

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“DISEÑO DE BANCO HIDRÁULICO PARA LA MEDICIÓN DE PÉRDIDAS  
LOCALIZADAS”**

**Trabajo especial de Grado**  
**Presentado ante la**  
**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**  
**Como parte de los requisitos para optar al título de**  
**INGENIERO CIVIL.**

**Realizado por:**

**Acebedo Emiliana**

**Zambrano Edicson**

**Profesor Guía: Ing. Marcano Andrés**

**Diciembre de 2020**

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE BANCO HIDRÁULICO PARA LA MEDICIÓN DE  
PÉRDIDAS LOCALIZADAS**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: **Diecisiete (17)** puntos.

**J U R A D O E X A M I N A D O R**

Firma:



Firma:



Firma:



Nombre: Alejandro Ramos

Nombre: José Miguel Divassón

Nombre: Andrés Marcano

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO CIVIL**

**AGRADECIMIENTOS (Emiliana Acebedo)**

*A Dios y a La Virgen del Carmen.*

*A mis padres, Emil Acebedo y Aura Calderón, por tanta entrega a diario, por apoyarme a que pueda lograr todos mis propósitos, todo es por ustedes.*

*Mi familia, en especial mi abuela Aurora.*

*Félix, David, Yomaira Calderón, Sr GÖETZ Pahl: Su ayuda fue fundamental para iniciar y finalizar esta etapa de mi vida.*

*Mis amigos e Ingenieros: Albín Alfonzo, Willmary Barrera, Marcos Campos, Leonardo Diogo, Angelimar Ramírez, Angelo Rondón, Juan Rondón, Wilson Obregón, Edicson Zambrano. Por cada día de aprendizajes juntos, por cada día que siempre estuvieron conmigo apoyándome, siempre estaré agradecida y siempre tendrán mi apoyo.*

*Mi tutor Andrés Marcano.*

*Todas las personas que me ayudaron en el camino:*

*Mis padrinos: Nubis Ramírez, Jhonnie López.*

*Profesores: Juan Carlos Martínez, Roque García, María Viana, Ricardo Salvatorelli, José Velásquez. Gracias a ustedes, por las enseñanzas transmitidas, por el tiempo y por la atención.*

### **AGRADECIMIENTO (Edicson Zambrano)**

#### **AGRADECIMIENTO**

*A Dios todo poderoso en quien vivimos, nos movemos y existimos; a nuestra Señora de la Consolación, patrona del Táchira.*

*A la Universidad Católica Andrés Bello, por permitirme aprender, al profesor Andrés Marcano por su guía y comprensión.*

*A todos aquellos profesores que marcan con su distinguida forma de enseñar y su sapiencia, tratare de colocar en práctica todos sus consejos, gracias.*

*A todas las personas que de alguna manera colaboraron para poder llevar a cabo este proyecto de vida: Jose Posligua, Rhoney. En especial a mis tíos: Venancio, Eloina y Ali: por su sabiduría y apoyo incondicional.*

*A mis abuelos Venancio y Agripina quienes son pilares de la familia, y la familia es lo primero.*

*A mis primas Yegni y Yelsi por estar siempre presentes y colaborando en todo lo que podían.*

*A mis amados hermanos: Jhorman, Jhonathan, Jhonderson, Danny y Thais, con quienes cuento siempre en toda circunstancia y en todo momento. Ellos siempre colaboraron para hacer realidad esta meta y estoy eternamente agradecido.*

*A mis queridos amigos que me dio la vida al transitar este camino de aprendizaje: Emiliana Acebedo, Willmary Barrera, Marcos Campos y Leonel Santoyo.*

*A mi madre María Hermelinda Sánchez Jaimes; eres el motivo de querer ser mejor y seguir creciendo cada día, eres ejemplo de ser humano, llena de virtudes y amor. Gracias madre bella por ser ese apoyo que siempre está ahí cuando las fuerzas flaquean.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO I                                        | 1  |
| INTRODUCCIÓN                                      | 1  |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                    | 1  |
| 1.2 ANTECEDENTES                                  | 2  |
| 1.3 OBJETIVOS                                     | 4  |
| OBJETIVO GENERAL                                  | 4  |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS                             | 4  |
| 1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES                        | 4  |
| CAPÍTULO II                                       | 6  |
| MARCO TEÓRICO                                     | 6  |
| 2.1 Equipos que conforman los bancos hidráulicos  | 8  |
| 2.1.1 Bombas centrífugas                          | 8  |
| 2.1.2 Curvas características de una bomba:        | 8  |
| 2.1.3 Caudalímetro                                | 9  |
| 2.1.4 Válvulas reguladoras de caudal              | 10 |
| 2.1.5 Manómetros                                  | 10 |
| 2.2 Válvulas de control de presión                | 14 |
| 2.2.1 Válvulas reductoras de presión              | 14 |
| 2.2.3 Válvulas sostenedoras de presión            | 14 |
| 2.2.4 Válvulas reductoras/sostenedoras de presión | 14 |

|                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.4 Variadores de Frecuencia                                                                                                                                                                                                                        | 15 |
| 2.3 Parámetros a considerar en el diseño de los bancos hidráulicos                                                                                                                                                                                    | 16 |
| 2.3.1 Presión                                                                                                                                                                                                                                         | 16 |
| 2.4 Caudal                                                                                                                                                                                                                                            | 17 |
| 2.5 Número De Reynolds                                                                                                                                                                                                                                | 18 |
| 2.6 Longitud de desarrollo                                                                                                                                                                                                                            | 19 |
| 2.7 Materiales comúnmente utilizados en instalaciones hidráulicas                                                                                                                                                                                     | 20 |
| 2.7.1 Tuberías y conexiones de Polipropileno Copolímero Random (PPR):                                                                                                                                                                                 | 20 |
| 2.7.2 Policloruro de Vinilo (PVC)                                                                                                                                                                                                                     | 21 |
| 2.7.3 Hierro Galvanizado                                                                                                                                                                                                                              | 21 |
| CAPÍTULO III                                                                                                                                                                                                                                          | 22 |
| MARCO METODOLÓGICO                                                                                                                                                                                                                                    | 22 |
| 3.1 Tipo de investigación.                                                                                                                                                                                                                            | 22 |
| 3.1.1 Enfoque                                                                                                                                                                                                                                         | 23 |
| 3.2 Instrumentos de recolección de datos                                                                                                                                                                                                              | 23 |
| 3.2.1 Reconocimiento del sitio y levantamiento planialtimétrico                                                                                                                                                                                       | 23 |
| 3.2.2 Consulta a expertos                                                                                                                                                                                                                             | 23 |
| Previo y durante el desarrollo del diseño, se realizaron diversas consultas a expertos en el área de la instrumentación e hidráulica, respecto a los equipos idóneos a utilizar en el banco hidráulico para la determinación de pérdidas localizadas. | 23 |
| 3.2.2.1 Ing. José Miguel Divassón. Profesor titular de la cátedra de Laboratorio de mecánica de los fluidos en la UCAB                                                                                                                                | 24 |
| 3.2.2.2 Ing. Freddy Aular. Dueño de la empresa Exfaypeca Ingeniería                                                                                                                                                                                   | 24 |

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.2.3 Sr. Nerio Carrifali. Gerente de ventas de la empresa INTECH (Proveedor de instrumentos y equipos).      | 25        |
| 3.2.2.4 Prauser Gutiérrez. Encargado de ventas de la empresa SISCOM (proveedor de válvulas y equipos de bombeo) | 26        |
| 3.4 Catálogos a utilizar:                                                                                       | 26        |
| 3.5 Variables en el análisis y unidades de trabajo                                                              | 27        |
| 3.5 Proceso de metodología                                                                                      | 28        |
| <b>CAPÍTULO IV</b>                                                                                              | <b>29</b> |
| <b>DESARROLLO</b>                                                                                               | <b>29</b> |
| 4.1 Instalaciones Existentes                                                                                    | 29        |
| 4.1.1 Bombas centrífugas                                                                                        | 29        |
| 4.1.1.1 Curvas Características Bombas ESPA 25.4                                                                 | 30        |
| 4.1.2 Tanque de almacenamiento                                                                                  | 31        |
| 4.1.3 Variador de frecuencia                                                                                    | 31        |
| 4.1.4 Manómetros tipo Bourdon                                                                                   | 32        |
| 4.1.5 Caudalímetro                                                                                              | 33        |
| 4.2 Conceptualización del diseño del banco hidráulico                                                           | 34        |
| 4.2.1 Tipos de conexiones a utilizar.                                                                           | 34        |
| 4.2.2 Diámetros de tuberías                                                                                     | 35        |
| 4.3 Restricción del caudalímetro                                                                                | 37        |
| 4.4 Metodología para el diseño de los kits de medición                                                          | 37        |
| 4.4.1 Diagrama de ensamblaje de los kits de medición                                                            | 39        |
| 4.4.2 Diseño de los componentes para el armado de los kits de medición.                                         | 42        |

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5 Requerimientos técnicos de los manómetros del banco hidráulico                                                                               | 54  |
| 4.5.1 Determinación de resolución mínima del instrumento                                                                                         | 54  |
| 4.4 Evaluación de alternativas de manómetros                                                                                                     | 59  |
| 4.5 Resumen de instrumentos seleccionados y condiciones de diseño a considerar para el banco 62                                                  |     |
| 4.6 Evaluación de alternativas para adaptar el sistema de bombeo actual a los requerimientos de presión y caudal del banco hidráulico de pruebas | 62  |
| 4.7 Procedimiento para el uso del banco hidráulico de pruebas: operación, medición y registro de información                                     | 77  |
| 4.7.1 Planilla de datos                                                                                                                          | 78  |
| 4.8 Apoyo del sistema                                                                                                                            | 84  |
| CAPÍTULO V                                                                                                                                       | 88  |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS                                                                                                                           | 88  |
| CAPÍTULO VI                                                                                                                                      | 96  |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                                                                                                                   | 96  |
| BIBLIOGRAFÍA                                                                                                                                     | 99  |
| ANEXOS .....                                                                                                                                     | 101 |

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

|                                                                                                                                                                     |                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| TABLA N°1 DEFINICIONES DE LONGITUD DE DESARROLLO                                                                                                                    | 19                                   |
| TABLA N°2: FÓRMULAS DE LONGITUD DE DESARROLLO                                                                                                                       | 20                                   |
| TABLA N°3: VARIABLES Y UNIDADES DE DISEÑO                                                                                                                           | 27                                   |
| TABLA N°4: ESPECIFICACIONES BOMBA ESPA 25.4                                                                                                                         | 30                                   |
| TABLA N° 5: DIMENSIONES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO                                                                                                                | 31                                   |
| TABLA N°6: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE MANÓMETROS EXISTENTES                                                                                                     | 32                                   |
| TABLA N° 7: ESPECIFICACIONES DEL CAUDALÍMETRO                                                                                                                       | 33                                   |
| TABLA N° 8: RESUMEN DE EQUIPOS INSTALADOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE LOS<br>FLUIDOS- UCAB                                                                     | 33                                   |
| TABLA N° 9: CLASIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES SEGÚN SU ENTRADA/SALIDA                                                                                                 | 35                                   |
| TABLA N°10 : DIÁMETROS DE DIFERENTES MATERIALES. CATÁLOGOS: (1) DONSEN PPR®, (2)<br>PAVCO, (3) MATERIALES LOS ANDES                                                 | 36                                   |
| TABLA N °11: DIÁMETROS COMERCIALES PARA DIFERENTES TIPOS DE CONEXIONES                                                                                              | 36                                   |
| TABLA N°12: ELEMENTOS PARA ARMADO DE KITS                                                                                                                           | 43                                   |
| TABLA N°13: LONGITUD DE DESARROLLO PARA PPR                                                                                                                         | 46                                   |
| TABLA N° 14 ESPECIFICACIONES DEL INSTRUMENTO A INSTALAR EN CONEXIÓN CAUDALIMETRO<br>(CC)                                                                            | 51                                   |
| TABLA N° 15: FACTORES K PARA DIFERENTES ACCESORIOS                                                                                                                  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| TABLA N°16 : DIÁMETROS Y CAUDALES SELECCIONADOS PARA ESTIMAR VALORES DE CAÍDA DE<br>PRESIÓN COMO PARTE DEL PROCESO DE DEFINICIÓN DE RESOLUCIÓN DEL MANÓMETRO        | 56                                   |
| TABLA N° 17: ESTIMACIÓN DE DIFERENCIALES DE PRESIÓN, PARA VARIACIONES DE K DE 0.01;<br>0.1; 1 Y 10, PARA DIÁMETROS INTERNOS DE 13.2MM Y 77.2, CON DIVERSOS CAUDALES | 57                                   |
| TABLA N° 18: MODELOS DE POSIBLES MANÓMETROS                                                                                                                         | 59                                   |
| TABLA N°19: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS MODELOS DE MANÓMETROS<br>PRESELECCIONADOS                                                                            | 60                                   |
| TABLA N°20: MATRIZ DE DECISIÓN PARA MODELO DE MANÓMETRO                                                                                                             | 61                                   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA N° 21: MANÓMETRO ESCOGIDO PARA EL DISEÑO DEL BANCO HIDRÁULICO PARA LA MEDICIÓN DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS                                                                                                                                                                            | 61 |
| TABLA N° 22: RESUMEN DE LÍMITES DE OPERACIÓN DEFINIDOS E INSTRUMENTOS SELECCIONADOS PARA EL BANCO HIDRÁULICO                                                                                                                                                                            | 62 |
| TABLA N° 23 ALTURAS DE AGUA Y CAUDALES PARA CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBA ESPA                                                                                                                                                                                                           | 64 |
| TABLA N° 24: CONDICIONES PARA DETERMINAR EL MODELO DE VÁLVULA REQUERIDA                                                                                                                                                                                                                 | 66 |
| TABLA N° 25: ESPECIFICACIONES DE LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN- CAMFLEX                                                                                                                                                                                                               | 67 |
| TABLA N° 26: VALORES DE ALTURA DE BOMBA HF70B                                                                                                                                                                                                                                           | 69 |
| TABLA N° 27 RESUMEN DE PRESIONES EN LA DESCARGA DE LA BOMBA, EN EL PUNTO DE CONTROL (MANÓMETRO 1), EN LA DESCARGA DEL TANQUE, Y VELOCIDADES DE FLUJO PARA EL CASO DE BOMBA ESPA 25.4 SIN VARIADOR DE FRECUENCIA (3450 RPM) PARA DIÁMETRO DE $\frac{3}{4}$ "                             | 71 |
| TABLA N° 28 RESUMEN DE PRESIONES EN LA DESCARGA DE LA BOMBA, EN EL PUNTO DE CONTROL (MANÓMETRO 1), EN LA DESCARGA DEL TANQUE, Y VELOCIDADES DE FLUJO PARA EL CASO DE 1 Y 2 BOMBAS ESPA 25.4 EN PARALELO, CON USO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA (2531 RPM) PARA DIÁMETRO DE $\frac{3}{4}$ " | 73 |
| TABLA N° 29 RESUMEN DE PRESIONES EN LA DESCARGA DE LA BOMBA, EN EL PUNTO DE CONTROL (MANÓMETRO 1), EN LA DESCARGA DEL TANQUE, Y VELOCIDADES DE FLUJO PARA EL CASO DE BOMBA PEDROLLO HF 70B, PARA DIÁMETRO DE $\frac{3}{4}$ "                                                            | 75 |
| TABLA N° 30 RANGOS DE DIÁMETRO Y CAUDAL PARA 2 CIFRAS DECIMALES DE "K"                                                                                                                                                                                                                  | 82 |
| TABLA N° 31 CONDICIONES PREVIAS A SELECCIONAR EL SISTEMA DE BOMBEO DEL BANCO HIDRÁULICO                                                                                                                                                                                                 | 89 |
| TABLA N° 32 RANGOS DE OPERACIÓN PARA BOMBA ESPA PRISMA 25.4                                                                                                                                                                                                                             | 91 |
| TABLA N° 33 RANGOS DE OPERACIÓN PARA BOMBA ESPA PRISMA 25.4 CON USO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA                                                                                                                                                                                          | 92 |
| TABLA N° 34 RANGOS DE OPERACIÓN PARA BOMBA ESPA PRISMA 25.4 SISTEMA EN PARALELO CON USO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA                                                                                                                                                                      | 92 |
| TABLA N° 35 RANGOS DE OPERACIÓN PARA BOMBA PEDROLLO HF 70B                                                                                                                                                                                                                              | 93 |

TABLA N° 36 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA EL BANCO HIDRÁULICO SEGÚN  
DIÁMETROS COMERCIALES

94

ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA N°1: “EJEMPLO DE CURVAS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA”      | 9  |
| FIGURA N° 2: MANÓMETRO TIPO BOURDON                                            | 11 |
| FIGURA N° 3: MANÓMETRO DIGITAL                                                 | 11 |
| FIGURA N°4: MANÓMETRO DIFERENCIAL                                              | 12 |
| FIGURA N°5: ESQUEMA SEGÚN NORMAS ANSI/ISA 75 PARA MEDICIONES DE PRESIÓN        | 13 |
| FIGURA N° 6: INSTALACIÓN DEL BANCO DE BOMBAS                                   | 29 |
| FIGURA N°7 CURVAS CARACTERÍSTICA PARA BOMBA INDIVIDUAL                         | 30 |
| FIGURA N° 8: CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS ESPA 25.4 EN PARALELO Y EN SERIE | 31 |
| FIGURA N° 9 CONEXIONES 1:1 EN PPR                                              | 38 |
| FIGURA N°10: CONEXIONES 1:2 EN PPR                                             | 39 |
| FIGURA N°11 CONEXIÓN 1:3 EN PPR                                                | 39 |
| FIGURA N °12: ESQUEMA DE KITS PARA CONEXIONES 1:1                              | 40 |
| FIGURA N ° 13 ESQUEMA DE KITS PARA CONEXIÓN 1:2- TEE FLUJO CRUZADO             | 40 |
| FIGURA N°14: ESQUEMA DE KITS PARA CONEXIÓN 1:2- TEE FLUJO RECTO                | 41 |
| FIGURA N°15: ESQUEMA DE KITS PARA CONEXIÓN 1:3- CRUZ LISA                      | 42 |
| FIGURA N° 16: ELEMENTO DE TRANSICIÓN                                           | 44 |
| FIGURA N°17: ELEMENTO LONGITUD DE DESARROLLO                                   | 47 |
| FIGURA N° 18: ESQUEMA SEGÚN NORMAS ANSI/ISA 75 PARA MEDICIONES DE PRESIÓN      | 48 |
| FIGURA N°19: MODELO CONEXIÓN MANOMÉTRICA PARA DIÁMETROS < 2”                   | 48 |
| FIGURA N°20: MODELO CONEXIÓN MANOMÉTRICA PARA DIÁMETROS > 2”                   | 49 |
| FIGURA N° 21 : LEYENDA DE DETALLE CONEXIÓN MANOMÉTRICA                         | 50 |
| FIGURA N°22 CONEXIONES DE CAUDALIMETRO                                         | 51 |
| FIGURA N°23 LEYENDA DE CAUDALIMETRO                                            | 52 |
| FIGURA N°24: ELEMENTOS DE DESCARGA PARA CODO 90°                               | 53 |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA N°25 DETALLE CONEXIÓN AL TANQUE                                                                         | 53 |
| FIGURA N°26 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CAÍDAS DE PRESIÓN ESTIMADAS EN LA TABLA N°17                         | 58 |
| FIGURA N° 27 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBA ESPA PARA VARIOS ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO (3450 RPM Y 2531 RPM) | 65 |
| FIGURA N° 28: CURVAS CARACTERÍSTICA DE BOMBA HFM 70B                                                           | 68 |
| FIGURA N° 29 EJEMPLO DE DISEÑO: NIVELES PIEZÓMETROS EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE CONTROL DEL BANCO HIDRÁULICO   | 70 |
| FIGURA N° 30 : MATRIZ DE DECISIÓN: SISTEMA DE BOMBEO                                                           | 76 |
| FIGURA N° 31 ESQUEMA PROCESAMIENTO DE DATOS: CÁLCULO DE ENERGÍA PARA CÁLCULO DE FACTOR "K"                     | 77 |
| FIGURA N° 32 PLANILLA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS                   | 79 |
| FIGURA N° 33 GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI EN PPR                          | 80 |
| FIGURA N° 34 GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI                                 | 82 |
| FIGURA N° 35 GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI                                 | 83 |
| FIGURA N° 36: APOYOS DEL BANCO HIDRÁULICO                                                                      | 84 |
| FIGURA N° 37: VISTA FRONTAL DE APOYOS DEL SISTEMA                                                              | 85 |
| FIGURA N° 38: APOYO ADICIONAL BANCO HIDRÁULICO                                                                 | 86 |
| FIGURA N° 39 DISEÑO DE BANCO HIDRÁULICO PARA LA MEDICIÓN DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS                               | 87 |

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de grado se diseña el banco hidráulico de la Universidad Católica Andrés Bello, para la medición de pérdidas localizadas. A pesar de que, en las normas sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones, Gaceta N°4044 se hace referencia a que los fabricantes deben proveer información técnica de las pérdidas de carga en las tuberías y conexiones que comercialicen; en Venezuela existe una falta de información al respecto sobre todo en lo que corresponde a los coeficientes “K” de pérdidas localizadas. Por lo tanto, la línea de investigación que se recomienda seguir permitirá la construcción de los kits de prueba, la toma y procesamiento de datos para la determinación del coeficiente de pérdidas localizadas. Este podrá ser útil para uso interno de prácticas del laboratorio de Mecánica de los Fluidos y para fabricantes de tuberías en Venezuela o estudios privados dirigidos hacia esta área.

El diseño tiene como fundamento acoplarse al banco de bombas para la determinación de curvas características y leyes de semejanza, ya existente en el laboratorio de Mecánica de Los Fluidos de la Universidad Católica Andrés Bello, no obstante, luego de seleccionar los instrumentos para medición de presión (manómetros), los mismos determinaron o impusieron restricciones a las condiciones de diseño originalmente planteadas para no exceder los rangos de presión operativos de éstos. Considerando lo antes descrito, en el análisis y evaluación de propuestas para adecuar el sistema de bombeo existente a las nuevas condiciones de diseño; surge la selección mediante una matriz de decisión dado la cantidad de variables a considerar, restricción de presión por el manómetro, restricción de caudales, adecuada descarga al tanque de almacenamiento y velocidades entre 0.1 y 6 m/s, terminando por seleccionarse como opción el uso del variador de frecuencia para los equipos existentes que permitirá operar en un rango de diámetros.

Los kits de medición se diseñaron para 10 tipos de conexiones en PPR, PVC y HG y paralelamente se formuló la metodología que aplica para prácticamente la totalidad de conexiones y materiales. Se utilizarán la mayoría de los diámetros comerciales, teniendo en cuenta que el diámetro de 6", presenta dificultades en el manejo por el poco espacio disponible por las longitudes de desarrollo, debido a esto no se incluyó entre los considerados para el diseño. Las longitudes en cada tramo, se establecieron por medio de la norma ANSI/ISA-75.02.01-2008, las cuales indican la distancia requerida entre los manómetros, caudalímetro y las conexiones. Se escogió como temperatura más desfavorable 40°C, ya que ésta temperatura era la máxima permisible para el uso del equipo de bombeo y el caudalímetro, además de ser el valor que presentase una menor viscosidad y por consiguiente mayores valores de Reynolds, el cual influye directamente en las longitudes de desarrollo a usar; entre el elemento de transición y las diferentes conexiones a evaluar.

Se generó una gráfica del procesamiento de datos, para con ella estimar que diámetro y caudal trabajar dependiendo de la velocidad y precisión del factor K que se busque, esto como ayuda para futuras líneas de investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Desde hace algunos años, las tuberías de "polipropileno random" (PPR) han traído consigo una revolución en el ámbito de las instalaciones hidráulicas en general. Sus características técnicas la han posicionado como la preferencia de muchos profesionales de la construcción y usuarios; siendo ampliamente utilizada en redes hidrosanitarias para edificaciones y sistemas de agua helada, así como también en el sector industrial, minero, productivo, entre otros.

Este tipo de tuberías han venido desplazando a las de PVC, hierro galvanizado y cobre, dadas ciertas ventajas que inducen al cliente a elegir las por encima de las demás. La rigidez y resistencia del material, la ausencia de corrosión en el tiempo, la capacidad de manejo de diferentes sustancias químicas, así como de diversos niveles de dureza del agua sin afección alguna, su larga vida útil, el mayor aislamiento térmico que presenta, y el costo; son algunas de las ventajas que tienen. Sin embargo, existen otros beneficios que ofrece su sistema de unión entre piezas, de soldadura por termofusión, que la hacen muy especiales. Estas son: la disminución en el riesgo de fugas, la facilidad de instalación y la disminución de perturbaciones en el flujo por la continuidad en la superficie interna de conducción.

Es conocido, que las características geométricas, así como la rugosidad del material inciden sobre el flujo circulante, especialmente en los accesorios de plomería. Tan sólo cambiar de conexiones roscadas a soldadas, puede representar una disminución de la pérdida de energía del sistema.

Por ello, cuando consultamos catálogos de múltiples marcas de tuberías PPR, tanto en el mercado nacional como en el internacional, se observa que los mismos no aportan datos de coeficientes de pérdidas localizadas para conexiones (tradicionales o novedosas) propias de este sistema, y por ello, al momento de realizar los diseños, se utilizan valores, que en nuestra

presunción conlleva a una sobreestimación de las pérdidas de presión en dichos sistemas, lo que a su vez incide en la elección de equipos de bombeo más potentes que los que se requieren.

Hoy en día, el concepto de “sustentabilidad” está íntimamente relacionado con la optimización de los recursos ambientales y económicos tanto en su fase constructiva como operativa. El promotor, busca minimizar los costos de ejecución, y el cliente los costos operativos. Es por ello que aumentar la precisión en los cálculos permitirá disminuir costos por adquisición e instalación de equipos más potentes de lo requerido, así como también, minimizar el consumo eléctrico durante toda la operatividad del sistema.

Por lo antes descrito, se propone iniciar una línea de investigación, mediante la cual: se verifique la premisa que en conexiones tradicionales fabricadas en PPR, los coeficientes de pérdida localizada son menores a los que suelen conseguirse en tablas; y determinar los valores de pérdida para conexiones novedosas propias del sistema.

Como parte fundamental para la línea de investigación propuesta, se hace necesario el diseño del banco hidráulico en el cual se realicen todas las mediciones requeridas para la determinación de las caídas de presión y por consiguiente de los coeficientes K de pérdidas localizadas.

## **1.2 ANTECEDENTES**

Posterior a la búsqueda de información, no se encontraron proyectos, estudios o ensayos que hayan definido información de pérdidas localizadas en tuberías y/o conexiones de PPR, sin embargo, encontramos los siguientes proyectos que nos permitirán diseñar el banco y proponer el método para la toma de datos y procesamiento de los mismos:

**-Montoya R.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO HIDRÁULICO PARA DETERMINAR LAS PERDIDAS DE ENERGÍA EN TUBERÍAS DE CPVC* (2017).

Ese trabajo tuvo como finalidad proveer al laboratorio de hidráulica de La Universidad Católica de Colombia, un banco hidráulico para determinar las pérdidas de presión de tuberías de diferentes diámetros comerciales en CPVC, en este tipo de material la variable fundamental es la resistencia a las altas temperaturas, lo cual fue el objetivo de análisis de este trabajo, además que la universidad busca encontrar una herramienta de aprendizaje para estudiantes de ingeniería civil, con el fin de que se puedan enfrentar a esta situación, ya que en la práctica el material PVC solo trabaja con agua a temperatura ambiente. Adicionalmente a esto se diseñó un manual de uso, con el cual se logran obtener resultados adecuados.

**-Poma.S. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE ENSAYO PARA EL ESTUDIO DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN Y SINGULARIDAD. (2015).**

Este trabajo de grado de la Universidad Agraria de Perú tuvo como objetivo el diseño y construcción de banco de ensayo para evaluar pérdidas de carga en tuberías lisas y accesorios, en material PVC. Evaluaron los diferentes accesorios para varios caudales, obteniendo en una tabla de resultados variables importantes como presión de entrada y salida, variables que luego fueron comparadas con las pérdidas de cargas dadas por fórmulas. En el mismo, observaron que múltiples fabricantes no suministran datos confiables de pérdidas localizadas, por lo cual, concluyen que es conveniente calcular las pérdidas localizadas en el banco de pruebas para así tener resultados mediante la experimentación y no con relaciones teóricas.

**- Bentivegna G. DISEÑO CONCEPTUAL DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA FLUJO LÍQUIDO-SÓLIDO (2015)**

Este trabajo de grado de la Universidad Central de Venezuela, consistió en el diseño de un banco experimental multifásico gas-líquido-sólido, con el objetivo de estudiar el comportamiento de los fluidos en la extracción de petróleo. En dicho trabajo, se realizó una revisión bibliográfica extensa sobre bancos de prueba ya diseñados. También se buscó implementar un soporte

movible entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  para la sección de prueba del circuito experimental, de manera que se pudiese probar la incidencia de la inclinación como parámetro.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

-Diseñar un banco hidráulico para la medición de pérdidas localizadas en conexiones y tuberías.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

-Diseñar un banco hidráulico de prueba a integrarse con equipos existentes en las instalaciones del laboratorio de Mecánica de los Fluidos de la UCAB-Caracas

-Proponer el método para el diseño de kits de prueba para diferentes tipos de conexión y materiales a utilizarse en el banco de prueba propuesto

-Establecer el método para el levantamiento de información y procesamiento de datos para la determinación de los coeficientes de pérdidas localizadas.

### **1.4 ALCANCE Y LIMITACIONES**

Como primera etapa en la línea de investigación propuesta, se requiere el diseño del banco hidráulico y la definición del método para la toma y procesamiento de datos obtenidos.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo diseñar para el laboratorio de mecánica de los fluidos de la Universidad Católica Andrés Bello, un banco de prueba hidráulico que permita realizar la medición de pérdidas localizadas en conexiones de diversos sistemas y materiales de tuberías.

El diseño, además de garantizar la precisión en la medición, tratará de abarcar el mínimo espacio con mira a lograr la menor alteración posible del laboratorio de hidráulica cuando sea posible su implementación.

Con la información que se obtenga por medio de este equipo, se podrán determinar los coeficientes  $K$  de pérdidas localizadas para cualquier tipo de conexión y material, lo que permitirá a su vez:

Generar una nueva práctica de laboratorio que complemente el proceso educativo de los estudiantes.

Ofrecer este servicio a empresas fabricantes o importadoras de estos productos, que deseen dar a conocer información técnica de este tipo a sus clientes.

Dotar a la universidad de un equipo de pruebas que amplíe las capacidades del laboratorio.

El banco a diseñar, se integrará con los equipos destinados al estudio de curvas características de bombas que actualmente se encuentra en instalación en el laboratorio. Éste, condiciona por sus características: potencia de los equipos de bombeo, diámetro de las tuberías y caudal permisible (0.32 a 3.21 lps), el diseño del banco de prueba y por consiguiente el de los kits de medición, objeto de este trabajo de grado

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

En este capítulo se contempla el desarrollo de todos los fundamentos teóricos y principios hidráulicos en que se apoya el presente trabajo de investigación.

Como describe la ecuación de Bernoulli, todo fluido posee en todo momento cierto nivel de energía total, el cual resulta de la suma de tres tipos de energía: potencial, cinética y de presión.

$$E_{TOTAL} = E_{PRESIÓN} + E_{CINÉTICA} + E_{POTENCIAL} \quad (1)$$

Para que cualquier fluido real circule entre dos secciones de una conducción, éste deberá vencer las resistencias debidas a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce, así como las que puedan producirse al atravesar zonas especiales como válvulas, ensanchamientos, codos, entre otros. Para ello, el fluido dispondrá una determinada cantidad de energía, que se disipa en forma de calor y que en la práctica se denomina “**pérdida de carga**”. La misma, se manifiesta como una disminución de presión entre los dos puntos de control.

De esta manera, nos queda la siguiente ecuación que representa lo antes mencionado.

$$E_1 = \frac{p}{\gamma} + z + \frac{v^2}{2g} + \sum k \left( \frac{v^2}{2g} \right) + \sum f \left( \frac{v^2 \cdot L}{2g \cdot D} \right) \quad (2)$$

$K_l$  = Coeficiente de pérdida = Coeficiente de resistencia

$\frac{p}{\gamma}$  = Carga de Presión

$z$  = Altura en dirección de la gravedad desde una cota de referencia

$\frac{v^2}{2g}$  = Carga de velocidad

$$\sum k \left( \frac{v^2}{2g} \right) = \text{Pérdidas localizadas}$$

$$\sum f \left( \frac{v^2 \cdot L}{2g \cdot D} \right) = \text{Pérdidas por fricción}$$

A efectos de esta investigación, se utilizará la ecuación de Swamee para la determinación del coeficiente de fricción ( $f$ )

$$f = \frac{0.25}{\log \left( \left( \frac{k}{3.7D} + \frac{5.74}{R^{0.9}} \right)^2 \right)} \quad (3)$$

En todo sistema típico de tuberías se tienen uniones, válvulas, flexiones, codos, ramificaciones en forma de letra T (conexiones en T), entradas, salidas, ensanchamientos y contracciones además de los tubos. Como se indicó anteriormente, dichos componentes (accesorios) interrumpen el suave flujo del fluido y provocan **pérdidas localizadas** de energía debido al fenómeno de separación y mezcla del flujo que produce (...) El flujo a través de válvulas y uniones es muy complejo, y por lo general no es lógico un análisis teórico. En consecuencia, usualmente los fabricantes de los accesorios determinan las pérdidas menores de manera experimental. (Cengel & Cimbala 2013)

Éstas se expresan como una fracción o un múltiplo de la llamada "carga de velocidad" de la forma:

$$h_L = k \left( \frac{v^2}{2g} \right) \quad (4)$$

Donde:

$h_L$  = pérdida de energía localizada

$k$  = coeficiente de pérdida menor o localizada obtenido empíricamente para diferentes tipos de conexión/accesorio

$$\left(\frac{v^2}{2g}\right) = \text{carga cinética o de velocidad (5)}$$

Para la obtención de los coeficientes “K” se utilizan **bancos hidráulicos**, los cuales son un conjunto de equipos e instrumentos hidráulicos que permiten realizar las mediciones necesarias con las que se determinará la disipación o pérdida de energía antes y después de una conexión definida, controlando la longitud de la tubería, el caudal, diámetro, el material, la dirección del flujo y la posición de la conexión.

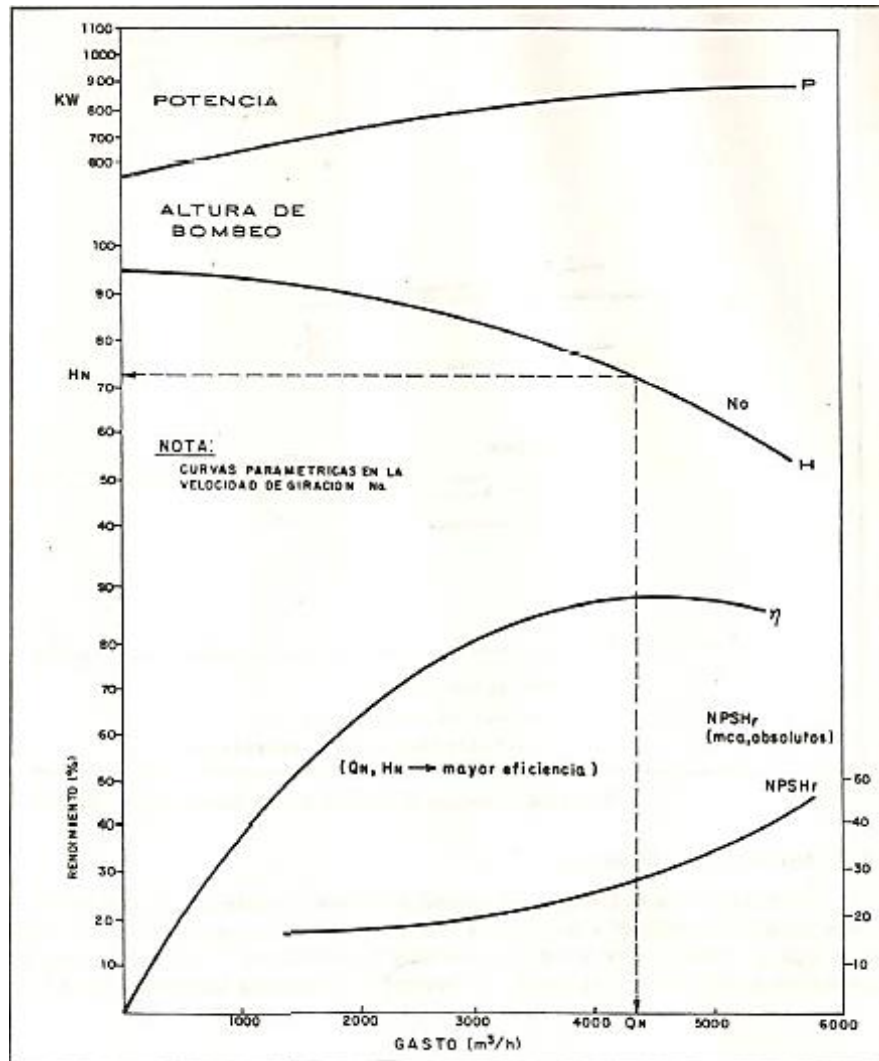
## 2.1 Equipos que conforman los bancos hidráulicos

### 2.1.1 Bombas centrífugas

Son máquinas constituidas por una caja dentro de la cual gira un rodete con paletas que le imponen velocidad al líquido. El fluido que trae velocidad y por tanto energía en forma de energía cinética es expandido en el difusor o en la voluta, de esta forma la energía cinética es transformada en energía de presión, al reducirse la velocidad del líquido. Para conocer las características operativas de estos equipos, se cuenta con **las curvas características** para cada modelo.

### 2.1.2 Curvas características de una bomba:

Son gráficas, provistas por el fabricante, que muestran la relación entre el caudal de descarga y la energía que la bomba adiciona al fluido o altura dinámica (Ver **Figura N°1**). Como es de esperarse, a mayor caudal de la bomba menor es la energía que se adiciona. Cada curva característica corresponde a un determinado modelo, una determinada velocidad del motor y diámetro del impulsor. Para otras velocidades y diámetros, puede establecerse a partir de las leyes de afinidad. (Méndez. 1995)



**Figura N°1:** “Ejemplo de curvas de funcionamiento de una bomba centrífuga”

**Fuente:** Tuberías a Presión- Méndez (1995)

### 2.1.3 Caudalímetro

Es un instrumento utilizado para medir en forma lineal o no lineal el volumen de agua por unidad de tiempo que lo atraviesa. En el mercado existen diversos tipos, diferenciándose entre ellos por el mecanismo de medición, el cual puede ser intrusivo o no en el flujo; el tipo de señal, analógica o digital; el rango de operación, la precisión, la resolución y el costo.

De acuerdo a lo establecido en la norma **ANSI/ISA-75.02.01-2008**, el caudalímetro deberá cumplir con un error no mayor al  $\pm 2$  por ciento de la lectura registrada; así mismo, la resolución y repetibilidad de sus mediciones deben estar dentro de  $\pm 0.5\%$  de los registros.

#### **2.1.4 Válvulas reguladoras de caudal**

Tiene como finalidad la regulación de magnitudes hidráulicas. Las válvulas por lo general realizan el proceso de regulación por medio de la disipación de energía. Para controlar gastos en aducciones, se utilizan válvulas de tipo paso anular, de globo y rotatorias (esfera y cono) con menos frecuencia a la mariposa, y casi nunca las de compuerta

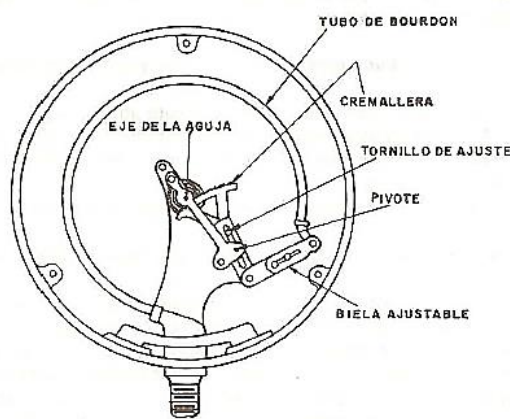
#### **2.1.5 Manómetros**

Son instrumentos o dispositivos usados para obtener las presiones relativas o absolutas del fluido en algún sistema hidráulico. En el mercado existen diversos tipos de manómetros, entre los cuales se pueden destacar:

- **Tipo Bourdon:** Este manómetro utiliza como sensor un tubo curvo, en espiral o helicoidal que, al admitir presión en su interior, tiende a rectificar su alineamiento, y si uno de sus extremos está fijo, el otro experimenta un desplazamiento proporcional a la presión aplicada (ver Figura N°2). Su construcción es simple, poco costosa, cubren un amplio rango de presiones, aunque no siempre con la mejor resolución comparados con los digitales. Se adaptan fácilmente a instrumentos para convertir y transmitir señales y, a pesar de que requieren de calibraciones periódicas, su precisión es casi siempre compatible con las necesidades derivadas del control del flujo en sistemas de abastecimiento de agua mediante tuberías a presión.
- **Analógico digital:** Es un dispositivo que se utiliza para obtener una medida de presión rápida y precisa en un punto concreto de una instalación o ensayo. Tienen la particularidad de

unir un sensor de presión y un visualizador LCD de bajo consumo. El resultado final es un elemento para la medida de presión con pantalla digital.

Los rangos y características son variados, las mismas que en los sensores de presión convencionales, pero con la ventaja de tener la medida in situ. A diferencia de los manómetros analógicos en estas series digitales no se tienen problemas de rotura de aguja, y disminuyen los errores de lectura por una mala percepción de la persona encargada de registrar las mediciones.

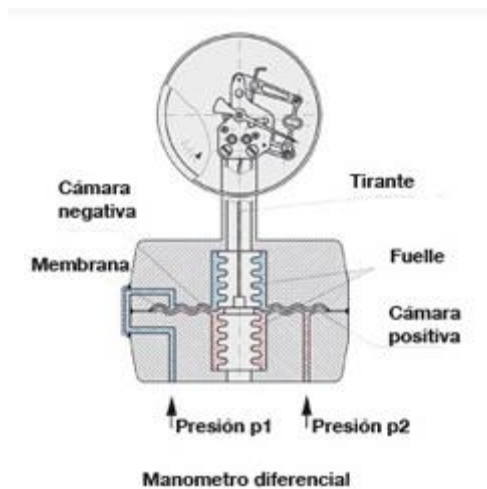


**FIGURA N° 2: MANÓMETRO TIPO BOURDON**  
**Fuente:** Tuberías a presión. Méndez (1995)



**FIGURA N° 3: MANÓMETRO DIGITAL**  
**Fuente:** catálogo de empresa WIKA

- Diferencial: En este tipo, las cámaras de medición del manómetro se mantienen separadas mediante un elemento sensible. Si las dos presiones están iguales, el elemento sensible queda estático y no se indica ninguna presión. Una variación de la diferencia de la presión provoca un desplazamiento del elemento flexible para indicar un valor de presión. La transmisión del desplazamiento hacia la indicación se realiza mediante un mecanismo conectado con la aguja de indicación. referencia a la Figura N°4



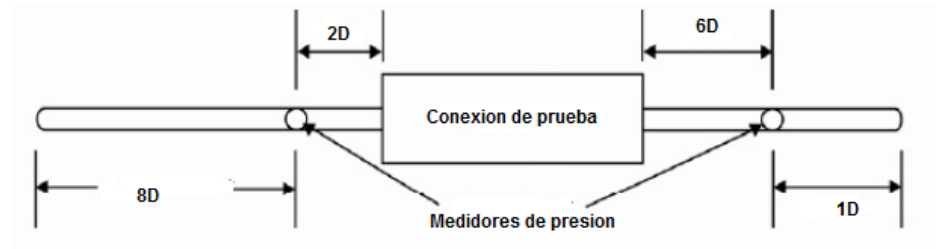
**FIGURA N°4: MANÓMETRO DIFERENCIAL**

**Fuente:** (Anónimo, Catálogo WIKA)

La disposición de los manómetros antes y después de la **conexión de prueba** (tubería, conexión, accesorio o conjunto de ellos sobre el cual se desee conocer la pérdida de presión asociada), debe cumplir con lo establecido en la norma **ANSI/ISA-75.02.01-2008**, pudiendo resaltar lo siguiente:

- Las conexiones manométricas deben ubicarse paralelos al eje de la tubería y de forma horizontal, para reducir de esta manera, el riesgo de acumulación de aire o suciedad en estos puntos.
- En la Figura N°5, se muestran las distancias 2D y 6D de la **conexión de prueba**, las cuales corresponden a los puntos (1) y (2) respectivamente identificados en la **Figura**

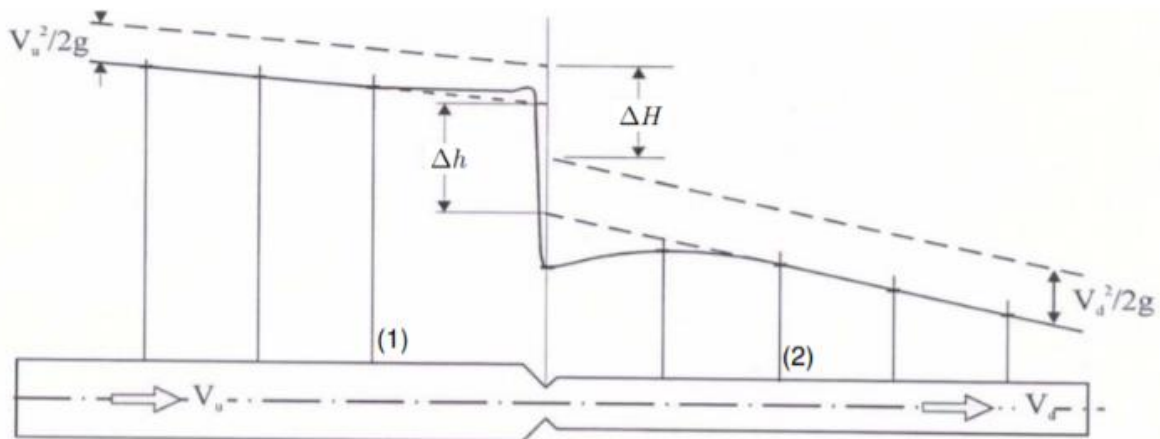
Nº6. Estas distancias a las que deben ser ubicados los manómetros son necesarias para la estabilización de las líneas piezométricas antes y después de la conexión como se puede apreciar en la Figura Nº6.



D: DIÁMETRO A EVALUAR.

**FIGURA Nº5:** ESQUEMA SEGÚN NORMAS ANSI/ISA 75 PARA MEDICIONES DE PRESIÓN

**Fuente:** AMERICAN NATIONAL STANDARD



**Figura Nº6 :** Comportamiento de la línea de energía total y piezométrica ante la pérdida localizada producida por una reducción

**Fuente:** (Anónimo, Teoría de los fluidos en tuberías y bombas., s.f.)

- Todas las presiones o diferenciales de presión deberán ser medidas por instrumentos cuya precisión promedio sea mayor o igual a  $\pm 98.0 \%$  de la lectura.

## **2.2 Válvulas de control de presión**

Este grupo incluye a todas aquellas válvulas que permitan regular la presión aguas abajo de ellas. Dependiendo de las necesidades operativas del sistema se pueden tener los siguientes tipos

### **2.2.1 Válvulas reductoras de presión**

Son dispositivos de control operados hidráulicamente, los cuales utilizan la presión de la línea para funcionar, disminuyendo la presión aguas arriba de la válvula a un menor valor aguas abajo de la misma, independientemente de las variaciones de presión aguas arriba y de las variaciones de demanda aguas abajo

### **2.2.3 Válvulas sostenedoras de presión**

Son dispositivos que controlan las presiones e indirectamente los caudales del sistema. Las mismas operan de la siguiente manera: ante un incremento de la demanda, la válvula sostenedora se cierra parcialmente para impedir que la presión aguas arriba caiga por debajo de un valor prefijado. Éstas impiden que la presión de la línea aguas arriba de la válvula descienda por debajo del valor consigna, independientemente de las variaciones de presión aguas arriba y de demanda aguas abajo.

### **2.2.4 Válvulas reductoras/sostenedoras de presión**

Cuando sobre una misma línea dos grupos de usuarios son abastecidos, los primeros, aguas arriba deben tener garantizada una presión mínima (sostenimiento de presión) y los que se encuentran aguas abajo necesitan que la presión no sea demasiado elevada. Para estos casos, es requerida una válvula que controle ambos parámetros mediante una conjunción de los mecanismos antes expuestos. De esta manera, cuando los usuarios aguas abajo incrementan demasiado su demanda, afectarán la presión de los usuarios aguas arriba, y en ese punto la

válvula evitará esto sosteniendo la presión. Por otra parte, si los usuarios aguas arriba reducen demasiado su consumo, la presión aguas abajo se incrementará y podrá ser muy elevada, en ese caso la válvula evitará esto reduciendo la presión automáticamente.

#### 2.2.4 Variadores de Frecuencia

Son dispositivos que permiten el control de la velocidad de giro de los motores de corriente alterna (AC), reduciendo o aumentando, las revoluciones por minuto. Este variador o convertidor de frecuencia es un sistema que ocasionalmente se instala entre la **Fuente** de alimentación eléctrica y las bombas del banco de pruebas.

Mediante este dispositivo es posible controlar la presión de los equipos de bombeo al bajar o subir la velocidad de giro de los impulsores, logrando así adecuar las condiciones de caudal y presión de la bomba existente a las requeridas por los instrumentos de medición.

#### Leyes de semejanza:

1. Diámetro del impulsor (6)

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

2. Velocidad de la bomba (7): El caudal disminuye proporcionalmente al disminuir la velocidad de giro del eje.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

3. Potencia de la bomba (8): La potencia es proporcional al cubo de la velocidad de giro del eje y pueden definirse de la siguiente manera

$$\frac{HP_2}{HP_1} = \frac{N_2^3}{N_1^3}$$

4. Altura de la bomba (9): La altura de elevación es proporcional al cuadrado de la velocidad de giro del eje

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{N_2^2}{N_1^2}$$

## **2.3 Parámetros a considerar en el diseño de los bancos hidráulicos**

### **2.3.1 Presión**

Es una magnitud física que mide la proyección de la fuerza aplicada por la unidad de superficie en la que se aplica.

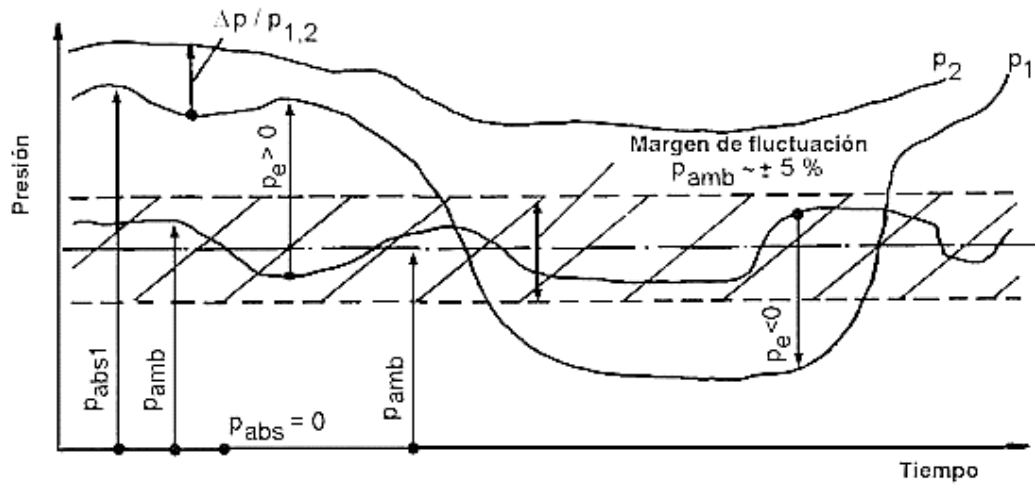
La presión de referencia más inequívoca es la presión cero, que prevalece en el espacio sin presión atmosférica. Una presión relacionada con esta presión de referencia se llama presión absoluta. Para identificarla correctamente se utiliza la abreviación abs, que se deriva del latín "absolutus", es decir, indiferente, independiente. También se tiene la presión atmosférica, la cual se crea por el peso de la envoltura aérea que rodea la tierra hasta una altura de aprox. 500 km. Hasta esta altura, en la que prevalece la presión absoluta  $p_{abs} = \text{cero}$ , la presión disminuye continuamente. Además, contamos con la presión manométrica o relativa la cual, es la diferencia entre presión absoluta y presión atmosférica y en aquellos casos en los que la presión es superior a la presión atmosférica. Cuando esta cantidad es por debajo de la presión atmosférica hablamos de presión negativa o presión de vacío

$$P_e = P_{abs} - P_{atm} \quad (10)$$

$P_e$ = Presión relativa

$P_{abs}$ = Presión absoluta

$P_{amb}$ = Presión atmosférica local



**Figura N°7: Va**

**Fuente:** (Anónimo, Catálogo WIKA)

Dado que los instrumentos de medición más precisos y con menor resolución (menor unidad legible o límite de detección) operan en rangos de presión bajos, no es necesario que el banco hidráulico disponga de equipos de bombeo con rango de presiones elevados.

## 2.4 Caudal

Se define como la cantidad de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo. Esta magnitud puede determinarse en la práctica mediante un caudalímetro, y permite la determinación indirecta de la velocidad media del fluido, el cual es un dato de suma importancia en el proceso de determinación del coeficiente “k” de pérdidas localizadas.

## 2.5 Número De Reynolds

Según Cengel & Cimbala (2013) es “La relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas. Este número recibe su nombre en honor de Osborne Reynolds (1842-1912), quien lo describió en 1883”

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional. Reynolds eligió para formar su número la velocidad media (V) como velocidad característica y el diámetro del tubo (D) como longitud característica, de tal manera que

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V * D}{\nu} \quad (11)$$

$$\rho = \text{Densidad del fluido} \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$V = \text{Velocidad promedio del fluido} \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$D = \text{Longitud característica} = \text{Diámetro de la tubería} (m)$$

$$\mu = \text{Viscosidad dinámica del fluido}$$

$$\nu = \text{viscosidad cinemática del fluido } m^2/s$$

La viscosidad de un fluido es una medida de su resistencia a la deformación. Definida mediante

$$\tau = \mu * \left( \frac{du}{dy} \right) \quad (12)$$

Donde  $\mu$  es el coeficiente de viscosidad o viscosidad dinámica (o absoluta) del fluido, “u” es el componente de la velocidad en la dirección del flujo; “y” es la dirección normal a la dirección

de ese flujo. Los fluidos que obedecen esta relación lineal se conocen como fluidos newtonianos. La razón de la viscosidad dinámica a la densidad se llama viscosidad cinemática  $\nu$ . (Cengel & Cimbala 2013)

El valor de la viscosidad varía en función a la **temperatura**, y es por ello que se hace indispensable en los bancos hidráulicos considerarla.

## 2.6 Longitud de desarrollo

Dicha longitud se define como el espacio donde el fluido no cambia su perfil de velocidad debido a que se encuentra completamente desarrollado. Viene limitada por el número de Reynolds y el diámetro de la tubería.

Algunas referencias a libros importantes de mecánica de los fluidos nos indican lo siguiente:

Definiciones de los autores:

**TABLA N°1** DEFINICIONES DE LONGITUD DE DESARROLLO

|                        | Shames (1971)                                                                                                                                                                                                                         | White(1979)                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Cengel & Cimbala (2013)                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Longitud de desarrollo | “Una condición que se alcanza cuando la acción viscosa prevalece toda la sección transversal del flujo y da como resultado un perfil de velocidad no variable en la dirección del flujo y las líneas de corriente rectas y paralelas” | “A una distancia finita de la entrada, las capas límite se fusionan y la viscosidad en el núcleo desaparece. El flujo del tubo es entonces completamente viscoso y la velocidad axial se ajusta un poco más lejos hasta que en “ $x$ ”-( $L_e$ ) ya no cambia con “ $x$ ” y se dice que está completamente desarrollado”. | “La longitud de entrada hidrodinámica usualmente se toma como la distancia desde la entrada de la tubería hasta donde el esfuerzo de corte de pared (y por tanto el factor de fricción) alcanza dentro de aproximadamente 2 por ciento el valor correspondiente al flujo totalmente desarrollado” |

**Fuente:** Elaboración Propia

Fórmulas según los autores: (13)

**TABLA N°2: FÓRMULAS DE LONGITUD DE DESARROLLO**

| Longitud de desarrollo              | Shames                            | White                          | Cengel                              |
|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Flujo laminar<br>( $Re < 2300$ )    | $L' = 0.058 Re \cdot D$           | $Le = 0.06 Re$                 | $Lh = 0.05 Re \cdot D$              |
| Flujo turbulento<br>( $Re > 2300$ ) | $L' = 4.4 \cdot Re^{1/6} \cdot D$ | $L_e = 4.4 Re_d^{1/6} \cdot D$ | $Lh = 1.359 \cdot D \cdot Re^{1/4}$ |

**Fuente:** Elaboración Propia

## 2.7 Materiales comúnmente utilizados en instalaciones hidráulicas

### 2.7.1 Tuberías y conexiones de Polipropileno Copolímero Random (PPR):

El Polipropileno es el material que se ha considerado más adecuado para la conducción de agua y otros fluidos, porque es capaz de soportar altas temperaturas y presiones. El método de unión de tuberías y conexiones es mediante el proceso de termofusión molecular, el cual reduce al mínimo la posibilidad de filtraciones. Dicho proceso se realiza por medio de planchas polifusoras que elevan la temperatura del material en los puntos que entra en contacto, permitiendo la adhesión de las dos partes al fundirse molecularmente. El polipropileno posee gran resistencia mecánica y larga vida útil. De todos los termoplásticos es el de mayor resistencia al impacto.

Históricamente, uno de los problemas dentro de las edificaciones a nivel sanitario han sido las fugas de agua, por tal motivo, el descubrimiento de las tuberías de polipropileno ha resultado como la alternativa ideal para solventarlos.

Éstas tuberías y conexiones de PPR, a pesar de ser relativamente nuevas, cumplen con las normas que garantizan un buen funcionamiento de este tipo de materiales, aunque ni en Venezuela, ni en Latinoamérica está normada su fabricación, de manera que las mismas son

producidas bajo las normas DIN europeas y en su catálogo cuentan con accesorios que permiten la unión a conexiones ASTM. Tales normas son:

- Normas DIN 8077, Relacionadas con los diámetros de las tuberías
- Normas DIN 8078 Relacionada con las especificaciones y ensayos de las tuberías
- Normas DIN 16962 Relacionada con las dimensiones y ensayos de los fittings

Además, en los catálogos venezolanos de DONSEN PPR® se indica que las tuberías cumplen con los siguientes certificados:

- ISO 9001: Gestión de calidad
- ISO 14001: Gestión medioambiental
- ISO 50001: Gestión energética.

### **2.7.2 Policloruro de Vinilo (PVC)**

Es un plástico que puede emplearse de múltiples maneras, ya sea flexible o rígido. En la actualidad se usa para sistemas de tuberías superficiales y subterráneas. Material muy resistente, adecuado para la conducción de fluidos, con durabilidad en el tiempo, no resiste temperaturas tan altas como PPR, pero ha sido condenado debido a que los desechos de éste material son altamente contaminantes para el medio ambiente

### **2.7.3 Hierro Galvanizado**

Los tubos galvanizados son tubos de acero prefabricados bañados en zinc fundido para protegerlos de la corrosión y además convertirlos en tuberías de gran resistencia a los impactos y con gran ductilidad. Estos tubos galvanizados vienen en diferentes tipos, tamaños y longitudes. Este producto se utiliza en tuberías subterráneas, aéreas, industriales, experimentos científicos y otros usos

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

##### **3.1 Tipo de investigación.**

Según Ñaupas y otros (2018), haciendo referencia a numerosos estudiosos del método científico, la investigación presentada corresponde al tipo aplicada, o tecnológica. Siendo ésta “el proceso de investigación de las técnicas y tecnologías que se basan en los resultados de las investigaciones básicas y aplicadas.”

Este tipo de investigación “surge de la necesidad de mejorar, perfeccionar y optimizar el funcionamiento de los sistemas, los procedimientos, normas, reglas tecnológicas actuales a la luz de los avances de la ciencia y la tecnología.” Ñaupas y otros (2018)

En este orden de ideas, Bello (2008), citado por Ñaupas y otros (2018), indica que la investigación tecnológica utiliza métodos y técnicas diferentes a la investigación dura; partiendo de la observación-reflexión-praxis, de la necesidad del análisis-síntesis del objeto de investigación, el cual puede ser un sistema, una norma, una técnica o una máquina como en este caso lo es para nosotros el banco de bombas existente

### **3.1.1 Enfoque**

Esta investigación posee un enfoque cuantitativo, pues se utilizaron métodos y técnicas cuantitativas, por ende, tiene que ver con la observación, medición, el uso de magnitudes y cálculos.

## **3.2 Instrumentos de recolección de datos**

### **3.2.1 Reconocimiento del sitio y levantamiento planialtimétrico**

Para ello se concertaron una serie de visitas (algunas guiadas por el Ing. José M. Divassón) al laboratorio de hidráulica de la Universidad Católica Andrés Bello, en donde se realizó inicialmente, mediante la técnica de la observación, un reconocimiento del sistema existente y los elementos que lo conforman, así como también el ámbito donde se ubica el banco de bombas, al que posteriormente se le diseñaron las adaptaciones.

Además, se procedió a la recopilación de la información técnica y el levantamiento planialtimétrico de los equipos y componentes que conforman el sistema existente, como punto de partida para la conceptualización de la propuesta.

### **3.2.2 Consulta a expertos**

Previo y durante el desarrollo del diseño, se realizaron diversas consultas a expertos en el área de la instrumentación e hidráulica, respecto a los equipos idóneos a utilizar en el banco hidráulico para la determinación de pérdidas localizadas.

### **3.2.2.1 Ing. José Miguel Divassón. Profesor titular de la cátedra de Laboratorio de mecánica de los fluidos en la UCAB**

Como objetivo específico se tiene previsto que se hará uso del banco de bombas ya instalado en el laboratorio de hidráulica de la UCAB, por lo tanto, se utilizaran los equipos existentes. Se le consultó acerca de las especificaciones técnicas de los instrumentos y equipos que conforman el banco de bombas para la práctica de curvas características sobre la cual se proponen las adaptaciones del diseño. De su parte se recibieron por medio de correo electrónico los catálogos del caudalímetro y la bomba, así como el modelo del variador de frecuencia. Adicionalmente, suministró los planos en AutoCAD del banco de bombas.

### **3.2.2.2 Ing. Freddy Aular. Dueño de la empresa Exfaypeca Ingeniería**

En el análisis del trabajo de grado, las variables de interés involucradas son los dispositivos de medición, por tal razón se realizó una entrevista por medio de una llamada telefónica al Ing. Freddy Aular, el enfoque fue dirigido así:

- ¿Qué dispositivos de medición de presión serían los más adecuados para las posibles presiones que se arrojará en el banco hidráulico? ¿Mediante esos posibles valores de medidas de presión, es viable el dispositivo de bombeo con el que se van a realizar las medidas?

- Según el Ing. Aular, la caída de presión en conexiones como: codos 90°, Tee, llave de paso, son valores de pequeña magnitud, tal es así, que plantear un Manómetro de un rango de 0-100 psi, es un absurdo, ya que, al realizar la práctica, no se obtendrían los valores que nos interesan, debido a que la precisión de un manómetro tipo bourdon es baja, en consecuencia, los valores arrojados serian erróneos. El ingeniero recomienda el uso de Manómetros analógicos digital y/o Manómetro diferencial, el primero debido a la cantidad de cifras significativas que podemos obtener, y el rango amplio de unidades que estos ofrecen, el segundo dado que arroja directamente el valor de la caída de presión. A estas interrogantes de cuál dispositivo funciona

mejor, entonces se consultará a la empresa encargada a nivel nacional de equipos de medición: Intech. Posteriormente se describe la consulta.

La otra variable o cuestión de interés presentada, es la presión, esta nos la da el banco de bombas instalado, en el laboratorio de hidráulica de la Universidad Católica Andrés Bello. ¿Por qué surge esta interrogante? Principalmente por los instrumentos de medición, dichos aparatos o dispositivos tienen un límite de presión máxima estática, ésta debe ser mayor a la presión máxima de salida que arroja la bomba, para evitar que el instrumento presente fallas y el daño total. Por esta razón se consultaron dos opciones diferentes: Disminución de la presión por medio de una válvula reductora de presión, o reducir la presión con el variador de frecuencia ya instalado en el laboratorio de hidráulica de la UCAB, en caso de no resultar ninguna de estas alternativas se puede recomendar un equipo de bombeo que garantice una presión acorde a la solicitada por el manómetro escogido.

**3.2.2.3 Sr. Nerio Carrifali. Gerente de ventas de la empresa INTECH (Proveedor de instrumentos y equipos).**

**3.2.2.4 Prauser Gutiérrez. Encargado de ventas de la empresa SISCOT (proveedor de válvulas y equipos de bombeo)**

En búsqueda de alternativas adicionales a la presentada por el Sr. Leonel Ungredda, extendió la consulta a la empresa SISCOT, en donde, previo envío de las características operativas del sistema se nos indica un tipo de válvula reductora de presión, envían catálogo y características de la válvula sugerida vía WhatsApp. En el capítulo IV se indican las especificaciones y descripción.

### **3.4 Catálogos a utilizar:**

Para el diseño del banco hidráulico se seleccionaron 10 conexiones de los siguientes catálogos:

- DONSEN PPR®
- PAVCO® - Presión PVC

- Catálogo disponible en Materiales los Andes para Hierro Galvanizado

Adicionalmente se contó con las especificaciones técnicas de los siguientes equipos e instrumentos, con los cuales se definieron los requerimientos, limitaciones y lineamientos para el diseño:

- Caudalímetro: GPI- TM Series
- Bombas centrífugas: ESPA- Prisma 25.4
- Manómetros: Winter y Ashcroft
- Válvulas reguladoras de caudal: Tipo globo- Marca: Jenkins – Diámetro: 1 ½”

Además de lo antes mencionado, se contó con la norma ANSI/ISA-75.02.01-2008, que a pesar de que su alcance es el especificar los procedimientos para probar la capacidad de la válvula de control y coeficientes de flujo para fluidos newtonianos tanto compresibles como incompresibles; resultó ser una guía fundamental para el diseño del banco, la selección y ubicación de instrumentos de medición para la correcta toma de mediciones.

### 3.5 Variables en el análisis y unidades de trabajo

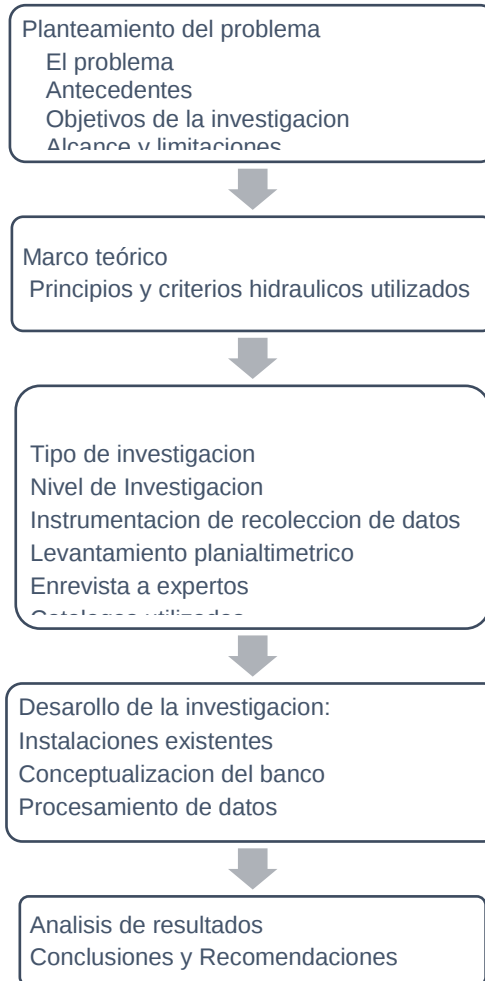
**TABLA N°3: VARIABLES Y UNIDADES DE DISEÑO**

| Tipo de Variables    | Definición                                                                                                                 | Simbología | Unidades                      |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|
| <b>Independiente</b> |                                                                                                                            |            |                               |
| • Caudal             | Volumen por unidad de tiempo que atraviesa una sección transversal de un conducto                                          | Q          | (m <sup>3</sup> /s )<br>(lps) |
| • Diámetro Nominal   | Ancho de un objeto en forma circular, cilíndrica o esférica                                                                | DN         | (in)                          |
| • Diámetro interior  | Ancho a sección plena, referido a tuberías.                                                                                | D          | (mm)                          |
| • Tipo de conexión   | Accesorios utilizados para el diseño de redes de tuberías: sirven para aislar, redireccionar, dividir o controlar el flujo |            | Adim                          |

| <b>Dependiente</b>       |                                                                                              |              |                                |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------|
| • Viscosidad cinemática  | Medida de resistencia de la deformación                                                      | $\nu$        | (m <sup>2</sup> /s)            |
| • Presión                | Magnitud física inversamente proporcional a la velocidad de un fluido dentro de una tubería. | P            | (Psi)<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
| • Longitud de desarrollo | Longitud necesaria para que el flujo se encuentre completamente desarrollado                 | (Ld)<br>(L') | (m)                            |
| • N° de Reynolds         | Indicador de la naturaleza del flujo                                                         | Re           | (Adim)                         |
| • Caída de presión       | Medida que indica la potencia necesaria de bombeo                                            | $H_l$        | (m)                            |
| • Velocidad              | Magnitud física que se representa a partir de la presión que ejerce el fluido                | V            | (m/s)                          |
| • Coeficiente K          | Coeficiente de resistencia, depende del tipo de accesorio y material.                        | K            | (Adim)                         |
| <b>Constantes</b>        |                                                                                              |              |                                |
| Temperatura              | Medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia                        | T            | °C                             |

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.5 Proceso de metodología

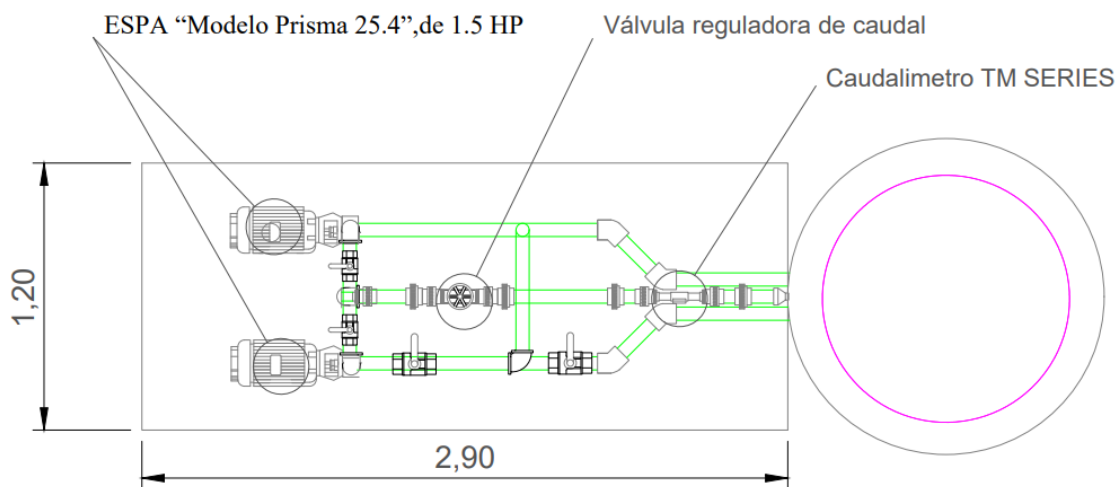


## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO

#### 4.1 Instalaciones Existentes

En el laboratorio de mecánica de los fluidos de la Universidad Católica Andrés Bello, se encuentra instalado un banco de bombas para la práctica de leyes de semejanza y determinación de curvas características de equipos de bombeo. A éste se le adaptarán los elementos que permitirán realizar las mediciones para la determinación de los coeficientes de pérdidas localizadas.



**FIGURA N° 6: INSTALACIÓN DEL BANCO DE BOMBAS**

**Fuente:** Elaboración Propia

##### 4.1.1 Bombas centrífugas

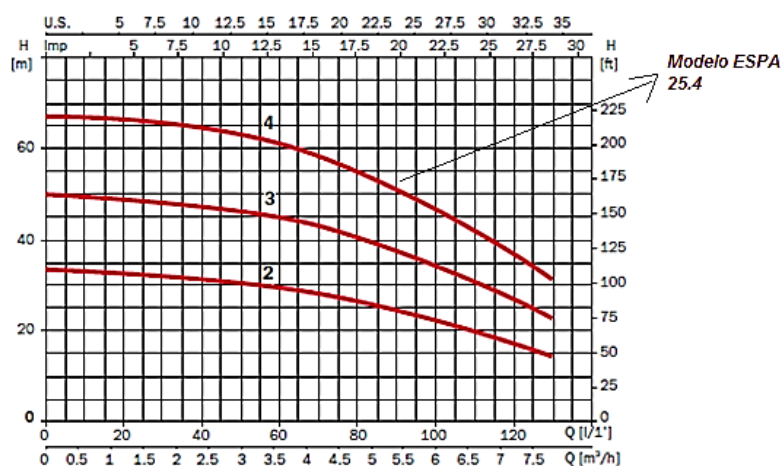
Los equipos de bombeo presentes en este banco que permitirá determinar las curvas características, son dos bombas centrífugas de la Marca ESPA “Modelo Prisma 25.4”, de 1.5 HP, ideales para trabajar con aguas limpias, riego, y conjuntos hidroneumáticos de presión. A continuación, se presentan las características.

**TABLA N°4: ESPECIFICACIONES BOMBA ESPA 25.4**

| <b>Materiales:</b>                                                                    | <b>Motor</b>                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Impulsores y cuerpo bomba en acero inoxidable AISI 304. Eje motor en acero inoxidable | Asincrónico, dos polos.           |
| AISI 420. Difusores en Noryl® con carga de fibra de vidrio.                           | Protección IP 44.                 |
| Cuerpo aspiración e impulsión en acero gris de fundición.                             | Aislamiento clase F.              |
| Sello mecánico en grafito y esteatita,                                                | Servicio continuo.                |
| Prisma 25 2. En grafito y alúmina, Prisma 25 3, 4.                                    | Versión monofásica con protección |
| Carcasa motora en aluminio L-2521. Bobinado impregnado con barniz epoxi               | Térmica incorporada.              |
| Temperatura (C°)                                                                      | 40                                |

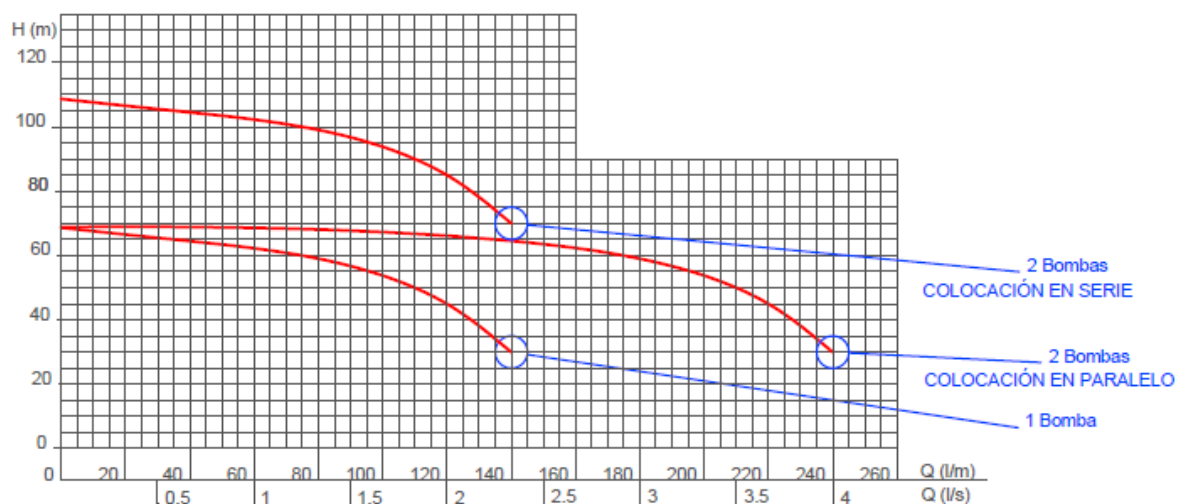
**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.1.1.1 Curvas Características Bombas ESPA 25.4



**FIGURA N°7 CURVAS CARACTERÍSTICA PARA BOMBA INDIVIDUAL**

**Fuente:** Catálogo ESPA



**FIGURA N° 8:** CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS ESPA 25.4 EN PARALELO Y EN SERIE  
**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.1.2 Tanque de almacenamiento

El banco de bombas funcionará con un tanque de almacenamiento para carga y descarga del flujo. Dimensiones a continuación

**TABLA N° 5:** DIMENSIONES DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

| Diámetro(m) | Altura(m) | Capacidad(lts) |
|-------------|-----------|----------------|
| 1.44        | 1.70      | 2500           |

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.1.3 Variador de frecuencia

En el sistema de bombeo actual se encuentra instalado un variador de frecuencia de la marca Danfoss Modelo FC-202 5.0 HP, Trifásico 220V, su finalidad es regular las revoluciones de los motores de las bombas instaladas, con lo cual se obtienen nuevas curvas características para dichos equipos.

Según el Ing. José Miguel Divassón, jefe del Laboratorio de Mecánica de los Fluidos, no existe ningún tipo de restricción por parte del variador de frecuencia para el aumento o disminución de la velocidad del motor; no obstante, un aumento desmesurado de las revoluciones podría generar falla en el equipo de bombeo.

En conclusión, el variador de frecuencia, representa una herramienta importante, pues haciendo uso de él, y por medio de las leyes de semejanza, que relacionan el caudal, la presión y la potencia eléctrica con la velocidad rotacional del motor; logramos manipular el conjunto moto-bomba a diferentes requerimientos del sistema.

#### **4.1.4 Manómetros tipo Bourdon**

Se instalarán en el sistema del banco de bombas, 5 manómetros, a fin de registrar las presiones en el estudio de las curvas características. Los dispositivos seleccionados admiten altos rangos de presiones.

##### **Marca: WINTERS.**

- Manómetro tipo bourdon: rango de presiones (0-300 psi)
- Manómetro tipo bourdon: rango de presiones (0-160 psi)

##### **Marca ASHCROFT**

- Manómetro de presión relativa: rango de presiones (0-60 psi)

**TABLA N°6:** CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE MANÓMETROS EXISTENTES

| Marca y Modelo     | Rango de presiones | Tipo      | Resolución | Precisión instrument | Factor Error en P [mbar] | Factor Error en P [psi] |
|--------------------|--------------------|-----------|------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| WINTERS PTQ SERIES | 0-300 psi          | Analógico | 2 psi      | 0.1% FS              | 20.6844                  | 0.3                     |
| WINTERS PCT SERIES | 0-160 psi          | Analógico | 2 psi      | 0.1% FS              | 11.03168                 | 0.16                    |
| ASHCROFT           | 0-60 psi           | Analógico | 1 psi      | 0.1% FS              | 4.13688                  | 0.06                    |

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.1.5 Caudalímetro

Para el registro del caudal, se encuentra instalado un caudalímetro de turbina, el dispositivo se ubica a una distancia de ocho veces el diámetro de la tubería (8D) después de la válvula reguladora de caudal, a fin de garantizar que las líneas de corriente del flujo se encuentren estables al momento de realizar la medición. El caudalímetro es de la marca GPI- Modelo TM SERIES METERS. Sus características a continuación;

**TABLA N° 7: ESPECIFICACIONES DEL CAUDALÍMETRO**

| Especificación           | Descripción                                        | Medida                 |
|--------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|
| Entrada y salida modelo  | TM 100-LP                                          | 1"(32 mm) Sch 80       |
| NPT Models               | TM 100- N-LP                                       | 1" NPT                 |
| Tipo diseño              | Turbina                                            | -                      |
| Material de cubierta     | PVC                                                |                        |
| Max. Presión de trabajo  |                                                    | 225 PSI @ 73°F         |
| Rango de flujo           |                                                    | 5-50 GPM               |
| Precisión                | (La precisión se puede mejorar con la calibración) | ± 3.0% de lectura      |
| Temperatura de operación |                                                    | °+32° a +140F°(0-40°C) |

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA N° 8: RESUMEN DE EQUIPOS INSTALADOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS- UCAB**

| Bombas                        | Caudalímetro                            | Manómetros                                                                                   | Válvula                                                             |
|-------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Modelo Prisma 25.4- de 1.5 HP | Marca GPI- Modelo TM SERIES (5- 50 gpm) | Tipo: bourdon.<br>Marcas: Winter & Ashcroft.<br>Rangos (0-300 psi), (0-160 psi)- (0-60 psig) | Válvula reguladora de caudal, tipo globo.<br>Marca Jenkins. D= 1 ½" |

**Fuente:** Elaboración Propia

Para conocer las dimensiones y características de los equipos, **ver anexo N°1.**

## **4.2 Conceptualización del diseño del banco hidráulico**

Como parte de los objetivos presentados, el diseño del banco hidráulico debe adecuarse a las condiciones del banco de bombas ya existente y sus equipos. Es por ello que se concibe la idea de diseñar kits para la medición de pérdidas localizadas. Estos estarían pensados para distintos tipos de conexión en diámetros nominales que van desde  $\frac{1}{2}$  hasta 4"; por lo tanto, las dimensiones de implantación son variables. Las limitaciones de este diseño vienen dadas por las características operativas de los equipos de bombeo y de los instrumentos de medición. De esta manera tenemos, presiones por debajo de los 65 mca y caudales entre 5.0 y 50.0 gpm en todo el sistema, entendiendo que lo instalado tenía una finalidad distinta al trabajo presente. Por consiguiente, se definirá si el banco hidráulico para la medición de pérdidas localizadas puede adaptarse a los equipos instalados o, si por el contrario se requerirá uno más adaptado a las condiciones del proyecto. Finalmente, los instrumentos deben cumplir con lo estipulado en la norma de referencia, para así incidir en la menor cantidad de errores de medición, lo cual permitirá un correcto levantamiento y procesamiento de los datos para futuras líneas de investigación.

A continuación, se estudian los instrumentos, materiales y conexiones necesarias para el diseño de los kits.

### **4.2.1 Tipos de conexiones a utilizar.**

Para el diseño del banco se han seleccionado 10 tipos de conexiones representativas en las instalaciones sanitarias para edificaciones. Dichas conexiones se clasifican en el presente trabajo según la cantidad de entradas y salidas del flujo.

- Conexiones 1:1: Son aquellas con 1 entrada y 1 salida de flujo
- Conexiones 1:2: Son aquellas con 1 entrada y 2 salidas del flujo
- Conexiones 1:3: Son aquellas con 1 entrada y 3 salidas del flujo.

**TABLA N° 9: CLASIFICACIÓN DE LAS CONEXIONES SEGÚN SU ENTRADA/SALIDA**

| Tipos de conexiones | Conexión/Accesorio     | Materiales |     |    |
|---------------------|------------------------|------------|-----|----|
|                     |                        | PPR        | PVC | HG |
| 1:1                 | Codo 45°               | ✓          | ✓   | ✓  |
|                     | Codo 90°               | ✓          | ✓   | ✓  |
|                     | Anillo Liso            | ✓          | ✓   | ✓  |
|                     | Reducción ext./Interna | ✓          | ✓   | ✓  |
|                     | Llave de paso Esférica | ✓          | ✓   | ✓  |
|                     | Llave De Paso Oculta   | ✓          | ✓   | ✓  |
|                     | Sobre paso Largo       | ✓          |     |    |
| 1:2                 | Tee lisa               | ✓          | ✓   | ✓  |
|                     | Codo 3 vías            | ✓          | ✓   | ✓  |
| 1:3                 | Cruz Lisa              | ✓          | ✓   | ✓  |

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.2.2 Diámetros de tuberías

El diámetro de la tubería es uno de los parámetros más importantes en el diseño del banco hidráulico, ya que a partir de estos se calculará la longitud de desarrollo. El diseño incluye todos los diámetros comerciales correspondientes a PPR, PVC Y Hierro Galvanizado. El banco hidráulico tiene un diseño versátil el cual trata de adaptarse a los distintos equipos y conexiones a utilizar, y al espacio disponible en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica Andrés Bello.

**TABLA N°10 : DIÁMETROS DE DIFERENTES MATERIALES. CATÁLOGOS: (1) DONSEN PPR®, (2) PAVCO, (3) MATERIALES LOS ANDES**

| Diámetro Nominal (in) | DIÁMETRO EXTERNO             |                      |                     | DIÁMETRO INTERNO             |                     |                    |
|-----------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|--------------------|
|                       | (1)Diámetro Nominal PPR (mm) | (2)Diámetro PVC (mm) | (3)Diámetro HG (mm) | (1)Diámetro Nominal PPR (mm) | (2)Diámetro PVC(mm) | (3)Diámetro HG(mm) |
| 3/8                   |                              |                      | 17.5                |                              |                     | 15.9               |
| 1/2                   | 20                           | 21                   | 21.7                | 13.2                         | 13.88               | 18.93              |
| 3/4                   | 25                           | 26.5                 | 27.1                | 16.6                         | 18.85               | 24.23              |
| 1                     | 32                           | 33                   | 33.8                | 21.2                         | 24.3                | 30.42              |
| 1 1/4                 | 40                           | 42                   | 42.6                | 26.6                         | 32.46               | 39.04              |
| 1 1/2                 | 50                           | 48                   | 48.7                | 33.4                         | 38.1                | 45.02              |
| 2                     | 63                           | 60                   | 60.9                | 42                           | 49.25               | 56.99              |
| 2 1/2                 | 75                           | 73                   | 73.8                | 54                           | 59.01               | 68.2               |
| 3                     | 90                           | 88.5                 | 89.80               | 65                           | 73.76               | 84.31              |
| 4                     | 110                          | 114                  | 115.4               | 77.2                         | 97.18               | 109.38             |
| 6                     | 160                          | 168                  | 170.00              | 120.4                        | 146.34              | 162.88             |

(3) Materiales Los Andes: ASTM A 53 SCH 40

(2) PAVCO PN20

**Fuente:** Elaboración Propia

**TABLA N °11: DIÁMETROS COMERCIALES PARA DIFERENTES TIPOS DE CONEXIONES**

| C<br>O<br>N<br>E<br>X<br>I<br>O<br>N<br>E<br>S | Diámetro Nominal PPR (mm) | 20  | 25  | 32 | 40    | 50    | 63 | 75    | 90 | 110 | 160 |
|------------------------------------------------|---------------------------|-----|-----|----|-------|-------|----|-------|----|-----|-----|
|                                                | Diámetro (in)             | 1/2 | 3/4 | 1  | 1 1/4 | 1 1/2 | 2  | 2 1/2 | 3  | 4   | 6   |
|                                                | Codo 45°                  | ✓   | ✓   | ✓  | ✓     | ✓     | ✓  | ✓     | ✓  | ✓   | ✓   |
|                                                | Codo 90°                  | ✓   | ✓   | ✓  | ✓     | ✓     | ✓  | ✓     | ✓  | ✓   | ✓   |
|                                                | Anillo liso               | ✓   | ✓   | ✓  | ✓     | ✓     | ✓  | ✓     | ✓  | ✓   | ✓   |
|                                                | Llave de paso esférica    | ✓   | ✓   | ✓  | ✓     | ✓     | ✓  | ✓     | ✓  | ✓   |     |
|                                                | Llave de paso oculta      | ✓   | ✓   |    |       |       |    |       |    |     |     |
|                                                | Sobrepaso largo           | ✓   | ✓   | ✓  |       |       |    |       |    |     |     |
|                                                | Tee lisa                  | ✓   | ✓   | ✓  | ✓     | ✓     | ✓  | ✓     | ✓  | ✓   | ✓   |
|                                                | Codo 3 vias               | ✓   | ✓   | ✓  |       |       |    |       |    |     |     |
|                                                | Cruz lisa                 | ✓   | ✓   | ✓  |       |       |    |       |    |     |     |

| C<br>o<br>n<br>e<br>x<br>i<br>ó<br>n | Diámetro<br>Nominal<br>PPR(mm) | 25x20                            | 32x20                  | 32x25                  | 40x20                              | 40x25                              | 40x32                    | 50x32                    | 50x40                                | 63x32        | 63 x<br>40               | 63 x<br>50               |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
|                                      | Diámetro(in)                   | $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$ | $1 \times \frac{1}{2}$ | $1 \times \frac{3}{4}$ | $1 \frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$ | $1 \frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$ | $1 \frac{1}{4} \times 1$ | $1 \frac{1}{2} \times 1$ | $1 \frac{1}{2} \times 1 \frac{1}{4}$ | $2 \times 1$ | $2 \times 1 \frac{1}{4}$ | $2 \times 1 \frac{1}{2}$ |
|                                      | Reducción<br>ext. /int         | ✓                                | ✓                      | ✓                      | ✓                                  | ✓                                  | ✓                        | ✓                        | ✓                                    | ✓            | ✓                        | ✓                        |

Fuente: Elaboración Propia

### 4.3 Restricción del caudalímetro

Con la finalidad de poder aprovechar plenamente los equipos existentes, se utilizará el caudalímetro instalado en el banco de bombas, el cual posee un rango de medición caudal de (5.0 – 50.0 gpm) ó (0.32-3.15 lps). Inicialmente se prevé que dicho rango de caudal, sea en el que operará el banco hidráulico, aunque posteriormente se evaluarán restricciones por velocidad máxima en el sistema

### 4.4 Metodología para el diseño de los kits de medición

A continuación, se indican los pasos a seguir para el diseño de cualquier kit de medición que son básicamente

El primer paso es seleccionar la **conexión, accesorio o combinación de ambos que se desea evaluar**. Con la finalidad de simplificar la metodología de diseño, se procedió a realizar una clasificación en función a la cantidad de entradas y salidas que posea el accesorio o conjunto a estudiar. De dicha clasificación se logró discriminar 3 grupos: Conexiones 1:1 (**Figura N°9**); 1:2 (**Figura N°10**) y 1:3 (**Figura N°11**).

Sin embargo, esta metodología no se limita a las conexiones y accesorios aquí mostrados, sino que se extiende a cualquier combinación de elementos sobre los cuales se desee conocer el factor “K” de pérdida localizada correspondiente. En este sentido, si el conjunto posee una entrada y

una salida, se tipificó como una conexión 1:1; por otra parte, si el conjunto posee una entrada y 3 salidas, entonces se deberá considerar como una conexión tipo 1:3.

- **Conexiones 1:1**

Son aquellas que cuentan con la correspondiente entrada del flujo y una sola salida. Dentro de estas se encuentran las siguientes:



**FIGURA N° 9 CONEXIONES 1:1 EN PPR**  
Fuente: Elaboración propia

- **Conexiones 1:2**

Son aquellas que cuentan con la correspondiente entrada del flujo y dos salidas. Dentro de estas se encuentran las siguientes:



**FIGURA N°10: CONEXIONES 1:2 EN PPR**  
Fuente: Elaboración propia

- **Conexión 1:3**

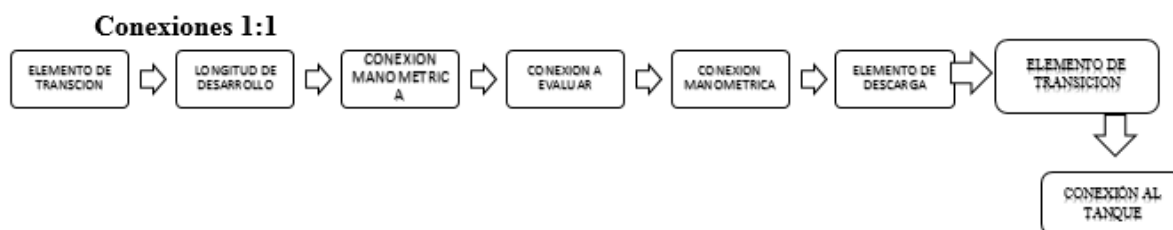
Son aquellas que cuentan con la correspondiente entrada del flujo y tres salidas. Dentro de estas se encuentran las siguientes:



**FIGURA N°11 CONEXIÓN 1:3 EN PPR**  
Fuente: Elaboración propia

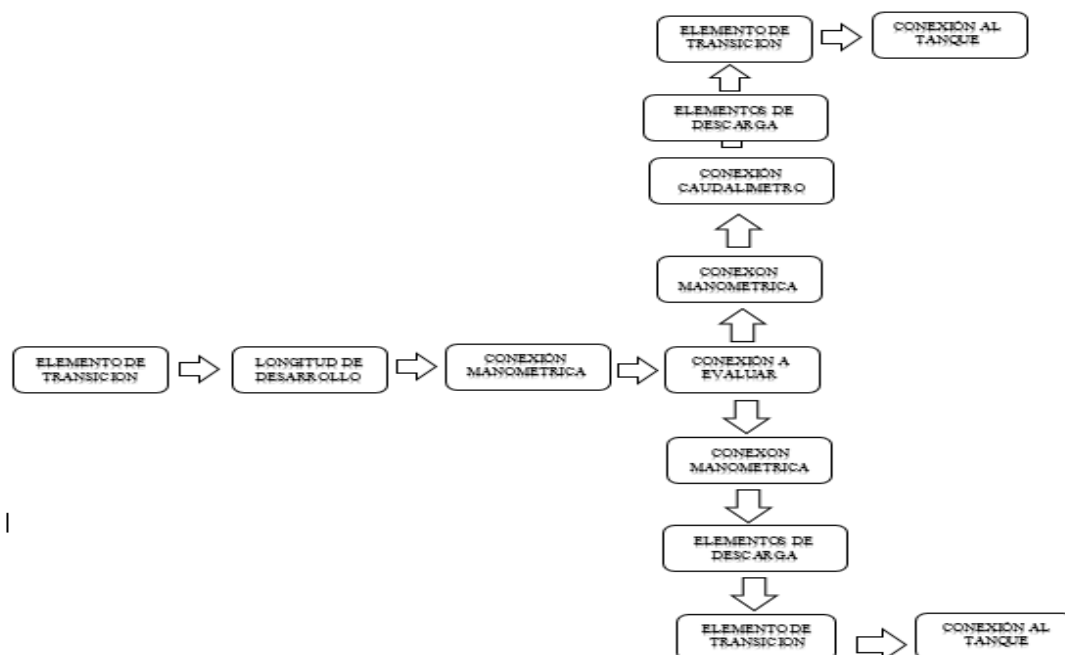
#### 4.4.1 Diagrama de ensamblaje de los kits de medición

Luego de conocer la tipificación de la pieza o combinación según lo antes mencionado, se debe seleccionar el diagrama de ensamblaje que corresponda; estos se indican los componentes que conforman el kit a diseñar, los cuales serán descritos unos a uno posteriormente.



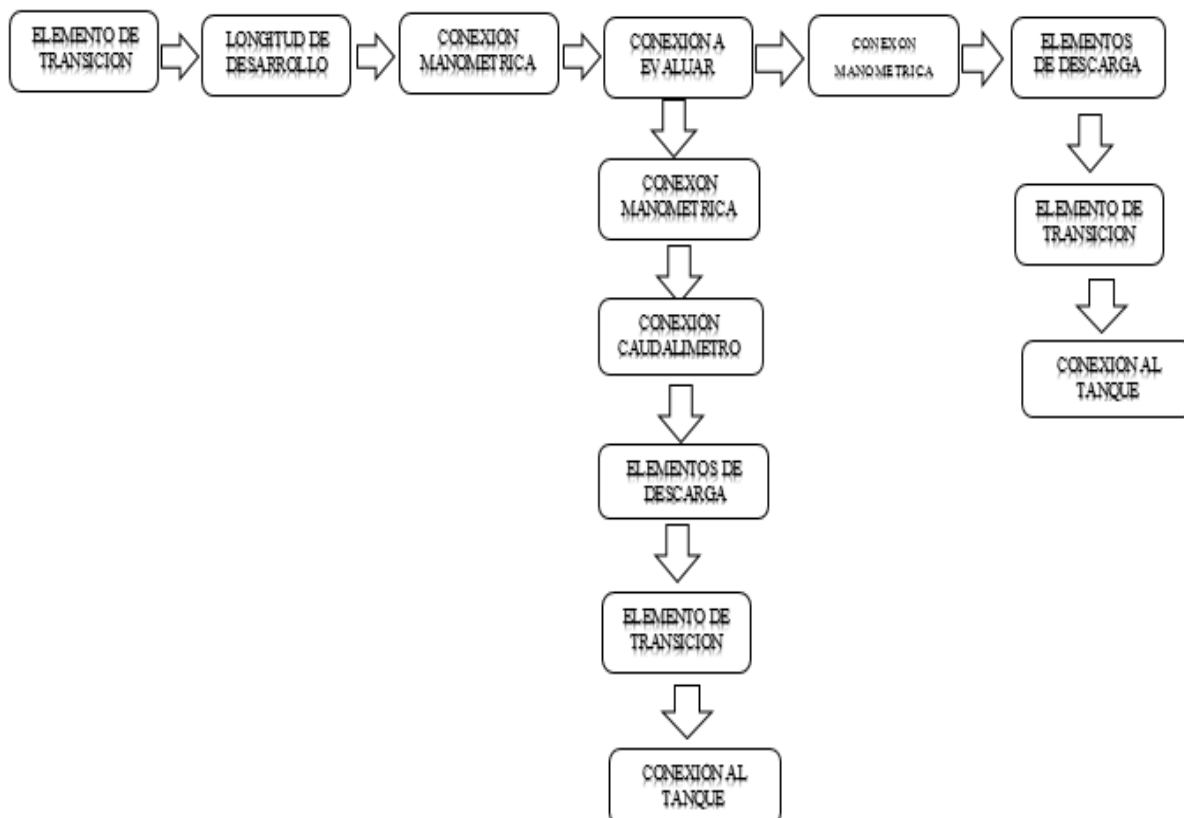
**FIGURA N °12:** ESQUEMA DE KITS PARA CONEXIONES 1:1

**Fuente:** Elaboración Propia



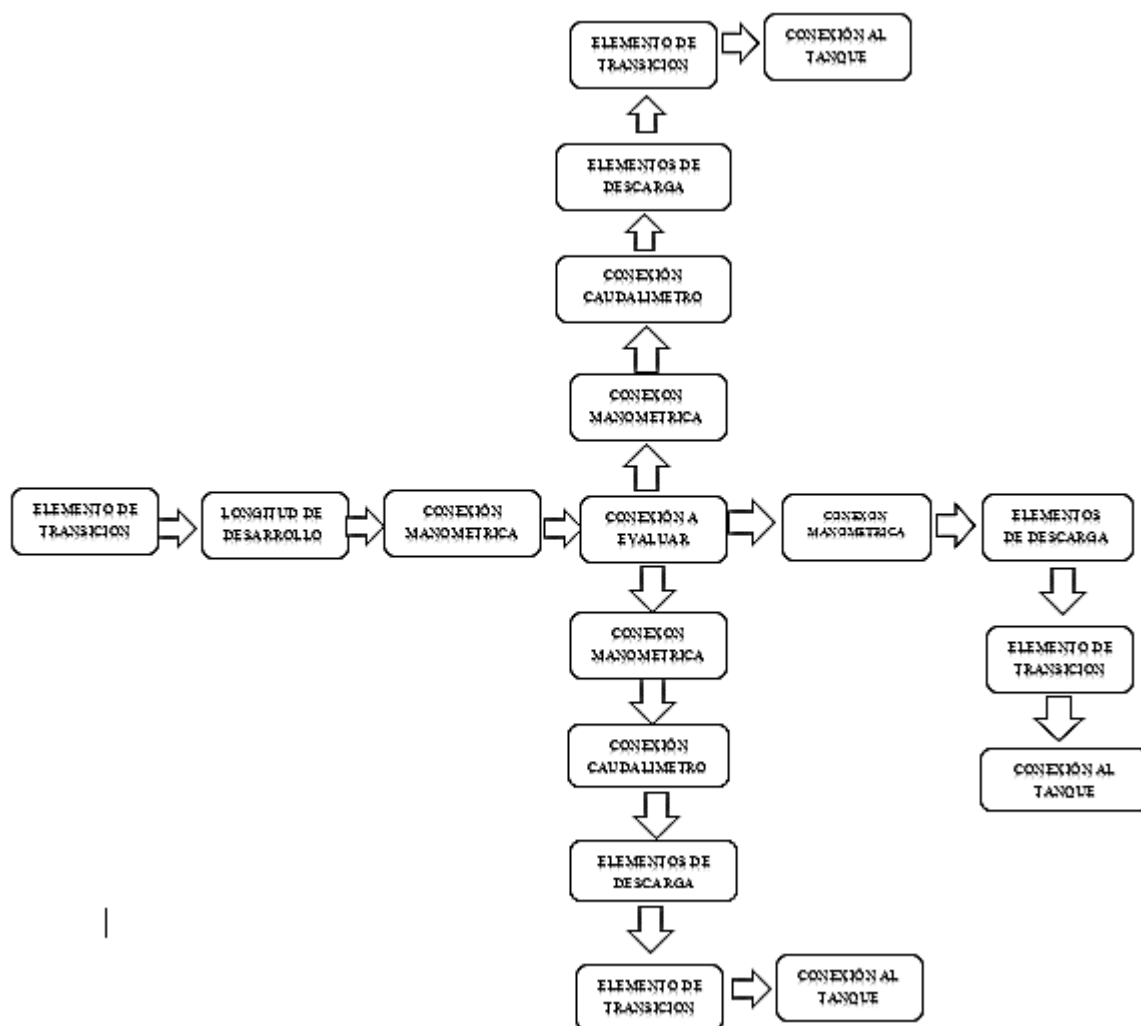
**FIGURA N ° 13** ESQUEMA DE KITS PARA CONEXIÓN 1:2- TEE FLUJO CRUZADO

**Fuente:** Elaboración Propia



**FIGURA N°14:** ESQUEMA DE KITS PARA CONEXIÓN 1:2- TEE FLUJO RECTO

**Fuente:** Elaboración Propia



**FIGURA N°15:** ESQUEMA DE KITS PARA CONEXIÓN 1:3- CRUZ LISA

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.4.2 Diseño de los componentes para el armado de los kits de medición.

A partir de este punto se indicarán los materiales, medidas y procedimientos necesarios para poder armar cada uno de los elementos que conforman los kits.

En el banco hidráulico se ha procurado garantizar la confiabilidad de todas las mediciones, por tanto, su diseño considera las longitudes mínimas necesarias para que el flujo pueda desarrollarse plenamente antes de registrar cada medida

A pesar de que el procedimiento se presenta con conexiones y tuberías de PPR, este puede desarrollarse en piezas homólogas de hierro galvanizado y PVC.

En la tabla N°12, se muestra la nomenclatura con la que se denominará las partes que conforman los kits.

**TABLA N°12: ELEMENTOS PARA ARMADO DE KITS**

| ET                     | Ld                     | CM                   | CE                 | CC                    | ED                    | CT                 |
|------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Elemento de transición | Longitud de desarrollo | Conexión manométrica | Conexión a Evaluar | Conexión Caudalímetro | Elementos de descarga | Conexión al tanque |

**Fuente:** Elaboración Propia

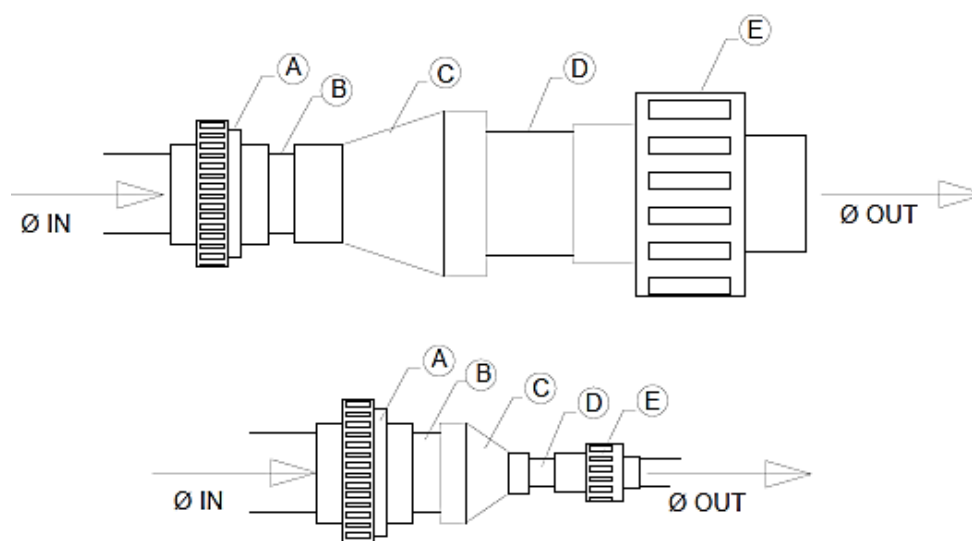
**a) ET: Elemento de transición:**

Unidad necesaria compuesta de una serie de piezas, útiles para permitir: el cambio de diámetro necesario y la conexión del banco de bombas existente al kit de medición y de éste al elemento Conexión Tanque (CT)

Aguas abajo del caudalímetro existente, está prevista la colocación de una unión universal de PPR de 50 mm, la cual será el punto de acople de los kits de medición al banco de bombas existente. Por tanto, todos los ET deberán poseer como elemento A (ver **Figura N°15**), la parte complementaria de la unión universal D = 50mm instalada.

Se muestra a continuación, el detalle del elemento de transición en dos de sus versiones: de un diámetro menor a uno mayor y al contrario. La tercera versión es cuando el diámetro del kit es de 1½”, por lo cual, no amerita de tener la pieza reductora.

El elemento “D” de este componente es un adaptador rosca hembra, que permitirá hacer el cambio de material del kit que desee evaluarse hasta el próximo Elemento de Transición (ET).



Elemento de transición (ET)  
Material: PPR

|             | A               | B     | C                           | D            | E                     |
|-------------|-----------------|-------|-----------------------------|--------------|-----------------------|
| Descripción | Unión Universal | Niple | Reducción /Expansión        | Niple        | Conector Rosca Hembra |
| $\phi$ (mm) | 50              | 50    | 50 $\phi_{IN} / \phi_{OUT}$ | $\phi_{OUT}$ | $\phi_{OUT}$          |
| L(m)        | —               | 0.08  | —                           | 0.08         | —                     |

$\phi_{OUT}$  = Diámetro conexión a evaluar

ESC: S/E

$\phi_{OUT}$ : Diámetro de salida al elemento de transición

$\phi_{IN}$ : Diámetro de entrada al elemento de transición

**FIGURA N° 16: ELEMENTO DE TRANSICIÓN**  
**Fuente :** Elaboración Propia

### **Procedimiento para armado**

- 1) Se identifica en sitio cuál es la parte de la unión universal  $D = 50 \text{ mm}$  que se encuentra instalada en el banco de bombas existente. Posteriormente, se toma una nueva unión universal  $D = 50 \text{ mm}$  y se selecciona la mitad que acopla en ésta para que sea la que formará parte del kit de medición identificado como elemento “A”.
- 2) Al elemento “A” se le soldara un niple de 8 cm de longitud de  $D = 50 \text{ mm}$  identificado como elemento “B”.
- 3) Soldar al niple (elemento “B”), una reducción o expansión (elemento “C”), según el sentido en que se necesite, de  $D = [50 \text{ mm} \times \phi_{\text{OUT}}]$ . Importante: Para los diámetros de (50 mm) no se colocará la reducción o expansión.
- 4) Soldar al elemento “C”, un niple de 8 cm de longitud de diámetro de la conexión a evaluar ( $\phi_{\text{OUT}}$ ), el cual se denominará elemento “D”.
- 5) Acoplar conector rosca hembra PPR de cada diámetro de la conexión a evaluar.

### **b) $L_d$ : Longitud de Desarrollo**

Luego de analizar las diferentes bibliografías, se escoge la ecuación que arroja los resultados más desfavorables: **la ecuación de White & Shames (13)** para flujo turbulento. Una condición importante, es que esta ecuación funcionará perfectamente si es usada en tuberías de paredes rugosas o lisas

Cuando se considere el uso de material hierro galvanizado, la relación mínima para la longitud de desarrollo a la salida de elemento de transición será de  $L_d/D > 44$ ; siendo  $D$  el diámetro interno de la tubería, el cual se recomienda sea medido con vernier, para trabajar directamente con los

diámetros reales de la pieza o conducción en estudio. En el anexo N°5 se encontrará el desarrollo y procesamiento para el cálculo de la longitud de desarrollo con su respectiva hoja de cálculo.

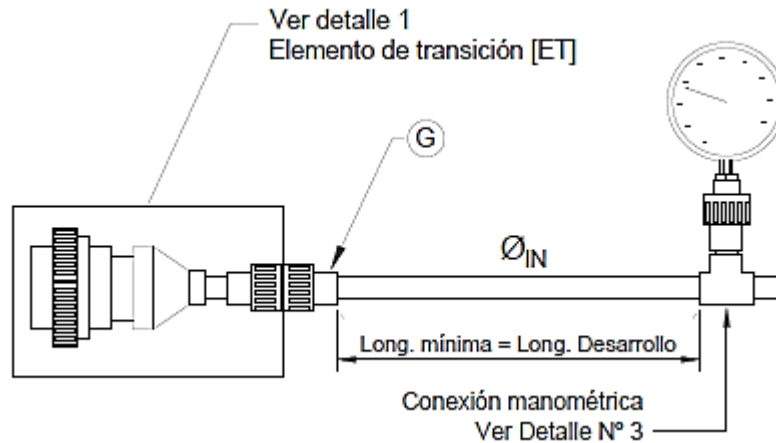
Se presentan en la tabla N°13 los valores obtenidos para el material PPR.

**TABLA N°13: LONGITUD DE DESARROLLO PARA PPR**

| Diámetro Equivalente (in) | Diámetro Nominal (mm) | D interno (mm) | Longitud de desarrollo (m) |
|---------------------------|-----------------------|----------------|----------------------------|
| 1/2                       | 20                    | 13.2           | 0.65                       |
| ¾                         | 25                    | 16.6           | 0.75                       |
| 1                         | 32                    | 21.2           | 0.9                        |
| 1 1/4                     | 40                    | 26.6           | 1.1                        |
| 1 1/2                     | 50                    | 33.4           | 1.25                       |
| 2                         | 63                    | 42             | 1.5                        |
| 2 1/2                     | 75                    | 54             | 1.85                       |
| 3                         | 90                    | 65             | 2.1                        |
| 4                         | 110                   | 77.2           | 2.4                        |
| 6                         | 160                   | 120.4          | 3.45                       |

**Fuente:** Elaboración Propia

Como se muestra en la **Figura N°17**, el elemento Longitud Desarrollo (Ld) está conformado por un conector rosca macho, identificado como elemento “G”, que permitirá el acople con el elemento de transición (ET) y un tramo recto de tubería con longitud igual a la calculada según la ecuación de White & Shames (13), que para el caso de PPR, es la mostrada en tabla N°13.



$\varnothing_{OUT}$ : Diámetro de salida de elemento Longitud de Desarrollo

$\varnothing_{IN}$ : Diámetro de entrada al elemento Longitud de Desarrollo

**FIGURA N°17: ELEMENTO LONGITUD DE DESARROLLO**

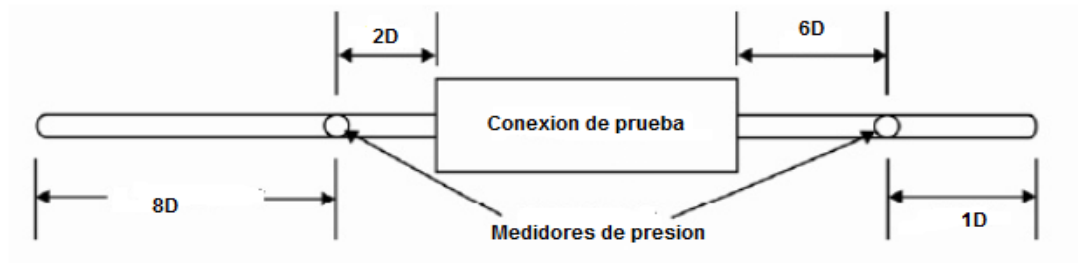
**Fuente :** Elaboración propia

**c) CM: Conexión manométrica Y CE: Conexión a evaluar.**

Tanto el elemento Conexión manométrica (CM) como Conexión a evaluar (CE), fueron diseñados siguiendo las especificaciones de la norma ANSI/ISA-75.02.01-2008, las cuales fueron enunciadas en el marco teórico del presente trabajo.

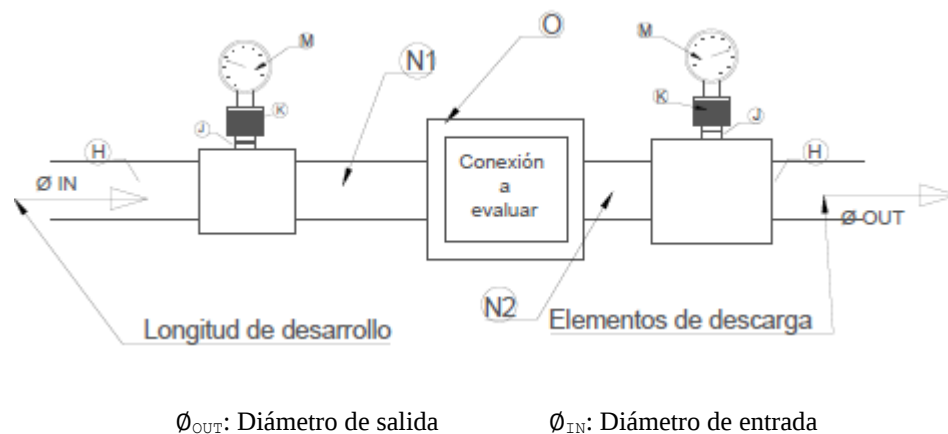
Entendiendo como Conexión a evaluar (CE) al tramo de tubería, conexión, accesorio o combinación de éstas, de la cual se desee conocer el coeficiente de pérdida localizada K como un todo. Por su parte se denomina Conexión manométrica (CM), a aquella ubicada antes y después de CE, en donde serán instalados los manómetros que registran la caída de presión en cada uno de los ramales de la conexión a evaluar. Las mismas, dependiendo del diámetro en el que se esté trabajando poseen modalidades diferentes, así como se aprecia en las **Figuras N°18 y N°19**.

D: Diámetro de la conexión a evaluar según el ramal que corresponda.



**FIGURA N° 18: ESQUEMA SEGÚN NORMAS ANSI/ISA 75 PARA MEDICIONES DE PRESIÓN**

**Fuente:** AMERICAN NATIONAL STANDARD



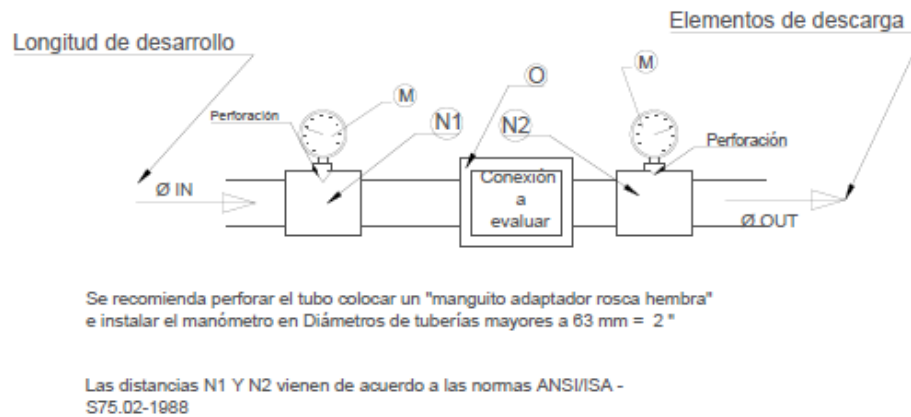
**FIGURA N°19: MODELO CONEXIÓN MANOMÉTRICA PARA DIÁMETROS < 2"**

**Fuente:** Elaboración Propia

**Procedimiento de armado de conexión manométrica manómetro para diámetros superiores a 2": 2 ½" - 3" - 4"**

Dado que la pieza Tee reducida lisa, llega (en PPR) hasta 63 mm con reducción a 20 mm; se tiene que para diámetros superiores a éste (75; 90 y 110 mm) lo recomendable sea perforar el

conducto y conectar el manómetro de forma directa. Para ello existen procedimientos especiales según cada sistema de tubería que debe seguirse para no generar perturbaciones en el flujo, en el punto de medición.



$\phi_{out}$ : Diámetro de salida/  $\phi_{in}$ : Diámetro de entrada

**FIGURA N°20: MODELO CONEXIÓN MANOMÉTRICA PARA DIÁMETROS > 2"**  
**Fuente : Elaboración Propia**

Conexión manométrica (CM)

| Leyenda | Descripción                 | $\phi$ (mm)                                                          | L(m)                | Material         |
|---------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|
| H       | Tee<br>reducida lisa        | 20x20x20<br>20x25x20<br>32x20x32<br>40x20x40<br>50x20x50<br>63x20x63 |                     | PPR<br>PVC<br>HG |
| J       | Niple                       | 20                                                                   | Soldadura<br>a tope | PPR<br>PVC<br>HG |
| K       | Conector<br>rosca<br>hembra | 20                                                                   |                     | PPR<br>PVC<br>HG |
| M       | Manómetro                   | $\frac{1}{2}$                                                        |                     |                  |

Conexión /conjunto de conexiones a evaluar (CE)

|             | N1          | O                     | N2           |
|-------------|-------------|-----------------------|--------------|
| Descripción | Niple       | Conexión a<br>evaluar | Niple        |
| $\phi$ (mm) | $\phi_{IN}$ | $\phi_{OUT}$          | $\phi_{OUT}$ |
| L(m)        | 2 D*        | —                     | 6 D*         |

$\phi$ : Diámetro variable

**FIGURA N° 21 : LEYENDA DE DETALLE CONEXIÓN MANOMÉTRICA**  
**FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA**

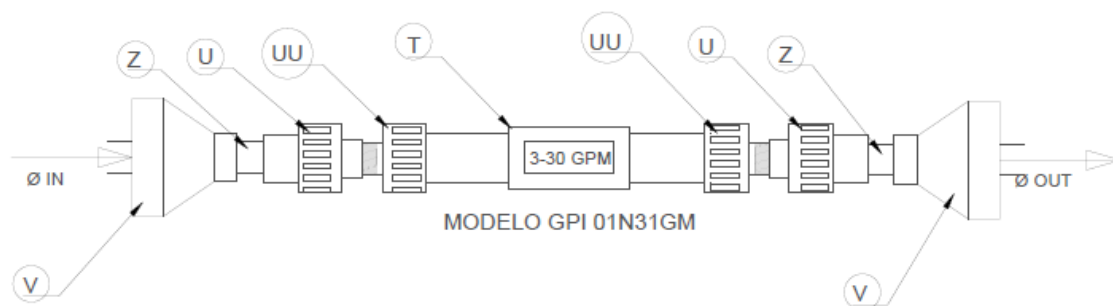
#### d) CC: Conexión Caudalímetro

Este elemento será necesario cuando se trabajen las conexiones tipo 1:2 y 1:3, dado que para cada ramal, se maneja un caudal diferente y que será necesario conocer para determinar la velocidad del fluido en cada derivación. Para ello se recomienda la instalación de caudalímetros electrónicos de la marca GPI, modelo y especificaciones que se muestran en la tabla N°14

**TABLA N° 14** ESPECIFICACIONES DEL INSTRUMENTO A INSTALAR EN CONEXIÓN CAUDALÍMETRO (CC)

| Especificación           | Descripción             | Medida              |
|--------------------------|-------------------------|---------------------|
| Entrada y salida modelo  | <b>01N31GM</b>          | 1"(32mm)            |
| NPT Models               | <b>01N31GM</b>          | 1" FNPT             |
| Tipo diseño              | turbina                 | -                   |
| Material de cubierta     | PVC                     |                     |
| Max. Presión de trabajo  | 150 PSI                 |                     |
| Rango de flujo           | 3-30 GPM                | Diámetro: 1" (32mm) |
| Precisión de medición    | ± 5.0%                  |                     |
| Temperatura de operación | ° +14° a +130F°(0-55°C) |                     |

**FUENTE:** ELABORACIÓN PROPIA



$\phi_{out}$ : Diámetro de salida

$\phi_{in}$ : Diámetro de entrada

**Figura N°22:** Conexiones Caudalímetro

**Fuente :** Elaboración Propia

|             | T            | U                                           | UU                   | V                     | Z           |
|-------------|--------------|---------------------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------|
| Descripción | Caudalímetro | Conector rosca hembra/ Conector rosca macho | Conector Rosca macho | Reducción /Expaansión | Niple       |
| $\phi$ (mm) | 1"           | $\emptyset$                                 | 32                   | $\emptyset \times 32$ | $\emptyset$ |
| L(m)        | 0.2          | ---                                         | ---                  | ---                   | 0.3         |

$\emptyset$ : Diámetro variable

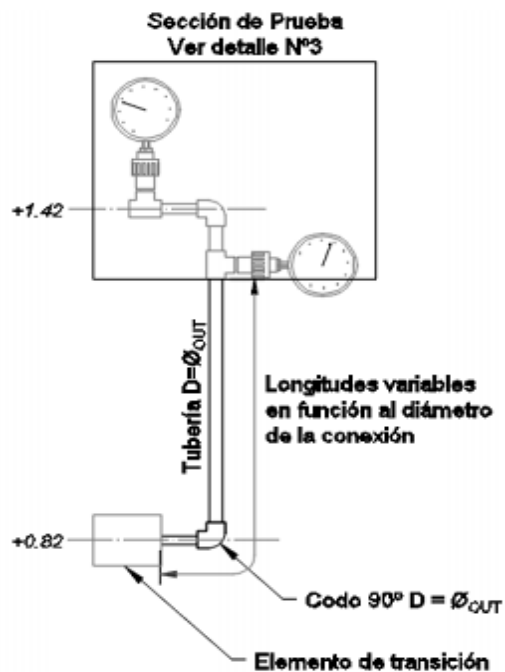
**FIGURA N° 23 LEYENDA DE CAUDALÍMETRO**

**Fuente:** Elaboración Propia

#### **e) Elementos de descarga (ED)**

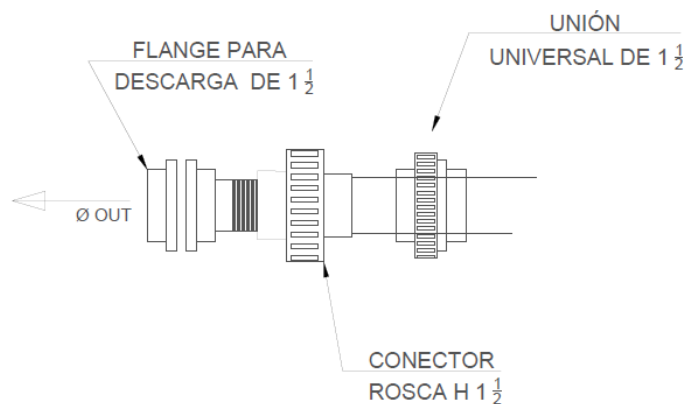
Luego de haber realizado las mediciones de caída de presión y caudal, debe incorporarse el fluido al tanque de almacenamiento para mantener la operación continua de las bombas. Es por ello que se hace necesario el diseño de los elementos de descarga para cumplir con esta función. Los mismos varían en función de la morfología de la conexión a evaluar (CE) y del diámetro.

A continuación se muestra en la Figura N° 24 el ejemplo de elementos de descarga para el codo de 90°. En los Anexos, se presentarán los elementos de descarga para las demás conexiones, sin embargo, para cualquier otro tipo de conexión que no se haya incluido en el presente trabajo; el diseño consistirá en disponer las tuberías y canalizaciones que permitan reingresar el agua al estanque existente



**FIGURA N° 24: ELEMENTOS DE DESCARGA PARA CODO 90°**  
**Fuente:** Elaboración Propia

#### F) Elemento de Conexión al Tanque



**FIGURA N°25 DETALLE CONEXIÓN AL TANQUE**  
**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.5 Requerimientos técnicos de los manómetros del banco hidráulico

En función a lo indicado en el marco teórico, existen tres parámetros que debemos cuantificar en el banco hidráulico: **la temperatura**, porque de ella depende el número de Reynolds, que a su vez modifica la longitud de desarrollo a prever para lograr estabilidad en el flujo al momento de medir; **el caudal**, pues a partir de este determinaremos la velocidad del flujo que tenemos en la tubería; y la **caída de presión**. Ésta, representa la disminución de energía disponible del fluido entre dos puntos, ya sea por efecto de la fricción a lo largo de la conducción, así como por los cambios de dirección y velocidad de las líneas de corriente que se dan en válvulas, conexiones y accesorios.

##### 4.5.1 Determinación de resolución mínima del instrumento

Los manómetros, en este sentido, deben ser capaces de registrar caídas de presión con suficiente detalle, para que podamos, posteriormente, despejar un coeficiente K con tal precisión que representen diferencias entre diferentes conexiones para variedad de diámetros.

Es por ello, que previo a la selección del instrumento, realizamos cálculos teóricos de la caída de presión que debería registrarse en los manómetros entre dos puntos para predeterminados diferenciales de K. Esta aproximación se ha realizado para los diámetros nominales de  $\frac{1}{2}$ " y 4", puesto que, para un mismo caudal, tendremos velocidades extremas en ambos diámetros.

Para la selección de los diferenciales de coeficientes de pérdidas K, procedimos a revisar variedad de referencias bibliográficas que consideran piezas, accesorios y válvulas comúnmente utilizadas en los diseños sanitarios. De esta forma, utilizando la tabla N°15 (CONAGUA 2002), visualizamos que dependiendo de la pieza tenemos variaciones del orden de 0,01; 0,1 y 1 unidades; tomando entonces esto como referencias de diferencia de "K". Para nuestra evaluación se incluyó una variación de 10 unidades, aun considerándolo como una apreciación

muy baja, la cual no aporta información de interés para el investigador. Sin embargo, se decidió tenerla como valor referencial.

**TABLA N° 15: FACTORES K PARA DIFERENTES ACCESORIOS**

| Pieza, conexión o dispositivo | K    |
|-------------------------------|------|
| Rejilla de entrada            | 0.80 |
| Válvula de pie                | 3.00 |
| Entrada cuadrada              | 0.50 |
| Entrada abocinada             | 0.10 |
| Entrada de borda o reentrada  | 1.00 |
| Ampliación gradual            | 0.30 |
| Ampliación brusca             | 0.20 |
| Reducción gradual             | 0.25 |
| Reducción brusca              | 0.35 |
| Codo corto de 90°             | 0.90 |
| Codo corto de 45°             | 0.40 |
| Codo largo de 90°             | 0.40 |
| Codo largo de 45°             | 0.20 |
| Codo largo de 22° 30'         | 0.10 |
| Tee con flujo en línea recta  | 0.10 |
| Tee con flujo en ángulo       | 1.50 |
| Tee con salida bilateral      | 1.80 |
| Válvula de compuerta abierta  | 5.00 |
| Válvula de ángulo abierta     | 5.00 |
| Válvula de globo abierta      | 10.0 |
| Válvula alfallera             | 2.00 |
| Válvula de retención          | 2.50 |
| Boquillas                     | 2.75 |
| Controlador de gasto          | 2.50 |
| Medidor Venturi               | 2.50 |
| Confluencia                   | 0.40 |
| Bifurcación                   | 0.10 |
| Pequeña derivación            | 0.03 |
| Válvula de mariposa abierta   | 0.24 |

**Fuente:** CONAGUA 2002

Posteriormente se seleccionaron los caudales y diámetros de tubería con los que se realizaría la evaluación (ver tabla N°16). Para ello se definieron 3 gastos: 0.32 lps (5 gpm) y 3.15 lps (50 gpm) que corresponde al mínimo y máximo valor medible en el caudalímetro existente respectivamente, y 0.94 lps (14.89 gpm) como valor intermedio aleatorio.

**TABLA N°16 : DIÁMETROS Y CAUDALES SELECCIONADOS PARA ESTIMAR VALORES DE CAÍDA DE PRESIÓN COMO PARTE DEL PROCESO DE DEFINICIÓN DE RESOLUCIÓN DEL MANÓMETRO**

| <b>D. Interno = 13.2 mm</b> |              |              |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| Q = 0.32 lps                | Q = 0.94 lps | Q = 3.15 lps |
| <b>D. Interno = 77.2mm</b>  |              |              |
| Q = 0.32 lps                | Q = 0.94 lps | Q = 3.15 lps |

**Fuente:** Elaboración Propia

Habiendo definido estos valores, se procedió al cálculo de pérdida localizada de la presión ( $H_L$ ) por medio de la ecuación (5), que se muestra abajo, para puntos alineados en la cota de referencia y sin variación de diámetro.

$$K_l = \Delta P = \frac{H_L}{\left(\frac{V^2}{2g}\right)} \quad (5)$$

Despejando  $H_L$  para la ecuación anterior, obtenemos:

$$\Delta P = Hl = K_l * \left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla N° 17, que se presenta a continuación:

**TABLA N° 17:** ESTIMACIÓN DE DIFERENCIALES DE PRESIÓN, PARA VARIACIONES DE K DE 0.01; 0.1; 1 Y 10, PARA DIÁMETROS INTERNOS DE 13.2MM Y 77.2, CON DIVERSOS CAUDALES

| K    | D. Interno = 13.2mm |                  |                  |                  |                  |                  |
|------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      | Q = 0.32 lps        |                  | Q = 0.94 lps     |                  | Q = 3.15 lps     |                  |
|      | V = 2.34 m/s        |                  | V = 6.87 m/s     |                  | V = 23.02 m/s    |                  |
|      | $\Delta P$ [mca]    | $\Delta P$ [psi] | $\Delta P$ [mca] | $\Delta P$ [psi] | $\Delta P$ [mca] | $\Delta P$ [psi] |
| 0.01 | 0.003               | 0.004            | 0.022            | 0.031            | 0.270            | 0.383            |
| 0.1  | 0.028               | 0.040            | 0.220            | 0.313            | 2.701            | 3.835            |
| 1    | 0.279               | 0.396            | 2.205            | 3.130            | 27.005           | 38.347           |
| 10   | 2.787               | 3.957            | 22.045           | 31.304           | 270.052          | 383.473          |

| K    | D. Interno = 77.2mm |                  |                  |                  |                  |                  |
|------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|      | Q = 0.32 lps        |                  | Q = 0.94 lps     |                  | Q = 3.15 lps     |                  |
|      | V = 0.07 m/s        |                  | V = 0.20 m/s     |                  | V = 0.67 m/s     |                  |
|      | $\Delta P$ [mca]    | $\Delta P$ [psi] | $\Delta P$ [mca] | $\Delta P$ [psi] | $\Delta P$ [mca] | $\Delta P$ [psi] |
| 0.01 | 2.38E-06            | 3.38E-06         | 2.06E-05         | 2.92E-05         | 2.31E-04         | 3.28E-04         |
| 0.1  | 2.38E-05            | 3.38E-05         | 2.06E-04         | 2.92E-04         | 0.002            | 0.003            |
| 1    | 2.38E-04            | 3.38E-04         | 0.002            | 0.003            | 0.023            | 0.033            |
| 10   | 0.002               | 0.003            | 0.021            | 0.029            | 0.231            | 0.328            |

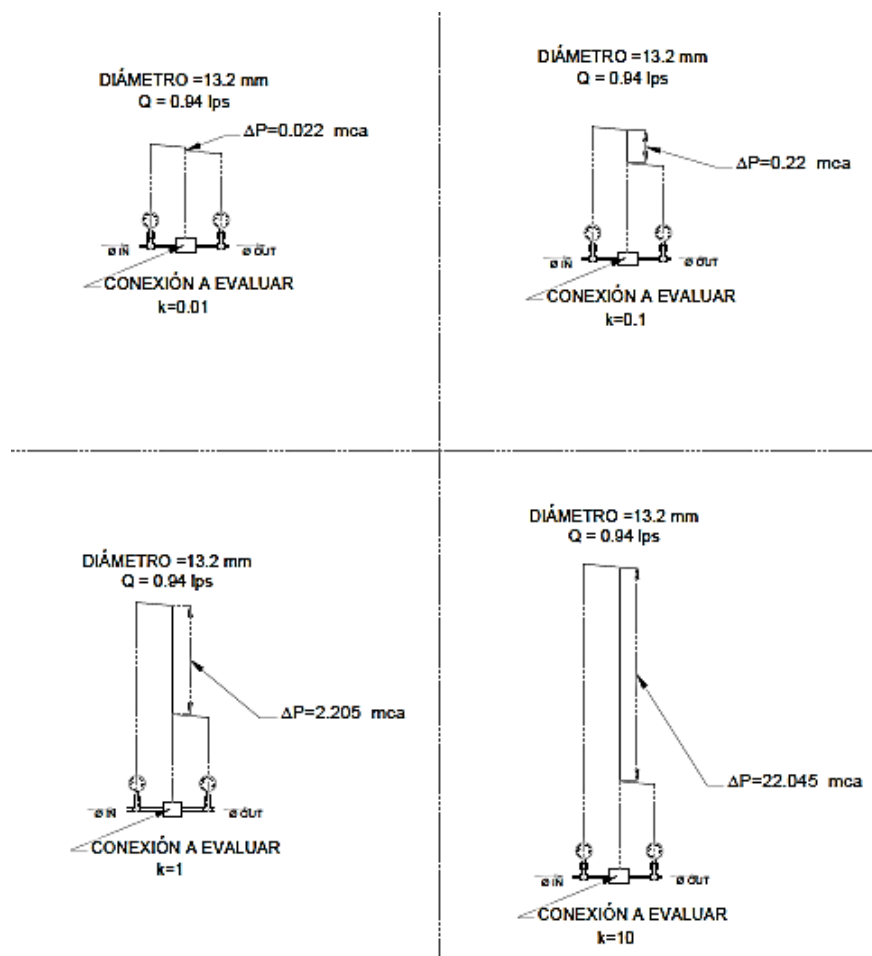
**Fuente:** Elaboración Propia

En base a lo obtenido se puede concluir lo siguiente:

- 1.- Se descarta del análisis los resultados para el diámetro interno de 13.2 mm, con un caudal de 3.15 lps, pues la velocidad del flujo (23.02 m/s) no es operativamente posible en el banco.
- 2.- Los resultados sombreados en amarillo, determinados para el diámetro interno de 77.2 mm, manejan resoluciones de entre 4 y 6 decimales, la cual no corresponde a ningún rango de resolución de manómetros disponibles en el mercado.
- 3.- Los valores sombreados en color verde, corresponden a diferenciales de presión de 3 o menos decimales, los cuales son manejados por **manómetros del tipo analógico/digital, con resoluciones que alcanzan 0.001 psi**. Descartando, por esta razón la posibilidad de utilizar los

manómetros analógicos existentes que posee el banco de bombas, pues los mismos poseen resoluciones mínimas de 1 psi.

Adicionalmente a esto, los manómetros a seleccionar deben cumplir con el requerimiento técnico indicado en la norma ANSI/ISA-75.02.01-2008, que especifica que el caudalímetro a utilizar debía poseer una **precisión mínima del instrumento de  $\pm 2\%$  de la lectura real salida.**



**FIGURA N°26 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CAÍDAS DE PRESIÓN ESTIMADAS EN LA TABLA N°17**

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.4 Evaluación de alternativas de manómetros

Tomando en cuenta los parámetros de selección indicados anteriormente, se procedió (con la asesoría de expertos en el área) a la búsqueda de diferentes modelos de manómetros (ver tabla N°18). Los técnicos del área de instrumentación, considerando que el banco tendría fines de investigación, nos recomendaron encontrar un modelo con el menor porcentaje de Full Scale (FS), el cual es un valor que nos indica que tan preciso es el instrumento. Lo que nos lleva a las siguientes resoluciones:

A menor porcentaje de Full Scale (% FS) en el manómetro seleccionado, mayor precisión se obtendrán en los registros; de la misma manera cuando se comparan dos instrumentos con el mismo % FS, pero con rangos de operación diferente, por ejemplo: uno de 0-100 psi y otro de 0-30 psi, resultará que el que de menor escala será más preciso, pues su error será menor. Sin embargo, se debe ser muy minucioso al leer las especificaciones técnicas de los equipos, ya que en ocasiones hay manómetros que en las escalas más bajas, poseen un % FS superior a los que se manejan en rangos superiores.

A fines didácticos, se realiza el cálculo de las precisiones para el ejemplo anteriormente mencionado.

Manómetro 0-100 psi: Resolución 0.01 psi y 0.5% FS-  $\square 100 \text{ psi} * 0.5\% = \pm 0.50 \text{ psi}$

Manómetro 0-30 psi: Resolución 0.001 psi y 0.5% FS  $\square 30 \text{ psi} * 0.5\% = \pm 0.15 \text{ psi}$

**TABLA N° 18: MODELOS DE POSIBLES MANÓMETROS**

|                           |
|---------------------------|
| Marca y Modelo            |
| WIKA CPG1500              |
| GE SENSING DPI 104(0-100) |
| GE SENSING DPI 104(0-30)  |
| WIKA 716.11/736.11        |

**Fuente:** Elaboración Propia

En la tabla N°19 se muestran las características de los modelos de manómetros preseleccionados, entre las cuales se consideraron:

- Rango de presiones (escala) en el que opera el instrumento
- Tipo: Digital, analógico, analógico-digital, diferencial analógico o digital
- Resolución: mínima medición que provee el instrumento
- Precisión: en porcentaje de full scale (% FS)
- Factor de error del instrumento calculado en mbar y psi

**TABLA N°19: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS MODELOS DE MANÓMETROS PRESELECCIONADOS**

| N° | Marca y Modelo     | Rango de presiones | Tipo                  | Resolución          | Precisión instrumento | Factor Error en P [mbar] | Factor Error en P [psi] |
|----|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1  | WIKA CPG1500       | 0-50 psi           | Digital               | 0.001 psi           | 0.025% FS             | 0.862                    | 0.0125                  |
| 2  | GE SENSING DPI 104 | 0-30 psi           | Digital               | 0.001 psi           | 0.05% FS              | 1.034                    | 0.0150                  |
| 3  | GE SENSING DPI 104 | 0-100 psi          | Digital               | 0.01 psi            | 0.05% FS              | 3.447                    | 0.0500                  |
| 4  | WIKA 716.11/736.11 | 0 - ± 250mbar      | Analógico Diferencial | 5 mbar = 0.0725 psi | 0.5% FS               | 1.250                    | 0.0188                  |

**Fuente:** Elaboración Propia

Durante el proceso de selección, una característica que se tomó muy en cuenta, fue el rango de presiones. Dado que los equipos de bombeo existentes trabajan en un rango de 30 a 65 mca (42 a 93 psi), se ha considerado la mejor alternativa en ésta categoría correspondía al WIKA CPG1500, que con una lectura máxima de 50 psi, posee un error de medición muy cercano a la primera opción, además de manejar al igual que el 0-30 psi, una resolución de 3 decimales.

La selección del instrumento se realizó por medio de una matriz de decisión, la discusión de cada puntaje y valor de criterio se hace en conjunto con los involucrados en el trabajo de grado, siendo el rango de presiones y la resolución, los criterios más importantes, por tal razón se coloca con mayor peso en el criterio.

**TABLA N° 20: MATRIZ DE DECISIÓN PARA MODELO DE MANÓMETRO**

| No Aplica(0)              | Deficiente (1-2)     | Adecuado(4- 5-6)            |       |        |                               |       |        | Satisfactorio (7-8-9-10)     |       |        |                            |       |        |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|--------|-------------------------------|-------|--------|------------------------------|-------|--------|----------------------------|-------|--------|
| Criterio                  | Puntos por criterios | WIKA CG 15000<br>(0-50 PSI) |       |        | GE SENSING DPI<br>(0-100 PSI) |       |        | GE SENSING DPI<br>(0-30 PSI) |       |        | WIKA 716.11<br>Diferencial |       |        |
|                           |                      | Puntaje                     | Total | Global | Puntaje                       | Total | Global | Puntaje                      | Total | Global | Puntaje                    | Total | Global |
| Rango de presiones        | 25                   | 7                           | 0.7   | 17.50  | 10                            | 1.0   | 25.00  | 6.0                          | 0.6   | 15.00  | 1.0                        | 0.1   | 2.50   |
| Resolución                | 25                   | 10                          | 1.0   | 25.00  | 7                             | 0.7   | 17.50  | 10.0                         | 1.0   | 25.00  | 4.0                        | 0.4   | 10.00  |
| Precisión del instrumento | 15                   | 10                          | 1.0   | 15.00  | 8                             | 0.8   | 12.00  | 10.0                         | 1.0   | 15.00  | 6.0                        | 0.6   | 9.00   |
| Factor de error           | 10                   | 10                          | 1.0   | 10.00  | 6                             | 0.6   | 6.00   | 10.0                         | 1.0   | 10.00  | 8.0                        | 0.8   | 8.00   |
| Tipo de manómetro         | 15                   | 10                          | 1.0   | 15.00  | 10                            | 1.0   | 15.00  | 10.0                         | 1.0   | 15.00  | 8.0                        | 0.8   | 12.00  |
| Temperatura               | 10                   | 10                          | 1.0   | 10.00  | 10                            | 1.0   | 10.00  | 10.0                         | 1.0   | 10.00  | 10.0                       | 1.0   | 10.00  |
| Total                     | 100.0                |                             | Total | 92.50  |                               | Total | 85.50  |                              | Total | 90.000 |                            | Total | 51.500 |

**Fuente:** Elaboración Propia

El manómetro seleccionado fue el **WIKA CPG 1500** (ver tabla N°20), ya que cuenta con las siguientes características: resolución de 3 cifras decimales, 5 cifras significativas, la mejor precisión en términos de porcentaje de Full Scale (0.025%), un factor de error bastante aceptable pues sus mediciones a partir de 0.62 psi, no sobrepasan el 2% que indica la norma de referencia; y aunque registra una medición máxima de 50 psi, que es considerablemente menor a las que ofrece el sistema de bombeo actual, el mismo puede ser alcanzable mediante ajustes al sistema existente.

**TABLA N° 21: MANÓMETRO ESCOGIDO PARA EL DISEÑO DEL BANCO HIDRÁULICO PARA LA MEDICIÓN DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS**

| Marca y Modelo | Rango de presiones* | Tipo    | Resolución | Precisión instrumento | Factor Error en P [mbar] | Factor Error en P [psi] |
|----------------|---------------------|---------|------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| WIKA CPG1500   | 0-50 psi            | Digital | 0.001 psi  | 0.025% FS             | 0.862                    | 0.0125                  |

\*Presión máxima admisible 35 mca

**Fuente:** Elaboración Propia

Las dimensiones y especificaciones técnicas de los modelos de manómetros se presentan en el Anexo N°3

#### 4.5 Resumen de instrumentos seleccionados y condiciones de diseño a considerar para el banco hidráulico para la medición de pérdidas localizadas

En la tabla N°22 se muestran resumidos los instrumentos de medición y condiciones, tanto de caudal como de presión, a considerar para el diseño del banco hidráulico.

**TABLA N° 22:** RESUMEN DE LÍMITES DE OPERACIÓN DEFINIDOS E INSTRUMENTOS SELECCIONADOS PARA EL BANCO HIDRÁULICO

| Equipo                      | Rango de caudales<br>[gpm / lps] | Rango de presión<br>[psi / mca] |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Caudalímetro (TM-SERIES)    | 5-50 gpm / 0.32 – 3.15<br>lps    | -                               |
| Manómetro (WIKA<br>CPG1500) | -                                | 0-50 psi / 0-35 mca             |

**Fuente :** Elaboración Propia

#### 4.6 Evaluación de alternativas para adaptar el sistema de bombeo actual a los requerimientos de presión y caudal del banco hidráulico de pruebas

Con la finalidad de adecuar el sistema de bombeo existente a los requerimientos de presión y caudal determinados para el banco de prueba, en función a las características de los instrumentos de medición seleccionados, se evalúan las siguientes propuestas, teniendo como premisa el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles y minimizar las intervenciones e inversiones a realizarse para lograr la adecuación.

- a) Adecuación del sistema de bombeo existente mediante el uso del variador de frecuencia.
- b) Limitación de la presión máxima del sistema mediante la incorporación de una válvula reguladora de presión, al banco existente.

- c) Selección de equipo de bombeo adaptado a los requerimientos de presión y caudal necesarios para el banco de prueba

**Propuesta a)** “Adecuación del sistema de bombeo existente mediante el uso del variador de frecuencia.”

Al observar la Figura N°7 y N°8 , donde se muestran las curvas características de las bombas en serie y paralelo, de poderse utilizar el sistema, se recomienda la operación en paralelo, pues de esta manera se logra un caudal de 240 l/min con un rango de presiones de 28-92 PSI

El Variador de frecuencia, permite disminuir la velocidad del rotor de la bomba, logrando así una reducción de las presiones a la salida. En función a esto, se aplican las leyes de semejanzas para determinar la velocidad requerida.

Con las ecuaciones descritas en el capítulo II, y utilizando las ecuaciones N°6; 7; 8 y 9, se condiciona la presión máxima de la descarga a 35 mca, de manera que puedan protegerse los equipos de medición, se determina la nueva velocidad del rotor.

**Presión de salida = 35 mca**

$$\frac{35}{65} = \left(\frac{N_2}{3450}\right)^2$$

$$N_2 = 2531 \text{ r.p.m}$$

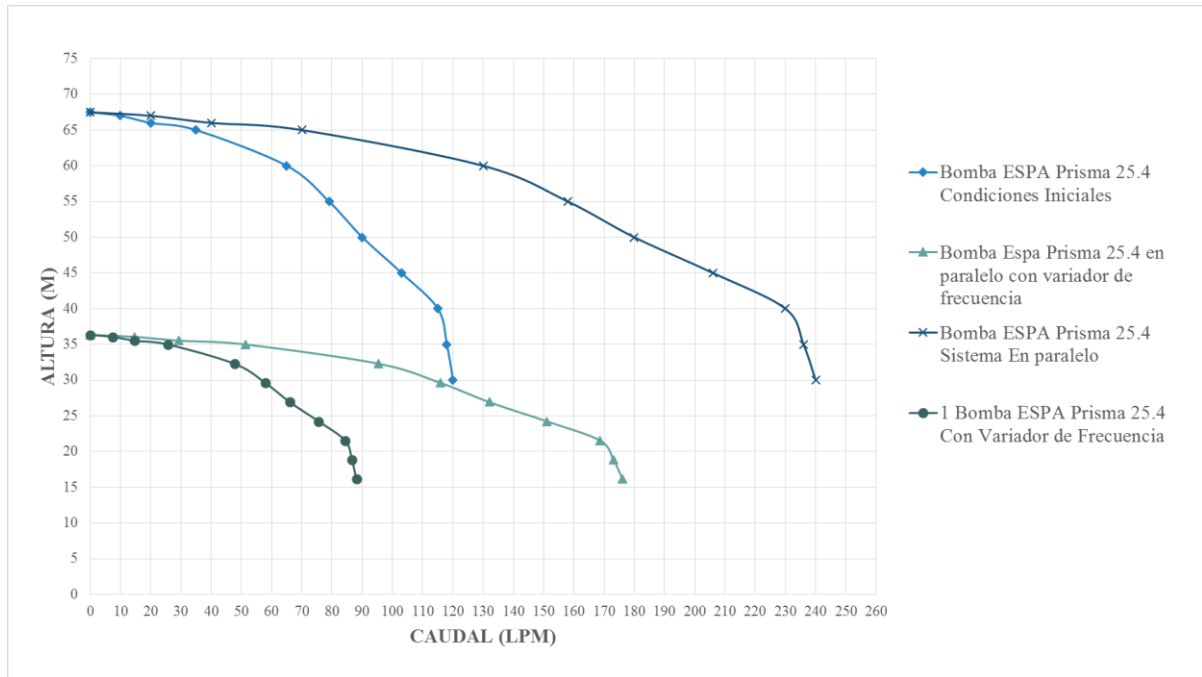
Con este valor de velocidad, obtenemos el valor deseado de presión de parte de las bombas instaladas.

**TABLA N° 23** ALTURAS DE AGUA Y CAUDALES PARA CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBA ESPA

| Bomba -Espa Prisma 25.4     |         | Bomba Espa- Prisma- En Paralelo |         | Bomba Espa Prisma 25.4 - En Paralelo - Con Variador |         | Bomba Espa Prisma 25.4 - Con Variador |         |
|-----------------------------|---------|---------------------------------|---------|-----------------------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|
| Valores Según Catálogo Espa |         | Valores Según Catálogo Espa     |         | Presión Máxima 35 (M)                               |         | Presión Máxima 35 (M)                 |         |
| rpm 3450                    |         | rpm 3450                        |         | rpm 2531                                            |         | rpm 2531                              |         |
| H (m)                       | Q (lpm) | H (m)                           | Q (lpm) | H (m)                                               | Q (lpm) | H (m)                                 | Q (lpm) |
| 30                          | 120     | 30                              | 240     | 16.1                                                | 176.1   | 16.1                                  | 88.0    |
| 35                          | 118     | 35                              | 236     | 18.8                                                | 173.1   | 18.8                                  | 86.6    |
| 40                          | 115     | 40                              | 230     | 21.5                                                | 168.7   | 21.5                                  | 84.4    |
| 45                          | 103     | 45                              | 206     | 24.2                                                | 151.1   | 24.2                                  | 75.6    |
| 50                          | 90      | 50                              | 180     | 26.9                                                | 132.1   | 26.9                                  | 66.0    |
| 55                          | 79      | 55                              | 158     | 29.6                                                | 115.9   | 29.6                                  | 58.0    |
| 60                          | 65      | 60                              | 130     | 32.3                                                | 95.4    | 32.3                                  | 47.7    |
| 65                          | 35      | 65                              | 70      | 35.0                                                | 51.4    | 35.0                                  | 25.7    |
| 66                          | 20      | 66                              | 40      | 35.5                                                | 29.3    | 35.5                                  | 14.7    |
| 67                          | 10      | 67                              | 20      | 36.1                                                | 14.7    | 36.1                                  | 7.3     |
| 67.5                        | 0       | 67.5                            | 0       | 36.3                                                | 0.0     | 36.3                                  | 0.0     |

**Fuente:** Elaboración Propia

A continuación, se muestran los valores graficados, y se comparan los diferentes esquemas en que podría funcionar el sistema actual.



**FIGURA N° 27** CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBA ESPA PARA VARIOS ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO (3450 RPM Y 2531 RPM)  
**Fuente:** Elaboración Propia

**Propuesta b)** Limitación de la presión máxima del sistema mediante la incorporación de válvula reguladora de presión al banco existente

Las válvulas reductoras de presión provocan un estrangulamiento del flujo, una caída de presión en el sistema.

### Masoneilan 35002 Camflex

Válvula de regulación automática, para procesos industriales. Posee un sistema neumático, el cual requiere de un compresor pequeño para garantizar su uso. Con este tipo de válvulas, se obtienen las presiones y caudales requeridos.

A la empresa SISCOT, se le proporcionan los siguientes datos y mediante un sistema computarizado de selección ubican el modelo adecuado de la válvula reductora de presión requerida. También indican cuales son las ecuaciones a utilizar para la determinación del diámetro requerido en la válvula, ya que el cálculo puede ser realizado mediante programas de uso interno de su empresa, y fórmulas asociadas a este tipo de válvulas.

**TABLA N° 24: CONDICIONES PARA DETERMINAR EL MODELO DE VÁLVULA REQUERIDA**

|                    |        |
|--------------------|--------|
| Presión de entrada | 92 psi |
| Presión de salida  | 50 psi |
| Caudal mínimo      | 5 gpm  |
| Caudal Máximo      | 50 gpm |

**Fuente:** Elaboración Propia

A continuación, se presentan los cálculos de Coeficiente Cv y el Coeficiente Fl.

- Cv: cantidad presión que es capaz de soportar la válvula.

$$Cv = q * \sqrt{\frac{1}{p_1 - p_2}} \quad (14)$$

**Fuente:** SISCOT

$$Cv = 50 * \sqrt{\frac{1}{92 - 50}} = 7.71$$

- **Factor de flujo crítico (CF O Fl):** Indica el porcentaje de obturación de la válvula.

$$Fl = \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_v}} \quad (15)$$

**Fuente:** SISCOT

$$Fl = \sqrt{\frac{92 - 50}{92 - 10}} = 0.71 = 71\% \text{ de obturación}$$

Con los datos y la tabla a continuación se selecciona el diámetro más adecuado.

**TABLA N°25:** ESPECIFICACIONES DE LA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN- CAMFLEX

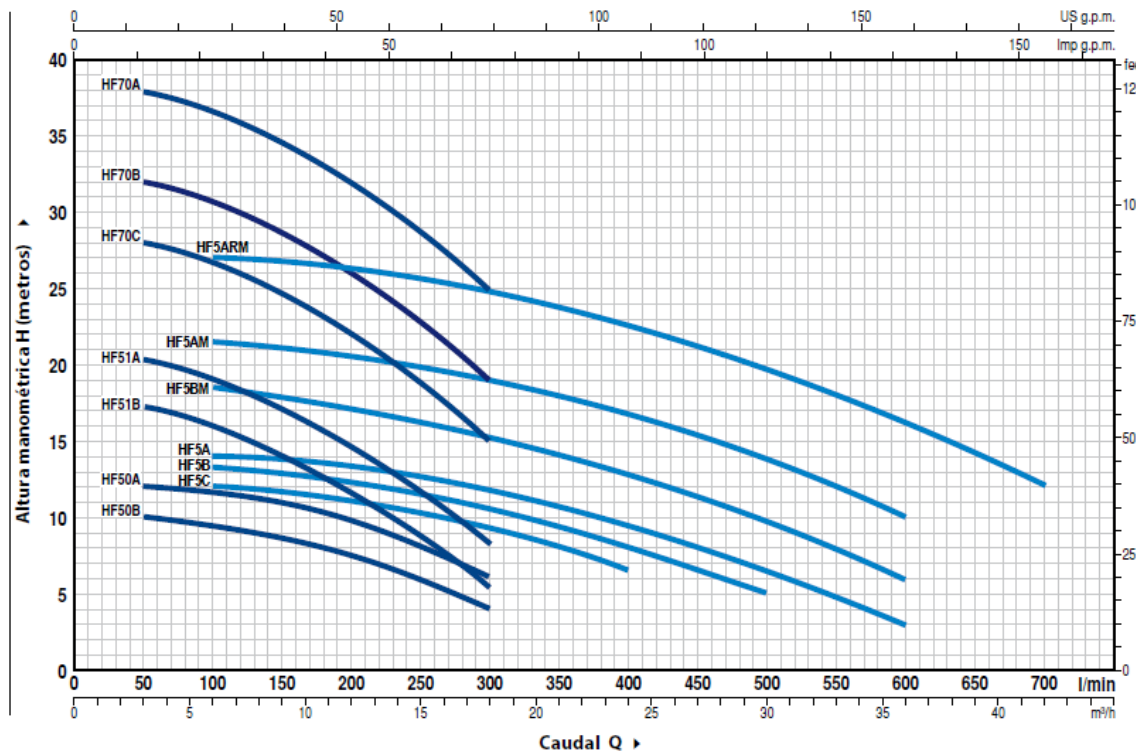
| Porcentaje de Rotación del Obturador |                                   |                       |                   |                                    | 10   | 20                   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  |     |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------------|------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| F <sub>L</sub>                       | Área Completa                     |                       | Flujo para Abrir  |                                    | 0.96 | 0.93                 | 0.91 | 0.89 | 0.88 | 0.87 | 0.87 | 0.86 | 0.86 | 0.85 |     |
|                                      |                                   |                       | Flujo para Cerrar |                                    | 0.94 | 0.91                 | 0.88 | 0.83 | 0.80 | 0.77 | 0.74 | 0.72 | 0.70 | 0.68 |     |
|                                      | Área Reducida<br>(0,6; 0,4 y 0,2) |                       | Flujo para Abrir  |                                    | 0.96 | 0.93                 | 0.91 | 0.89 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 | 0.88 |     |
|                                      |                                   |                       | Flujo para Cerrar |                                    | 0.94 | 0.91                 | 0.88 | 0.83 | 0.80 | 0.77 | 0.74 | 0.72 | 0.70 | 0.70 |     |
| Tamaño de la Válvula                 |                                   | Diámetro del Orificio |                   | Recorrido del Vástago del Actuador |      | C <sub>v</sub> Total |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| pulgadas                             | DN                                | pulgadas              | mm                | pulgadas                           | mm   |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| 1                                    | 25                                | .321                  | 8.2               | 3.50                               | 89   | 0.4                  | 0.8  | 1.1  | 1.4  | 1.7  | 2.0  | 2.3  | 2.5  | 2.7  | 2.8 |
|                                      |                                   | .500                  | 12.7              | 3.50                               | 89   | 0.5                  | 0.9  | 1.4  | 2.0  | 2.7  | 3.5  | 4.2  | 4.8  | 5.2  | 5.6 |
|                                      |                                   | .579                  | 14.7              | 3.50                               | 89   | 0.6                  | 1.3  | 2.2  | 3.1  | 4.2  | 5.3  | 6.4  | 7.2  | 7.9  | 8.4 |
|                                      |                                   | .718                  | 18.2              | 3.50                               | 89   | 0.9                  | 2.1  | 3.7  | 5.7  | 7.8  | 9.6  | 11.1 | 12.4 | 13.3 | 14  |

**Fuente:** SISCOM

Según los valores antes calculados, el catálogo ofrece una válvula de tamaño 1", diámetro del orificio de 14.7 mm y un recorrido del vástago actuador de 89 mm. Este último valor, indica el % en mm de la obstrucción de la válvula. Los valores de la tabla son mayores a los calculados, por lo cual, estamos dentro del rango adecuado. La válvula Camflex es ideal para sistemas automatizados, grandes industrias que cuenten con el capital necesario para adquirirla, según la empresa SISCOM, **el costo es de aproximadamente 3.500 \$**, por razones de costo, únicamente, queda descartada como opción de diseño.

### Propuesta c) Bomba Pedrollo: HFm 70B

Para adecuarse a las presiones requeridas del sistema, y proteger los equipos a utilizar, se plantea la búsqueda de un modelo de bomba que ofrezca un rango amplio de caudales, con baja carga. Es por eso que la bomba Pedrollo HFm 70B de 2 HP, cuenta como opción viable para el proceso, en la **Figura N°28** se pueden observar las curvas características del equipo, otras características y dimensiones del sistema en el Anexo N°5 y tabla N°26.



**FIGURA N° 28: CURVAS CARACTERÍSTICA DE BOMBA HFm 70B**

**Fuente:** Catalogo Pedrollo

**TABLA N° 26: VALORES DE ALTURA DE BOMBA HFM70B**

| POTENCIA |      | Caudal m³/s   | 0.000 | 0.001 | 0.002  | 0.003  | 0.003  |
|----------|------|---------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| kW       | HP   | Caudal (GPM)  | 0.00  | 13.21 | 26.42  | 39.63  | 52.83  |
| 1.50     | 2.00 | Caudal (l/m)  | 0.00  | 50.00 | 100.00 | 150.00 | 200.00 |
|          |      | presión (mca) | 33.00 | 32.00 | 30.50  | 28.50  | 26.00  |

**Fuente:** Catalogo Pedrollo

Luego de haber propuesto y evaluado las opciones anteriores, se procede a realizar la verificación de energía hidráulica del sistema mediante Por medio de eliminar la ecuación de Energía eliminar Bernoulli extendida:

$$E_1 = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \times g} + Z + k \left( \frac{v^2}{2 \times g} \right) + f \left( \frac{v^2 \times L}{2 \times g \times D} \right) \quad (1)$$

A partir de ésta se hacen cálculos teóricos, para dar conocer los niveles piezométricos en todos los puntos del banco, desde la salida de la(s) bomba(s) hasta el punto de descarga en el tanque de reserva, para los siguientes casos:

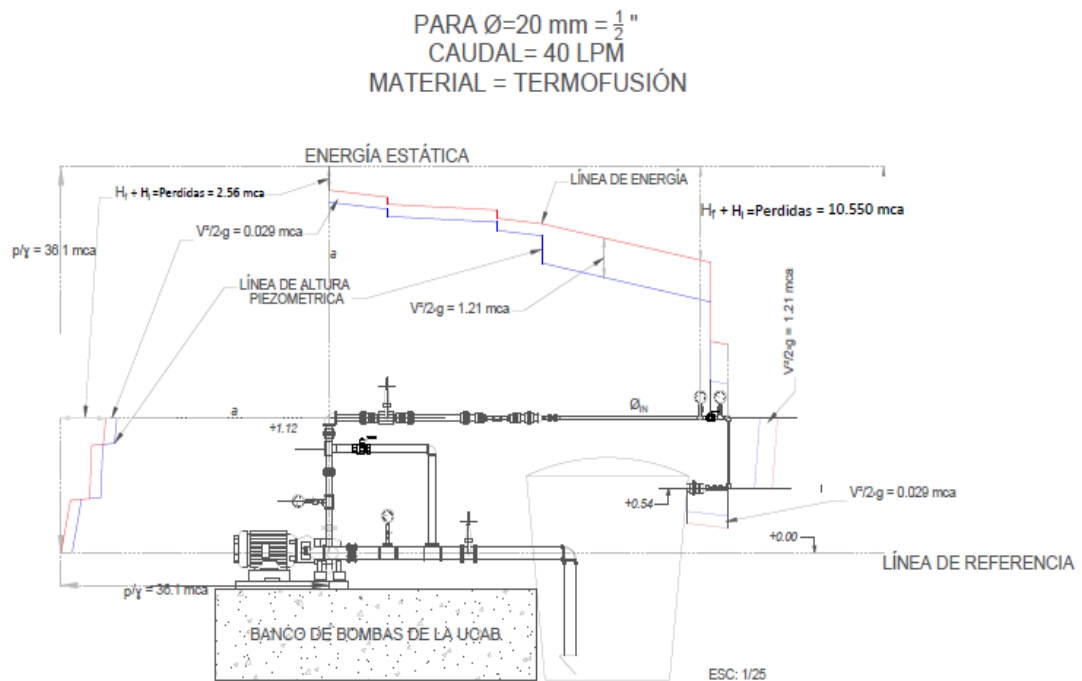
- Equipo de bombeo ESPA PRISMA 25.4 en operación sencilla (1 bomba) sin uso de variador de frecuencia (3450 rpm)
- Equipos de bombeo ESPA PRISMA 25.4 en operación sencilla (1 bomba) y combinada (2 bombas) en paralelo, con regulación del variador de frecuencia hasta 2531 rpm
- Equipo de bombeo PEDROLLO HFm 70B

Se debe tener en cuenta que el manómetro tiene una presión máxima de 35 mca, lo que lo convertirá en un punto de control en la evaluación energética del sistema.

Para los coeficientes de fricción se utiliza la ecuación de Swamee-Jane, considerando la rugosidad relativa del material como plástico,  $k=0$ .

En los anexos del trabajo de grado se incluirán todos los cálculos correspondientes a:

- Anexo N°6: Presiones de descarga de la bomba en el punto 1 (manómetro) y Presión en la descarga al tanque, para caso Bomba ESPA Prisma 25.4 Sin variador de frecuencia- Caso 2: Bomba ESPA Prisma 25.4 con Variador de frecuencia. Caso 3: Bomba ESPA Prisma 25.4 sistema en paralelo (2 bombas)- con Variador de frecuencia. Caso 4: Bomba Pedrollo HFm 70B.
- Anexo N°7: Plano de banco Hidráulico con la propuesta de Bomba Pedrollo y Válvula reguladora de presión.



**FIGURA N° 29 EJEMPLO DE DISEÑO: NIVELES PIEZÓMETROS EN LOS DIFERENTES PUNTOS DE CONTROL DEL BANCO HIDRÁULICO**

**Fuente:** Elaboración Propia

Seguidamente se mostrarán las tablas con la información del diámetro de  $\frac{3}{4}''$  con la finalidad de explicar su lectura e interpretación.

**TABLA N° 27** RESUMEN DE PRESIONES EN LA DESCARGA DE LA BOMBA, EN EL PUNTO DE CONTROL (MANÓMETRO 1), EN LA DESCARGA DEL TANQUE, Y VELOCIDADES DE FLUJO PARA EL CASO DE BOMBA ESPA 25.4 SIN VARIADOR DE FRECUENCIA (3450 RPM) PARA DIÁMETRO DE 3/4"

| ESPA PRISMA 25-4 (una sola bomba) |         |                                              |                                   |                                  |
|-----------------------------------|---------|----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| kW                                | HP      | PRESIÓN<br>MANÓMETRO 1:<br>MENOR A 35<br>mca | ENERGÍA DE<br>SALIDA AL<br>TANQUE | VELOCIDAD<br>EN KIT DE<br>16,6mm |
| 1.50                              | 2.00    |                                              |                                   |                                  |
| valores según<br>catalogo ESPA    |         |                                              |                                   |                                  |
| RPM = 3450                        |         |                                              |                                   |                                  |
| H (m)                             | Q (lpm) | Hl (mca)                                     | Hs (mca)                          | V (m/s)                          |
| 30.0                              | 120.0   | -0.6                                         | -78.0                             | 9.2                              |
| 42.0                              | 110.0   | 16.0                                         | -49.0                             | 8.5                              |
| 46.2                              | 100.0   | 24.3                                         | -29.4                             | 7.7                              |
| 50.0                              | 90.0    | 31.9                                         | -11.5                             | 6.9                              |
| 54.5                              | 80.0    | 39.8                                         | 5.7                               | 6.2                              |
| 58.2                              | 70.0    | 46.6                                         | 20.5                              | 5.4                              |
| 60.8                              | 60.0    | 51.9                                         | 32.8                              | 4.6                              |
| 62.5                              | 50.0    | 55.8                                         | 42.8                              | 3.9                              |
| 64.2                              | 40.0    | 59.4                                         | 51.2                              | 3.1                              |
| 65.3                              | 30.0    | 62.1                                         | 57.7                              | 2.3                              |
| 66.0                              | 20.0    | 63.9                                         | 62.2                              | 1.5                              |
| 67.0                              | 10.0    |                                              |                                   |                                  |
| 67.5                              | 0.0     |                                              |                                   |                                  |

**Fuente:** Elaboración Propia

En la tabla N° 27 se puede apreciar que para el caso de operar el banco hidráulico con un kit de medición de 3/4", mediante una sola bomba ESPA PRISMA 25.4, sin hacer uso del variador de frecuencia (3450 rpm); el rango de caudales para una condición de velocidades menores a 6 m/s, sería de 20 a cerca de 80 lpm (5-21 gpm), en donde se evidencia que en el manómetro 1 (punto de control previamente indicado) se tienen valores de presión superior a los 35 mca (50 psi), lo cual hace que ésta alternativa para este diámetro sea inviable. En cuanto a la salida del tanque, disponemos de presiones suficientes para garantizar la descarga para todos los gastos.

En la tabla N° 28 que se muestra a continuación, se observa que cuando trabajamos con la 1 sola bomba, reduciendo las revoluciones con el variador de frecuencia a 2531 rpm, se mejora la condición de presiones en el manómetro, logrando tener registros por debajo de los 35 mca (50 psi). En cuanto a la descarga en el tanque, se puede apreciar que poco después de superar los 60 lpm (15.85 gpm), las presiones en el punto de reingreso al estanque se vuelven insuficientes, por lo cual, a partir de este caudal no se puede trabajar en este diámetro para esta condición de operación.

En la misma tabla N° 28, pero para el caso de 2 bombas trabajando en paralelo, se puede observar que el rango de caudales válidos será el mismo que para el caso de operación sencilla (1 bomba), sin embargo, se aprecia un aumento sustancial (aunque insuficiente) del nivel de energía en el punto de descarga. Vemos también que a pesar de que el equipo de bombeo permite un rango de caudales que va desde 0 hasta 176 lpm (46 gpm); para este diámetro los gastos de bombeo aprovechables van desde 20 a poco más de 60 lpm (15.85 gpm), pues caudales superiores al indicado exceden la velocidad recomendada del fluido en el sistema (6 m/s)

**TABLA N° 28** RESUMEN DE PRESIONES EN LA DESCARGA DE LA BOMBA, EN EL PUNTO DE CONTROL (MANÓMETRO 1), EN LA DESCARGA DEL TANQUE, Y VELOCIDADES DE FLUJO PARA EL CASO DE 1 Y 2 BOMBAS ESPA 25.4 EN PARALELO, CON USO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA (2531 RPM) PARA DIÁMETRO DE 3/4"

| VARIADOR DE FRECUENCIA INSTALADO  |         |                                              |                                   |                                  |                                                     |         |                                              |                                   |                                  |
|-----------------------------------|---------|----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| ESPA PRISMA 25-4 (una sola bomba) |         |                                              |                                   |                                  | ESPA PRISMA 25-4 (2 Bombas funcionando en paralelo) |         |                                              |                                   |                                  |
| kW                                | HP      | PRESIÓN<br>MANÓMETRO 1:<br>MENOR A 35<br>mca | ENERGÍA DE<br>SALIDA AL<br>TANQUE | VELOCIDAD<br>EN KIT DE<br>16,6mm | kW                                                  | HP      | PRESIÓN<br>MANÓMETRO 1:<br>MENOR A 35<br>mca | ENERGÍA DE<br>SALIDA AL<br>TANQUE | VELOCIDAD<br>EN KIT DE<br>16,6mm |
| 2.50                              | 2.00    |                                              |                                   |                                  | 1.50                                                | 2.00    |                                              |                                   |                                  |
| restringiendo<br>presión a 35 mca |         |                                              |                                   |                                  | restringiendo<br>presión a 35 mca                   |         |                                              |                                   |                                  |
| RPM = 2531                        |         |                                              |                                   |                                  | RPM = 2531                                          |         |                                              |                                   |                                  |
| H (m)                             | Q (lpm) | H1 (mca)                                     | Hs (mca)                          | V (m/s)                          | H (m)                                               | Q (lpm) | H1 (mca)                                     | Hs (mca)                          | V (m/s)                          |
|                                   |         |                                              |                                   |                                  | 14.3                                                | 176.0   | -                                            | -                                 | 13.6                             |
|                                   |         |                                              |                                   |                                  | 16.1                                                | 170.0   | -                                            | -                                 | 13.1                             |
|                                   |         |                                              |                                   |                                  | 18.8                                                | 160.0   | -                                            | -                                 | 12.3                             |
|                                   |         |                                              |                                   |                                  | 21.3                                                | 150.0   | -                                            | -                                 | 11.6                             |
|                                   |         |                                              |                                   |                                  | 23.5                                                | 140.0   | -                                            | -                                 | 10.8                             |
|                                   |         |                                              |                                   |                                  | 25.5                                                | 130.0   | -                                            | -                                 | 10.0                             |
|                                   |         |                                              |                                   |                                  | 27.2                                                | 120.0   | -                                            | -                                 | 9.2                              |
|                                   |         |                                              |                                   |                                  | 28.7                                                | 110.0   | -                                            | -                                 | 8.5                              |
|                                   |         |                                              |                                   |                                  | 30.0                                                | 100.0   | -                                            | -                                 | 7.7                              |
| 14.6                              | 90.0    | -                                            | -                                 | 6.9                              | 31.1                                                | 90.0    | -                                            | -                                 | 6.9                              |
| 20.5                              | 80.0    | -                                            | -                                 | 6.2                              | 32.1                                                | 80.0    | -                                            | -                                 | 6.2                              |
| 25.2                              | 70.0    | 13.6                                         | -12.5                             | 5.4                              | 32.9                                                | 70.0    | 21.3                                         | -4.8                              | 5.4                              |
| 28.7                              | 60.0    | 19.8                                         | 0.7                               | 4.6                              | 33.6                                                | 60.0    | 24.7                                         | 5.6                               | 4.6                              |
| 31.3                              | 50.0    | 24.6                                         | 11.6                              | 3.9                              | 34.2                                                | 50.0    | 27.5                                         | 14.5                              | 3.9                              |
| 33.1                              | 40.0    | 28.4                                         | 20.2                              | 3.1                              | 34.7                                                | 40.0    | 29.9                                         | 21.8                              | 3.1                              |
| 34.4                              | 30.0    | 31.1                                         | 26.7                              | 2.3                              | 35.1                                                | 30.0    | 31.9                                         | 27.5                              | 2.3                              |
| 35.2                              | 20.0    | 33.1                                         | 31.4                              | 1.5                              | 35.5                                                | 20.0    | 33.3                                         | 31.7                              | 1.5                              |
| 35.8                              | 10.0    | -                                            | -                                 | -                                | 35.8                                                | 10.0    | -                                            | -                                 | -                                |
| 36.4                              | 0.0     | -                                            | -                                 | -                                | 36.1                                                | 0.0     | -                                            | -                                 | -                                |

**Fuente:** Elaboración Propia

En la tabla N° 29, inicialmente observamos que el equipo de bombeo ofrece un rango de caudales superior a todos los demás, 190 lpm (50 gpm), sin embargo, como en los otros casos mostrados, la restricción por velocidad máxima en el sistema de 6 m/s, obliga a que el rango válido para el levantamiento de información con este diámetro y equipo sea similar a los anteriores. Seguidamente se logra apreciar que se cumple con las condiciones de presión por debajo de 35 mca (50 psi) para el punto de control (manómetro 1) y en la descarga volvemos a presentar deficiencia energética sobre los 15.85 gpm (60 lpm).

De esta misma manera, en que se realizó la interpretación de estas tablas, se debe hacer con el resto que se anexa. Toda la evaluación y análisis descrito, nos ha permitido validar que las diferentes alternativas de adecuación del sistema de bombeo (exceptuando la del equipo existente en operación sencilla y/o paralela sin variador de frecuencia -condición original) son válidas, aunque con ligeras variaciones en los espectros de caudal, sobre todo en los casos de: 2 bombas operando en paralelo con 2531 rpm y la bomba Pedrollo HF70B.

**TABLA N°29** RESUMEN DE PRESIONES EN LA DESCARGA DE LA BOMBA, EN EL PUNTO DE CONTROL (MANÓMETRO 1), EN LA DESCARGA DEL TANQUE, Y VELOCIDADES DE FLUJO PARA EL CASO DE BOMBA PEDROLLO HFM 70B, PARA DIÁMETRO DE  $\frac{3}{4}$  ”

| BOMBA MARCA PEDROLLO MODELO HFm 70B   |         |                                              |                                   |                                  |
|---------------------------------------|---------|----------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| kW                                    | HP      | PRESIÓN<br>MANÓMETRO 1:<br>MENOR A 35<br>mca | ENERGÍA DE<br>SALIDA AL<br>TANQUE | VELOCIDAD<br>EN KIT DE<br>16,6mm |
| 1.50                                  | 2.00    |                                              |                                   |                                  |
| valores según<br>catalogo<br>PEDROLLO |         |                                              |                                   |                                  |
| RPM = 3450                            |         |                                              |                                   |                                  |
| H (m)                                 | Q (lpm) | Hl (mca)                                     | Hs (mca)                          | V (m/s)                          |
| 26.5                                  | 190.0   | -                                            | -                                 | 14.6                             |
| 27.0                                  | 180.0   | -                                            | -                                 | 13.9                             |
| 27.6                                  | 170.0   | -                                            | -                                 | 13.1                             |
| 28.1                                  | 160.0   | -                                            | -                                 | 12.3                             |
| 28.6                                  | 150.0   | -                                            | -                                 | 11.6                             |
| 29.0                                  | 140.0   | -                                            | -                                 | 10.8                             |
| 29.4                                  | 130.0   | -                                            | -                                 | 10.0                             |
| 29.7                                  | 120.0   | -                                            | -                                 | 9.2                              |
| 30.1                                  | 110.0   | -                                            | -                                 | 8.5                              |
| 30.5                                  | 100.0   | -                                            | -                                 | 7.7                              |
| 30.8                                  | 90.0    | -                                            | -                                 | 6.9                              |
| 31.1                                  | 80.0    | -                                            | -                                 | 6.2                              |
| 31.4                                  | 70.0    | 19.8                                         | -6.3                              | 5.4                              |
| 31.7                                  | 60.0    | 22.8                                         | 3.7                               | 4.6                              |
| 32.0                                  | 50.0    | 25.3                                         | 12.3                              | 3.9                              |
| 32.2                                  | 40.0    | 27.4                                         | 19.3                              | 3.1                              |
| 32.4                                  | 30.0    | 29.2                                         | 24.8                              | 2.3                              |
| 32.6                                  | 20.0    | 30.5                                         | 28.8                              | 1.5                              |
| 32.8                                  | 10.0    | -                                            | -                                 | -                                |
| 33.0                                  | 0.0     | -                                            | -                                 | -                                |

**Fuente:** Elaboración Propia

Finalmente, y luego de realizar el análisis teórico de las pérdidas de energía para las todas las opciones, comparar los rangos de presiones, caudales y proceso de instalación, requerimientos de espacio, facilidad en la operación del equipo por los usuarios, nivel de dificultad de la instalación y costo; se procede a decidir mediante una **Matriz de decisión** cuál es la opción más conveniente, puesto que las 3 propuestas dependen de muchas variables

Los criterios que serán evaluados y la importancia de cada uno tendrá un valor asignado, los cuales dependen del enfoque buscado, evidentemente la restricción de caudal y presión, llevará el mayor peso en la matriz. Los porcentajes fueron discutidos previamente entre los involucrados en el trabajo de grado.

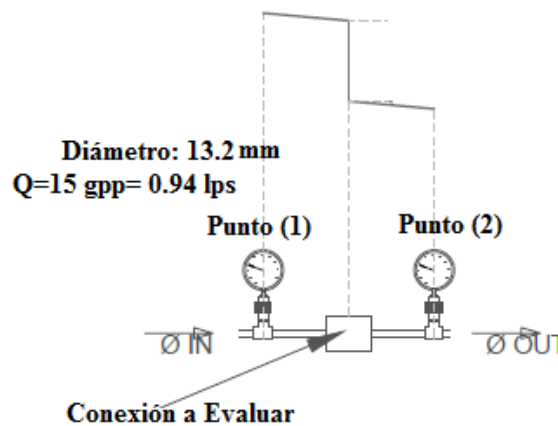
|                                  | No Aplica(0) -       | Deficiente (1-2)                                       | Adecuado(4- 5-6) |        |                                              | Satisfactorio (7-8-9-10) |        |                                      |       |        |
|----------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|------------------|--------|----------------------------------------------|--------------------------|--------|--------------------------------------|-------|--------|
| Criterio                         | Puntos por criterios | Propuesta N°1: Bombas ESPA PRISMA 25.4 con Variador de |                  |        | Propuesta N°2: Valvula reguladora de presion |                          |        | Propuesta N°3 Bomba PEDROLLO HFm 70B |       |        |
|                                  |                      | Puntaje                                                | Total            | Global | Puntaje                                      | Total                    | Global | Puntaje                              | Total | Global |
| Restricción de Presión           | 25                   | 9                                                      | 0.9              | 15.00  | 7.0                                          | 0.7                      | 11.667 | 9.0                                  | 0.9   | 15.0   |
| Restricción de Caudal            | 25                   | 9                                                      | 0.9              | 15.00  | 6.0                                          | 0.6                      | 10.000 | 9.0                                  | 0.9   | 15.0   |
| Requerimientos de Espacio (UCAB) | 10                   | 10                                                     | 1.0              | 16.67  | 6.0                                          | 0.6                      | 10.000 | 10.0                                 | 1.0   | 16.7   |
| Manejo de equipo                 | 15                   | 8                                                      | 0.8              | 13.33  | 4.0                                          | 0.4                      | 6.667  | 7.0                                  | 0.7   | 11.7   |
| Proceso de instalación           | 15                   | 10                                                     | 1.0              | 16.67  | 2.0                                          | 0.2                      | 3.333  | 7.0                                  | 0.7   | 11.7   |
| Inversión                        | 10                   | 10                                                     | 1.0              | 16.67  | 2.0                                          | 0.2                      | 3.333  | 7.0                                  | 0.7   | 11.7   |
| Total                            | 100.0                |                                                        | Total            | 93.33  |                                              | Total                    | 45.000 |                                      | Total | 81.667 |
| Promedio (%)                     | 16.67                |                                                        |                  |        |                                              |                          |        |                                      |       |        |

**FIGURA N° 30 : MATRIZ DE DECISIÓN: SISTEMA DE BOMBEO**

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.7 Procedimiento para el uso del banco hidráulico de pruebas: operación, medición y registro de información

El diseño finalmente, siguiendo los procesos descritos en el capítulo IV, en la metodología planteada, usando manómetros de alta precisión, y adecuando el sistema de bombeo, se permitirá la determinación del coeficiente de pérdida de fricción “K”. Para esto se plantea el análisis de energía en dos puntos (Figura N°30). Usando como referencia los rangos de caudales ofrecidos por el caudalímetro, y los diámetros de las conexiones. Se calcula el coeficiente “K”, lo antes descritos, se encuentra completamente detallado en Los Anexos. “Procesamiento de datos”



**FIGURA N° 31** ESQUEMA PROCESAMIENTO DE DATOS: CÁLCULO DE ENERGÍA PARA CÁLCULO DE FACTOR "K"

**Fuente:** Elaboración Propia

**Ecuación a utilizar:**

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + K * \frac{V_{1-2}^2}{2 * g}$$

Al eliminar los términos que son iguales  $Z_1 = Z_2$  y el término de la carga de velocidad que si estamos evaluando conexiones con un mismo diámetro de entrada y salida, tendremos que son también son iguales  $\frac{V_1^2}{2 * g} = \frac{V_2^2}{2 * g}$ :

Nos queda entonces:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_2}{\gamma} + K * \frac{V_{1-2}^2}{2 * g}$$

#### 4.7.1 Planilla de datos

Se describen las condiciones necesarias para el cálculo de energía descrito en la figura N°31

- Temperatura: °C: Se toma directamente del tanque, o a través de un matraz. Se obtendrá mediante un termómetro estándar
- Caudal: (lpm): este caudal corresponde al gasto total enviado por las bombas, se mide en tal punto directamente del instrumento, el cual posee una resolución de 1 decimal. Sus valores deben estar entre 5 y 50
- Lectura manométrica 1 [psi]: Valores aproximados colocando la cantidad de decimales impuesta por el manómetro WIKA CPG1500
- Lectura manométrica 2 [psi]: Valores aproximados colocando la cantidad de decimales impuesta por el manómetro WIKA CPG1500
- Peso Específico del Agua: 998 kg/m<sup>3</sup> para 20 °C. Éste varía según la temperatura.
- Velocidad (m/s): Corresponde al caudal enviado por las bombas, y el área según el set a evaluar.

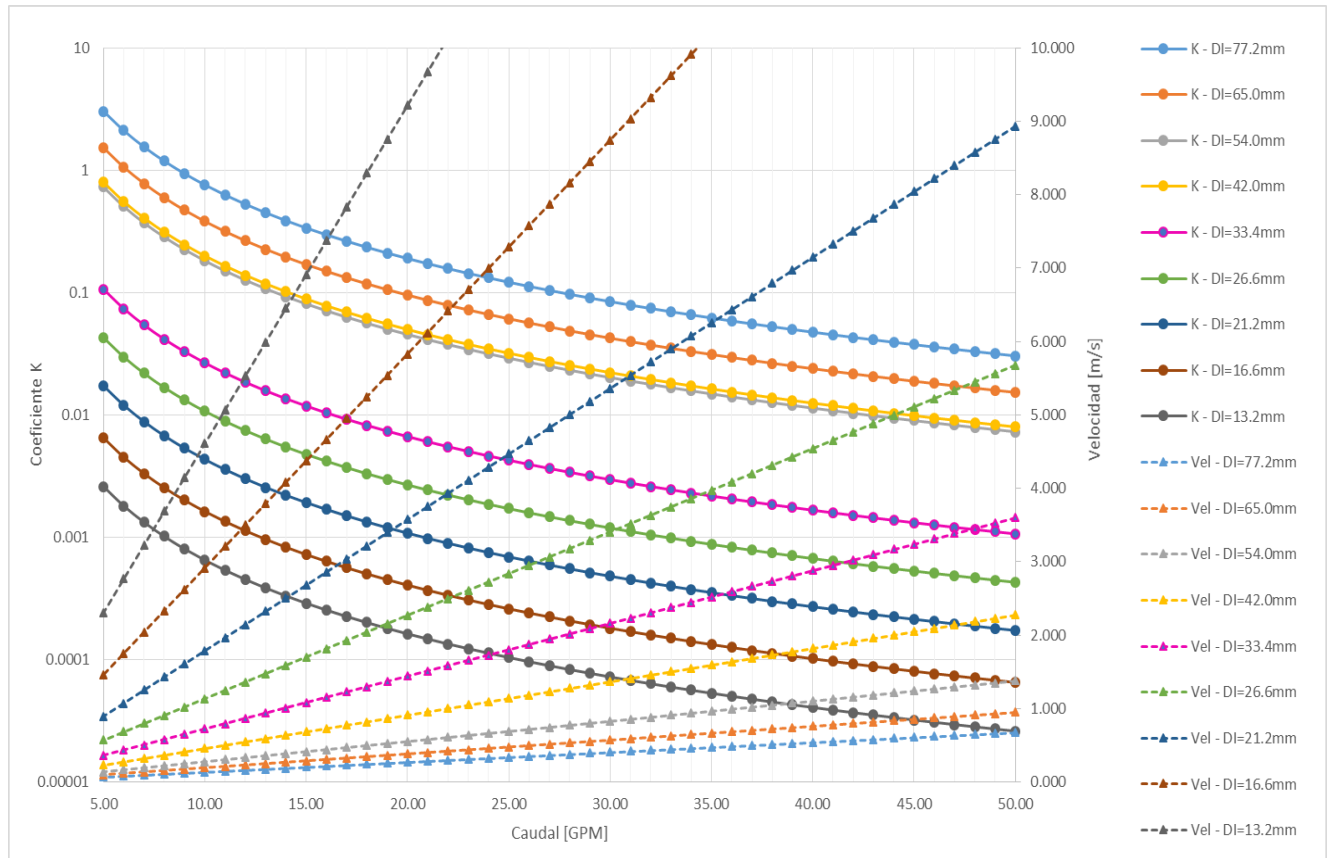
| Temperatura<br>[°C] | Peso<br>específico<br>[Kg/m <sup>3</sup> ] | Caudal<br>gpm | Caudal<br>[L/min] | Caudal<br>[lps] | D <sub>1</sub> Interno<br>[mm] | Área<br>[m <sup>2</sup> ] | Velocidad<br>[m/s] | V <sup>2</sup> /2g<br>[m] | P <sub>1</sub><br>[Kg/cm <sup>2</sup> ] | E <sub>1</sub><br>[m] | D <sub>2</sub> Interno<br>[mm] | Área<br>[m <sup>2</sup> ] | Velocidad<br>[m/s] | V <sup>2</sup> /2g<br>[m] | P <sub>2</sub><br>[Kg/cm <sup>2</sup> ] | E <sub>2</sub><br>[m] | Δ E <sub>1-2</sub><br>[m] | K <sub>1-2</sub> |
|---------------------|--------------------------------------------|---------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------|
| 20.0                | 998.20                                     | 50.00         | 227.30            | 3.155           | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.674              | 2.315E-02                 | 4.0249                                  | 40.3447               | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.674              | 2.315E-02                 | 4.0248                                  | 40.3440               | 0.0007                    | 0.030            |
| 20.0                | 998.20                                     | 49.00         | 222.76            | 3.091           | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.660              | 2.223E-02                 | 4.0249                                  | 40.3438               | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.660              | 2.223E-02                 | 4.0248                                  | 40.3431               | 0.0007                    | 0.032            |
| 20.0                | 998.20                                     | 48.00         | 218.21            | 3.028           | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.647              | 2.133E-02                 | 4.0249                                  | 40.3429               | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.647              | 2.133E-02                 | 4.0248                                  | 40.3422               | 0.0007                    | 0.033            |
| 20.0                | 998.20                                     | 47.00         | 213.67            | 2.965           | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.633              | 2.045E-02                 | 4.0249                                  | 40.3420               | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.633              | 2.045E-02                 | 4.0248                                  | 40.3413               | 0.0007                    | 0.034            |
| 20.0                | 998.20                                     | 46.00         | 209.12            | 2.902           | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.620              | 1.959E-02                 | 4.0249                                  | 40.3412               | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.620              | 1.959E-02                 | 4.0248                                  | 40.3405               | 0.0007                    | 0.036            |
| 20.0                | 998.20                                     | 45.00         | 204.57            | 2.839           | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.607              | 1.875E-02                 | 4.0249                                  | 40.3403               | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.607              | 1.875E-02                 | 4.0248                                  | 40.3396               | 0.0007                    | 0.038            |
| 20.0                | 998.20                                     | 44.00         | 200.03            | 2.776           | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.593              | 1.793E-02                 | 4.0249                                  | 40.3395               | 77.20                          | 4.68E-03                  | 0.593              | 1.793E-02                 | 4.0248                                  | 40.3388               | 0.0007                    | 0.039            |

**FIGURA N° 32** PLANILLA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE  
LOS FLUIDOS

**Fuente:** Elaboración Propia

Luego de realizar los cálculos correspondientes, se genera la gráfica, la cual contiene:

- Coeficiente K: Indica la precisión en la cual se quiere trabajar según el manómetro WIKA CPG 1500
- Caudal (gpm): Caudal ofrecido por el caudalímetro TM SERIES
- Velocidades: Rango de velocidades para todos los diámetros comerciales en PPR-PVC-HG



**FIGURA N° 33 GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI EN PPR**  
**Fuente:** Elaboración Propia

En el Anexo N°8 se encontrarán las Gráficas de precisión del K para una caída de presión de 0.001 psi para todos los materiales evaluados (PPR-PVC-HG)

Para conocer el adecuado uso del banco de pérdidas localizadas, según restricciones de precisión y velocidad, se realizó la gráfica anterior como una guía referencial para determinar los rangos de caudal en los que se podrían realizar las pruebas de medición, de manera que se pudiese obtener una determinada precisión del coeficiente K en función a la mínima resolución del manómetro (0.001 psi) y como parte del procesamiento de datos, seleccionando una precisión estimada del factor K, se puede conocer qué diámetro y que rango de caudales es conveniente trabajar, y también conocer en qué rangos de velocidades estará el kits de medición seleccionado.

A fines didácticos procederá a explicar su uso mediante los siguientes ejemplos.

### **Ejemplo 1**

Sí en una prueba se requiere cuantificar el coeficiente K para una conexión que típicamente su coeficiente de pérdida varía en 2 cifras decimales:

Se traza una línea horizontal por el valor de 0.01 (Línea color Verde)

Por debajo de esta línea están los valores con 2 o más decimales para el valor K, es decir puede ser un factor de:

$$K = 1.22$$

$$K = 1.23$$

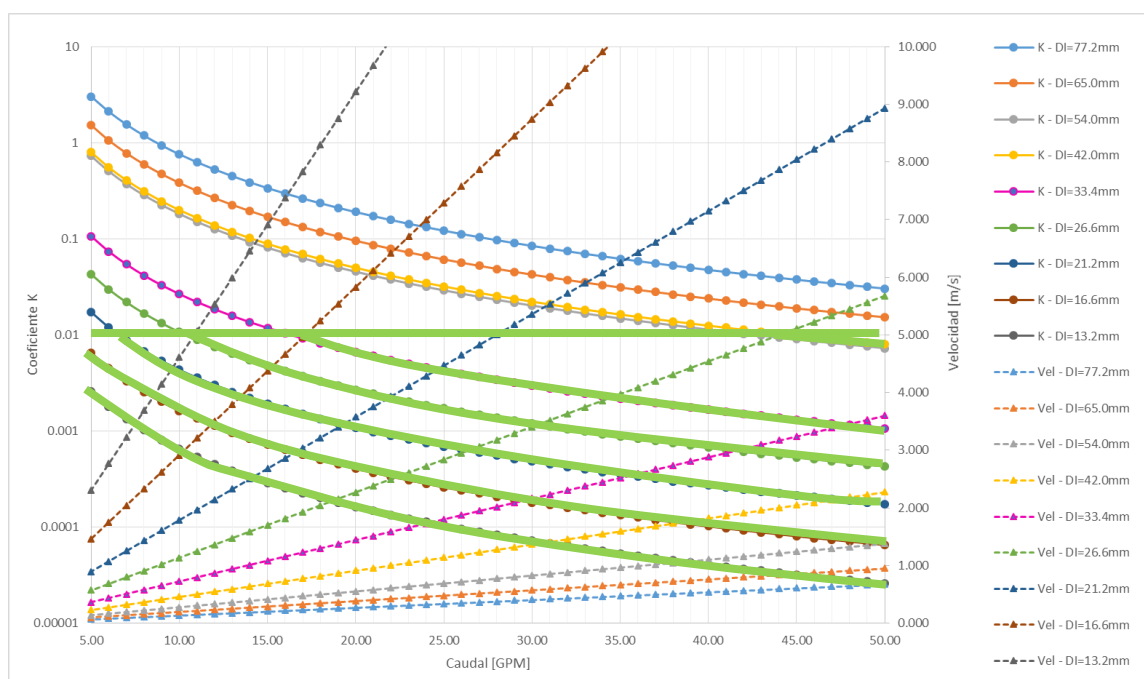
$$K = 1.24$$

Indica la mínima unidad a variar en los coeficientes K, que dará el factor. Por tal razón la precisión del K aumentará hacia abajo. Desde ahí observamos que se puede trabajar con caudales mayores a 10 gpm y con diámetros internos a partir de 26.6. mm hacia abajo, Ver Tabla N° 31. Luego de determinar los caudales en los que se puede obtener el delta K por cada diámetro, se debe revisar qué velocidad que tendrá el flujo, para evaluar si efectivamente es factible ese caudal

**TABLA N° 30 RANGOS DE DIÁMETRO Y CAUDAL PARA 2 CIFRAS DECIMALES DE "K"**

| K : 0.01 -> 2 Cifras Decimales |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| Caudal(lpm)                    | Diámetros internos PPR |
| 10-50                          | 26.1                   |
| 10-50                          | 16.6                   |
| 10-50                          | 13.2                   |

**Fuente:** Elaboración Propia



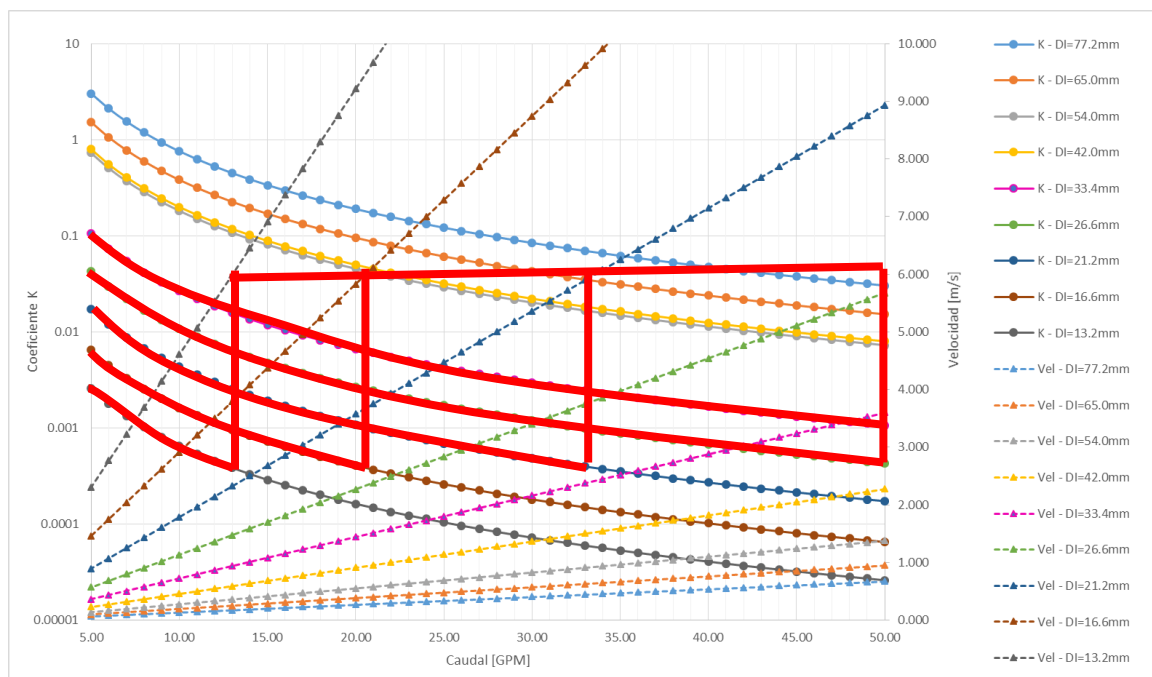
**FIGURA N° 34 GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI**

**Fuente:** Elaboración Propia

### Ejemplo 2:

Si en una prueba se limita la velocidad máxima en el kit de medición a 6 m/s. Trazar la línea horizontal por el valor de 6 m/s ubicado en el eje derecho de la gráfica.

En este caso, se traza la línea horizontal en el valor de velocidad máxima definido, en los puntos donde esta línea intercepte a las de velocidad por cada diámetro, se trazará una línea vertical por dicho punto la cual intercepta a la curva de precisión del K. Desde ahí hacia atrás se manejan caudales con velocidades menores o iguales a la condicionada. Luego quedará a criterio del usuario, definir el nivel de precisión de K que quisiera manejar y finalmente acotar los rangos de caudales en los que se podrán realizar las pruebas.

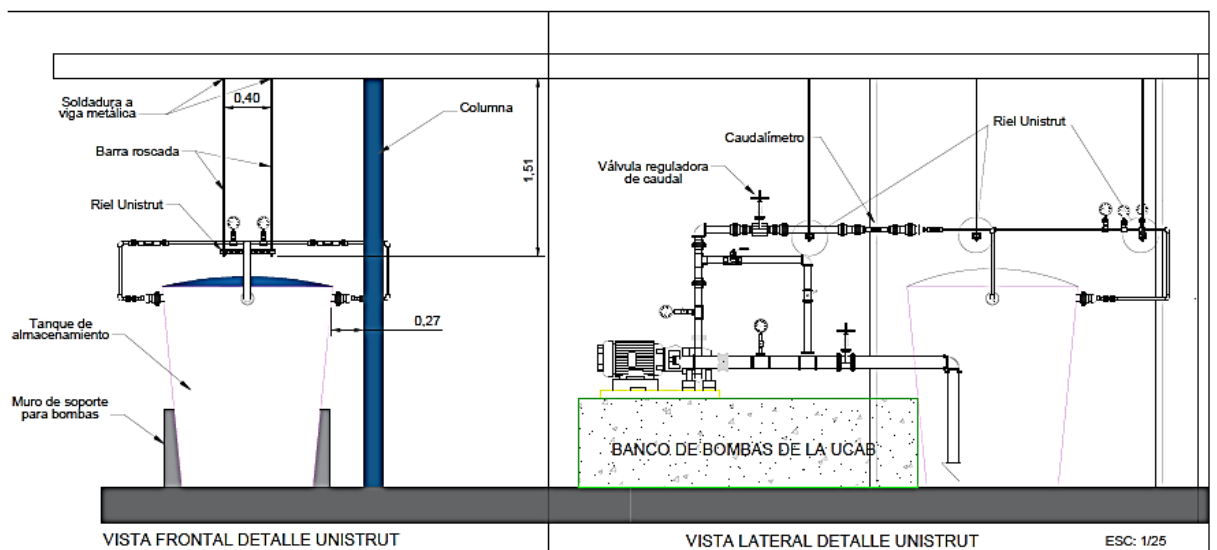


**FIGURA N° 35 GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI**

**Fuente:** Elaboración Propia

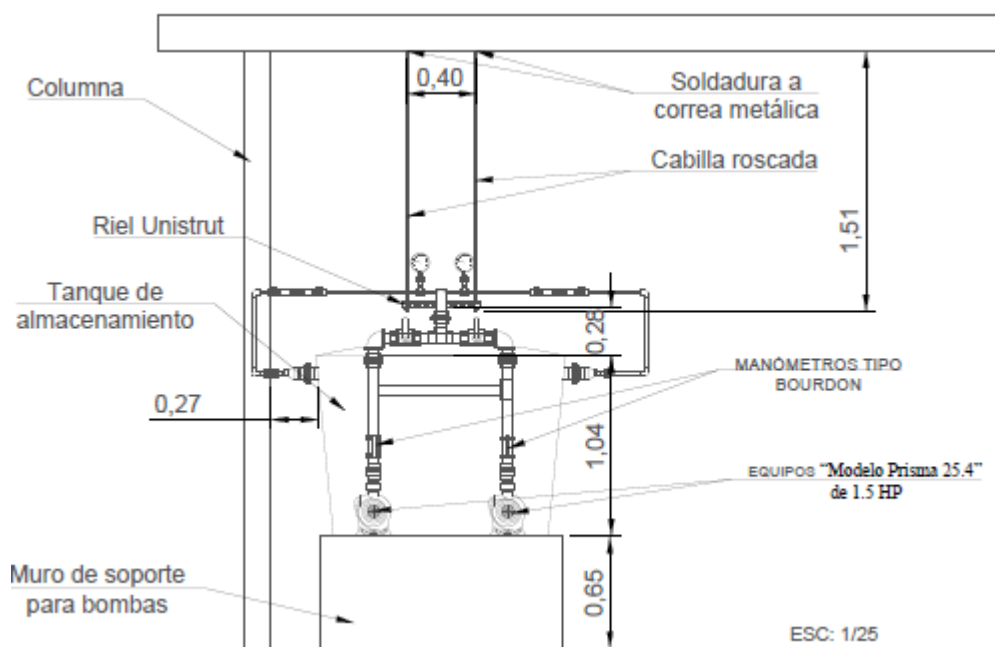
#### 4.8 Apoyo del sistema

Para el apoyo o soporte de tuberías se utilizará un perfil Unistrut con medidas comerciales de  $1\frac{1}{2}'' \times \frac{3}{4}'' \times 2,4$  mts, éste apoyo será roscado a una barra (D = 3/8") ésta se une mediante una rosca a un ramplug el cual va soldado al techo del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica Andrés Bello. De igual forma se incorpora al diseño de una mesa de apoyo móvil y esto para cuando correspondan diámetros mayores a 63 mm o 2". A continuación, se muestra el esquema de los apoyos y su ubicación.



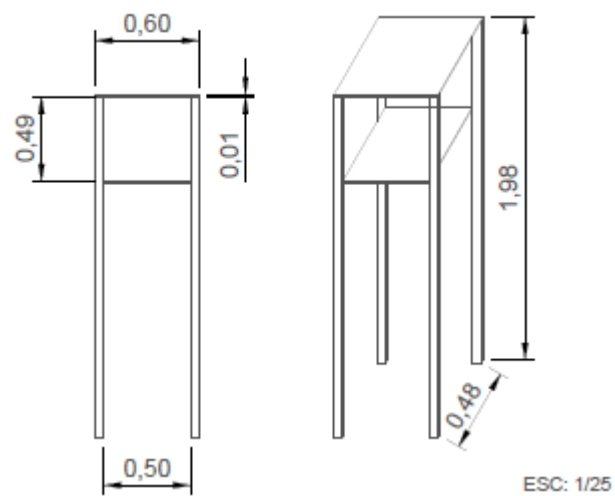
**FIGURA N° 36: APOYOS DEL BANCO HIDRÁULICO**

**Fuente:** Elaboración Propia



**FIGURA N° 37: VISTA FRONTAL DE APOYOS DEL SISTEMA**

**Fuente:** Elaboración Propia



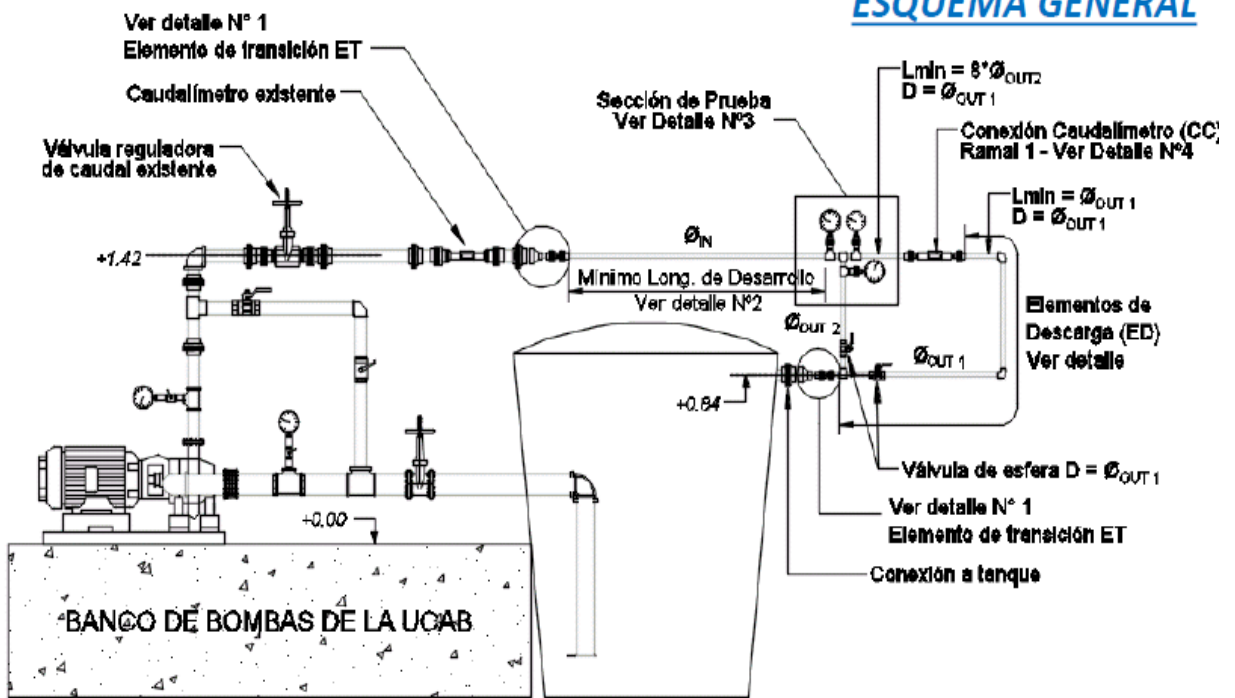
**FIGURA N° 38:** APOYO ADICIONAL BANCO HIDRÁULICO

**Fuente:** Elaboración Propia

**TEE : NORMAL, REDUCIDA, CON ADAPTADOR ROSCADO (PPR)**



## ESQUEMA GENERAL



**FIGURA N° 39** DISEÑO DE BANCO HIDRÁULICO PARA LA MEDICIÓN DE PÉRDIDAS LOCALIZADAS

**Fuente:** Elaboración Propia

En los **Anexos del Trabajo Especial de Grado** se encuentran los planos para el diseño del banco hidráulico en todas las conexiones planteadas. Planos de conexiones y detalles de los mismos.

## CAPITULO V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se muestran los criterios de selección para los manómetros, sistema de bombeo y metodología de armado de los kits de medición.

Para seleccionar el manómetro a utilizar, primero se procedió a estimar teóricamente la cantidad de decimales que necesitan proveer los manómetros. De acuerdo a lo mostrado en la **tabla** N° 18 del capítulo IV se determinó que el instrumento debía poseer entre 3 y 6 cifras decimales para lograr en obtener diferenciales de  $K=0,01$ ; sin embargo, al realizar el proceso de búsqueda, la máxima resolución hallada fue de 3 decimales, por lo cual se decidió que éste sería una de las condiciones de selección del manómetro y, por otra parte que los manómetros analógicos disponibles en el laboratorio se descartaron por tener resolución de 1 psi.

Posteriormente, se eligieron 4 modelos de manómetros a evaluar entre ellos. La selección se realizó mediante una matriz de decisión, en las que se consideraron las siguientes variables: rango de presión; resolución y precisión del instrumento; factor de error de las mediciones; tipo de manómetro (analógico, digital, diferencial analógico o diferencial digital), rango de temperatura del fluido que puede operar. Como se puede apreciar en la tabla N° 22, el resultado de dicha escogencia fue el **WIKACPG 1500 (0-50 psi)**. El mismo resaltó por ser del tipo digital; poseer la mayor precisión (0.025 %FS), resolución de 3 cifras decimales y 5 cifras significativas. Sin embargo, la escogencia de este manómetro impuso una nueva condición de diseño, pero ahora el sistema de impulsión, que está compuesto por dos equipos de bombeo ESPA PRISMA 25.4, los cuales tienen la posibilidad de operar individualmente, en serie o paralelo. Mas el rango de presiones que proporcionan los equipos al sistema está en el rango de 30 a 65 mca, por lo tanto, excedían el límite superior de presiones que soporta el instrumento. Entonces, se requiere plantear y evaluar soluciones hidráulicamente factibles, de bajo costo y que aprovecharán el rango de caudales que puede medir el caudalímetro existente (5 a 50 gpm).

Para poder lograr que el banco de bombas existente pudiese transformarse en un banco de pruebas hidráulicas para la obtención de coeficientes de pérdidas localizadas en conexiones de distintos tipos en diámetros nominales desde ½” hasta 4”, se planteó la fabricación de kits de medición, los cuales están conformado por una serie de elementos que fueron explicados en el capítulo IV, mediante la determinación de cada componente, se pudo realizar la estimación de las posibles pérdidas de energía generadas entre el banco de bombas existentes y el banco hidráulico a diseñarse. Posteriormente se describe de los resultados de dicha estimación, ya que la selección del manómetro impone una restricción de presión máxima del sistema, la cual reduce el rango de caudales en los que puede trabajarse el banco.

La premisa inicial ha sido aprovechar al máximo el rango de caudales que logra registrar el caudalímetro, el cual va desde 5.0 GPM (0.32 lps) a 50.0 GPM (3.15 lps). Quedando luego de la elección del manómetro en: 5 GPM -(0.32 lps) a 31.17GPM (1.96 lps)

Es por ello, que se decidió durante el desarrollo de la propuesta presentada en el capítulo IV, plantear y evaluar diferentes alternativas para modificar las condiciones del sistema de bombeo actual, de manera que se logre el aprovechamiento de los instrumentos de medición existentes y por adquirir, para ofrecer a los futuros investigadores rangos amplios de pruebas a realizar. Se tuvieron ciertas consideraciones para la escogencia del sistema. Las condiciones planteadas se muestran a continuación

**TABLA N° 31 CONDICIONES PREVIAS A SELECCIONAR EL SISTEMA DE BOMBEO DEL BANCO HIDRÁULICO**

| Equipo                       | Rango de presiones      | Rango de caudales        |
|------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Manómetro WIKA CPG1500       | (0-50 psi) – (0-35 mca) | -                        |
| Caudalímetro TM Series Meter | -                       | 5-50 gpm (0.32-3.15 lps) |

Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso del variador de frecuencia por leyes de semejanza se disminuye la velocidad del rotor, y así disminuye la velocidad del impulsor, por lo tanto, se disminuyen la capacidad de succión y de impulsión de la bomba, incidiendo esto en una reducción del caudal, implica que

hay una reducción proporcional de las curvas característica de la bomba ESPA 25.4 en comparación a las determinadas por leyes de semejanzas.

Las nuevas curvas de semejanzas fueron determinadas para 2 condiciones nuevas:

- Bomba ESPA 25.4: Sistema individual y uso del variador de frecuencia
- Bomba Espá 25.4: Sistema en paralelo y uso del variador de frecuencia

La figura N° 26 ubicado en el capítulo IV, indica las curvas características del sistema para las condiciones planteadas, y se compara con las dadas por el catalogo ESPA, para las condiciones iniciales.

Los valores señalados en la Tabla N°23 en el capítulo IV, ofrecen rangos de presión y caudal adecuados cuando el sistema se encuentra individual y en paralelo, haciendo uso del variador de frecuencia, para las restricciones de presión y caudal antes planteadas. El sistema por requerimientos de espacio, proceso de instalación y costos está en ventaja con los demás equipos, dado que ya se encuentra instalado en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica Andrés Bello, sería la opción más factible en términos de espacio y costos.

La opción de la válvula reguladora de presión Camflex 35002 cumple adecuadamente con los requerimientos, ya que fue seleccionada por medio de la empresa SISCOT según las condiciones que se quieren para el diseño. La válvula Camflex tiene un costo aproximado de 3500 \$, según la Empresa SISCOT, por lo cual es una de las opciones menos viables para el diseño y construcción del banco hidráulico, en vista a futuros trabajos de grado.

El modelo de bomba Pedrollo HFm 70B de altos caudales y bajas alturas de agua, se tiene presente en las propuestas, debido a que el equipo ofrece caudales mayores a los ya existente por la bomba ESPA 25.4, por lo tanto, se toma en cuenta por los requerimientos de caudales desde (18-190 l/min). Además, que proporciona presiones a la salida, ideales para no ocasionar daños en el Manómetro WIKA CPG1500

Para verificar que se cumplan los requerimientos planteados, y considerando las longitudes de desarrollo y piezas entre el banco de bombas y el diseño del banco hidráulico, se realizó una estimación de las presiones de descarga de la bomba en los puntos de control: Manómetro 1 y Descarga al tanque, para los casos de:

- ESPA prisma 25.4 : Sistema individual
- ESPA prisma 25.4 : Sistema individual- con variador de frecuencia y ESPA Prisma 25.4 Sistema en paralelo con variador de frecuencia
- Bomba Pedrollo: Modelo HF 70B

Los cálculos se muestran en las tablas N° 28-29-30 para diámetro:  $\frac{3}{4}$ " y la continuación para todos los diámetros en el anexo N°6.

Se determinó rango de: caudales, presión en el manómetro 1, presión a la salida, velocidades, para los casos propuestos.

**TABLA N° 32 RANGOS DE OPERACIÓN PARA BOMBA ESPA PRISMA 25.4**

| Diámetro Nominal PVC-HG | Diámetro Nominal PPR | Q( min-máx.) (lpm) | H(min -máx.)<br>H1(m) | H(min -máx.)<br>H salida(m) | Velocidades (min-máx.) (m/s) |
|-------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| in                      | mm                   |                    |                       |                             |                              |
| 1/2                     | 20                   | X                  | X                     | X                           | X                            |
| 3/4                     | 25                   | X                  | X                     | X                           | X                            |
| 1                       | 32                   | 110                | 31.70                 | 14.50                       | 5.20                         |
| 1 1/4                   | 40                   | 110 - 120          | 16.40 - 30.40         | 5.00 - 20.80                | 3.3 - 3.6                    |
| 1 1/2                   | 50                   | 110 - 120          | 18.0-31.70            | 13.50 - 28.00               | 2.10-2.30                    |
| 2                       | 63                   | 110 -120           | 19.18 - 32.73         | 17.56 - 31.45               | 1.32 - 1.44                  |
| 2 1/2                   | 75                   | 110-120            | 18.8 - 32.4           | 18.3 - 32.1                 | 0.8 - 0.9                    |
| 3                       | 90                   | 110 -120           | 18.8 - 32.40          | 13.70- 32.40                | 0.6                          |
| 4                       | 110                  | 110-120            | 18.19 - 32.49         | 18.97 - 32.63               | 0.39 - 0.43                  |

**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA N° 33 RANGOS DE OPERACIÓN PARA BOMBA ESPA PRISMA 25.4 CON USO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA**

| Diámetro Nominal | Diámetro Nominal PPR | Q( min-máx.) (lpm) | H(min -máx.) H1(m) | H(min -máx.) H salida(m) | Velocidades (min-máx.) (m/s) |
|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------|
| in               | mm                   |                    |                    |                          |                              |
| 1/2              | 20                   | 20 - 40            | 29.5 - 33.4        | 14.3 - 30.00             | 2.40 - 4.90                  |
| 3/4              | 25                   | 10-60              | 19.80 - 34.40      | 0.70-34.4                | 0.80-4.60                    |
| 1                | 32                   | 20-90              | 14.50 - 33.80      | 5.80-33.70               | 0.90 - 3.80                  |
| 1 1/4            | 40                   | 10 - 90            | 6.40 - 34.60       | 0.2 - 35.0               | 0.3 - 2.70                   |
| 1 1/2            | 50                   | 10 - 90            | 7.3 - 34.6         | 5.00 - 35.1              | 0.2 - 1.7                    |
| 2                | 63                   | 20 - 90            | 8.00 -33.80        | 7.5- 34.30               | 0.24 -1.08                   |
| 2 1/2            | 75                   | 10 - 90            | 7.7 - 34.6         | 7.7 - 35.1               | 0.1 - 0.7                    |
| 3                | 90                   | 10 - 90            | 7.8 - 34.6         | 8.00 - 35.1              | 0.1 - 0.5                    |
| 4                | 110                  | 20-90              | 7.86 - 32.65       | 8.13 - 33.16             | 0.11- 0.32                   |

**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA N° 34 RANGOS DE OPERACIÓN PARA BOMBA ESPA PRISMA 25.4 SISTEMA EN PARALELO CON USO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA**

| Diámetro Nominal | Diámetro Nominal PPR | Q( min-máx.) (lpm) | H(min -máx.) H1(m) | H(min -máx.) H salida(m) | Velocidades (min-máx.) (m/s) |
|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------|
| in               | mm                   |                    |                    |                          |                              |
| 1/2              | 20                   | 20-40              | 31.10- 33.70       | 15.90 - 30.30            | 2.40 - 4.90                  |
| 3/4              | 25                   | 10 - 60            | 24.7 - 34.4        | 5.6- 34.4                | 0.8 - 4.6                    |
| 1                | 32                   | 20-120             | 18.40 - 34.10      | 1.2-34.0                 | 0.90-5.20                    |
| 1 1/4            | 40                   | 10 - 120           | 13.60 - 34.50      | 2.20 - 35.0              | 0.30 - 3.60                  |
| 1 1/2            | 50                   | 10 - 140           | 7.60 - 34.60       | 1.3 - 35.1               | 0.2 -2.70                    |
| 2                | 63                   | 20-90              | 8.00 - 33.80       | 7.50 - 34.3              | 0.24 - 1.08                  |
| 2 1/2            | 75                   | 10- 150            | 4.40 - 34.6        | 3.4 - 35.1               | 0.1 - 1.1                    |
| 3                | 90                   | 10 - 150           | 4.5 - 34.6         | 4.1 - 35.1               | 0.1 - 0.8                    |
| 4                | 110                  | 20 - 150           | 4.59 - 34.10       | 4.40 - 34.60             | 0.11 - 0.53                  |

**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA N° 35 RANGOS DE OPERACIÓN PARA BOMBA PEDROLLO HF 70B**

| Diámetro Nominal | Diámetro Nominal PPR | Q( min-máx.) (lpm) | H(min -máx.) H1(m) | H(min -máx.) H salida(m) | Velocidades (min-máx.) (m/s) |
|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------|
| in               | mm                   |                    |                    |                          |                              |
| 1/2              | 20                   | 20 - 40            | 28.60 - 30.80      | 13.40 - 27.40            | 2.40 - 4.90                  |
| 3/4              | 25                   | 10 - 60            | 22.8 - 31.4        | 3.7 - 31.3               | 0.8 - 4.6                    |
| 1                | 32                   | 20-120             | 31.20- 19.80       | 2.60- 31.10              | 0.9- 5.2                     |
| 1 1/4            | 40                   | 10 - 130           | 1.7 - 31.5         | 0.1 - 32.00              | 0.3 - 3.9                    |
| 1 1/2            | 50                   | 10 - 150           | 10.5 - 31.5        | 3.20- 32.00              | 0.2 - 2.9                    |
| 2                | 63                   | 20-160             | 5.00-34.6          | 0.2-1.8                  | 0.20-2.00                    |
| 2 1/2            | 75                   | 10 - 180           | 3.3 - 31.50        | 1.6 - 32.1               | 0.1 - 1.3                    |
| 3                | 90                   | 10- 180            | 3.4 - 31.5         | 2.5 - 31.5               | 0.1 - 0.9                    |
| 4                | 110                  | 20-190             | 3.50-31.20         | 2.90-31.70               | 0.10-0.70                    |

**Fuente:** Elaboración Propia

Para el diseño del banco hidráulico para la medición de pérdidas localizadas, la opción más conveniente, es la que nos ofrezca el rango de caudal más amplio para cumplir con la restricción del caudalímetro, y presiones máximas de 50 psi, para no interferir con el uso del manómetro WIKA CPG1500, además de eso se considera que el flujo desde la salida de la bomba instalada ESPA 25.4, debe realizar la adecuada descarga al tanque de almacenamiento.

Según los valores determinados en las tablas N°32- N°33- N° 34- N° 35 y Mediante el uso de una **matriz de decisión** generada por los involucrados en el trabajo, se determinan las opciones viables y óptimas de diseño.

**TABLA N° 36 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PARA EL BANCO HIDRÁULICO SEGÚN DIÁMETROS COMERCIALES**

| Diámetro Nominal | Diámetro |                                                                         |
|------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| (in)             | mm       |                                                                         |
| 1/2              | 20       | Bomba ESPA Prisma 25.4 : Uso del Variador                               |
| 3/4              | 25       | Bomba ESPA Prisma 25.4 : Uso del Variador                               |
| 1                | 32       | Bomba ESPA Prisma - Sistema en Paralelo- Uso Del Variador de Frecuencia |
| 1 1/4            | 40       | Bomba ESPA Prisma - Sistema en Paralelo- Uso Del Variador de Frecuencia |
| 1 1/2            | 50       | Bomba ESPA Prisma - Sistema en Paralelo- Uso Del Variador de Frecuencia |
| 2                | 63       | Bomba ESPA Prisma - Sistema en Paralelo- Uso Del Variador de Frecuencia |
| 2 1/2            | 75       | Bomba ESPA Prisma - Sistema en Paralelo- Uso Del Variador de Frecuencia |
| 3                | 90       | Bomba ESPA Prisma - Sistema en Paralelo- Uso Del Variador de Frecuencia |
| 4                | 110      | Bomba ESPA Prisma - Sistema en Paralelo- Uso Del Variador de Frecuencia |

**Fuente:** Elaboración Propia

El banco hidráulico para la medición de pérdidas localizadas, además de considerar diferentes opciones en el sistema de bombeo, toma en cuenta un punto importante y es la incorporación de diferentes tipos de materiales, a partir del elemento de transición mencionado en la metodología de los kits en el capítulo IV. A partir de este punto el banco hidráulico queda completamente útil para todos los kits de medición indistintamente del material que posea la conexión a evaluar, puesto que se ubica antes de incorporar la longitud de desarrollo, además también permite realizar el cambio de diámetro haciendo reducción o expansión desde 75 mm (1 1/2") a los diferentes diámetros comerciales a evaluar, esto gracias al conector rosca hembra que se ha dispuesto.

Otros elementos importantes en los kits de medición, es la consideración de un caudalímetro de igual diámetro que el instalado, pero con rango de medición menor (10 l/min- 30 l/min), este será dispuesto en los kits para conexiones 1:2 y 1:3.

Los elementos de descarga varían en función al diámetro, para diámetros mayores a 63 mm (2”), el espacio en el laboratorio se verá afectado. Aun así se podrán trabajar diámetros a 63 mm (2”) mayores, y estos deberán ser apoyados mediante una mesa tipo móvil.

Para diámetros menores a 63 mm (2”), podrán utilizarse los apoyos con Unistrut, mediante la cabilla roscada al techo, que podrá desmontarse fácilmente del laboratorio.

El procesamiento de los datos, servirá como guía referencial para la búsqueda de la precisión del factor “K” de pérdidas localizadas.

Se generó una plantilla de recolección de datos Figura N° 31. Los datos a introducir dependerán de las pruebas que se vayan a realizar, las presiones en el sistema, caudal bombeado y diámetro a seleccionar. Se determina La Gráfica N° 32 ubicada en el capítulo IV, esta indica cómo se limitan los rangos de caudales y diámetros a trabajar según la precisión buscada del factor “K” de pérdidas localizadas, la gráfica también funcionará adecuadamente si se conoce en que rangos de velocidad se quiere trabajar

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Uno de los objetivos principales de este trabajo de grado consiste en realizar el diseño de un banco de pruebas para la determinación de coeficientes de pérdidas localizadas, integrado al sistema de bombeo existente dispuesto para el desarrollo de la práctica de leyes de semejanza y curvas características en bombas hidráulicas en el laboratorio de Mecánica de los Fluidos de la UCAB-Caracas.

Teniendo esto en cuenta, y considerando que el mismo debía tener cierto nivel de flexibilidad en su concepción, para que funcione con diferentes conexiones, de distintos materiales en todos los diámetros nominales desde  $\frac{1}{2}$ " hasta 4"; se concibió la idea de diseñar "kits de medición" que pudieran acoplarse a las instalaciones existentes en un punto definido, permitiendo crear un circuito que pueda regresar el agua al tanque del que se extrajo.

Estos elementos (kits) están compuestos principalmente por la conexión, accesorio o conjunto de ambos sobre el cual desee conocerse el coeficiente de pérdida localizada. Los kits de prueba diseñados funcionan para diferentes diámetros y distintos materiales tales como: PPR, PAVCO y HG.

Durante el proceso de escogencia de instrumentos, se derivaron condicionantes adicionales en el rango de presión para proteger los manómetros seleccionados, modelo WIKACPG 1500; estos conllevan al planteamiento y evaluación de diferentes alternativas para lograr ajustar las características originales del sistema existente a las requeridas por el banco de pruebas hidráulicas. Las opciones estuvieron desde la menos intrusivas como el uso del variador de frecuencia para las bombas instaladas, disminuyendo la velocidad del rotor, haciendo que se disminuya la presión de salida de la bomba; pasando por la incorporación de una válvula reguladora de presión, y llegando a concebir la inclusión de un nuevo equipo de bombeo adaptado a los requerimientos de caudal y presión para obtener la funcionalidad adecuada del banco de prueba.

Se escoge el uso del sistema de bombeo existente controlado por el variador de frecuencia, disminuyendo sus revoluciones de 3450 a 2531 rpm; el empleo de las bombas varía dependiendo del diámetro de tubería a usar, ya que pueden trabajar como un sistema en paralelo (2 bombas), o uso individual. De esta forma se puede cumplir con las condiciones impuestas por el equipo de presión seleccionado.

En el diseño del banco de pruebas se plantea una metodología, que permite la recolección de información y procesamiento de datos para la determinación de los coeficientes de pérdidas localizadas, que puede ser usada en todo tipo de materiales siempre y cuando pueda acoplarse al adaptador rosca hembra dispuesto en el elemento de transición por medio de un extremo roscado ASTM.

El diseño finalmente, siguiendo los procesos descritos en el capítulo IV, en la metodología planteada, usando manómetros de alta precisión, y adecuando el sistema de bombeo, se permitirá la determinación del coeficiente de pérdida de fricción “K”.

## **RECOMENDACIONES**

Habiendo adquirido los equipos e instrumentos necesarios para la puesta en funcionamiento del banco hidráulico para pruebas, se propone abrir una línea de investigación para generar los coeficientes de pérdidas localizadas para cada una de las condiciones en todos los diámetros nominales sugeridos (1/2” hasta 4”) y con diversos materiales, esto con la finalidad de determinar coeficientes de pérdidas con los que se optimicen los diseños hidráulicos de instalaciones y de esta forma La Universidad Católica Andrés Bello con este banco preste el servicio a entes externos, ya sea con fines comerciales o de investigación.

Se recomienda para la elaboración de los kits de medición, usar protección; como guantes, al momento de trabajar con la tubería de termo fusión, debido a que las altas temperaturas en las que se suelda este material pueden ocasionar lesiones cuando se estén uniendo las piezas. Además, trabajar con tuberías y conexiones menores a 4” debido principalmente a que se tiene

que usar una máquina especial para soldar tubos de diámetros mayores en termo fusión, y además el peso de esta tubería en cualquiera de los materiales puede producir lesiones, si no se cuenta con equipos de apoyo adicionales.

El diseño del banco hidráulico para la medición de pérdidas localizadas se planea construir dentro del laboratorio de mecánica de los fluidos, acoplado al banco de bombas existente, se debe considerar que este, no solo prueba conexiones, accesorios o la combinación de ellos; se puede también caídas de presión muy precisas en tramos rectos de tubería, lo que le da una funcionalidad adicional al objetivo principal del presente trabajo de grado.

Se recomienda evaluar la posibilidad de diseñar un manómetro tipo “U” conectado a un manifold o diferencial, que permita registrar con la precisión necesaria las presiones; esto se plantea como alternativa para disminuir los costos de adquisición de los manómetros digitales.

Es fundamental que para el procesamiento de datos se tomen 5 cifras significativas, debido a que hay valores que arrojan caídas de presión pequeños, y obviar o redondear, puede generar errores en la obtención de los resultados. Conjuntamente, el rango de velocidades para poder garantizar el funcionamiento óptimo del sistema debe manejar entre 0.1 m/s y 6 m/s. En las próximas líneas de investigación, debe considerarse que a medida que aumenten la cantidad de pruebas realizada para cada kit, la precisión irá aumentando significativamente.

Se recomienda hacer uso del variador de frecuencia para el sistema de 1 bomba espa Prisma 25.4 para diámetros de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ ", y para diámetros de 1" hasta 4" utilizar el sistema de dos bombas en paralelo con el variador de frecuencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Méndez, M.V. (1995). *Tuberías A Presión. En los sistemas de abastecimiento de agua.* 1era Edición. Caracas, Venezuela. Fondo Polar- UCAB, 406.
- Cengel Y, Cimbala. J. (2013). *Mecánica de los fluidos: Fundamentos y Aplicaciones* 1era Edición. México DF, México. McGraw Hill Interamericana. 997.
- White F.M. (1979). *Fluid Mechanics.* 4ta Edición. Santa Fe de Bogotá, Colombia. McGraw Hill Inc. 814
- Shames I.H. (1971). *Mecánica de fluidos.* 3era Edición. Boston. WCB McGraw Hill. 813
- Shuan Toledo F.J. (2016). *Evaluación Técnica Y Económica Del Sistema Convencional (Tuberías Pvc) Y El Sistema De Termo fusión (Tuberías De Polipropileno) En Instalaciones Interiores De Agua Potable Para Edificaciones En La Ciudad De Huaraz. Ancash*. Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo. Huaraz Ancash, Perú.
- Bello J.(2018) *Investigación tecnológica.* Obtenido de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/faces/revista/a6n13/6-13-3.pdf>
- Donsen. “catálogo de productos y especificaciones Técnicas”. Obtenido de: <https://www.donsenvenezuela.com/>
- Materiales Los Andes. “Hierro Galvanizado”. Obtenido de : <https://www.geniolandia.com/13099028/definicion-de-tuberia-galvanizada>
- Espa. “Catalogo Bombas Prisma”. Obtenido de: <https://www.espa.com/corp-es/prisma-25/>.
- Ñaupas H & Otros. (). “Metodología de la Investigación”. Bogotá, Colombia. DGP Editores. Obtenido de <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>
- Anónimo. “Caudalimetro”. Obtenido de (<https://www.tecpa.es/medidores-de-caudal-en-edar/>)

- Rivas. R. (2013) “Guía de Procesos” . Seminario para la elaboración del Trabajo Especial de Grado. Caracas Venezuela. UCAB.
- Anónimo.  
“Manómetro WIKA” [https://www.wika.es/landingpage\\_differential\\_pressure\\_gauge\\_es\\_es.WIKA](https://www.wika.es/landingpage_differential_pressure_gauge_es_es.WIKA)
- Anónimo. (s.f.). Ingeniería de los fluidos. Obtenido de <https://www.ingenieriadefluidos.com/valvula-reductora-de-presión>
- Anónimo. (s.f.). Teoría de los fluidos en tuberías y bombas. Obtenido de <https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/2-background-theory-steady-flow-fluid-network-machinery-pumps-turbines-steady-state-ener-q57774316>
- Anónimo. (s.f.). Tipos de presiones, absoluta, diferencial y relativa. Obtenido de [https://www.wika.es/landingpage\\_differential\\_pressure\\_es\\_es.WIKA](https://www.wika.es/landingpage_differential_pressure_es_es.WIKA)

## ANEXOS

### Contenido

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo N°1                                                                                                 | 103 |
| Anexo N° 1.1 : Espacio del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica Andrés Bello              | 103 |
| Anexo N° 1.2: Bombas-Espacio Del Laboratorio De Hidráulica De La Universidad Católica Andrés Bello        | 104 |
| Anexo N° 1.3: Vista lateral espacio Del Laboratorio De Hidráulica De La Universidad Católica Andrés Bello | 105 |
| Anexo N° 2:                                                                                               | 106 |
| Anexo N° 2.1: Equipo De bombeo instalado: Dimensiones Bomba Modelo 25.4                                   | 106 |
| Anexo N° 2.2: Caudalímetro Digital: Modelo TM SERIES: Diámetro 1”                                         | 107 |
| Anexo N° 2.3: Tanque de almacenamiento                                                                    | 107 |
| Anexo N° 2. 4: MANÓMETROS WINTER                                                                          | 108 |
| Anexo N° 2.5: Dimensiones manómetro WIKA                                                                  | 108 |
| Anexo N° 3                                                                                                | 109 |
| Anexo N° 3.1: Dimensiones de manómetro DPI 104                                                            | 109 |
| Anexo N° 3.2: Dimensiones de manómetro Wika Diferencial                                                   | 110 |
| Anexo N ° 4                                                                                               | 111 |
| Anexo N° 4.1: Dimensiones y peso de válvula Camflex II serie 35002                                        | 112 |
| Anexo N° 4.2: Dimensiones electrobomba centrifuga modelo HF 70B                                           | 113 |
| Anexo N°5                                                                                                 | 114 |
| Anexo N° 5.1 :Propiedades del agua                                                                        | 114 |

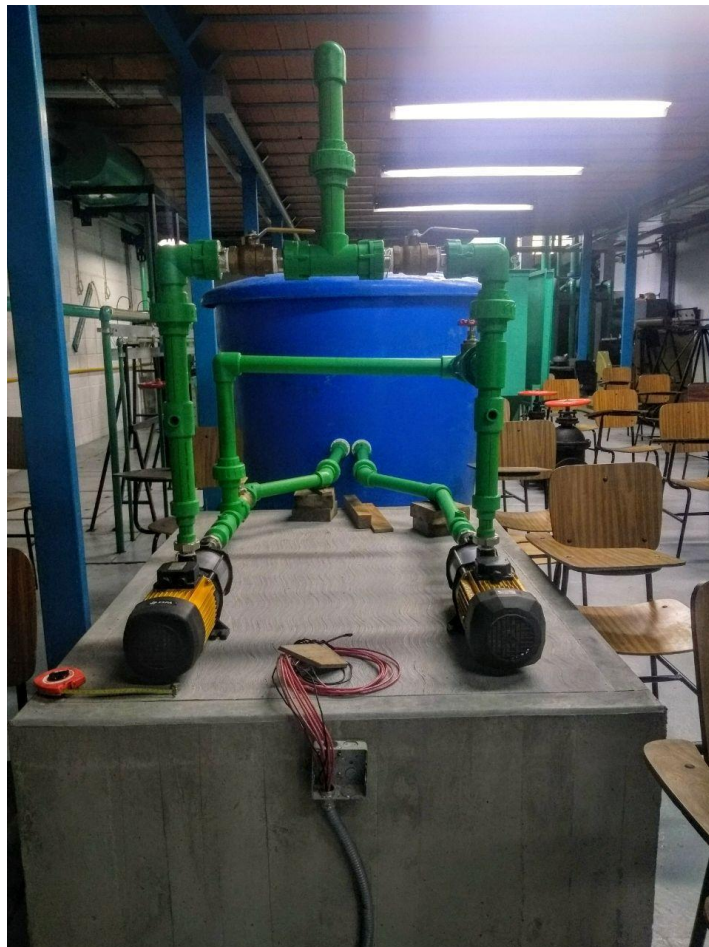
|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo N° 5.2: Planilla de Cálculo de longitud de desarrollo                                                                     | 115 |
| Anexo N°6                                                                                                                       | 116 |
| Anexo 6.1 Línea Piezométrica para Bombas ESPA PRISMA 25.4                                                                       | 116 |
| Anexo N° 6.2 Cálculo de presiones a la salida de la bomba para equipos existentes haciendo uso del variador de frecuencia       | 118 |
| Anexo N° 6. 3 : Calculo de presiones a la salida de la bomba para Bomba Pedrollo HF 70B haciendo uso del variador de frecuencia | 119 |
| ANEXO N°7                                                                                                                       | 120 |
| Anexo N° 7.1 Propuesta (a) Ubicación de equipos para Sistema existente Bombas ESPA PRISMA 25.4 con Variador de Frecuencia       | 120 |
| Anexo N° 7.2 Propuesta (b) Ubicación de equipos para válvula reguladora de presión                                              | 120 |
| Anexo N° 7.3: Propuesta (c) Ubicación de equipos para Bomba Pedrollo HF 70B.                                                    | 121 |
| ANEXO N° 8                                                                                                                      | 122 |
| Anexo N° 8.1: GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI EN PPR                                          | 122 |
| Anexo N° 8.2: GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI EN PVC                                          | 123 |
| Anexo N° 8.3: GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI EN HG                                           | 124 |

A continuación, una secuencia de imágenes y explicación de los libros de cálculos, realizados para el diseño conceptual del Banco hidráulico para la medición de pérdidas localizadas.

## **Anexo N°1**

**Anexo N°1.1** : Espacio del laboratorio de Hidráulica de la Universidad Católica Andrés Bello

Fuente: Elaboración Propia





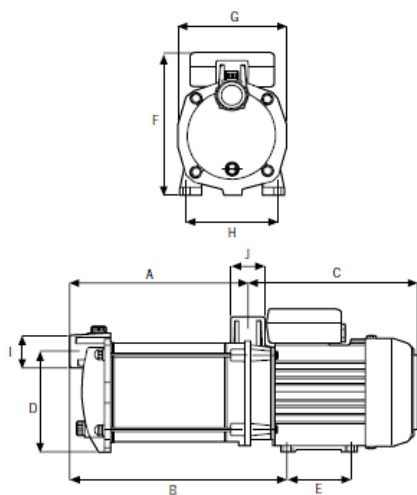
**Anexo N° 1.39: Bombas-Espacio Del Laboratorio De Hidráulica De La Universidad Católica Andrés Bello**

Fuente: Elaboración Propia



**Anexo N° 1.40:** Vista lateral espacio Del Laboratorio De Hidráulica De La Universidad Católica Andrés Bello  
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## Anexo N° 2:



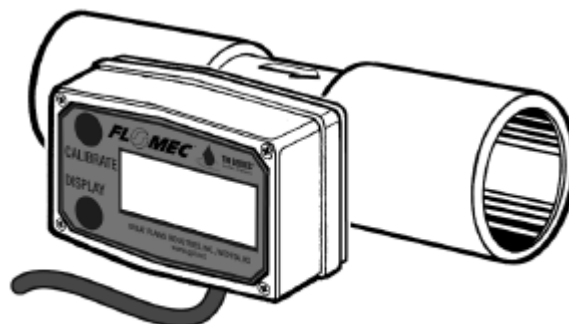
**Prisma 25 3,4**

**Curvas de funcionamiento a 3450 r.p.m.**  
**Curvas de funcionamento a 3450 r.p.m.**  
**Performance curves at 3450 r.p.m.**

**Dimensiones en mm.**  
**Dimensões em mm.**  
**Dimensions in mm.**

|                    | A     | B   | C   | D   | E  | F     | G   | H   | I  | J  | Kg           |
|--------------------|-------|-----|-----|-----|----|-------|-----|-----|----|----|--------------|
| <b>Prisma 25 2</b> | 175,5 | 226 | 218 | 127 | 82 | 184,5 | 138 | 118 | 1" | 1" | 14           |
| <b>Prisma 25 3</b> | 202   | 225 | 286 | 142 | 20 | 212   | 154 | 138 | 1" | 1" | 18,5/16,9(T) |
| <b>Prisma 25 4</b> | 229   | 252 | 286 | 142 | 20 | 212   | 154 | 138 | 1" | 1" | 21,2/18,5(T) |

**Anexo N° 2.1: Equipo De bombeo instalado: Dimensiones Bomba Modelo 25.4**  
**Fuente: Catalogo ESPA**



*TM Meter with Computer Display & Pulse Output*

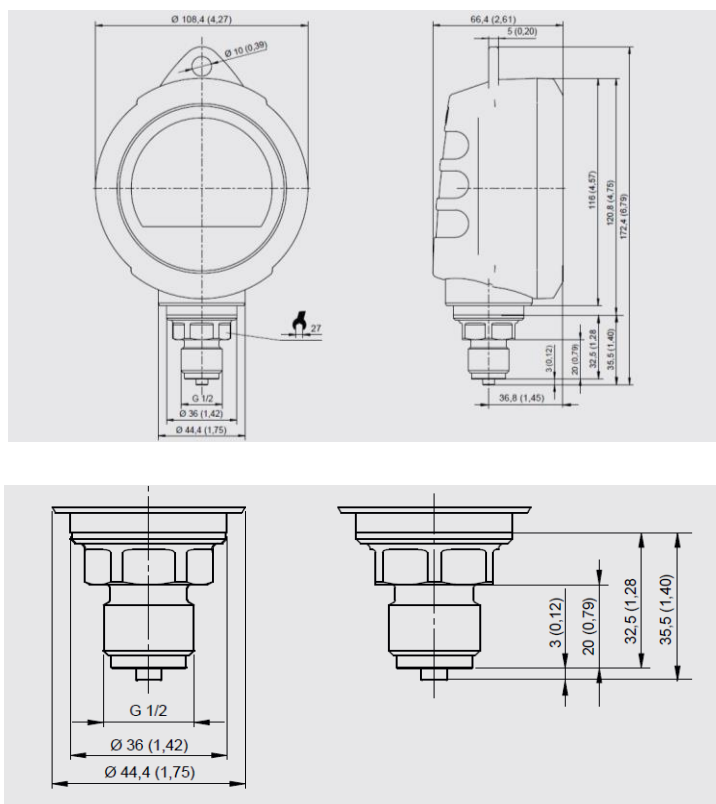
**Anexo N° 2.2: Caudalímetro Digital: Modelo TM SERIES: Diámetro 1”**  
**Fuente: GPI**



**Anexo N° 2.3: Tanque de almacenamiento**  
**Fuente: Elaboración Propia**



**Anexo N° 2. 4: MANÓMETROS WINTER**  
**Fuente:** Elaboración Propia



**Anexo N° 2.5: Dimensiones manómetro WIKA**  
**Fuente:** Catálogo WIKA

### Anexo N° 3



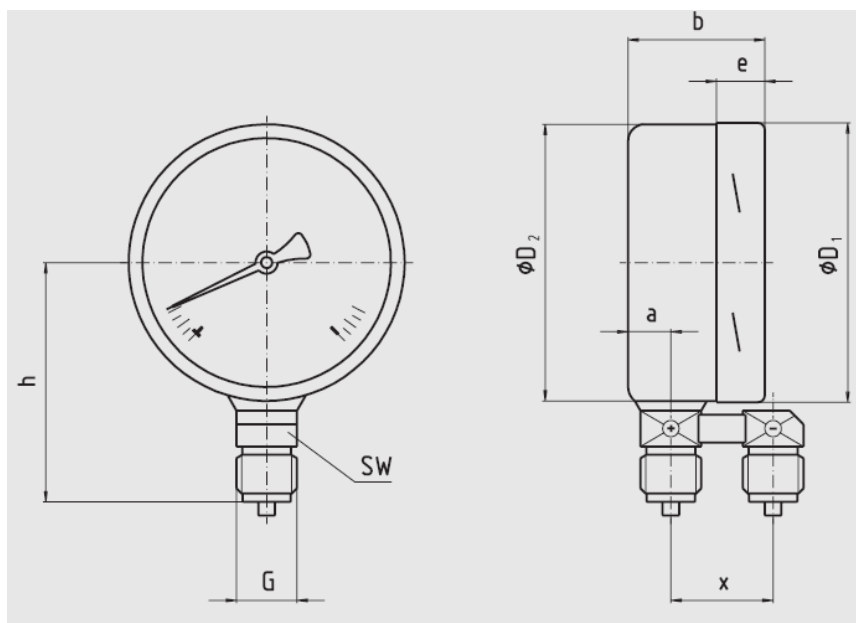
Dimensiones

Diámetro: 3.74 in (95 mm) excluyendo accesorios de presión

Profundidad: 2.17 in (55 mm)

**Anexo N° 3.1: Dimensiones de manómetro DPI 104**

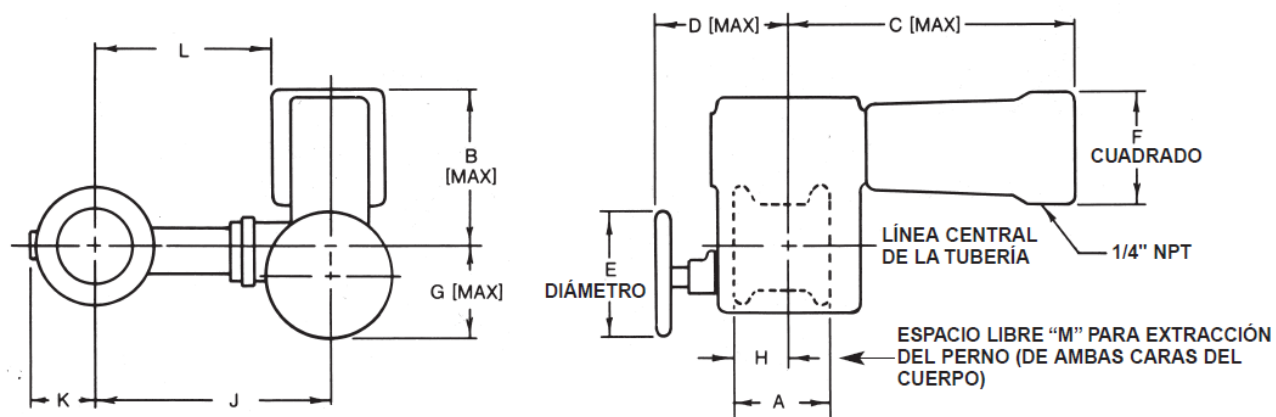
**Fuente:** Catálogo General Electric



| NS  | Dimensions in mm |      |                |                |                |                |      |    |           |      |    |    | Weight<br>in kg |
|-----|------------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----|-----------|------|----|----|-----------------|
|     | a                | b    | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | e    | f  | G         | h ±1 | X  | SW |                 |
| 100 | 15.5             | 48.5 | 49.5           | 84             | 101            | 99             | 17.5 | 30 | 2 x G ½ B | 87   | 37 | 22 | 0.73            |
| 160 | 15.5             | 48.5 | 51.5           | 87             | 161            | 159            | 17.5 | 50 | 2 x G ½ B | 118  | 37 | 22 | 1.33            |

**Anexo N° 3.2: Dimensiones de manómetro Wika Diferencial**  
**Fuente:** Catálogo WIKA

## Anexo N° 4



### Dimensiones (pulgadas)

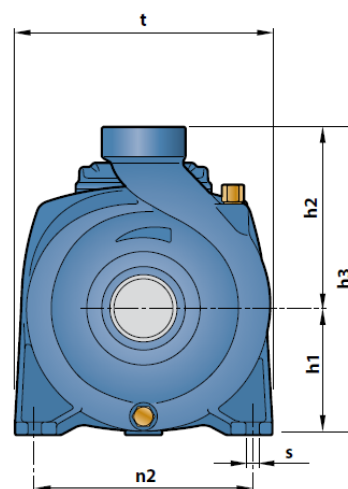
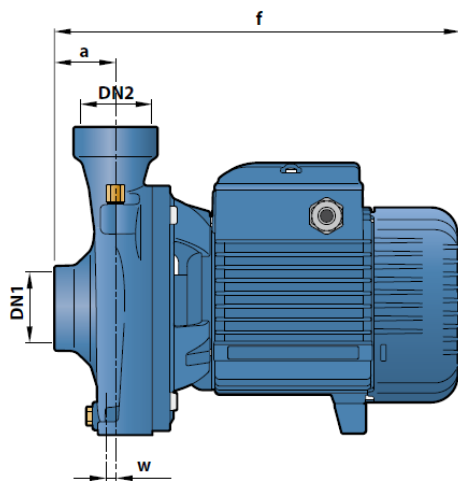
| Tamaño de la Válvula |     | A                      |                         | B    | C    | D    | E    | F   | G   | H                      |               |               | J    | K    | L    | M                              |                                |                                |                                |
|----------------------|-----|------------------------|-------------------------|------|------|------|------|-----|-----|------------------------|---------------|---------------|------|------|------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| pulg-<br>adas        | DN  | Conexiones<br>roscadas | Bridada y<br>sin bridas |      |      |      |      |     |     | Conexiones<br>roscadas | Sin<br>bridas | Con<br>bridas |      |      |      | Clases<br>ANSI<br>150<br>PN 10 | Clases<br>ANSI<br>300<br>PN 16 | Clases<br>ANSI<br>400<br>PN 26 | Clases<br>ANSI<br>600<br>PN 40 |
| 1                    | 25  | 4.00                   | 4.00                    | 6.8  | 11.5 | 8.4  | 6.3  | 5.5 | 4.4 | 2.64                   | 2.64          | 2.01          | 8.1  | 1.5  | 5.4  | 6.5                            | 9.0                            | 9.0                            | 9.0                            |
| 1 1/2                | 40  | 5.39                   | 4.50                    | 6.9  | 11.5 | 8.4  | 6.3  | 5.5 | 4.4 | 3.31                   | 2.44          | 2.32          | 9.2  | 2.0  | 6.5  | 6.5                            | 10.0                           | 10.0                           | 10.0                           |
| 2                    | 50  | 5.75                   | 4.88                    | 6.9  | 11.5 | 8.4  | 6.3  | 5.5 | 4.5 | 3.31                   | 2.44          | 2.44          | 9.4  | 2.6  | 6.7  | 10.5                           | 10.5                           | 10.5                           | 10.5                           |
| 3                    | 80  |                        | 6.50                    | 10.3 | 16.8 | 8.9  | 6.3  | 6.9 | 5.1 |                        | 3.82          | 3.39          | 13.1 | 3.3  | 9.6  | 11.8                           | 13.5                           | 14.0                           | 14.0                           |
| 4                    | 100 |                        | 7.62                    | 10.4 | 16.8 | 8.9  | 6.3  | 6.9 | 5.2 |                        | 4.17          | 4.17          | 14.0 | 4.3  | 10.5 | 13.0                           | 14.0                           | 16.0                           | 16.5                           |
| 6                    | 150 |                        | 9.00                    | 13.0 | 20.4 | 12.0 | 10.0 | 8.6 | 8.4 |                        | 5.00          | 5.00          | 17.0 | 5.8  | 12.7 | 15.5                           | 16.0                           | 18.5                           | 18.5                           |
| 8                    | 200 |                        | 9.56                    | 13.1 | 20.4 | 12.0 | 10.0 | 8.6 | 8.5 |                        | 5.83          | 5.83          | 18.5 | 8.0  | 14.2 | 15.5                           | 18.5                           | 19.5                           | 21.0                           |
| 10                   | 250 |                        | 11.69                   | 13.2 | 20.4 | 12.0 | 10.0 | 8.6 | 8.6 |                        | 6.57          | 6.57          | 22.6 | 9.9  | 18.3 | 20.0                           | 20.5                           | 22.5                           | 24.5                           |
| 12                   | 300 |                        | 13.31                   | 13.3 | 20.4 | 12.0 | 10.0 | 8.6 | 8.7 |                        | 7.24          | 7.24          | 24.0 | 10.9 | 19.7 | 20.0                           | 22.5                           | 24.8                           | 25.5                           |

### Peso (libras)

| Tamaño de la Válvula |     | Tamaño del Actuador | Sin bridas |        | Con bridas Clase 150 |        | Con bridas Clase 300 |        | Con bridas Clase 600 |        |
|----------------------|-----|---------------------|------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
| pulgadas             | DN  |                     | Kg         | libras | Kg                   | libras | Kg                   | libras | Kg                   | libras |
| 1                    | 25  | 4.5"                | 17         | 38     | 18                   | 41     | 20                   | 45     | 20                   | 45     |
| 1 1/2                | 40  | 4.5"                | 19         | 43     | 22                   | 50     | 24                   | 54     | 25                   | 55     |
| 2                    | 50  | 4.5"                | 20         | 45     | 24                   | 54     | 27                   | 60     | 28                   | 63     |
| 3                    | 80  | 6"                  | 46         | 103    | 52                   | 116    | 57                   | 129    | 59                   | 133    |
| 4                    | 100 | 6"                  | 54         | 121    | 65                   | 146    | 73                   | 165    | 86                   | 133    |
| 6                    | 150 | 7"                  | 103        | 232    | 115                  | 259    | 131                  | 295    | 156                  | 351    |
| 8                    | 200 | 7"                  | 122        | 274    | 140                  | 314    | 161                  | 363    | 197                  | 442    |
| 10                   | 250 | 7"                  | 178        | 400    | 203                  | 456    | 236                  | 531    |                      |        |
| 12                   | 300 | 7"                  | 222        | 499    | 260                  | 586    | 307                  | 689    |                      |        |
| 6                    | 150 | No.9                | 131        | 295    | 143                  | 321    | 159                  | 358    | 184                  | 414    |
| 8                    | 200 | No.9                | 150        | 337    | 168                  | 377    | 189                  | 426    | 225                  | 505    |
| 10                   | 250 | No.9                | 206        | 463    | 231                  | 519    | 264                  | 594    |                      |        |
| 12                   | 300 | No.9                | 250        | 562    | 288                  | 648    | 335                  | 752    |                      |        |

**Anexo N° 4.1: Dimensiones y peso de válvula Camflex II serie 35002**

**Fuente:** Catálogo Siscom



| MODELO     |           | BOCAS |     | DIMENSIONES mm |         |     |     |     |     |     |      |    |  | kg   |      |
|------------|-----------|-------|-----|----------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|--|------|------|
| Monofásica | Trifásica | DN1   | DN2 | a              | f       | h1  | h2  | h3  | t   | n2  | w    | s  |  | 1~   | 3~   |
| HFm 50B    | HF 50B    | 1½"   | 1½" | 42             | 270     | 82  | 118 | 200 | 166 | 135 | -8   | 10 |  | 8.0  | 8.1  |
| HFm 50A    | HF 50A    |       |     |                |         |     |     |     |     |     |      |    |  | 8.9  | 8.2  |
| HFm 51B    | HF 51B    |       |     |                |         |     |     |     |     |     |      |    |  | 12.9 | 12.7 |
| HFm 51A    | HF 51A    |       |     | 45             | 303     | 92  | 133 | 225 | 190 | 160 | 2    |    |  | 13.0 | 13.0 |
| HFm 70C    | HF 70C    |       |     |                |         |     |     |     |     |     |      |    |  | 18.8 | 20.1 |
| HFm 70B    | HF 70B    |       |     | 48.5           | 373     | 114 | 155 | 269 | 216 | 171 | 12   | 12 |  | 21.4 | 21.5 |
| HFm 70A    | HF 70A    |       |     |                | 403/373 |     |     |     |     |     |      |    |  | 24.4 | 24.2 |
| HFm 5C     | HF 5C     | 2"    | 2"  |                |         |     |     |     |     |     |      |    |  | 14.3 | 14.2 |
| HFm 5B     | HF 5B     |       |     | 43             | 316     | 97  | 141 | 238 | 192 |     | -68  | 10 |  | 14.3 | 14.3 |
| HFm 5A     | HF 5A     |       |     |                |         |     |     |     |     |     |      |    |  | 14.6 | 14.7 |
| HFm 5BM    | HF 5BM    |       |     |                |         |     |     |     |     |     |      |    |  | 19.2 | 20.3 |
| HFm 5AM    | HF 5AM    |       |     | 59             | 386     | 110 | 150 | 260 | 208 |     | 12.5 | 11 |  | 21.6 | 21.6 |
| HFm 5ARM   | HF 5ARM   |       |     |                |         |     |     |     |     |     |      |    |  | 22.3 | 21.5 |

#### Anexo N° 4.2: Dimensiones electrobomba centrifuga modelo HF 70B

**Fuente:** Catálogo Pedrollo

## Anexo N°5

Mediante una hoja de cálculo se determinaron las medidas de la longitud de desarrollo (Anexos: TEG\_Calculos). Para el cálculo se considera de las propiedades del agua, la viscosidad cinemática.

**Tabla de propiedades del agua**

| Temperatura<br>$t$ °C | Densidad $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Viscosidad dinámica<br>$\nu$<br>(N-s/m <sup>2</sup> )<br>$\times 10^{-3}$ | Viscosidad<br>cinemática $\nu$<br>(m <sup>2</sup> /s)<br>$\times 10^{-6}$ |
|-----------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 0                     | 999.9                                   | 1.792                                                                     | 1.792                                                                     |
| 5                     | 1000.0                                  | 1.519                                                                     | 1.519                                                                     |
| 10                    | 999.7                                   | 1.308                                                                     | 1.308                                                                     |
| 15                    | 999.1                                   | 1.14                                                                      | 1.141                                                                     |
| 20                    | 998.2                                   | 1.005                                                                     | 1.007                                                                     |
| 30                    | 995.7                                   | 0.801                                                                     | 0.804                                                                     |
| 40                    | 992.2                                   | 0.656                                                                     | 0.661                                                                     |
| 50                    | 988.1                                   | 0.549                                                                     | 0.556                                                                     |
| 60                    | 983.2                                   | 0.469                                                                     | 0.477                                                                     |
| 70                    | 977.8                                   | 0.406                                                                     | 0.415                                                                     |
| 80                    | 971.8                                   | 0.357                                                                     | 0.367                                                                     |
| 90                    | 965.3                                   | 0.317                                                                     | 0.328                                                                     |

**Anexo N° 5.1: Propiedades del agua**

Fuente: Elaboración Propia

| PROCESAMIENTO DE DATOS : CALCULO DE LONGITUD DE DESARROLLO  Universidad Católica<br>ANDRÉS BELLO |                           |              |                                 |                    |                             |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------|
| (1)                                                                                                                                                                                 | (2)                       | (3)          | (4)                             |                    | (5)*                        |                  |
| Fecha                                                                                                                                                                               | Material                  | N° Prueba    | Nombre encargado                |                    | Temperatura del fluido (°C) |                  |
|                                                                                                                                                                                     | PPR                       |              |                                 |                    | 40°C                        |                  |
| (6)                                                                                                                                                                                 | (7)                       | (8)          | (9)                             | (10)               | (11)                        | (12)             |
| Caudal<br>(lps)                                                                                                                                                                     | Diámetro<br>interior (mm) | Area<br>(m²) | Viscosidad<br>Cinematica (m²/s) | Velocidad<br>(m/s) | N° De<br>Reynolds           | Tipo de<br>flujo |
| 3.21                                                                                                                                                                                | 13                        | 0.00013273   | 0.000000661                     | 24.1840174         | 475631.204                  | Turbulento       |
| (13)                                                                                                                                                                                |                           |              |                                 |                    |                             |                  |
| Longitud de desarrollo (m)                                                                                                                                                          |                           |              |                                 |                    |                             |                  |
| 0.51                                                                                                                                                                                |                           |              |                                 |                    |                             |                  |

Anexo N° 5.2: Planilla de Cálculo de longitud de desarrollo

Fuente: Elaboración Propia



En la casilla “HG\_Min” Se escoge el material de la tubería a utilizar: PPR-HG-PVC

En la casilla siguiente: se escoge el diámetro correspondiente al material: (considerar que para HG se debe medir con vernier el diámetro seleccionado)

Se selecciona la temperatura de trabajo y de manera automática ya se selecciona la viscosidad y el cálculo de Longitud de desarrollo.

De esta manera se introducen datos de entrada

Los cálculos fueron separados en Kit N°1 y Kit N° 2 Con la finalidad de comparar valores de energía en diferentes diámetros y diferentes materiales. Ambas tablas contienen ESPA PRISMA 25.4 sistema individual con variador de frecuencia y bombas ESPA PRISMA 24.4 - Sistema en paralelo, con variador de frecuencia, y bomba Pedrollo HF 70B

| VARIADOR DE FRECUENCIA            |         |                                               |                                   |                     |                                                     |         |                                               |                                   |                     |
|-----------------------------------|---------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| ESPA PRISMA 25-4 (una sola bomba) |         |                                               |                                   |                     | ESPA PRISMA 25-4 (2 Bombas funcionando en paralelo) |         |                                               |                                   |                     |
| kW                                | HP      | PRESIÓN<br>MANÓMETR<br>O 1: MENOR<br>A 35 mca | ENERGÍA DE<br>SALIDA AL<br>TANQUE | VELOCIDAD<br>EN KIT | kW                                                  | HP      | PRESIÓN<br>MANÓMETR<br>O 1: MENOR<br>A 35 mca | ENERGÍA DE<br>SALIDA AL<br>TANQUE | VELOCIDAD<br>EN KIT |
| 2.50                              | 2.00    |                                               |                                   |                     | 1.50                                                | 2.00    |                                               |                                   |                     |
| restringiendo presión a 35 mca    |         |                                               |                                   |                     | restringiendo presión a 35 mca                      |         |                                               |                                   |                     |
| RPM =                             | 2531    |                                               |                                   |                     | RPM =                                               | 2531    |                                               |                                   |                     |
| H (m)                             | Q (lpm) | Hl (mca)                                      | Hs (mca)                          | V (m/s)             | H (m)                                               | Q (lpm) | Hl (mca)                                      | Hs (mca)                          | V (m/s)             |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 |                                                     |         | -                                             | -                                 | 0.0                 |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 | 14.3                                                | 176.0   | -15.2                                         | -54.7                             | 7.0                 |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 | 16.1                                                | 170.0   | -11.5                                         | -48.3                             | 6.8                 |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 | 18.8                                                | 160.0   | -5.7                                          | -38.3                             | 6.4                 |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 | 21.3                                                | 150.0   | -0.4                                          | -29.0                             | 6.0                 |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 | 23.5                                                | 140.0   | 4.4                                           | -20.4                             | 5.6                 |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 | 25.5                                                | 130.0   | 8.8                                           | -12.5                             | 5.2                 |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 | 27.2                                                | 120.0   | 12.8                                          | -5.3                              | 4.8                 |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 | 28.7                                                | 110.0   | 16.4                                          | 1.3                               | 4.4                 |
|                                   |         | -                                             | -                                 | 0.0                 | 30.0                                                | 100.0   | 19.6                                          | 7.2                               | 4.0                 |
| 14.6                              | 90.0    | 5.9                                           | -4.0                              | 3.6                 | 31.1                                                | 90.0    | 22.5                                          | 12.5                              | 3.6                 |
| 20.5                              | 80.0    | 13.4                                          | 5.7                               | 3.2                 | 32.1                                                | 80.0    | 25.0                                          | 17.2                              | 3.2                 |
| 25.2                              | 70.0    | 19.5                                          | 13.6                              | 2.8                 | 32.9                                                | 70.0    | 27.2                                          | 21.4                              | 2.8                 |
| 28.7                              | 60.0    | 24.2                                          | 20.0                              | 2.4                 | 33.6                                                | 60.0    | 29.1                                          | 24.9                              | 2.4                 |
| 31.3                              | 50.0    | 27.8                                          | 25.1                              | 2.0                 | 34.2                                                | 50.0    | 30.7                                          | 28.0                              | 2.0                 |
| 33.1                              | 40.0    | 30.4                                          | 28.9                              | 1.6                 | 34.7                                                | 40.0    | 32.0                                          | 30.5                              | 1.6                 |
| 34.4                              | 30.0    | 32.3                                          | 31.7                              | 1.2                 | 35.1                                                | 30.0    | 33.1                                          | 32.5                              | 1.2                 |
| 35.2                              | 20.0    | 33.6                                          | 33.7                              | 0.8                 | 35.5                                                | 20.0    | 33.9                                          | 33.9                              | 0.8                 |
| 35.8                              | 10.0    | 34.5                                          | 35.0                              | 0.4                 | 35.8                                                | 10.0    | 34.5                                          | 34.9                              | 0.4                 |
| 36.4                              | 0.0     | -                                             | -                                 | 0.0                 | 36.1                                                | 0.0     | -                                             | -                                 | 0.0                 |

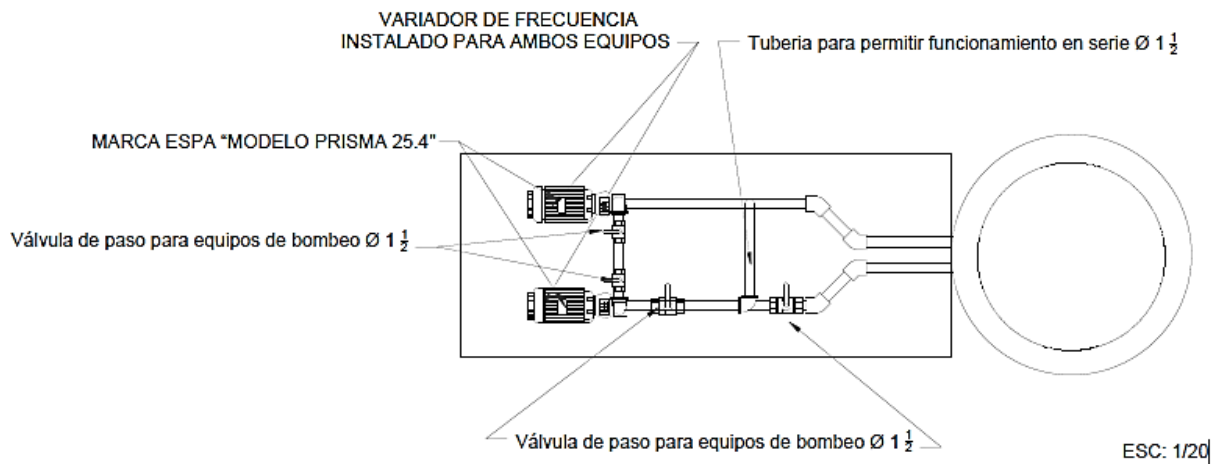
**Anexo N° 6.2** Calculo de presiones a la salida de la bomba para equipos existentes haciendo uso del variador de frecuencia  
**Fuente:** Elaboración Propia

| BOMBA MARCA PEDROLLO MODELO HFm 70B |         |                                               |                                   |                     |
|-------------------------------------|---------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| kW                                  | HP      | PRESIÓN<br>MANÓMETR<br>O 1: MENOR<br>A 35 mca | ENERGÍA DE<br>SALIDA AL<br>TANQUE | VELOCIDAD<br>EN KIT |
| 1.50                                | 2.00    |                                               |                                   |                     |
| valores según catalogo<br>PEDROLLO  |         |                                               |                                   |                     |
| RPM =                               | 3450    |                                               |                                   |                     |
| H (m)                               | Q (lpm) | H1 (mca)                                      | Hs (mca)                          | V (m/s)             |
| 26.5                                | 190.0   | -7.6                                          | -53.7                             | 7.6                 |
| 27.0                                | 180.0   | -3.7                                          | -45.1                             | 7.2                 |
| 27.6                                | 170.0   | 0.0                                           | -36.9                             | 6.8                 |
| 28.1                                | 160.0   | 3.5                                           | -29.1                             | 6.4                 |
| 28.6                                | 150.0   | 6.8                                           | -21.8                             | 6.0                 |
| 29.0                                | 140.0   | 9.9                                           | -15.0                             | 5.6                 |
| 29.4                                | 130.0   | 12.7                                          | -8.7                              | 5.2                 |
| 29.7                                | 120.0   | 15.3                                          | -2.8                              | 4.8                 |
| 30.1                                | 110.0   | 17.8                                          | 2.7                               | 4.4                 |
| 30.5                                | 100.0   | 20.1                                          | 7.7                               | 4.0                 |
| 30.8                                | 90.0    | 22.2                                          | 12.2                              | 3.6                 |
| 31.1                                | 80.0    | 24.0                                          | 16.2                              | 3.2                 |
| 31.4                                | 70.0    | 25.7                                          | 19.9                              | 2.8                 |
| 31.7                                | 60.0    | 27.2                                          | 23.0                              | 2.4                 |
| 32.0                                | 50.0    | 28.5                                          | 25.8                              | 2.0                 |
| 32.2                                | 40.0    | 29.5                                          | 28.0                              | 1.6                 |
| 32.4                                | 30.0    | 30.4                                          | 29.7                              | 1.2                 |
| 32.6                                | 20.0    | 31.0                                          | 31.0                              | 0.8                 |
| 32.8                                | 10.0    | 31.5                                          | 31.9                              | 0.4                 |
| 33.0                                | 0.0     | -                                             | -                                 | 0.0                 |

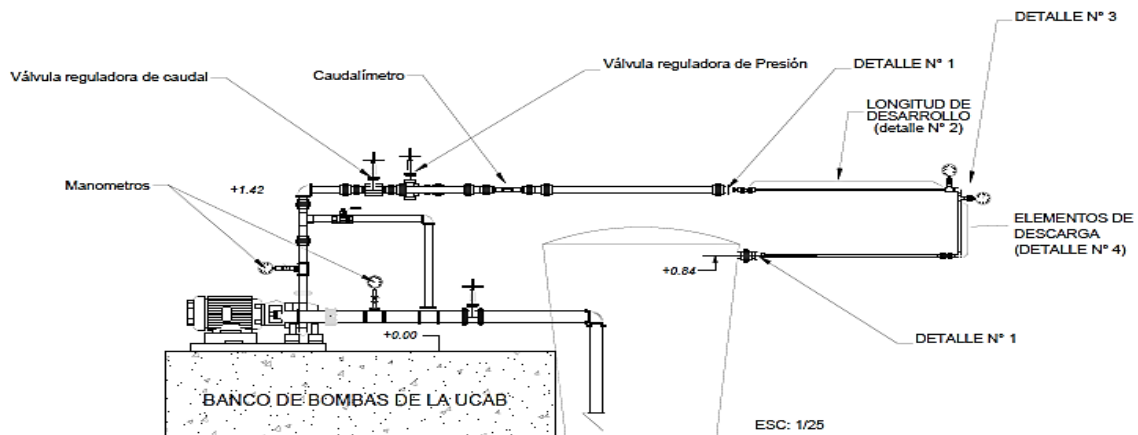
**Anexo N° 6. 3 :** Cálculo de presiones a la salida de la bomba para Bomba Pedrollo HF 70B  
haciendo uso del variador de frecuencia

**Fuente:** Elaboración Propia

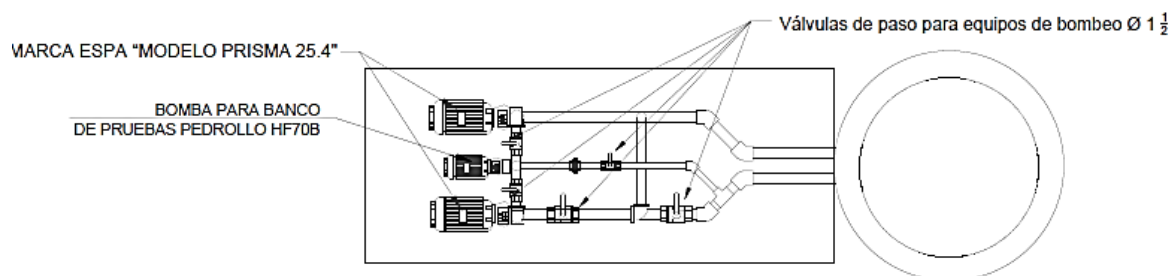
## ANEXO N°7



**Anexo N° 7.1** Propuesta (a) Ubicación de equipos para Sistema existente Bombas ESPA PRISMA 25.4 con Variador de Frecuencia  
**Fuente:** Elaboración Propia



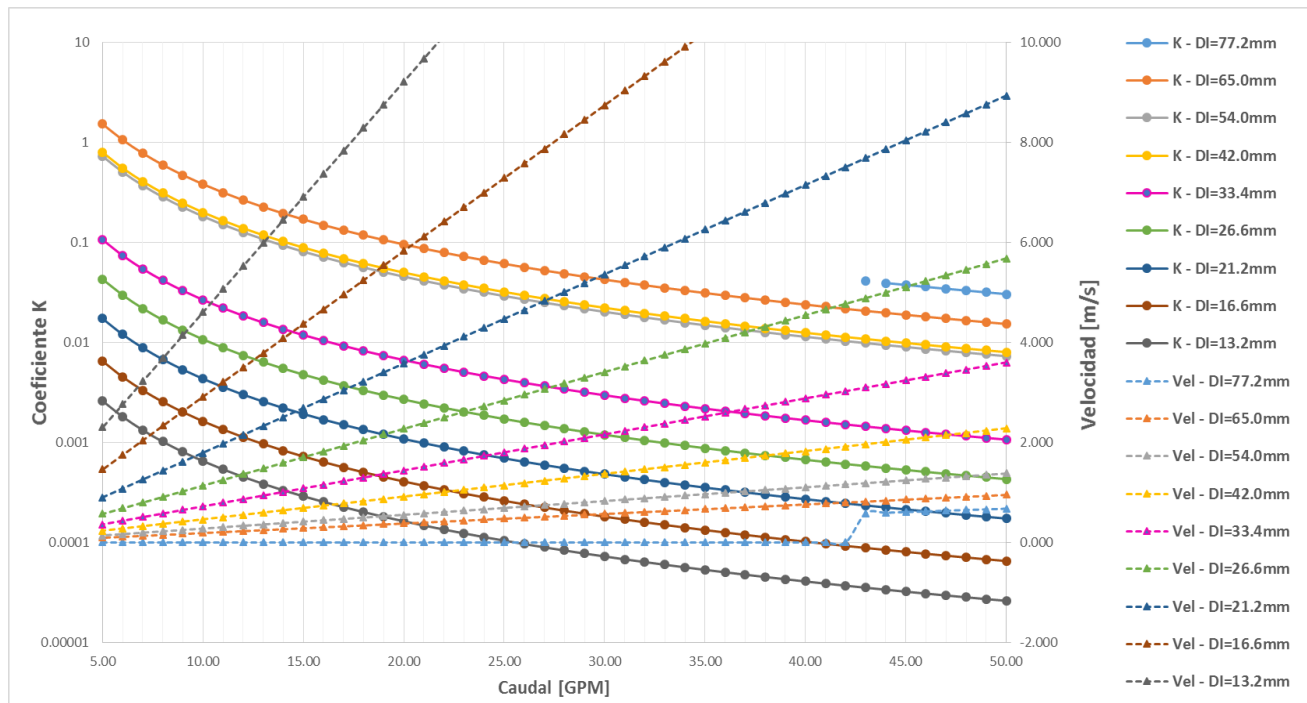
**Anexo N° 7.2** Propuesta (b) Ubicación de equipos para válvula reguladora de presión  
**Fuente:** Elaboración Propia



ESC: 1/20

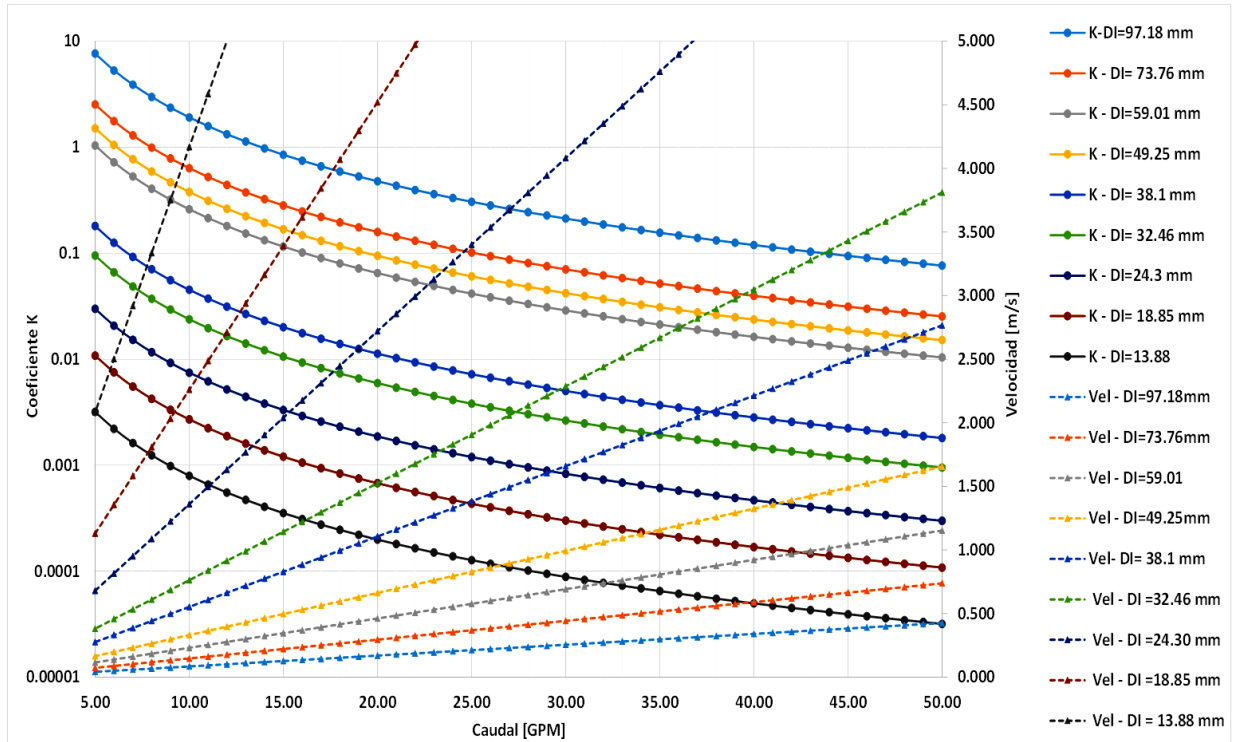
**Anexo N° 7.3:** Propuesta (c) Ubicación de equipos para Bomba Pedrollo HF 70B.  
**Fuente:** Elaboración Propia

## ANEXO N° 8



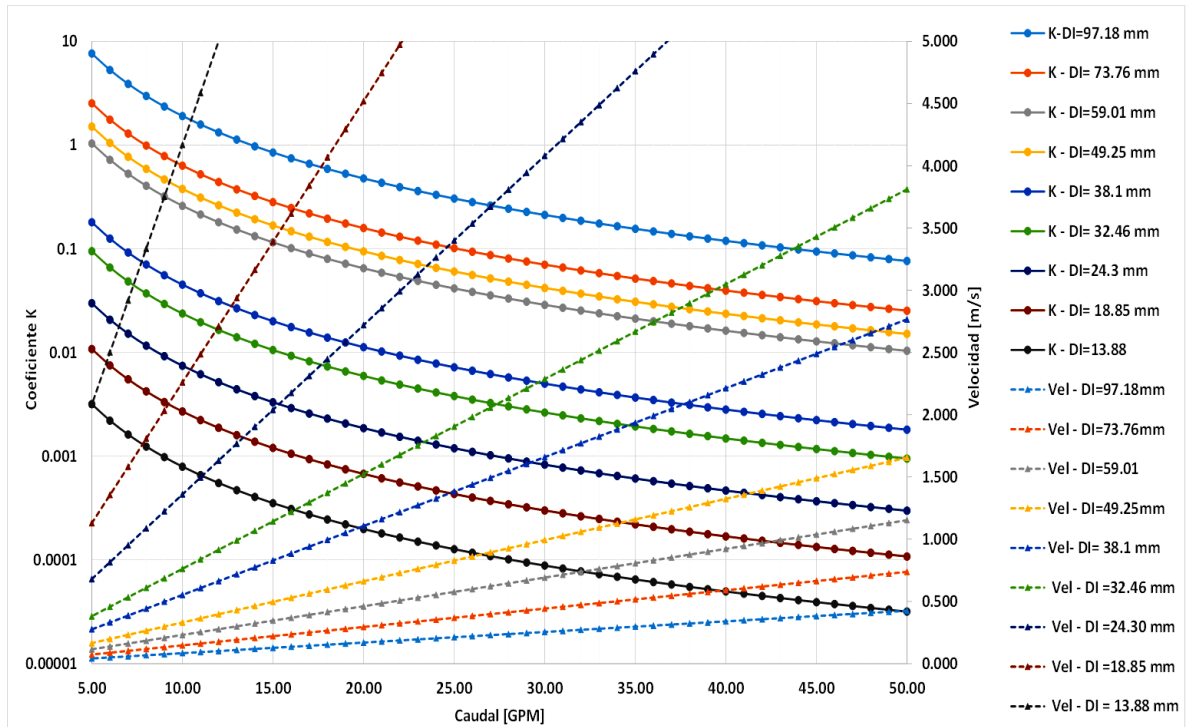
**Anexo N° 8.1:** GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI EN PPR

**Fuente:** Elaboración Propia



**Anexo N° 8.2:** GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI EN PVC

**Fuente:** Elaboración Propia



**Anexo N° 8.3:** GRÁFICA DE PRECISIÓN DEL K PARA UNA CAÍDA DE PRESIÓN DE 0.001 PSI EN HG  
**Fuente:** Elaboración Propia

# **CODO 90° : NORMAL O REDUCIDO (CACHIMBO) EN PPR-PVC-HG**



PP-R

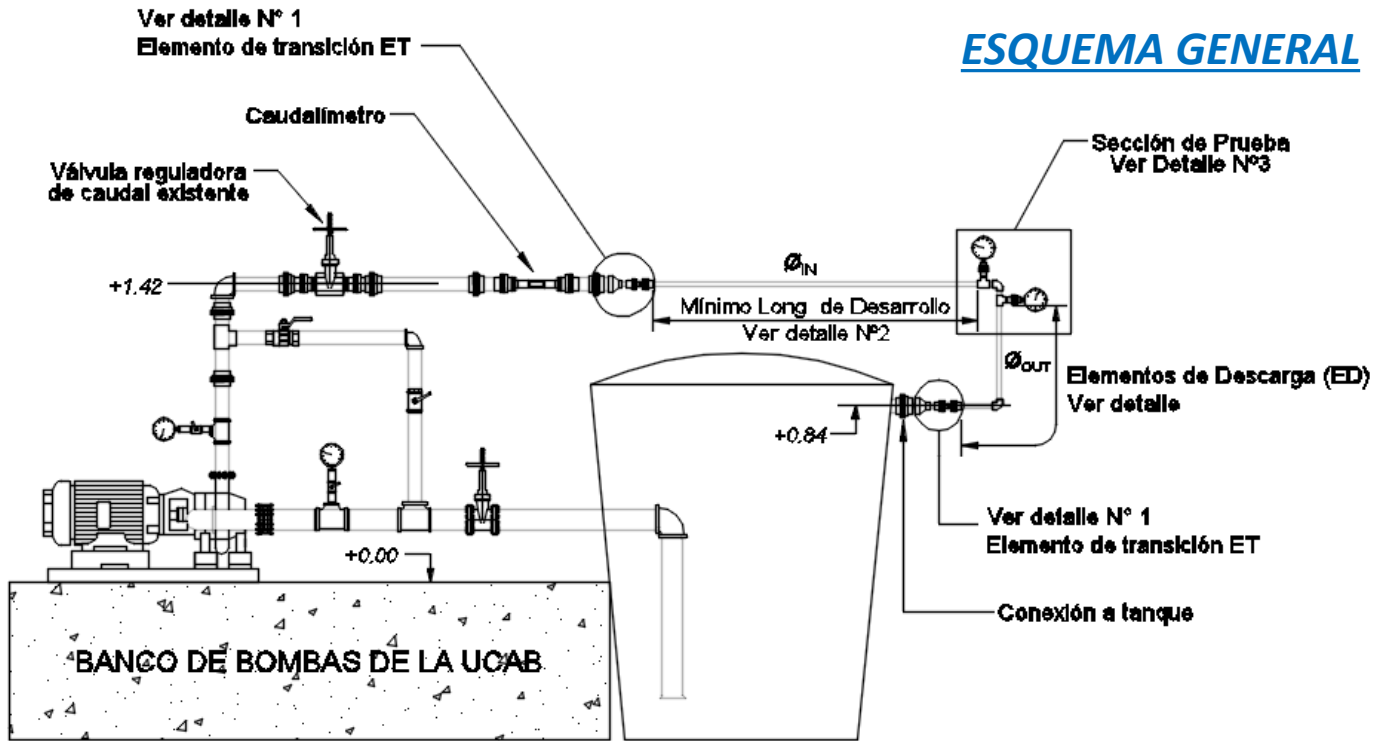


PVC

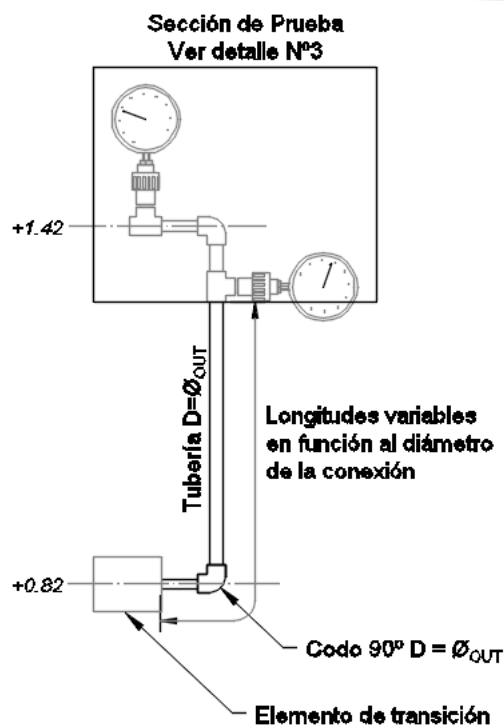


HG

## **ESQUEMA GENERAL**



## **ELEMENTOS DE DESCARGA**



# CODO 45° : EN PPR-PVC-HG



Ver detalle N° 1  
Elemento de transición ET

Caudalímetro

Válvula reguladora  
de caudal existente

+1.42

$\varnothing_{IN}$

Mínimo Long. de Desarrollo  
Ver detalle N°2

## ESQUEMA GENERAL

Sección de Prueba  
Ver Detalle N°3

Elementos de Descarga (ED)  
Ver detalle

Ver detalle N° 1  
Elemento de transición ET

Conexión a tanque

+0.84

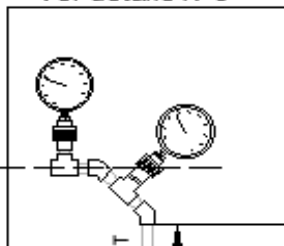
BANCO DE BOMBAS DE LA UCAB

+0.00

## ELEMENTOS DE DESCARGA

Sección de Prueba  
Ver detalle N°3

+1.42



Longitudes variables  
en función al diámetro  
de la conexión

Tubería  $D = \varnothing_{OUT}$

+0.84

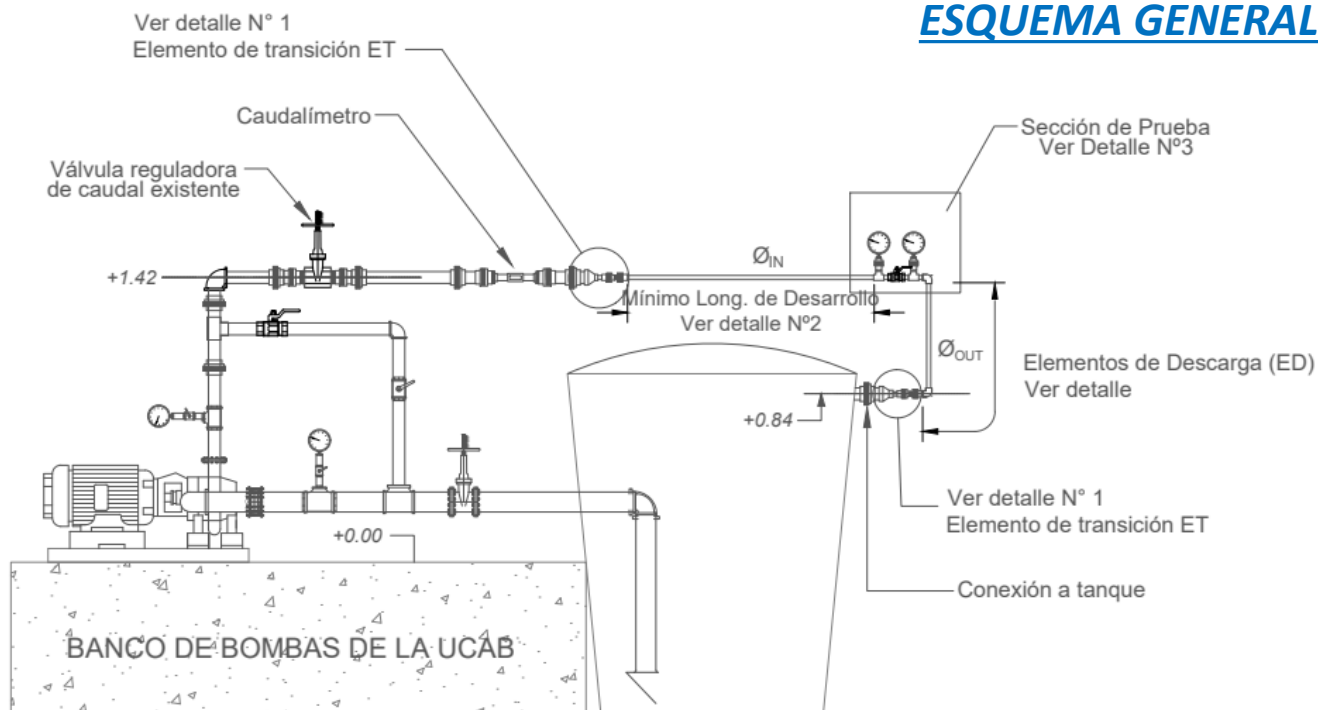
Codo 90°  $D = \varnothing_{OUT}$

Elemento de transición

# VÁLVULAS DE PASO ESFÉRICAS

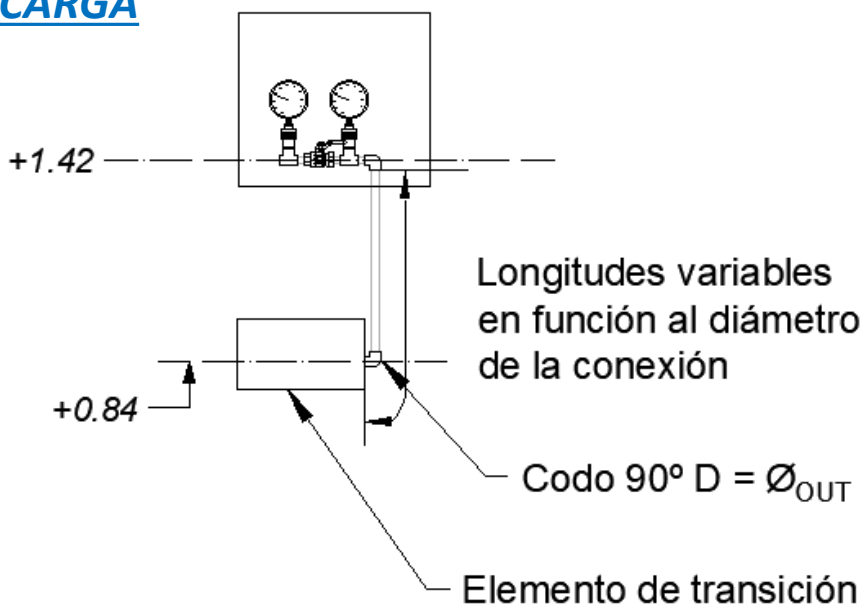


## ESQUEMA GENERAL



## ELEMENTOS DE DESCARGA

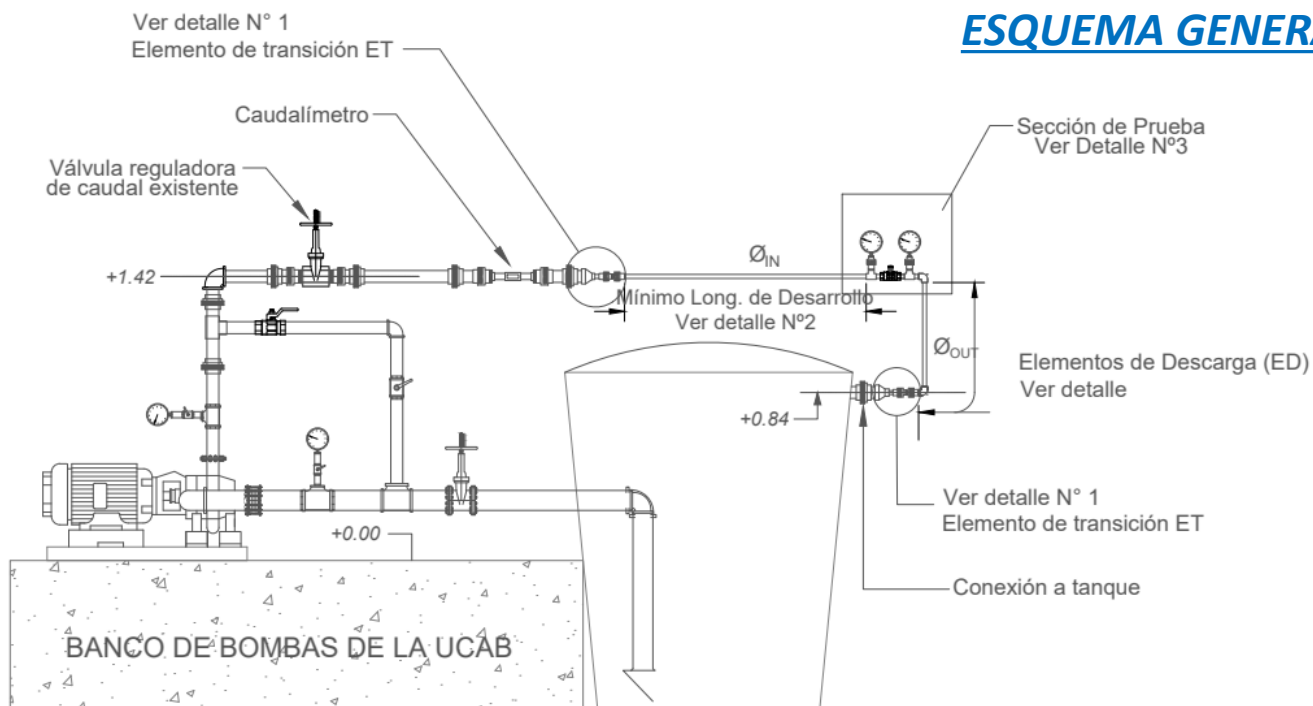
### Sección de Prueba Ver detalle N°3



# VÁLVULAS DE PASO OCULTA

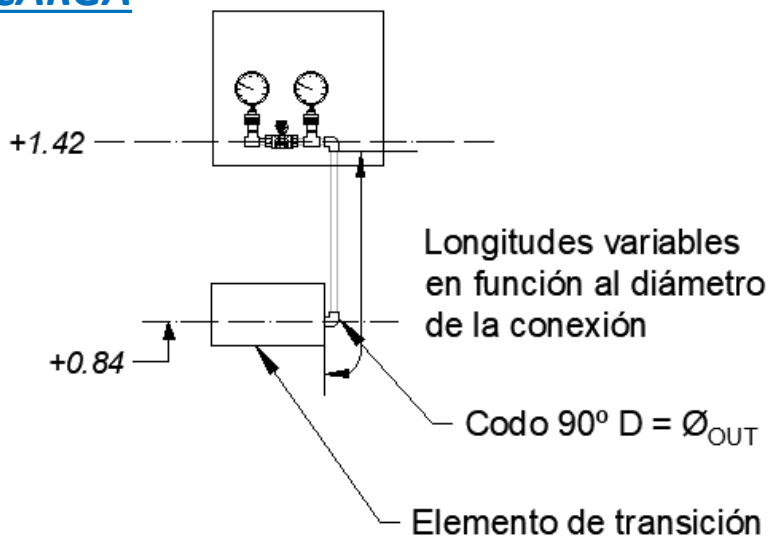


## ESQUEMA GENERAL



## ELEMENTOS DE DESCARGA

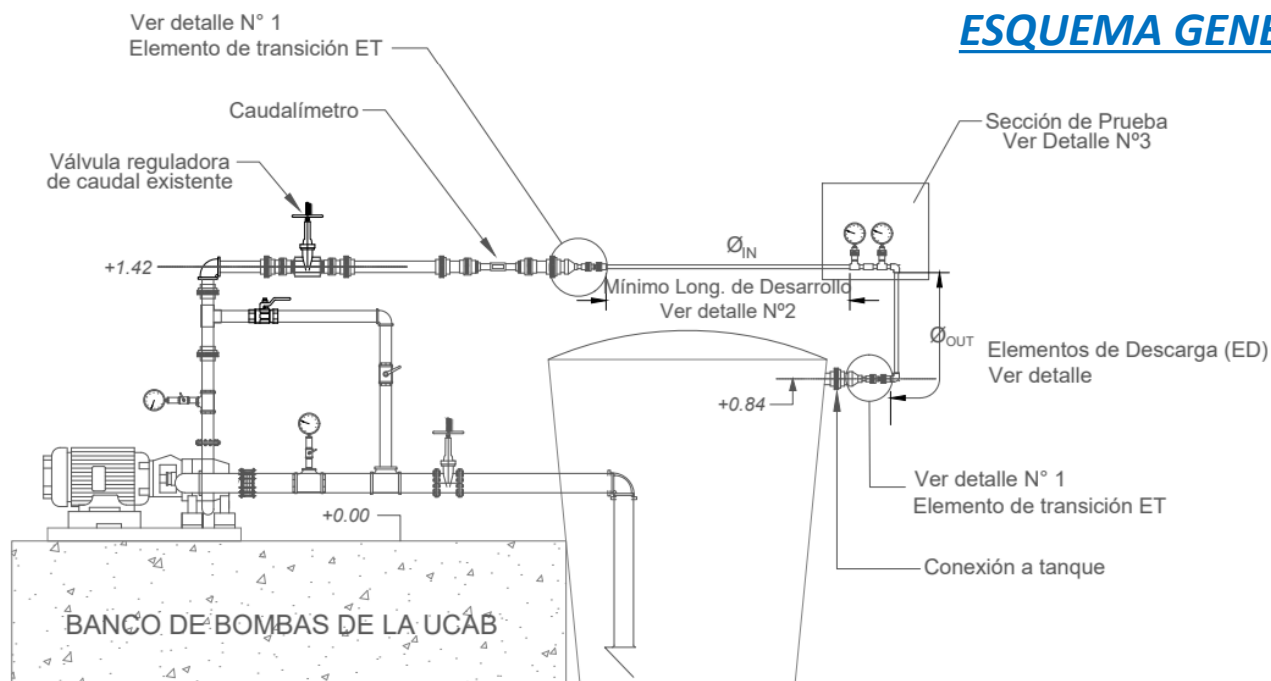
Sección de Prueba  
Ver detalle N°3



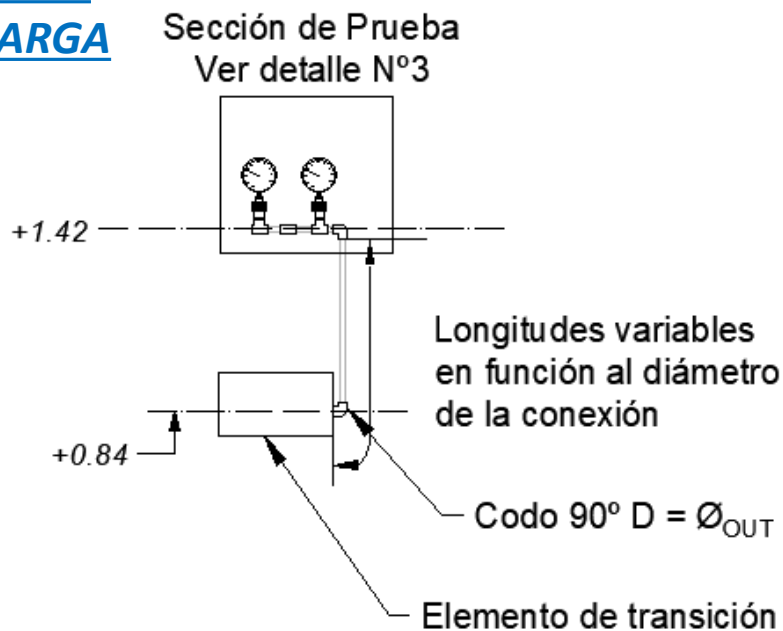
# ANILLOS LISOS: PPR-PVC-HG



## ESQUEMA GENERAL



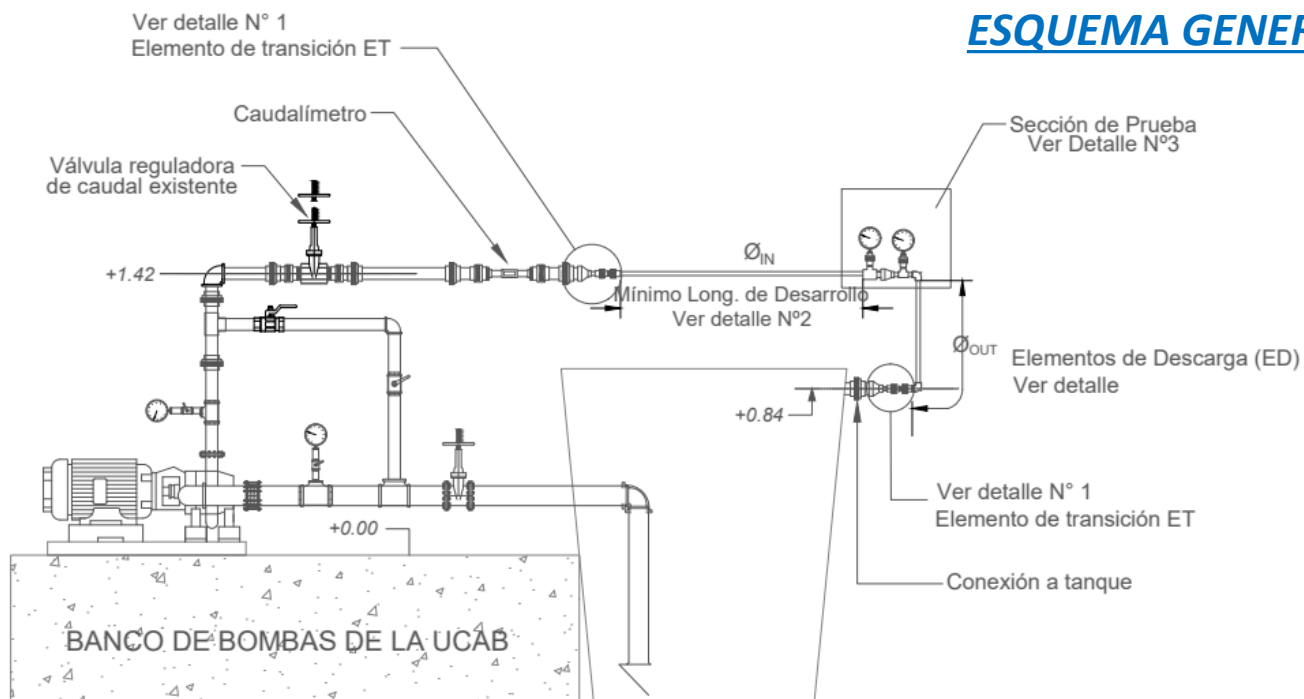
## ELEMENTOS DE DESCARGA



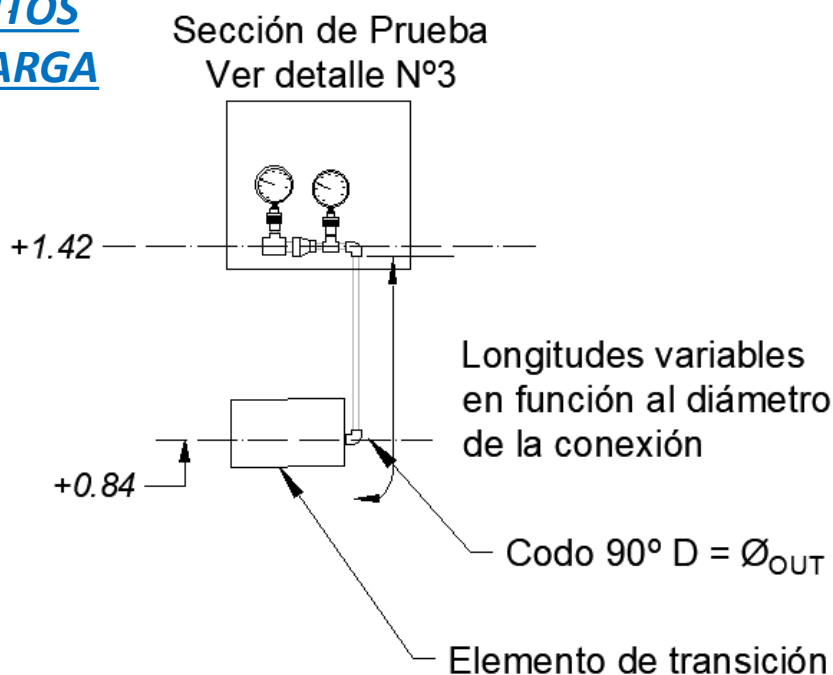
# REDUCCIONES: INTERNA / EXTERNA EN PPR-PVC-HG



## ESQUEMA GENERAL



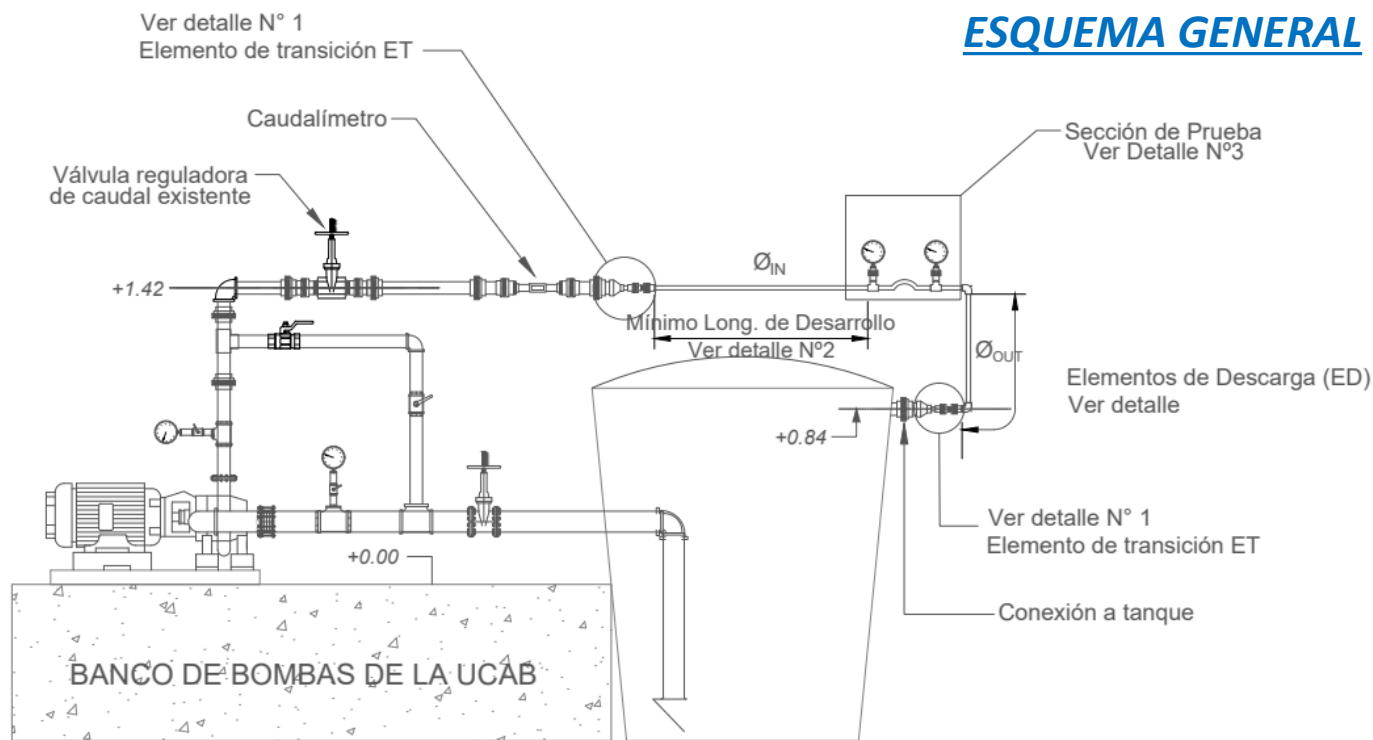
## ELEMENTOS DE DESCARGA



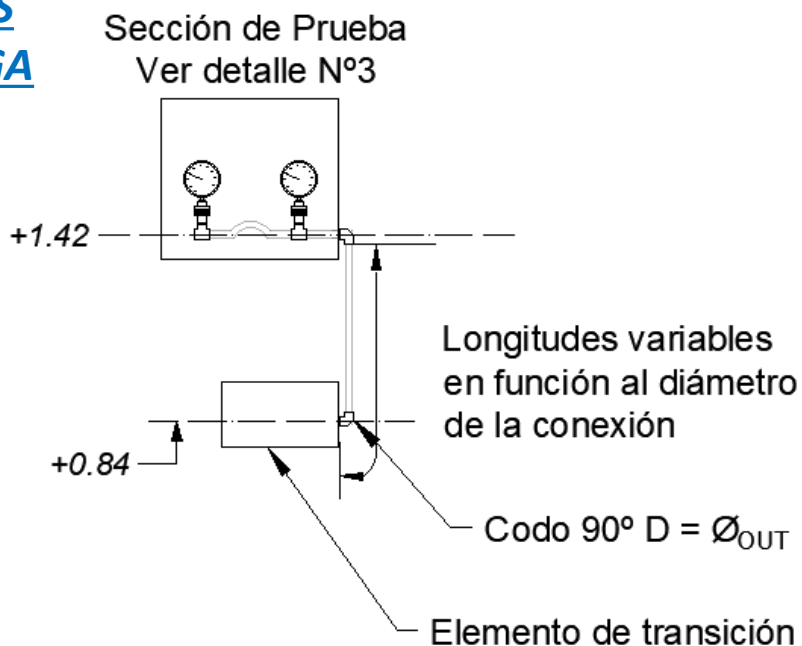
# **SOBREPASO LARGO EN PPR**



## **ESQUEMA GENERAL**



## **ELEMENTOS DE DESCARGA**



# TEE : NORMAL, REDUCIDA, CON ADAPTADOR ROSCADO (PPR)



PP-R



PVC



HG



## ESQUEMA GENERAL

Ver detalle N° 1

Elemento de transición ET

Caudalímetro existente

Válvula reguladora de caudal existente

+1.42

Sección de Prueba  
Ver Detalle N°3

Mínimo Long. de Desarrollo  
Ver detalle N°2

$L_{min} = 8 \cdot \phi_{OUT2}$   
 $D = \phi_{OUT1}$

Conexión Caudalímetro (CC)  
Ramal 1 - Ver Detalle N°4

$L_{min} = \phi_{OUT1}$   
 $D = \phi_{OUT1}$

Elementos de Descarga (ED)  
Ver detalle

Válvula de esfera  $D = \phi_{OUT1}$

Ver detalle N° 1

Elemento de transición ET

Conexión a tanque

BANCO DE BOMBAS DE LA UCAB

+0.00

+0.84

## ELEMENTOS DE DESCARGA

Sección de Prueba  
Ver detalle N°3

Conexión Caudalímetro (CC)  
Ramal 1 - Ver Detalle N°4

+1.42

Elementos de Descarga Ramal 2  
 $\phi_{OUT2}$  Longitud = Var.

$\phi_{OUT1} L = 8 \cdot \phi_{OUT1}$

+0.82

$\phi_{OUT1}$  Longitud = Var.

Elementos de Descarga Ramal 1

Elementos de Descarga

Elemento de transición (ET)

Elementos de Descarga Ramal 1

# TIPO CRUZ :



PP-R

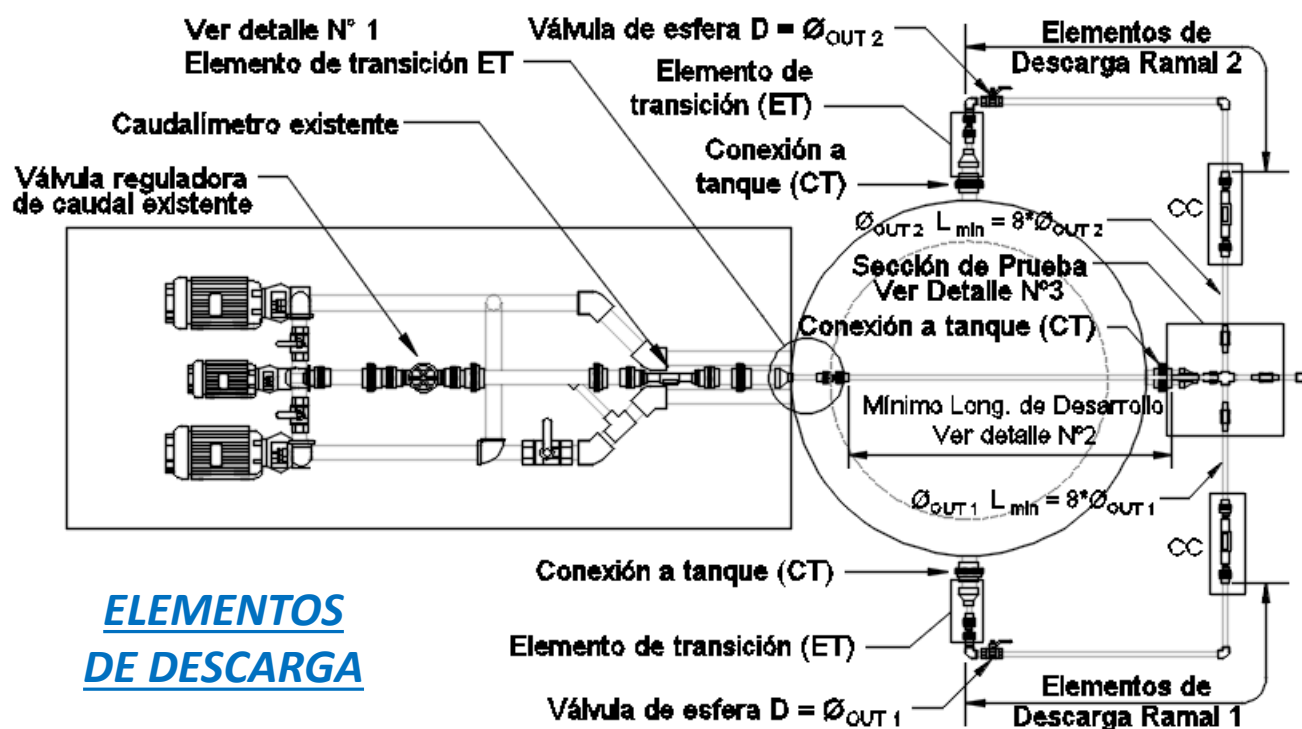
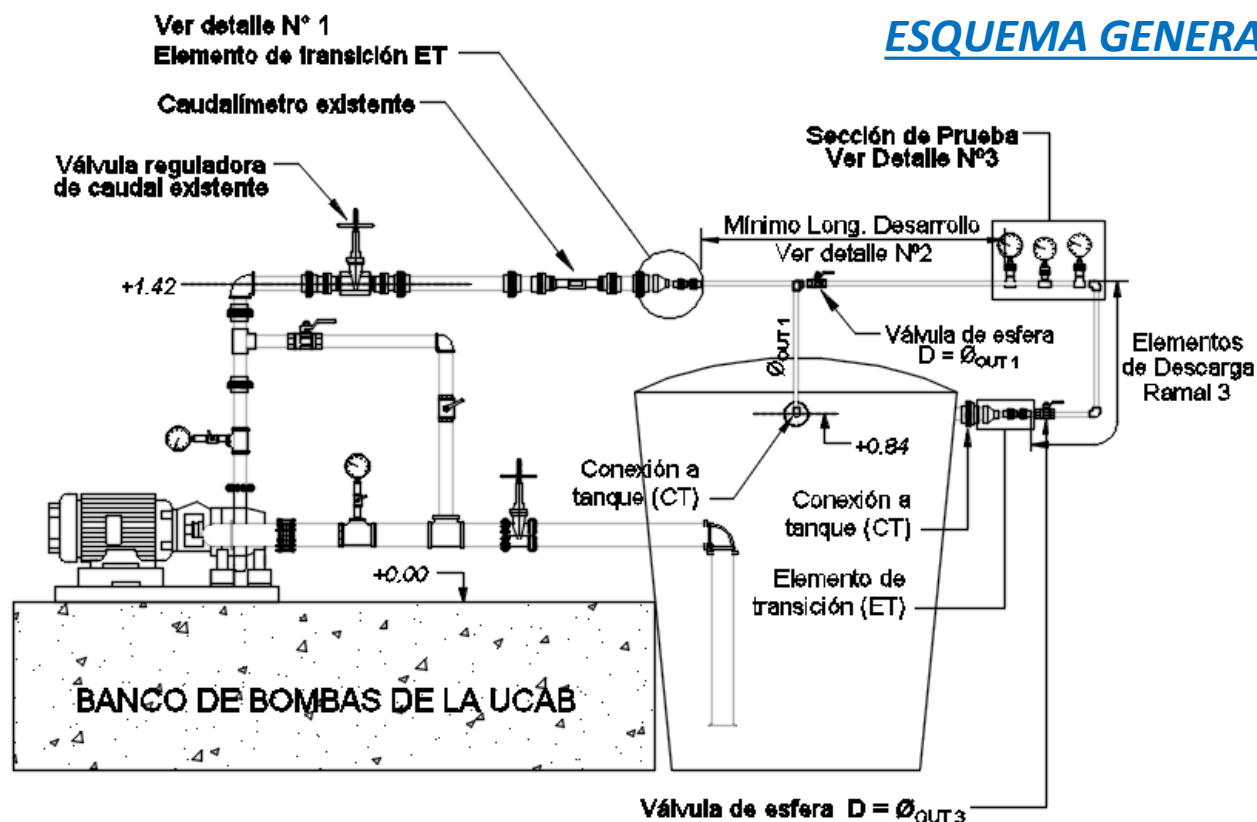


PVC



HG

## ESQUEMA GENERAL



## ELEMENTOS DE DESCARGA

# CODO 3 VÍAS :



PP-R

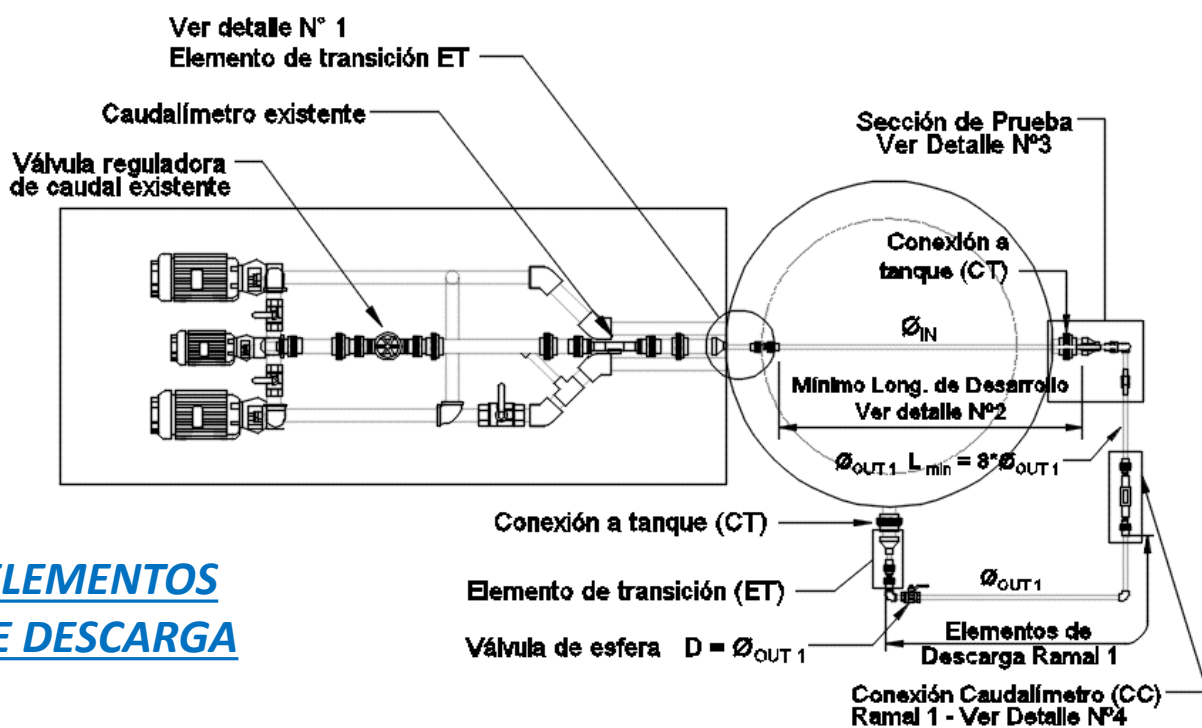
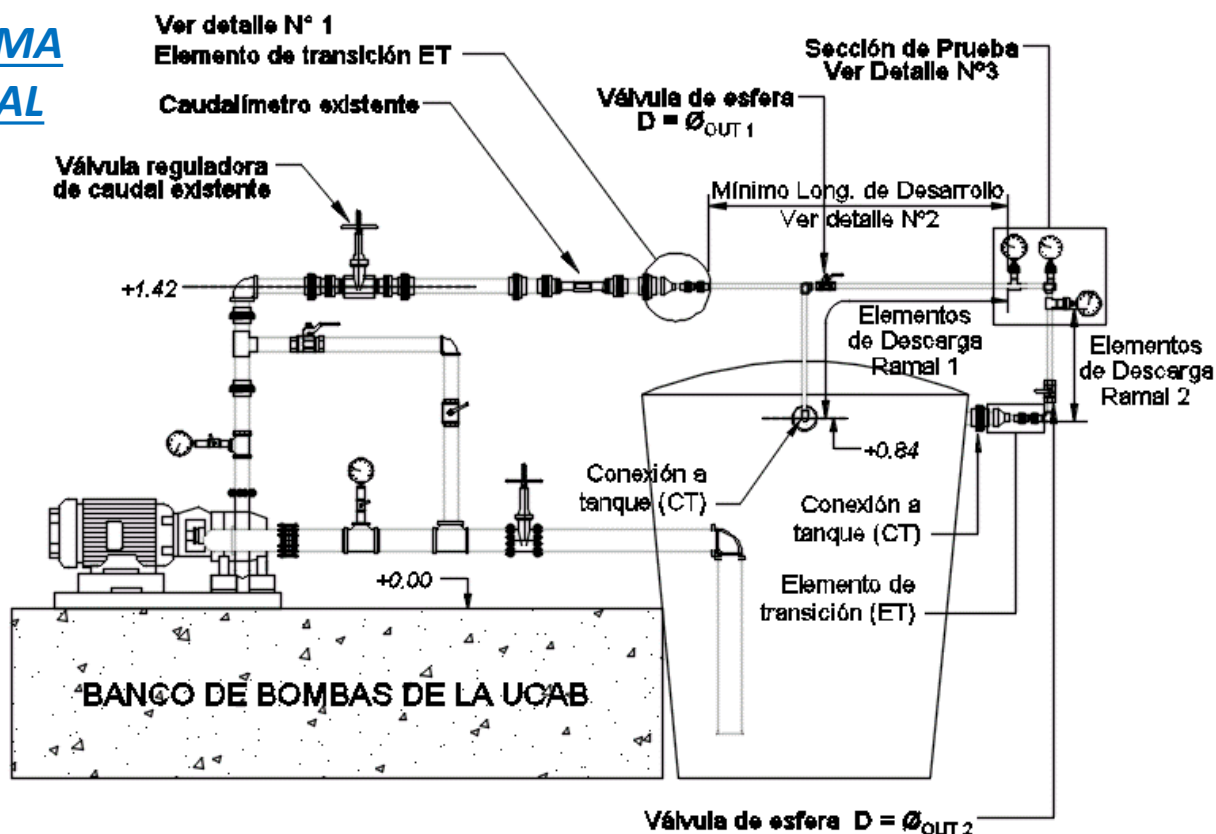


PVC



HG

## ESQUEMA GENERAL



## ELEMENTOS DE DESCARGA

# **TEE : NORMAL, REDUCIDA, CON ADAPTADOR ROSCADO (PPR)** **SOLO FLUJOS CRUZADOS**



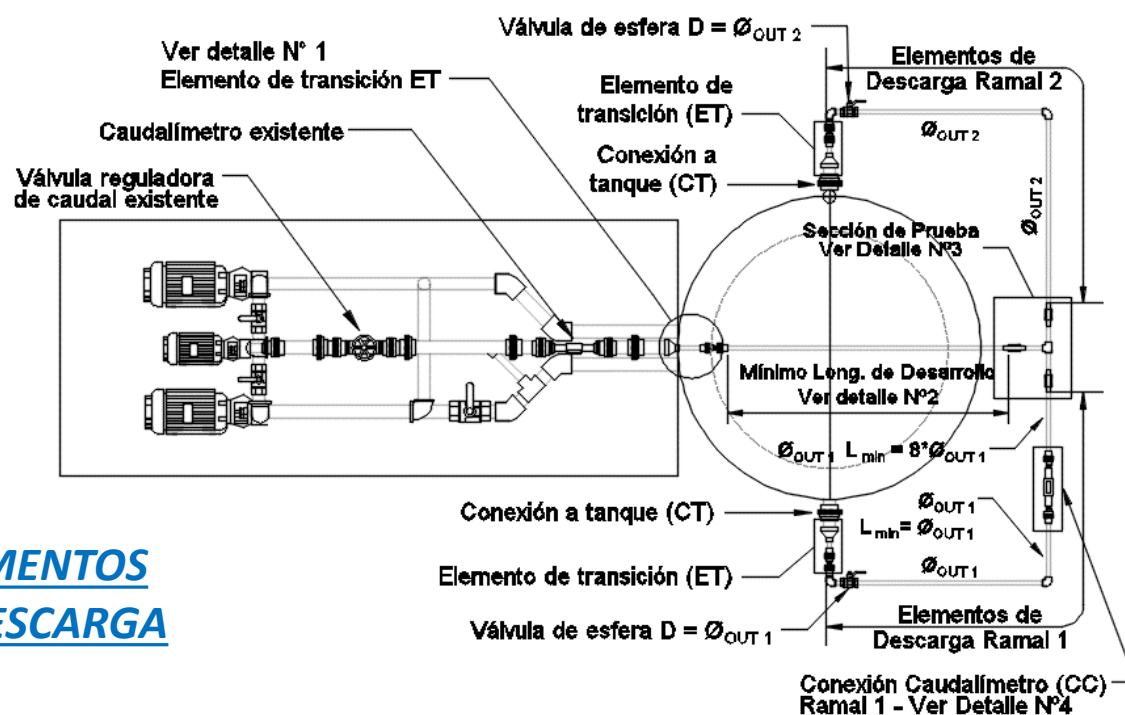
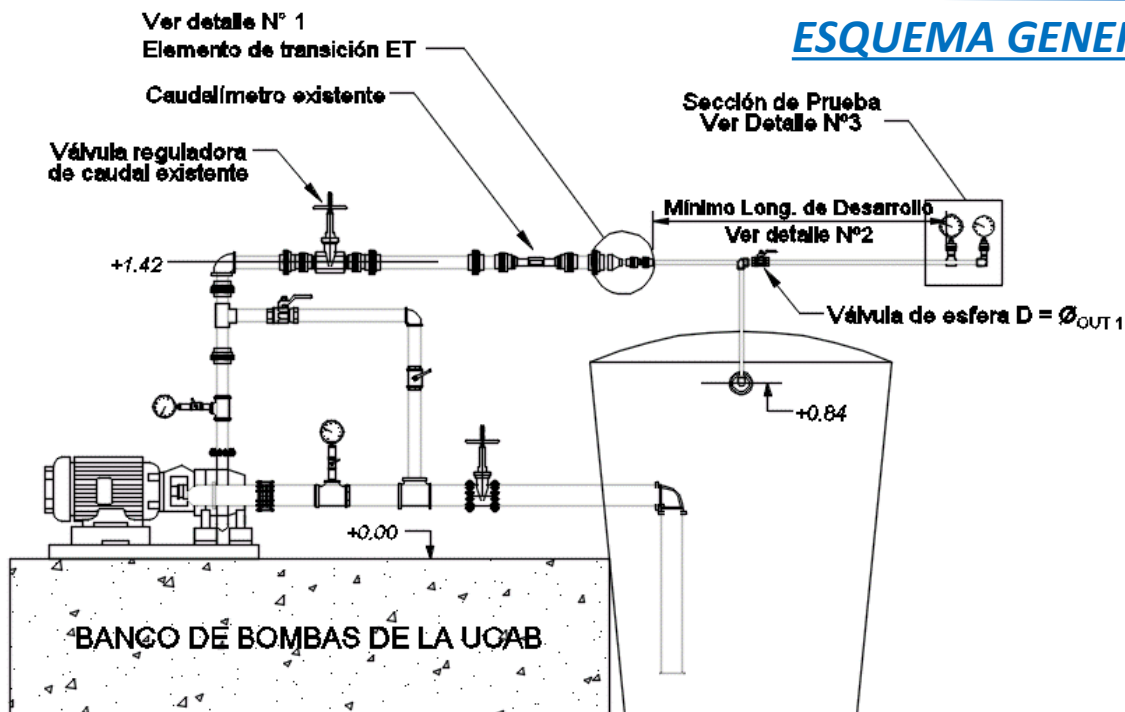
PP-R



PVC

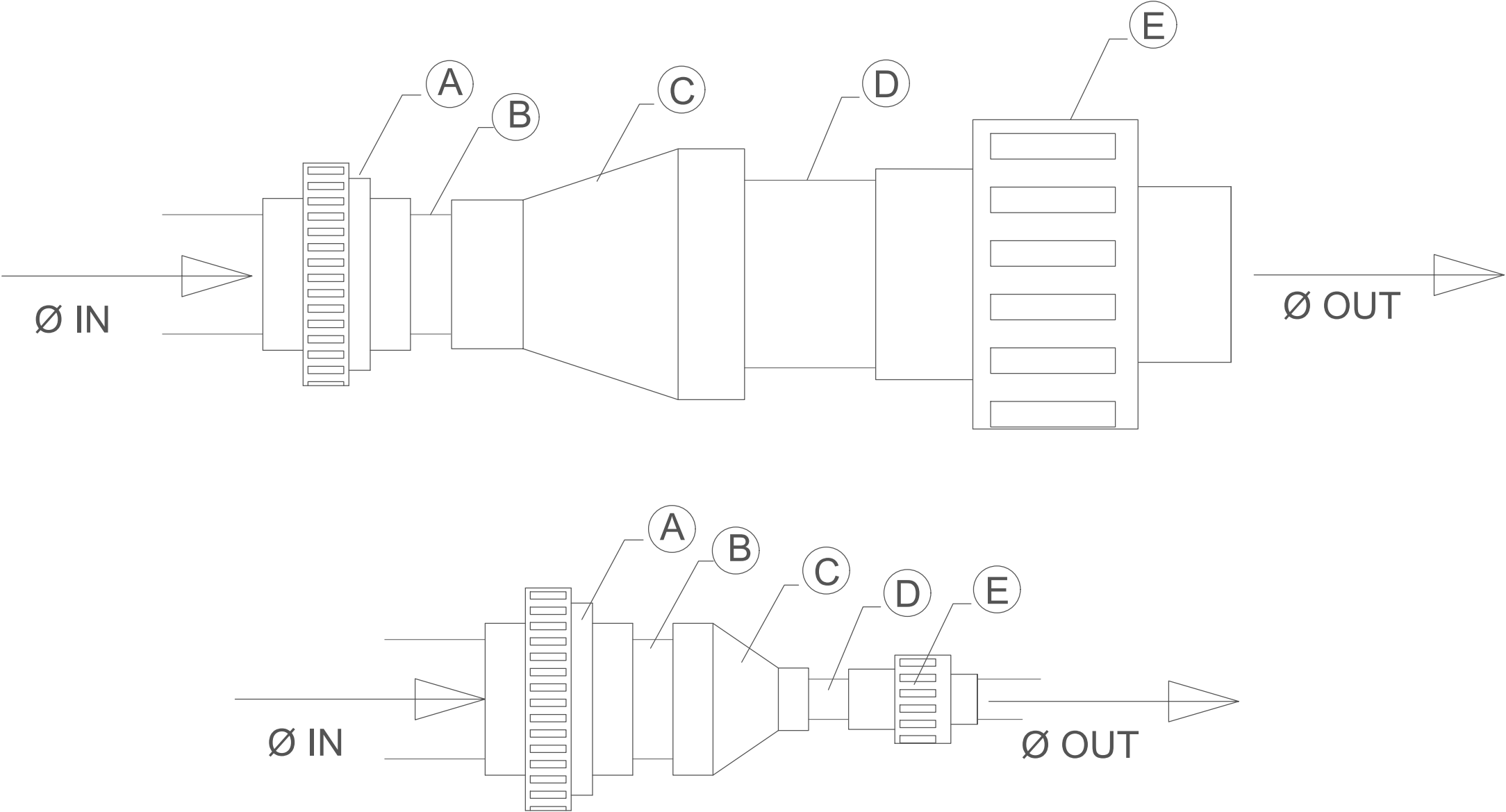


HG



**ELEMENTOS**  
**DE DESCARGA**

DETALLE N° 1 ELEMENTOS DE TRANSICIÓN



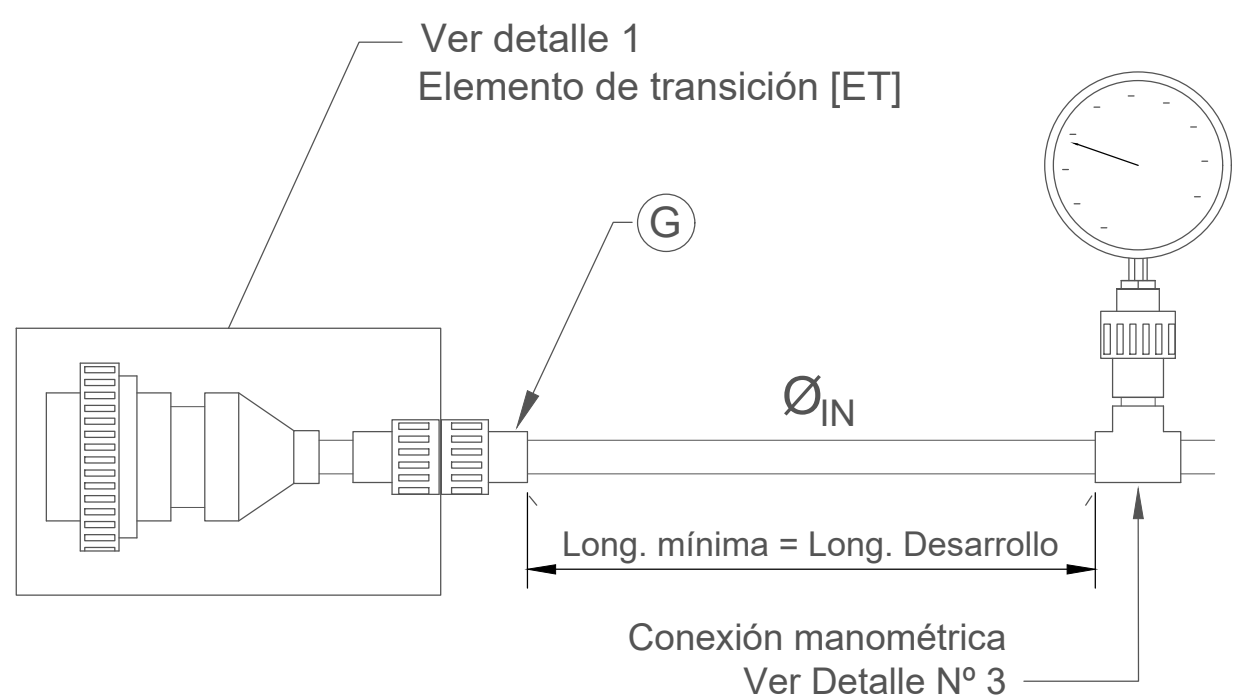
Elemento de transición (ET)  
Material: PPR

|             | A               | B     | C                                     | D                | E                     |
|-------------|-----------------|-------|---------------------------------------|------------------|-----------------------|
| Descripción | Unión Universal | Niple | Reducción /Expansión                  | Niple            | Conector Rosca Hembra |
| ϕ (mm)      | 50              | 50    | 50 Ø <sub>IN</sub> / Ø <sub>OUT</sub> | Ø <sub>OUT</sub> | Ø <sub>OUT</sub>      |
| L(m)        | ----            | 0.08  | ----                                  | 0.08             | ----                  |

Ø<sub>OUT</sub> = Diámetro conexión a evaluar

ESC: S/E

# DETALLE N° 2 LONGITUD DE DESARROLLO



## Leyenda

- G = Conector rosca macho
- $\varnothing_{IN}$  = Diámetro de entrada de la conexión a evaluar

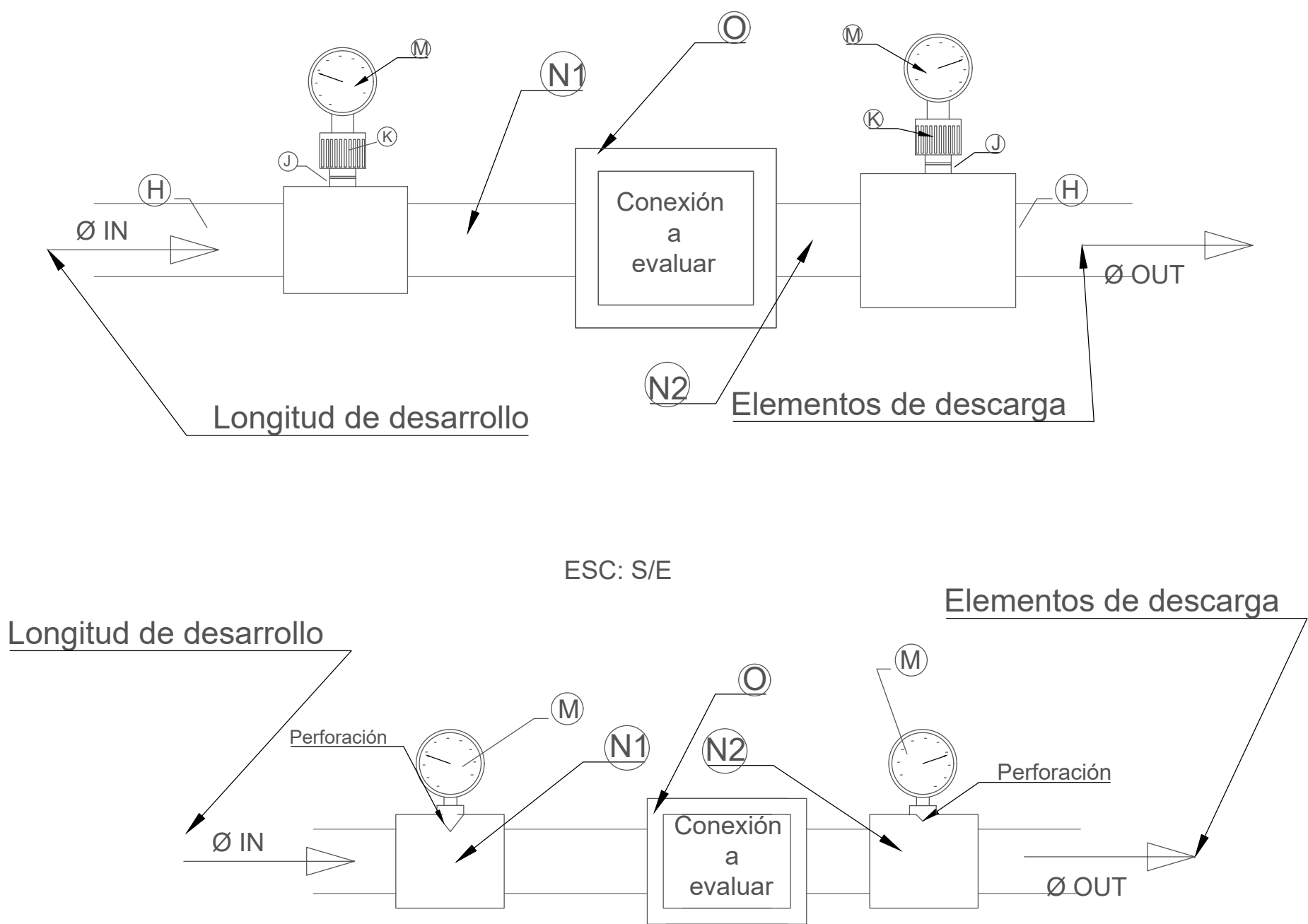
## Longitud de desarrollo (Ld)

| $\varnothing_{IN}$  |                   |                   | Longitud de desarrollo <sup>(1)</sup><br>[m] | Diámetro Conect. Rosca Macho (G) [pulg] |
|---------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|
| D Nominal<br>[pulg] | D Interno<br>[mm] | D Externo<br>[mm] |                                              |                                         |
| 1/2                 | 13.2              | 20                | 0.65                                         | $\varnothing_{IN}$                      |
| 3/4                 | 16.6              | 25                | 0.75                                         |                                         |
| 1                   | 21.2              | 32                | 0.90                                         |                                         |
| 1 1/4               | 26.6              | 40                | 1.10                                         |                                         |
| 1 1/2               | 33.4              | 50                | 1.25                                         |                                         |
| 2                   | 42                | 63                | 1.50                                         |                                         |
| 2 1/2               | 54                | 75                | 1.85                                         |                                         |
| 3                   | 65                | 90                | 2.10                                         |                                         |
| 4                   | 77.2              | 110               | 2.40                                         |                                         |
| 6                   | 120.4             | 160               | 3.45                                         |                                         |

## Notas

<sup>(1)</sup> Valor calculado para tuberías PP-R con fluido a temperatura de 40°C

# DETALLE N° 3 SECCIÓN DE PRUEBA



Se recomienda perforar el tubo colocar un "manguito adaptador rosca hembra" e instalar el manómetro en Diámetros de tuberías mayores a 63 mm = 2 "

Las distancias N1 Y N2 vienen de acuerdo a las normas ANSI/ISA - S75.02-1988

Conexión manométrica (CM)

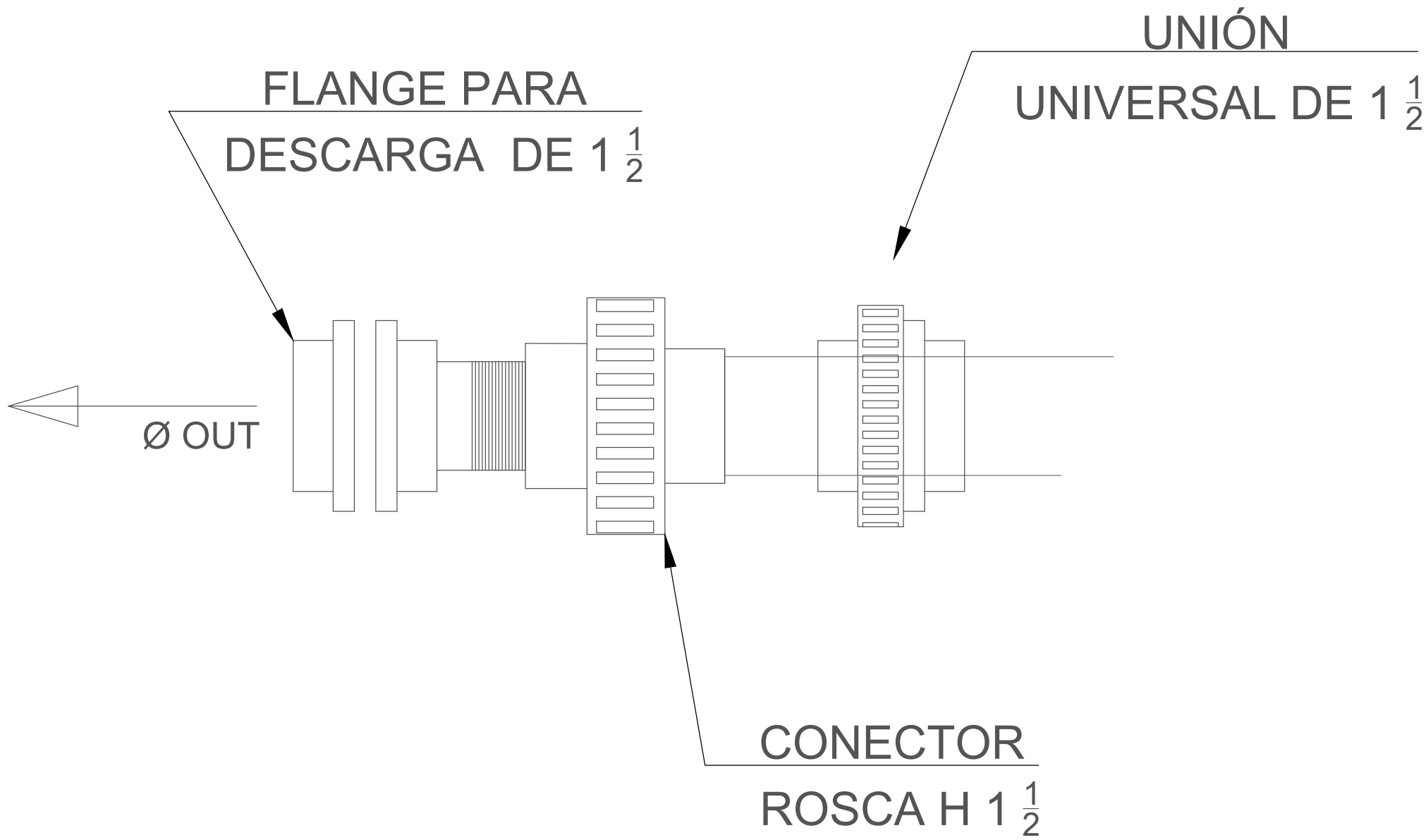
| Leyenda | Descripcion           | ϕ(mm)                                                                | L(m)             | Material         |
|---------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
| H       | Tee reducida lisa     | 20x20x20<br>20x25x20<br>32x20x32<br>40x20x40<br>50x20x50<br>63x20x63 |                  | PPR<br>PVC<br>HG |
| J       | Niple                 | 20                                                                   | Soldadura a tope | PPR<br>PVC<br>HG |
| K       | Conector rosca hembra | 20                                                                   |                  | PPR<br>PVC<br>HG |
| M       | Manómetro             | $\frac{1}{2}$                                                        |                  |                  |

Conexión /conjunto de conexiones a evaluar (CE)

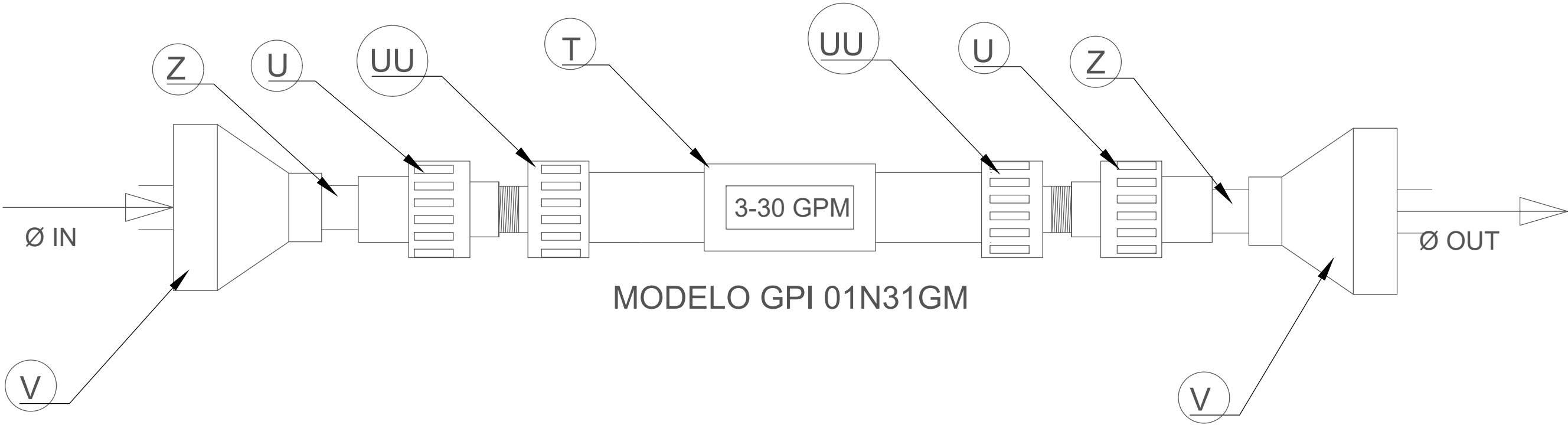
|             | N1              | O                  | N2               |
|-------------|-----------------|--------------------|------------------|
| Descripcion | Niple           | Conexión a evaluar | Niple            |
| ϕ(mm)       | Ø <sub>IN</sub> | Ø <sub>OUT</sub>   | Ø <sub>OUT</sub> |
| L(m)        | 2 D*            | ----               | 6 D*             |

Ø: Diámetro variable

DETALLE N° 4 CONEXIÓN DE DESCARGA A TANQUE



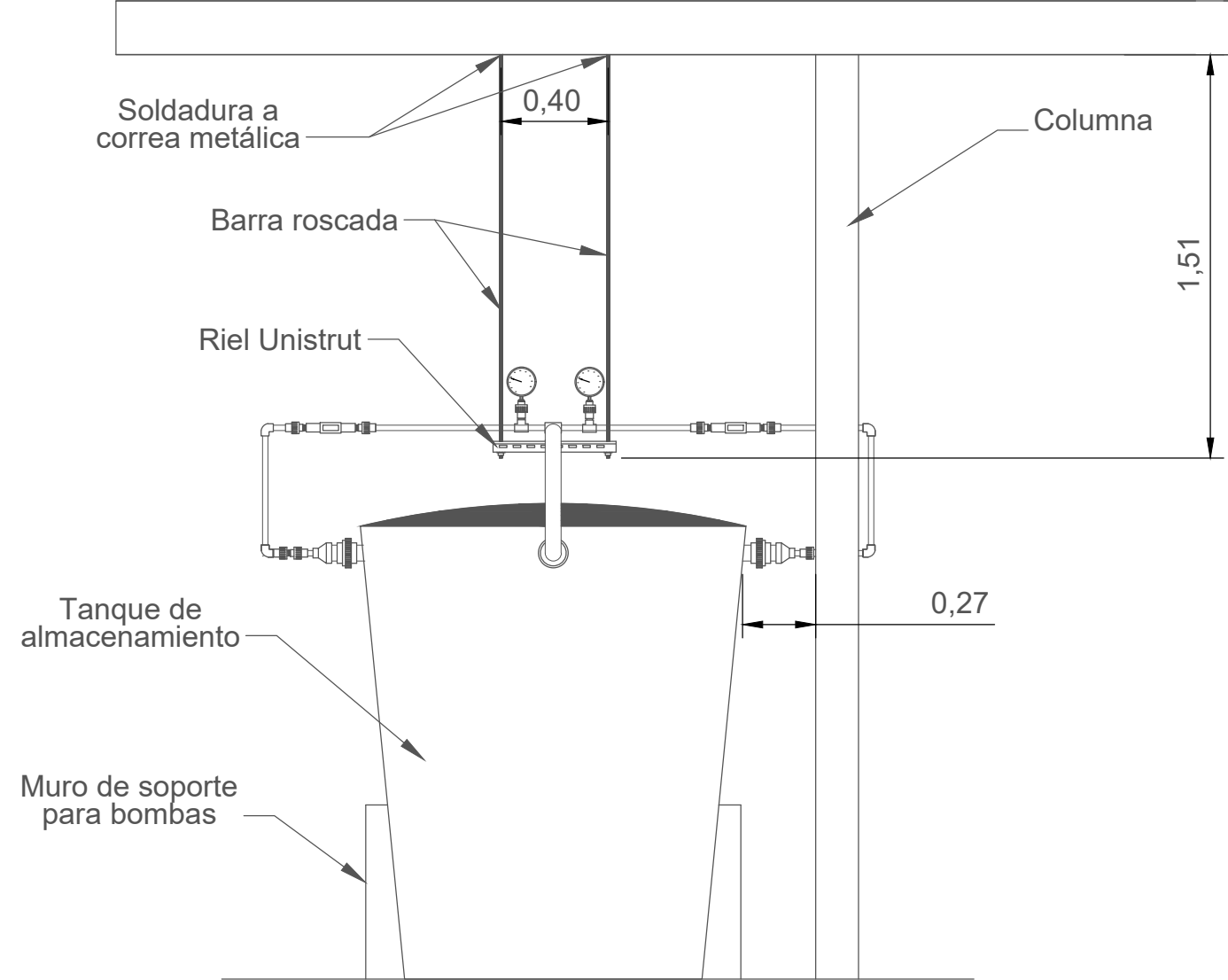
# Conexiones Caudalimetro (CC)



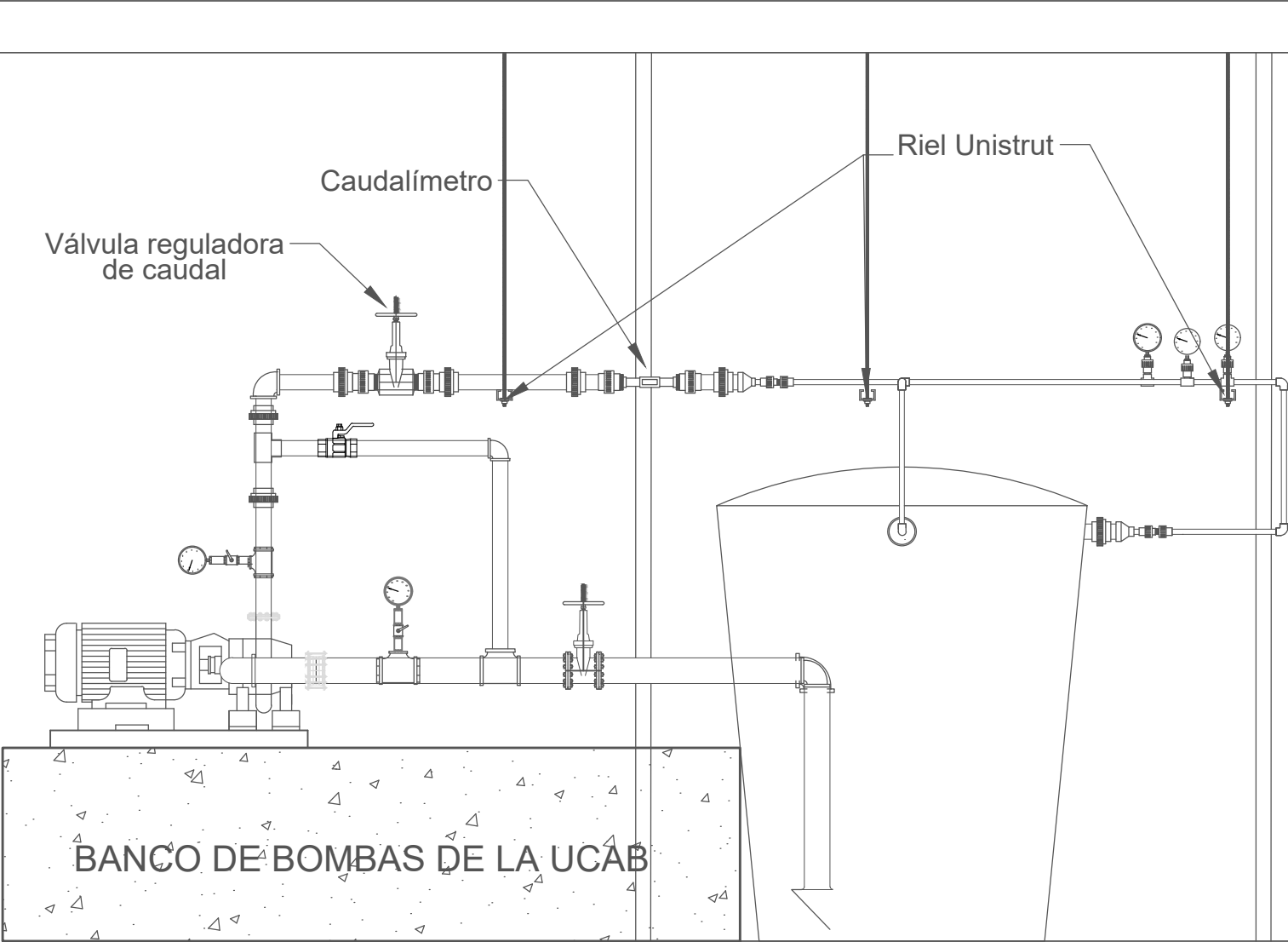
|             | T            | U                                           | UU                   | V                     | Z           |
|-------------|--------------|---------------------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------|
| Descripción | Caudalimetro | Conector rosca hembra/ Conector rosca macho | Conector Rosca macho | Reducción /Expaansión | Niple       |
| $\phi$ (mm) | 1"           | $\emptyset$                                 | 32                   | $\emptyset \times 32$ | $\emptyset$ |
| L(m)        | 0.2          | ----                                        | ----                 | ----                  | 0.3         |

Ø: Diámetro variable

DETALLE N° 6-A APOYO DEL SISTEMA



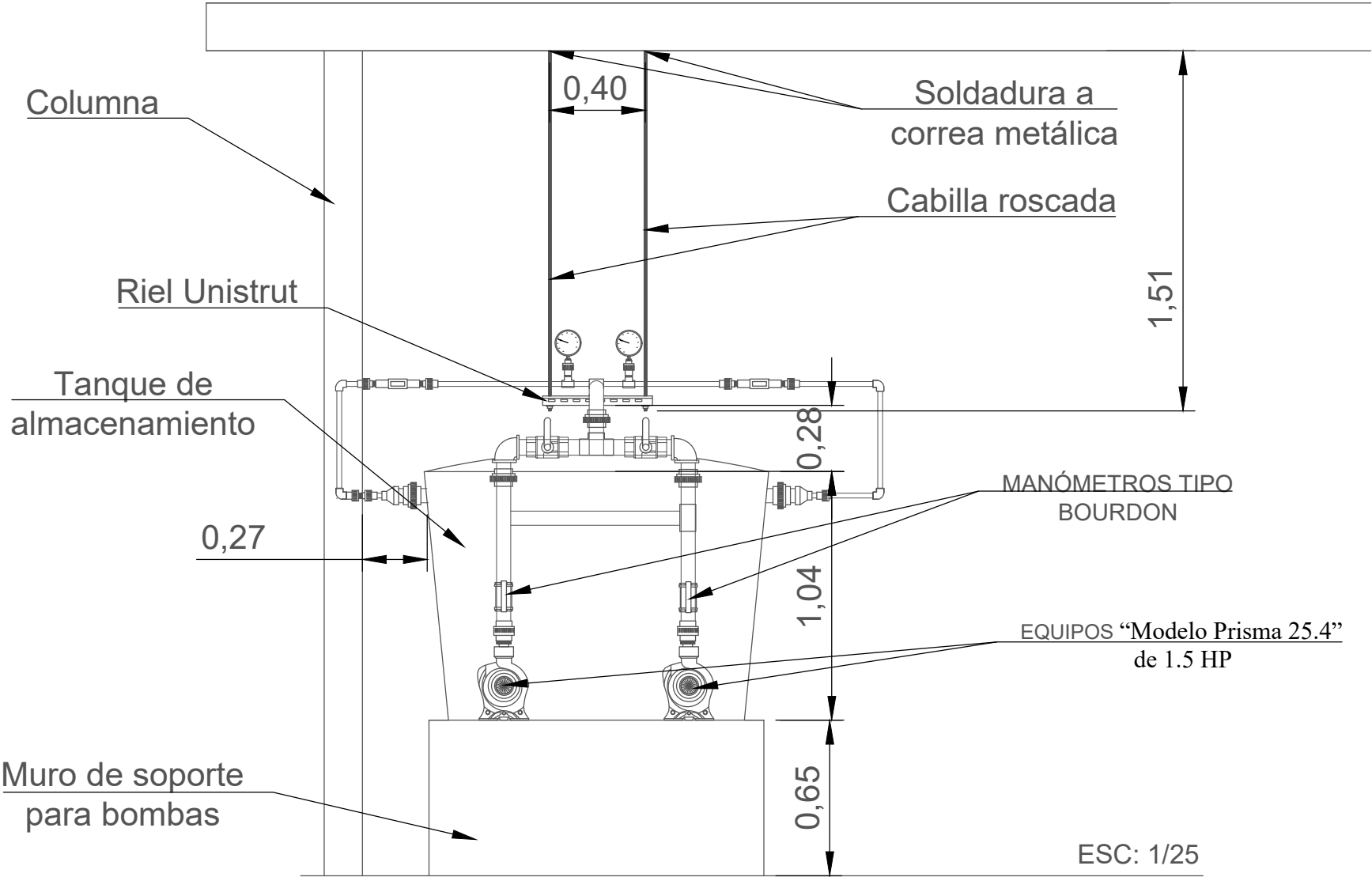
VISTA FRONTAL DETALLE UNISTRUT



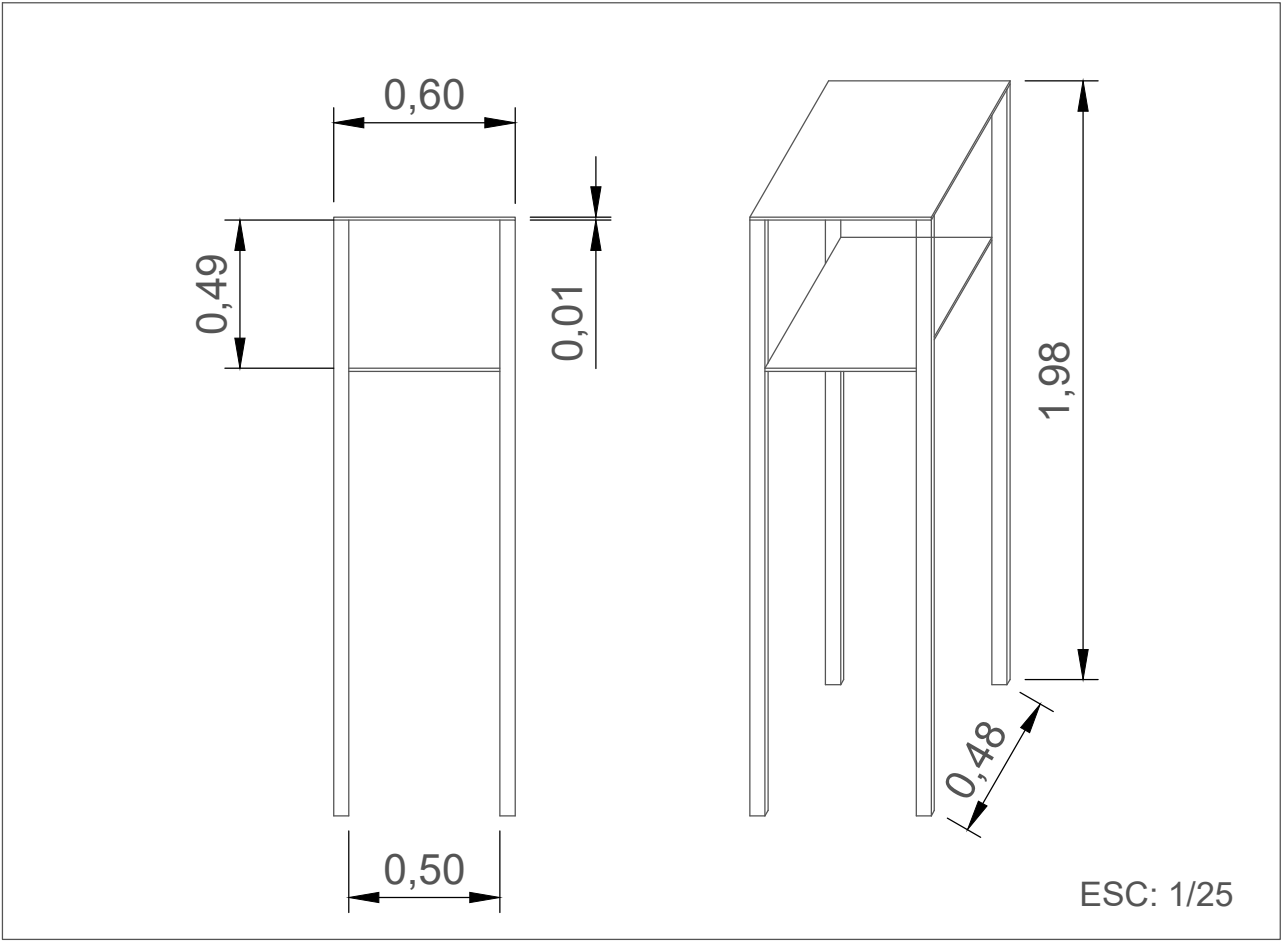
VISTA LATERAL DETALLE UNISTRUT

ESC: 1/25

DETALLE N° 6-B APOYO DEL SISTEMA



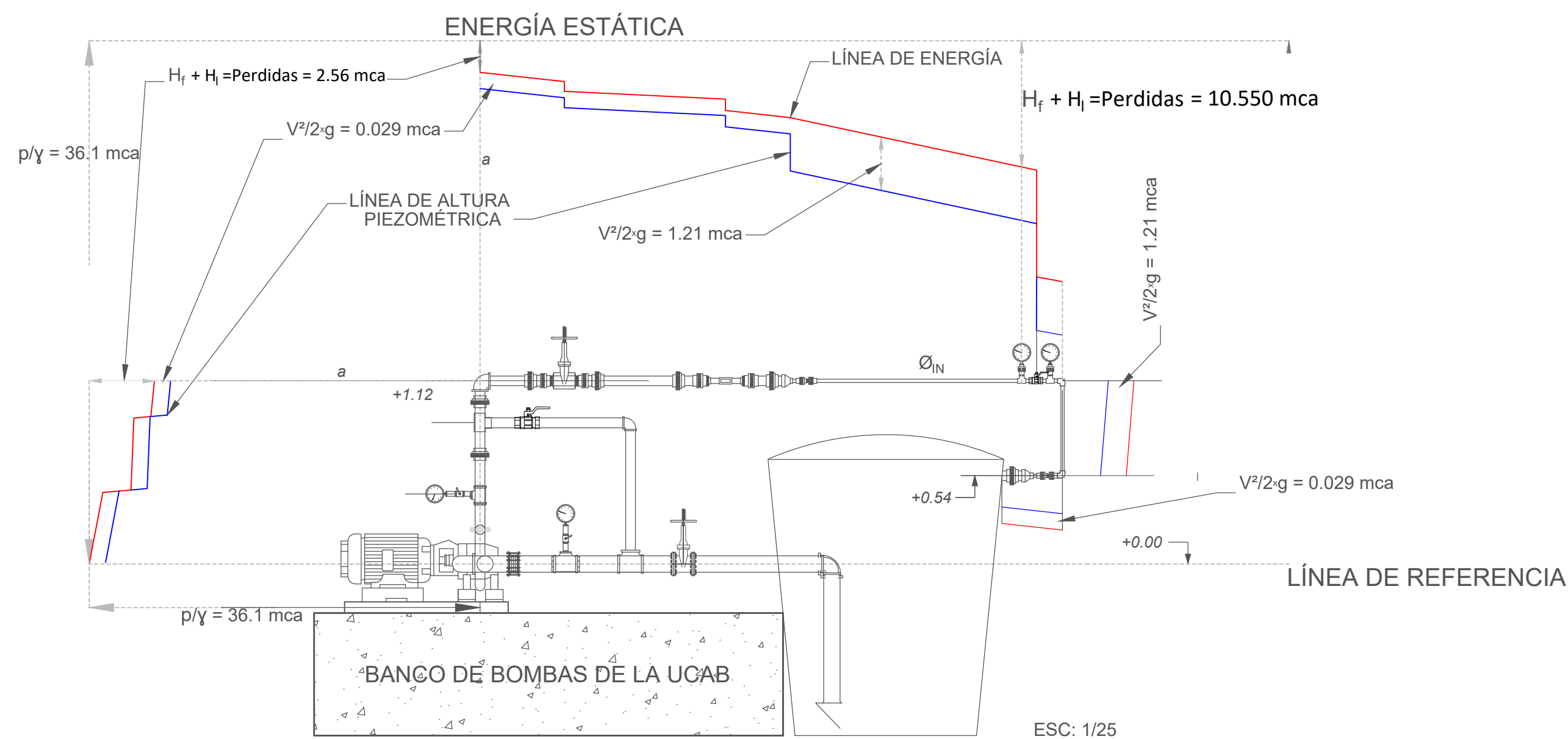
VISTA DE BOMBAS



MESA DE APOYO MÓVIL PARA EL ACOPLAMIENTO Y SOSTÉN DE CONEXIONES EQUIPOS

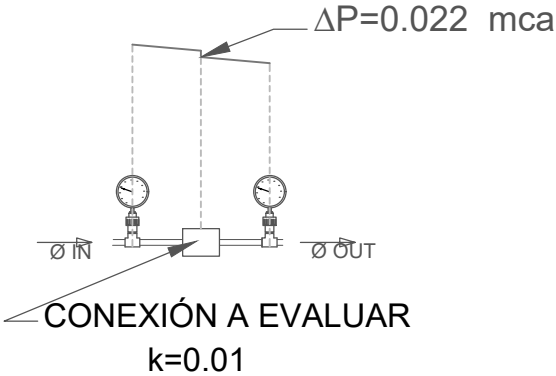
# LÍNEA DE ALTURA PIEZOMÉTRICA

PARA  $\varnothing=20\text{ mm} = \frac{1}{2}''$   
CAUDAL= 40 LPM  
MATERIAL = TERMOFUSIÓN

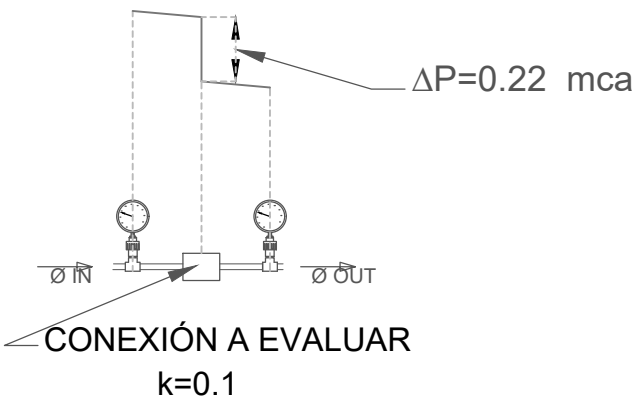


# CAÍDAS DE PRESIÓN EN SECCIÓN DE PRUEBA

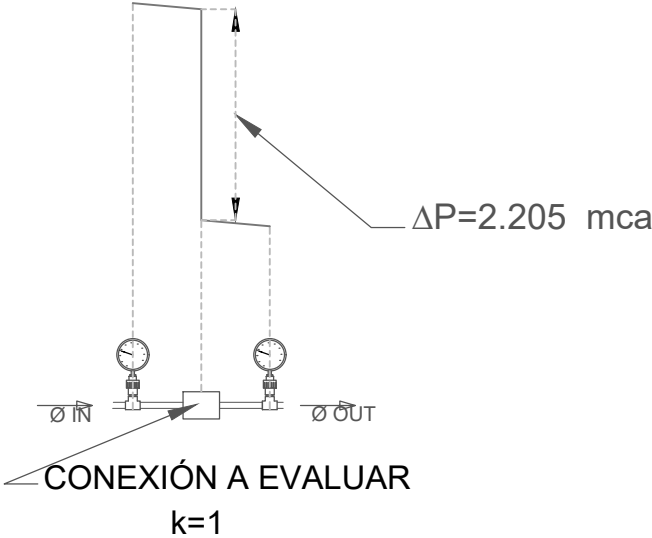
DIÁMETRO =13.2 mm  
Q = 0.94 lps



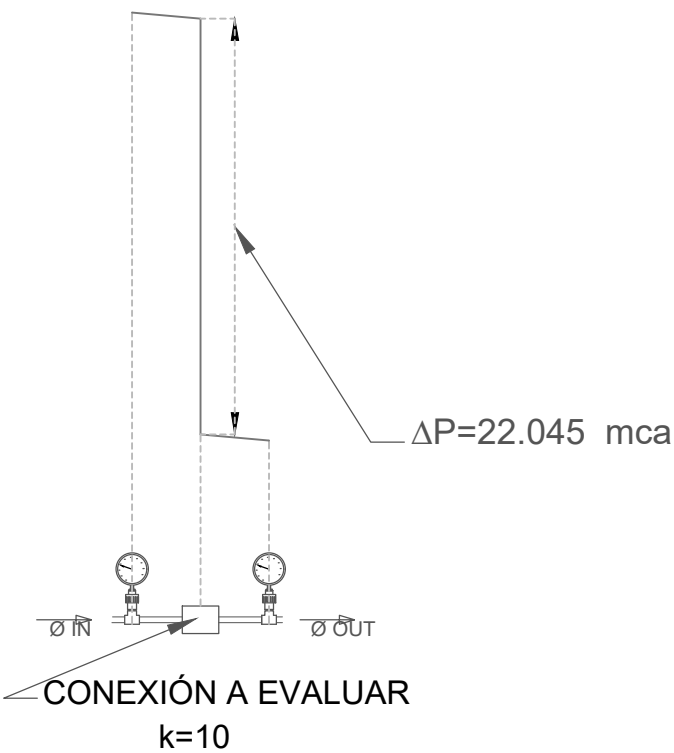
DIÁMETRO =13.2 mm  
Q = 0.94 lps



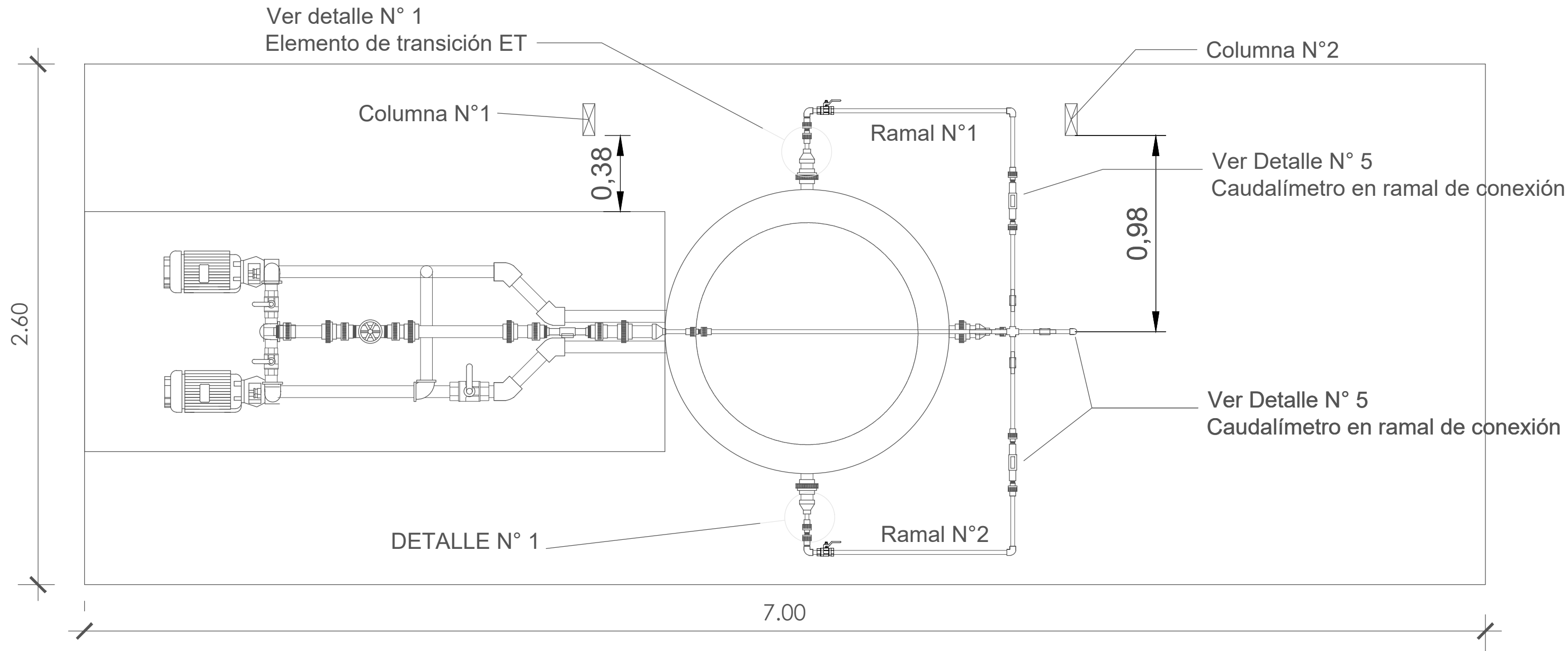
DIÁMETRO =13.2 mm  
Q = 0.94 lps



DIÁMETRO =13.2 mm  
Q = 0.94 lps

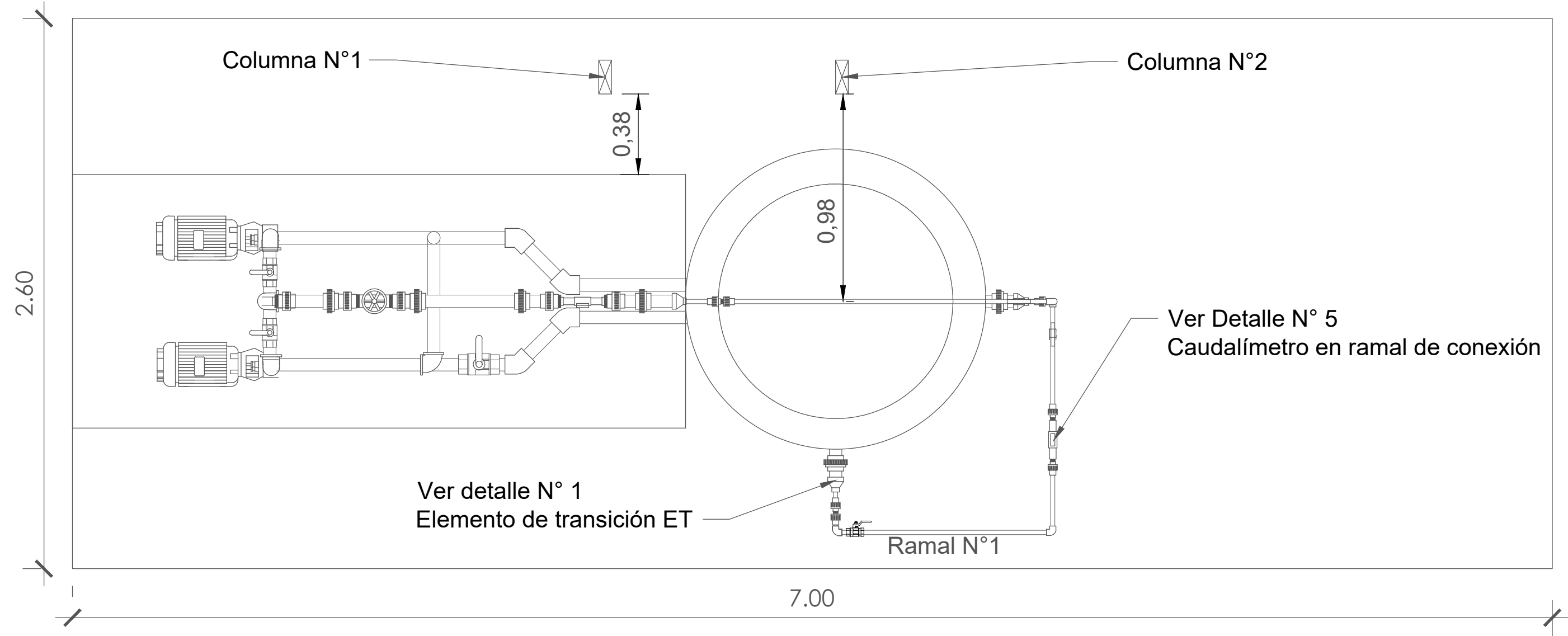


# LIMITACIONES DE ESPACIO CON TEE CRUZ



**NOTA**  
Para tuberías de Ø mayores a 2½  
extender el Ramal N°1 y colocar por  
detrás de la columna N°2.

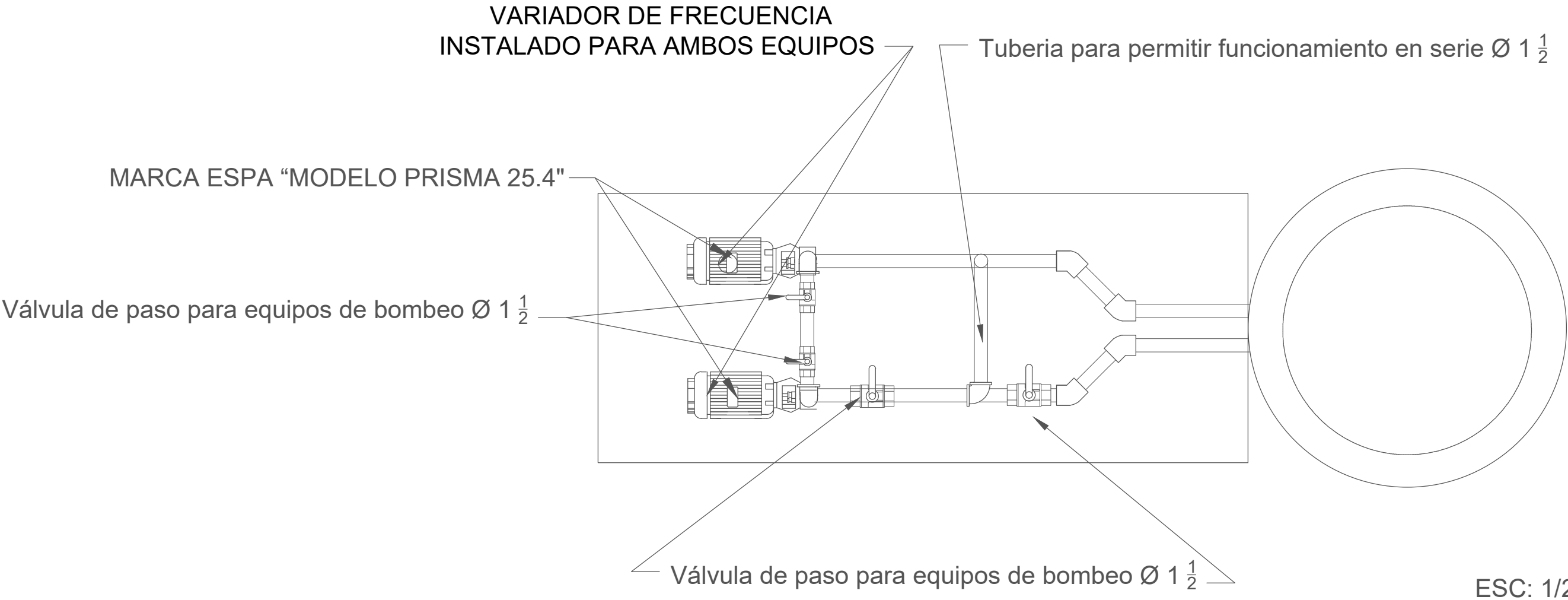
LIMITACIONES DE ESPACIO CON CODO TRES VÍAS



**NOTA**

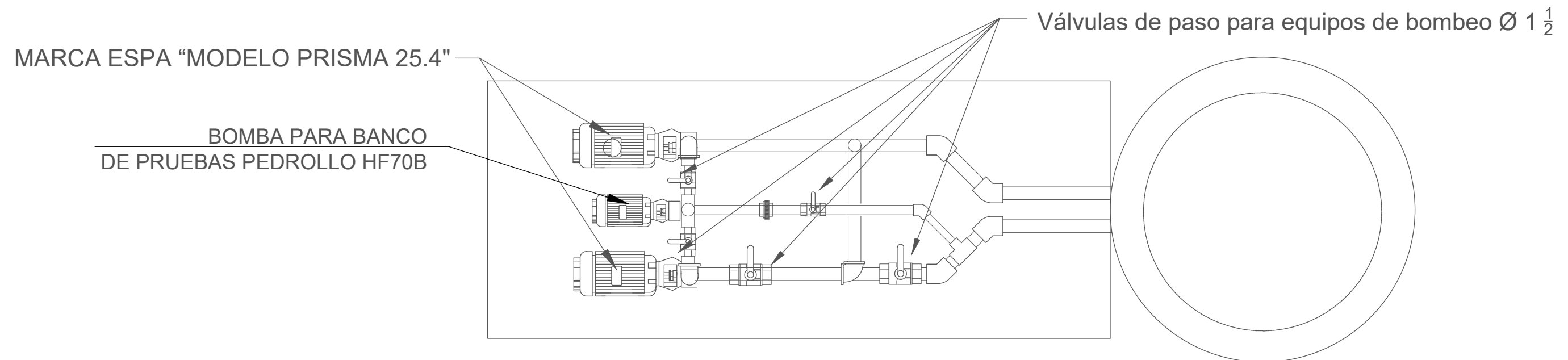
Para tuberías de Ø mayores a  $2\frac{1}{2}$  extender el Ramal N°1 y colocar por detrás de la columna N°2.

# EQUIPOS DE PRESENTES EN BANCO DE BOMBAS



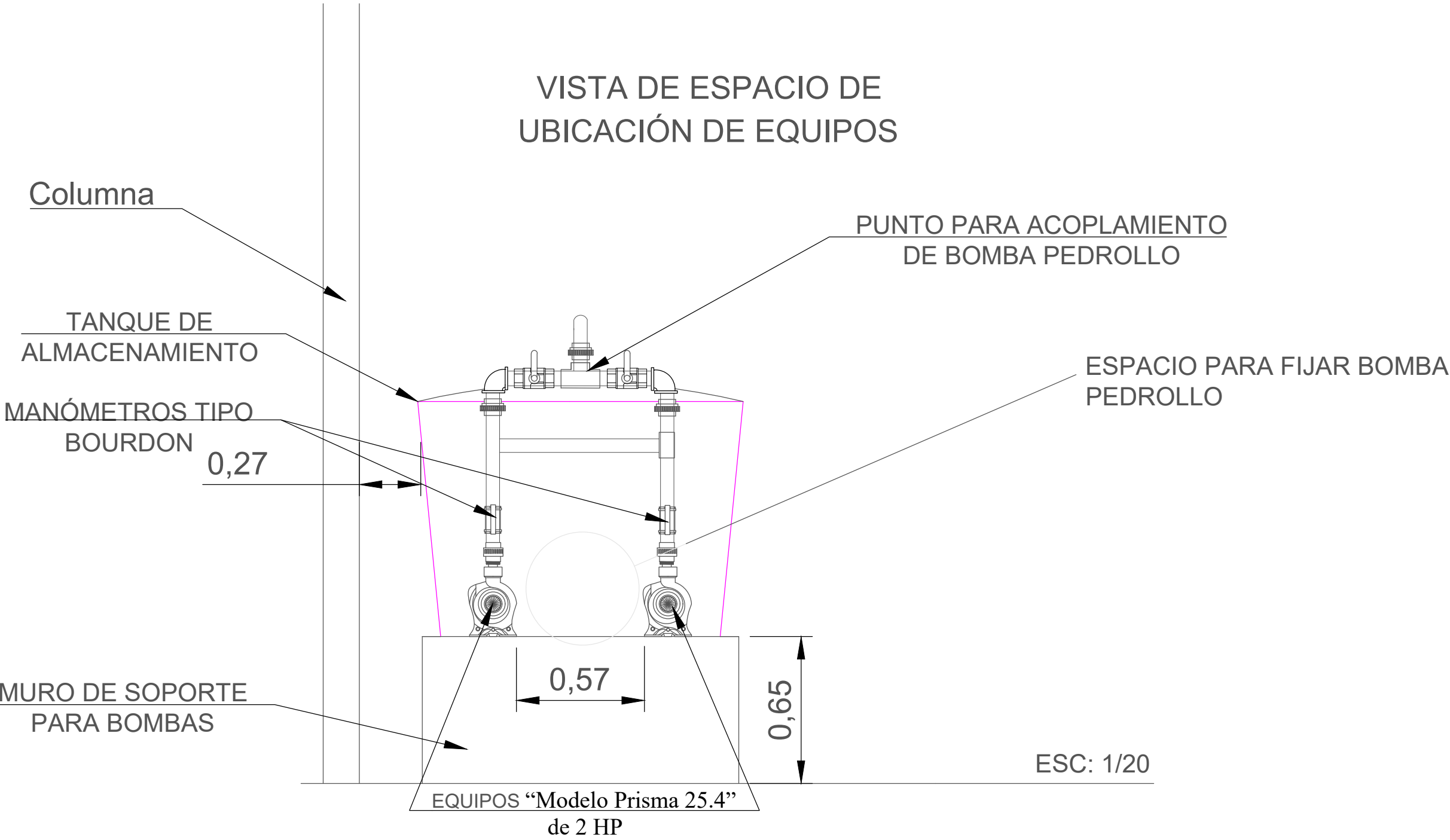
# DETALLES SOBRE UBICACIÓN DE EQUIPÓ ADICIONAL DE BOMBEO

## VISTA PLANTA DE ACOPLAMIENTO DE EQUIPOS



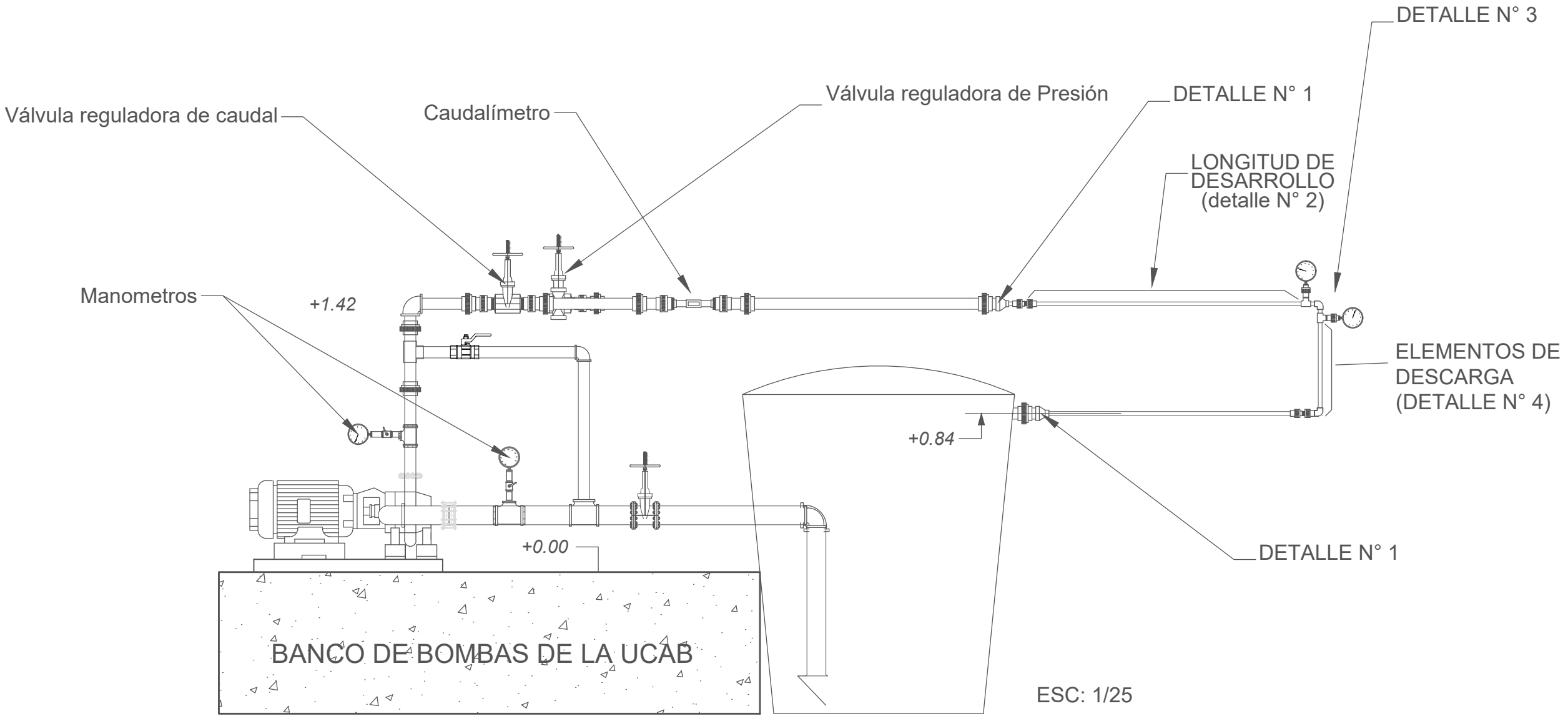
ESC: 1/20

# DETALLES SOBRE UBICACIÓN DE EQUIPÓ ADICIONAL DE BOMBEO



# DETALLES SOBRE UBICACIÓN DE VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN

## PLANO CODO DE 90° CON VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN



# DETALLES SOBRE UBICACIÓN E INSTALACIÓN DE VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN

Válvula reguladora de presión

