

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE DE CONCEPCIÓN - REY BALDUINO DE BÉLGICA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL AJUSTE DE ALMACENAMIENTO DE
AGUA POTABLE Y SISTEMA DE ELEVACIÓN EN EL HOSPITAL
REGIONAL GUILLERMO GRANT BENAVENTE.**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero Ejecución Mecánico de
Procesos y Mantenimiento Industrial

Alumno:

Gabriela Alejandra Castro Hinojosa.

Profesor Guía:

Eduardo Aracena Cuellar.

DEDICATORIA

Para este trabajo de titulación quiero agradecer en primer lugar a dios por darme las habilidades para llegar hasta esta instancia y acompañarme en este largo proceso.

Dedicado especialmente a mis padres por su apoyo incondicional, consejo, amor y haber creído en mi cada vez que pensé en desistir. Siendo ellos las personas fundamentales para mi vida, al hacerme crecer como una mejor persona, buscando siempre el lado positivo a las cosas y fomentando en mí el crecimiento como profesional.

Además y no menos importante agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma me acompañaron en este proceso, dándome palabras de aliento, apoyándome y haciendo que esta experiencia se hiciera más grata.

RESUMEN

KEYWORDS: Agua potable – equipos de almacenamiento – Factibilidad – ajuste – Estrategia.

El presente trabajo consiste en realizar una evaluación técnica del ajuste de los equipos de almacenamiento reduciendo su capacidad, al eliminar dos de ellos que se encuentran ubicados en el techo del edificio, con el fin además de implementar un nuevo sistema de distribución de agua potable, reduciendo los peligros que estas estructuras representan para el edificio en base a sus condiciones mecánicas y físicas debido a la cantidad de años que lleva en funcionamiento, propiciando con ello un aumento de vida útil de la estructura.

En un comienzo se realiza un levantamiento de los equipos y componentes involucrados, con el fin de comprender el circuito que se está llevando a cabo y por consiguiente un análisis del sistema que se está generando desde su red exterior hasta los componentes internos del edificio. Para con ello dimensionar las ventajas y desventajas que estas modificaciones conllevarían. Al mismo tiempo se recogen parámetros de trabajo del circuito para establecer las condiciones de trabajo de los equipos, así como no también menos importante se realiza una investigación acerca de la norma regularizadora de este tipo de redes en el territorio nacional.

Una vez recopilada toda esta información base se llevan a cabo cálculos para establecer un ajuste de la capacidad de los equipos de almacenamiento denominados como estanques, buscando reducir su capacidad, al eliminar dos de ellos que se encuentran en la parte alta del edificio. Una vez establecido el ajuste se comienza con un recalcado de los parámetros de trabajo necesarios para alimentar al edificio desde la parte baja a través de equipos de impulsión, determinando los nuevos parámetros de trabajo, con el fin de verificar que estos pudiesen ser llevados a cabo por los equipos de bombeo existentes sin la necesidad de invertir en nuevos equipos.

Finalmente se busca incrementar la vida útil de la instalación, así como también de incrementar la disponibilidad operacional de los equipos. Mediante una estrategia de mantenimiento se determina llevar a cabo rutinas de inspección dinámica, para establecer el estado de los equipos y con ello determinar el mantenimiento adecuado para las condiciones de trabajo, todo esto a través de una carta Gantt anexada al estudio.

Índice

DEDICATORIA	3
RESUMEN	5
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS	13
SIGLA Y SIMBOLOGÍA	14
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.	3
1.2. ALCANCE.	4
1.3. OBJETIVOS.	4
1.3.1. Objetivo general.	4
1.3.2. Objetivos específicos.	4
1.4. METODOLOGÍA.	5
1.4.1. Diagnosticar situación actual del sistema de agua potable.	5
1.4.2. Evaluar técnicamente el ajuste de la capacidad de los estanques de agua potable.	5
1.4.3. Dimensionar y caracterizar los equipos existentes y nuevos a proyectar en el sistema de elevación, junto con los accesorios involucrados en el proyecto.	5
1.4.4. Diseñar una estrategia para la conservación de los equipos e instalaciones.	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.	7
2.1. LOS FENÓMENOS NATURALES Y LA INFRAESTRUCTURA DE SALUD.	8
2.2. DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.	13
2.2.1. Potabilización del agua.	14
CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	18
3.2. ANTECEDENTES DEL RECINTO HOSPITALARIO.	18
3.1.1. Hospital Regional Guillermo Grant Benavente.	18
3.3. DIAGNOSTICAR SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE.	20
3.3.1. Revisión de planos.	20
3.3.2. Equipos involucrados.	21
3.3.2.1. Estanques.	21
3.3.2.2. Bombas de impulsión.	22

3.3.2.3.	Sistema Piping y Fittings.	29
3.3.2.4.	Instrumentación.	32
3.3.2.5.	Estanque de expansión.	33
3.4.	ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL.	34
3.5.	RECOPIACIÓN DE PARÁMETROS DE TRABAJO.	37
3.5.1.	Propiedades del fluido.	38
3.5.2.	Presión.	41
3.5.3.	Velocidad del fluido.	41
3.5.4.	Caudal.	43
3.5.5.	Cargas o alturas de trabajo.	43
3.5.6.	Pérdidas en el sistema.	45
3.5.7.	Carga total sobre la bomba:	57
3.5.8.	Potencia que requerirá la bomba.	58
3.5.9.	Eficiencia mecánica de las bombas.	59
3.6.	INVESTIGACIÓN SOBRE LA NORMA DE TRABAJO.	60
CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN TECNICA DEL AJUSTE DE LA CAPACIDAD DE LOS ESTANQUES DE AGUA POTABLE.		62
4.1.	ANÁLISIS DEL AJUSTE DE LA CAPACIDAD DE AGUA POTABLE DE LOS ESTANQUES.	64
4.2.	EVALUACIÓN DE DIMENSIONAMIENTO Y TIPOLOGÍA DE ESTANQUES BASADOS EN LA NORMA.	65
4.2.1.	Dimensionamiento de estanques actuales.	66
4.3.	TIPOLOGIA.	67
4.3.1.	Clasificación.	67
4.3.2.	Según su función.	68
4.3.3.	Según material de construcción.	68
4.3.4.	Según su geometría.	69
4.4.	EVALUACIÓN DE LA UBICACIÓN.	72
CAPÍTULO 5: DIMENSIONAR Y CARACTERIZAR EQUIPOS EXISTENTES Y NUEVOS A PROYECTAR JUNTO CON LOS ACCESORIOS INVOLUCRADOS EN EL ESTUDIO.		74
5.1.	INSPECCIONAR CONDICIONES DE TRABAJO ACTUAL.	76
5.2.	ANÁLISIS DEL SERVICIO.	76
5.3.	EVALUACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO Y TIPOLOGÍA DE EQUIPOS Y ACCESORIOS INVOLUCRADOS BASADOS EN LA NORMA.	77
5.3.1.	Dimensionamiento.	77

5.3.1.1.	Equipos de bombeo.	78
5.3.2.	Piping y Fittings.	97
5.3.2.1.	Materiales propuestos.	102
5.3.3.	Factibilidad de los equipos de bombeo	103
5.3.4.	Sistema hidroneumático.	105
5.3.4.1.	Presión de operación del hidroneumático.	105
5.3.4.2.	Volumen de regulación.	106
CAPÍTULO 6: DISEÑAR UNA ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS EQUIPOS E INSTALACIONES.		110
6.1.	EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS PROYECTADOS BASADOS EN SU MANTENIMIENTO.	110
6.1.1.	Bombas centrifugas.	110
a)	Partes constitutivas:	110
b)	Análisis de las bombas centrifugas centrado en las fallas.	111
c)	Porque fallan las bombas.	112
6.1.2.	Estanques de almacenamiento.	115
6.1.3.	Tuberías y Fittings.	116
6.2.	ELECCIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.	118
6.2.1.	Mantenimiento.	119
6.2.2.	Tipos de mantenimiento.	119
6.2.3.	Mantenimiento preventivo (programado)	120
6.2.4.	Alcance y definición.	121
6.2.5.	Objetivos del mantenimiento preventivo.	122
6.2.6.	Reemplazo y conservaciones programadas.	122
6.3.	DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PLAN O ESQUEMA DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS PROYECTADOS ASEGURANDO LA VIDA ÚTIL DE LOS ACTIVOS.	122
6.3.1.	Mantenimiento de rutina – chequeo de recorrida.	123
6.3.2.	Rutas de inspección dinámica:	123
6.3.3.	Tareas frecuentes en las rutinas de inspección.	124
6.3.4.	Frecuencia de las rutinas de inspección.	124
6.4.	ESTRATEGÍA.	127
6.4.1.	Análisis.	128
6.4.2.	Evaluación de estrategia.	130
6.4.3.	Plan de mantenimiento.	131
6.4.4.	Ejecución.	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Efecto de los terremotos en los centros de salud.	9
Figura 2-2: Representación de las zonas sísmicas en Chile.	11
Figura 2-3: Naturaleza de la ocupación.	12
Figura 3-1: Dimensiones del edificio Monoblock.	17
Figura 3-2: Estanques cisterna.	18
Figura 3-3: Bombas centrifugas multietapa.	20
Figura 3-4: Plano equipo de elevación.	23
Figura 3-5: Gráfico de la curva de rendimiento de las bombas.	24
Figura 3-6: Gráfico de la curva de rendimiento del motor.	25
Figura 3-7: Circuito piping.	26
Figura 3-8: Válvula de bola.	28
Figura 3-9: Válvula de compuerta.	29
Figura 3-10: Válvula de retención.	30
Figura 3-11: Fotografía satelital HGGB.	33
Figura 3-12: Diagrama de los servicios del MBK.	34
Figura 3-13: Diagrama de la distribución de los medidores de agua potable en HGGB.	35
Figura 3-14: Diagrama del servicio actual de distribución de agua potable.	36
Figura 3-15: Propiedades del agua.	38
Figura 3-16: Altura estática de trabajo.	46
Figura 3-17: Altura dinámica de trabajo.	47
Figura 3-18: Coeficientes de resistencia de entrada.	50
Figura 3-19: Coeficiente resistencia -expansión súbita	51
Figura 3-20: Valores de diseños de la rugosidad de los tubos.	52
Figura 3-21: Diagrama de Moody.	53
Figura 3-22: Selección factor de fricción primer tramo.	54
Figura 3-23: Selección factor de fricción segundo tramo.	55
Figura 3-24: Selección factor de fricción tercer tramo.	56
Figura 3-25: Longitud equivalente de válvulas y acoplamientos equivalentes en diámetro	58
Figura 3-26: Factor de fricción para tuberías de acero inoxidable.	59
Figura 4-1: Tipología de los estanques.	71
Figura 5-1: Diagrama de sistema de distribución de agua potable a proyectar.	82

Figura 5-2: Facturación del año 2017 consumo de agua potable edificio MBK.	83
Figura 5-3: Grafico facturación periodo 2017	83
Figura 5-4: análisis del consumo de agua potable	85
Figura 5-5: Grafico del funcionamiento nominal de equipos de bombeo.	96
Figura 5-6: Grafico del funcionamiento de un equipo de bombeo	98
Figura 5-7: Grafico del funcionamiento de dos equipos de bombeo en paralelo.	99
Figura 5-8: Punto óptimo de trabajo.	100
Figura 5-9: Bomba centrífuga.	109
Figura 6-1: Rotor de una bomba centrífuga.	113
Figura 6-2: Diagrama del análisis centrado en las fallas de las bombas centrífugas.	114
Figura 6-3: Plano seccionado de la bomba centrífuga.	116
Figura 6-4: Modos de fallas en válvulas.	120
Figura 6-5: Esquema de estrategia de mantenimiento	134
Figura 6-6: Esquema del proceso de selección de la estrategia de mantenimiento.	138

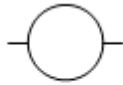
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Especificaciones técnicas de los estanques.	19
Tabla 3-2: Especificaciones técnicas de la bomba.	20
Tabla 3-3: Especificaciones técnica de las tuberías.	27
Tabla 3-4: Levantamiento de válvulas.	31
Tabla 3-5: Especificaciones del estanque de expansión.	32
Tabla 3-6: Diámetros de trabajo.	43
Tabla 3-7: Caudales de trabajo.	44
Tabla 3-8: Velocidades de trabajo.	44
Tabla 3-9: Coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios.	58
Tabla 3-10: Recopilación de datos para perdidas de carga focalizada.	59
Tabla 4-1: Disponibilidad de agua potable en los estanques sin reajuste de su capacidad.	68
Tabla 4-2: Disponibilidad de agua potable en los estanques aplicando el reajuste de su capacidad.	69
Tabla 4-3: Dimensionamiento de los estanques de agua potable.	70
Tabla 5-1: Caudales de trabajo.	86
Tabla 5-2: Velocidades de trabajo.	87
Tabla 5-3: Resultado de cálculos para determinar factor de fricción en tuberías.	88
Tabla 5-4: Longitud equivalente para válvulas y accesorios.	89
Tabla 5-5: Recopilación de datos para perdidas de carga focalizada.	90
Tabla 5-6: Datos resultados para coeficientes de resistencia en válvulas y accesorios.	90
Tabla 5-7: Resultados de pérdidas focalizadas.	91
Tabla 5-8: Resumen de leyes de afinidad.	95
Tabla 5-9: Resumen del análisis completo de los equipos de bombeo	101
Tabla 5-10: Registro del cálculo de diámetros	105
Tabla 5-11: Diámetros comerciales.	106

SIGLA Y SIMBOLOGÍA

- **CAA:** centro de atención ambulatoria.
- **HGGB:** Hospital Guillermo Grant Benavente.
- **MBK:** Monobloque.
- **TPC:** Torre de pacientes críticos.
- **ESSBIO:** Empresa de servicios sanitarios del Bio Bio.
- **E_x:** Estanques de almacenamiento de agua potable.
- **SISS:** Súper intendencia de servicios sanitarios.

- **RIDDA:** Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y alcantarillado.



BOMBA CENTRIFUGA



ESTANQUE DE ALMACENAMIENTO



VÁLVULA DE BOLA



VÁLVULA DE RETENCIÓN



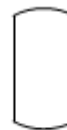
VÁLVULA DE COMPUERTA



TUBERIAS DE ALIMENTACIÓN



EXPANSIÓN



TANQUE HIDRONEUMÁTICO

NOMECLATURA.

- **m** = Metro
- **m²** = Metro cuadrado
- **m³** = Metro cubico
- **\$** = símbolo de pesó.
- **Kg** = Kilogramo.
- **r. p. m** = Revoluciones por minuto.
- **h** = Hora.
- **°C** = Grado celsius.

- **DN** = Diámetro nominal.
- **inch** = Pulgada.
- **KW** = Kilo watts.
- **Hz** = Hertz
- **V** = Voltaje
- **A** = Amper.
- **%** = Porcentaje
- **H** = altura
- **N** = Newton
- **s** = Segundo
- **s²** = Segundo cuadrado
- **KN** = Kilo newton.
- **Kpa** = Kilopascal

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN.

El agua siempre ha sido un elemento decisivo para la supervivencia y evolución de la humanidad. Grandes civilizaciones tienen dentro de sus factores comunes que nacieron cercanas a fuentes de agua dulce. Hasta el día de hoy los grandes asentamientos urbanos se encuentran ubicados en lugares estratégicos, donde se mantiene un buen acceso a fuentes de agua dulce que sirvan para el consumo de los seres humanos.

Estas zonas urbanas cuentan con distintas instituciones claves para llevar a cabo el desarrollo de la población que se encuentra en esta área, dentro de estas instituciones nos encontramos con colegios, municipios, hospitales, cárceles entre otros. En este caso en particular nos enfocaremos en el hospital regional Guillermo Grant Benavente ubicado en la ciudad de Concepción, el cual se define como un recinto hospitalario de alta complejidad, debido a que cuenta con una amplia gama de servicios para la atención de sus pacientes, así como también con una gran dotación de camas para albergar a aquellos que lo ameriten.

Además de su principal función prestando atención hospitalaria a la población, dentro de este recinto se llevan a cabo otro tipo de servicios de uso común para todas aquellas personas que hacen parte de este recinto, uno de estos servicios es la distribución de agua potable para el consumo de los pacientes, trabajadores y gente que transita dentro de las instalaciones.

Este recurso hídrico se obtiene desde la red pública a cargo de la empresa ESBPIO, que abastece a gran parte de la octava región. En el recinto nos encontramos con 3 edificios que son los que componen el hospital, cada uno de ellos adquiere este recurso desde la red pública, pero sin embargo no realizan el mismo método de distribución para el interior de estas edificaciones, debido a que dos de estos edificios lleva a cabo su distribución mediante sistema de elevación por bombeo, siendo un sistema mucho más eficaz y preciso pero a su vez generando mayor costos de energía.

A diferencia de estos dos edificios uno de ellos denominado como MONOBLOCK, genera esta distribución mediante un antiguo método definido como alimentación por gravedad, para ello este edificio cuenta con 4 estanques, de los cuales 2 se encuentran en la parte baja y los dos restantes se encuentran elevados ubicados en el techo de la edificación, generando con ello la altura necesaria para que el agua pueda realizar su recorrido con una presión y una velocidad adecuada. Hasta el momento el servicio se estaría llevando a cabo en perfectas condiciones, pero es aquí donde nace la interrogante ¿será necesario mantener los estanques elevados? ¿La capacidad de los estanques cisternas dará a basto para alimentar el edificio?

¿Cuáles son los riesgos a los que se expone la población al mantener estos estanques en el techo? ¿Se justificarían los costos agregados al implementar un sistema de elevación mediante bombeo?

Estas y otras de las interrogantes que se irán generando a través de este trabajo serán respondidas al final en nuestros resultados.

1.2. ALCANCE.

El estudio de factibilidad generado a continuación, está definido para la edificación ubicada dentro del recinto hospitalario. Considerando únicamente el sistema de distribución de agua potable, incluyendo dentro de este todos los equipos exteriores que generan este circuito tales como; sistema de elevación, recipientes encargados del almacenaje, así como también el piping que lo compone. Queda excluido de este análisis la red interior de distribución tales como aparatos de consumo y piping involucrado, debido a que el sistema hasta el momento se encuentra en correcto funcionamiento por lo que no se necesitaría realizar mayor estudio para este sistema y se toma como referencia lo recolectado en las facturaciones de la empresa a cargo de la zona.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo general.

Evaluar el ajuste de la capacidad de los estanques de agua potable y factibilidad de un nuevo sistema de distribución en el Hospital regional Guillermo Grant Benavente, junto con su sistema de elevación.

1.3.2. Objetivos específicos.

1. Diagnosticar situación actual del sistema de agua potable.
2. Evaluar técnicamente el ajuste de la capacidad de los estanques de agua potable.
3. Dimensionar y caracterizar los equipos existentes y nuevos a proyectar junto con los accesorios involucrados en el circuito
4. Diseñar una estrategia para la conservación de los equipos e instalaciones.

1.4. METODOLOGÍA.

1.4.1. Diagnosticar situación actual del sistema de agua potable.

- Revisión de planos de las instalaciones actuales y un respectivo levantamiento.
- Análisis de la situación actual.
- Recopilación de los parámetros de trabajo.
- Recopilación de información referente a la norma de trabajo.

1.4.2. Evaluar técnicamente el ajuste de la capacidad de los estanques de agua potable.

- Análisis del ajuste de la capacidad de agua potable de los estanques.
- Evaluación de dimensionamiento de los estanques y tipología basados en la norma de distribución de agua potable.
- Evaluación de la disponibilidad de espacio.

1.4.3. Dimensionar y caracterizar los equipos existentes y nuevos a proyectar en el sistema de elevación, junto con los accesorios involucrados en el proyecto.

- Inspeccionar condiciones de trabajo actual.
- Análisis del funcionamiento de los equipos.
- Evaluación del dimensionamiento de equipos y accesorios involucrados basados en la norma.
- Dimensionamiento del espacio.
- Evaluación de condiciones ambientales a las cuales estarán expuestos los equipos.

1.4.4. Diseñar una estrategia para la conservación de los equipos e instalaciones.

- Evaluación de los equipos proyectados basados en su mantenimiento.
- Elección de una estrategia de mantenimiento.
- Diseño y elaboración de un plan o esquema de mantenimiento para los equipos proyectados asegurando la vida útil de los activos.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.

2.1. LOS FENÓMENOS NATURALES Y LA INFRAESTRUCTURA DE SALUD.

Los fenómenos naturales como tal se definen como un cambio de la naturaleza que sucede por sí solo. Procesos en los cuales la transformación es permanente al igual que los movimientos que sufre la naturaleza y pueden influir en la vida humana. Los fenómenos acontecidos en el mundo alrededor del tiempo han afectado a un número inimaginable de habitantes y con ello a su vez también la generación de víctimas fatales en muchos de estos eventos.

Los planes de mitigación de instalaciones de salud frente a desastres naturales prevén la seguridad de las personas y no tanto de las instalaciones o de la operatividad de los servicios. Sin embargo la experiencia a demostrados que es posible seguir procedimientos para disponer de nuevos establecimientos de salud capaces no solo de garantizar el objetivo de seguridad de las personas, como ha sido tradicionalmente sino que además garantizar los objetivos de seguridad de la infraestructura y la operación.

Todo esto dependerá de la red de servicio de salud y de los recursos económicos disponibles, para poder contar con establecimientos de salud con una alta seguridad en su operación e infraestructura, lo cual no quiere decir que estos continuaran con su funcionamiento de manera inmediata tras un acontecimiento importante, sin embargo presentara una recuperación mucho más rápida y razonable con costos controlados. Todo esto si se cuenta con los recursos económicos necesarios y mientras las condiciones técnicas y naturales lo permitan, pues la prioridad siempre será garantizar la seguridad de las personas.

Alrededor del mundo, nos daremos cuenta que la creciente densidad demográfica que se ha generado en distintas regiones del planeta y además con ello la resultante urbanización de zonas no utilizadas por su alta peligrosidad, dificultan más aun la situación.

En base a lo citado en (baroschek, 2004), “En américa latina y el caribe numerosos establecimientos de salud resultaron gravemente afectados por la acción de diferentes fenómenos naturales. Terremotos, inundaciones, deslizamientos, huracanes, entre otros. Causando no solo serios daños a la infraestructura, sino también pérdidas de vidas humanas y la interrupción de la operación de las instalaciones de salud cuya función resulta imprescindible, más en situaciones críticas.”

A continuación en la tabla se presentan algunos de los efectos de los fenómenos naturales en américa latina y el caribe, adversos a la infraestructura de salud.

Los fenómenos naturales severos afectan la operación de los sistemas de salud de dos maneras.

✓ Directamente:

- Produciendo daños en las instalaciones de los servicios de salud.
- Produciendo daños en la infraestructura de la región, generando la interrupción de los servicios básicos indispensables para las instalaciones de salud y destruyendo las vías de comunicación.

✓ Indirectamente:

- Causando un número inesperado de muertes, lesiones o enfermedades en la comunidad afectada, excediendo la capacidad de atención terapéutica de la red asistencial.
- Generando migraciones espontáneas u organizadas desde zonas afectadas hacia áreas donde los sistemas de salud pueden no contar con la capacidad suficiente para asistir a la nueva población.
- Aumentando el riesgo potencial de transmisión de enfermedades contagiosas y aumentando el riesgo de enfermedades psicológicas en la población afectada.
- Provocando desabastecimiento de alimentos, con la consecuente desnutrición de la población y pérdida de la resistencia inmunológica a diversas enfermedades.

Cuadro 1.3 - Efectos de los terremotos en los sistemas de salud

Identificación evento	Fecha	Magnitud	Efectos generales
San Fernando, California	1971	6.4	Tres hospitales sufrieron daños severos y no pudieron operar normalmente cuando más se les necesitaba. Aún más, la mayoría de las víctimas se presentaron en dos de los hospitales que se derrumbaron. El hospital Olive View tuvo que ser demolido. Se reconstruyó en forma tradicional, por lo que nuevamente sufrió daños graves no estructurales en el terremoto de 1994, impidiendo su funcionamiento.
Managua, Nicaragua	1972	7.2	El Hospital General resultó severamente dañado. Fue evacuado y posteriormente demolido.
Guatemala, Guatemala	1976	7.5	Varios hospitales fueron evacuados.
Popayán, Colombia	1983	5.5	Daños e interrupción de servicios en el hospital Universitario San José.
Chile	1985	7.8	79 hospitales y centros de salud resultaron dañados o destruidos. 3.271 camas quedaron fuera de servicio.
Mendoza, Argentina	1985	6.2	Se perdió algo más del 10% del total de camas de la ciudad. De 10 instalaciones afectadas, una tuvo que ser evacuada y dos fueron posteriormente demolidas.
México, D.F., México	1985	8.1	Colapso estructural de cinco hospitales y daños mayores en otros 22. Al menos 11 instalaciones evacuadas. Pérdidas directas estimadas en US\$ 640 millones. Los hospitales más seriamente dañados fueron el Centro Médico Nacional del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el hospital General y el hospital Benito Juárez. Los sismos produjeron un déficit súbito de 5.829 camas; en el hospital General murieron 295 personas y en el Juárez 561, entre las que se encontraban pacientes, médicos, enfermeras, personal administrativo, visitantes y recién nacidos.
San Salvador, El Salvador	1986	5.4	2.000 camas perdidas, más de 11 instalaciones hospitalarias afectadas: 10 desalojadas y una evacuada permanentemente. Se estimaron daños por US\$ 97 millones.
Tena, Ecuador	1995	6.2	Daños no estructurales moderados en el hospital Velasco Ibarra (120 camas): agrietamiento de varias paredes, ruptura de vidrios, caída de techos, desperfecto en el sistema de ascensores y daños en algunas tuberías para conducción de oxígeno y de agua, obligando a la suspensión de sus servicios y la evacuación de las instalaciones.

Figura 2-1: Efecto de los terremotos en los centros de salud.

(Fuente: (baroschek, 2004))

La interrupción de la operación del establecimiento de salud puede ser corto plazo (horas o días), o largo plazo (meses y años). Todo depende de la magnitud del evento y sus efectos en el sector. La magnitud del evento no es algo que generalmente se pueda controlar; pero sus consecuencias, sí.

El recinto hospitalario ubicado en la ciudad de Concepción fue fundado en la década de 1940, donde inaugura su primera edificación denominada como monobloque, siendo esta la más antigua dentro del recinto actualmente, el centro de salud cuenta con 3 edificios más a disposición de los pacientes hoy en día. Sin embargo el primero de ellos cuenta con una cantidad considerable de servicios y pacientes en condición de hospitalización dentro de sus instalaciones.

Esta estructura en el año 1960 sobrevive a su primera catástrofe natural, como lo fue el terremoto de aquella época, en donde no presenta anomalías de gran

envergadura, pudiendo continuar con normalidad sus condiciones de funcionamiento. Sin embargo en el año 2010 el país vuelve a ser azotado nuevamente por un fenómeno natural de la misma naturaleza que el de unas décadas atrás. En esta segundo evento el edificio como estructura en si vuelve a soportar las fuerzas de la naturaleza, sin embargo se presentan un alto deterioro en sus paredes y muros, así como también en su ámbito no estructural, como lo son ventanas, cielos falsos, así como también algunas de las redes esenciales.

Pese de que el edificio no presenta anomalías de mayor consideración frente a estos fenómenos naturales, no debe ignorarse el hecho de que la estructura ya ha prevalecido ante dos movimientos telúricos los cuales de una u otra manera han generado un desgaste mecánico de su estructura, posicionándolo como un foco de incertidumbre y de amenaza al momento de generarse otro fenómeno de esta misma índole en el territorio nacional, y más aún en la región en la que se encuentra ubicado debido a la alta presencia sísmica de la zona.

Según lo estipulado en el (INN, 1996) de la normativa chilena NCh 433 de diseño sísmico de edificios, se definen las zonas sísmicas a nivel nacional, en donde se distinguen tres zonas sísmicas en el territorio nacional. La ciudad de concepción figura en la zona 3 en base al tipo de suelo que esta presenta, siendo este de tipo arenoso no saturado, como también pudiendo ser con grava o arena no saturada.

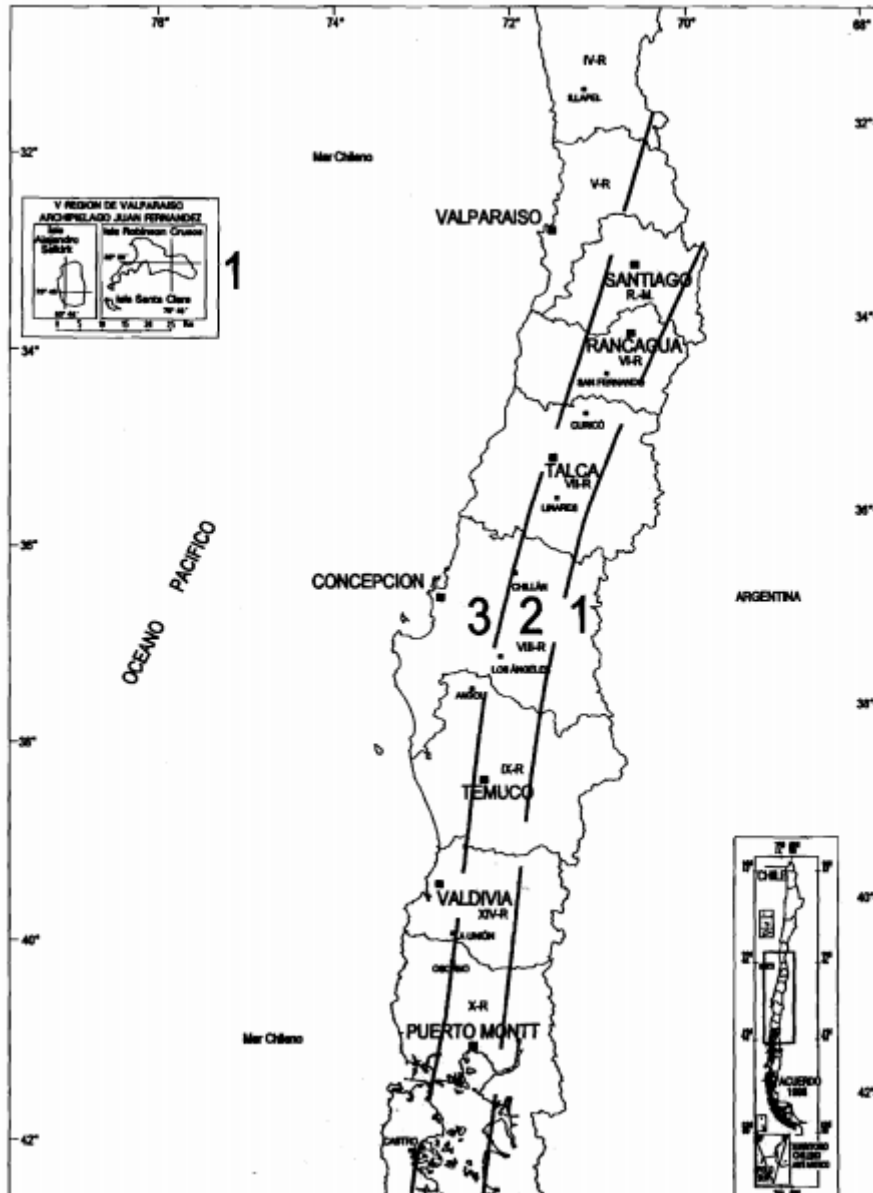


Figura 2-2: Representación de las zonas sísmicas en Chile.

(Fuente: (INN, 1996))

Junto con clasificar las zonas de nivel sísmico del territorio, esta normativa también clasifica la ocupación de edificios y otras estructuras de acuerdo a su importancia, uso y riesgo de falla. Dejando de esta manera a los recintos de salud en la cuarta categoría, es decir con una alta importancia tanto de uso como de funcionalidad al momento de presentarse este tipo de catástrofes.

Naturaleza de la ocupación	Categoría de Ocupación
<p>Edificios y otras estructuras clasificadas como edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - cuarteles de policía; - centrales eléctricas y telefónicas; - correos y telégrafos; - radioemisoras; - canales de televisión; - plantas de agua potable y de bombeo. <p>Edificios y otras estructuras clasificadas como instalaciones esenciales cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hospitales; - postas de primeros auxilios; - cuarteles de bomberos; - garajes para vehículos de emergencia; - estaciones terminales; - refugios de emergencia; - estructuras auxiliares (incluyendo, pero no exclusivamente a, torres de comunicación, estanques de almacenamiento de combustible, estructuras de subestaciones eléctricas, estructuras de soporte de estanques de agua para incendios o para consumo doméstico o para otro material o equipo contra incendios) requeridas para la operación de estructuras con Categoría IV durante una emergencia. 	IV

Figura 2-3: Naturaleza de la ocupación.

(Fuente: (INN, 1996))

2.2. DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.

El ciclo del agua desde su captación hasta su consumo y su previo tratamiento y restitución al medio ambiente es un proceso largo y complejo.

La captación de este elemento vital se realiza desde las fuentes superficiales y subterráneas, siendo el origen del agua para abastecer a la octava región de un 85 % y un 15% respectivamente. El proceso de producción de agua potable una serie de pasos que permiten eliminar la turbiedad y la suciedad del agua captada, transformándola en agua para el consumo humano. Debido a que este elemento es vital para nuestra sobrevivencia, pero tal como se encuentra en la naturaleza, no es apta para nuestro consumo ya que contiene microorganismos que son dañinos para nuestra salud y pueden provocar enfermedades como hepatitis y el tifus.

Es por ello que antes de llegar a nuestras casas, el agua se debe transformar en potable, es decir, pasar por un complejo proceso que permita que el agua no tenga

sabor, color u olor y que puedas beberla y usarla, sin riesgo, siendo beneficiosa para la salud.

La distribución de este recurso se realiza mediante grandes acueductos desde las plantas de producción hasta llegar a los estanques de almacenamiento. Desde este punto se transporta el agua mediante tuberías subterráneas que abastecen a cada cliente individual. Posterior a su consumo el agua servida es llevada mediante el sistema de alcantarillado hasta las plantas de tratamiento.

La empresa a cargo de realizar este procedimiento en la gran parte de la octava región es la empresa ESSBIO en donde una de sus principales misiones (ESSBIO, 1977) es proveer soluciones de alta calidad en el ciclo integral del agua (agua potable, alcantarillado y descontaminación de agua servidas) y en la gestión integral de residuos.

2.2.1. Potabilización del agua.

Este recurso hídrico debe atravesar diversas etapas antes de encontrarse en óptimas condiciones y ser consumida por las personas, etapas que a continuación se verán plasmadas aquí:

- Captación:

El agua que está en la naturaleza se conoce con el nombre de agua cruda y para potabilizarla requiere ser captada en fuentes superficiales (lagos, lagunas, esteros, ríos y embalses), y fuentes subterráneas (pozos profundos, punteras, drenes y norias).

El agua que es captada por la planta de producción de agua potable se le retira todo el material flotante que arrastra, tales como palos, ramas, plásticos; mediante rejas finas y mallas móviles.

- Decantación:

Aquí se produce la separación del líquido de los sólidos. Este proceso, que permite eliminar la contaminación bacteriológica y los elementos solidos suspendidos que trae el agua. Consta de la etapa de coagulación y floculación.

- Filtración:

Acá se retienen todas aquellas partículas que no lograron decantar en el proceso anterior.

- Desinfección:

El agua es desinfectada con gas cloro, asegurando así su calidad microbiológica y convirtiéndola en agua apta para el consumo.

- Almacenamiento:

Finalizado el proceso, hay que utilizar plantas elevadoras de agua potable (PEAS) para transportar el agua a grandes estanques de almacenamiento, los cuales garantizan el suministro a las personas, independiente de la cantidad de agua que se fabrique o la demanda que haya. Esto permite que podamos contar con agua potable en la cantidad, calidad y continuidad que requerimos. Generalmente los estanques están ubicados en lugares elevados, permitiendo la distribución por acción de gravedad.

- Distribución:

El agua potable, limpia y fresca por acción de la gravedad, es transportada a través de una red subterránea de cañerías, hasta llegar a la llave de nuestros hogares.

La tarifa de agua potable consumida en los hogares u otros sectores dependen de la zona, de los sobreconsumos en temporada alta u horario punta, alcantarillado, entre otros factores. Se considera como valor neto de un metro cubico de agua el de.
Agua potable = 450 (\$/m³).

CAPÍTULO 3: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El recinto hospitalario actualmente se encuentra generando la distribución del recurso hídrico mediante el método de gravedad, posicionando dos de sus estanques en el techo del edificio. Esto se realiza debido al ahorro de costo energético que se generaría al no utilizar equipos de impulsión para distribuir el agua potable, además de aprovechar la altura que presenta el edificio. Sin embargo este tipo de instalaciones, representan un riesgo para la infraestructura debido que al incorporar dos estanques de agua potable en el techo, se incrementaría la masa del mismo y el comportamiento frente algún fenómeno natural se esperaría no fuese de los mejores, debido a que frente a un fenómeno natural como lo son los terremotos se ejerce movimiento contra la estructura, lo cual a su vez generaría el movimiento del agua contenida en los estanques de la parte alta, incrementando la oscilación de la estructura exponiéndola aún más. A esto se le debe agregar que el edificio tiene una data de antigüedad de alrededor de 73 años en donde ha estado expuesto a dos catástrofes naturales de gran magnitud como lo son los terremotos de los años 1960 y 2010 respectivamente. Generándose claramente un desgaste de sus propiedades mecánicas y físicas debido a la presencia de estos movimientos.

Es por las razones mencionadas que se busca realizar un estudio acerca de un reajuste de la capacidad de agua potable para poder generar un nuevo sistema de distribución incorporando un sistema de elevación con equipos de bombeo ubicados en la parte baja del edificio.

3.2. ANTECEDENTES DEL RECINTO HOSPITALARIO.

3.1.1. Hospital Regional Guillermo Grant Benavente.

El hospital clínico regional Dr. Guillermo Grant Benavente fue fundado junto a la ciudad de Concepción en 1550, llamado en ese momento Hospital San Juan de Dios o de la Misericordia. El hospital adopta el actual nombre de forma oficial en 1945 cuando la Universidad de Concepción cede dos edificios que funcionaban como facultades de Leyes y Educación. Luego un brusco aumento de poblacional en 1987 se construye el edificio antiguo de 6 pisos y un zócalo, cuya superficie es de 11.000 [m²] y fue denominado como torre de servicios de urgencia. En el año 2010 se inaugura el nuevo centro de atención ambulatoria, edificio de 6 pisos con 18.000 [m²] construidos.

Según (Minsal, 2005) el hospital es el establecimiento destinado a proveer prestaciones de salud para la recuperación, rehabilitación y cuidados paliativos de personas enfermas y colaborar en las actividades de fomento y protección, mediante acciones ambulatorias o en atención cerrada. Al hospital le corresponderá otorgar, dentro de su ámbito de competencia, las prestaciones de salud que el Director del servicio le asigne de acuerdo a las normas técnicas que dicte el ministerio de salud sobre la materia con tal objeto propenderá también al fomento de la investigación científica y al desarrollo del conocimiento de la medicina y de la gestión hospitalaria.

El hospital cuenta con áreas para el correcto funcionamiento de los servicios, estas áreas son recursos humanos, CAA, medicina, gestión del cuidado y administrativa, esta última es el área encargada de los diferentes centros de responsabilidades, donde el C.R. operaciones está a cargo de las actividades que tienen relación al mantenimiento industrial.

3.3. DIAGNOSTICAR SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE.

3.3.1. Revisión de planos.

Actualmente el recinto hospitalario no cuenta con los planos oficiales del edificio en el cual se trabajara pero si cuenta con la siguiente información:

EDIFICIO
MONOBLOCK

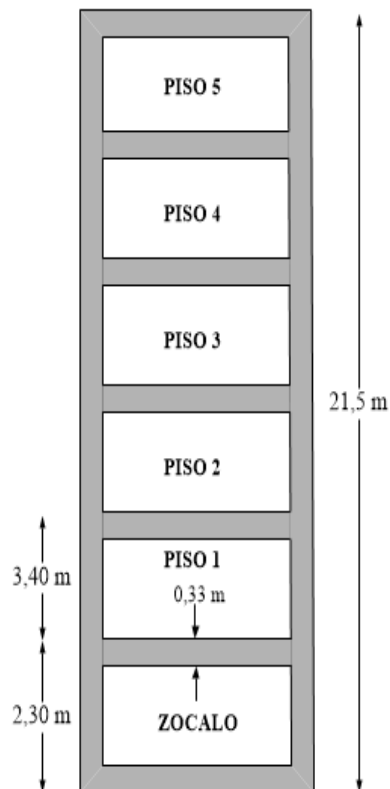


Figura 3-1: Dimensiones del edificio Monoblock.

(Fuente: Creación propia)

El edificio cuenta con una altura total de 21.5 [m], incluyendo la loza que comprende una altura de 2.2 [m]. Este cuenta con 6 pisos, cada uno de ellos tiene una altura de 3.40 [m] y un espesor de pared de 0.33 [m] por piso. A diferencia del zócalo que presenta una altura de 2.30 [m], además se nos facilitan planos de cada una de las plantas del edificio.

3.3.2. Equipos involucrados.

3.3.2.1. Estanques.

El recinto actualmente cuenta con estanques de hormigón armado utilizados en muchas regiones debido a su tecnología de bajo costo, su alta resistencia a la compresión, su manejabilidad y alta durabilidad en el tiempo.

Este material es obtenido mediante la mezcla de hormigón fresco y armaduras pasivas de acero para producir un elemento que resiste acciones que provocan tensiones de compresión y tracción.



Figura 3-2: Estanques cisterna.
(Fuente: Edificio monoblock HGGB)

I. Especificaciones técnicas de los estanques.

Cada uno de los estanques se encuentra rotulado con una identificación única para poder ser diferenciados uno del otro, como se puede apreciar en la siguiente tabla, como se mencionó anteriormente estos están contruidos a base de hormigón armado, los estanques ubicados en la parte baja tienen una capacidad máxima de alrededor de 272 [m³] y 251 [m³]. Los cuales a su vez se encargan de abastecer a los estanques ubicados en la parte superior del edificio, estos estanques cuentan con 41 [m³] como capacidad máxima. Cada uno de ellos cuenta con doble compartimiento debido a la alta capacidad de fluido que deben contener en su interior. Cada uno de estos estanques es abastecido en base al mismo medidor Ubicado en San Martín denominado como 3070337-5.

ID ESTANQUE	MATERIAL	CAPACIDAD	EDIFICIO	UBICACIÓN	N° MEDIDOR
MBK-E1	Hormigón armado	272 [m ³]	MONOBLOCK	Subterráneo	San Martin 3070337-5
MBK-E2	Hormigón armado	251 [m ³]	MONOBLOCK	Subterráneo	San Martin 3070337-5
MBK-E3	Hormigón armado	41 [m ³]	MONOBLOCK	Techo	San Martin 3070337-5
MBK-E4	Hormigón armado	41 [m ³]	MONOBLOCK	Techo	San Martin 3070337-5

Tabla 3-1: Especificaciones técnicas de los estanques.
(Fuente: Recopilación propia)

3.3.2.2. Bombas de impulsión.

La sala de bombas actualmente cuenta con 3 bombas centrifugas multietapa. Estas cuentan con puertos de aspiración y descarga del mismo nivel (en línea) para hacer posible su instalación en sistemas de monotubo horizontales. Las piezas de la motobomba destinada al contacto con el agua son de acero inoxidable. La transmisión de potencia tiene lugar por medio de un acoplamiento dividido.

La bomba está equipada con un motor síncrono de imanes permanente de 3 fases refrigerado por ventilador. El motor incluye un convertidor de frecuencia y un controlador PI en la caja de conexiones. Ello facilita el control variable y continuo de la velocidad del motor, lo cual, a su vez permite ajustar el rendimiento a un conjunto determinado de requisitos.



Figura 3-3: Bombas centrifugas multietapa.
(Fuente: Sala de bombas HGGB)

I. Especificaciones técnicas de la bomba.

DESIGNACIÓN	MARCA	MODELO	SERIE	AÑO INSTALACIÓN	ESTADO (BUENO, MALO, REGULAR)
Bomba n°1	Grundfos	MGE100LC2	7570	2015	Bueno
Bomba n°2	Grundfos	MGE100LC3	6344	2015	Bueno
Bomba n°3	Grundfos	MGE100LC4	6364	2015	Bueno

Tabla 3-2: Especificaciones técnicas de las bombas.**(Fuente: Recopilación propia propia)**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

LÍQUIDO

Líquido bombeado :	Agua
Rango de temperaturas del líquido.	-20 – 120 [°C]
Temperatura del líquido durante la operación :	20 [°C]
Densidad :	998 [Kg/m ³]

TÉCNICO

Velocidad para datos de bomba :	3514 [rpm]
Caudal nominal :	12.1 [m ³ /h]
Altura de impulso:	58.5 [m]
Orientación de la bomba :	Vertical.
Disposición del sello del eje:	Único.
Código para el sello del eje :	HQQE
Aprobaciones en la placa de identificación.	CE, EAC, ACS.
Curva de tolerancia.	ISO9906:2012 3B

MATERIALES.

Base :	Acero inoxidable. EN 1.4408 AISI 316
Impulsor :	Acero inoxidable. EN 1.4301 AISI 304
Cojinete	SIC

INSTALACIÓN

Temperatura ambiental máxima:	40 [°C]
Presión de trabajo máxima :	16 [bar]
Presión máxima a la temp. declarada :	16[bar]/120 [°C] 16[bar]/-20 [°C]
Tipo de conexión:	PJE
Tamaño de la conexión de entrada:	DN 50
Dimensión de aspiración.	2 inch
Tamaño de la conexión de salida	DN 50
Dimensión de descarga	2 inch
Clasificación de presión para conexión de tubería:	PN 50
Tamaño de brida del motor	FT 130

DATOS ELÉCTRICOS

Estándar del motor :	IEC
Tipo de motor :	100LC
Clase de eficiencia IE :	IE3
Potencia nominal – P2 :	3 [KW]
Frecuencia de alimentación :	50 [Hz]
Tensión nominal :	3 x 380 – 480 V
Corriente nominal :	6,20 – 5,00 A
Cos –phi – factor de potencia :	0,94 – 0,92
Velocidad nominal :	360 – 3490 rpm
Eficiencia :	IE3 87,1%
Rendimiento del motor a carga total :	87.1%
Número de polos :	2
Grado de protección (IEC 34-5):	IP 55
Clase de aislamiento (IEC 85) :	F

II. Curva de rendimiento de los equipos de elevación.

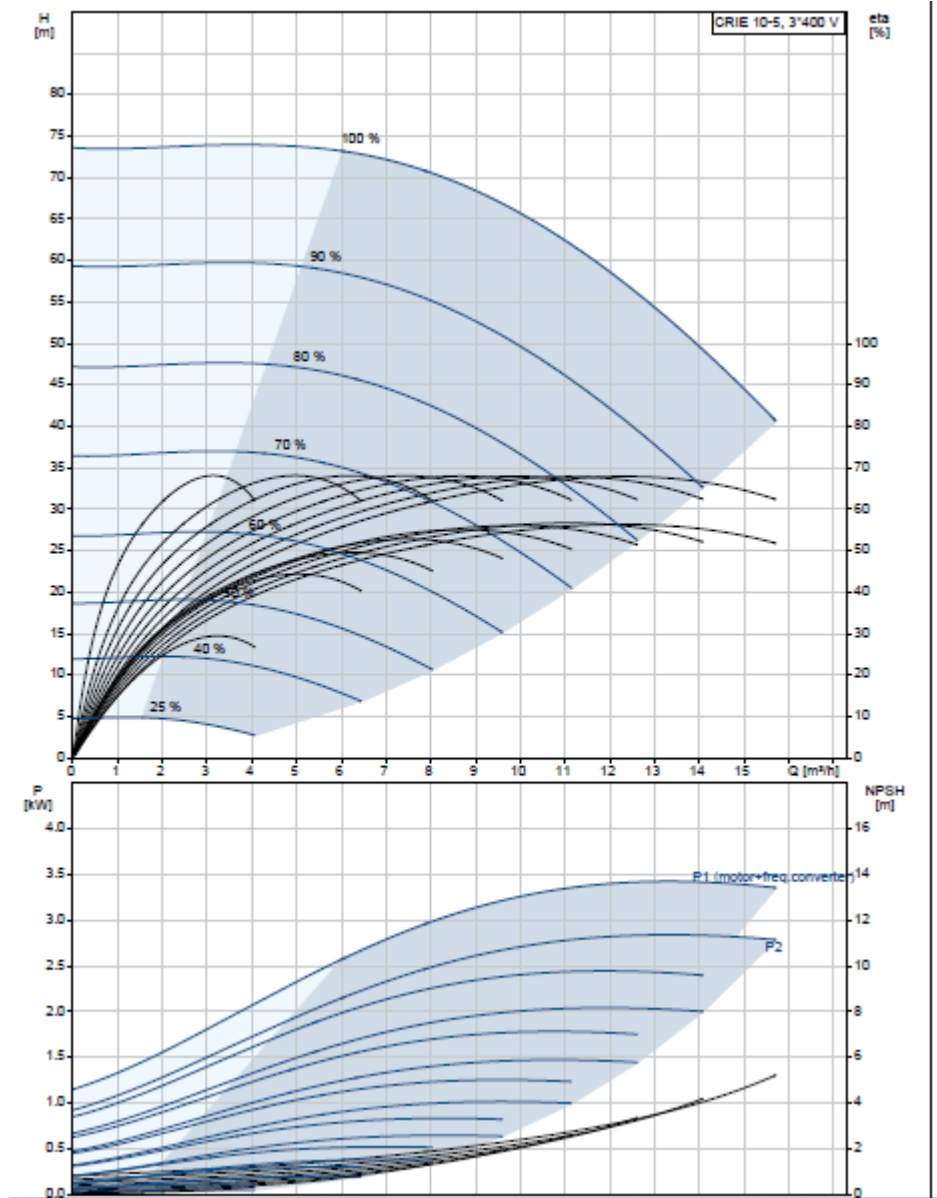


Figura 3-5: Grafico de la curva de rendimiento de las bombas.

(Fuente: (Grundfos, 1945))

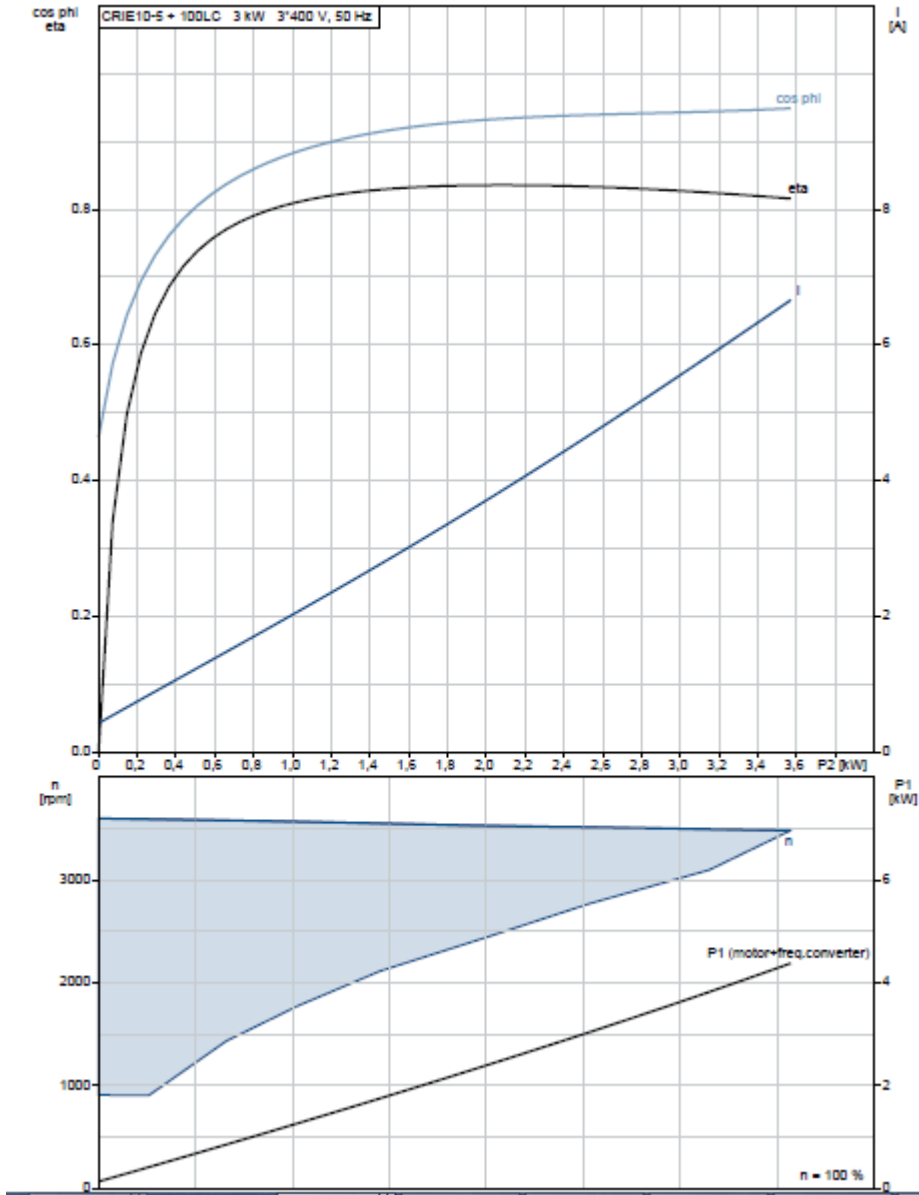


Figura 3-6: Grafico de la curva de rendimiento del motor.

(Fuente: (Grundfos, 1945))

3.3.2.3. Sistema Piping y Fittings.

Denominado así debido a un conjunto de cañerías, conductos cerrados destinados al transporte de fluidos, y sus accesorios. La gran mayoría de las tuberías actúa como conductos a presión es decir, sin superficie libre, con el fluido mojando toda su área transversal, a excepción de los desagües o alcantarillado donde el fluido trabaja con superficie libre, como canales.

Nace la necesidad del uso de este tipo de conjuntos debido a que el punto de almacenamiento o generación de fluidos se encuentra generalmente distante de los puntos de utilización. Utilizado en todo tipo de fluidos conocidos como líquidos o gaseosos.



Figura 3-7: Circuito piping.
(Fuente: Sala de bombas de HGGB)

a) Tuberías de acero inoxidable.

Las tuberías de acero inoxidable se caracterizan por contener altos niveles de níquel y molibdeno, para aumentar la durabilidad y la resistencia a la corrosión, este tipo de tuberías se encuentran disponibles en cedula 10, 40, 80 con o sin costura.

Utilizadas ampliamente en la industria y el entorno doméstico. Pueden presentar cualquier diámetro, largo o grosor, y ser desde simples y estrictamente funcionales, hasta atractivos y decorativos. En el uso industrial se les valora por su resistencia y capacidad de soportar temperaturas y presiones extremas, así como elementos destructivos.

I. Especificaciones técnicas de las tuberías.

Tamaño	Material
2"	Acero inoxidable
3"	Acero inoxidable
4"	Acero inoxidable

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas de las tuberías.

(Fuente: Creación propia)

b) Válvulas.

- Válvulas de bola.

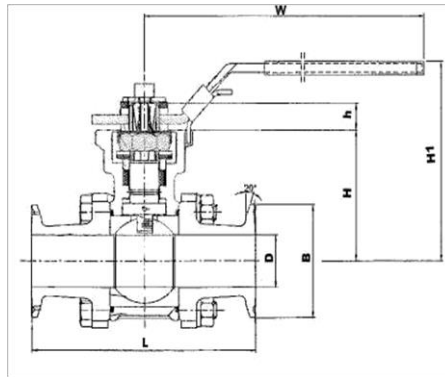


Figura 3-8: Válvula de bola.

(Fuente: (Mott, 6ta edicion))

Este tipo de válvulas ofrecen muy buena capacidad de cierre y son prácticas debido a que para ejecutar tanto el cierre como la apertura se necesita girar el vástago en 90°. Se pueden fabricar de “paso completo”, lo que genera que la apertura de la válvula es del mismo tamaño que el interior de las tuberías, lo que a su vez genera una muy pequeña caída de presión.

Una de las limitantes de este tipo de dispositivos mecánicos es que funcionan exclusivamente en posición totalmente abierta o totalmente cerrada.

- Válvula de compuerta.

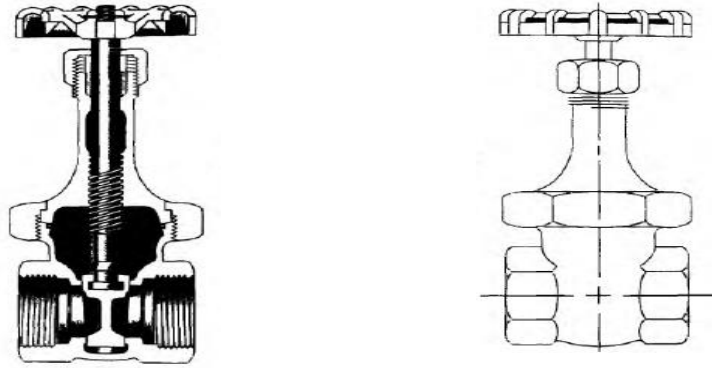


Figura 3-9: Válvula de compuerta

(Fuente: (Mott, 6ta edicion))

Las válvulas de compuerta cuando se encuentran abiertas completo hay muy poco obstrucción en el camino del flujo que ocasione turbulencia en el camino de la corriente.

Este tipo de válvulas es una de las mejores para limitar la perdida de energía. Un dispositivo de este tipo al encontrarse abierto por completo solo pierde el 2,4% de energía que pierde una válvula de globo.

El mayor costo que esta presenta se justifica con el ahorro de energía generado durante el ciclo de vida del sistema.

- Válvulas de retención.

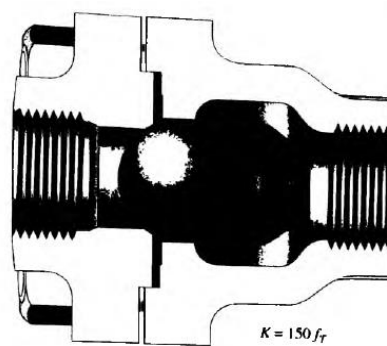


Figura 3- 10: Válvula de retención.

(Fuente: (Mott, 6ta edicion))

La función de este tipo de válvula es permitir el flujo en una dirección y detenerlo en la contraria.

Existen dos tipos de válvulas de retención, las de tipo de bola y la de tipo giratoria. Cuando se halla abierta la de tipo giratorio proporciona una restricción pequeña al movimiento del fluido, a diferencia de la de tipo bola ya que ocasiona una restricción mayor porque el fluido debe moverse por completo alrededor de ella. Sin embargo, es común que la verificación tipo bola sea más pequeña y sencilla que la de tipo giratorio.

Para utilizar este tipo de válvulas de verificación es necesario contar con una velocidad mínima de flujo para hacer que la válvula abra por completo. A bajos flujos volumétricos, una válvula abierta en forma parcial presentaría más restricción y mayor pérdida de energía.

I. Especificaciones técnicas de las válvulas.

Dispositivo mecánico.	Extremos	Cantidad	Material	Tamaño
Válvula de bola	Roscas con uniones americanas.	6	Acero inoxidable	2"
Válvula de compuerta	Bridada en ambos extremos	2	Acero inoxidable	4"
Válvula de retención, tipo bola.	Bridada en ambos extremos	1	Acero inoxidable	4"

Tabla 3-4: Levantamiento de válvulas.
(Fuente: Sala de bombas hospital HGGB)

3.3.2.4. Instrumentación.

La instrumentación dentro de un sistema de distribución agua, le proporcionan información acerca de los parámetros de trabajo que se estén controlando. Siendo de gran utilidad para los operadores debido a que estos registros nos entregan información relevante acerca del proceso.

a) Manómetro de tubo bourdon.

Instrumento de medida de la presión en fluidos (líquidos y gases) en circuitos cerrados. Estos miden la diferencia de presión real o absoluta y la presión atmosférica, llamándose a este valor, presión manométrica. Es por ello que se conoce a estos instrumentos como manómetros de presión.

Lo que realmente hacen es comparar la presión atmosférica, con la de dentro del circuito por donde circula el fluido, es por ello que los manómetros miden la presión relativa.

b) Caudalimetro.

Un Caudalimetro es un instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición de gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. De los cuales existen versiones mecánicas y eléctricas.

3.3.2.5. Estanque de expansión.

Estos recipientes metálicos con forma alargada o redondeada, cerrado herméticamente y cuyo interior está dividido en dos partes mediante una membrana elástica impermeable.

Utilizado para absorber las variaciones del volumen del líquido contenido en las tuberías. Las cuales se deben a los cambios de presiones en el fluido que se origina en el circuito.

I. Especificaciones técnicas.

Tipo	N° serie	Capacidad	Presión máx. de trabajo.	Temperatura máxima.
GT-U-100V	14/0370	100 L	16 bar	70 °C

Tabla 3-5: Especificaciones del estanque de expansión.

(Fuente: placa del equipo)

3.4. ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL.

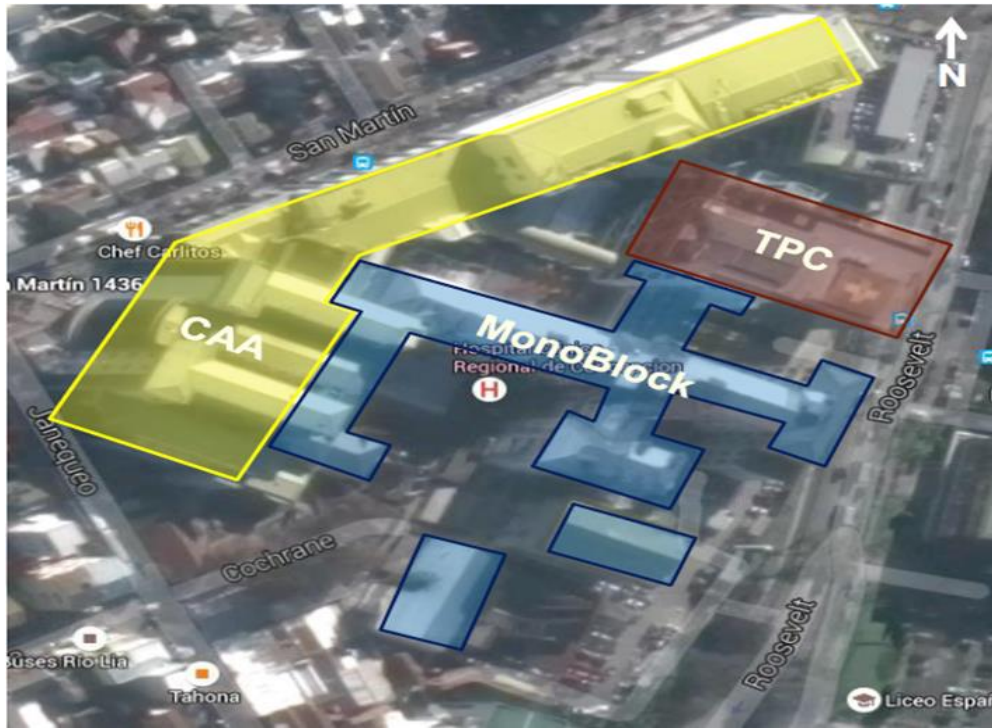


Figura 3-11: Fotografía satelital de HGGB.

(Fuente: Google Maps)

Las instalaciones están compuesta por tres edificios denominados como Monoblock, CAA, TPC, cada uno de ellos se encarga de proveer la asistencia necesaria a los pacientes que día a día llegan hasta este centro hospitalario con anomalías de distinta índole.

Sin embargo para poder entregar un servicio de calidad es necesario contar con equipos e instalaciones de calidad, que además cuenten con la normativa vigente en la actualidad, resguardando la vida y la seguridad de aquellos que día a día transitan dentro de este recinto hospitalario. Los que a su vez sean capaces de cubrir las necesidades que se presentan dentro del recinto. Sin dudar uno de los servicios básicos y vitales para todo los seres vivos es el agua potable, más aun para aquellas personas que se encuentran internadas dentro de este recinto, debido a las distintas complicaciones que cada uno de ellos presenta, y no tan solo para los pacientes si no para cada uno de los trabajadores y personas que día a día llegan hasta aquí. Es por ello que nos hemos enfocado en el suministro de este servicio en uno de los edificios denominado como MONOBLOCK, Este edificio cuenta con 6 pisos donde uno de ellos es subterráneo, en él se llevan a cabo 22 servicios de distinta índole, a continuación una representación de ellos.

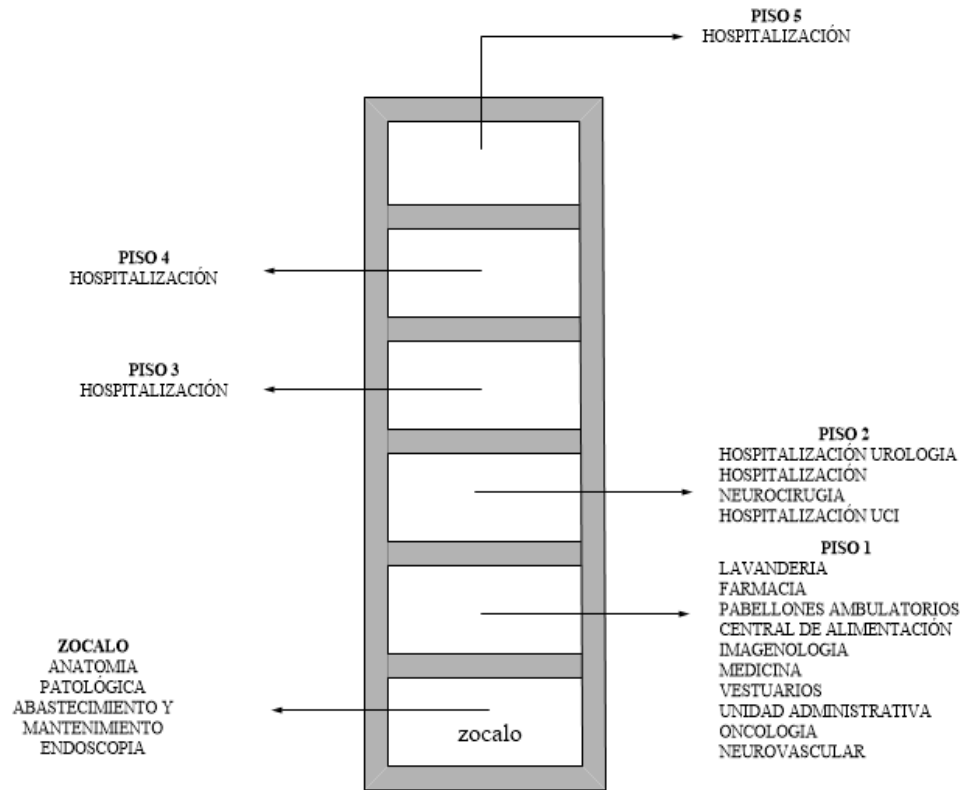


Figura 3-12: Diagrama de los servicios en el edificio MBK.

(Fuente: Creación propia)

Debido a la variada cantidad de funciones que se llevan a cabo en este edificio es de vital importancia que este cuente con instalaciones de suministro de agua potable apropiadas para cumplir con la alta demanda que genera este recinto.

Este recinto clínico es abastecido de este servicio mediante la red pública, que actualmente se encuentra a cargo de la empresa ESSBIO a cargo de gran parte de la octava región, esta empresa es la encargada de captar, decantar, filtrar, desinfectar, almacenar y distribuir este recurso hídrico. En el proceso de producción de agua potable contempla una serie de pasos que permiten eliminar la turbiedad y suciedad del agua cruda captada, transformándola en agua apta para el consumo humano. En este momento el recinto cuenta con medidores ubicados en puntos claves para suministrar este servicio a cada uno de los edificios dentro de las instalaciones, como se puede ver a continuación.

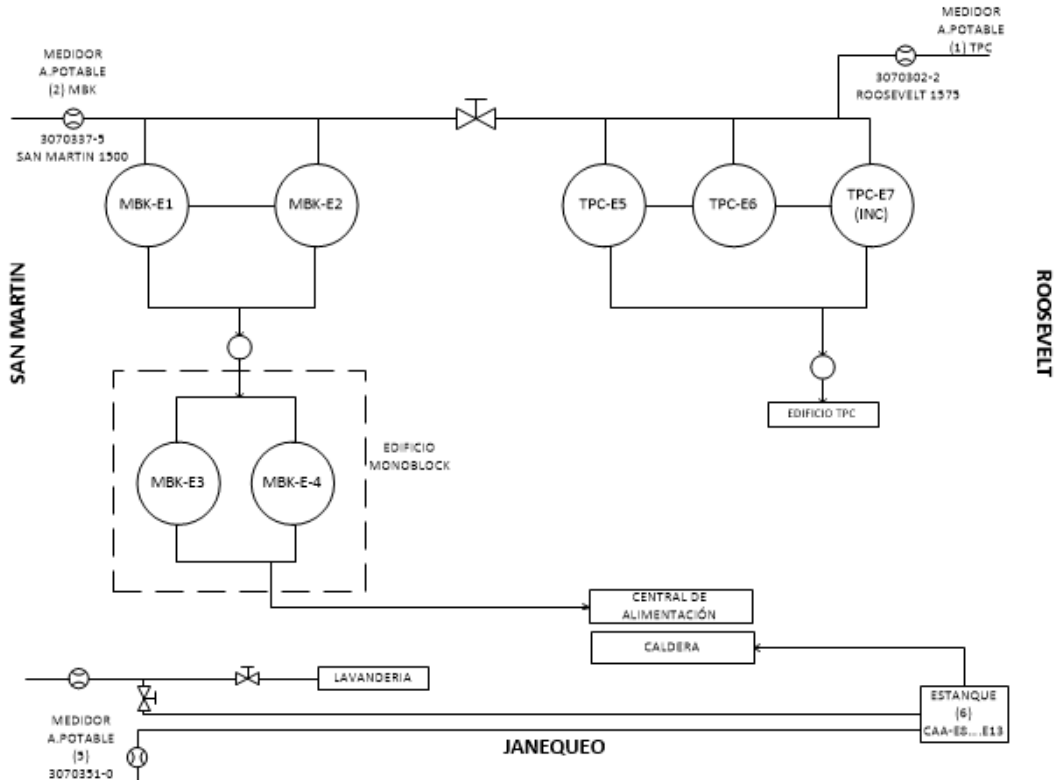


Figura 3-13: Diagrama de la distribución de los medidores de agua potable en HGGB.

(Fuente: Creación propia.)

Nuestro edificio es alimentado por el medidor ubicado en San Martín, rotulado con la serie 3070337-5, este medidor distribuye el agua hasta dos estanques ubicados en la parte baja del edificio, en donde cada uno de ellos es capaz de almacenar hasta 272 [m³] y 252 [m³] respectivamente, desde este punto el fluido es impulsado por tres bombas centrífugas multietapa dispuestas en forma perpendicular a los estanques y posicionadas de manera vertical. Estos equipos deben suministrar el fluido de manera negativa debido a que lo deben impulsar hasta la parte más alta del edificio el cual cuenta con alrededor de 22 [m] de altura. En este punto encontramos dos estanques con una capacidad de 41 [m³] cada uno los cuales se encargan de captar el agua proveniente desde los estanques de la parte baja. Desde este punto es donde comienza la distribución de agua potable hacia los servicios, pacientes y trabajadores presentes en el. Esto se realiza mediante gravedad y la colaboración de equipos hidroneumáticos que compensan la presión en el sistema.

Es en este punto donde surgen algunas variantes con respecto a la eficiencia, seguridad y el buen mantenimiento de los equipos encargados de llevar a cabo todo el proceso. Puesto que si bien se aprovecha la gravedad debido a la altura que se encuentran los estanques, a la vez se está ignorando un punto clave para la seguridad de todos los que día a día transitan dentro del edificio, y con esto nos referimos a algún inoportuno episodio de la naturaleza (terremoto) o algún otro tipo de accidente imprevisto en las instalaciones donde estos grandes almacenadores se vean afectados

y puedan generar una catástrofe de mayor magnitud, junto con ello también aparecen las variables de contaminación ambiental que podría existir.

Como este sistema no cuenta con equipos de impulsión, la eficiencia con la que el fluido es transmitido hacia los servicios no es la que debería ser entregada y por lo tanto se pierden tiempos.

Otra de las variables que presenta este tipo de sistemas se genera al momento de realizar los respectivos mantenimientos de los equipos, particularmente aquellos que se encuentran en la parte alta del edificio (estanques), debido a que estos deben ser descargados por completo para realizar su respectivo mantenimiento y cumplir con lo que indica la norma.

3.5. RECOPIACIÓN DE PARÁMETROS DE TRABAJO.

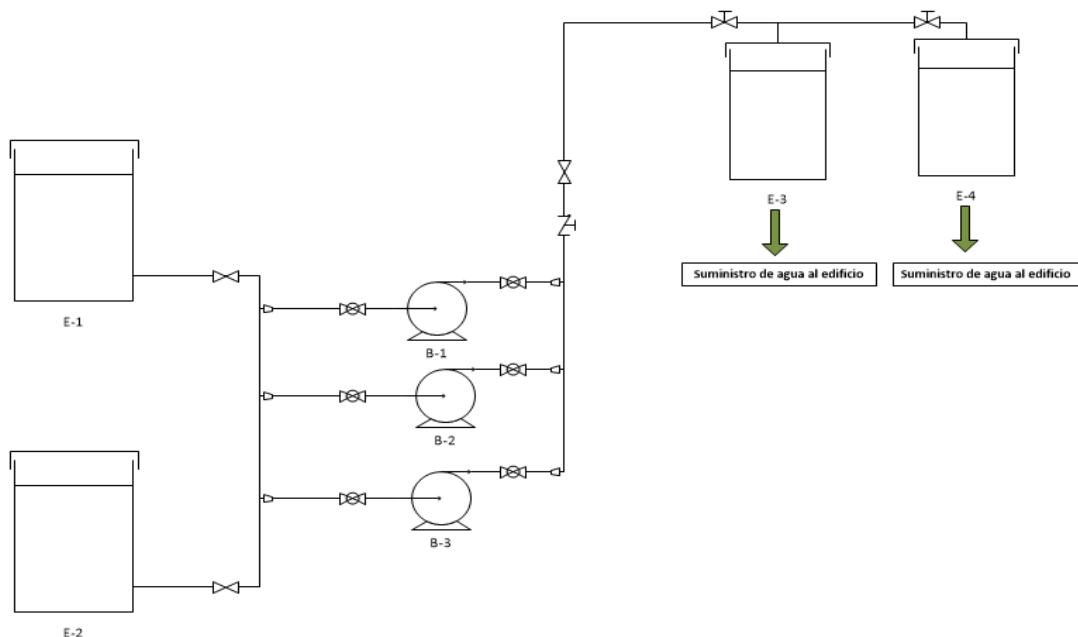


Figura 3-14: Diagrama del servicio actual de distribución de agua potable.

(Fuente: Creación propia)

Actualmente las instalaciones de distribución de agua potable del hospital regional se encuentran dispuestas como se aprecia en el diagrama donde ambos estanques se encuentran cerrados y sometidos a la presión de la atmosfera. La distribución es llevada a cabo desde un estanque hacia el otro mediante 3 bombas centrifugas multietapa que trabajan en paralelo, de las cuales dos funcionan continuamente y una de ellas se reserva para situaciones de emergencia o bien para mantención.

Para poder realizar todo este proceso es necesario contar con los parámetros de diseño del circuito que en esta circunstancia serían los indicados en el diagrama

tales como presiones, velocidades, densidad del fluido a transportar, caudal que deben elevar las bombas, potencia necesaria de las bombas así como también la altura de las columnas de agua. Pero a la vez también aparecen nuevos parámetros de trabajo ya que dentro del circuito nos encontramos con accesorios tales como las válvulas de paso, los flanges, entre otros. Los que condicionan el tránsito de nuestro fluido incorporando las pérdidas por fricción que cada uno de ellos genera.

3.5.1. Propiedades del fluido.

El agua es la única sustancia natural que se encuentra en sus tres estados (líquida, sólida y gaseosa), a las temperaturas encontradas naturalmente en la tierra. Esta sustancia se congela a 0 [°C] y hierve a 100 [°C] (al nivel del mar). Los puntos de congelamiento y ebullición son la base para medir temperatura: 0 [°C] en la escala de Celsius esta al punto de congelamiento del agua, y 100 [°C] es el punto de ebullición del agua.

El agua tiene un alto índice específico de calor. Esto significa que el agua puede absorber mucho calor antes de comenzar a calentarse. Es por esta razón que el agua es muy valiosa como refrigerante para las industrias y para el carburador de los automóviles. El alto índice específico del calor del agua también ayuda a regular el cambio de temperatura del aire, y esta es la razón por la cual la temperatura cambia gradualmente durante las estaciones del año, especialmente cerca de los océanos.

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Figura 3-15: Propiedades del agua.

(Fuente: (Mott, 6ta edicion))

a) Densidad del agua.

En este sistema el fluido se encuentra a 13[°C] una vez que el sistema se encuentra en funcionamiento por lo tanto trabajaremos con los estimado en la tabla para 15[°C] es decir la densidad corresponde a 1000 [kg/m³].

b) Masa del fluido.

$$m = \rho * V$$

$m = \text{masa. [Kg]}$

$\rho = \text{densidad. [kg/m}^3]$

$v = \text{volumen [m}^3]$

La masa para el estanque E_1 corresponde a 272000 [kg] y para el estanque E_2 la masa será de 251000 [kg], estos estanques son los ubicados en la parte baja de la estructura. Los estanques cisterna E_3 y E_4 almacenan 41000 [kg] en cada uno de ellos.

c) Peso.

$$w = m * g$$

$$w = \text{peso [N]}$$

$$m = \text{Masa [Kg]}$$

$$g = \text{Aceleración de gravedad [m/s}^2\text{]}$$

El peso en los estanques de la parte baja E_1 y E_2 corresponde a 2668.32 [KN] y 2462.31 [KN] respectivamente y para los estanques cisterna E_3 y E_4 el peso es de 402.21 [KN].

d) Gravedad específica.

$$S_g = \frac{\rho}{\rho_{\text{patrón}}}$$

$$S_g = \text{Gravedad específica [adimensional]}$$

$$\rho = \text{Densidad [Kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_{\text{Patrón}} = \text{Densidad patrón [Kg/m}^3\text{]}$$

Debido a que en el sistema se trabaja solo con un fluido que se mantiene bajo un rango de condiciones de trabajo similares, el fluido no sufre mayores deformaciones lo que quiere decir que la gravedad específica se mantendrá constante siendo igual a 1.

e) Peso específico.

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma = \text{Peso específico [N/m}^3\text{]}$$

$$\rho = \text{Densidad [Kg/m}^3\text{]}$$

$$g = \text{Aceleración de gravedad [m/s}^2\text{]}$$

El peso específico de esta sustancia dependerá de las temperaturas al cuales se vea expuesto el fluido, ya que la densidad variaría a medida que la temperatura presente cambios excesivos.

3.5.2. Presión.

Para el caso de una alimentación desde la red pública, la presión de salida en el artefacto más desfavorable, debe ser de al menos 0,392 bar (4 m.c.a.).

Si la alimentación es mediante elevación mecánica, el artefacto más desfavorable debe tener en el diseño una presión mínima de 0,686 bar (7 m.c.a.).

Los estanques están expuestos a la atmosfera por lo que su presión es considerada como 0 [Kpa], debido a que se considera como despreciable.

Pero una vez que a este fluido se le añade la energía de los equipos de bombeo su presión alcanza los 400 [Kpa] o bien 4 [bar] a la salida, debido a la energía añadida y al área de las cañerías.

3.5.3. Velocidad del fluido.

La velocidad recomendable para tuberías y ductos, dependerá de variados factores que intervienen en el recorrido del fluido. Dentro de los más importantes encontramos el tipo de fluido, la longitud a recorrer, el tipo de tubería o tubo, la caída de presión que puede tolerarse, los dispositivos que van conectados a las tuberías, temperatura, presión y ruido.

Para este caso en particular debido a que estamos trabajando en un recinto hospitalario la velocidad máxima para redes exteriores será de 2,5 [m/s] y de 2 [m/s] para redes interiores, en base a lo establecido en la normativa del SISS.

Sin embargo debido a que la succión y descarga de los equipos de bombeo delimita el tamaño de sus tuberías de conexión la velocidad para estos tramos en particular alcanza los 1.65 [m/s] lo cual se encuentra dentro del margen de lo establecido.

- Cálculo de velocidad.

$$Q = v \cdot A$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

$Q = \text{Caudal [m}^3/\text{s]}$

$v = \text{Velocidad [m/s]}$

$A = \text{Área [m}^2\text{]}$

UBICACIÓN TUBERÍAS	DIÁMETROS [m]
SUCCIÓN	
Estanque	0.1016
Bomba	0.0508
DESCARGA	
Bomba	0.0508
Estanque elevado	0.0762

Tabla 3-6: Diámetros de trabajo.

(Fuente: Creación propia)

CAUDALES	MAGNITUD [m³/s]
Succión desde estanque	0.00672
Succión bomba	0.00336
Descarga bomba	0.00336
Tubería descarga estanque elevado.	0.00672

Tabla 3-7: Caudales de trabajo.

(Fuente: Creación propia)

-Velocidades de trabajo.

UBICACIÓN Y TAMAÑO DE TUBERÍAS	VELOCIDAD [m/s]
Succión	
4"	0.828
2"	1.65
Descarga	
2"	1.65
3"	
Simple	0.73
Conjunto de equipos de elevación	1.47

Tabla 3-8: Velocidades de trabajo.

(Fuente: Creación propia)

3.5.4. Caudal.

La cantidad de fluido que pasa por un sistema por unidad de tiempo puede expresarse por medio de tres términos distintos;

- Q: Flujo volumétrico es el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.
- W: El flujo en peso es el peso de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.
- M: el flujo másico es la masa de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo.

Debido a la información con la que contamos trabajaremos con el caudal volumétrico definido en base a la siguiente formula:

$$Q = A * v \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

O bien:

$$Q: \frac{V}{t} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Actualmente los equipos de bombeo trabajan con un caudal nominal igual a 12.1 [m³/h], levantando en conjunto 24.2 [m³/h].

Debido a la conversión de unidades se trabajara con los siguientes caudales 0.00336 [m³/s] y 0.00672 [m³/s] respectivamente.

3.5.5. Cargas o alturas de trabajo.

- Altura geométrica o carga estática:

En un sistema de bombeo la altura geométrica, es la altura física a la que debe bombearse el agua para alcanzar los puntos de consumo, es decir la altura vertical entre la bomba y el punto de agua o entre el punto de suministro y la aspiración de la bomba.

La carga o altura de succión es la distancia vertical de la línea de centros de la bomba al nivel del líquido que va a ser bombeado. Si la línea de centros de la bomba está por arriba de la fuente de suministro, será altura de succión; si la línea de centros de la bomba está por debajo de la fuente de suministro, será la carga de succión.

La carga estática a la descarga es la distancia vertical entre las líneas de centros de la bomba y el punto de descarga de la superficie del líquido del estanque de descarga.

La carga total estática es la suma algebraica de todas las formas anteriores de cargas estáticas.

$$H_{\text{Estática}} = Z_2 - Z_1$$

$$H_{\text{Estática}} = 18.8 \text{ [m]}$$

$H_{\text{estática}} = \text{Altura estática.}$

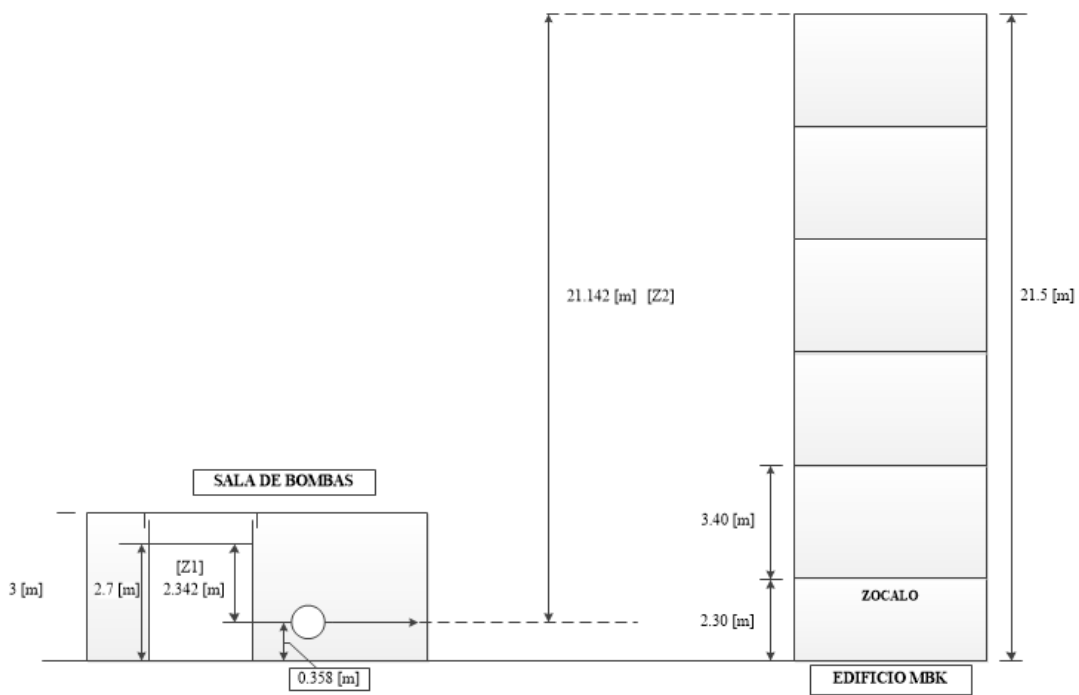


Figura 3-16: Altura estática de trabajo.

(Fuente: Creación propia)

- Altura dinámica o carga dinámica.

Carga total dinámica de succión [H_S]: Es la carga estática de succión, más la carga de velocidad en la brida de succión de la bomba, menos la carga total de fricción en la línea de succión.

Carga total dinámica de descarga [H_d]: Es la carga estática a la descarga más la carga de velocidad en la brida de descarga de la bomba, más la carga total de fricción en la línea de descarga.

La carga total [H] o carga dinámica total [TDH] es la carga dinámica total a la descarga, menos la carga dinámica total a la succión o más la altura total dinámica de succión.

$TDH = H_d + H_s$ (con altura de succión).

$TDH = H_d - H_s$ (con carga de succión).

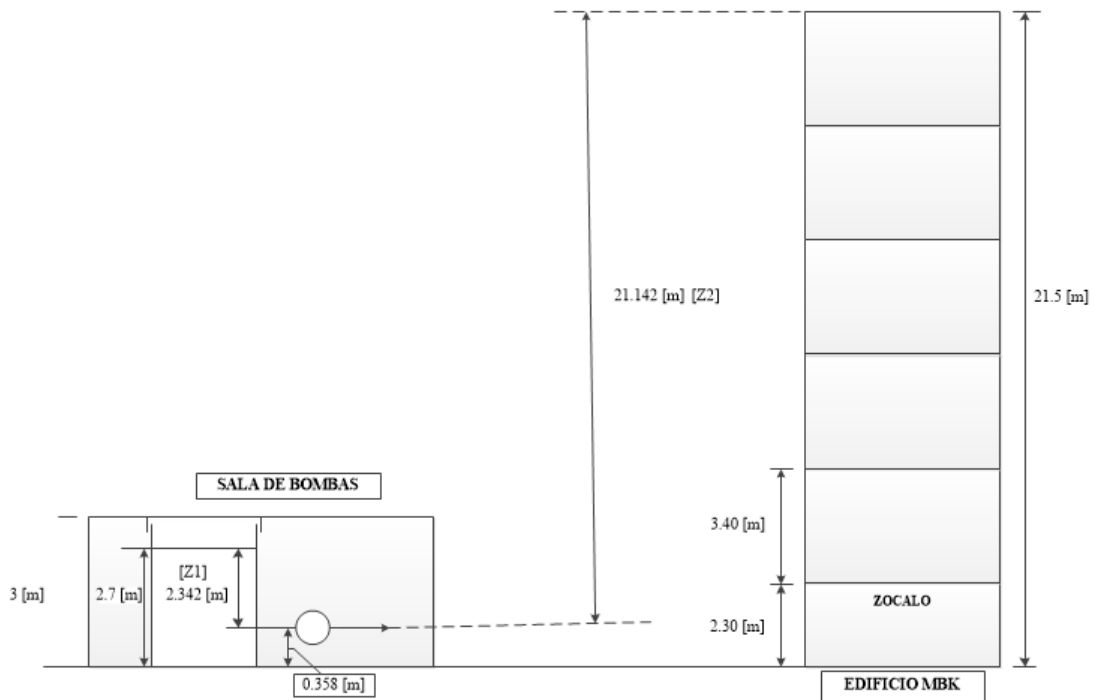


Figura 3-17: Altura dinámica de trabajo.

(Fuente: Creación propia)

$$TDH_{Total} = (Z_2 - Z_1) + \frac{P_2}{\gamma} + h_L$$

3.5.6. Pérdidas en el sistema.

Debido a que el circuito está compuesto por un conjunto de piping y Fittings, es de esperarse que se generen pérdidas de consideración menor una vez que el fluido se encuentre fluyendo a través del circuito a continuación vamos a representar algunas de ellas.

Primero que nada para determinar las pérdidas que se generan en un circuito es necesario conocer el comportamiento del fluido que va a transitar por el circuito, debido a que las pérdidas varían en base al tipo de flujo que transita, ya sea laminar o turbulento, para ello se necesita un medio que nos ayude a predecir el tipo de flujo que se genera en nuestro circuito. Esto se demuestra en

forma experimental y se verifica de modo analítico, que el carácter del flujo en un tubo redondo depende de cuatro variables: densidad del fluido $[\rho]$, viscosidad $[\eta]$, diámetro del tubo $[D]$ y la velocidad promedio $[v]$. El primero en demostrar que esto era posible fue Osborne Reynolds, determinando que al conocer la magnitud de un número adimensional, al que hoy en día se le denomina número de Reynolds $[N_R]$.

Número de Reynolds en secciones circulares.

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu}$$

$N_R = \text{Número de reynolds.} [-]$

$v = \text{velocidad promedio} [m/s]$

$D = \text{diámetro tubería} [m]$

$\rho = \text{Densidad del fluido} [Kg/m^3]$

$\eta = \text{Viscosidad dinámica} [Pa \cdot s]$

$\nu = \text{Viscosidad cinemática} [\frac{m^2}{s}]$

La magnitud que nos arroje esta ecuación esta seccionada en tres áreas: flujo laminar, zona crítica y flujo turbulento y los márgenes son una magnitud menor a 2000 representara a un flujo laminar y una magnitud mayor a 4000 representara un flujo turbulento, sin embargo si la magnitud se encuentra contenida dentro de estas dos magnitudes será imposible predecir que flujo existe, es por ello que se denomina región crítica.

A continuación determinaremos el tipo de flujo que transita por el circuito:

Se considera como un proceso con sus variables constantes, debido a que no existen equipos en el circuito que generen algún cambio relevante en las propiedades del fluido a considerar en esta ecuación. [Densidad y viscosidad]

- Primer tramo.

- Diámetro: 0.1016 [m]
- Velocidad: 0.828 [m/s]

$$N_R = \frac{0.828 [m/s] \times 0.1016 [m]}{1.02 \times 10^{-6} [m^2/s]}$$

$$N_R = 82475.29[-]$$

- Segundo tramo.

- Diámetro: 0.0508 [m]
- Velocidad: 1.65 [m/s]

$$N_R = \frac{1.65 \text{ [m/s]} \times 0.0508 \text{ [m]}}{1.02 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}}$$

$$N_R = 82176.47 \text{ [-]}$$

-Tercer tramo.

- Diámetro: 0.0762 [m]
- Velocidad: 1.47 [m/s]

$$N_R = \frac{1.47 \text{ [m/s]} \times 0.0762 \text{ [m]}}{1.02 \times 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}}$$

$$N_R = 109817.64 \text{ [-]}$$

Debido a que el número de Reynolds en los tres casos es superior a 2000 y no se encuentra dentro del rango de 2000 y 4000, el flujo que transita a través de ambos circuito se considerara como turbulento. Esto ocurre debido a que el fluido presente una velocidad elevada y/o una viscosidad bajo, en este caso en particular la viscosidad del fluido es baja.

I. Pérdidas en la entrada.

Un caso especial de contracción súbita sucede cuando el fluido se mueve de un depósito o tanque relativamente grande hacia una tubería. El fluido debe acelerar desde una velocidad despreciable a la velocidad del flujo en la tubería. La facilidad con la que la aceleración se lleva a cabo determina la cantidad de perdida de energía, y por tanto, el valor del coeficiente de resistencia de la entrada depende de la geometría de esta.

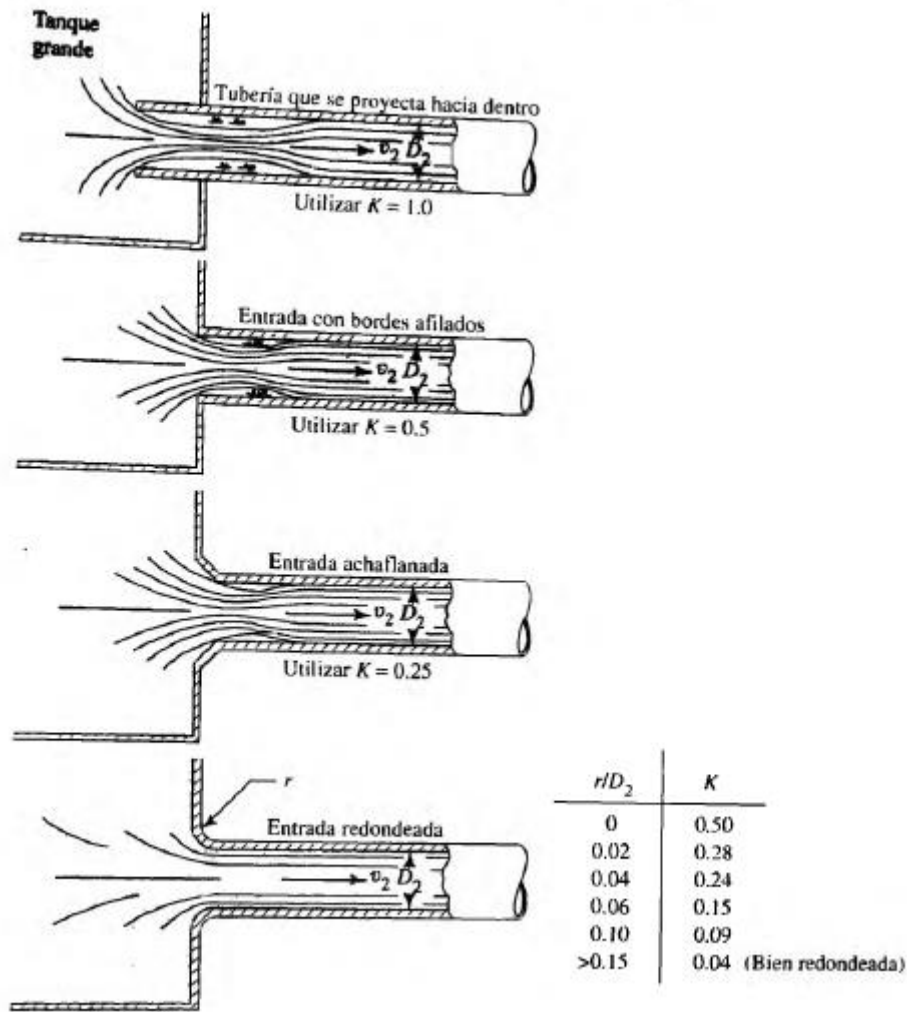


Figura 3-18: Coeficientes de resistencias de entrada.

(Fuente: (Mott, 6ta edicion))

Considerando la condición más desfavorable para la instalación se determina un factor $K=1$ para la instalación.

$$h_L = K (v^2/2 \cdot g)$$

$$h_L = 0.013 \text{ [m]}$$

II. Expansión súbita.

Conforme un fluido pasa de una tubería pequeña a otra más grande a través de una expansión súbita, su velocidad disminuye de manera abrupta, lo que ocasiona turbulencias que a su vez genera una pérdida de energía. La cantidad de turbulencia y por tanto la pérdida de energía, depende de la razón de los tamaños de las tuberías.

$$K = [1 - (D_1/D_2)^2]^2$$

$$K = 0.0625 \text{ [m]}$$

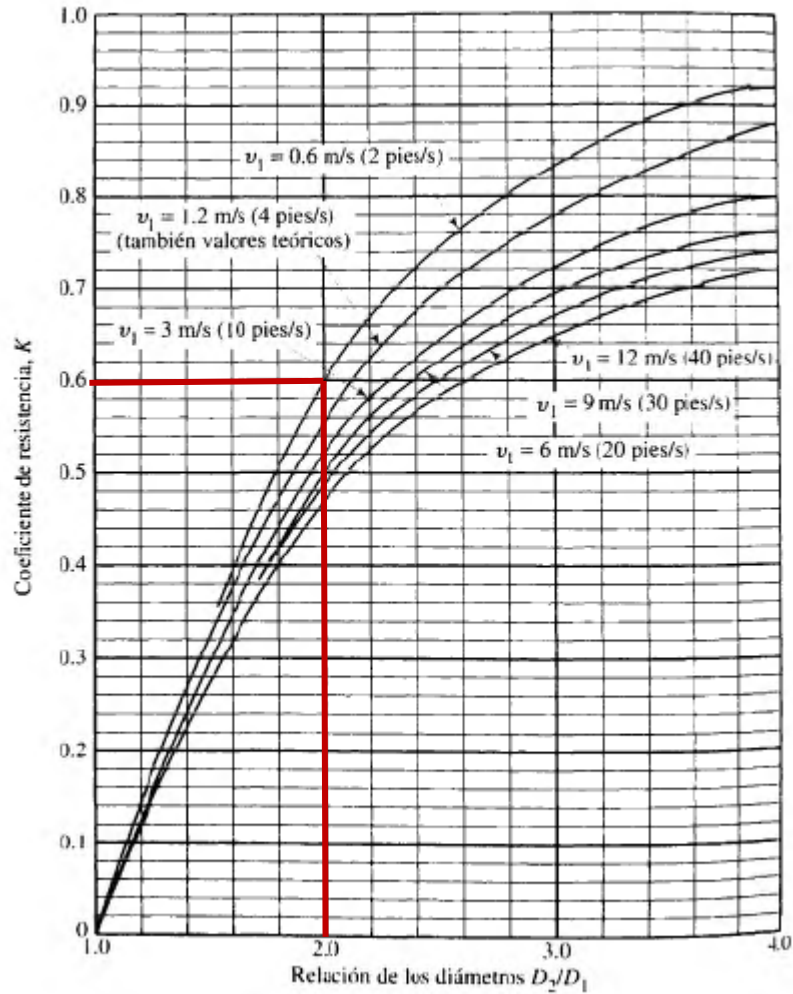


Figura 3-19: Coeficiente de resistencia – expansión súbita.
(Fuente: (Mott, 6ta edición))

$$h_L = K (v^2 / 2 \cdot g)$$

$$h_L = 0.033 [m]$$

III. Pérdidas de carga distribuida para el sistema de tuberías del circuito contemplado en los equipos principales.

Ecuación de Darcy.

Una componente de la pérdida de energía es la fricción en el fluido que circula. Para el caso de flujos en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud del diámetro de la corriente.

Esto es expresado de manera matemática a través de la ecuación de Darcy:

$$h_L = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$h_L =$ Perdidas de energía debido a la fricción. $[N \cdot m/N]$

$f =$ Factor de fricción [adimensional]

$L =$ Lonitud de la corriente del flujo [m]

$D =$ Diámetro de la tubería [m]

- Factor de fricción para flujo laminar.

$$f = \frac{64}{N_R}$$

- Factor de fricción para flujo turbulento.

Debido a que el flujo turbulento es caótico y varia en forma constante, por esta razón se debe recurrir a los datos experimentales. Las pruebas han demostrado que el número adimensional depende de otras dos cantidades adimensionales, el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería. La rugosidad relativa es relación del diámetro de la tubería a la rugosidad promedio de su pared.

Tabla de rugosidad de diseño de algunos materiales:

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo extruido; cobre, latón y acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil, recubierto	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil, no recubierto	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien fabricado	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Figura 3-20: Valores de diseño de la rugosidad de los tubos.

(Fuente: (Mott, 6ta edicion))

- Diagrama de Moody.

Uno de los métodos más utilizados para evaluar el factor de fricción emplea el diagrama de Moody. El diagrama muestra la gráfica del factor de fricción, versus el número de Reynolds, con una serie de curvas paramétricas relacionadas con la rugosidad relativa, las cuales fueron generadas por L.F. Moody a partir de datos experimentales.

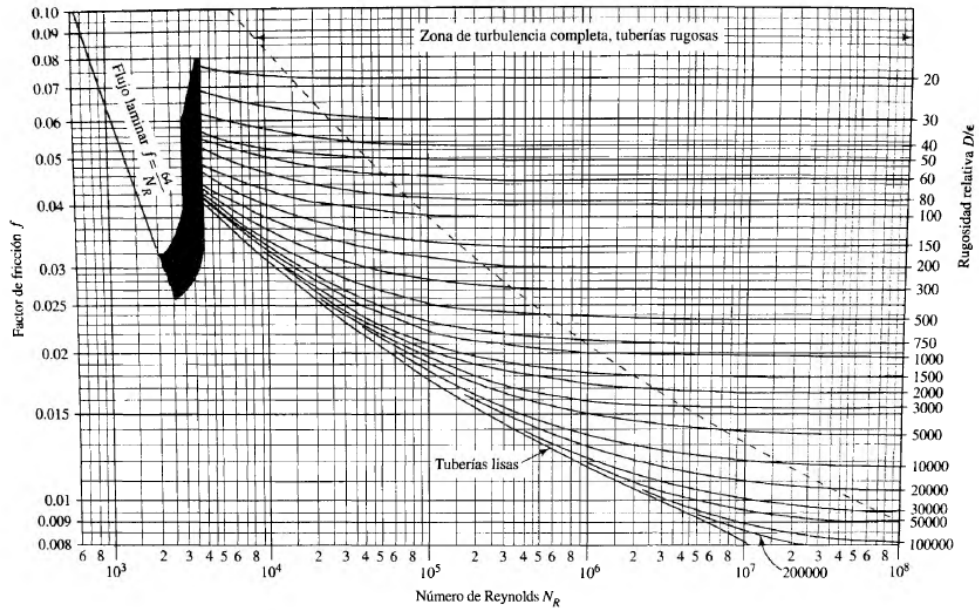


Figura 3-21: Diagrama de Moody.
 (Fuente: (Mott, 6ta edicion))

Mediante la información proporcionada por la figura 5-3, el valor de los diámetros involucrados y el cálculo de número de Reynolds para ambos casos podemos introducirnos en la gráfica y determinar el factor de fricción para cada uno de los casos.

- Primer tramo.
 - ✓ Diámetro: 0.1016 [m]
 - ✓ Rugosidad de las paredes : 1.5×10^{-6} [m]
 - ✓ Número de Reynolds: 82475.29 [-]
 - ✓ Rugosidad relativa $[D/\epsilon]= 67733.33$ [-]

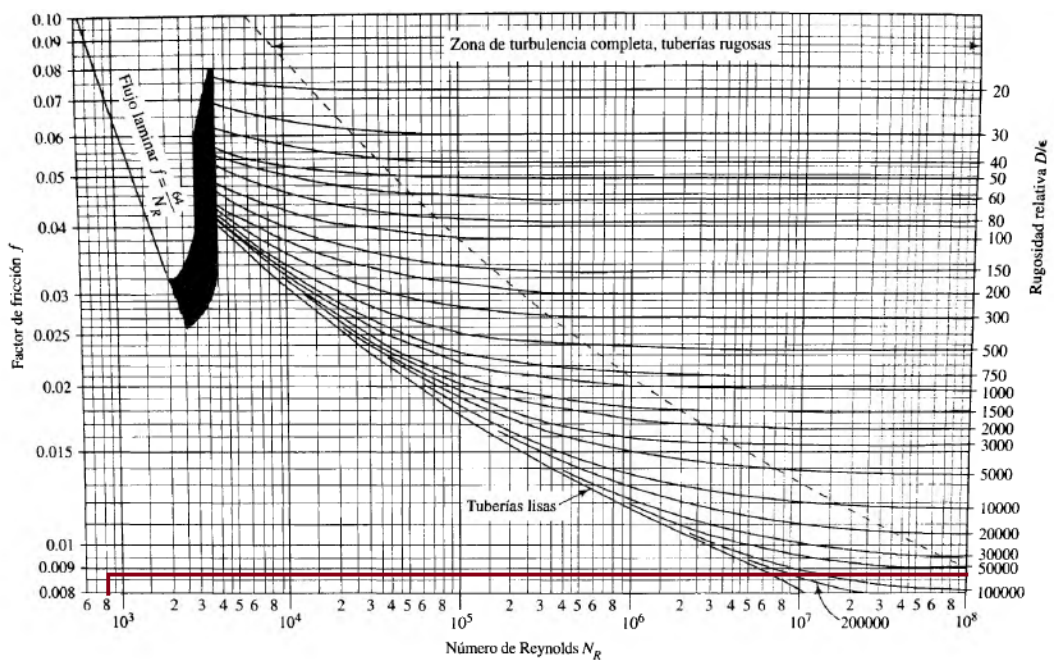


Figura 3-22: Selección del parámetro de fricción en diagrama de Moody primer tramo.
 (Fuente: (Mott, 6ta edicion))

Para una rugosidad relativa igual a 67733.33 [-] y un número de Reynolds equivalente a 82475.29 [-], el factor de fricción corresponderá a 0.0088.

- Segundo Tramo.

- ✓ Diámetro : 0.0508 [m]
- ✓ Rugosidad de las paredes : 1.5×10^{-6} [m]
- ✓ Número de Reynolds : 82176.47 [-]
- ✓ Rugosidad relativa : 33866.66 [-]

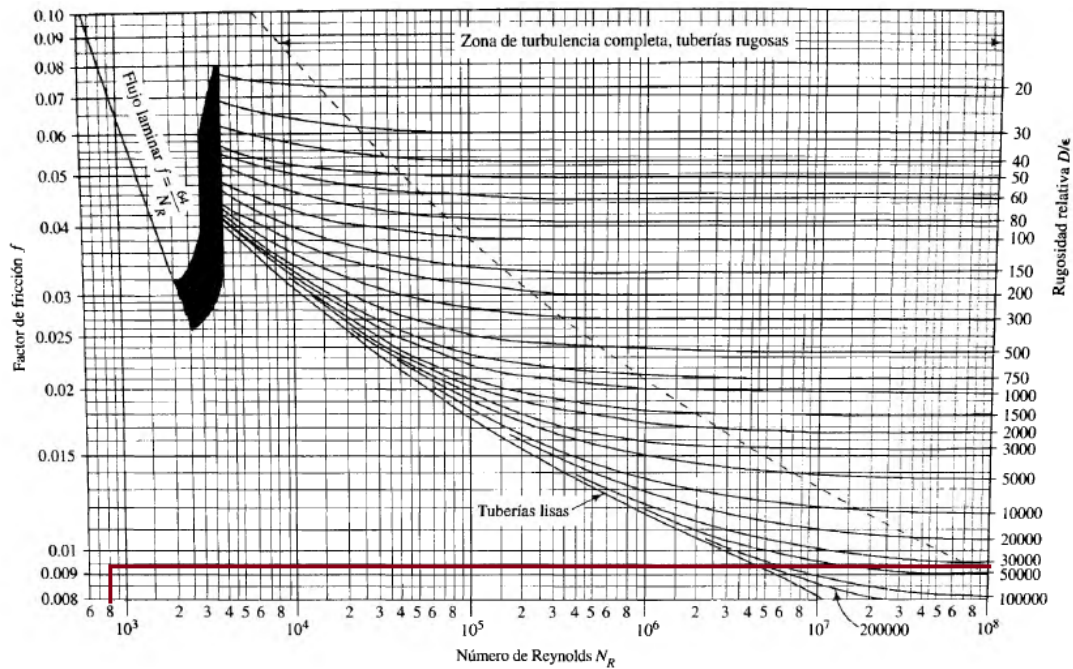


Figura 3-23: Selección del factor de fricción en el diagrama de Moody segundo tramo.
(Fuente: (Mott, 6ta edición))

Para una rugosidad relativa igual a 33866.66 [-] y un número de Reynolds equivalente a 82176.47 [-], el factor de fricción corresponde a 0.0095.

- Tercer tramo.

- ✓ Diámetro : 0.0762[m]
- ✓ Rugosidad de las paredes : 1.5×10^{-6} [m]
- ✓ Número de Reynolds : 109817.64[-]
- ✓ Rugosidad relativa : 50800 [-]

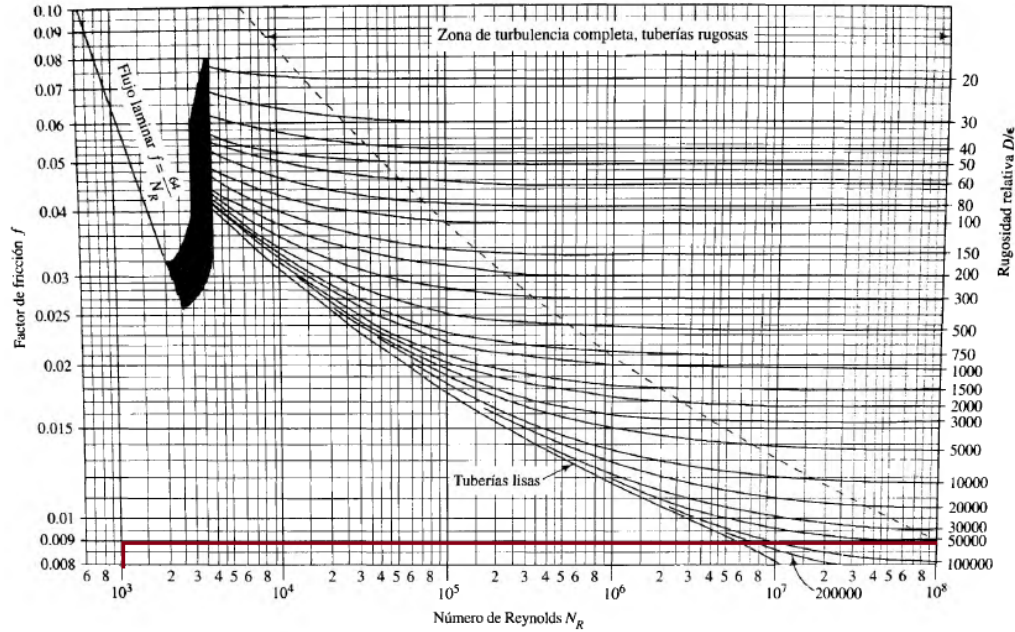


Figura 3-24: Selección del factor de fricción en el diagrama de Moody tercer tramo.

(Fuente: (Mott, 6ta edición))

Para una rugosidad relativa igual a 50800 [-] y un numero de Reynolds equivalente a 109817.64 [-], el factor de fricción corresponde a 0.009 [-]

Una vez obtenido este dato podemos proceder a ejecutar la ecuación de Darcy:

- Primer Tramo:

$$h_L = 0.0088 [-] \times \frac{5.5 \text{ [m]}}{0.1016 \text{ [m]}} \times \frac{[0.828 \text{ [m/s]}]^2}{2 \cdot 9.81 \text{ [m/s}^2]}}$$

$$h_L = \mathbf{0.0166 \text{ [m]}}$$

- Segundo Tramo:

$$h_L = 0.0095 [-] \times \frac{3 \text{ [m]}}{0.0508 \text{ [m]}} \times \frac{[1.65 \text{ [m/s]}]^2}{2 \cdot 9.81 \text{ [m/s}^2]}}$$

$$h_L = \mathbf{0.0778 \text{ [m]}}$$

- Tercer Tramo:

$$h_L = 0.009 [-] \times \frac{3 \text{ [m]}}{0.0762 \text{ [m]}} \times \frac{[1.47 \text{ [m/s]}]^2}{2 \cdot 9.81 \text{ [m/s}^2]}}$$

$$h_L = \mathbf{0.0390 \text{ [m]}}$$

$$h_{L \text{ total}} = 0.0166 \text{ [m]} + 0.0778 \text{ [m]} + 0.0390 \text{ [m]}$$

$$h_{L \text{ total}} = \mathbf{0.1334 \text{ [m]}}$$

Las pérdidas totales contempladas en el circuito de tuberías a través de los equipos principales en la sala de bombas corresponde a 0.1334 [m].

IV. Pérdidas de carga focalizada.

Debido a que el circuito de distribución de agua potable se encuentra compuesto por diferentes elementos ya sean válvulas, codos, uniones americanas entre otros, en el sistema se producirán pérdidas consideradas como menores una vez que el fluido fluya a través de esto, de al roce producido y el cambio de dirección que ellos implican.

- Coeficiente de resistencia.

Las pérdidas de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido, conforme pasa por un codo, expansión o contracción de la sección de flujo, o por una válvula. Por lo general los valores experimentales de las pérdidas de energía se reportan en términos de un coeficiente de resistencia K como sigue:

$$h_L = K (v^2/2g)$$

h_L = Pérdida menor.

K = Coeficiente de resistencia.

v = velocidad promedio del flujo.

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
— $3/4$ abierta	35
— $1/2$ abierta	160
— $1/4$ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Figura 3-25: Resistencia de válvulas y acoplamientos expresada como longitud equivalente en diámetro de tubería [L_e/D].

(Fuente: (Mott, 6ta edición))

- Coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios.

<i>Válvulas y accesorios</i>	<i>Coeficiente de resistencia [K]</i>
Válvula de bola	$340 f_T$
Válvula de compuerta	$8 f_T$
Válvula de retención tipo bola.	$150 f_T$
Codo 90°	$30 f_T$

Tabla 3-9: Coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios.

(Fuente: Creación propia)

El método para determinar el coeficiente de resistencia K es diferente al determinado en la ecuación de Darcy, debido a que este se desarrolla mediante la siguiente ecuación:

$$K = (L_c/D)f_T$$

K = Coeficiente de resistencia para perdidas menores.

L_c = Longitud equivalente.

D = Diámetro interior de la tubería.

(L_c/D) = Relación de longitud equivalente.

f_T = Factor de fricción.

- Factor de fricción para tuberías de acero inoxidable.

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_f	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_f
½	0.027	3½, 4	0.017
¾	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1¼	0.022	8-10	0.014
1½	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2½, 3	0.018		

Figura 3-26: Factor de fricción para tuberías de acero inoxidable.

(Fuente: (Mott, 6ta edición))

Debido que el circuito contemplado cuenta con tuberías tanto de 2", 3" y 4" los factores de fricción correspondientes serán 0.019, 0.018 y 0.017 respectivamente para cada uno de los casos.

- Tabla de datos referentes a válvulas y accesorios.

Cantidad	Tipo	Diámetro [pulg]	(L_c/D)	f_T
2	Compuerta	4	8	0.017
		3	8	0.018
1	Retención	4	150	0.018
6	Bola	2	340	0.019
2	Codos	2	30	0.017

Tabla 3-10: Recopilación de datos para pérdidas de carga focalizada.

(Fuente: Creación propia)

- Calculo del coeficiente de resistencia.

$$\mathbf{K} = (L_c/D)f_T$$

- Válvulas de Compuerta. [2]

$$\mathbf{K}_{1 \text{ Total}} = \mathbf{0.136} [-] + \mathbf{0.144} [-]$$

$$\mathbf{K}_{1 \text{ Total}} = \mathbf{0.28}$$

- Válvula de retención. [1]

$$\mathbf{K}_{2 \text{ Total}} = \mathbf{2.55} [-]$$

- Válvula de bola. [6]

$$\mathbf{K}_{3 \text{ Total}} = \mathbf{38.76} [-]$$

- Codos 90°. [2]

$$\mathbf{K}_{4 \text{ Total}} = \mathbf{1.02} [-]$$

- Calculo de pérdidas menores en el circuito.

$$\mathbf{h_L} = \mathbf{K} (v^2/2g)$$

$$h_{L \text{ Total}} = 0.0095 \text{ [m]} + 0.280 \text{ [m]} + 4.26 \text{ [m]} + 0.035 \text{ [m]}$$

$$\mathbf{h_{L \text{ Total}} = 4.58 \text{ [m]}}$$

Las pérdidas en el circuito presente en la sala de bombas donde se encontraran los equipos principales generara una perdida igual a 4.58 [m].

V. Pérdidas totales en el sistema.

$$h_{L\ TOTAL} = P_E + P_{Exp.sub.} + P_{dist.} + P_{foca}$$

$$h_{L\ TOTAL} = 0.033 [m] + 0.013 [m] + 0.1334[m] + 4.58[m]$$

$$h_{L\ TOTAL} = 4.75 [m]$$

3.5.7. Carga total sobre la bomba:

- Ecuación de Bernoulli.

Esta ecuación hace referencia a las energías que transitan mediante el conjunto de cañerías del sistema de distribución de agua potable, en donde es posible apreciar las siguientes:

1. Energía potencial: Debido a su elevación, la energía potencial del elemento en relación con algún nivel de referencia es.

$$EP = wz$$

2. Energía cinética: Debido a su velocidad, la energía cinética del elemento es.

$$EC = wv^2/2g$$

3. Energía de flujo: A veces también llamada energía de presión o trabajo de flujo, representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento de fluido a través de cierta sección contra la presión.

$$EF = wp/\gamma$$

- Ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Cada término de esta ecuación es una forma de la energía que posee el fluido por unidad de peso del fluido que se mueve en el sistema.

Al incorporar la ecuación de la continuidad a esta expresión la formula quedara de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_a - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

h_a = Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como por ejemplo una bomba, es frecuente que se le denomine como carga total sobre la bomba.

h_L = Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios.

Al complementar ambas ecuaciones es posible resolver problemas en los cuales existan pérdidas y ganancias de energía

A continuación se aplicara esta ecuación para el circuito de agua potable que se está proyectando.

Los siguientes términos equivaldrán a cero:

- $P_1 = 0$ Superficie del estanque está expuesta a la atmosfera.
- $v_1 = 0$ aproximadamente debido a que la línea de succión siempre se encontrara con fluido en sus líneas.

Datos de la red de distribución.

- $Z_1 = 2.342$ [m]
- $P_2 = 400$ [KN/m²]
- $\gamma = 9.81$ [KN/m³]
- $Z_2 = 21.142$ [m]
- $v = 1.47$ [m/s]
- $g = 9.81$ [m/s²]
- $h_L = 4.75$ [m]

La ecuación de la energía quedara expresada de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_a - h_l = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Al despejar esta ecuación la carga total sobre la bomba será:

$$h_a = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} - Z_1 + h_L$$

$$h_a = 40.77 \text{ [m]} + 21.142 \text{ [m]} + 0.11 \text{ [m]} - 2.342 \text{ [m]} + 4.75 \text{ [m]}$$

$$h_a = 64.43 \text{ [m]}$$

La bomba suministrara 64.43 [m] de energía a cada newton de agua que fluye a través de ella.

3.5.8. Potencia que requerirá la bomba.

La potencia será la rapidez con la que será transferida la energía, en este caso será la energía transmita por el motor eléctrica a la bomba y de la bomba al fluido. A continuación determinaremos la potencia necesaria para que la bomba impulse el caudal que hemos definido para nuestro sistema, mediante la siguiente formula:

$$P_a = h_a W$$

$$P_a = h_a \gamma Q$$

P_a = Potencia requerida por la bomba. [W]

h_a = Carga total sobre la bomba [m]

W = flujo en peso [N/m³]

γ = Peso específico [N/m³]

Q = Flujo volumetrico del fluido [m³/s]

Datos del procedimiento:

- $h_a = 40.02$ [m]
- $\gamma = 9810$ [N/m³]
- $Q = 0.00336$ [m³/s]

$$P_a = 64.43[\text{m}] \times 9810 [\text{N/m}^3] \times 0.00336 [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$P_a = 2123.71 [\text{W}]$$

$$P_a = 2.12 [\text{KW}]$$

La bomba requerirá una potencia equivalente a 2.11 [KW] para poder elevar el caudal definido.

3.5.9. Eficiencia mecánica de las bombas.

El termino eficiencia se utiliza para denotar la relación de la potencia transmitida por la bomba al fluido a la potencia que se suministra a la bomba. Debido a las pérdidas de energía por fricción mecánica en los componentes de la bomba, fricción del fluido y turbulencia excesiva en esta, no toda la potencia de entrada se transmite al fluido. Entonces si se denota la eficiencia mecánica con el símbolo e_M , tenemos;

$$e_M = \frac{\text{Potencia transmitida al fluido}}{\text{Potencia transmitida a la bomba}} = \frac{P_A}{P_I}$$

$$e_M = \frac{2.11 [\text{KW}]}{3 [\text{KW}]}$$

$$e_M = 0.70 \%$$

El valor de e_M siempre será menor que 1.

3.6. INVESTIGACIÓN SOBRE LA NORMA DE TRABAJO.

Para la realización de cualquier tipo de proyecto hidráulico existen distintas instituciones encargadas de supervisar y reglamentar las condiciones de trabajo y los parámetros de funcionamiento de los equipos involucrados.

Una de las instituciones a cargo de esto es la (SISS, 1990) es el organismo normativo y fiscalizador de las empresas concesionarias que prestan los servicios de agua potable y alcantarillado. También debe controlar y fiscalizar residuos líquidos generados por establecimientos industriales, en el ámbito de su competencia, y los vertidos en las plantas de tratamiento de aguas servidas.

En esta situación nos basaremos en las siguientes normas (NCh2485, 2000), (NCh2794, 2003), (NCh3371, 2017), (NCh3202, 2009), (NCh396, 2010), (NCh3274/1, 2011) que indican lo siguiente;

- **NCh 2485 of 2000:** Instalaciones domiciliarias de agua potable – Diseño, cálculo y requisitos de las redes interiores.
- **NCh 2794 of 2003:** Instalaciones domiciliarias de agua potable – Estanques de almacenamiento y sistemas de elevación – Requisitos
- **NCh 3371:** Instalaciones domiciliarias de alcantarillado – Diseño, cálculo y requisitos.
- **NCh 3202 of 2009:** Instalaciones domiciliarias de agua potable – Requisitos y ensayos.
- **NCh 396:** Cobre y aleaciones de cobre – Accesorios de unión fundidos para tubos de cobre – requisitos generales de fabricación.
- **NCh 2674:** Cobre y aleaciones de cobre – Accesorios de unión estampadas a soldar y roscadas para tubos de cobre – Requisitos generales.
- **NCh 3274/1 of 2011:** Medición de caudal de agua en tuberías cerradas completamente llenos - Medidores para agua potable fría y agua caliente – Parte 1: Especificaciones.

Junto con basarnos en esta norma también la complementaremos con lo establecido en el Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y alcantarillado (RIDDA).

**CAPÍTULO 4: EVALUACIÓN TÉCNICA DEL AJUSTE DE LA
CAPACIDAD DE LOS ESTANQUES DE AGUA POTABLE.**

4.1. ANÁLISIS DEL AJUSTE DE LA CAPACIDAD DE AGUA POTABLE DE LOS ESTANQUES.

Actualmente el circuito de distribución de agua potable cuenta con diferentes equipos para llevar a cabo el servicio, dentro de ellos nos encontramos con los estanques, encargados de almacenar el recurso hídrico. En el recinto nos encontramos con 4 equipos de esta índole, dos de ellos en la parte baja y los otros dos en el techo del edificio, los 4 están fabricados de hormigón armado debido a las propiedades mecánicas que esta clase de hormigo presenta.

Los estanques se diferencian en sus capacidades, debido a que los que se encuentran ubicados en el techo tienen una capacidad de 41 [m³] cada uno, a diferencia de los ubicados en la parte baja que contienen un mayor volumen 252 [m³] y 272 [m³] respectivamente. Es decir, estos estanques son los que contienen la mayor capacidad volumétrica para abastecer el edificio.

Instalación actual. (Capacidad 605 [m³])

CONSUMO	VOLUMEN CONSUMIDO [m³]	(%)	VOLUMEN DISPONIBLE [m³]	(%)
Máximo	369,1	61	235,9	39
Promedio	196,8	32,52	408,2	67,48
Mínimo	37,63	6,21	567,37	93,79

Tabla 4-1: Disponibilidad de agua potable en los estanques sin reajuste de su capacidad.
(Fuente: creación propia)

En base al análisis realizado a la facturación del consumo de agua potable realizada a lo largo del año 2017 se llega a la conclusión de que el mes más crítico dentro del año es el mes de noviembre, realizándose un consumo de 11073 [m³] lo cual quiere decir que el consumo diario será de alrededor de 369,1 [m³].

Esto quiere decir que, actualmente el edificio capta un 40 % más del consumo requerido por los pacientes en un día crítico, ya que en sus estanques almacena alrededor de 605 [m³], de los cuales solo se utilizan 369,1 [m³] en un día crítico pues normalmente el consumo promedio es de 5904 m³ mensuales, es decir 196,8 [m³] por lo que en este el abastecimiento correspondería a un 67,47% mayor a lo requerido. Y para que decir en un día de bajo consumo donde la capacidad de estos albergaría alrededor de un 90% más de la capacidad nominal requerida en las instalaciones.

Instalación a proyectar. (Capacidad 523 [m³])

CONSUMO	VOLUMEN CONSUMIDO [m³]	(%)	VOLUMEN DISPONIBLE [m³]	(%)
Máximo	369,1	70,57	153,9	29,43
Promedio	196,8	37,62	353,2	62,37
Mínimo	37,63	7,19	485,37	92,80

Tabla 4-2: Disponibilidad de agua potable en los estanques aplicando el reajuste de su capacidad.

(Fuente: Creación propia)

Es decir si se llevara a cabo el reajuste del abastecimiento de agua potable, dejando solo 2 de los 4 estanques, que en este caso serían los de mayor capacidad 272 [m³] y 251 [m³] respectivamente, se almacenaría un volumen igual a 523 [m³]. Esto quiero decir que un día crítico contaríamos con un 29,43% adicional de agua potable. Pero sin embargo en un día común y corriente el volumen adicional sería de alrededor de un 62,37%.

4.2. EVALUACIÓN DE DIMENSIONAMIENTO Y TIPOLOGÍA DE ESTANQUES BASADOS EN LA NORMA.

Basándonos en la norma chilena NCh 2794. Of 2003. La cual está enfocada en los requisitos referentes a estanques de almacenamiento y sistemas de elevación.

Esta norma tiene un alcance y un campo de aplicación, donde establece los requisitos mínimos que deben cumplir las instalaciones domiciliarias de agua potable, para entregar agua potable en servicio continuo y a presión adecuada en los edificios en altura; en los casos particulares de establecimientos hospitalarios e industrias, en casos especiales donde no se tiene un adecuado y permanente abastecimiento directo desde la red pública; en los casos de abastecimiento directo desde la red pública, en los casos de abastecimiento con fuentes propias y en los casos de contar con agua potable desde la red pública y fuente propia simultáneamente.

La cual indica que las instalaciones deben contar con un estanque para agua potable con un sistema de elevación de agua, los estanques deben ser cubiertos, se debe procurar que la entrada y la salida de ellos se hagan por extremos opuestos.

Además de ser esta la norma aplicada a todo el territorio nacional, cualquiera sea el uso del agua potable y cualquiera sea la ubicación de la propiedad.

Debido al análisis de reajuste de la capacidad de almacenamiento de los estanques de agua realizada anteriormente se llega a la determinación de que con la capacidad que cuentan los estanques ubicados en la parte baja sería posible realizar la alimentación del edificio en cuestión. Es decir las dimensiones que ocuparemos en este caso corresponderán a los ocupados por los actuales estanques.

4.2.1. Dimensionamiento de estanques actuales.

EQUIPO	CAPACIDAD [m ³]	ALTURA [m]	ÁREA [m ²]
Estanque N°1	272	3	90,66
Estanque N°2	251	3	83,66

Tabla 4-3: Dimensionamiento de los estanques de agua potable.

(Fuente: Creación propia)

Actualmente los estanques cuentan con las capacidades volumétricas que podemos apreciar en la tabla proyectada, que corresponden a 272 [m³] y 251 [m³] los cuales contendrán el total de la capacidad necesaria para la edificación, lo cual en base a norma estaría cumpliendo con lo estipulado debido a que esta establece que los estanques deben contener un 50% del consumo máximo diario, para casos en general pero debido a que este es un recinto de salud es recomendable contar con el 100% de la capacidad máxima diaria consumida lo que hasta el momento se estaría llevando a cabo, pues nuestro volumen correspondería a 523 [m³] totales y el consumo máximo diario es igual 369.1 [m³]. Por lo tanto nuestra capacidad supera al 100% del consumo máximo generado por el edificio generando la confiabilidad necesaria para continuar con el proceso de distribución de agua potable.

En cuanto a un dimensionamiento superficial enfocado al espacio que ocupan estos grandes equipos se cuenta con la siguiente información, la altura de la capacidad volumétrica que estos albergan corresponde a 3 [m] en cada uno de los estanques, y debido a que también contamos con su capacidad volumétrica se pudo despejar el área ocupada por ellos que en este caso es de 83,66 [m²] y 90,66 [m²] respectivamente.

4.3. TIPOLOGIA.

El termino tipología hace referencia a la ciencia que estudia los tipos o clases, la diferencia intuitiva y conceptual de las formas de modelo de las formas básicas. La tipología se utiliza mucho en términos de estudios sistemáticos en diversos campos de estudio para definir diferentes categorías.

En este caso la tipología de los estanques se distribuye en base a su función, materiales de construcción, geometría y propiedades físicas de la sustancia. A continuación en el diagrama se puede ver cada una de ellas.

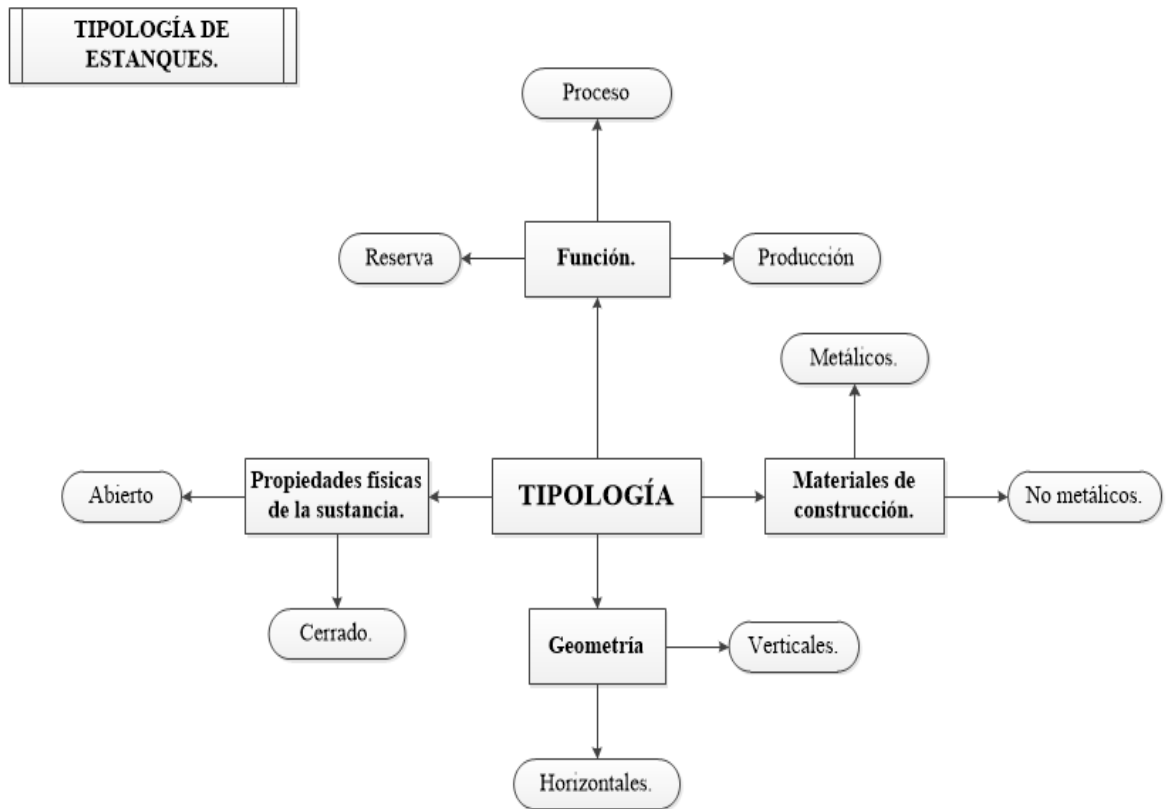


Figura 4-1: Tipología de estanques.

(Fuente: Creación propia)

4.3.1. Clasificación.

Los estanques permiten almacenar en su interior principalmente fluidos individuales o mezclas (pueden ser líquidos y/o gases), que deben ser acumulados para su posterior uso.

La selección del estanque, depende del servicio que se requiere para cada caso. Los cuales se clasifican de la siguiente manera.

4.3.2. Según su función.

Los equipos de agua potable de esta instalación realizan la función de reserva debido a que su tiempo de residencia va a depender del consumo que se vaya realizando, pero en base al gran volumen que albergan su descarga es más lenta y la residencia es más prolongada.

4.3.3. Según material de construcción.

La decisión de seleccionar el material se basa principalmente en el costo de estos mismos, pero además a esto se le agrega la facilidad y rapidez de la construcción, resistencia a la corrosión compatibilidad con el material que se va a almacenar y según indicación de alguna norma. La clasificación se divide en dos grandes gamas los metálicos y los no metálicos.

En el caso de los estanques los principales materiales metálicos son de acero y sus variaciones como el inoxidable, además del aluminio. Estos estanques son los más utilizados debido a la abundancia del material, la facilidad para adquirirlo, junto con la rapidez que permite esta construcción, eficiente y de bajo costo. Útiles para almacenar líquidos y/o gases.

En el caso de los no metálicos, el material más utilizado es el plástico y el concreto, principalmente para almacenar líquidos, así como también pueden ser utilizados para almacenar sedimentaciones, manejo de desperdicios o bien almacenar granos. Una de las características de los estanques de concreto es su alto costo, junto que para estructuras hidráulicas debe ser de baja permeabilidad y resistencia a la corrosión química. Cualidad necesaria para prevenir el goteo a través del concreto y proveer protección contra la corrosión del refuerzo.

En este caso los estanques utilizados son construidos con hormigón armado, material heterogéneo y con un comportamiento complejo. Para conocer su comportamiento comenzaremos por la definición del término hormigón; este material presenta dos estados desde el punto de vista práctico. El estado fresco o plástico en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos y el estado endurecido en el que ha adquirido la rigidez tal que impide su manipulación sin producir fracturas visibles o no reversibles. Estos estados son sinónimos de las fases de colocación en obra y de uso.

a) Hormigones según el tipo de armado.

Además de la clasificación en función del modo de fabricación cabe clasificar al hormigón en función de su tipo de armado. Desde este punto de vista, caben dos

tipos básicos: el hormigón armado y el hormigón pretensado. Este último se divide, a su vez, en dos tipos de armaduras adherentes o de armaduras no adherentes. A ambos se suma el hormigón en masa, utilizado en grandes macizos donde predomina la necesidad de masa antes de otras características.

b) Hormigón armado

El hormigón armado es el resultado de combinar debidamente hormigón fresco y armaduras pasivas de acero para producir un elemento que resiste acciones que provocan tensiones de compresión y de tracción. Estos elementos se consiguen tanto en obra como en factorías (prefabricados).

4.3.4. Según su geometría.

Se puede mencionar un detalle de todos los modelos y clases según su forma, pero en general, se clasifican según las significativas: horizontales y verticales.

Horizontales:

- El estanque rectangular el cual se construye generalmente con la menor altura posible, debido a las fallas que presenta respecto de las concentraciones de esfuerzos que se producen en sus esquinas.
- Los estanques cilíndricos horizontales generalmente almacenan volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas de fallas por corte y flexión. Se utilizan principalmente para transportar productos petroquímicos.

Verticales.

- Este tipo de estanque es uno de los más utilizados ya que permite almacenar grandes volúmenes de líquidos y concentrados. Es recomendable que sea diseñado en su forma cilíndrica únicamente, dependiendo el uso requerido se pueden encontrar con fondo plano o cónico, con o sin techo. Utilizado principalmente para procesos, ya que posee varias ventajas respecto del horizontal, por ejemplo la inserción de paletas o agitadores, mayor capacidad de almacenaje, menor costo de material, etc.

4.3.5. Según las propiedades físicas de la sustancia.

Las propiedades de temperatura y presión, definen en parte si el estanque debe ser abierto o cerrado, poner especial énfasis en el proceso que se esté llevando a cabo en el equipo. Se clasifican en estanques abiertos o cerrados.

- Abiertos: son aquellos estanques que generalmente trabajan a una presión igual o cercana a 1 atm. Y temperatura ambiental. Generalmente poseen un revestimiento para mejorar la resistencia a la corrosión.
- Cerrados: estos estanques están diseñados principalmente para el área industrial, donde se necesita acumular un producto en condiciones distintas de presión y temperaturas normales. Generalmente en sustancias volátiles y derivados de petróleo debido a las propiedades físicas y químicas que poseen.

Requisitos principales.

Las características básicas que debe contener el equipo almacenador están estipuladas en la norma chilena (NCh2794, 2003), la cual a modo de característica básica estipula los siguientes puntos considerar:

- Revestimiento.
El estanque debe ser diseñado con materiales que aseguren preservar la calidad del agua. En piso, muros y cubierta deben emplearse materiales probadamente impermeables, resistentes, no tóxicos y que no transmitan al agua potable elementos que deterioren su calidad, no absorbentes ni porosos.
- Interconexiones hidráulicas y ventilación.
 - a) Tubería de alimentación: el estanque o cada compartimiento con el que cuente debe tener a lo menos con una tubería de alimentación, con una válvula de corte manual operable desde el exterior y otra de corte automático por llenado. Lo puede penetrar por un muro o por la loza de cubierta.
 - b) Tubería de salida: el estanque o cada compartimiento debe tener un orificio de salida, ubicado como mínimo 5 [cm] sobre el fondo del pozo aspiración o salida.
Cuando la tubería de salida sea una tubería de aspiración, esta debe tener un diámetro mínimo que garantice una velocidad de agua inferior a 2.5 [m/s], esta debe contar con un colador de rejilla, cuya área de perforación sea a lo menos 1,5 veces el área de la tubería de aspiración, de material resistente a la corrosión o la incrustación, según sea el caso.
 - c) Ventilación: el estanque o cada uno de sus compartimientos debe tener una ventilación. Toda boca de acceso de la ventilación debe estar debidamente

protegida contra agentes externos, contaminación y oxidación. En caso que la ventilación sea una tubería vertical debe terminar en una U invertida.

El área de la ventilación no debe ser inferior al de la tubería de salida y se debe asegurar que el nivel del agua este en comunicación con la atmosfera.

Otros requisitos.

- Los estanques deben ser cubiertos.
- Se debe procurar que la entrada y la salida del agua se haga por extremos opuestos.
- En los estanques de hormigón, todo inserto de tuberías en los muros bajo el nivel de aguas debe ser atoxico y debe asegurar su estabilidad e impermeabilidad.

Accesorios.

- El estanque o cada uno de sus compartimientos en que se ha dividido debe tener una escotilla de acceso, de dimensión libre interior no inferior a 0.60 [m]. En el caso de acceso horizontal por los muros del estanque, la dimensión libre horizontal no puede ser inferior a 1 [m] y alto no inferior a 0.60 [m].
- En cada escotilla se debe considerar una tapa cerrada, provista de un sistema de llave o candado, para evitar riesgos de contaminación o acceso de agentes externos.
- El acceso a cada escotilla desde el exterior puede ser directo o mediante escaleras o escalines. La distancia entre escalines debe ser igual a 0.30 [m].

4.4. EVALUACIÓN DE LA UBICACIÓN.

En base a los análisis previamente realizados el espacio donde deberían estar ubicados estos equipos, debe cumplir con ciertos requisitos impuestos por la súper intendencia de servicios sanitarios, a cargo de este tipo de instalaciones.

De preferencia los estanques no deberían tener contacto con el sistema de elevación, debido a cualquier tipo de falla mecánica que estos equipos puedan generar y con ello afectar a estos equipos y paralizar todo el sistema. En este caso los estanques si están en contacto directo de elevación ya que no existe ninguna pared de contención entre uno y otro.

Debido a que en este caso los estanques instalados ya cuentan con la capacidad necesaria para abastecer el edificio, no se debe buscar un nuevo espacio para su instalación. En caso de quererse realizar el cambio de espacio, se deberá contar con un área de aproximadamente 180 [m²], para que estos equipos sean instalados, además de una previa evaluación de suelo para asegurar su estabilidad y buen funcionamiento, junto con un buen acceso a la red pública como requisito primordial, para proporcionar un abastecimiento constante y fluido.

**CAPÍTULO 5: DIMENSIONAR Y CARACTERIZAR EQUIPOS
EXISTENTES Y NUEVOS A PROYECTAR JUNTO CON LOS
ACCESORIOS INVOLUCRADOS EN EL ESTUDIO.**

5.1. INSPECCIONAR CONDICIONES DE TRABAJO ACTUAL.

Las condiciones actuales de trabajo que se presentan en el recinto son de completo funcionamiento, en cada una de las conexiones. El sistema actualmente funciona en correctas condiciones. Llevándose a cabo la correcta distribución de agua potable a través del edificio. La sala de bombas desde donde se distribuye el agua potable hasta los estanques elevados, comparte funciones con el circuito de agua potable de otro de los edificios del recinto. Pero sin embargo cada uno de estos servicios se encuentra independizado por completo solo se encuentran ubicados en el mismo lugar.

5.2. ANÁLISIS DEL SERVICIO.

El servicio de agua potable del hospital regional se lleva a cabo mediante una interconexión hidráulica realizada desde la red pública de la ciudad a cargo de la empresa que cubre gran parte de la octava región denominada como ESSBIO, desde las redes que ellos sitúan a través de las calles de la ciudad, las cuales intersectan el perímetro en el que se encuentra localizado este recinto se puede obtener este recurso hídrico.

Desde estos puntos de conexión se disponen medidores instalados por la empresa, para llevar un registro del consumo que se genera en cada uno de los edificios. La independización de este servicio para cada uno de los edificios nos permite llevar un registro específico del consumo de agua potable del edificio que estamos analizando.

El circuito de agua potable cuenta desde su inicio con medidores encargados de medir el consumo de agua potable que realiza la población que hace parte de este edificio, sin embargo para este edificio en particular se dispone de dos medidores, debido a que en él se encuentra ubicado el sistema generador de energía térmica a cargo de equipos de transferencias de calor como lo son el sistema de calderas, el cual de por sí demandara un volumen mayor de agua potable, puesto que desde aquí se genera la energía térmica necesaria para todo el recinto. Es por ello que se independiza para asegurar su total funcionamiento y entregar un servicio de calidad para las personas que son atendidas en estas instalaciones.

Luego de los medidores ubicados a través de zonas estratégicas dentro de la instalación, se presenta el circuito de tuberías que se encuentra enterrado y que es dirigido hasta cada uno de los estanques a cargo de almacenar el agua potable, en este caso nuestro edificio cuenta con dos estanques a cargo de almacenar el recurso hídrico ubicados en la parte baja, estos estanques cuentan con un medidor de nivel, el cual incorpora una válvula tipo flotador que se encarga de generar el paso del agua

hasta los estanques. Debido a que este es un recinto hospitalario los estanques deben mantener un volumen correspondiente al 100% del consumo máximo diario generado por el recinto. Esto debido a que al momento de presentarse alguna falla en la red pública que distribuye este recurso, poder continuar realizando la distribución a través del edificio por el tiempo que estos volúmenes se lo permitan.

Estos grandes depósitos de agua potable denominados como estanques, tienen una capacidad de 272 [m³] y 251[m³] respectivamente, desde estos se lleva el agua potable hasta el sistema de elevación mediante un circuito de cañerías y accesorios.

El sistema de elevación está compuesto por tres bombas centrifugas multietapa conectadas en paralelo, debido a la variación de los flujos volumétricos que se presenta en el sistema generando así un flujo estable en las líneas, asegurando además un presión constantes. Este caudal va dirigido hasta los dos estanques ubicados en el techo del edificio, estos estanques al igual que los ubicados en la parte baja son construidos a base de hormigón armado, almacenando un volumen de 41 [m³] en cada uno de ellos. Desde estos estanques se genera la distribución hacia el interior del edificio mediante la gravedad proporcionada por la altura en la que se encuentran los estanques, lo que a su vez también proporciona la presión y la velocidad necesaria para que este circuito se lleve a cabo.

5.3. EVALUACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO Y TIPOLOGÍA DE EQUIPOS Y ACCESORIOS INVOLUCRADOS BASADOS EN LA NORMA.

5.3.1. Dimensionamiento.

El dimensionamiento de los equipos se debe realizar en base a los parámetros de trabajo del sistema, los cuales ya están establecidos en el circuito y con los cuales se encuentran funcionando actualmente para verificar que el sistema funcione en condiciones óptimas y entregue el servicio adecuado.

- Circuito a proyectar.

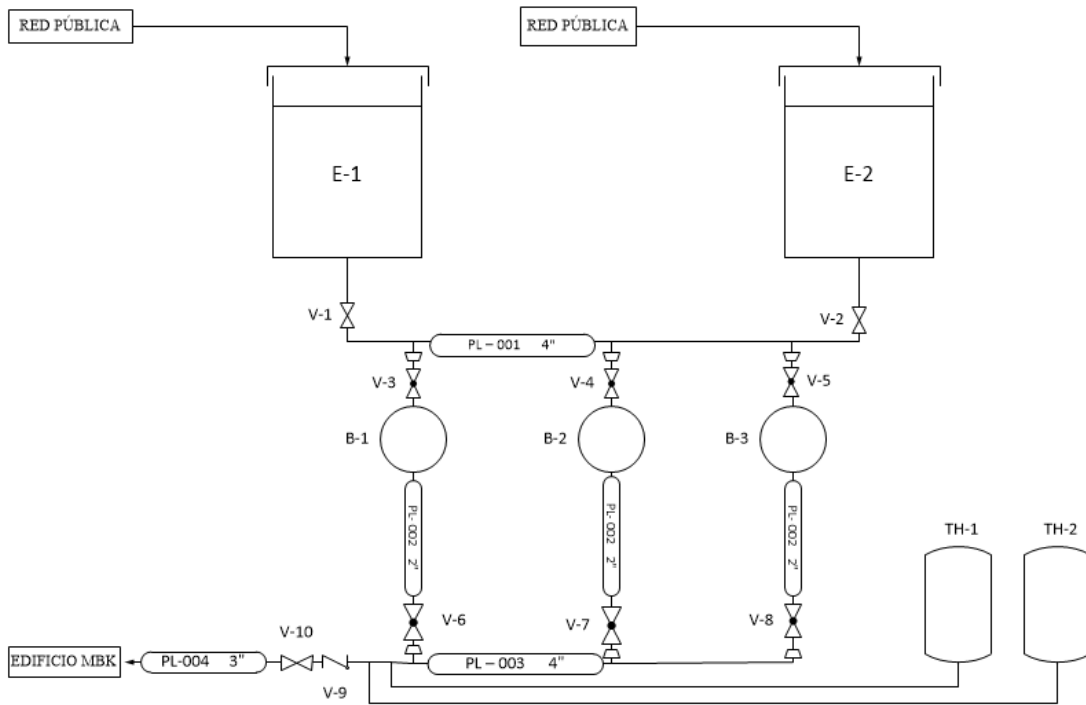


Figura 5-1: Diagrama de sistema de distribución de agua potable a proyectar.

(Fuente: Creación propia)

5.3.1.1. Equipos de bombeo.

La evaluación del dimensionamiento de los equipos es esencial al momento de llevar a cabo un proyecto de esta magnitud, y más aún el sistema de elevación que es el que se encontrara a cargo de hacer transitar el fluido por las interconexiones hidráulicas hasta los equipos de consumo proyectados en la parte alta del recinto. Es por ello que la capacidad hidráulica de estos equipos mecánicos debe cumplir con la demanda ejercida por el edificio en cuestión.

I. Parámetros de selección.

a) Consumo.

En base a la facturación entregada mes a mes por la empresa encargada de la distribución del agua en la región (ESSBIO), se llega al siguiente análisis;

MESES	LECTURA DEL	CONSUMO (m3)	CARGO FIJO (\$)	CONSUMO D	SERVICIO D	TRATAMIENT	SUBTOTA	I.V.A.	TOTALA
DICIEMBRE	867.678								
ENERO	873.417	5739	566	\$ 2.055.237	\$ 1.680.562	\$ 948.333	\$ 4.684.698	\$ 890.093	\$ 5.574.791
FEBRERO	879.199	5782	567	\$ 2.073.940	\$ 1.695.875	\$ 956.946	\$ 4.727.328	\$ 898.192	\$ 5.625.520
MARZO	883.954	4755	512	\$ 1.714.118	\$ 1.399.767	\$ 835.362	\$ 3.949.759	\$ 750.454	\$ 4.700.213
ABRIL	888.344	4390	512	\$ 1.538.818	\$ 1.292.320	\$ 771.231	\$ 3.602.881	\$ 684.547	\$ 4.287.428
MAYO	891.041	2697	512	\$ 973.141	\$ 793.938	\$ 474.445	\$ 2.242.036	\$ 425.987	\$ 2.668.023
JUNIO	892.170	1129	512	\$ 407.370	\$ 332.353	\$ 198.609	\$ 938.844	\$ 178.380	\$ 1.117.224
JULIO	895.061	2891	512	\$ 1.043.141	\$ 851.047	\$ 508.573	\$ 2.403.273	\$ 456.622	\$ 2.859.895
AGOSTO	900.491	5430	512	\$ 1.959.271	\$ 1.598.473	\$ 955.225	\$ 4.513.481	\$ 857.561	\$ 5.371.042
SEPTIEMBRE	907.032	6541	512	\$ 2.360.147	\$ 1.925.528	\$ 1.150.666	\$ 5.436.853	\$ 1.033.002	\$ 6.469.855
OCTUBRE	916.491	9459	512	\$ 3.413.030	\$ 2.784.523	\$ 1.663.989	\$ 7.862.054	\$ 1.493.790	\$ 9.355.844
NOVIEMBRE	927.564	11073	512	\$ 3.995.399	\$ 3.259.649	\$ 1.947.917	\$ 9.203.477	\$ 1.748.661	\$ 10.952.138
DICIEMBRE	938.523	10959	512	\$ 2.230.250	\$ 3.226.090	\$ 1.927.863	\$ 7.384.715	\$ 1.403.096	\$ 8.787.811

Figura 5-2: Facturación del año 2017 consumo de agua potable edificio MBK.

(Fuente: Boletas suministradas por empresa ESSBIO)

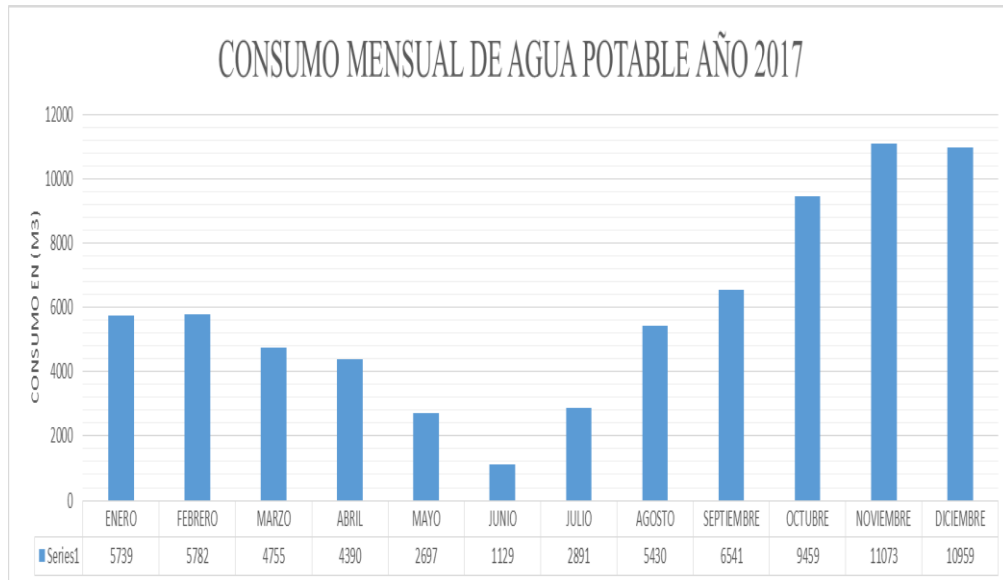


Figura 5-3: Grafico de la facturación del consumo de agua potable año 2017.

(Fuente: Boletas suministradas por empresa ESSBIO)

En la gráfica se puede apreciar el consumo en m^3 de agua potable a lo largo del año 2017, en donde se manifiesta un consumo relativamente semejante mes a mes, a diferencia de los últimos tres meses donde se manifiesta un alza significativa del consumo.

Se puede establecer que el mes donde se genera el mayor consumo es noviembre donde se consumieron 11073 [m^3] de agua potable lo cual corresponde a un 15,63% del consumo total anual, cifra relevante considerando que solo corresponde a uno de los meses que componen el análisis total y en el lado opuesto encontramos el mes de menor consumo el cual registra 1129 [m^3], lo cual equivaldría a un 1,59% del consumo anual total, muy por debajo del consumo realizado en el mes de mayor demanda. También en base a la información se puede establecer que el consumo promedio a lo largo del año es de 5904 [m^3].

Durante el mes más crítico (noviembre), el consumo por día fue de 367.3 [m^3] y por hora alrededor de 15.318 [m^3]

Además desde la misma grafica podemos establecer que los últimos tres meses del año son unos de los más críticos, los cuales corresponden a un 44,45% del consumo total anual generado por el edificio, es decir casi un 50% del consumo total anual consumido por el edificio.

Sin embargo los equipos actualmente trabajan con su caudal nominal debido a que su función principal es mantener los equipos de la parte alta con la mayor capacidad posible, actuando de manera paralela para no sobrecargar a un solo equipo, entregando en cada una de sus partidas un caudal nominal igual a 12.1 [m^3/h]. Cada equipo demoraría alrededor de 3 horas y 38 min en llenar cada uno de estos estanques, sin embargo si estos realizaran el llenado en conjunto el tiempo se vería reducido a la mitad.

En base a ese análisis se genera la gráfica que se mostrara a continuación:

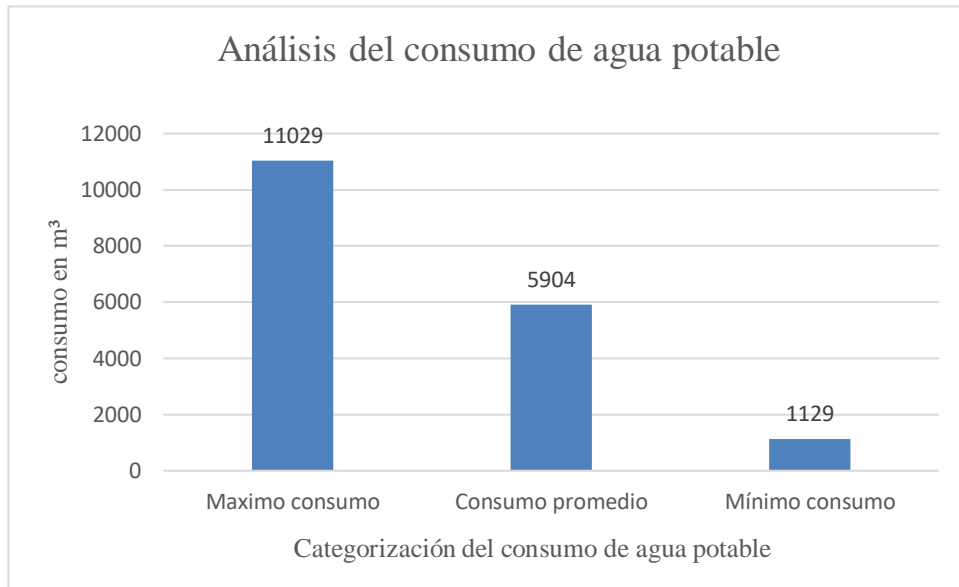


Figura 5-4: Análisis del consumo de agua potable.

(Fuente: Creación propia)

Desde esta grafica se puede ver, que el mayor consumo generado en el año equivale a 11029 [m³] como se mencionó anteriormente siendo este el de mayor relevancia enfocándonos en nuestros equipos de bombeo, debido a que este dato será considerado como critico al momento de dimensionar los equipos para realizar la distribución de agua potable en el edificio.

En base a la información proporcionada se decide trabajar con el mayor consumo realizado a través de año debido a que este será el que genera mayores inconvenientes a nuestros equipos de bombeo. Por lo tanto se continuara realizando el análisis para el mayor consumo generado en el año 2017.

El consumo diario en el mes de mayor consumo correspondería a 367 m³ promedio el cual debería ser impulsado por nuestras bombas.

Pero para poder determinar si nuestros equipos de bombeo son adecuados para abastecer al edificio con este volumen, debemos trabajar con el consumo realizado por hora, ya que nuestros equipos están dimensionados en base a un caudal [m³/h], es por ello que a continuación se estimara el consumo por hora realizado por el edificio, dato el cual utilizaremos para establecer la cantidad de bombas que utilizaremos para trabajar.

Calculo de caudal:

$$Q: \frac{\text{Volumen} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{\text{tiempo}}$$

$$Q: \frac{367.63 \text{ [m}^3\text{]}}{24 \text{ [h]}}$$

$$\mathbf{Q: 15.318 \text{ [m}^3\text{/h]}}$$

Esto quiere decir que nuestros equipos de bombeo deberán elevar un caudal de 15.318 [m³/h] promedio diario en un día crítico.

Especificaciones técnicas de las bombas proyectadas actualmente.

- Caudal nominal: 12.1 [m³/h]
- Altura de impulsión: 58.5 [m]
- Velocidad: 3514 [rpm]
- Diámetro nominal succión: DN 50
- Diámetro nominal descarga: DN 50'

Caudales

Cantidad de equipos	Caudal nominal de la bomba [m ³ /h]	%	Caudal consumido [m ³ /h]	%
1	12.1	100	15.318	127.10
2	7.69	63,55	7.69	63,55

Tabla 5-1: Caudales de trabajo.

(Fuente: Creación propia)

Actualmente un solo equipo de bombeo no sería capaz de cumplir con la demanda generada en el edificio debido a que uno solo de estos equipos proporciona un caudal nominal de 12.1 [m³/h] y la demanda realizada por el edificio es de 15.318 [m³/h] es decir, un 21,8% más del caudal generado por un solo equipo.

Es por esto que con dos equipos de bombeo funcionando en paralelo, podrían cubrir la demanda generada por el edificio realizando así una entrega eficiente del

recurso hídrico y sin presentar fallas o desgastes excesivos de los equipos mecánicos al verse sobre cargados por la demanda ejercida en las instalaciones.

Si este caudal es proporcionado equitativamente para ambos equipos de impulsión, cada uno de ellos debería impulsar un caudal de 7.69 [m³/h], utilizando tan solo un 63,55% de su caudal nominal total. Lo que a su vez genera un menor desgaste sus partes mecánicas y la vez disminuye el gasto energético generado por los equipos al utilizar un menor porcentaje de su energía nominal.

b) Velocidad de trabajo.

A modo de estudio se trabajara con los actuales diámetros previstos en la instalación, como se reflejara a continuación.

$$v = \frac{Q}{A}$$

Diámetro [m]	Caudal [m ³ /h]	Área [m ²]	Velocidad [m/s]
Succión			
0.1016	0.004255	0.0081	0.52
0.0508	0.002136	0.00202	1.05
Descarga			
0.0508	0.002136	0.00202	1.05
0.0762	0.004255	0.0045	0.93

Tabla 5-2: Velocidades de trabajo.
(Fuente: Creación propia)

c) Presiones de trabajo.

$$\frac{P}{\gamma} + Z + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$P = Z + \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma$$

Ubicación	Presión [Kpa]
Succión	
4"	23.11
2"	23.52
Descarga	
2"	207.95
3"	207.83

d) Pérdidas en el sistema.

I. Pérdidas de carga distribuida.

En base a las ecuaciones ejecutadas en el capítulo N° 3, en la sección de pérdidas en el sistema en conjunto con el diagrama de Moody e información referente al material de las tuberías se determinan los siguientes resultados.

Diámetro [m]	N° Reynolds	Rugosidad de las paredes [m]	Rugosidad relativa [-]	Factor de fricción [-]
0.1016	51796.07	1.5×10^{-6}	67733.33	0.0088
0.0762	69476.47	1.5×10^{-6}	50800	0.009
0.0508	52294.11	1.5×10^{-6}	33866.66	0.0095

Tabla 5-3: Resultados de cálculos para determinar factor de fricción en las tuberías.

Fuente: Creación propia.

Una vez obtenidos los datos podemos proceder a ejecutar la ecuación de Darcy:

- Primer Tramo:

$$h_L = 0.0088 [-] \times \frac{5.5 \text{ [m]}}{0.1016 \text{ [m]}} \times \frac{[0.52 \text{ [m/s]}]^2}{2 \cdot 9.81 \text{ [m/s}^2]}}$$

$$h_L = \mathbf{0.0065 \text{ [m]}}$$

- Segundo Tramo:

$$h_L = 0.0095 [-] \times \frac{3 \text{ [m]}}{0.0508 \text{ [m]}} \times \frac{[1.05 \text{ [m/s]}]^2}{2 \cdot 9.81 \text{ [m/s}^2]}}$$

$$h_L = \mathbf{0.03152 \text{ [m]}}$$

- Tercer Tramo:

$$h_L = 0.0093 [-] \times \frac{3 \text{ [m]}}{0.0762 \text{ [m]}} \times \frac{[0.46 \text{ [m/s]}]^2}{2 \cdot 9.81 \text{ [m/s}^2]}}$$

$$h_L = \mathbf{0.0039 \text{ [m]}}$$

$$h_{L \text{ total}} = 0.0065 \text{ [m]} + 0.03152 \text{ [m]} + 0.0039 \text{ [m]}$$

$$h_{L \text{ total}} = \mathbf{0.04192 \text{ [m]}}$$

Las pérdidas totales contempladas en el circuito de tuberías a través de los equipos principales en la sala de bombas corresponde a 0.04192 [m].

II. Pérdidas de carga focalizada.

Al igual que en las pérdidas distribuidas se realiza el procedimiento utilizado en el capítulo N° 3 en la sección de pérdidas enfocadas principalmente en las focalizadas se llega a la siguiente obtención de datos.

- Coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios.

<i>Válvulas y accesorios</i>	<i>Coefficiente de resistencia [K]</i>
Válvula de bola	$340 f_T$
Válvula de compuerta	$8 f_T$
Válvula de retención tipo bola.	$150 f_T$
Codo 90°	$30 f_T$

Tabla 5-4: Longitud equivalente para válvulas y accesorios.

(Fuente: Creación propia)

- Tabla de datos referentes a válvulas y accesorios.

Cantidad	Tipo	Diámetro [pulg]	(L_c/D)	f_T
3	Compuerta	4	8	0.017
		3	8	0.018
1	Retención	3	150	0.017
6	Bola	2	340	0.019
2	Codos	2	30	0.017

Tabla 5-5: Recopilación de datos para pérdidas de carga focalizada.

(Fuente: Creación propia)

- Tabla de cálculo referente a coeficiente de resistencia para válvulas y accesorios.

Cantidad	Elemento	Diámetro	K	K_{TOTAL}
3	Válvulas de compuerta	0.1016 [m] 0.0762 [m]	0.136 0.144	0.272 0.144
1	Válvula de retención	0.0762 [m]	2.55	2.55
6	Válvulas de bola	0.0508 [m]	6.46	38.76
2	Codos 90°	0.1016 [m]	0.51	1.02

Tabla 5-6: Datos de resultados para coeficiente de resistencia en válvulas y accesorios.

Fuente: Creación propia.

- Pérdida focalizada por componente.

Componente	Diámetro [m]	Carga de velocidad	Factor de resistencia [K]	Perdida de carga focalizada $[h_L]$ [m]
Válvula de compuerta	0.1016 0.0762	0.0137 0.044	0.272 0.144	0.0037 0.0063
Válvula de retención	0.0762	0.044	2.55	0.112
Válvula de bola	0.0508	0.056	38.76	2.17
Codos 90°	0.1016	0.0137	1.02	0.0139
Total de pérdidas focalizadas				2.30

Tabla 5-7: Resultado de las Pérdidas focalizadas.

(Fuente: Creación propia)

Las pérdidas en el circuito presente en la sala de bombas donde se encontraran los equipos principales generaran una perdida igual a 2.30 [m].

III. Pérdidas totales en el circuito.

$$h_{LTOTAL} = h_{L\text{Entrada}} + h_{L\text{Exp.sub.}} + h_{L\text{Dist.}} + h_{L\text{Focal.}}$$

$$h_{LTOTAL} = 0.033 [m] + 0.013[m] + 0.04192[m] + 2.30[m]$$

$$h_{LTOTAL} = 2.38[m]$$

e) Carga total sobre la bomba:

- Ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Cada término de esta ecuación es una forma de la energía que posee el fluido por unidad de peso del fluido que se mueve en el sistema.

Al incorporar la ecuación de la continuidad a esta expresión la fórmula quedará de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_a - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

h_a = Energía que se agrega al fluido con un dispositivo mecánico, como por ejemplo una bomba, es frecuente que se le denomine como carga total sobre la bomba.

h_L = Pérdidas de energía del sistema por la fricción en las tuberías o pérdidas menores por válvulas y otros accesorios.

Al complementar ambas ecuaciones es posible resolver problemas en los cuales existan pérdidas y ganancias de energía.

A continuación se aplicará esta ecuación para el circuito de agua potable que se está proyectando.

Los siguientes términos equivaldrán a cero:

- $P_1 = 0$ Superficie del estanque está expuesta a la atmósfera.
- $v_1 = 0$ aproximadamente debido a que la línea de succión siempre se encontrará con fluido en sus líneas.

Datos de la red de distribución.

- $Z_1 = 2.342$ [m]
- $P_2 = 207.95$ [KN/m²]
- $\gamma = 9.81$ [KN/m³]
- $Z_2 = 21.142$ [m]
- $v = 1.05$ [m/s]
- $g = 9.81$ [m/s²]
- $h_L = 2.38$ [m]

La ecuación de la energía quedara expresada de la siguiente manera:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_a - h_l = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Al despejar esta ecuación la carga total sobre la bomba será:

$$h_a = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} - Z_1 + h_l$$

$$h_a = 21.194 \text{ [m]} + 21.142 \text{ [m]} + 0.056 \text{ [m]} - 2.342 \text{ [m]} + 2.38 \text{ [m]}$$

$$h_a = 42.43 \text{ [m]}$$

La bomba suministrara 42.43 [m] de energía a cada newton de agua que fluye a través de ella.

f) Potencia que requerirá la bomba.

La potencia será la rapidez con la que será transferida la energía, en este caso será la energía transmita por el motor eléctrica a la bomba y de la bomba al fluido. A continuación determinaremos la potencia necesaria para que la bomba impulse el caudal que hemos definido para nuestro sistema, mediante la siguiente formula:

$$P_a = h_a W$$

$$P_a = h_a \gamma Q$$

$P_a =$ Potencia requerida por la bomba. [W]

$h_a =$ Carga total sobre la bomba [m]

$W =$ flujo en peso [N/m³]

$\gamma =$ Peso especifico [N/m³]

$Q =$ Flujo volumetrico del fluido [m³/s]

Datos del procedimiento:

- $h_a = 42.43 \text{ [m]}$

- $\gamma = 9810 \text{ [N/m}^3\text{]}$

- $Q = 0.00213 \text{ [m}^3\text{/s]}$

$$P_a = 42.43 \text{ [m]} \times 9810 \text{ [N/m}^3\text{]} \times 0.00213 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$P_a = 889.08 \text{ [W]}$$

$$P_a = \mathbf{0.889 \text{ [KW]}}$$

La bomba requerirá una potencia equivalente a 0.889 [KW] para poder elevar el caudal definido.

g) Leyes de afinidad para bombas centrifugas.

La mayoría de las bombas centrifugas se operan a velocidades distintas para obtener capacidades variables. Es importante entender la manera en que varían la capacidad, la carga y la potencia, cuando se modifica la velocidad o el diámetro del impulsor.

Cuando la velocidad varía:

- La capacidad varía en forma directa con la velocidad.

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

- La capacidad de carga total varía con el cuadrado de la velocidad.

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

- La potencia que requiere la bomba varia con el cubo de la velocidad.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

Cuando el diámetro del impulsor varía:

- La capacidad varía en forma directa con el diámetro del impulsor.

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

- La carga total varia con el cuadrado del diámetro del impulsor.

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

- La potencia que requiere la bomba varia con el cubo del diámetro del impulsor.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

La eficiente permanece casi constante para cambios en la velocidad y para cambios pequeños en el diámetro del impulsor.

Ya que nuestros equipos de impulsión cambiaran su caudal nominal de trabajo, reduciéndolo en un 36,44% de la capacidad total, varios de sus parámetros

de funcionamiento también se verán modificados, es aquí en donde utilizaremos las leyes de afinidad para determinar las modificaciones que sufrirán estos parámetros.

Parámetros a considerar:

- ✓ Caudal nominal: 12.1 [m³/h]
- ✓ Caudal modificado: 7.69 [m³/h]
- ✓ Velocidad nominal: 3514 [rpm]
- ✓ H: 58.5 [m]
- ✓ H máx.: 73.8 [m]

- Cuando la capacidad varía.

$$\frac{12.1 \text{ [m}^3\text{/h]}}{7.69 \text{ [m}^3\text{/h]}} = \frac{3514 \text{ [rpm]}}{x}$$

$$x = 2233.27 \text{ [rpm]}$$

- La potencia que requiere la bomba varia con el cubo de la velocidad.

$$\frac{3 \text{ [KW]}}{x} = \left(\frac{3514 \text{ [rpm]}}{2233.27 \text{ [rpm]}} \right)^3$$

$$x = 1.29 \text{ [KW]}$$

Al realizar los siguientes cálculos obtenemos la siguiente tabla de resultados para trabajar con un caudal igual a 7.69 [m³/h].

Velocidad de trabajo	Potencia
2233.27 [rpm]	1.29 [KW]

Tabla 5-8: Resumen de leyes de afinidad.

(Fuente: Creación propia)

Desde esta tabla podemos ver que nuestros equipos de bombeo requerirán una velocidad igual a 2233.27 [rpm] para suministrar 7.69 [m³/h] al circuito, es decir utilizara un 63,55% de la velocidad nominal disponible en el equipo.

Los equipos de impulsión requieren de 3 [KW] para ejercer su funcionamiento a capacidad completa, en este caso los equipos requerirán de 1.29 [KW] para poder elevar los 7.69 [m³/h] a la velocidad establecida.

h) Análisis de las curvas característica de los equipos.

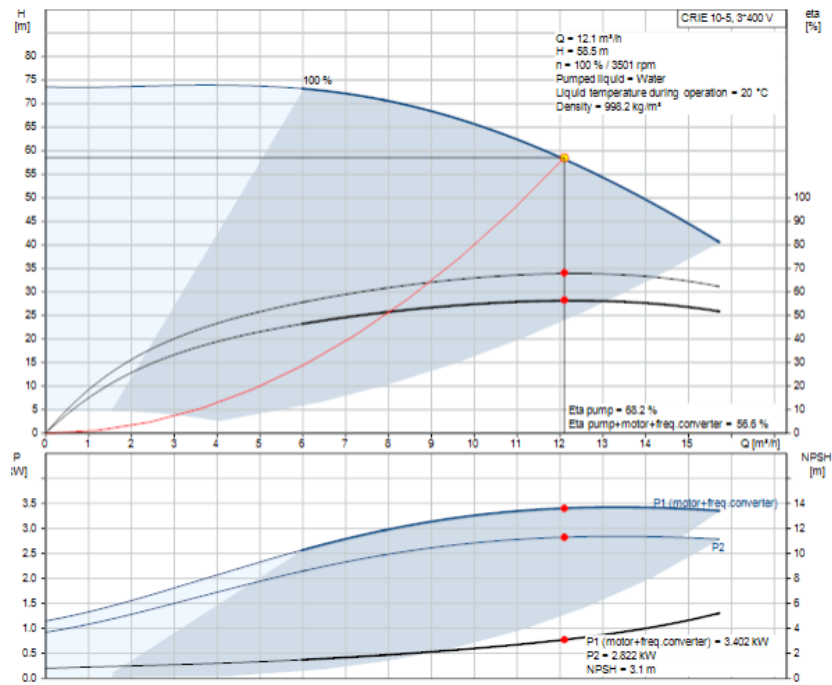


Figura 5-5: Grafico del funcionamiento nominal de los equipo de bombeo.

(Fuente: (Grundfos, 1945))

La grafica de la parte superior representa en su eje vertical izquierdo la altura de carga que tendrá que generar el equipo, simbolizada con la letra H y dimensionado en [m], por otro lado en su eje vertical derecho se ve representada la eficiencia del equipo representada con la sigla [eta] y representada en porcentaje, finalmente en su eje horizontal se puede apreciar el caudal de trabajo expresado en [m³/h] y simbolizado por la letra Q. en la gráfica también se representa el rendimiento de los equipos a través de la curva de tono azul.

En la parte superior al lado derecho de la gráfica se pueden visualizar los parámetros de trabajo con los cuales se está trabajando y en su parte inferior se visualiza información referente a la eficiencia del equipo de impulsión de manera individual, así como en conjunto con su respectivo motor y variador de frecuencia.

Así como también se puede apreciar una segunda grafica en la parte de abajo, la cual cuenta con dos ejes de trabajo en posición vertical, el ubicado a mano izquierda representa la potencia del equipo encargado de generar la energía mecánica para los equipos de impulsión, que en este caso será un motor eléctrico. Esta se verá representada en [KW] y simbolizada por una P, de la misma manera en su parte derecha se encuentra ubicado el segundo eje el cual representa la altura neta positiva de aspiración, representada en [m] y simbolizada por la abreviación NPSH.

Generándose un cuadro informativo en su parte inferior derecha en el cual se pueden apreciar las potencias de trabajo, tanto del motor eléctrico como la del equipo

de bombeo junto con ello la NPSH óptima para que el equipo no presente fallas ni anomalías en su funcionamiento.

En esta primera grafica los parámetros de trabajo del equipo se representan para un equipo de impulsión sin pérdidas y condiciones ideales de carga, así como también generando el caudal nominal. Es decir el equipo generando un caudal nominal de 12.1 [m³/h] y elevando el fluido a una altura de 58.5 [m], generando su máximo rendimiento a una velocidad de 3501 [rpm]. El fluido a ser impulsado será agua a 20°C y a una densidad igual a 996.2 [kg/m³].

El punto amarillo que se representa en la gráfica es el punto óptimo de trabajo al cual debería trabajar el equipo en condiciones ideales, siempre será necesario optimizar este punto de trabajo para que el equipo genere un rendimiento y una eficiencia adecuada sin generar gastos excesivos y generando una entrega de energía hidráulica óptima. La curva destacada en negrita es la apropiada para el equipo o la que sugiere el programa, se recomienda siempre trabajar cerca de esta curva.

En este caso el equipo impulsor estaría generando una eficiencia igual a un 58.2 [%] la cual corresponde a su máxima eficiencia y al trabajar en conjunto se genera una eficiencia igual a 56.6 [%], se representan perdidas debido al roce que se genera entre los equipos involucrados en la generación de la energía mecánica.

En el segundo grafico se puede ver la potencia necesaria para trabajar en estas condiciones, en donde la P_1 representará a la potencia eléctrica absorbida por el motor, que en este caso correspondería a 3.402 [KW] y la P_2 estará relacionada con la potencia mecánica en el eje del motor, que para este caso sería de 2.822 [KW]. Con una altura neta positiva de aspiración igual a 3.1 [m].

A continuación se representara la misma grafica bajo las condiciones de trabajo reales para el sistema de distribución de agua potable del hospital regional Guillermo Grant Benavente.

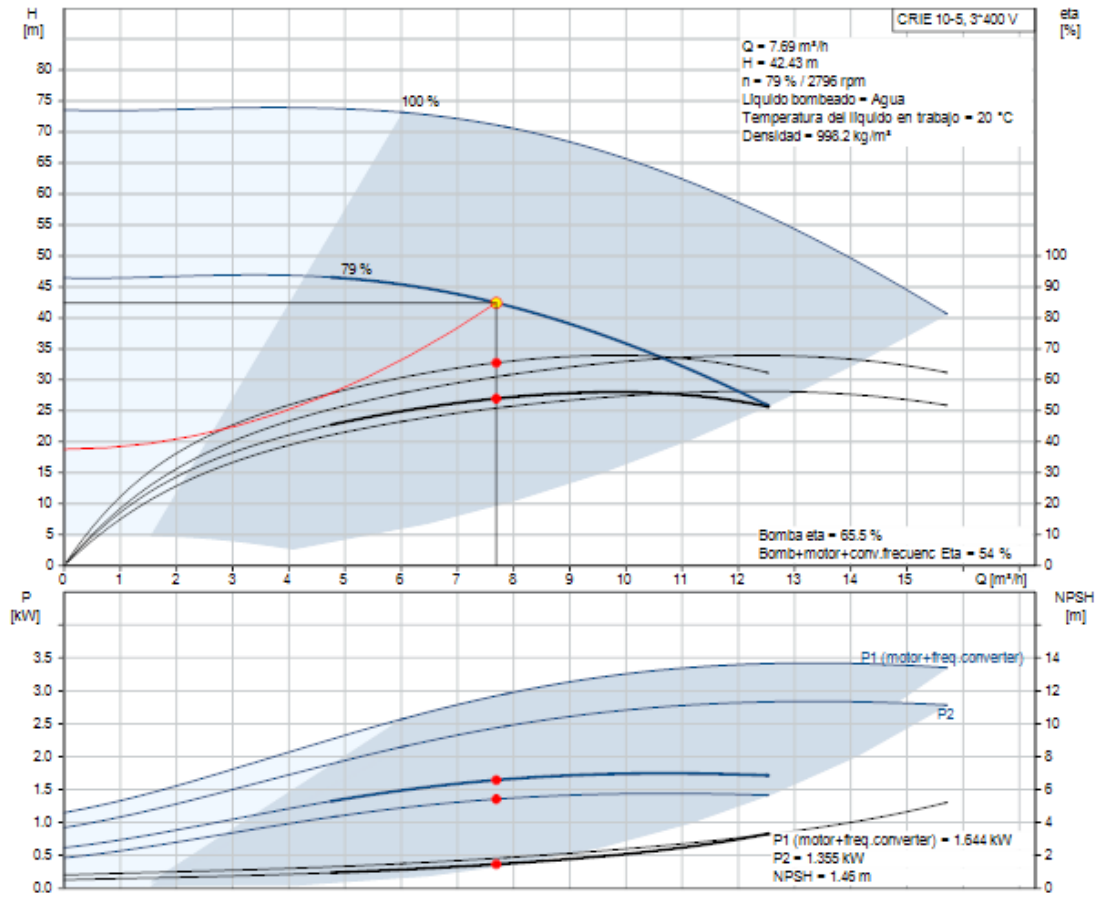


Figura 5-6: Gráfica del funcionamiento de un equipo de bombeo.
(Fuente: (Grundfos, 1945))

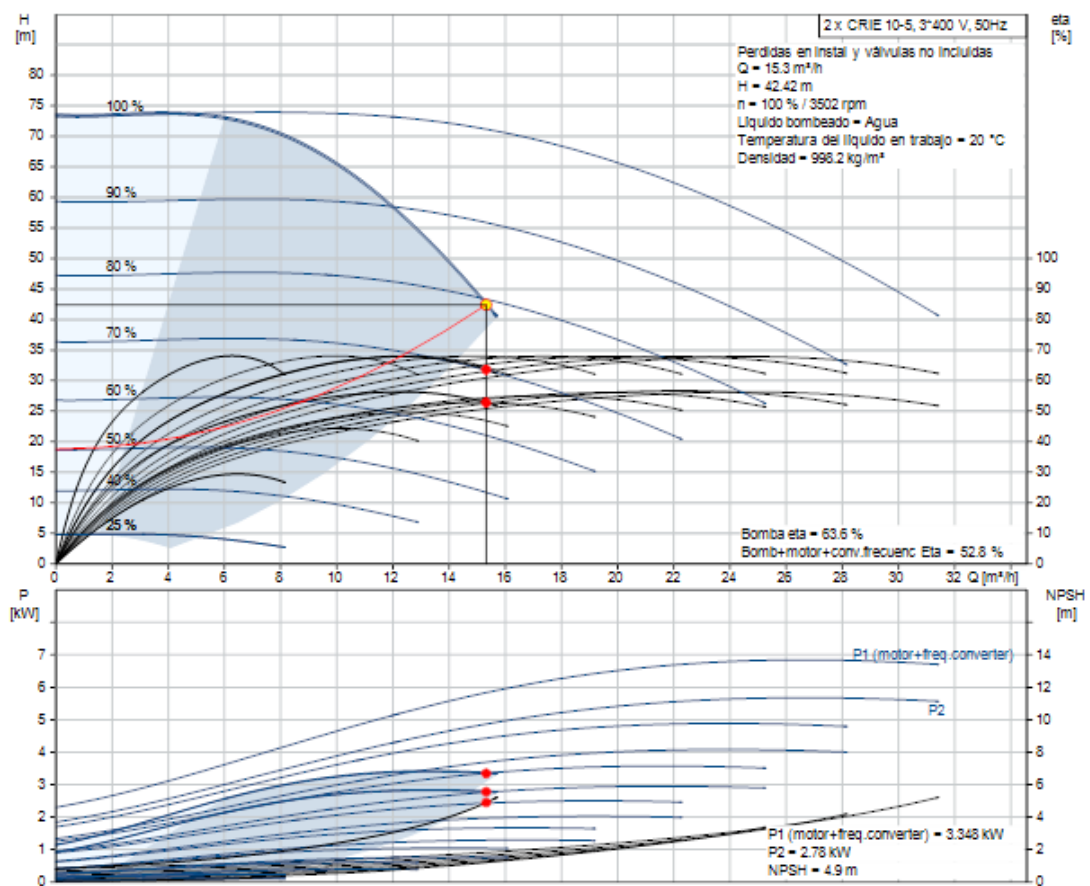


Figura 5-7: Grafica del funcionamiento de dos equipos de bombeo en paralelo.
(Fuente: (Grundfos, 1945))

Al generarse un caudal mayor al nominal de los equipos proyectados, se decide trabajar con ambos equipos en paralelo, entregando cada uno de los equipos un caudal equivalente a $7,69 \text{ [m}^3/\text{h]}$, sin embargo se ingresa el caudal total a elevar correspondiente a $15,38 \text{ [m}^3/\text{h]}$, debido a que se configura la aplicación para ejecutar un trabajo en paralelo de dos equipos. En donde la velocidad de los equipos corresponderá a 3450 rpm para poder elevar este caudal.

Los equipos van a trabajar con una temperatura igual a 20°C por lo tanto la densidad del fluido será de aproximadamente $998,2 \text{ [kg/m}^3]$.

La eficiencia de los equipos se divide por conjunto y por equipo de impulsión, que en este caso sería la bomba centrífuga multietapa, el equipo de impulsión tendría un rendimiento igual a $63,6$ de su capacidad nominal y el conjunto bomba, motor y variador de frecuencia un rendimiento igual a $52,8\%$ del rendimiento total que puede proporcionar este conjunto de equipos.

Nuestro punto de trabajo estaría focalizado en la parte baja de la curva de rendimiento del conjunto mecánico lo cual indica que los equipos estarían trabajando con un rendimiento adecuado y dentro de los márgenes establecidos por el fabricante, de preferencia se debe buscar siempre la optimización de este punto de trabajo, el cual se debe encontrar dentro de la zona apropiada de trabajo que se puede presenciar a continuación.

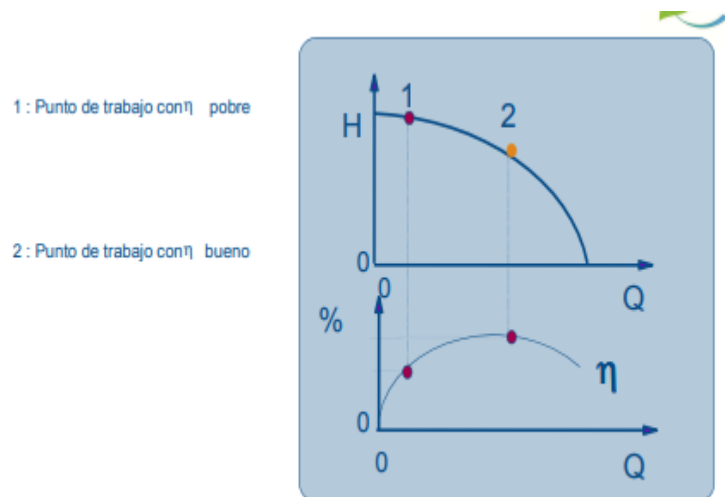


Figura 5-8: Punto óptimo de trabajo.

(Fuente: (Grundfos, 1945))

Como se aprecia en la gráfica se presentan tres curvas, donde una de ellas se encuentre en negrita esta es la que nos va indicar el mejor punto de trabajo para el equipo en marcha. En este caso nuestros equipos estarían trabajando muy cercanos a esta curva, generando el mejor aprovechamiento de los equipos. Actualmente el

punto de operación se encuentra por sobre el punto óptimo, sin embargo está muy cerca lo cual no afectaría de manera considerable al buen funcionamiento de nuestros equipos. La grafica nos sugiere que el punto de operación se encontraría a una altura geométrica igual a 31.6 [m] o bien a 26.76 [m].

La potencia necesaria para poder impulsar este caudal en condiciones óptimas corresponderá a 3.348 [KW] para los equipos generadores de energía mecánica (motores eléctricos) y de 2.78 [KW] para los equipos de impulsión (bomba). En donde una NPSH equivalente a 4.9 [m] asegurara el correcto funcionamiento de los equipos, muy por debajo de lo que estos equipos son capaces de generar.

Ambos equipos de impulsión se encontraran trabajado en paralelo debido a que la instalación no entregara el mismo caudal constante, sino, que se presentara variaciones de este, dependiendo el consumo que se requiera se alimentara de mayor o menor volumen de caudal. Por esta razón se los equipos son posicionados de esta manera, entregando variados caudales al sistema, proporcionando al fluido la misma altura o energía por unidad de peso del fluido.

En base a la información proporcionada por la gráfica se puede apreciar en la parte superior, los equipos podrían entregar una variada gama de caudales si así fuese necesario, sin embargo debido a que estamos trabajando con la información proporcionada para un día crítico, se puede apreciar las condiciones más desfavorables para los equipos, tanto en altura como en caudales, puesto que los equipos cuentan con una altura de impulsión nominal de 58.5 [m] y de 73.8 [m] como máximo, altura que se puede apreciar no es sobrepasada, sino que se dispone de ella con un restante a favor en caso de que esta se vea aumentada en base a las pérdidas de energía que se podrían presentar en base a los accesorios que se encuentran el edificio.

i) Resumen del análisis.

PARÁMETROS DE TRABAJO	NOMINAL	CALCULADO	GRÁFICA
Caudal	12.1 [m ³]	7.69 [m ³ /h]	1538

			[m ³]
Velocidad	3514 [rpm]	2233.27 [rpm]	3502 [rpm]
Potencia bomba	3 [KW]	1.29 [KW]	2.78 [KW]
Potencia motor	3.44 [KW]	1.48 [KW]	3.348 [KW]
Eficiencia bomba			63,6 %
Eficiencia bomba + motor + conv.fr.ec.			52,8 %

Tabla 5-9: Resumen del análisis completo de los equipos de bombeo.

(Fuente: Creación propia)

En la siguiente tabla se puede ver reflejado el resultado de los cálculos realizados referente al funcionamiento de la bomba, obtenidos mediante datos nominales y mediante información técnica recolectada en el circuito.

A modo de resumen se puede decir que está claro que un solo equipo no es capaz de generar el caudal requerido por las instalaciones, sin embargo dos equipos pueden realizar esta distribución sin problemas dejando un amplio rango de posibilidades para futuros caudales y alturas que se presenten en el circuito debido a que en el circuito no está contemplado el piping del edificio. Los datos entregados en la cuadrícula de grafica deben ser divididos en dos debido a que está diseñado para dos equipos funcionando en paralelo.

Si diseñamos el circuito con un caudal nominal de 7.69 [m³/h], para cada equipo, deberíamos ajustar la velocidad de estos mismos a 2233.27 [rpm] en donde se estaría utilizando un 63,55% de su velocidad nominal, realizando un consumo energético de 1.48 [KW] y transmitiendo 1.29 [KW] a sus equipos de impulsión.

j) Potencia Hidráulica transmitida al fluido.

$$P_4 = \rho * g * Q * H$$

$P_4 =$ Potencia Hidraulica [W]

$\rho =$ Densida del fluido [Kg/m³]

$g =$ aceleración de gravedad [m/s²]

$Q =$ Caudal [m³/h]

$H =$ Presión o altura manometrica total suministrada por la bomba [m]

$$P_4 = 998.2 \text{ [Kg/m}^3\text{]} * 9.81 \text{ [m/s}^2\text{]} * 2.136 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]} * 39.92 \text{ [m]}$$

$$P_4 = 834.98 \text{ [Watts]}$$

$$P_4 = \mathbf{0.834 \text{ [KW]}}$$

Finalmente la potencia que será directamente transmitida al fluido en forma de energía hidráulica, será de 0.837 [KW], es decir un 27,9% de la energía total que podrían generar estos equipos. A su vez también se generan pérdidas de la energía generada para elevar este fluido debido al roce que se realiza entre las partes mecánicas de los equipos y también como forma de calor siendo disipada a través del equipo.

5.3.2. Piping y Fittings.

El dimensionamiento del piping y Fittings se debe tomar en consideración al momento de diseñar una línea de transporte de fluido como en este caso lo es la red de

distribución de agua potable, debido a que estos accesorios y elementos del circuito pueden modificar distintos parámetros de trabajo así como también los pueden controlar o dar un uso mucho más eficiente garantizando la entrega del producto en las condiciones óptimas.

a) Diámetro de las cañerías.

Basándonos en la normativa de trabajo establecida en la (SISS, 1990), las redes de distribución de agua potable tienen velocidades de escurrimiento establecidas. Las redes interiores no deben sobrepasar los 2 [m/s] y las redes exteriores como máximo deben tener una velocidad de 2,5 [m/s] sin embargo también existen restricciones para la velocidad mínima de escurrimiento de los fluidos debido a la sedimentación que estos pueden generar en el circuito de cañerías y esta velocidad no debería descender de los 0,5 [m/s].

Es por esta razón que uno de los parámetros a verificar para poder trabajar con las velocidades establecidas será, el diámetro del piping a utilizar el cual es un condicionante para controlar este parámetro de trabajo.

- Diámetros en el circuito.

$$Q = v * A$$

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{\pi * v}}$$

$Q = \text{Caudal} [m^3/s]$.

$v = \text{Velocidad} [m/s]$

$A = \text{Área} [m^2]$

$D = \text{Diámetro} [m]$

- Diámetro máximo para el caudal estipulado.

- Caudal: 7.69 [m³/h] / 2.136 x 10⁻³ [m³/s]

- Velocidad: 0.5 [m/s]

$$D = \sqrt{\frac{2.136 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]} * 4}{\pi * 0.5 \text{ [m/s]}}}$$

$$D = 0.0737 \text{ [m]}$$

$$\mathbf{D = 73.75 \text{ [mm]}}$$

- Diámetro mínimo de la red interior de distribución de agua potable.

- Caudal: 7,69 [m³/h] / 2.136 x 10⁻³ [m³/s]

- Velocidad: 2.0 [m/s]

$$D = \sqrt{\frac{2.136 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]} * 4}{\pi * 2.0 \text{ [m/s]}}}$$

$$D = 0.0368 \text{ [m]}$$

$$\mathbf{D = 36.87 \text{ [mm]}}$$

- Diámetro mínimo de la red exterior de agua potable.

- Caudal: 7,69 [m³/h] / 2.136 x 10⁻³ [m³/s]

- Velocidad: 2.5 [m/s]

$$D = \sqrt{\frac{2.136 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]} * 4}{\pi * 2.5 \text{ [m/s]}}}$$

$$D = 0.0329 \text{ [m]}$$

$$\mathbf{D = 32.98 \text{ [mm]}}$$

- Caudal: 15.38 [m³/h] / 4.272 x 10⁻³ [m³/s]

- Velocidad: 2.5 [m/s]

$$D = \sqrt{\frac{4.272 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]} * 4}{\pi * 2.5 \text{ [m/s]}}}$$

$$D = 0.0466 \text{ [m]}$$

$$\mathbf{D = 46,64 \text{ [mm]}}$$

- Resumen del cálculo de diámetros.

Parámetro	Velocidad [m/s]	Diámetro [m]	Diámetro [Pulg.]
Diámetro máximo para caudal de trabajo.	0.5	0.0737	2 ½” – 3”
Diámetro mínimo de la red interior.	2.0	0.0368	1 ½ ”
Diámetro mínimo de la red exterior con caudal de trabajo.	2.5	0.0329	1 ½ ”
Diámetro mínimo para la red exterior con caudal completo	2.5	0.0466	2”

Tabla 5-10: Registro del cálculo de los diámetros.

(Fuente: Creación propia)

- Velocidad en la succión y descarga de la bomba.

Debido a que la dimensión de la succión y la descarga del equipo de bombeo están definido por el diseño del fabricante. Se debe determinar la velocidad para estos accesos, los cuales tienen una dimensión de 2”.

Datos de trabajo:

Caudal: 7.69 [m³/h] / 2.136 x 10⁻³ [m³/s]

Área: 2.026 x 10⁻³ [m²]

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{2.136 \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]}}{2.026 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$v = 1.054 \text{ [m/s]}$$

- Resumen del análisis de los diámetros.

Velocidades Diámetro calculado Diámetro Velocidades de

Por normativa [m/s]	[mm]	comercial [Pulg]	trabajo [m/s]	Tabla 5-11: Diámetros comerciales s. Fuente: Creación propia.
0.5	73.75	2 ½"	0.67	
2.0	36.87	1 ½"	1.87	
2.5	32.98	1 ½"	1.87	

Diámetros comerciales disponibles para trabajar: 1 ½" – 2" – 2 ½"- 3"- 4".

En base a los resultados obtenidos por los cálculos realizados se puede establecer que el diámetro de trabajo máximo para que el fluido no disminuya su velocidad mínima de 0.5 [m/s], será de 73.75 [mm] en base a los cálculos, sin embargo comercialmente no se encuentran disponibles estas medidas por lo cual trabajaremos con una medida cercana que no exceda estas medidas en este caso trabajaremos con una cañería de 2 ½", en tanto la nueva velocidad de escurrimiento será de 0.67 [m/s]. Para el caso de la red interior el diámetro de las cañerías no debe ser inferior a 1 ½" para que la velocidad mantenga su escurrimiento a una velocidad no mayor de los 2.0 [m/s]. Así como la velocidad de la red exterior no debe exceder los 2.5 [m/s], es por lo cual su diámetro mínimo en estas instalaciones no debe ser menor a 1 ½" y así no exceder los 2.5 [m/s].

Ambas instalaciones tendrán un rango de 3 medidas para trabajar y no incumplir con las velocidades establecidas, las que corresponden a 1 ½" – 2" – 2 ½", al trabajar con cualquiera de estas medidas se estaría respetando la norma.

- Diámetros de trabajo y velocidades de trabajo.

Caudales [m ³ /s]	Diámetro [m]	Velocidad [m/s]
2.136×10^{-3}	0.0508	1.05

4.272×10^{-3}	0.0762	0.93
4.272×10^{-3}	0.1016	0.52

5.3.2.1. Materiales propuestos.

a) Tuberías de cobre.

Las propiedades físicas, químicas y metalúrgicas del cobre le han dado buenas características para manufactura de conductos tubulares, empleados en plomería que benefician a instaladores como a usuarios de una instalación.

- **Fabricadas sin costura.**
- **Continuidad de flujo por su red lisa:** El proceso de fabricación por extracción permite obtener tuberías de paredes lisas y tersas, esto aunque ha causado que no permita incrustaciones en su interior, permiten conducir los fluidos con un mínimo de pérdidas de presión, conservado el mismo flujo durante la vida útil de la instalación.
- **Resistencia a las presiones internas de trabajo:** Las tuberías de cobre se fabrican sin costura lo que permite tener espesores de pared mínimos calculados para resistir perfectamente las presiones de trabajo que se presentan en cualquier instalación, además de ofrecer un factor de seguridad 5 veces la presión de trabajo constante.
- **Resistencia a la corrosión:** El cobre debido a sus características, es sin duda el material apropiado para la fabricación de tuberías.

El cobre tiene la particularidad de cubrirse con una capa de óxido que penetra en el metal solo con unas cuantas micras, esta capa sirve de protección indefinida, de ahí que las tuberías de cobre tengan un excelente comportamiento frente a la totalidad de los materiales de construcción y de los fluidos a conducir, asegurando así una larga vida útil.

- **Fabricado en temple rígido y flexible:** las tuberías de cobre se fabrican en dos temple:
- Rígidas: En tramos rectos de 6.10 [m] (20 pies).
- Flexibles: En rollos de 15.24 [m] (50 pies) y de 18.30 [m] (60 pies) de largo pudiéndose fabricar en otras longitudes de acuerdo a las necesidades del mercado.

b) Tuberías de fierro galvanizado.

El uso de este tipo de tuberías en las instalaciones hidráulicas es, fundamentalmente, en tuberías exteriores. Esto por la alta resistencia a los golpes

proporcionados por su propia estructura interna y por las gruesas paredes de los tubos y conexiones hechos con este material.

Con el paso de agua a presión durante largo tiempo el recubrimiento de zinc con el que están construidas estas tuberías se va perdiendo y la oxidación y la corrosión de material comienzan a producirse, dependiendo de la calidad del agua, pudiendo llegar a disminuir considerablemente la sección transversal de la tubería, debido a los depósitos de carbonato u óxidos, formados en sus paredes.

c) Conexiones.

- Conexiones de cobre: Las tuberías de cobre para agua se instalan conexiones de cobre de hasta 2" y de bronce de 2 ½ a 4"
- La mayoría de las conexiones serán roscadas o bridadas si fuese necesario.

5.3.3. Factibilidad de los equipos de bombeo

Preferentemente las bombas a emplearse en sistemas de elevación de agua son del tipo monoblock o acoplamiento directo de bomba y motor, con rodete cerrado y sello mecánico. Para el caso de equipos, cuya presión no exceda los 58 [m.c.a.] y que por tanto empleen una sola red de distribución, el tipo de bomba más adecuada será la de un rodete unicelular.

Para poder determinar que el equipo de impulsión es el idóneo, es importante determinar 4 elementos importantes: Tipo de líquido a bombear, caudal requerido, Presión/altura requerida y clase y tipo de bomba.

a) Tipo de líquido a bombear.

El tipo de sistema de abastecimiento propuesto, pretende suplir necesidades domésticas. El fluido a suministrar es agua limpia, sin sólidos en suspensión, desde un depósito por lo que es recomendado utilizar bombas de tipo centrífuga de rodete.

b) Caudal requerido.

Mediante los cálculos efectuados en el subcapítulo 5.3.1, se determinó la altura manométrica, que se debería suministrar al sistema. Tomando este valor, se seleccionó un valor de presión o altura.

$$Q = 367.63 \text{ [m}^3\text{/dia]} = 15.318 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

c) Presión / altura requerida.

$$21.11 \text{ [m.c.a.]} = 2.07 \text{ [bar]}$$

d) Clase y tipo.

Para la red proyectada, la bomba requerida debe entregar el caudal (Q), a la presión (Hm) requerida, determinadas anteriormente.

Debido a lo ya establecido la bomba idónea para este tipo de sistemas sería una de tipo centrífuga de flujo radial.

Es por la misma razón que se determina que los actuales equipos proyectados, cumplen con cada uno de estos parámetros, considerándose de alguna manera sobredimensionados frente a las actuales condiciones de trabajo, pues su capacidad nominal pudiese alcanzar un rango mayor de desarrollo.

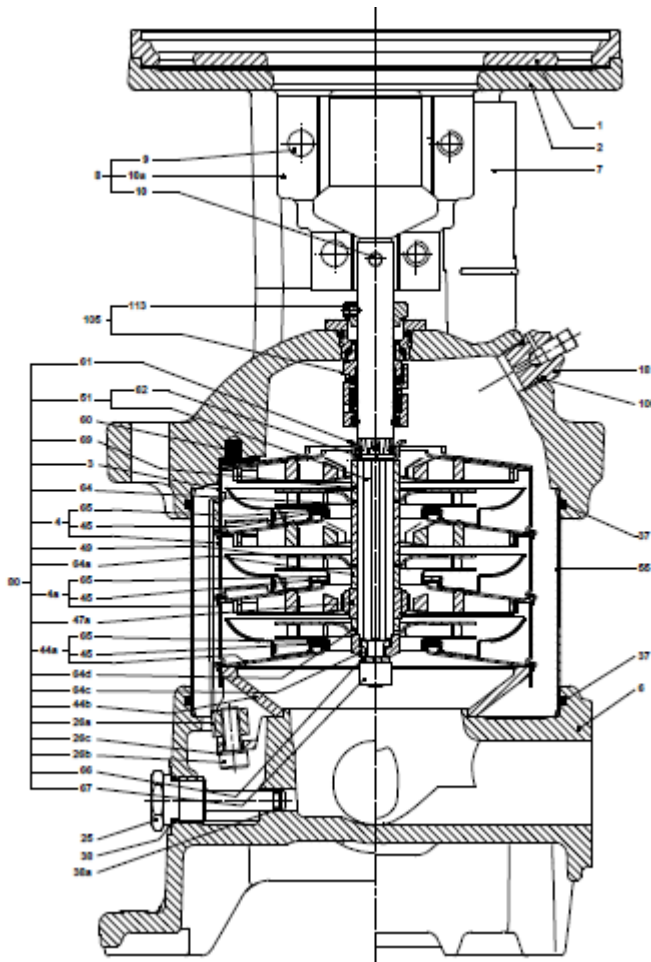


Figura 5-9: Bomba centrífuga.

(Fuente: (Grundfos, 1945))

5.3.4. Sistema hidroneumático.

Dada su versatilidad y eficiencia, los sistemas hidroneumáticos aseguran que la red hidráulica mantenga su presión de manera constante, mejorando el funcionamiento de los diferentes artefactos del circuito.

El hidroneumático, está formado por un depósito (tanque) de fierro, con una membrana de caucho que almacena el agua, al tanque se le inyecta aire a presión. Estos sistemas sirven para automatizar las bombas y controlan el número de partidas horaria de los motores eléctricos. Esto es muy importante cuando se bombean caudales variables; como en este caso debido a los artefactos sanitarios.

Los motores eléctricos disipan calor, si tienen demasiadas partidas consecutivas, se recalientan. Cuanto más grande es el tamaño del hidroneumático menor son las partidas del motor de la bomba y este trabaja más frío.

5.3.4.1. Presión de operación del hidroneumático.

Para que el sistema hidroneumático pueda funcionar con normalidad, es necesario determinar 2 presiones distintas de trabajo.

- Presión mínima ($P_{\text{mín}}$)

La presión mínima de operación (P_m) del cilindro en el sistema hidroneumático deberá ser tal que garantice en todo momento, la presión requerida en la toma más desfavorable. Por lo tanto se considera como altura manométrica total del sistema.

$$21.11 \text{ [m.c.a.]} = 2.07 \text{ [bar]}$$

Para esta presión de trabajo, las bombas establecidas en el circuito entregaran un caudal igual a 128.16 [L/min] cada una de ellas.

- Presión diferencial y máxima ($P_{\text{máx.}}$).

Se asigna una presión de detención de la bomba, que debe ser un diferencial entre las presiones mínimas y máximas del sistema. Se debe tener en cuenta que al aumentar el diferencial de presión, aumenta la relación de eficiencia del cilindro considerablemente y por lo tanto reduce un tamaño final del mismo; pero aumentar

demasiado el diferencial puede ocasionar inconvenientes pequeños, tales como un mayor espesor de la lámina del tanque, elevando así su costo y obligando a la utilización de bombas de mayor potencia para vencer la presión máxima, o graves, tales como fugas en las piezas sanitarias y acortamiento de su vida útil.

Para este tipo de casos es recomendable que el diferencial de presión no sea inferior a 20 [Psi] (14 m.c.a.)

Se considera una presión máxima, para la determinación de sistema hidroneumático igual a:

$$P_{m\acute{a}x} = 35.11 [m. c. a] = 3.44 [\text{bar}]$$

Para esta presión de trabajo la bomba entregara un caudal igual a 48.39 [L/min].

5.3.4.2. Volumen de regulación.

Habiéndose determinado la curva característica de la bomba, la siguiente etapa es el cálculo de volumen de regulación (V_r), o cantidad de agua que debe acumularse dentro del tanque, que es función del caudal medio (Q_m) de la bomba, y del número de partidas horarias que se le desee imprimir, para el consumo más desfavorable.

Mientras mayor sea la potencia del motor, el tiempo entre partidas será mayor. La tabla 5-13 sugiere una relación mínima entre T (tiempo) y la potencia del motor.

Tiempo (Minutos)	Potencia (HP)
1,2	0,5 - 3
1,5	3 - 5
2	5 - 7,5
3	7,5 - 15
4	15 - 30
6	> 30

Tabla 5-13: Relación entre potencia y partidas horarias.

Para motores de 0,5 a 3 [HP] de potencia, la tabla sugiere una relación de tiempo de 1,2 [min].

$$Q_m = \frac{Q_a + Q_b}{2}$$

$$Q_m = \frac{128.16 \text{ [L/min]} + 48.39 \text{ [L/min]}}{2}$$

$$Q_m = 88.27 \text{ [L/min]}$$

- Volumen de regulación.

$$V_r = \frac{Q_m \times T}{4}$$

$$V_r = \frac{88.27 \text{ [L/min]} \times 1,2 \text{ [min]}}{4}$$

$$V_r = 26.48 \text{ [L]}$$

Finalmente se calcula el volumen del tanque, que tendrá una relación directa con el volumen de regulación (V_r) resultante y la presión mínima de trabajo ($P_{\text{máx}}$), y una relación inversa al rango elegido.

$$VOL_{TANQUE} = \frac{V_r \times (P_{\text{máx}} + 1)}{P_{\text{máx}} - P_{\text{mín}}}$$

$$= \frac{26.48 \text{ [L]} \times (41 \text{ m.c.a.} + 1)}{41 \text{ [m.c.a.]} - 21.11 \text{ [m.c.a.]}}$$

$$VOL_{TANQUE} = 55.91 \text{ [L]} \times 2 \text{ [equipos de bombeo]}$$

$$VOL_{TANQUE} = 111.82 \text{ [L]}$$

Elección del tanque hidroneumático.

Una vez obtenido el volumen que deberá tener el tanque, se debe corregir este volumen, para poder seleccionar uno de los estanques ofrecidos en el mercado. En base a que el circuito ya cuenta con un tanque hidroneumático con capacidad igual a 100 [L], se barajan las posibilidades de mantener este estanque el cual podría contener a uno de los equipos de elevación e incorporar uno extra para compensar la

totalidad del volumen. Sin embargo también existe la posibilidad de incorporar un tanque que contemple el volumen completo ameritado por el circuito lo cual a su vez incorporaría mayor resistencia para los equipos de elevación y se tendría que realizar un recalcu lo verificando que estos sean capaz de vencer la resistencia incorporada por este.

CAPÍTULO 6: DISEÑAR UNA ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS EQUIPOS E INSTALACIONES.

6.1. EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS PROYECTADOS BASADOS EN SU MANTENIMIENTO.

6.1.1. Bombas centrífugas.

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga, recibe el fluido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba. Esta bomba centrífuga es de un impulsor de simple succión donde el líquido entra por un solo extremo, lo que simplifica considerablemente la forma de la carcasa, y tiene la particularidad de ser semi abierto, el flujo es distribuido de forma radial, lo que quiere decir que cuenta con impulsores angostos, de baja velocidad específica, la presión desarrollada es debido principalmente a la fuerza centrífuga.

a) Partes constitutivas:

Una de las ventajas más importantes de las bombas centrífugas es que tienen muy pocas partes móviles.

Fuera de los cojinetes, la única parte móvil es el rotor principal de la bomba, el cual está constituido por el árbol y el impulsor.

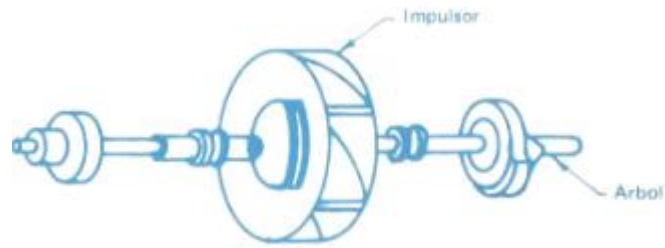


Figura 6-1: Rotor de una bomba centrífuga.

(Fuente: (SENA))

- Impulsor de simple succión.
 - Carcaza.
 - Árbol.
 - Rodamientos.
 - Empaquetaduras.
 - Base.
 - Prensa estopa.
 - Anillo de desgaste de la carcasa.
 - Anillo de desgaste del impulsor.
 - Brida para conectar línea de descarga.
 - Orificio de succión.
 - Orificio para cebar la bomba.
- b) Análisis de las bombas centrífugas centrado en las fallas.

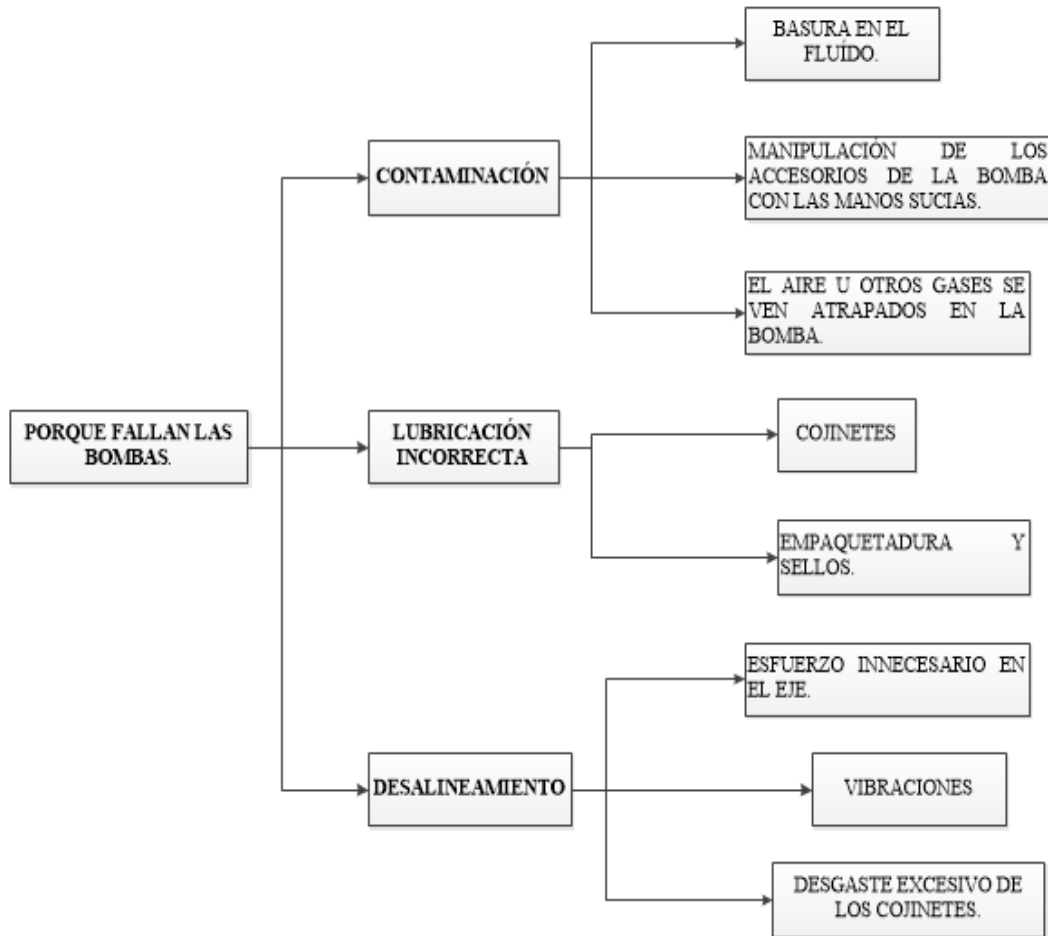


Figura 6-2: Diagrama de análisis centrado en las fallas de las bombas centrífugas.

(Fuente: (SENA))

c) Porque fallan las bombas.

- ✓ La mayoría de los daños prematuros de una bomba son causados por la contaminación, por la lubricación incorrecta o por problemas de alineación.

I. Contaminación.

Una bomba puede contaminarse con basura del fluido que se está bombeando o cuando se manipulan los accesorios de la bomba con las manos sucias. Una forma menos obvia de contaminación ocurre el aire u otros gases se ven atrapados en la bomba.

II. Lubricación incorrecta.

Como la mayoría de la maquinaria, las bombas centrífugas necesitan aceite o grasa para lubricar los cojinetes, aunque también tienen requerimientos adicionales de lubricación. Los empaques y sellos de la bomba son a menudo lubricados por el flujo

del fluido. Todas estas necesidades de lubricación deben satisfacerse estrictamente si se desea obtener una vida útil máxima.

III. Desalineación.

La fórmula de alineación estricta es a menudo ignorada. La desalineación de la bomba y del elemento impulsor causa vibraciones y un desgaste excesivo de los cojinetes. También impone un esfuerzo innecesario sobre el eje. Las bombas deben ser alineadas de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

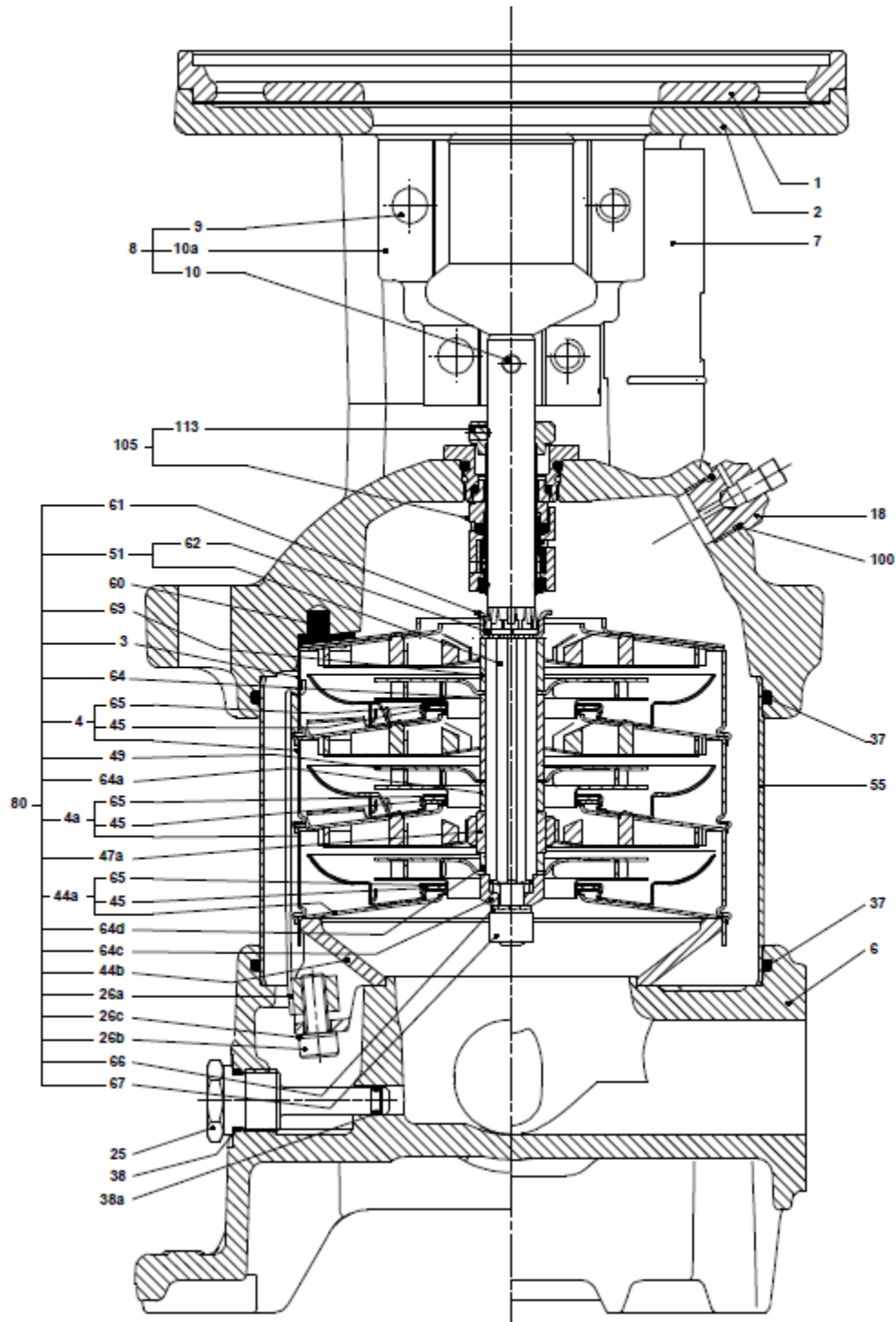


Figura 6-3: Plano seccionado de la bomba centrifuga.

(Fuente: (Grundfos, 1945))

6.1.2. Estanques de almacenamiento.

La mayor parte de los edificios en Chile tienen estanques de acumulación de agua potable en el subsuelo, desde donde el agua es impulsada por medio de bombas de agua para abastecer al edificio. Debido a esto, es de vital importancia mantener una limpieza y desinfección periódica de estos estanques, para asegurar que el agua consumida tenga las condiciones sanitarias.

Un tanque de almacenamiento de agua potable con el tiempo puede acumular, sedimentos barrosos, producto de sólidos suspendidos, que se van acumulando en el fondo del tanque o se adhieren a sus paredes, lo cual puede propiciar el crecimiento de microorganismos que podrían generar contaminación del líquido, afectando su calidad y reflejándose en la salud.

En base a lo estipulado en reglamento de los servicios de agua, destinados al consumo humano; deroga el decreto N° 1132, de 3 de mayo de 1952, modificado en dos ocasiones siendo la última de ellas el año 2010. Establece las siguientes disposiciones generales;

- Todo servicio de agua potable deberá proporcionar agua de buena calidad en cantidad suficiente para abastecer satisfactoriamente a la población que le corresponda atender, además de asegurar su suministro frente a interrupciones.
- El agua destinada al consumo humano no debe contener elementos o sustancias químicas en concentraciones totales mayores que las indicadas.
- Todas las partes constitutivas de un servicio de agua potable deberán ser proyectadas, construidas y explotadas en forma que aseguren la continuidad del abastecimiento.
- Deberá evitarse el ingreso de cualquier materia extraña al interior de los estanques de almacenamiento de agua, para lo cual estos deberán permanecer tapados, sus ductos de ventilación deberán estar provistos de rejillas y deberán obturarse cualquier orificio que no sea funcional al mismo y que no esté debidamente protegido.

Al menos cada tres meses deberá efectuarse una prolija inspección de dichos estanques y de sus instalaciones anexas, con el fin de determinar su estado de limpieza, funcionamiento y conservación. El aseo y desinfección de los mismos deberá hacerse al menos una vez al año o antes si se encuentran en su interior

materias o cuerpos extraños susceptibles de descomposición, acumulación de lodos u otras impurezas que afecten la potabilidad del agua.

a) Componentes principales.

- ✓ Tubería de alimentación.
- ✓ Aliviadero.
- ✓ Tubería de descarga.
- ✓ Ventilación.
- ✓ Escotilla de acceso.
- ✓ Válvula de control.

b) Análisis centrado en fallas.

Registro:

El acceso al interior del estanque tiene una tapa de material impermeable y de cierre hermético, para evitar la entrada de animales, insectos o agua contaminada.

Problemas que se pueden presentar:

- ✓ Falla de la tapa (se rompe o se oxida).

Tubería de descarga, válvula y flotador:

Esta tubería es la encargada de alimentar al estanque de agua potable, el cual cuenta con una válvula que accionada por un flotador controla el ingreso del fluido con el fin de conseguir los niveles adecuados.

Problemas que se pueden presentar:

- ✓ La válvula no cierra.
- ✓ La válvula se rompe.
 - Falla de material.
- Exceso de presión en la tubería.
- Diámetro de la tubería insuficiente.

6.1.3. Tuberías y Fittings.

a) Tuberías.

A medida que pasa el tiempo las tuberías se deterioran, y esto hace que tengamos que tener un mantenimiento en las tuberías, algunos de los deterioros con el paso del tiempo pueden ser los siguientes:

- Incrustaciones.
- Perforaciones debido a la corrosión.
- Pérdida generalizada de la resistencia de la tubería.
- Movimiento del asentamiento de tuberías.
- El deterioro de las uniones entre varios tubos.
- Alguna penetración de raíces en el interior de la tubería.

Con el paso del tiempo la calidad va disminuyendo así que hay que tener un mantenimiento de las tuberías, lo que hace que aparezcan efectos no deseables para la tubería. Como pueden ser las roturas en la unión de varias tuberías o una rotura en la misma tubería.

b) Válvulas.

Anteriormente se definió a las válvulas como dispositivos mecánicos encargados de permitir iniciar, detener o regular la circulación de los líquidos.

Modos de fallas.

El fallo de una válvula puede provocar diferentes tipos de accidentes, como escapes de líquidos o gases causados por un fallo en la empaquetadura, por la rotura o por el bloqueo de la válvula; reacciones incontroladas o explosiones si el cierre de la válvula es defectuoso y permite el paso de un fluido a un equipo determinado de la instalación, cuando no es debido. Este tipo de accidentes también pueden producirse a causa de una inversión del sentido del flujo, que puede ser consecuencia del fallo de una válvula anti-retorno.

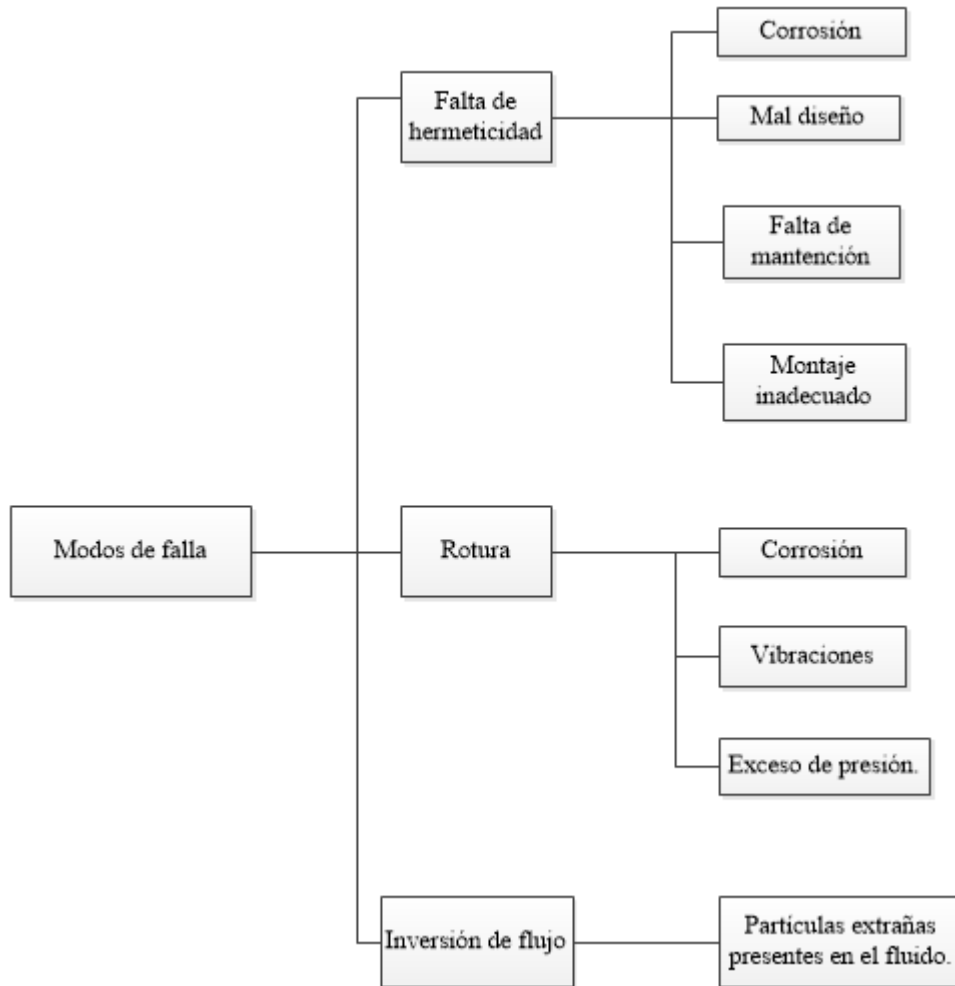


Figura 6-4: Modos de fallas en las válvulas.

(Fuente: (Mott, 6ta edición))

6.2. ELECCIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.

En base a la condiciones de trabajo a las cuales está sometido el establecimiento de salud, realizando un funcionamiento diario y constante, generando el uso activo de los componentes de la red de agua potable, se precisa contar con un mantenimiento que genere la disponibilidad apropiada para el funcionamiento que esta instalación demanda, asegurando con ello la confiabilidad de los equipos ante eventualidades imprevistas en el recinto por ello a continuación se definirán términos claves para el proceso y con ello la elección del mantenimiento más adecuado para las condiciones de trabajo que en este caso se presentan.

En base a la información recopilada a lo largo del estudio se detecta que el mantenimiento realizado por la empresa a cargo de estos equipos es de características reactivas, acudiendo a estos cada vez que se manifiesta una anomalía, pese de estar establecido un mantenimiento de tipo preventivo. Estos equipos tampoco cuentan con un registro de fallas desde donde se pueda desglosar información relevante para

implementar un plan adecuado a las condiciones en que se encuentran estos equipos en la actualidad. Es por lo cual la estrategia de mantenimiento estará enfocada en recopilar información relevante de cada uno de estos equipos, con el fin de realizar un análisis y ajustarse a sus actuales condiciones de trabajo para con ello garantizar su confiabilidad operacional en el proceso e implementar un plan de mantenimiento concordante con la situación.

En primer lugar se definen conceptos claves para la implementación de estos planes de conservación de la vida útil de los equipos, junto con la variación de algunos de ellos, hasta llegar al plan seleccionado para la ejecución de este estudio.

6.2.1. Mantenimiento.

Se define como una actividad técnica – económica, en donde su misión principal es lograr los niveles establecidos de disponibilidad para las funciones de la instalación en su contexto operativo. El mantenimiento debe mantener la disponibilidad, no de los equipos precisamente, sino que de sus funciones. No es necesario generar la máxima disponibilidad sino que asegurar la disponibilidad suficiente para que el proceso productivo no se vea interrumpido.

Valiéndose de:

- Talentos humanos.
- Recursos activos.
- Controles y mecanismos de gestión.

Disponibilidad operacional:

Se define la disponibilidad operacional de un equipo, conjunto de equipos o línea de producción, al porcentaje del tiempo en el que estuvo disponible para el proceso de operación en las condiciones de seguridad y calidad establecidas.

6.2.2. Tipos de mantenimiento.

Resulta complejo establecer el límite entre cada uno, dado que a excepción del mantenimiento correctivo, la finalidad de todos es la misma, solo que parten de perspectivas diferentes.

Acciones re- activas.

Tomar alguna medida para establecer las funciones originales que se perdieron como consecuencia de un evento inesperado. Si es una emergencia la programación casi no existe.

- ✓ Mantenimiento correctivo.
- ✓ Mantenimiento restaurativo.
- ✓ Mantenimiento restaurativo. (inmediato)

Acciones Pro – activas.

Los planes de mantenimiento están contruidos por acciones pro – activas, en donde tienen como objetivo impedir que se manifiesten modos de falla, que no ocurran tan a menudo o minimizar sus consecuencias.

- ✓ Mantenimiento preventivo.
- ✓ Mantenimiento proactivo.
- ✓ Mantenimiento predictivo.
- ✓ Mantenimiento detectivo.
- ✓ Mantenimiento previsorio.

Una vez estudiado los planes de mantenimiento disponibles se genera un mayor énfasis en el mantenimiento preventivo programado en base a su alcance, objetivo y tareas a realizar. Siendo este seleccionado a modo de recomendación, pudiendo ser este modificado una vez sean obtenidos los resultados.

6.2.3. Mantenimiento preventivo (programado)

Las acciones pro – activas tienen como finalidad aumentar la disponibilidad de los activos industriales a través de la disminución de las paradas no programadas. El mantenimiento preventivo pertenece a este grupo y tiene la característica de aprovechar el momento más oportuno para intervenir los equipos maximizando su eficiencia. Si la planificación es adecuada, es posible preparar piezas, herramientas, repuestos e insumos, seleccionado, además al personal más idóneo en la ejecución de cada trabajo, asegurando seguridad y rapidez.

Partes de sus tareas son:

- ✓ Sustitución periódica de partes.
- ✓ Restauración e inspección de equipos.
- ✓ Limpieza.
- ✓ Lubricación.
- ✓ Calibración de instrumentos.

6.2.4. Alcance y definición.

Mantenimiento planificado que incluye intervenciones programadas para la reparación del ítem o el cambio de sus componentes a intervalos fijos sin importar su estado de condición al momento de realizar la tarea. No obstante es vital la información que nos transmite el componente, pues permitirá optimizar y ajustar MTBF para futuras intervenciones.

Dentro de un plan de mantenimiento preventivo encontramos:

✓ **Reemplazo de equipos, subconjuntos, componentes o piezas:**

Transcurrido cierto intervalo, algunos elementos denotan desgaste natural o fatiga, lo que conduce a un aumento importante de su probabilidad de falla. Se manifiestan fundamentalmente en ítems mecánicos móviles expuestos a corrosión, erosión, oxidación o ciclos térmicos de importancia.

✓ **Conservación, revisión o restauración de ítems:**

Al igual que el reemplazo de componentes, las acciones de conservación periódica se consideran rutinas de mantenimiento preventivo y consisten en controlar o revisar en forma programada los equipos para llevarlos a su estado de condición básica original.

✓ **Rutinas de inspección y chequeo de recorrida:**

No incluyen reemplazo ni restauraciones programadas, pero suelen integrarse al plan preventivo porque representan acciones concretas para la conservación de la condición básica y para corregir defectos. Su costo de realización es bajo frente a los beneficios obtenidos.

✓ **Limpieza, ajuste y lubricación:**

Algunos ítems requieren acciones de conservación para mantenerlos dentro de cierto estado de condición básica. Esto se logra mediante rutinas periódicas de lubricación, ajuste, regulación o limpieza preventiva. Son de muy bajo costo, aunque los beneficios son extraordinarios.

✓ **Calibración:**

El ajuste de parámetros en los instrumentos de proceso valiéndose de patrones, se denomina calibración. Es una acción de MP que contempla medir, controlar y ajustar los parámetros de proceso de acuerdo a patrones certificados

6.2.5. Objetivos del mantenimiento preventivo.

- ✓ Aumentar la disponibilidad de los activos industriales a través de la disminución de las detenciones no programadas.
- ✓ Minimizar las averías imprevistas de los equipos.
- ✓ Mejorar el aprovechamiento de mano de obra por medio de la programación de tareas.
- ✓ Mejorar la calidad de productos y servicios.
- ✓ Disminuir el riesgo para el personal en las operaciones de producción y mantenimiento.
- ✓ Minimizar los gastos debido a reparaciones de emergencia.
- ✓ Disminuir el impacto ambiental por medio de una mejor planificación de tareas.

6.2.6. Reemplazo y conservaciones programadas.

- ✓ Los componentes se sustituyen cuando el costo de la reparación es mayor al de su reemplazo, o bien cuando existe una alta probabilidad de que la reparación no garantice el estándar de funcionamiento original. En estos casos el ítem es desechable.
- ✓ Es conveniente realizar una tarea de conservación sistemática sobre componentes no desechables.

6.3. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PLAN O ESQUEMA DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS PROYECTADOS ASEGURANDO LA VIDA ÚTIL DE LOS ACTIVOS.

Debido a que el funcionamiento de los equipos de distribución de agua potable se encontrara en uso la mayor parte del día. El mantenimiento debe ser realizado en un horario y momento estratégico, en donde no afecte de manera relevante a los consumidores de agua potable en el edificio.

Como se mencionó anteriormente el funcionamiento será constante y prolongado, lo que presentara un mayor desgaste en sus componentes, solicitándose de esta manera un mantenimiento más exhaustivo que proporcione la confiabilidad y disponibilidad operacional de los mismos, evitando la generación de modos de falla recurrentes.

Puesto que estos equipos no pueden ser detenidos constantemente para realizar el mantenimiento, se pueden generar rutas de inspección dinámica para generar un seguimiento de los equipos y realizar un mantenimiento más específico, que se ajusten a las necesidades que presentan los equipos.

Actualmente los equipos involucrados no cuentan con rutas de inspección, ni un registro de falla, el mantenimiento es realizado de manera correctiva donde, realizan actividades re – activas una vez que se manifiestan las fallas y los equipos se averían.

Es por esta razón que la metodología correcta para ser llevada a cabo en un caso como este, es la de aplicar rutas de inspección dinámica, que nos entreguen información relevante acerca de los equipos en funcionamiento. Determinando de esta manera las fallas más recurrentes en los equipos y con ello determinar el tiempo para que estos sean intervenidos en el momento más apropiado.

Para llevar a cabo rutas de inspección dinámica, es necesario conocer los equipos con los que se va a trabajar, dándole mayor énfasis de inspección a aquellas partes en donde se manifiesten las fallas más recurrentes según análisis establecidos por otros ejecutores de las mismas rutas de inspección.

6.3.1. Mantenimiento de rutina – chequeo de recorrida.

Es un servicio caracterizado por alta periodicidad y la corta duración, normalmente utilizando los sentidos humanos y sin ocasionar la indisponibilidad del equipo.

Identificar defectos tales como:

- ✓ Vibración.
- ✓ Suciedad.
- ✓ Fugas.
- ✓ Ruidos.
- ✓ Variables de proceso fuera de estado.

En algunos casos esto es realizado por los propios operadores de los equipos, a partir de una programación desarrollada por el departamento de mantenimiento. Ofrece una gran contribución al diagnóstico del estado de los equipos.

Inspección rutinaria: se llevan a cabo en lapsos de tiempo determinados, diseñados y analizando detenidamente los aspectos técnicos a verificar, las condiciones prácticas de aplicación y la seguridad del personal involucrado.

6.3.2. Rutas de inspección dinámica:

La ejecución de las rutas de inspección dinámica incluye inspecciones de máquinas en funcionamiento o el control de sus variables. Las cuales son tareas con

mayor beneficio en el ámbito MP. Estas tareas se llevan a cabo utilizando los sentidos humanos o utilizando instrumental de baja complejidad técnica.

Utilice la vista, el oído y el tacto para detectar problemas antes de que estos causen desperfectos en la bomba. Este alerta en caso de que haya un rendimiento deficiente y ruidos no usuales, vibración o fugas. Vigile atenta y regularmente los manómetros.

6.3.3. Tareas frecuentes en las rutinas de inspección.

- ✓ Identificar vibraciones y ruidos extraños.
- ✓ Eliminar suciedad, contaminantes y deterioro evidente.
- ✓ Detectar puntos calientes y medir temperatura.
- ✓ Verificar variables de proceso.
- ✓ Identificar pérdidas de fluidos.
- ✓ Detectar anomalías, objetos extraños o abandonados.
- ✓ Verificar nivel y color de aceites lubricantes.
- ✓ Controlar estados de desgaste general.
- ✓ Realizar ajustes menores.
- ✓ Identificar daños accidentales en los equipos.
- ✓ Eliminar materiales peligrosos.
- ✓ Recolectar datos del proceso.
- ✓ Pruebas menores de estanqueidad.
- ✓ Mediciones de corriente.
- ✓ Comprobar redundancias o sistemas de protección.

6.3.4. Frecuencia de las rutinas de inspección.

Pueden ser diarias, semanales, mensuales y hasta discretionales. Las diarias incluyen el monitoreo de variable de procesos para indicar algún defecto incipiente en el equipo. Muchas de estas variables identifican fallas potenciales (sintomáticas) sobre el activo. Si bien son las más útiles a la hora de descubrir anomalías, producen mayor acostumbramiento, por lo que la sección de cada punto debe realizarse junto al ejecutor de la rutina asegurando el mayor beneficio en el mantenimiento del equipo.

Las siguientes circunstancias requieren, por lo general, una revisión diaria:

1. **Filtro de succión (si se usara):** verifique la diferencia en la presión entre los manómetros colocados a cada lado del filtro. Si la caída de presión aumenta, el filtro necesita limpieza.
2. **Flujo de la bomba:** Revise los medidores de succión y de descarga de presión para mantener el rendimiento de la bomba.
3. **Fugas (escapes) por los empaques:** Debe existir alguna fuga por los empaques para mantenerlos lubricados y para prevenir que el aire exterior entre por el collarín. El escape deberá ser de por lo menos veinte gotas por minuto, y algunos fabricantes recomiendan todavía más. La falta de lubricación es la principal causa del deterioro de los empaques.
4. **Temperatura de los cojinetes:** los cojinetes que trabajan demasiado calientes se desgastan prematuramente y pueden causar daños en otros accesorios. Por otro lado los cojinetes enfriados con líquidos no se deben enfriar demasiado, pues podría producirse la condensación y hacer que los cojinetes se oxiden.

▪ **Revisiones semanales.**

Las semanales son similares a la anterior pero contienen tareas tendientes a descubrir modos de fallas que pueden tener consecuencia habiendo transcurrido más de una semana de sucedido.

Las siguientes circunstancias requieren una revisión semanal:

1. **Rotación del eje (solo en periodos de inactividad):** siempre que la bomba se pare durante largo periodo, gire el eje manualmente una vuelta y cuarto para lubricar los cojinetes y prevenir que se trabe el eje.
2. **Tubería auxiliar:** vea si hay fugas en las conexiones.
3. **Vibración del eje y de los cojinetes:** Use medidor de vibraciones manual para medir la vibración de los cojinetes del eje. La vibración no deberá exceder 0,002”.

Las mensuales agrupan acciones más específicas y demandan mayor grado de capacitación. Involucran detenciones de equipos, pruebas de estanqueidad, verificación de cortes de emergencia y hasta la limpieza interior de componentes. Puede ser necesario detener la producción y desarmar algún subconjunto.

▪ **Revisiones adicionales.**

Existen otras condiciones de las bombas que necesitan atención periódicamente, algunas con mayor frecuencia:

- 1. Lubricación de cojinetes:** Verifique el nivel y estado del aceite en el caso de cojinetes lubricados con aceite, y cambie el aceite en intervalos fijos. También deben existir un calendario definido para aplicar grasa en los cojinetes lubricados con grasa.
- 2. Consumo de energía:** Haga que la revisión del consumo de energía de la bomba sea parte de la rutina de inspección. El consumo excesivo de energía es un signo de que es necesario revisar la alineación de la bomba, los cojinetes y otros accesorios.
- 3. Pernos de sujeción:** Los pernos de sujeción de la bomba no necesitan ser revisados con frecuencia, aunque una verificación oportuna del ajuste puede prevenir la necesidad de darle mantenimiento a la bomba como resultado de una vibración innecesaria.
- 4. Inspección interna:** No habrá una bomba sin necesidad, cuando lo haga:
 - ✓ Revise todas las partes y reemplace las partes desgastadas.
 - ✓ Limpie e inspeccione la caja y asegúrese de que estén despejados los conductos del impulsor y los sellos del líquido.
 - ✓ Observe el impulsor y el anillo en busca de desgaste, erosión, rebadas o rayones, que pudieran causar un desequilibrio, vibración y deterioro.
 - ✓ Observe la camisa (manguito) y el eje en busca de desgaste, daños o corvaduras. El eje debe estar justo dentro de 0,001". En caso de que la camisa o el eje muestren signos de daño o deterioro, reemplácelos.

6.4. ESTRATEGÍA.

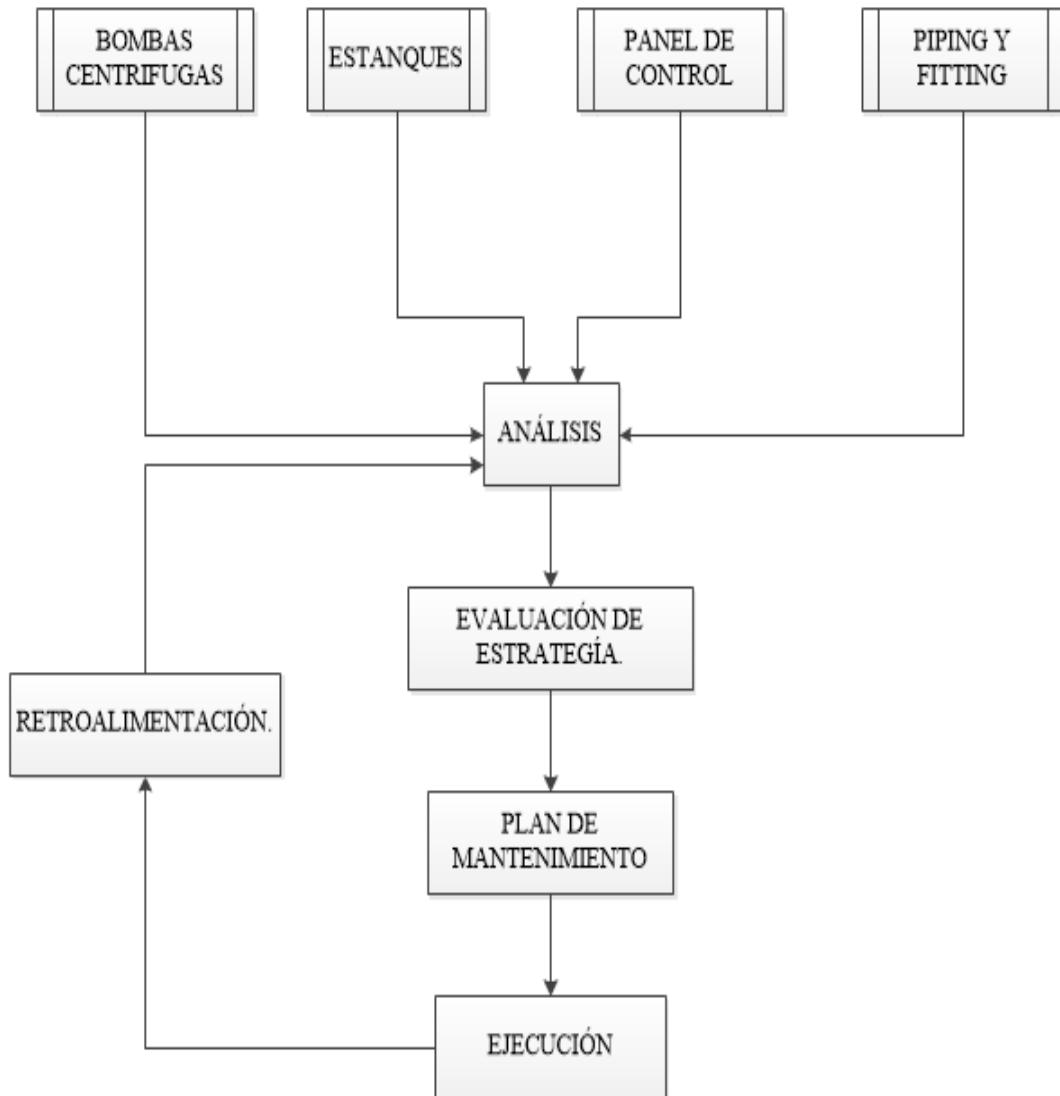


Figura 6-5: Esquema de estrategia de mantenimiento.

(Fuente: Creación propia)

La estrategia a llevar a cabo, se ve representada en el esquema dispuesto en el presente documento, donde se ve cada una de las etapas previas para determinar el mantenimiento más adecuado para las instalaciones de agua potable del hospital regional Guillermo Grant Benavente y posteriormente su ejecución de donde se extraerá una retroalimentación en base a los resultados que se vayan obteniendo para ajustar los equipos al mantenimiento que corresponda sin desperdiciar tiempos.

La primera etapa de nuestro esquema refleja la generación de un registro o un catastro de fallas recurrentes en cada uno de los equipos involucrados, en base a la información generada por las planillas de inspección dinámica llevada a cabo por los encargados del mantenimiento de los equipos de agua potable en un periodo determinado de tiempo.

6.4.1. Análisis.

Una vez recopilada toda la información, se realizara un análisis de la situación actual de los equipos, así como del entorno en el cual se encuentran. El entorno es fundamental a la hora de extender la vida útil de los equipos, ya que los agentes externos afectan de manera considerable a los equipos en funcionamiento, generando muchas de las veces pérdidas irreparables en los mismos, por una no detección a tiempo del factor intrínseco en el ambiente que rodeaba a los equipos. Es por esto que se deben considerar todos los factores que actúan en el funcionamiento de los equipos incluyendo temperatura, humedad relativa y presión atmosférica.

Los equipos serán analizados en base a los siguientes parámetros:

- **Bombas centrifugas multietapa.**

- a) Parámetros de trabajos.

En base al seguimiento que se realizó en las plantillas de la ruta dinámica se deben analizar los parámetros de trabajo registrados realizando las siguientes actividades:

- ✓ Corrección de parámetros.
- ✓ Ajuste de parámetros.
- ✓ Parámetros críticos.

- b) Defectuosidades.

Se deben verificar todas aquellas defectuosidades externas que se manifiesten en el equipo y las cuales puedan ser registradas en las rutinas de inspección dinámica.

- ✓ Vibraciones.
- ✓ Desalineamiento.
- ✓ Fugas del fluido.

- ✓ Estado estructural.

c) Ejecución.

Se deben determinar aquellas que deban ser ejecutadas antes de implantar el plan de mantenimiento para que los equipos se encuentren en óptimas condiciones de trabajo al momento de que se lleva a cabo el plan de mantenimiento seleccionado.

- ✓ Limpieza

- Agentes externos.
- Agentes internos.
- Efecto en el equipo.
- Periodicidad.

- ✓ Reapriete

- Origen.
- Consecuencias.
- Soluciones.

▪ **Estanque de almacenamiento.**

a) Parámetros de trabajo:

- ✓ Temperatura de almacenamiento:

- Agentes externos.
- Agentes internos.
- Consecuencias.
- Rango de operación.

- ✓ Turbiedad.

- ✓ Defectuosidades.

- ✓ Fisuras:

- Causas.
- Efectos.
- Solución.

- ✓ Fugas:

- Cañería de succión.
- Cañería de descarga.
- Tubo de ventilación.
- Tapa de acceso.
- Contaminación.

▪ **Panel de control.**

✓ Funcionamiento:

- Correcto.
- Defectuoso.
- Nulo.

✓ Acciones a tomar:

- Reparación.
- Cambio.
- Ajuste.

✓ Defectuosidades:

- Estructurales.
- Circuito eléctrico.

6.4.2. Evaluación de estrategia.

Una vez realizado el análisis, en base a las variables mencionadas se establecen las condiciones en las cuales está el equipo, la vida útil que presenta en base a sus condiciones de funcionamiento actuales, cambio de componentes que sean necesarios realizar para que el equipo quede en óptimas condiciones y poder garantizar la disponibilidad operacional del mismo.

En esta etapa del proceso se debe determinar cuáles son las condiciones más apropiadas en las cuales debe trabajar el equipo, para con ello asegurar la disponibilidad de sus funciones en el servicio, el cual se encarga de la distribución de agua potable en el edificio. Por ello no se deberían presentar fallas o interrupciones que generen una detención absoluta del servicio. La estrategia que se adopte en este capítulo debe estar enfocada a la mayor disponibilidad de los equipos involucrados en el proceso, para ello esta debe estar centrada principalmente en el mantenimiento realizado a cada uno ellos.

Para ello se llevara a cabo el siguiente esquema:

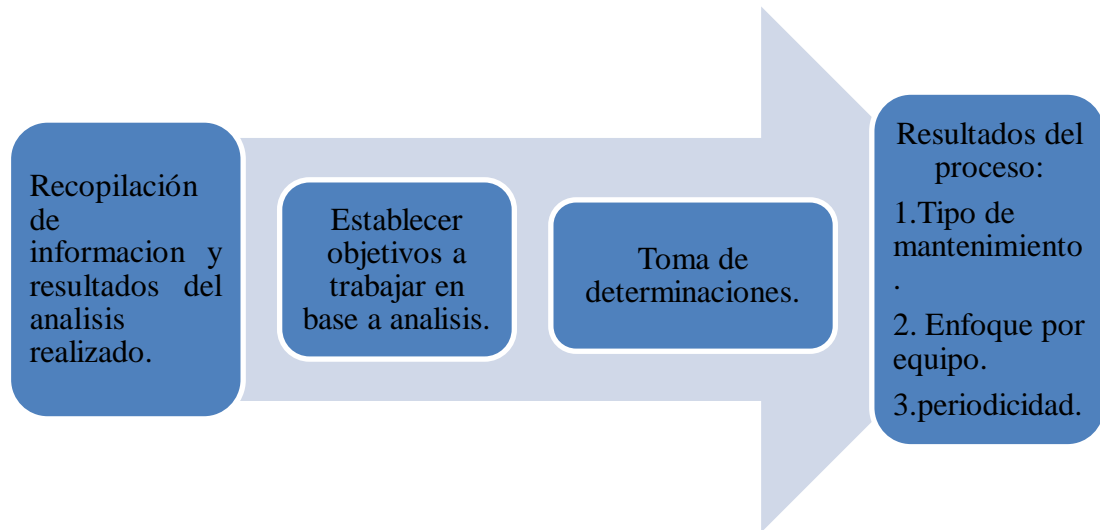


Figura 6-6: Esquema del proceso de selección de la estrategia mantenimiento.
(Fuente: Creación propia)

6.4.3. Plan de mantenimiento.

Existen una gama variada de planes de mantenimiento con un objetivo en común en cada uno de ellos, por lo cual resulta complejo establecer un límite entre ellos, puesto que a excepción del mantenimiento correctivo, los demás buscan la misma finalidad. La finalidad entre cada uno de ellos es la de asegurar la disponibilidad para las funciones de la instalación en su contexto operativo.

Para determinar el que más se ajuste a este proceso se deben tomar en consideración los resultados obtenidos de las planillas de la ruta de inspección dinámica, junto con el análisis asociado a la misma recopilación.

Sin embargo en base a las condiciones actuales de trabajo, se sugiere a modo de recomendación tener en consideración el mantenimiento preventivo, debido a que dentro de sus alcances abarca, gran parte de las necesidades que se manifiestan en el actual proceso como lo son:

- ✓ Reemplazo de equipos, subconjuntos, componentes o piezas.
- ✓ Conservación, revisión o restauración de ítems.
- ✓ Rutinas de inspección y chequeo de recorrida.
- ✓ Limpieza, ajuste y lubricación.
- ✓ Calibración.

Sin embargo una vez obtenidos los resultados esta acotación puede ser modificada, y ajustarse a las necesidades del proceso aumentando la disponibilidad operacional de los equipos, así como también asegurar la confiabilidad del proceso, optimizando los tiempos de mantenimiento para no generar la completa interrupción del proceso.

6.4.4. Ejecución.

La ejecución de esta estrategia de mantenimiento tendrá como primera medida la creación de planillas de inspección dinámicas, para ser ejecutadas por los encargados de realizar el mantenimiento en las instalaciones donde se encuentran ubicados los equipos de agua potable. La cual será llevada a cabo por un periodo determinado de tiempo, el cual puede apreciarse en una carta Gantt anexada al estudio.

En consiguiente se irán realizando las etapas descritas en el proceso tanto análisis como la evaluación de la estrategia más idóneas para las instalaciones actuales a ser proyectadas si se considera el ajuste descrito.

Deteniéndonos en el plan de mantenimiento a ser seleccionado el cual contara con variadas etapas de ejecución de las cuales podemos desglosar lo siguiente:

- Definición de cargos: se deben establecer el cargo de cada uno de los ejecutantes de este plan de mantenimiento debido al seguimiento que va a realizar durante su ejecución, así como también para poder realizar las capacitaciones correspondientes, pues aquella persona que tenga que realizar el chequeo de los parámetros de trabajo, deberá contar con conocimiento previo para realizar una evaluación adecuada del equipo.
- Materiales y herramientas: debido a que si los equipos se encontraban defectuosas se deben realizar previamente modificaciones y dejar el equipo operativo para un posterior funcionamiento continuo y además de contar con herramientas para cada vez que se realicen las intervenciones establecidas en el plan de mantenimiento.
- Costos: este es uno de los puntos más relevante al momento de ejecutar un plan de mantenimiento, debido a que si bien es cierto la inversión inicial es más bien elevada, los resultados de la correcta ejecución compensara estos costos iniciales, generando mayores beneficios al proceso.

- Reajuste de parámetros: Previo a realizar la ejecución, los equipos se deben ajustar a los nuevos parámetros de trabajo, debido a las modificaciones realizadas.
- Puesta en marcha: Una vez que se hallan ejecutado todas las tareas previas mencionadas se puede ejecutar el plan y ponerlo en marcha, para su posterior evaluación.

Finalizando el proceso con una retroalimentación de todo lo puesto en marcha, realizando correcciones o modificaciones si así lo ameritaran las condiciones, todo esto en pro del conjunto de equipos involucrados en el proceso, así como de las funciones que estos prestan al establecimiento, propiciando el aumento de su disponibilidad y correcta ejecución de la distribución del fluido.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Debido a que el edificio en cuestión tiene como una de sus principales funciones la hospitalización de los pacientes se estima que el sistema de distribución de agua potable, es considerado como esencial considerando el tiempo que estas personas pueden permanecer en el recinto, ya que este recurso hídrico es considerado como un elemento vital para cualquier ser humano.

Si bien el circuito de agua potable del edificio estaba desarrollando sus funciones de manera correcta, generando la distribución del fluido a todas su instalación por medio del sistema de gravedad, que de por si es un beneficio económico para la instalación debido a que no generan grandes gastos energéticos. Sin embargo la ubicación de los equipos de almacenamiento instalados en la parte alta de este edificio genera una carga extra a este aumentando su masa, lo cual es relevante al momento de que se genere un evento sobrenatural como lo son los terremotos, ya que al incrementar el peso en la parte alta la estructura aumenta su oscilación de manera considerable, generando mayores posibilidades de colapso de la misma.

A esto le podemos añadir que la estructura ya ha sobrevivido a dos catástrofes naturales de esta índole, dato que es considerable tener en cuenta, pues los materiales sufren fatigas y pierden muchas veces sus propiedades mecánicas, dejando de esta manera aún más expuesto al recinto.

La capacidad de abastecimiento de agua potable actualmente se encuentra sobredimensionada considerando el consumo realizado por el edificio en base al periodo 2017, por lo que se estima que si es posible realizar un ajuste de estos. Realizando la eliminación de dos de ellos reduciendo su capacidad total en un 13,55% lo cual no afectaría el funcionamiento de las instalaciones, garantizando el consumo máximo realizado en un día crítico y por consiguiente eliminando la carga extra proporcionada por estos equipos de almacenamiento a la estructura pudiendo prolongar la vida útil del mismo que por lo demás ya cuenta con una data de antigüedad de alrededor de 70 años.

Para poder llevar a cabo este ajuste se estudió además la factibilidad de los equipos de impulsión y piping involucrado, desde donde se aprecia que en base al consumo, tipo de fluido, presión y altura a ser proporcionada por estos equipos, los actuales equipos proyectados en la instalación son factibles para llevar a cabo el nuevo sistema de distribución de agua potable realizando un ajuste de sus parámetros de trabajo.

Como consecuencia de que cada uno de los equipos presentes en el circuito debe realizar un funcionamiento constante para llevar a cabo el procedimiento, se considera de vital importancia asegurar la disponibilidad operacional de los mismos. Debido a que la instalación actual contaba con mantenimiento reactivo, atendiendo a las fallas que se iban presentando, se decide modificar este mantenimiento dirigiéndolo hacia uno de actividades proactivas, para con ello adelantarse a los sucesos de fallas en el circuito. Gestionando para ello rutinas de inspección dinámica con el fin de obtener información concreta acerca de los equipos y determinar su condición actual y con ello poder seleccionar el mantenimiento más adecuado para el proceso.

A modo de recomendación si en base a este estudio se llevara a cabo el ajuste de equipos de almacenamiento y un nuevo sistema de distribución de agua potable, se debería considerar una inspección exhaustiva de las condiciones del piping involucrado, considerando el posible cambio de materiales o del elemento en cuestión, ya que varios de los presentes se encuentran en un estado de desgaste incrementando las pérdidas del circuito y con ello generando una mayor carga sobre los equipos de impulsión.

Así como también se sugiere la implementación de un purificador de agua potable, para conservar la calidad del agua presente en los estanques de agua potable, puesto que las capacidades contenidas en estos son de gran magnitud, se presenta una permanencia relativamente prolongada de tiempo, propiciando al crecimiento de microorganismos que deterioren la calidad de este fluido.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN

- Rubén Baroschek y Rodrigo retamales Saavedra, centro colaborador OPS/OMS de mitigaciones de desastres en establecimientos de salud, Universidad de Chile. Guía para la reducción de la vulnerabilidad en el diseño de nuevos establecimientos de salud, 2004.
- Robert L. Mott, Universidad de Dayton. Mecánica de fluidos, 6ta edición. Pearson educación, México 2006.
- Súper intendencia de servicios sanitarios (Chile). Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y alcantarillado. (RIDDA)
- Grundfos Chile S.A. Fabricante de bombas (1945).
- Instituto nacional de normalización (Chile). Instalaciones domiciliarias de agua potable; Diseño, calculo y requisitos de redes interiores. NCh2485.Santiago, Chile. 2000. 16p
- Instituto nacional de normalización (Chile). Instalaciones domiciliarias de agua potable – Estanques de almacenamiento y sistemas de elevación – Requisitos. NCh 2794. Santiago Chile. 2003.
- Alejandro J Pistarelli. Manual de mantenimiento ingeniería, Gestión y Mantenimiento.
- Servicio Nacional de Aprendizaje. Mantenimiento de bombas centrifugas. Edición especial 1995.