este proceso de materialización, es un punto que se puede considerar. Dado que este estanque presenta su conexión de succión de 8'', es que se considera que la nueva línea, la cual por requerimiento debe cubrir dimensiones para pruebas de bombas de 1'' a 8'', sea instalada en la misma conexión. Es así como se observa de la Figura 5.1, la línea de succión desde la zona inferior del estanque, donde se consideró retirar el estanque pequeño de agua actualmente presente y descartado para el circuito, para desplazar los otros dos de aceite y petróleo, permitiendo que esta cañería descienda directamente en línea recta.

La succión posee en su conjunto 3 tramos flangeados de instalación de cañerías; el primero, recto desde el estanque, luego se presenta una válvula de mariposa Tipo Lug, para dar mayor seguridad al

desmontar, la cual se considera sea nueva. Esta válvula es considerada ya que la Norma ANSI/HI 14.6-2022 [8] la define necesaria para realizar pruebas de NPSH requerido de las bombas, tema que no será abordado con detalle en esta memoria. El segundo es un tramo plegado, el cual se uniría directamente al tercer tramo, siendo igualmente plegado, para ubicarse hacia la plataforma de prueba, y en este mismo, es posible incorporar mediante soldadura un tramo recto de 4'', quedando ambas líneas de 8'' y 4'' como se observa en la Figura 5.2, con finales de válvulas de compuerta que controlan el paso del flujo, además de disminuir la pérdida de agua posterior a las pruebas con respecto al diseño actual.



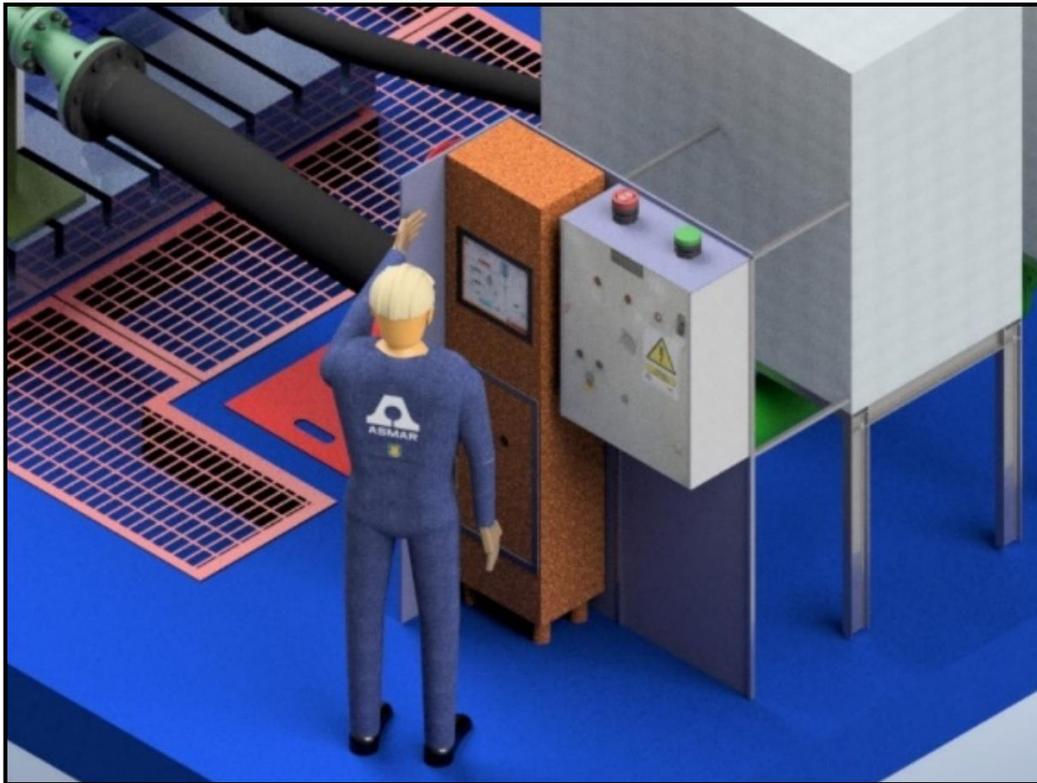
**Figura 5.1** Vista de Conexión de Líneas de Succión con Estanque (Fuente: Renderización Propia).



**Figura 5.2** Ubicación Espacial de la Línea de Succión (Fuente: Renderización Propia).

La forma de operar esta línea de succión es tener cerradas ambas válvulas de compuerta previo a la conexión con la bomba, mientras la válvula de mariposa puede encontrarse abierta en cualquier ocasión (totalmente abierta para las pruebas). Una vez conectada la succión de la bomba a través del flexible, se da apertura total a la válvula pertinente mientras la otra se encuentra totalmente cerrada (salvo que se realice una doble conexión para una prueba en paralelo, lo que sería diferente aun estando conectada, si es para una prueba de dos bombas de forma independientes), cebando así la bomba antes a iniciar la prueba.

En cuanto a ergonomía y seguridad de operación, ya se mencionó y evaluó la ubicación de conexiones que se encuentran frente a la plataforma y su ventaja para una conexión más directa, otro aspecto a considerar será la separación del área de prueba con el tablero e interfaz de control, para mitigar posibles contactos con el agua. Es por esto por lo que se desplaza levemente hacia un costado el tablero eléctrico y se considera la instalación de barreras separadoras o láminas metálicas que lo protejan junto con el equipo de interfaz, como se observa en la Figura 5.3, dado que se ubican en la cercanía de la línea de succión. Junto con esto se considera un sistema sonoro lumínico de operación sobre el tablero, el cual puede indicar la realización de una prueba, detención o distintos tipos de alarma dependiendo la situación.



**Figura 5.3** Protección en Operación de sistemas Eléctricos (Fuente: Renderización Propia).

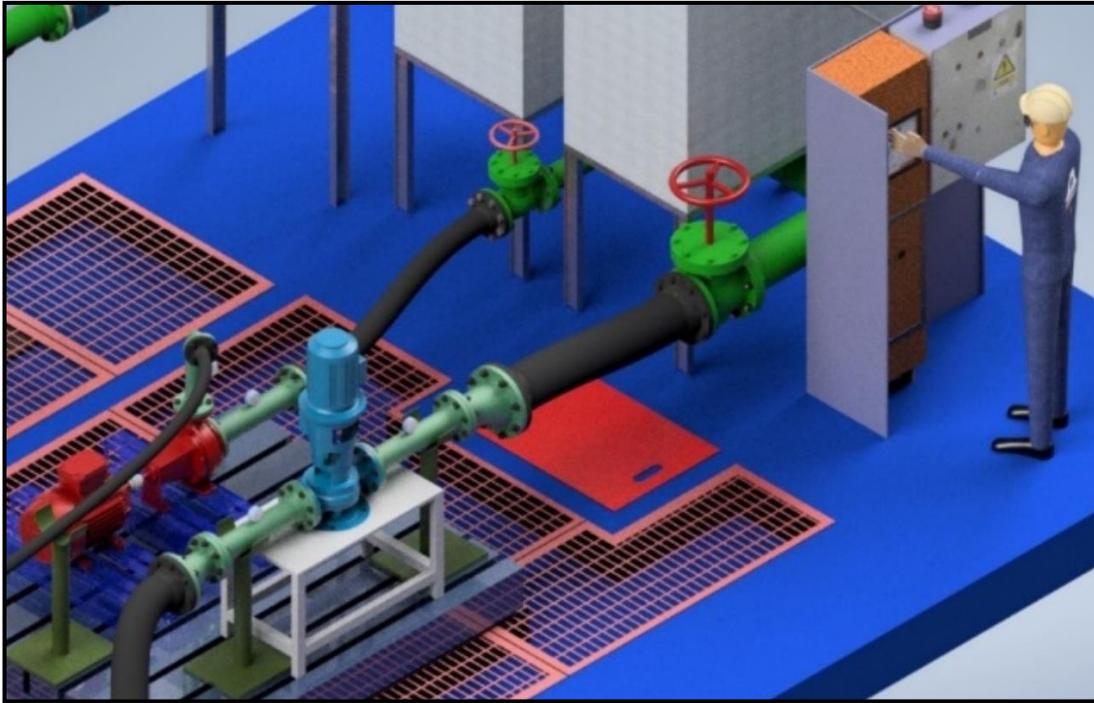
### 5.1.2. MONTAJE DE BOMBAS

En cuanto al montaje de las bombas, ya sea el requerimiento de una conexión o ambas como se observa de la Figura 5.4, serán necesarios los carretes de conexión que cumplan con lo expuesto por la Norma y que se presentó en la Figura 3.6. Es por lo que principalmente para este punto se siguió la pauta en cuanto a la directriz específica de Diseño para “X”, en que destacan principalmente para seguridad, confiabilidad, mantenimiento, etc, y en este caso será “Según Estándar”, es decir dentro de las distintas directrices presentadas por Pahl y Beitz [2], se aplica la de “Diseño Según Estándar”. El objetivo de la estandarización es simplificar el diseño, dando a los diseñadores un acceso fácil a soluciones ya conocidas. Las razones para estandarizar son la eficiencia y consistencia, al usar soluciones respaldadas y que funcionan, siendo relevantes en los procesos de diseño sistemático, como complemento y requisito, ya que la estandarización no compite con la búsqueda sistemática de soluciones, más bien, son un conjunto de herramientas confiables que se pueden combinar y usar de diferentes formas dentro de lo establecido, siempre apoyando a una solución simple, clara y segura.

Se definen en la Tabla X los largos de estos carretes para los diámetros más comunes, dado que para diámetros pequeños estos serían demasiado cortos, se define una longitud común que igualmente sea cómoda para el operador, siendo los de mayor diámetro los que representan mayor complejidad de montaje al ser de mayor masa. Sin embargo, para estos también depende la disposición de las conexiones de la bomba misma, como se observa de la Figura 5.4, para la bomba vertical, se tiene conectada a la línea de 8”, cumpliendo con el tramo recto por cuatro veces su diámetro para luego conectar por separado la reducción excéntrica (la cual es preferible por sobre una concéntrica para evitar generación de burbujas) que conecta con el flexible, similarmente esto se presenta hacia la descarga, comprendiendo dos componentes de conexión por separado, lo que tiene ventaja en maniobrabilidad para el montaje, pero un leve retardo en tiempos de conexión, lo que es despreciable frente a la seguridad que esto ofrece. Para la bomba horizontal que se observa montada en la misma plataforma se tiene un tramo recto de succión, donde no es necesario conectar una reducción o expansión, ya que al ser del mismo diámetro del flexible disponible se conectan directamente, por otro lado, la descarga de la bomba se encuentra hacia arriba, lo que requiere además del tramo recto por norma, un codo donde pueda conectar cómodamente con el flexible, este codo presenta una reducción de 2<sup>1/2</sup>” a 2”, siendo parte del mismo carrete.

Tabla X. Dimensiones Principales para Carretes Según Norma (Fuente: Designación Propia [8]).

Diámetro [Pulgadas]	Longitud [mm]	Carretes y Reducciones Comunes	
1"	300	1" a 2"	3" a 4"
2"	300	2" a 2"	3" a 8"
2 <sup>1/2</sup> "	300	2" a 3"	4" a 4"
3"	320	2" a 4"	4" a 6"
4"	420	2 <sup>1/2</sup> " a 4"	4" a 8"



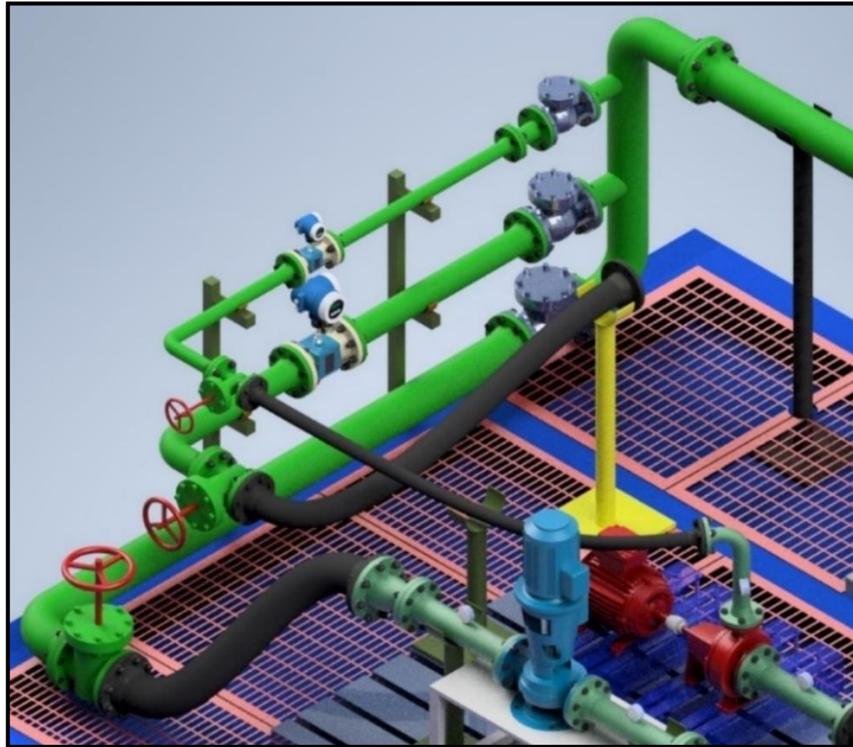
**Figura 5.4** Montaje de Bombas para Pruebas (Fuente: Renderización Propia).

La conveniencia de esto, al estar unidos o no los codos o reducciones para la conexión, dependerá del diámetro, teniendo el cuidado que el componente no sea difícil de montar ya sea por una carga excesiva. Como el caso de los carretes utilizados en la bomba vertical, se tienen carretes comunes de 4'' con el largo determinado por Norma, y a estos se les es más cómodo la adaptación de reductores dependiendo el flexible a conectar. Para dar firmeza a estos carretes y evitar que una vez conectados a los flexibles se genere una sobrecarga sobre la bomba, se considera el posicionamiento de soportes. Así finalmente, los puntos de medición de presión se deben ubicar centrados en cada carrete, ya sea con la utilización de manómetro análogo o los transductores de señal existentes.

### **5.1.3. LÍNEAS DE DESCARGA**

En cuanto a las líneas de descarga, desde la conexión con flexibles como se observa de la Figura 5.5, se cumple con el requisito de disponer de conexiones de 6'', 4'' y 2''. Estas se conforman en un inicio por válvulas de compuertas, las que son idóneas para un control de flujo manual, además de tener la misma finalidad de reducir las pérdidas de fluido posterior a las pruebas, cerrando por completo previo al desmontaje. Luego para la línea de 4'' y 2'', las cuales son sostenidas mediante apoyos, se ubican los flujómetros digitales flangeados a una distancia posterior a los codos, en la zona recta de la cañería por sobre 5 veces el diámetro de la línea, como lo indica el fabricante Endress & Hauser [11]. La línea principal es la de 6'', previo a la unión de las líneas de 4'' y 2'' a esta, se ubican válvulas

de retención, así mismo, a la misma altura se ubica una en la línea de 6'', con la función de evitar una circulación en dirección contraria al momento de utilizar una u otra de las líneas, es decir se independizan. Dado que no existe normalizada la válvula de retención de 2'' es que se requiere de una expansión a 3'' previo a la conexión de válvula de retención y posterior línea principal, donde ambos tramos se unen mediante flange a los tramos soldados a la cañería de 6'' que cuenta con un plegado para unirse mediante flange a los siguientes tramos rectos.



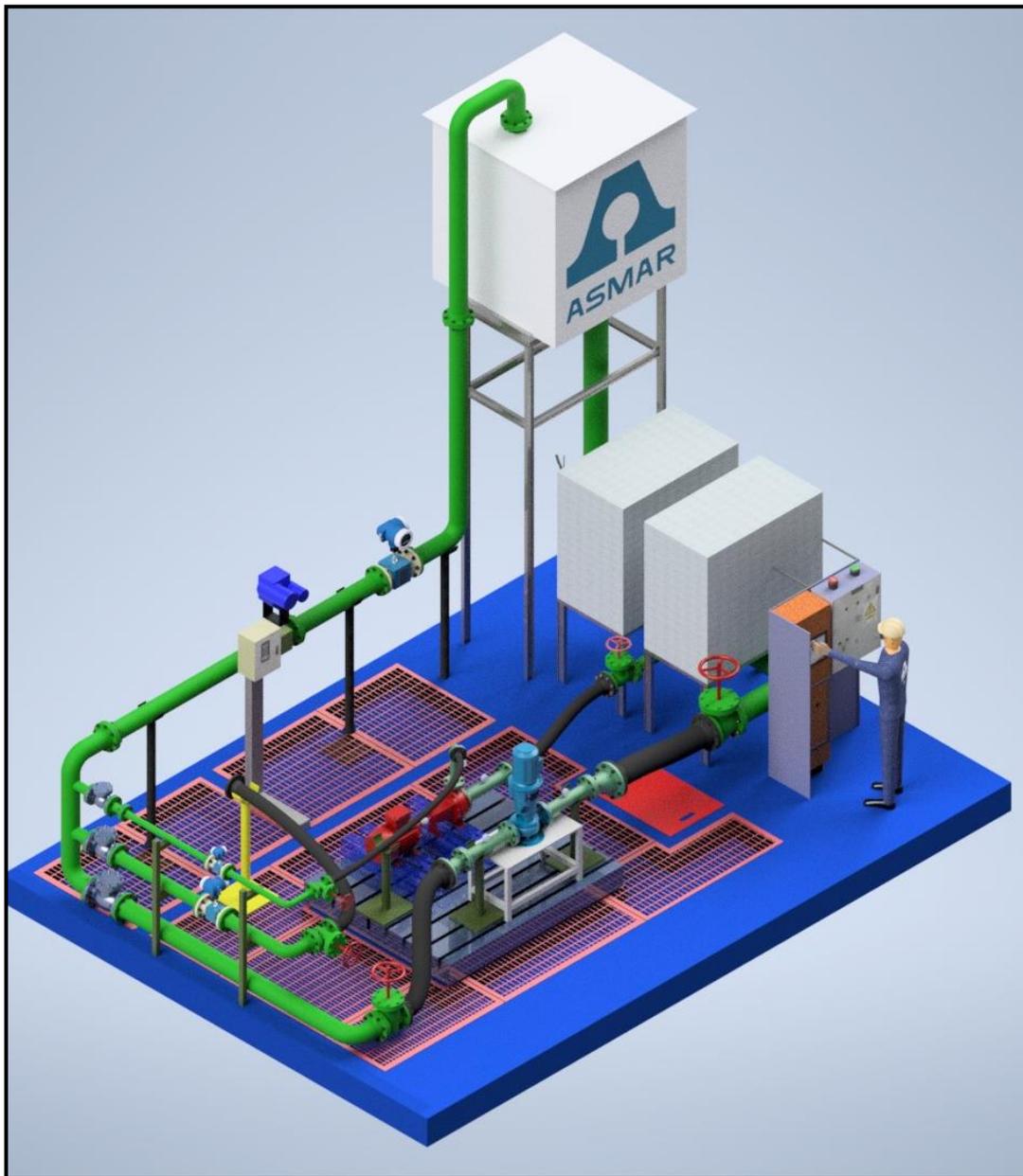
**Figura 5.5** Líneas de descargas para pruebas (Fuente: Renderización Propia).

Lo anterior es posible apreciar en la Figura 5.6, con la vista total del Modelo N°2 desarrollado hasta ahora. Se cuenta con dos tramos rectos que unen a la electroválvula de control y al flujómetro principal de 6'', el cual se ubica anterior al tramo plegado hacia el estanque, en una distancia por sobre dos veces el diámetro como lo indica el fabricante [11]. Finalmente, el circuito concluye con dos tramos rectos plegados para la unión con flange, a diferencia de lo mostrado en la Figura 4.12 con la unión mediante codos al estanque.

Para estos tramos rectos junto con el plegado hacia el estanque, se considera el montaje de apoyos para dar firmeza a las cañerías, para lo cual es recomendado y necesario efectuar su evaluación en cuanto a vibraciones, determinando la frecuencia fundamental del sistema, permitiendo comparar con las posibles fuerzas a las que serán sometidas por las distintas bombas que eventualmente son

probadas. Dado que, con relación a la disposición de las cañerías, estas influirán en las características de las pulsaciones de presión que sean generadas, para lo que en busca de mitigar estas, se efectuó la reducción de codos y fittings con respecto al diseño actual, sin embargo, se debe determinar la mejor ubicación de los apoyos, ya sea cercano a las curvas o en los pesos concentrados. Con esto se busca evitar averías, y realizar un trazado eficaz del circuito, además de conocer las características del sistema pudiendo identificar su relación con la bomba monitoreada.

Finalmente, se beneficia y reducen a 1/3 las longitudes de los flexibles en comparación al diseño actual, dadas las nuevas ubicaciones de la succión y descarga, es decir no mayores a 2 metros.



**Figura 5.6** Modelado Final de la Solución. (Fuente: Renderización Propia).

#### 5.1.4. CONSIDERACIONES GENERALES

Dentro de los parámetros no constructivos del circuito, se realizan las siguientes consideraciones como parte de las soluciones al sistema; Como se observó de la Figura 5.3 se ubica el monitor de pruebas junto al tablero eléctrico, siendo una zona de control, esto tiene beneficios en el que una persona podría monitorear las variables a diferencia de la actual configuración, en que ambos se encuentran ubicados en extremos separados. Para el tablero de fuerza y control se recomienda instalar un indicador de parámetros, junto a una parada de emergencia y las alarmas lumínico sonoras, con baterías de respaldo, mencionadas anteriormente, es decir se requiere una modificación o actualización al tablero principal, considerando además, dado el registro de pruebas realizadas, el que sea capaz de proporcionar una corriente de hasta aproximadamente 150 Amperes, lo que se asume como máxima total, es decir la suma de corriente requerida ya sea por una sola bomba o más de una no debe sobrepasar lo establecido. Debido a la conexión de distintos tipos de motores, se considera para este tablero, la instalación de controladores de potencia para compensar y regular las potencias reactivas del sistema. En aspectos de seguridad se mencionó el separar el área con barreras para mitigar posibles contactos con el agua, junto a esto, se considera acercar mediante cajas de distribución la fuente de energía a la plataforma del banco, a través de conexiones protegidas en tubos de acero galvanizado con recubrimientos de PVC para disminuir riesgo de choques eléctricos, además de poder contar con un mayor orden y control entre las conexiones de los motores y la fuente de energía.

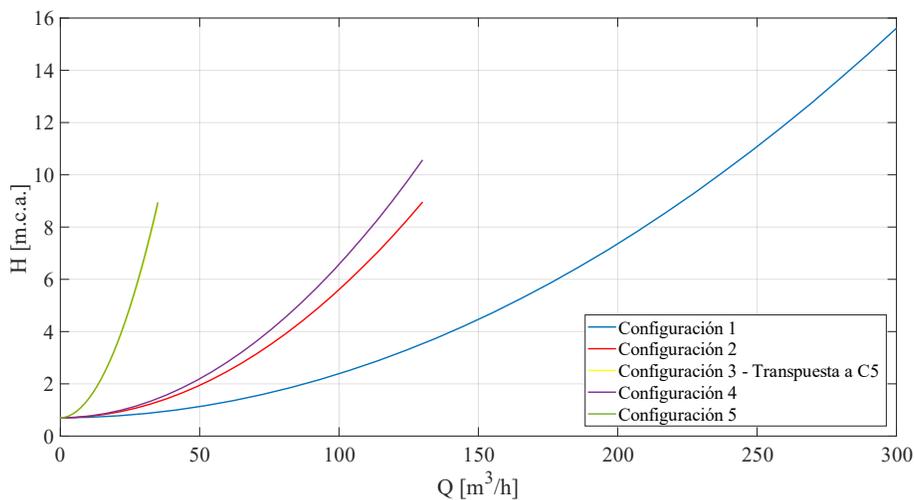
En cuanto a los componentes de medición de parámetros, como temperatura, presión y caudal, mientras no exista la posibilidad y capacidad de revisión, análisis, reparación y calibración de estos en el astillero, es que se recomienda el reemplazo de estos, principalmente de la electro válvula por la cual ya existe una cotización de revisión y reparación la cual excede los costos de beneficio frente a una nueva adquisición, ya que esta tiene la ventaja de poseer garantías, rapidez de adquisición y se asegura el stock logístico, similar con los transductores de temperatura. El caso de mayor análisis será el de los flujómetros marca Endress & Hauser, ya que dentro de los tipos de calibraciones certificadas realizadas por el astillero, no se cuenta con la de flujo, sin embargo, esta marca posee la capacidad de un sistema de calibración móvil, pero, no cubre a los de mayor diámetro presente en el banco, por lo que su traslado implica un costo mayor, pareciendo ser lo más conveniente la renovación de estos equipos, lo que se traduce a su vez en una modernización mayor del banco de pruebas. Junto con esto, se requiere de la modernización del sistema de supervisión y control de la interfaz HMI, lo cual es posible con respecto a las capacidades del astillero, considerando la capacidad para que el operador pueda programar los flujos controlando la electroválvula, realice un seguimiento visual de parámetros y pueda obtener la curva característica de las bombas y los resultados de prueba.

Dentro de los deseos de la lista de requisitos se tienen el llenado y achique automático del estanque y sentina respectivamente, junto con un control de nivel, lo que puede ser considerado dentro del

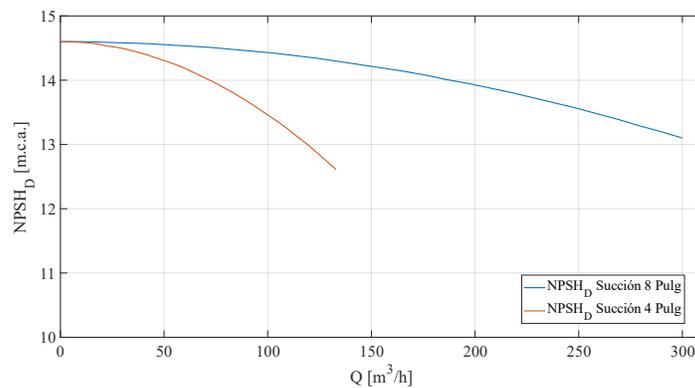
diseño ya propuesto, como parte de las funciones específicas presentadas en el diagrama funcional de la Figura 4.1, además de las ya existentes líneas de llenado para el estanque.

Se debe considerar que, por cada intervención y renovación del banco, dentro de la implementación de este diseño, sea acompañada de capacitaciones técnicas de operación y seguridad para el personal involucrado, lo que es parte de la VS13, además de ir aplicando en la medida de lo posible las recomendaciones de la Normativa asociada que fue presentada en el proyecto previo [1], lo que se traduce en un aumento de las capacidades y mejora continua del servicio.

De los componentes y la disposición del rediseño ya definida, se procede a verificar sus capacidades, obteniendo las curvas características de este, presentes en la Figura 5.7, y el NPSH disponible del sistema, presente en la Figura 5.8, lo que es la información representativa de tal diseño, comprobando que existe la optimización y aumento de los rangos de trabajo esperados y desarrollados como objetivo principal de esta memoria. Las consideraciones y cálculos realizados se presentan en el Anexo A.



**Figura 5.7** Curvas Características del Rediseño Final Propuesto (Fuente: Resultados de programación en EES).

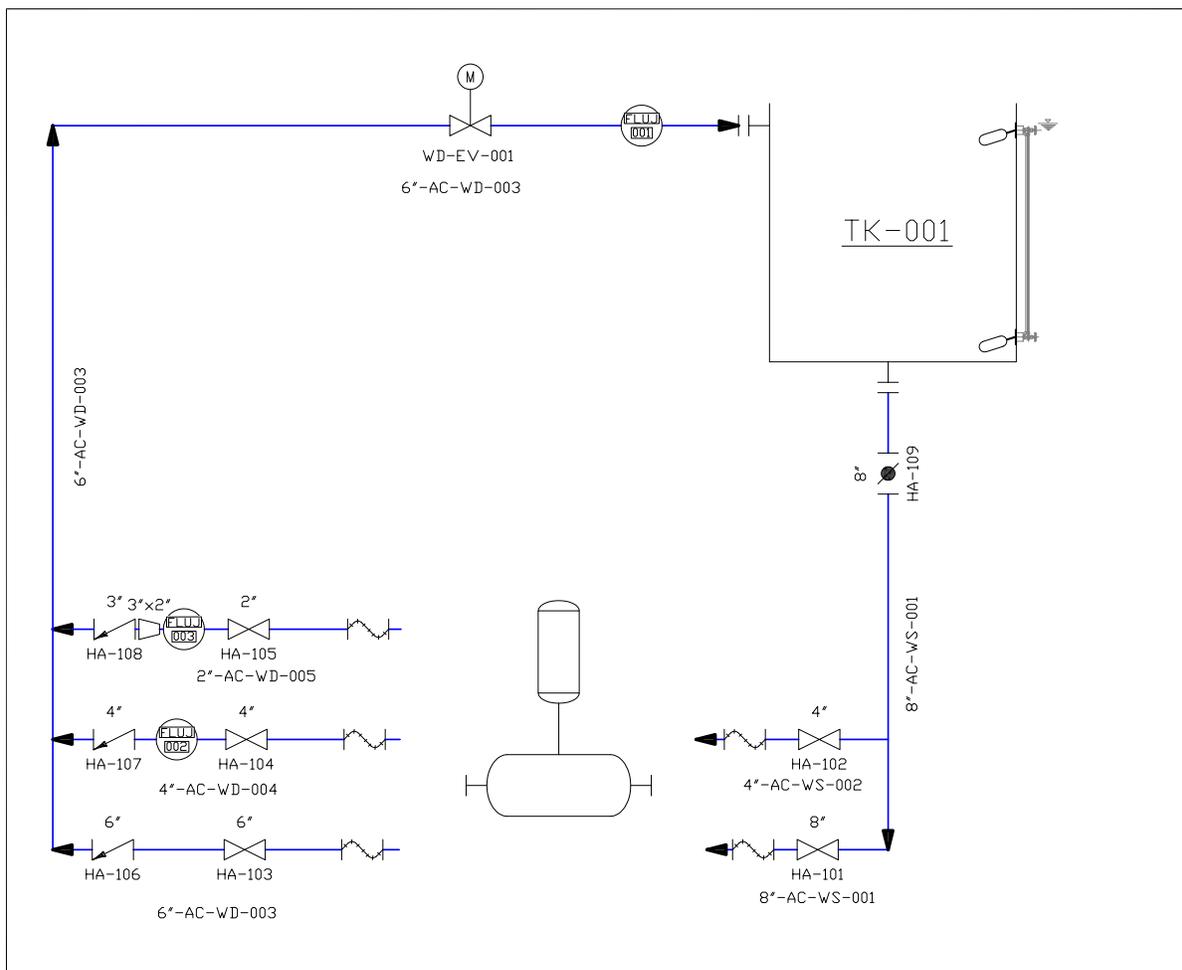


**Figura 5.8** Curvas NPSH Disponible del Rediseño Final Propuesto (Fuente: Resultados de programación en EES).

## 5.2. DISEÑO DE DETALLE

Finalmente, este método sistemático que ha guiado el desarrollo de esta memoria concluye con el diseño de detalle de la composición de la solución. El aspecto más importante del diseño o ingeniería de detalle es la elaboración de documentos de producción, incluidos planos detallados de componentes, ensamblaje y lista de piezas, para lo cual ha sido utilizado otro software CAD. Esto es esencial para convertir el diseño conceptual en instrucciones prácticas y detalladas para la fabricación, montaje y operación del banco de pruebas, siendo una base para la ejecución y programación de la producción, es decir, planificación y control de operaciones.

Se utiliza el software AutoCAD Plant 3D, el cual está diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de la industria de diseño de plantas y tuberías, pudiendo generar automáticamente la documentación detallada, en este caso isométricos, a partir de un modelo 3D asociado al P&ID, el cual en parte se observa en la Figura 5.9, y junto a los isométricos se presentan con mayor detalle en el Anexo “C”.



**Figura 5.9** P&ID Solución Propuesta Final (Fuente: AutoCAD Plant 3D. Realización Propia).

## CONCLUSIONES

Al llevar a cabo este proyecto se generaron distintas soluciones, las cuales al evaluar se obtiene un rediseño que contribuye en la optimización del diseño actual, eficiencia operativa y versatilidad de conexiones, esto comprobado con los resultados de la caracterización de los circuitos. En cuanto a la aplicación de una metodología sistemática, esta sirve como un modelo de desarrollo para futuros desafíos en el diseño de sistemas similares, lo que podría tener un impacto positivo en la empresa, sin embargo, se recalca que al igual que para la evaluación de este proyecto se realicen en conjunto con las distintas especialidades que componen los sistemas.

Al definir los requerimientos iniciales, se analizó en detalle las necesidades actuales del banco de pruebas, notando que estos no solo son desde el punto de vista hidráulico mecánico, sino que también se involucran aspectos electrónicos, eléctricos y de seguridad del sistema, asegurando así que la solución propuesta estuviese alineada con las demandas específicas del entorno, lo que guió a la parte de mayor enfoque y desarrollo en esta memoria, la ingeniería conceptual, donde se exploraron diversas soluciones que abordaban los desafíos previamente identificados, considerando diferentes alternativas antes de seleccionar la mejor solución. La evaluación se realizó de forma cualitativa, técnica y económicamente, siguiendo la metodología de análisis de costos-beneficios. Además, como se presentó en el desarrollo, esta se realizó en gran medida de forma subjetiva, como la designación de ponderaciones de objetivos, dejando en claro la intención de ser una guía de diseño, evaluación y selección, ya que en su conjunto, estos procedimientos sistemáticos son iterativos, y frente al sistema que representa el banco de pruebas, este debiese ser integralmente evaluado por un equipo multidisciplinario de diseño, siendo así como se evidencia la necesidad de proyectos de diseño colaborativos. Sin embargo, desde el punto de vista hidráulico mecánico se presenta una solución sólida ante los requerimientos presentados, la cual permite dentro de estándares desarrollar pruebas de aceptación de bombas. Esto se logra en gran medida gracias a las herramientas de modelación, siendo estas mismas las que utiliza el Departamento de Ingeniería Naval de la empresa, por lo que la solución se alinea para ser ejecutada dentro de sus procesos. Siguiendo con la ingeniería básica y de detalle se concreta mediante definiciones más específicas, técnicamente en cuanto a la disposición de la solución, con la principal función de validar lo definido en la etapa conceptual, caracterizando detalladamente el sistema y elaborando planos de ejecución. Además, se complementa con las propuestas o definiciones de solución de funciones auxiliares, que no integran el circuito en sí, pero si benefician al sistema en su conjunto.

Finalmente, se reconoce esta metodología como un beneficio en los procesos sistemáticos, la cual posee un gran rango de aplicaciones en los tipos de productos o soluciones a encontrar, pudiéndose aplicar de forma simplificada incluso a los componentes del banco de pruebas, sin embargo, para esta memoria se generaliza pudiendo contemplar y aplicar la metodología a un sistema en su conjunto en términos prácticos. Es así, como se logra comprender y exponer, que una metodología efectiva de diseño para proyectos multidisciplinarios debe ser flexible, centrada en la colaboración, capaz de adaptarse a los cambios y desafíos que puedan surgir durante el proceso.

## REFERENCIAS

- [1] Jerez, G. (2023). *Propuesta de mejora al banco de pruebas de bombas hidráulicas en ASMAR Talcahuano*. Universidad de Concepción.
- [2] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer.
- [3] ASMAR. (26 de abril 2023). *Memoria Anual y Estados Financieros Consolidados 2022*.
- [4] ASMAR – *El astillero de Chile*. (2023). Asmar.cl. <https://www.asmar.cl/>
- [5] ASMAR. (2021). *Estructura Orgánica Astilleros Y Maestranzas De La Armada Planta Industrial Talcahuano*.
- [6] DEPARTMENT OF THE ARMY U.S. Army Corps of Engineers. (2002). *Engineering and Design LIQUID PROCESS PIPING*.
- [7] Stephenson, E. E. (s/f). *Marine Engineering*.
- [8] ANSI/HI. (2022). *ANSI/HI 14.6-2022 Rotodynamic Pumps for Hydraulic Performance Acceptance Tests*.
- [9] Crawley, E., Cameron, B., & Selva, D. (2016). *System Architecture, Strategy and Product Development for Complex Systems*. Pearson Education Limited.
- [10] Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. PEARSON EDUCACIÓN, México, 2006.
- [11] Endress & Hauser. (n.d.). *Manual de instrucciones abreviado Proline Promag 10*.  
<https://www.cl.endress.com/es>

## ANEXO A “MEMORIA DE CÁLCULO”

### DIMENSIONES Y COMPONENTES DE LOS MODELOS REALIZADOS

Las siguientes Tablas presentan las líneas de succión y descarga considerando sus respectivos componentes y los factores de pérdida [1;10] de estos para los cálculos y obtención de las curvas características de sistema.

Para el Modelo propuesto N°1 de la Figura 4.9, se consideran los elementos presentes en la Tabla A.1, considerando, en este caso, las mismas longitudes de flexibles ya existentes.

*Tabla A.1 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Propuesto N°1 (Fuente: Diseño Propio).*

<i>Succión</i>	<i>Tipo</i>	<i>Longitud [m]</i>	<i>Fittings</i>	<i>Factor de Pérdida K</i>	<i>K<sub>total</sub></i>
<i>Línea 8"</i>	Acero 8"	4,24	1 entrada	0,24	2,13
			3 codos estándar	1,26	
			1 v/v mariposa	0,63	
	Flexible 8"	6	Conexiones	0,5	0,50
<i>Línea 4"</i>	Acero 4"	4,53	1 entrada	0,24	2,54
			3 codos estándar	1,53	
			1 v/v mariposa	0,77	
	Flexible 4"	6	Conexiones	0,5	0,50
<i>Descarga</i>	<i>Tipo</i>	<i>Longitud [m]</i>	<i>Fittings</i>	<i>Factor de Pérdida K</i>	<i>K<sub>total</sub></i>
<i>Línea 6"</i>	Flexible 6"	6	Conexiones	0,5	0,50
	Acero 6"	20,66	1 v/v check	1,5	14,40
			8 codos estándar	3,6	
			1 electro v/v	2,25	
			1 flujómetro	0,9548	
			1 v/v globo asiento plano	5,1	
	1 Entrada al Estanque	1			
<i>Línea 4" a 6"</i>	Flexible 4"	7,5	Conexiones	0,5	0,50
	Acero 4"	5,45	1 v/v check	1,7	7,00
			1 codo estándar	0,51	
			1 flujómetro	1,2397	
			1 v/v de bola	2,55	
			Te conexión a línea 6"	1	
	Acero 6"	14,3	6 codos estándar	2,7	12,0
			1 electro v/v	2,25	

			1 flujómetro	0,9548	
			1 v/v globo asiento plano	5,1	
			1 Entrada al Estanque	1	
<b>Línea 2" a 6"</b>	Flexible 2"	6	Conexiones	0,5	0,50
	Acero 2"	5,32	1 v/v check	1,9	7,17
			1 codo estándar	0,57	
			1 flujómetro	0,854	
			1 v/v de bola	2,85	
			Te conexión a línea 6"	1	
	Acero 6"	14	6 codos estándar	2,7	12,0
			1 electro v/v	2,25	
			1 flujómetro	0,9548	
			1 v/v globo asiento plano	5,1	
			1 Entrada al Estanque	1	

Para el Modelo propuesto N°2 de la Figura 4.11, se consideran los elementos presentes en la Tabla A.2, considerando, en este caso, longitudes de flexibles menores a las ya existentes, dada la nueva posición de la succión y descarga, estas no requieren de mayor longitud, pudiendo incluso ser menores.

*Tabla A.2 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Propuesto N°2 (Fuente: Diseño Propio).*

<b>Succión</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Fittings</b>	<b>Factor de Pérdida K</b>	<b>K<sub>total</sub></b>
<b>Línea 8"</b>	Acero 8"	6,66	1 entrada	0,24	2,82
			2 codos estándar	0,84	
			1 v/v mariposa	0,63	
			Te conexión a línea 4"	1	
			1 v/v de compuerta	0,112	
Flexible 8"	3	Conexiones	0,5	0,50	
<b>Línea 8" a 4"</b>	Acero 8"	5,28	1 entrada	0,24	2,52
			1 codo estándar	0,51	
			1 v/v mariposa	0,77	
			Te conexión a línea 4"	1	
	Acero 4"	0,85	1 v/v de compuerta	0,14	0,14
Flexible 4"	3	Conexiones	0,5	0,50	
<b>Descarga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Fittings</b>	<b>Factor de Pérdida K</b>	<b>K<sub>total</sub></b>
<b>Línea 6"</b>	Flexible 6"	3	Conexiones	0,5	0,50
	Acero 6"	14,84	1 v/v de compuerta	0,12	8,52
			1 v/v check	1,5	
			6 codos estándar	2,7	

			1 electro v/v	2,25		
			1 flujómetro	0,9548		
			1 Entrada al Estanque	1		
<b>Línea 4" a 6"</b>	Flexible 4"	3	Conexiones	0,5	0,50	
	Acero 4"	2,83	1 v/v de compuerta	0,136	4,59	
			1 v/v check	1,7		
			1 codo estándar	0,51		
			1 flujómetro	1,2397		
				Te conexión a línea 6"	1	
	Acero 6"	10,52	4 codos estándar	1,8	6,0	
			1 electro v/v	2,25		
			1 flujómetro	0,9548		
			1 Entrada al Estanque	1		
<b>Línea 2" a 6"</b>	Flexible 2"	3	Conexiones	0,5	0,50	
	Acero 2"	2,76	1 v/v de compuerta	0,152	4,48	
			1 v/v check	1,9		
			1 codo estándar	0,57		
			1 flujómetro	0,854		
				Te conexión a línea 6"	1	
	Acero 6"	10,13	4 codos estándar	1,8	6,0	
			1 electro v/v	2,25		
			1 flujómetro	0,9548		
			1 Entrada al Estanque	1		

Para el Modelo propuesto N°3 de la Figura 4.13, se consideran los elementos presentes en la Tabla A.3-1 y A.3-2 para el circuito sobre la plataforma y bajo la plataforma respectivamente. Al igual que para el modelo anterior, se consideran, longitudes de flexibles menores a las ya existentes.

*Tabla A.3-1 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Propuesto N°3 sobre la plataforma de pruebas (Fuente: Diseño Propio).*

<b>Succión</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Fittings</b>	<b>Factor de Pérdida K</b>	<b>K<sub>total</sub></b>
<b>Línea 8"</b>	Acero 8"	6,66	1 entrada	0,24	2,93
			2 codos estándar	0,84	
			1 v/v mariposa	0,63	
			Te conexión a línea 4"	1	
			2 v/v de compuerta	0,224	
Flexible 8"	3	Conexiones	0,5	0,50	
<b>Línea 8" a 4"</b>	Acero 8"	5,28	1 entrada	0,24	2,63
			1 codos estándar	0,51	
			1 v/v de compuerta	0,112	

			1 v/v mariposa	0,77		
			Te conexión a línea 4"	1		
	Acero 4"	0,85	1 v/v de compuerta	0,14	0,14	
	Flexible 4"	3	Conexiones	0,5	0,50	
<b>Descarga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Fittings</b>	<b>Factor de Pérdida K</b>	<b>K<sub>total</sub></b>	
	Flexible 6"	3	Conexiones	0,5	0,50	
<b>Línea 6"</b>	Acero 6"	14,84	1 v/v de compuerta	0,12	9,27	
			1 v/v check	1,5		
			4 codos estándar	1,8		
			2 codos (curva 180°)	0,75		
			1 electro v/v	2,25		
			1 flujómetro	0,9548		
			1 Te	0,9		
			1 Entrada al Estanque	1		
<b>Línea 4" a 6"</b>	Flexible 4"	3	Conexiones	0,5	0,50	
	Acero 4"	2,83	1 v/v de compuerta	0,136	4,59	
			1 v/v check	1,7		
			1 codo estándar	0,51		
			1 flujómetro	1,2397		
			Te conexión a línea 6"	1		
	Acero 6"	10,52	2 codos estándar	0,9	6,8	
			2 codos (curva 180°)	0,75		
			1 electro v/v	2,25		
			1 flujómetro	0,9548		
			1 Te	0,9		
			1 Entrada al Estanque	1		
	<b>Línea 2" a 6"</b>	Flexible 2"	3	Conexiones	0,5	0,50
		Acero 2"	2,76	1 v/v de compuerta	0,152	4,48
1 v/v check				1,9		
1 codo estándar				0,57		
1 flujómetro				0,854		
Te conexión a línea 6"				1		
Acero 6"		10,13	2 codos estándar	0,9	6,8	
			2 codos (curva 180°)	0,75		
			1 electro v/v	2,25		
			1 flujómetro	0,9548		
			1 Te	0,9		
	1 Entrada al Estanque		1			

Tabla A.3-2 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Propuesto N°3 bajo la plataforma de pruebas (Fuente: Diseño Propio).

<b>Succión</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Fittings</b>	<b>Factor de Pérdida K</b>	<b>K<sub>total</sub></b>
<b>Línea 8"</b>	Acero 8"	7,47	1 entrada	0,24	4,19
			3 codos estándar	1,26	
			1 Te	0,84	
			1 v/v mariposa	0,63	
			Te conexión a línea 4"	1	
			2 v/v de compuerta	0,224	
	Flexible 8"	3	Conexiones	0,5	0,50
<b>Línea 8" a 4"</b>	Acero 8"	6,02	1 entrada	0,24	4,49
			3 codos estándar	1,53	
			1 Te	0,84	
			1 v/v de compuerta	0,112	
			1 v/v mariposa	0,77	
			Te conexión a línea 4"	1	
	Acero 4"	0,85	1 v/v de compuerta	0,14	0,14
Flexible 4"	3	Conexiones	0,5	0,50	
<b>Descarga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Fittings</b>	<b>Factor de Pérdida K</b>	<b>K<sub>total</sub></b>
<b>Línea 6"</b>	Flexible 6"	3	Conexiones	0,5	0,50
	Acero 6"	15,95	2 v/v de compuerta	0,24	9,54
			1 v/v check	1,5	
			6 codos estándar	2,7	
			1 electro v/v	2,25	
			1 flujómetro	0,9548	
			1 Te	0,9	
			1 Entrada al Estanque	1	
<b>Línea 4" a 6"</b>	Flexible 4"	3	Conexiones	0,5	0,50
	Acero 4"	2,83	1 v/v de compuerta	0,136	4,59
			1 v/v check	1,7	
			1 codo estándar	0,51	
			1 flujómetro	1,2397	
			Te conexión a línea 6"	1	
	Acero 6"	11,4	4 codos estándar	1,8	6,9
			1 electro v/v	2,25	
			1 flujómetro	0,9548	
			1 Te	0,9	
			1 Entrada al Estanque	1	
<b>Línea 2" a 6"</b>	Flexible 2"	3	Conexiones	0,5	0,50
	Acero 2"	2,76	1 v/v de compuerta	0,152	4,48

			1 v/v check	1,9	6,9
			1 codo estándar	0,57	
			1 flujómetro	0,854	
			Te conexión a línea 6"	1	
	Acero 6"	11,01	4 codos estándar	1,8	
			1 electro v/v	2,25	
			1 flujómetro	0,9548	
			1 Te	0,9	
			1 Entrada al Estanque	1	

Para el Modelo de la solución final de la Figura 5.6, se consideran los elementos presentes en la Tabla A.4, considerando, en este caso, longitudes de flexibles de 2 metros.

*Tabla A.4 Tramos de Succión y Descarga de Modelo Final de Solución (Fuente: Diseño Propio).*

<b>Succión</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Fittings</b>	<b>Factor de Pérdida K</b>	<b>K<sub>total</sub></b>
<b>Línea 8"</b>	Acero 8"	6	1 entrada	0,24	2,82
			2 codos estándar	0,84	
			1 v/v mariposa	0,63	
			Te conexión a línea 4"	1	
	1 v/v de compuerta	0,112			
	Flexible 8"	2	Conexiones	1	1,00
<b>Línea 8" a 4"</b>	Acero 8"	5,28	1 entrada	0,24	3,52
			1 codo estándar	0,51	
			1 v/v mariposa	0,77	
			Te conexión a línea 4"	1	
	Continuidad a línea 8"	1			
	Acero 4"	1,12	1 v/v de compuerta	0,14	0,14
	Flexible 4"	2	Conexiones	1	1,00
<b>Descarga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud [m]</b>	<b>Fittings</b>	<b>Factor de Pérdida K</b>	<b>K<sub>total</sub></b>
	Flexible 6"	2	Conexiones	1	1,00
<b>Línea 6"</b>	Acero 6"	13,42	1 v/v de compuerta	0,12	9,52
			1 v/v check	1,5	
			6 codos estándar	2,7	
			1 electro v/v	2,25	
			1 flujómetro	0,9548	
			Tes de otras líneas	1	
1 Entrada al Estanque	1				

<i>Línea 4" a 6"</i>	Flexible 4"	2	Conexiones	1	1,00
	Acero 4"	2,25	1 v/v de compuerta	0,136	4,59
			1 v/v check	1,7	
			1 codo estándar	0,51	
			1 flujómetro	1,2397	
			Te conexión a línea 6"	1	
	Acero 6"	10,21	4 codos estándar	1,8	7,0
			1 electro v/v	2,25	
			1 flujómetro	0,9548	
			Tes de otras líneas	1	
1 Entrada al Estanque			1		
<i>Línea 2" a 6"</i>	Flexible 2"	2	Conexiones	1	1,00
	Acero 2"	2,52	1 v/v de compuerta	0,152	4,88
			1 v/v check 3"	1,8	
			1 codo estándar	0,57	
			Expansión 2" a 3"	0,5	
			1 flujómetro	0,854	
			Te conexión a línea 6"	1	
	Acero 6"	9,73	4 codos estándar	1,8	7,0
			1 electro v/v	2,25	
			1 flujómetro	0,9548	
Tes de otras líneas			1		
1 Entrada al Estanque			1		

## CARACTERIZACIÓN DE LOS MODELOS

Luego, para obtener las curvas características, se utiliza la misma metodología de cálculo del proyecto anterior [1] al desarrollar Bernoulli;

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 - \Lambda_{T,1 \rightarrow 2} + H_{bba} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 \quad (5)$$

Se definen los puntos para desarrollar el Bernoulli de la siguiente manera;

Para los circuitos con estanque sobre plataforma de prueba,

- Punto 1. La superficie del agua dentro del estanque en su máxima capacidad, el cual no se encuentra presurizado, por lo que en este punto solo hay presión atmosférica, y la velocidad es nula. Además, tomando como referencia cero la plataforma del banco, donde la carga de elevación al punto 1 será de aproximadamente 5 [m.c.a].

- Punto 2. El punto más alto de la cañería de 6'' antes de conectar al estanque. Se considerará a presión atmosférica y con la velocidad del fluido determinada en función del caudal y el área de la sección interna. Tomando la referencia de la plataforma del banco, la carga de elevación al punto dos es de aproximadamente 5,7 [m.c.a].

Para el circuito con estanque bajo plataforma de prueba,

- Punto 1. La entrada de la línea de succión en el estanque, considerando que no se encuentra presurizado, por lo que en este punto solo hay presión atmosférica, y la velocidad es nula. Además, tomando como referencia cero la plataforma del banco, donde la carga de elevación al punto 1 será de aproximadamente 2.5 [m.c.a].
- Punto 2. La entrada al estanque desde la línea de 6''. Se considerará a presión atmosférica y con la velocidad del fluido determinada en función del caudal y el área de la sección interna. Tomando la referencia de la plataforma del banco, la carga de elevación al punto dos es de aproximadamente 1,0 [m.c.a].

Por lo tanto, con estas condiciones, la ecuación de Bernoulli (5) para cada sistema queda como;

$$H_{bba} = \frac{v_{6''}^2}{2 \cdot g} + (Z_2 - Z_1) + \Lambda_{T,1 \rightarrow 2} \quad (6)$$

La cual es programada y resuelta de la siguiente manera;

$$H_{bba} = (Z_2 - Z_1) + \left[ \frac{1}{2 \cdot g \cdot A_{Ac\ 6''}^2} + \sum_{i = \text{Tramo inicial succión}}^{\text{Tramo final descarga}} \left( \frac{\lambda_i \cdot L_i}{D_i \cdot 2 \cdot g \cdot A_i^2} + \frac{K_{totales,i}}{2 \cdot g \cdot A_i^2} \right) \right] \cdot \dot{Q}^2 \quad (7)$$

Luego, se define el NPSH<sub>D</sub> del sistema para las distintas configuraciones de succión, como;

$$NPSH_D = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (8)$$

Donde;

- $h_{sp} = \frac{p_{sp}}{\gamma}$  es la carga de presión estática sobre el fluido en el estanque, donde  $p_{sp}$  es la presión estática (absoluta) sobre el fluido en el estanque y " $\gamma$ " es el peso específico del fluido a la temperatura de bombeo.

- $h_s$  es la diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el estanque a la línea central de la entrada de succión de la bomba; es positiva si la bomba está por debajo del estanque (siendo esta una condición más favorable), o negativa si la bomba se encuentra por sobre el estanque.
- $h_f$  son las pérdidas de carga totales en la línea de succión.
- $h_{vp} = \frac{p_{vp}}{\gamma}$  es la carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, donde  $p_{vp}$  es la presión de vapor (absoluta) y " $\gamma$ " es el peso específico del fluido a la temperatura de bombeo.

Dado que la diferencia de elevación puede variar según la bomba, se establecerá una distancia desde la superficie del líquido en el estanque, de 4,5 metros, considerado en su máxima capacidad, y con presión absoluta igual a la atmosférica. Por lo tanto, siendo el punto 1 la superficie de líquido en el estanque y punto 2 la entrada de la bomba, la ecuación a utilizar es;

$$NPSH_D = h_{sp} + h_s - \left[ \sum_{i = \text{Tramo inicial succión}}^{\text{Tramo final Succión}} \left( \frac{\lambda_i \cdot L_i}{D_i \cdot 2 \cdot g \cdot A_i^2} + \frac{K_{totales,i}}{2 \cdot g \cdot A_i^2} \right) \cdot \dot{Q}^2 - h_{vp} \right] \quad (9)$$

Para los cálculos se consideran las propiedades del agua a 15 °C, las que se presentan en la Tabla A.5

*Tabla A.5 Propiedades físicas del agua (Fuente: [10]).*

Propiedades del agua	15°C
$p_{sp}$	101,3 [kPa]
$p_{vp}$	1,78 [kPa]
$\gamma$	9,80 [kN/m <sup>3</sup> ]
$\nu$	1,15e-6 [m <sup>2</sup> /s]

## ANEXO B “CORRELACIONES DE LOS PARÁMETROS CON LA ESCALA DE VALOR”

Para los siguientes parámetros valorizados según escala, de acuerdo con los distintos criterios para el rediseño del banco de pruebas, es fundamental destacar que muchas valoraciones proporcionadas son de naturaleza subjetiva y cualitativa. Esta subjetividad se deriva principalmente de la limitada disponibilidad de datos cuantitativos específicos en ciertos aspectos del diseño en la etapa conceptual. Dado este escenario, las valoraciones están fundamentadas, para la guía de este proceso, por el conocimiento técnico y la experiencia del autor (lo cual debiese ser determinado en conjunto por un equipo de diseño y/o los interesados), así como en la comparación entre el diseño actual y el propuesto. Se reconoce la importancia de datos cuantitativos para una evaluación más precisa, sin embargo, en ausencia de estos, se ha adoptado un enfoque cualitativo que destaca las percepciones y evaluaciones basadas en criterios técnicos y prácticos.

Las soluciones consideradas con respecto a los criterios con los cuales estos parámetros se asocian y evaluarán se describen brevemente a continuación;

La Tabla B.1 presenta en detalle las correlaciones con respecto a los parámetros de los criterios relacionados a la eficiencia operativa;

- **Distribución eficiente de cañerías y fittings;** Este es un parámetro el cual, para evaluar, es visible gracias a los tres modelos desarrollados y presentados en esta memoria, por lo que se evalúa distintamente para cada uno de ellos. Se evalúa la distribución de componentes de cada modelo que responde a la VS1.
- **Facilidad de montaje para preparar las pruebas;** Dada la distribución de cañerías se evalúan las posibles disposiciones de conexiones a las bombas, al igual que el parámetro anterior, esto gracias a los modelos realizados y las bombas modelo montadas, se evalúa distintamente para cada modelo.
- **Grado de automatización en el banco;** La automatización considerada para cada modelo de rediseño del banco de pruebas, es la incorporación de una válvula de control automática, esto en la línea principal de descarga. Este componente es un requisito esencial con respecto a la operación, el cual fue presentado en la Tabla II. Esta válvula debe poseer además la opción de control manual para casos de fallas de conexión, sin embargo, su control idealmente debe ser automático desde el monitor de prueba, permitiendo controlar el porcentaje de apertura, lo que se asocia a la VS4.

Como se vio del proyecto anterior [1] la válvula existente en el actual banco se encuentra inhabilitada, y según información recopilada en terreno, los costos de la revisión y repuestos de esta por parte del representante son elevados, por lo que las mejores opciones serían analizar si el astillero cuenta con las capacidades de su revisión y/o reparación, o bien adquirir una nueva válvula.

Dentro de los requisitos deseables se encuentra la automatización del llenado de estanque y achique del banco, lo cuál referencia a la VS12, y es considerada para cada uno de los modelos propuestos.

- **Adaptabilidad de la interfaz;** La interfaz del actual banco debe actualizarse con respecto a las funcionalidades entregadas, ya sea con el control de la válvula anteriormente mencionada, la posibilidad de generar las curvas características, visualizar datos de monitoreo como presión y caudal, cálculos de eficiencia, etc. Esto es un punto esencial de los requerimientos presente en cada modelo, sin embargo, se puede presentar una leve diferencia en complejidad de programar la interfaz de acuerdo con las características espaciales y operacionales de cada modelo, lo cual debe ser trabajado en conjunto con un equipo de profesionales del área electrónica. Como se mencionó, es un requerimiento esencial que comprende a las variantes de solución VS5, VS6, VS7 Y VS8.

*Tabla B.1 Correlaciones de parámetros con respecto a criterios relacionados a “Eficiencia Operativa” (Fuente: Desarrollo Propio).*

<i>Escala de Valores</i>		<b>Distribución eficiente de cañerías y fittings.</b>	<b>Facilidad de montaje para preparar las pruebas.</b>	<b>Grado de automatización de los componentes del banco.</b>	<b>Adaptabilidad de la interfaz a la configuración del banco de pruebas.</b>
<b>Pts.</b>	<b>Significado</b>				
0	Insatisfactorio	Muy deficiente, generando posibles obstrucciones o complicaciones en el montaje.	Muy deficiente, complicando significativamente la preparación de las pruebas.	Es nulo o ineficiente, generando problemas en el control durante las pruebas.	No se adapta bien a la configuración del banco de pruebas en desarrollo y presenta dificultades significativas.
1	Simplemente Tolerable	Se presentan algunos elementos eficientes, pero en general, podría mejorarse.	Existen aspectos mejorables que afectan la preparación del banco de pruebas.	Existe algún grado de automatización, pero su eficacia puede ser limitada, afectando el control durante las pruebas.	Es tolerable, pero presenta algunas limitaciones en su adaptación a diferentes configuraciones.
2	Adecuado	Es aceptable y facilita el montaje.	Es aceptable, pero hay áreas donde se podría mejorar.	Es aceptable, contribuyendo al control durante las pruebas, aunque con áreas de mejora.	Es aceptable y muestra una buena capacidad de adaptación a varias configuraciones del banco.
3	Bueno	Es buena y contribuye positivamente al proceso de montaje.	Es buena y contribuye positivamente a la preparación del banco de pruebas.	Es bueno, mejorando significativamente el control durante las pruebas.	Es buena y demuestra una excelente capacidad de adaptación a diferentes configuraciones del banco de pruebas.
4	Muy Bueno (Ideal)	Es excepcionalmente eficiente, optimizando completamente el proceso de montaje.	Es excepcional, optimizando completamente la preparación del banco de pruebas.	Es excepcional, optimizando completamente el control durante las pruebas.	Es excepcional y se adapta de manera ideal a cualquier configuración del banco de pruebas en desarrollo.

La Tabla B.2 presenta en detalle las correlaciones con respecto a los parámetros de los criterios relacionados a la capacidad de trabajo;

- **Capacidad de flujo y velocidad admisible:** Este es uno de los dos parámetros cuantificables presentes, el cual depende de los diámetros de cañerías de los modelos propuestos, y se relaciona con parte de la lista de requisitos esenciales y el aumento de las capacidades por sobre los 200 m<sup>3</sup>/h del actual banco. Dado además los requerimientos usuales de las bombas que son probadas, en donde existen registros de pruebas por sobre los 250 m<sup>3</sup>/h [1], es que se ajusta la escala para un aumento de hasta 100 m<sup>3</sup>/h, determinado por el autor de acuerdos a las necesidades actuales, esto de forma segura dentro de las velocidades recomendadas.
- **Porcentaje de reducción de pérdidas de carga:** Este es el segundo de los parámetros cuantificables, siendo posible su evaluación gracias a la caracterización de los modelos. Este porcentaje se evalúa con respecto y en comparación con la capacidad crítica máxima del actual banco versus cada modelo propuesto. La correlación porcentual con la escala de valores es determinada por el autor de forma arbitraria, y puede variar según lo determine una reevaluación del equipo de trabajo.
- **Grado de adaptabilidad:** Este parámetro cualitativo se correlaciona con respecto a la capacidad de adaptar las conexiones del banco a la succión y descarga de las bombas, teniendo relación con la VS3 que se refiere a los tipos de carrete de conexión. La variedad y disposición de estos permitirá el montaje y pruebas de las distintas dimensiones de las bombas. Dado que se determinó la VS3 aceptable por sobre la VS2, y guiado por lo establecido por la Norma ANSI/HI 14.6-2022, es que el diseño y aplicación de estas será indistinto para cada uno de los modelos propuestos. Si bien en estos modelos se han reducido los diámetros disponibles (eliminación de línea de descarga de 1”) para las pruebas, serán los carretes de pruebas los encargados de la mayor adaptabilidad en el rediseño.
- **Cantidad y tipos de bombas que se pueden montar en el banco:** Este parámetro se correlaciona y evalúa con respecto a las diferencias con que los modelos propuestos pueden abarcar en cuanto a tipos y tamaños de bombas, además de, la posibilidad de pruebas en serie o paralelo, lo cual es parte de las funciones adaptativas propuestas. Esta capacidad también se relaciona con la VS10, y si, al poder probar bombas de mayor tamaño o más de una a la vez, es requerido o no un aumento de la capacidad eléctrica del banco. También se encuentra una relación con la VS11, lo que permite evaluar en cuanto a capacidad de inclusión de bombas sumergibles, lo que, en este caso de modelos propuestos, en específico el modelo N°3 no se diferencia a los demás, ya que su circuito bajo nivel no es abierto, por lo que su capacidad es similar en cuanto a tipos y tamaños de bombas, no existiendo elementos diferenciadores entre los modelos propuestos desarrollados. Entre estos aspectos se evalúa con respecto a las diferencias con el banco actual.

Tabla B.2 Correlaciones de parámetros con respecto a criterios relacionados a “Capacidad de Trabajo” (Fuente: Desarrollo Propio).

Escala de Valores		Capacidad de flujo y velocidad admisible en comparación con el diseño actual.	Porcentaje de reducción en las pérdidas de carga respecto al diseño actual.	Grado de adaptabilidad a diferentes dimensiones de bombas.	Cantidad de tamaños y tipos de bombas que se pueden montar en el banco.
Pts.	Significado				
0	Insatisfactorio	No mejora. Menos de 10 m <sup>3</sup> /h de aumento.	Es insignificante o inexistente. Menos del 10%.	Muy limitado y no se cubre una gama significativa de dimensiones de bombas.	Se podría acomodar solo un tamaño o tipo específico de bomba.
1	Simplemente Tolerable	Es tolerable, pero no muestra una mejora significativa. 10 a 30 m <sup>3</sup> /h.	Es mínima y apenas cumple con las expectativas. Entre 10% y 20%.	Adaptaciones limitadas, se puede manejar solo algunas variaciones en las dimensiones de las bombas.	El banco puede manejar algunos tamaños y tipos, pero la variedad es limitada.
2	Adecuado	Hay una mejora razonable. 30 a 60 m <sup>3</sup> /h.	Existe una mejora razonable en las pérdidas de carga. Entre 20% y 40%.	Adaptaciones moderadas de dimensiones de bombas, pero no es completamente versátil.	El banco puede acomodar una gama moderada de tamaños y tipos de bombas.
3	Bueno	Supera las expectativas y muestra un rendimiento destacado. 60 a 100 m <sup>3</sup> /h	Es satisfactoria. Entre 40% y 60%.	Adaptaciones versátiles que pueden cubrir una amplia variedad de dimensiones de bombas.	Ofrece flexibilidad significativa para manejar una amplia variedad de tamaños y tipos de bombas.
4	Muy Bueno (Ideal)	Es excepcional, superando ampliamente el rendimiento del diseño actual. Más de 100 m <sup>3</sup> /h	Es excepcional y cumple o supera ampliamente las expectativas. Más del 60%.	Máxima adaptabilidad, puede manejar fácilmente cualquier tamaño de bomba.	Máxima flexibilidad, puede acomodar fácilmente cualquier tamaño o tipo de bomba sin necesidad de modificaciones significativas.

La Tabla B.3 presenta en detalle las correlaciones con respecto a los parámetros de los criterios relacionados a la seguridad operacional;

- **Efectividad de procedimientos de emergencia;** Los procedimientos de emergencia propuestos se deben desarrollar de forma clara y detallada, ya sea para casos como fugas, sobrecalentamiento o mal funcionamiento de equipos críticos.

Para cada modelo, dada la similitud de sus disposiciones de cañerías, es decir la situación espacial donde se efectuarán las pruebas, se considerarían las mismas propuestas, que van desde; Equipamiento de seguridad y primeros auxilios, los cuales deben estar bien equipados, y ser fácilmente accesibles donde todo el personal conozca de su existencia y ubicación. Identificaciones de riesgo, capacitando al personal sobre la potencialidad de estos y la importancia de informar cualquier problema de seguridad de forma inmediata. Desarrollo de procedimientos específicos para situaciones de emergencia que puedan surgir en el transcurso de las pruebas, como control de fugas, sobrecalentamientos, falla de equipos. Protocolos para

coordinación con servicios de emergencia en caso de situaciones críticas, donde si bien, se debe informar al superior encargado, también se cuenta con número telefónico de servicios de emergencia internos de la planta, donde su llamado sería la primera acción. Implementación de sistemas de alarma efectivos para alertar al personal en caso de emergencias. Establecimiento de sistemas para registrar y analizar cualquier incidente de emergencia, permitiendo mejorar continuamente los procedimientos.

Por último, y no menos importante, el realizar capacitaciones periódicas para asegurar que todo el personal esté al tanto de los procedimientos de emergencias, lo que va de la mano con parte de la VS13.

Algunos ejemplos breves de procedimientos de emergencia a implementar;

### **1. Control de Fugas**

Objetivo: Detener y controlar fugas en el banco de pruebas.

Procedimiento:

- Identificación de la ubicación y tipo de fuga.
- Cierre de válvulas para detener flujo de agua.
- Contención de la fuga para minimizar propagación.
- Evacuación y limpieza de zona afectada.
- Evaluación y registro de la falla para futuras mejoras.

### **2. Sobrecalentamiento y falla de equipos**

Objetivo: prevenir y abordar rápidamente situaciones de fallas en los equipos

Procedimiento:

- Monitorización constante de temperaturas en equipos.
- Identificar causa de falla a través de sistema de monitoreo.
- Activación de protocolos de paradas de emergencia para detener las pruebas.
- Notificación inmediata.
- Evaluación y registro de la falla para futuras mejoras.

### **3. Seguridad eléctrica en presencia de agua**

Objetivo: Responder rápidamente a situaciones donde haya riesgo de contacto entre agua y sistemas eléctricos.

Procedimiento:

- Activar parada de emergencia, desconectar energía eléctrica y aislar zona afectada.
- Informar al personal sobre la emergencia, y prohibir acceso al área afectada.
- Detener trabajo de forma permanente para la intervención de personal especialista.
- Determinar alcance de la fuga y su impacto al evaluar la integridad de los componentes eléctricos.

- Evaluación y registro de la falla para futuras mejoras.
- **Nivel de comodidad y facilidad de uso;** Este parámetro se enfoca en evaluar, de acuerdo con la disposición de montaje de cada modelo propuesto, la ergonomía para que los operadores preparen y realicen las pruebas. Siendo un punto relevante la conexión de los flexibles, en donde su excesivo largo o peso, representa una dificultad para los operadores, existiendo diferencias para la evaluación de esto en los modelos propuestos.
- Otros aspectos de comodidad presente se pueden ver en cuanto al nivel de automatización, y la relación interfaz y operador, que como se presentó anteriormente, no representan diferencias entre los modelos propuestos, pero si ante el actual banco.
- **Nivel de ajuste a normativas;** Si bien como se estudió en el proyecto previo a esta memoria [1], no se encuentra normativa existente con relación al diseño y construcción de un banco de pruebas, pero si en cuanto a su validación de las pruebas en cuanto a adquisición de parámetros de prueba. Uno de los aspectos más relevantes se presenta como la conexión a succión y descargas de las bombas para obtener la presión de prueba, para lo cual sus características se detallan en el desarrollo de esta memoria y es asignada para cada modelo de la misma forma. Además de otros aspectos a parte de los arreglos de pruebas, existen, por parte de la normativa, apéndices informativos sobre pruebas de presión hidrostática (visto en el proyecto previo [1]), tolerancias de prueba, ensayos mecánicos, arreglos NPSH, reportes de resultados, equipos de medición, calibración, pruebas especiales, etc.
- **Frecuencia de calibración;** La frecuencia de calibración se ajusta al parámetro anterior y está definida por la norma ANSI/HI 14.6-2022 en el “Apéndice J – Plazos adecuados para calibración de instrumentos de prueba (informativo)” [8]. Esta frecuencia de recalibración depende de la frecuencia de uso, el diseño del equipo y el entorno en el cual opera. Se sugiere seguir las recomendaciones del fabricante del instrumento en particular para determinar estos periodos de calibración, en caso de no existir, se presentan algunos periodos entregados por la Norma en la Tabla B-J.1.

*Tabla B-J.1 Intervalos predeterminados de calibración según Norma (Fuente: [8]).*

<i>Equipo</i>	<i>Periodo [Años]</i>	<i>Equipo</i>	<i>Periodo [Años]</i>
<b>Tasa de flujo</b>		<b>Potencia de Entrada</b>	
Electromagnético	1	Dinamómetro	0,5
Ultrasónico	0,5	Medidor de torque	1
Medidor de corriente	2	<b>Altura</b>	
<b>Velocidad de Bomba</b>		Manómetros	Ver nota
Tacómetro	3	Transductores	0,33
Magnético	10	<b>Temperatura</b>	
Óptico	10	Eléctrico	2
Estroboscópico	5	Termómetro tipo bulbo	5

**Nota:** No es necesario a menos que se sospeche de daños o fallas mecánicas o eléctricas.

Tabla B.3 Correlaciones de parámetros con respecto a criterios relacionados a “Seguridad Operacional” (Fuente: Desarrollo Propio).

Escala de Valores		Efectividad de los procedimientos de emergencia implementados.	Nivel de comodidad y facilidad de uso para los operadores	Nivel de ajuste a normativas y estándares específicos.	Frecuencia de calibración y precisión de los instrumentos de medición
Pts.	Significado				
0	Insatisfactorio	No están claramente definidos en el diseño, o no hay medidas efectivas consideradas para situaciones de emergencia.	Las condiciones de trabajo serán incómodas, lo que podría afectar negativamente la eficiencia y la seguridad.	El diseño no muestra consideración ni esfuerzo por cumplir con las normativas y estándares aplicables.	Plan de calibración irregular o inexistente. Precisión de los instrumentos no podrá ser confiable.
1	Simplemente Tolerable	Se han identificado algunos procedimientos de emergencia, pero su eficacia y claridad son limitadas. No se evidencia un enfoque integral.	Se consideran algunas comodidades, pero los operadores enfrentarían dificultades y el diseño no se ajusta completamente a las necesidades ergonómicas.	Se evidencian esfuerzos mínimos para cumplir con algunas normas, pero el diseño podría estar significativamente alejado de los estándares requeridos.	Plan de calibración mínimo. Precisión de los instrumentos será aceptable, pero podría mejorarse.
2	Adecuado	Se han definido procedimientos de emergencia, pero su implementación y eficacia pueden ser mejoradas. Algunas situaciones de emergencia pueden no estar completamente cubiertas.	Se considera cómodo y fácil de operar, pero aún se visualizan áreas de mejora en términos de ergonomía.	Se han tenido en cuenta las normativas clave, pero aún se visualizan áreas significativas que necesitan ajustes para cumplir completamente con los estándares internacionales.	Plan de calibración periódico. Los instrumentos mostrarán un nivel aceptable de precisión.
3	Bueno	Procedimientos bien definidos. Se espera que sean efectivos en la mayoría de las situaciones.	Condiciones de trabajo cómodas, prácticas y siguen principios ergonómicos reconocidos.	El diseño demuestra un esfuerzo considerable para cumplir con la mayoría de las normativas y estándares.	Plan de calibración de acuerdo con norma y/o fabricante. Los instrumentos ofrecerán una alta precisión.
4	Muy Bueno (Ideal)	Altamente efectivos y bien documentados, cubriendo una amplia gama de escenarios. El diseño demuestra un fuerte enfoque en la seguridad operacional.	El diseño ofrece un alto nivel de comodidad y facilidad de uso, contribuyendo significativamente al bienestar y la eficiencia de los operadores.	Se ha prestado atención meticulosa a todas las normativas y estándares relevantes, y el diseño está alineado con los requisitos.	Plan de calibración con una frecuencia óptima. Los instrumentos exhiben una alta precisión.

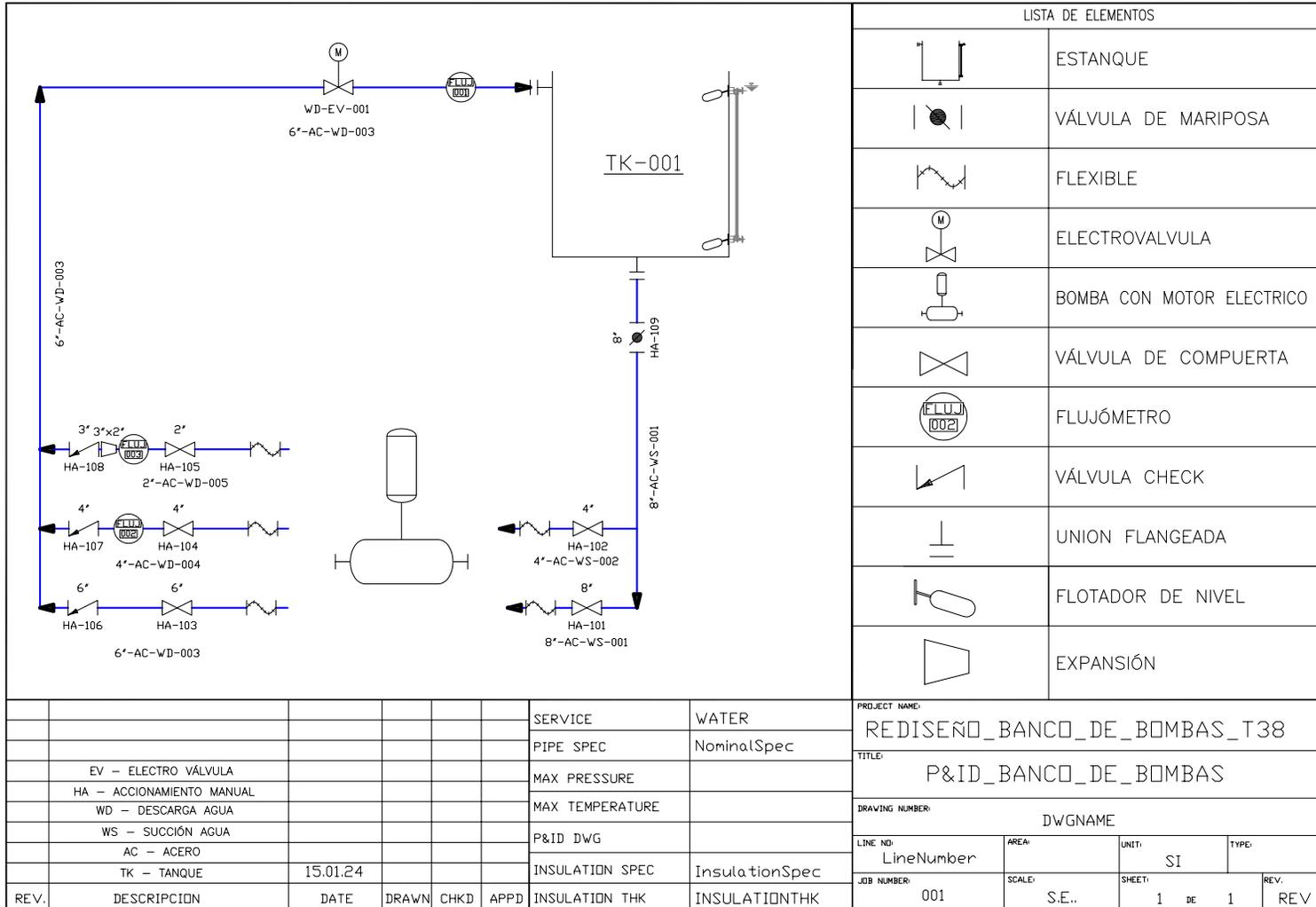
La Tabla B.4 presenta en detalle las correlaciones con respecto a los parámetros de los criterios relacionados a costos y sostenibilidad;

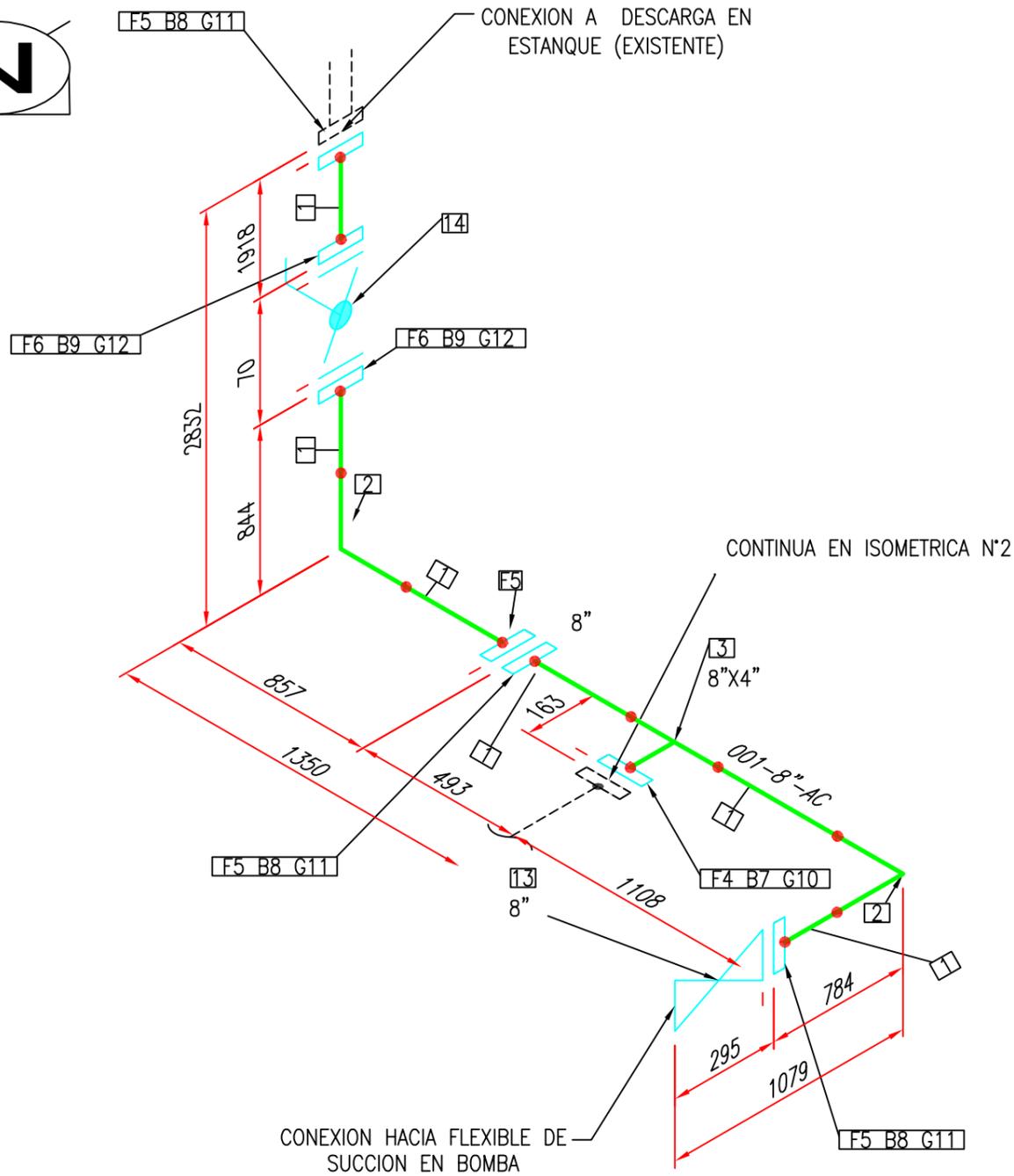
- **Tendencia de los componentes a requerir mantenimiento;** Este parámetro tiene relación, al igual que otros vistos anteriormente, en mayor medida con la disposición del circuito y componentes del banco, como también a su complejidad, y como esto puede verse reflejado en las tendencias de mantenimiento, por lo que existirán diferencias de acuerdo con cada modelo presentado dentro de la evaluación.  
Otro aspecto que se puede involucrar tiene relación con la VS9 y la adaptabilidad del circuito mediante uniones por bridas, ya que esto puede influenciar en el nivel de dificultad para realizar los distintos tipos de mantenimiento.
- **Relación en la reutilización de componentes;** Dentro de los requisitos deseables se encuentra el de reutilizar componentes ya existentes en el banco actual, esto con la intención de tener una mínima intervención y por ende menores costos. Este parámetro de evaluación se aplica a cada modelo, donde existen diferencias en su relación con parte de los componentes del banco actual. Componentes que van desde el estanque, válvulas, líneas de cañerías, etc. La mayor diferencia de costos estará representada por las líneas de cañerías, mientras que el estanque se conserva para cada modelo, la válvula automatizada representa el mismo costo para cada modelo independiente de su método de adquisición previamente descrito, similar caso con la instrumentación.
- **Reducción en procesos y componentes;** Este es un parámetro que tiene relación con la simplicidad y eficiencia del circuito, conexiones directas, circuitos simplificados en comparación con el actual banco de pruebas. La finalidad y beneficios de esto es la reducción de costos en mantenimiento, mayor control y simplicidad de operación. Para cada modelo, en cuanto a su composición, es posible diferenciar y evaluar este aspecto.
- **Evaluación de la relación costo-beneficio;** La evaluación de costo-beneficio de cada modelo propuesto se desarrolla de forma cualitativa, sin embargo, ciertos aspectos dentro de los ya evaluados hacen inferir en la incidencia de mayores o menores costos dependiendo principalmente de la composición del modelo propuesto. El principal punto de comparación de estos es con el banco actual presente, y todos los parámetros de evaluación anteriormente descritos se reflejan en este punto, demostrando las diferencias entre cada modelo y siendo decisivo en la selección final, aún cuando en cuanto a ponderación se encuentra en último nivel, esto debido a la falta de información cuantitativa.

Tabla B.4 Correlaciones de parámetros con respecto a criterios relacionados a “Costos y Sostenibilidad” (Fuente: Desarrollo Propio).

<b>Escala de Valores</b>		<b>Tendencia de los componentes a requerir mantenimiento.</b>	<b>Relación en la reutilización de componentes del diseño actual.</b>	<b>Reducción en procesos y componentes respecto al diseño actual.</b>	<b>Evaluación de la relación costo-beneficio de la inversión realizada.</b>
<b>Pts.</b>	<b>Significado</b>				
0	Insatisfactorio	Los componentes están mal dispuestos siendo propensos a fallas. Se espera un alto costo de mantenimiento anual.	No se planifica la reutilización de ningún componente del diseño actual. No se evidencian esfuerzos para aprovechar los recursos existentes.	No hay reducción significativa. La complejidad se mantiene o aumenta.	El rediseño no muestra mejoras significativas en términos de eficiencia, rendimiento o costos. La inversión no parece justificada.
1	Simplemente Tolerable	La disposición de los componentes es aceptable, pero algunos son propensos a fallas y pueden requerir mantenimiento frecuente. Los costos de mantenimiento anuales serán moderados.	Se considera la reutilización de algunos componentes, pero la mayoría se descarta. Hay una falta de esfuerzo significativo para aprovechar los recursos existentes.	Hay una pequeña reducción, pero la eficiencia no mejora considerablemente. La simplificación no es una prioridad.	Se evidencian mejoras perceptibles en términos de eficiencia o rendimiento, pero los beneficios no superan de manera significativa los costos adicionales asociados con el rediseño.
2	Adecuado	La disposición de los componentes es razonable, y la mayoría tiene una buena durabilidad. Se espera un costo de mantenimiento anual moderado.	Se planifica la reutilización de algunos componentes clave, pero no se maximiza el uso de recursos existentes.	Se realiza una reducción moderada. La eficiencia se mejora en cierta medida, pero aún hay margen para la simplificación.	El rediseño ofrece mejoras moderadas en eficiencia o rendimiento, y los costos adicionales son justificables en función de estos beneficios.
3	Bueno	Los componentes están bien dispuestos, con una baja probabilidad de fallas. Se anticipa un costo de mantenimiento anual bajo.	Se realiza un esfuerzo considerable para reutilizar la mayoría de los componentes viables del diseño actual. Se busca eficiencia en el uso de recursos.	Se logra una reducción sustancial. El rediseño es más eficiente y simplificado en comparación con el actual.	Se evidencian mejoras sustanciales en eficiencia o rendimiento, y los beneficios superan significativamente los costos adicionales. La inversión parece ser una decisión acertada.
4	Muy Bueno (Ideal)	La disposición de los componentes es excelente, y son altamente duraderos. El costo de mantenimiento anual es mínimo.	La reutilización de componentes es una parte integral del diseño. Se maximiza la utilización de recursos existentes.	Se logra la máxima reducción sin comprometer la funcionalidad. El rediseño es altamente eficiente y optimizado para la viabilidad económica y sostenibilidad.	Se presentan mejoras extraordinarias en eficiencia, rendimiento y/o sostenibilidad, y los beneficios son considerablemente mayores que los costos adicionales. La inversión se percibe como altamente rentable y estratégica.

## ANEXO C “PLANOS DE INGENIERÍA DE DETALLE”





LISTADO DE MATERIALES

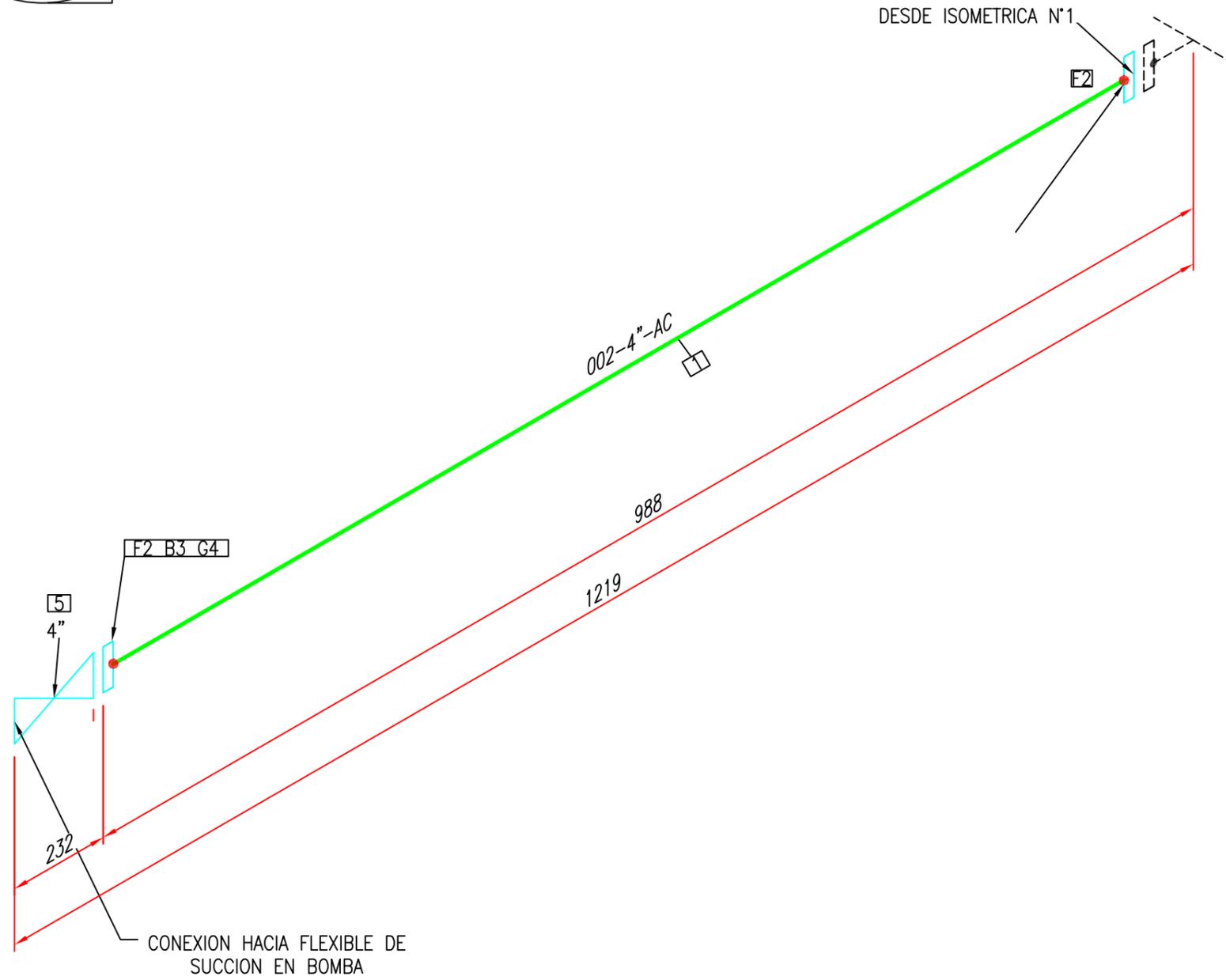
ID	QTY	ND	DESCRIPCIÓN
1	4.5M	8"	CAÑERIA SIN COSTURA SCH40, ASTM A106
2	2	8"	CODO 90 RADIO LARGO, SCH 40, ASME B16.9
3	1	8"X4"	TEE REDUCCION 8"X4", SCH 40, ASME B16.9
4	1	4"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA RF ASME B16.5
5	4	8"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA RF ASME B16.5
6	2	8"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA PLANA ASME B16.5
7	8	5/8"X89	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
8	24	3/4"X108	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
9	16	3/4"X96	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
10	1	4"	EMPAQUETADURA, SWG, 1/8" THK, ASME B16.20
11	3	8"	EMPAQUETADURA, SWG, 1/8" THK, ASME B16.20
12	2	8"	EMPAQUETADURA, SWG, 1/8" THK, ASME B16.20
13	1	8"	VALVULA DE COMPUERTA 8" ASME
14	1	8"	VALVULA MARIPOSA TIPO LUG, CLASE 150, CARA PLANA ASME B16.10

REV.	DESCRIPCIÓN	DATE	DRAWN	CHKD	APPD	SERVICE	AGUA_DE_PRUEBA
		15.01.24				PIPE SPEC	NominalSpec
						MAX PRESSURE	
						MAX TEMPERATURE	
						P&ID DWG	
						INSULATION SPEC	InsulationSpec
						INSULATION THK	InsulationThickness

PROJECT NAME:			
<b>REDISEÑO_BANCO_DE_BOMBAS_T38</b>			
TITLE:			
<b>SUCCIÓN_PRINCIPAL_8PULG</b>			
DRAWING NUMBER:			
<b>ISOMÉTRICO_N°001</b>			
LINE NO:	AREA:	UNIT:	TYPE:
001		SI	
JOB NUMBER:	SCALE:	SHEET:	REV.
001	N.T.S.	1 OF 1	REV



DESDE ISOMETRICA N°1

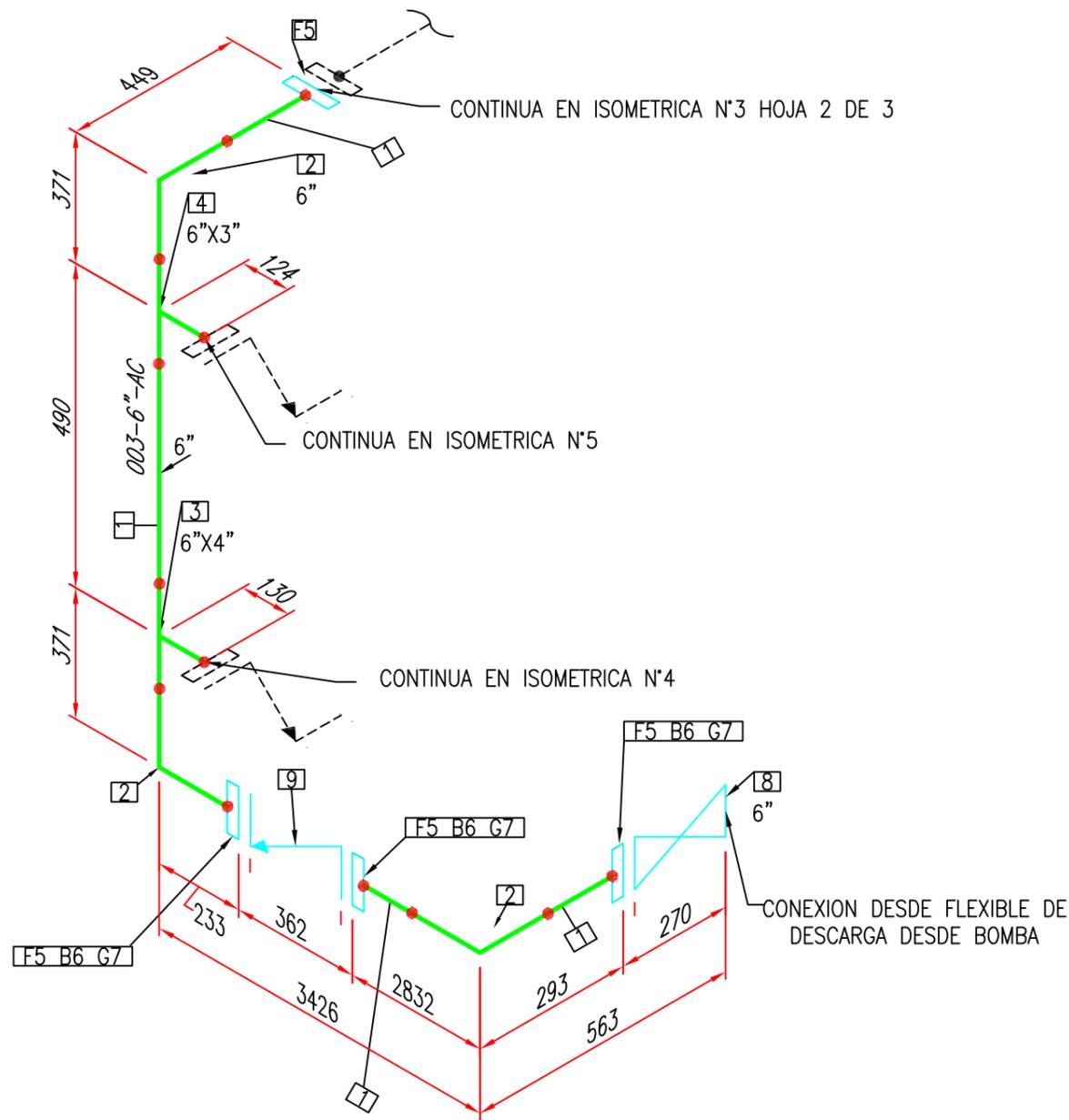


LISTADO DE MATERIALES

ID	QTY	ND	DESCRIPCIÓN
1	0.9M	4"	CAÑERIA SIN COSTURA SCH40, ASTM A106
2	2	4"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA RF ASME B16.5
3	8	5/8"X89	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
4	1	4"	EMPAQUETADURA, SWG, 1/8" THK, ASME B16.20
5	1	4"	VALVULA DE COMPUERTA 4" ASME

REV.	DESCRIPCIÓN	DATE	DRAWN	CHKD	APPD	INSULATION THK	InsulationThickness
		15.01.24					

PROJECT NAME:			
REDISEÑO_BANCO_DE_BOMBAS_T38			
TITLE:			
TRAMO_SUCCIÓN_4PULG			
DRAWING NUMBER:			
ISOMÉTRICO_N°002			
LINE NO:	AREA:	UNIT:	TYPE:
002		SI	
JOB NUMBER:	SCALE:	SHEET:	REV.
002	N.T.S.	1 OF 1	REV



LISTADO DE MATERIALES

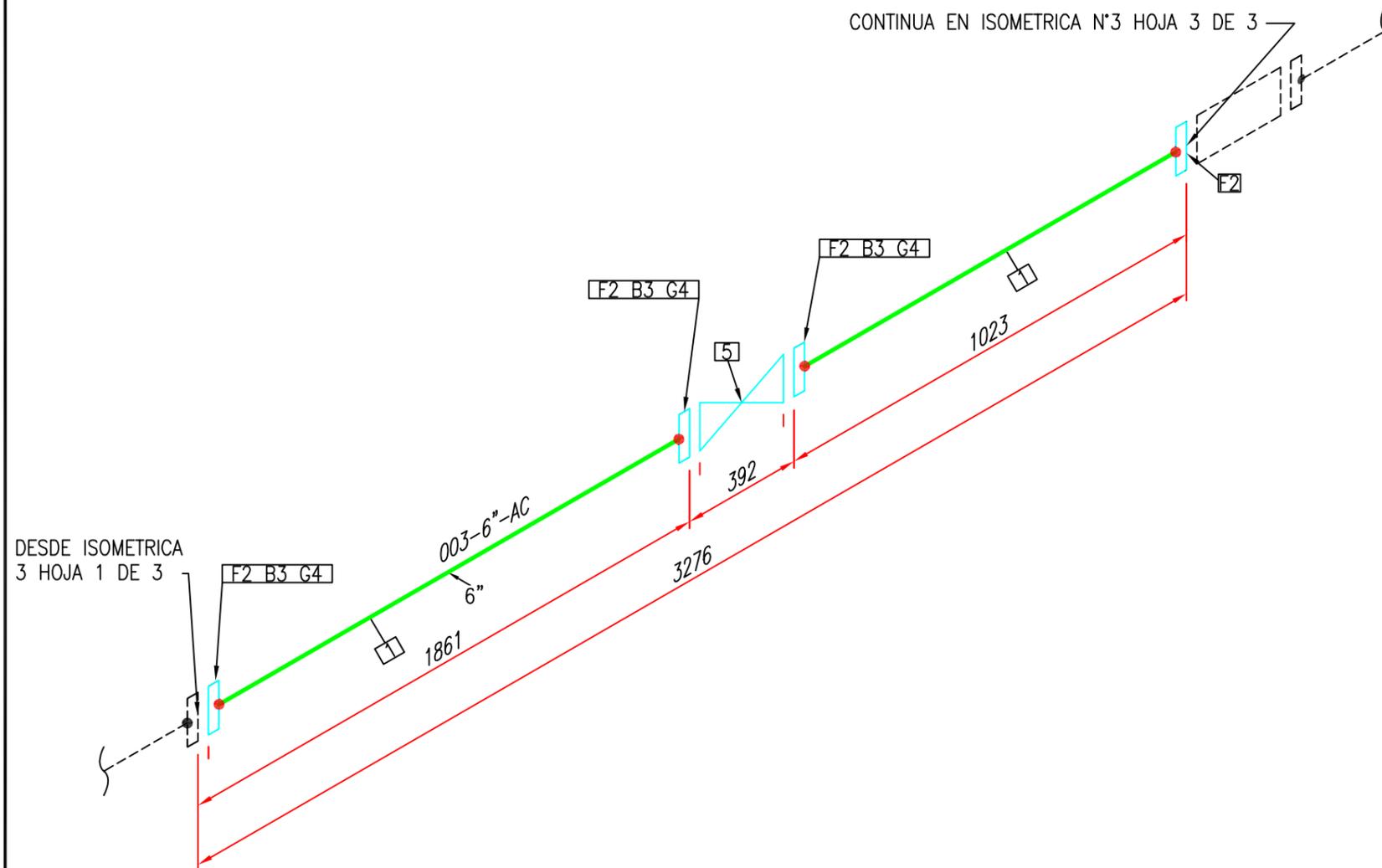
ID	QTY	ND	DESCRIPCIÓN
1	3.1M	6"	CAÑERIA SIN COSTURA SCH40, ASTM A106
2	3	6"	CODO 90 RADIO LARGO, SCH 40, ASME B16.9
3	1	6"X4"	TEE REDUCCION 6"X4", SCH 40, ASME B16.9
4	1	6"X3"	TEE REDUCCION 6"X3", SCH 40, ASME B16.9
5	4	6"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA RF ASME B16.5
6	24	3/4"X102	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
7	3	6"	EMPAQUETADURA, SWG, 1/8" THK, ASME B16.20
8	1	6"	VALVULA DE COMPUERTA 6" ASME
9	1	6"	VALVULA CHECK 6" ASME

REV.	DESCRIPCIÓN	DATE	DRAWN	CHKD	APPD	INSULATION THK	InsulationThickness
		15.01.24					

PROJECT NAME:			
<b>REDISEÑO_BANCO_DE_BOMBAS_T38</b>			
TITLE:			
<b>TRAMO_DESCARGA_6PULG</b>			
DRAWING NUMBER:			
<b>ISOMÉTRICO_N°003</b>			
LINE NO:	AREA:	UNIT:	TYPE:
<b>003</b>		<b>SI</b>	
JOB NUMBER:	SCALE:	SHEET:	REV.
<b>003</b>	<b>N.T.S.</b>	<b>1 OF 3</b>	<b>REV</b>



CONTINUA EN ISOMETRICA N°3 HOJA 3 DE 3



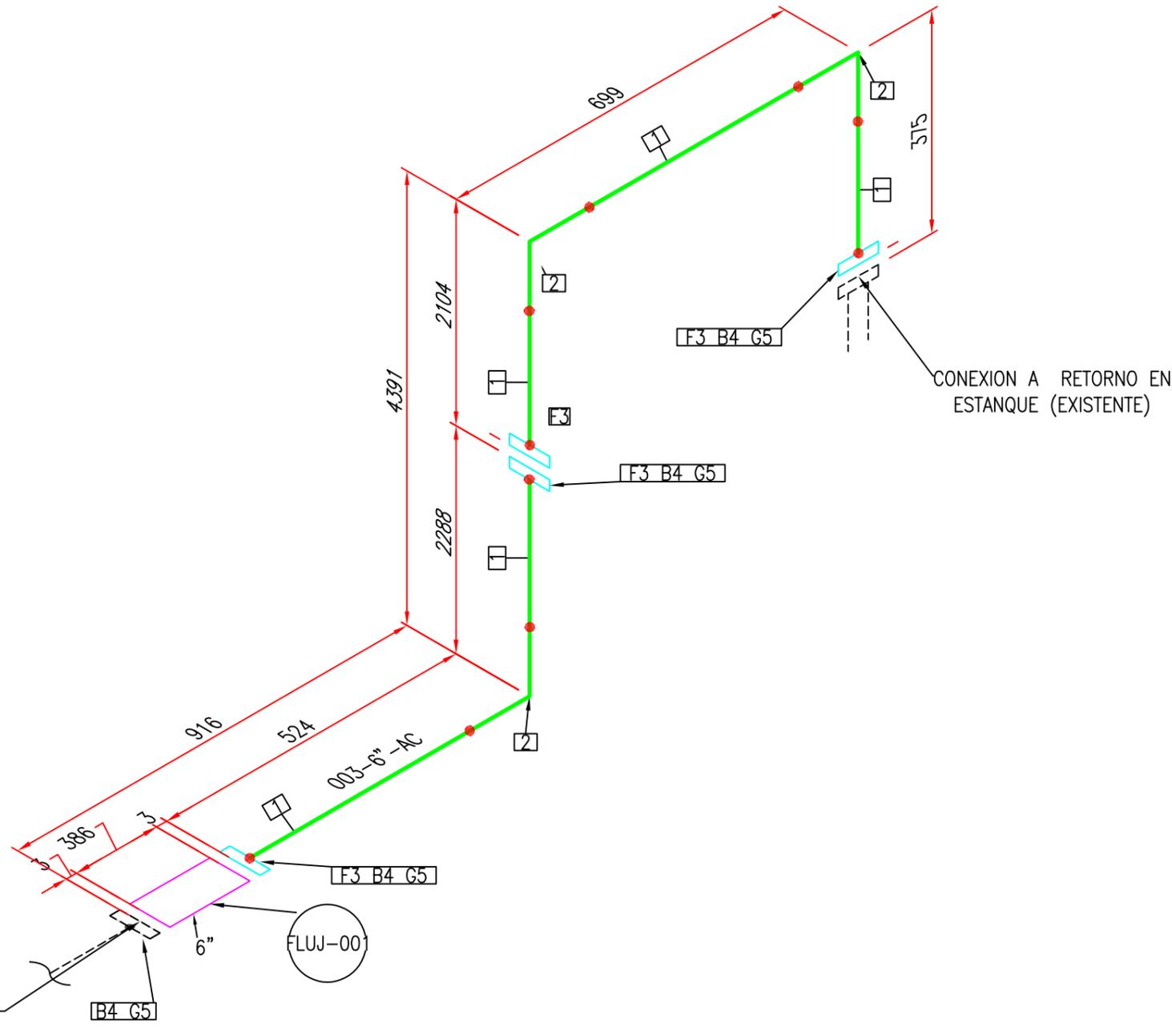
LISTADO DE MATERIALES

ID	QTY	ND	DESCRIPCIÓN
1	2.9M	6"	CAÑERIA SIN COSTURA SCH40, ASTM A106
2	4	6"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA RF ASME B16.5
3	24	3/4"X102	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
4	3	6"	GASKET, SWG, 1/8" THK, RF, 150 LB, ASME B16.20
5	1	6"	VALVULA DE COMPUERTA 6" ACCIONAMIENTO ELECTRICO, ASME

DESDE ISOMETRICA  
3 HOJA 1 DE 3

REV.	DESCRIPCIÓN	DATE	DRAWN	CHKD	APPD	INSULATION THK	InsulationThickness
		15.01.24					

PROJECT NAME:			
REDISEÑO_BANCO_DE_BOMBAS_T38			
TITLE:			
TRAMO_DESCARGA_6PULG			
DRAWING NUMBER:			
ISOMÉTRICO_N°003			
LINE NO:	AREA:	UNIT:	TYPE:
003		SI	
JOB NUMBER:	SCALE:	SHEET:	REV.
003	N.T.S.	2 OF 3	REV



DESDE ISOMETRICA  
3 HOJA 2 DE 3

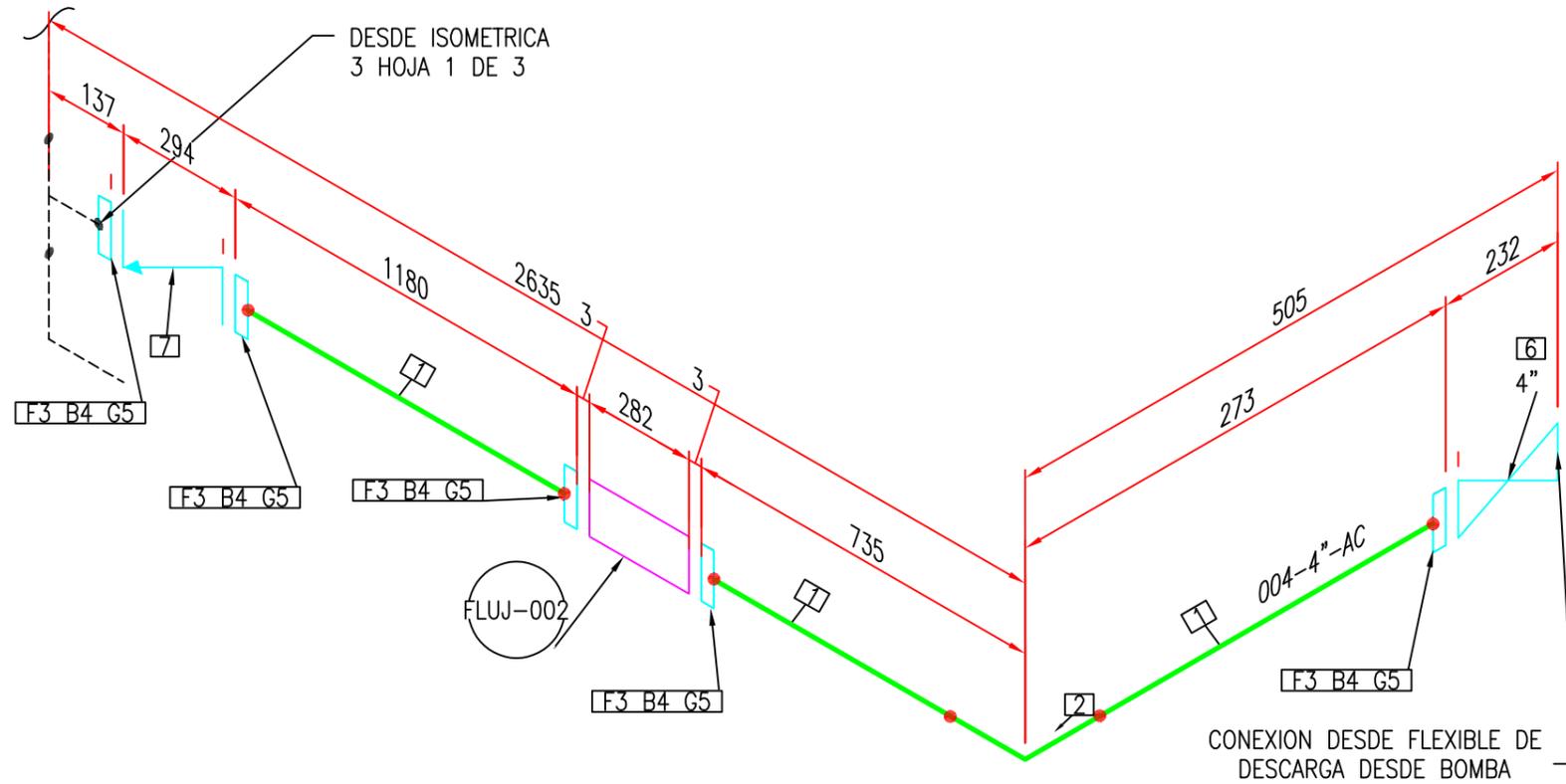
LISTADO DE MATERIALES

ID	QTY	ND	DESCRIPCIÓN
1	4.6M	6"	CAÑERIA SIN COSTURA SCH40, ASTM A106
2	3	6"	CODO 90 RADIO LARGO, SCH 40, ASME B16.9
3	4	6"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA RF ASME B16.5
4	32	3/4"X102	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
5	4	6"	EMPAQUETADURA, SWG, 1/8" THK, ASME B16.20

CONEXION A RETORNO EN  
ESTANQUE (EXISTENTE)

REV.	DESCRIPCIÓN	DATE	DRAWN	CHKD	APPD	INSULATION THK	InsulationThickness
		15.01.24					

PROJECT NAME:			
REDISEÑO_BANCO_DE_BOMBAS_T38			
TITLE:			
TRAMO_DESCARGA_6PULG			
DRAWING NUMBER:			
ISOMÉTRICO_N°003			
LINE NO:	AREA:	UNIT:	TYPE:
003		SI	
JOB NUMBER:	SCALE:	SHEET:	REV.
003	N.T.S.	3 OF 3	REV



LISTADO DE MATERIALES

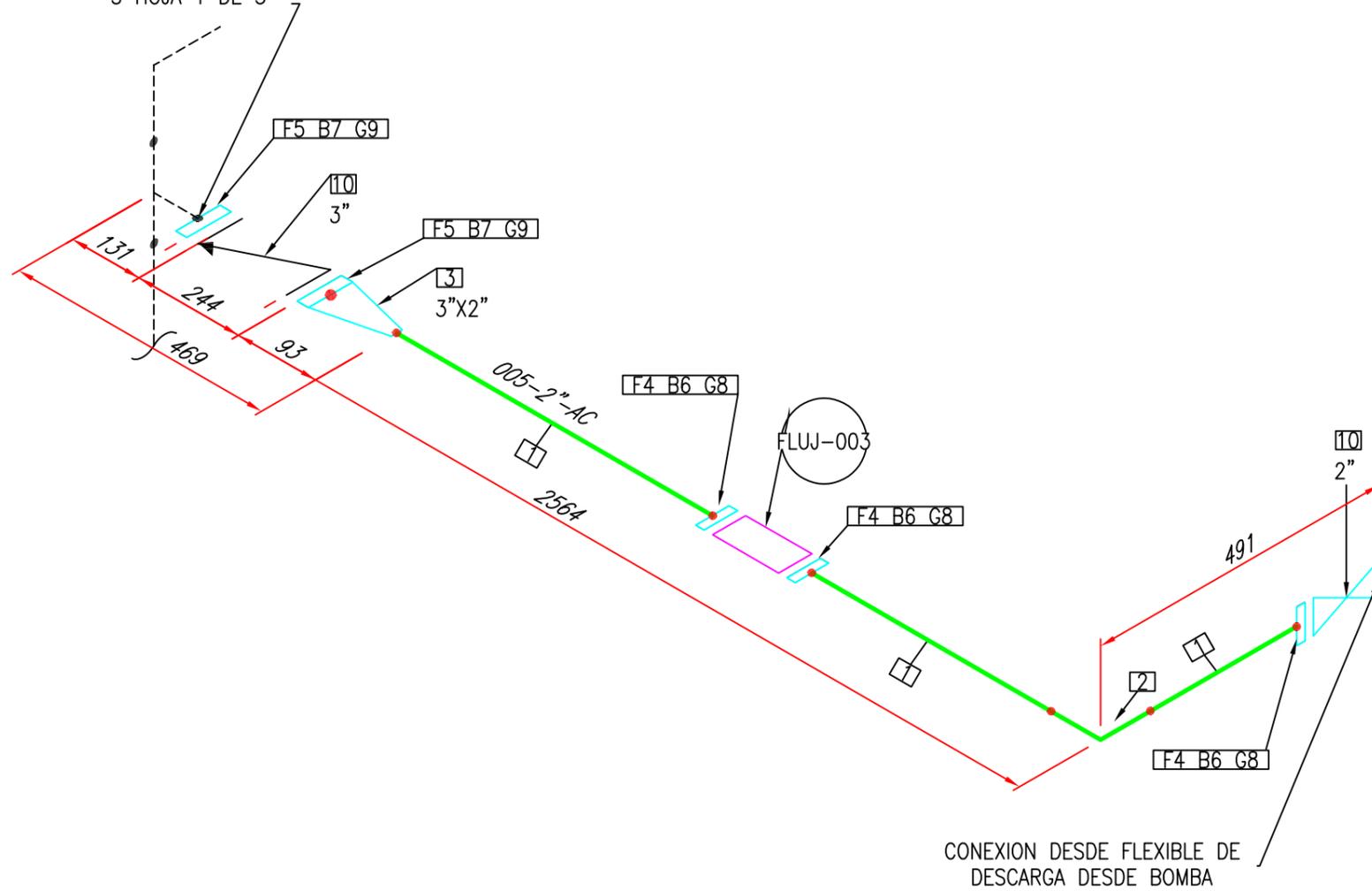
ID	QTY	ND	DESCRIPCIÓN
1	1.9M	4"	CAÑERIA SIN COSTURA SCH40, ASTM A106
2	1	4"	CODO 90 RADIO LARGO, SCH 40, ASME B16.9
3	5	4"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA RF ASME B16.5
4	40	5/8"X89	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
5	5	4"	EMPAQUETADURA, SWG, 1/8" THK, ASME B16.20
6	1	4"	VALVULA DE COMPUERTA 4" ASME
7	1	4"	VALVULA CHECK 4" ASME

REV.	DESCRIPCIÓN	DATE	DRAWN	CHKD	APPD	INSULATION THK
		15.01.24				InsulationThickness

PROJECT NAME:			
REDISEÑO_BANCO_DE_BOMBAS_T38			
TITLE:			
TRAMO_DESCARGA_4PULG			
DRAWING NUMBER:			
ISOMÉTRICO_N°004			
LINE NO:	AREA:	UNIT:	TYPE:
004		SI	
JOB NUMBER:	SCALE:	SHEET:	REV.
004	N.T.S.	1 OF 1	REV



DESDE ISOMETRICA  
3 HOJA 1 DE 3



CONEXION DESDE FLEXIBLE DE  
DESCARGA DESDE BOMBA

LISTADO DE MATERIALES

ID	QTY	ND	DESCRIPCIÓN
1	2.1M	2"	CAÑERIA SIN COSTURA SCH40, ASTM A106
2	1	2"	CODO 90 RADIO LARGO, SCH 40, ASME B16.9
3	1	3"X2"	REDUCTOR CONCENTRICO SOLDAR, ASME B16.9
4	3	2"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA RF ASME B16.5
5	2	3"	FLANGE SLIP ON, CLASE 150, CARA RF ASME B16.5
6	12	5/8"X83	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
7	8	5/8"X89	SET DE ESPARRAGOS, TUERCAS Y GOLILLA, FLANGE RF, CLASE 150.
8	3	2"	EMPAQUETADURA, SWG, 1/8" THK, ASME B16.20
9	2	3"	EMPAQUETADURA, SWG, 1/8" THK, ASME B16.20
10	1	2"	VALVULA DE COMPUERTA 2" ASME
11	1	3"	VALVULA CHECK 3" ASME

REV.	DESCRIPCIÓN	DATE	DRAWN	CHKD	APPD	INSULATION THK	InsulationThickness
		15.01.24					

PROJECT NAME:			
<b>REDISEÑO_BANCO_DE_BOMBAS_T38</b>			
TITLE:			
<b>TRAMO_DESCARGA_2PULG</b>			
DRAWING NUMBER:			
<b>ISOMÉTRICO_N°005</b>			
LINE NO:	AREA:	UNIT:	TYPE:
005		SI	
JOB NUMBER:	SCALE:	SHEET:	REV.
005	N.T.S.	1 OF 1	REV