

**REPUBLICA DE CUBA**  
**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR**  
**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO**  
**FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTRO MECÁNICA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA**  
**MOA – HOLGUIN**

**TESIS EN OPCION AL TITULO DE:**

**MASTER EN INGENIERÍA**  
**ELECTROMECAÁNICA**

**TITULO: ESTUDIO DEL SISTEMA DE ABASTO DE AGUA POTABLE DEL HOSPITAL ISIDRO AYORA.**

**AUTOR: Ing. Mec. Thuesman Estuardo Montaña Peralta.**

**TUTOR: DR. RAUL IZQUIERDO PUPO.**  
Departamento de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Metalurgia y Electromecánica  
Instituto Superior Minero Metalúrgico

**MOA 2005**

## **AGRADECIMIENTOS.**

Quiero agradecer en primer lugar a la Revolución Cubana gestora del altivo, noble y culto pueblo Cubano; a todos los compañeros del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa por el apoyo y aporte técnico hacia mi persona, lo cual ha permitido que concluya este trabajo en esta tierra que la considero como mi segunda patria.

En especial mi agradecimiento a Raúl Izquierdo Pupo y Alberto Turro Breff por su incondicional apoyo al desarrollo del presente trabajo.

## **PENSAMIENTO**

“Educar es depositar en cada hombre toda la obra humana que lo ha antecedido: es hacer a cada hombre resumen del mundo viviente, hasta el día en que vive: es ponerlo a nivel de su tiempo; para que flote sobre él y no dejarlo debajo de su tiempo, con lo que no podrá salir a flote: es preparar al hombre para la vida”

“José Martí”

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de Maestría a toda mi familia.

A la memoria de mi gran amigo, Compañero y Tutor: Rafael Pérez Barreto.

A mis compañeros de la “Coordinadora de Solidaridad con Cuba” Núcleo de Loja, con quienes hemos fomentado el criterio en nuestra región “Que quien se levanta hoy por Cuba se levanta por todos los tiempos en procura de la libertad”.

## RESUMEN

En el presente trabajo de maestría se plantea realizar un análisis del sistema de abastecimiento de agua del Hospital Isidro Ayora; conformando toda una metodología para el cálculo del sistema de bombeo, con bombas centrífugas, esto nos permitió determinar cuáles son las principales fallas para lo cual tuvo que llevarse a cabo el levantamiento de toda la red hidráulica y a su vez ejecutar aforos para determinar los gastos parciales a fin de realizar el modelo matemático de la instalación. Para mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo y eliminar el elevado consumo de energía eléctrica; se plantea una alternativa la cual consiste en adquirir una nueva bomba y motor eléctrico, para que funcione con las características adecuadas, así también se propone la adquisición de un variador de frecuencia que será de gran importancia, ya que este permitirá optimizar el sistema, nos ayudara a disminuir el consumo eléctrico, y el costo en mantenimiento. Todo esto se consolida en la evaluación económica en la cual podemos observar la viabilidad del proyecto.

## INDICE

### APENDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

### TITULO: ESTUDIO DEL SISTEMA DE ABASTO DE AGUA POTABLE DEL HOSPITAL ISIDRO AYORA

#### CAPITULO I.- ESTADO DEL ARTE

##### 1.1.- FUNDAMENTACION TEORICA

1.1.1.- Clasificación de los fluidos .....	5
1.1.2. Aspectos generales sobre las pérdidas hidráulicas .....	5
1.1.3.- Fundamentos para selección de tuberías .....	8
1.1.4.- Métodos para la regulación de las turbomáquinas .....	8

##### 1.2.- CARACTERIZACION DE LA RED

1.2.1.- Determinación de la característica de la red .....	11
1.2.2. Algoritmo matemático del cálculo de la red en malla .....	13
1.2.3.- Estudio del diseño de la red con PVC .....	16

##### 1.3.- REGULACION Y MANTENIMIENTO

1.3.1.- Aplicación del control por frecuencia en accionamiento de bombas centrífugas .....	19
1.3.2.- Aspectos sobre el ahorro de energía en las bombas centrífugas ..	20
1.3.3.- Sistema para la planificación y control del mantenimiento en instalaciones de bombeo con bombas centrífugas. ....	25
1.4.- Conclusiones parciales.....	30

#### CAPITULO II.- CARACTERIZACION DEL SISTEMA DE BOMBEO

2.1 Descripción del flujo tecnológico .....	31
---	----

2.2	Característica del sistema de bombeo empleado .....	33
2.3	Descripción de las redes hidráulicas .....	35
2.4	Mantenimiento y explotación del sistema de bombeo .....	35
2.5	Conclusiones Parciales .....	37

**CAPITULO III.- CÁLCULO Y EVALUACION DEL SISTEMA DE BOMBEO EN EXPLOTACION**

3.1.-	Determinación de las pérdidas hidráulicas .....	39
3.2.-	Ecuación de la máquina y modelo matemático de la red .....	47
3.3.-	Cálculo para comprobar la ausencia del fenómeno de la cavitación de la bomba .....	54
3.4.-	Cálculo para determinar el rendimiento, potencia y energía de la Bomba .....	55
3.5.-	Propuesta para el mejoramiento del sistema de bombeo .....	56
3.6.-	Conclusiones Parciales.....	66

**CAPITULO IV.- EVALUACION TECNICO ECONOMICA Y MEDIOAMBIENTAL**

4.1.-	Determinación del costo del m3 por el esquema actual .....	67
4.2.-	Determinación del costo inicial de la inversión.....	70
4.3.-	Comparación entre las variantes actual y propuesta.....	73
4.4.-	Conclusiones Parciales .....	75
	CONCLUSIONES GENERALES .....	76
	RECOMENDACIONES.....	78

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

**NOMENCLATURA FUNDAMENTAL UTILIZADA**

<b>SIMBOLO</b>	<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>D</b>	Diámetro interior de tubos	m (pie)
Es	Altura estática	m
$E_p$	Altura de presión	m
g	Aceleración de la gravedad.	$m/s^2$ (pie/s <sup>2</sup> )
Hnec	Altura necesaria	m
Hroz	Pérdidas por rozamiento	m
Hloc	Pérdidas locales	m
Hrp	Pérdidas de carga primaria	m
I	Intensidad de corriente	Amperio
K	Resistencia en tubería	$m^{-5}*s^2$
k	Rugosidad del material	m (pie)
L	Longitud de la tubería	m(pie)
n	Velocidad de la bomba	Revoluciones por minuto
N	Potencia consumida por el fluido; motor impulsor y motor en una bomba.	W (lbf.pie/s)
NPSH <sub>A</sub>	Cabezal de succión neto positivo admisible	m
NPSH <sub>R</sub>	Cabezal de succión neto requerido	m
Q	Flujo volumétrico.	$m^3/s$ (pie <sup>3</sup> /s)
Qm	Flujo másico.	Kg/s(lb/s)
Re	Número de Reynolds.	(adimensional)
r	Radio de una tubería	m
t	Tiempo.	s(s)
Tc	Torque de carga	N.m
Tn	Torque nominal	N.m
v	Velocidad del flujo.	m/s (pie/s)
V	Voltaje	voltio
V	Velocidad media del fluido	m/s
<b>Símbolos Griegos</b>		
$\lambda$	Coefficiente de pérdida de carga por rozamiento	(adimensional)
$\rho$	Densidad del fluido	Kg/m <sup>3</sup>
$\nu$	Viscosidad cinemática	m <sup>2</sup> /s
$\xi$	Coefficiente de pérdidas del accesorio	(adimensional)
$\mu$	Viscosidad dinámica.	Pas. ( lb/ Pie.s )
$\eta$	Rendimiento	(adimensional)
$\pi$	Constante matemática.	( $\pi = 3,1416$ )
$\gamma$	Peso Específico	Kg/m <sup>3</sup>

## INTRODUCCION

El Hospital Regional Isidro Ayora Institución Pública de Servicio de Salud, ubicada al Sur del Ecuador; con una capacidad de 400 camas, pero que desde el año 1979 funciona con 243 camas debido a que no se concluyeron todas las instalaciones, sin embargo de la cual se están ampliando otros servicios médicos dada la necesidad de la región. Consta de 5 plantas y subsuelo con una instalación de suministro de agua que funciona a presión constante.

La instalación de agua consta de tres bombas: 2 de 50 HP y 1 de 25 HP; las cuales representa un elevado consumo energético agravadas mucho más por las fugas que existen a través de las tuberías de hierro galvanizado y los problemas técnicos y operacionales que se tiene en la instalación y la red. Esta instalación cuenta ya con más de 26 años de funcionamiento y presenta actualmente algunas dificultades; lo cual justifica realizar el presente trabajo de tesis de maestría.

El transporte hidráulico se caracteriza por un elevado consumo energético, dependiendo en gran medida de las pérdidas de carga a lo largo de la tubería y está, a su vez, depende del diámetro de la conductora, su estado de explotación, el material y tecnología de que está hecho, el régimen de trabajo de la instalación y de las propiedades físico-mecánicas del material y del fluido que se transporta.

El análisis de las condiciones técnicas y de explotación del sistema de abasto de agua, los posibles incrementos del número de camas disponibles en el Hospital, determinan la necesidad de un estudio del sistema de abastecimiento de agua para el Hospital Isidro Ayora.

### **Objetivo General.**

Realizar un análisis integral de todo el sistema de abastecimiento de agua del hospital isidro Ayora.

### **Objetivos específicos:**

1. Determinar las causas del elevado Consumo Energético del Sistema Hidráulico.
2. Determinar las características técnicas de todo el sistema de tuberías.
3. Establecer la metodología para el cálculo evaluación del sistema de abasto de agua.
4. Diseñar el sistema para el mantenimiento de la instalación.
5. Valoración técnico económico de la instalación.

Para proyectar y fundamentar una instalación de transporte hidráulico, es necesario determinar algunos parámetros como son: la velocidad optima, las pérdidas específicas de carga, las propiedades del fluido, el diámetro de la conductora, etc., los cuales permiten la determinación del régimen racional de trabajo y elegir los equipos adecuados para su explotación. Estos parámetros tienen incidencia en la magnitud de las inversiones, en los gastos de explotación, y en la fiabilidad de trabajo de la instalación.

### **Situación Problemática.**

En la actualidad el sistema de abasto de agua del Hospital Isidro Ayora presenta alta ineficiencia debido a problemas técnicos y operacionales que conducen a que la instalación opera en un régimen de inestabilidad con un correspondiente incremento en el consumo energético, agua y materiales para el mantenimiento.

### **Problema Científico.**

Insuficiente conocimiento de un método de cálculo y evaluación, que permita establecer los parámetros racionales de operación del sistema de abasto de agua del Hospital Isidro Ayora.

### **Hipótesis General.**

El análisis técnico del sistema de distribución de agua del Hospital Isidro Ayora permitirá identificar las causas del elevado consumo energético y a su vez mejorar la eficiencia del sistema de bombeo.

### **Novedad científica**

Establecimiento de una metodología para el cálculo y evaluación de sistemas de bombeo con bombas centrífugas, con redes de tuberías ramificadas, y pérdidas primarias y secundarias.

### **Aportes Metodológicos.**

1. Se establece una metodología para el cálculo y evaluación de una instalación de bombeo, la cual puede ser generalizada para su aplicación a otros hospitales del Ecuador.
2. Los resultados de la evaluación y la metodología propuesta pueden ser introducidos en temas de asignaturas que se imparten como: Mecánica, Minería, Ingeniería Química, Electromecánica.
3. La aplicación del método científico para la realización de este trabajo pueden ser utilizados en otras carreras para la solución de problemas y ejecución de proyectos de investigación científico.

### **Valor práctico.**

1. Con el sistema de ecuaciones propuesto es posible calcular las instalaciones de bombeo para ser empleado en un sistema de flujo de agua.
2. El establecimiento de los parámetros de operación permite estabilizar el abasto de agua y disminuir los costos mediante la reducción del consumo energético, la magnitud de la inversión, su amortización y el perfeccionamiento de la técnica de hidrot transporte.

3. Es importante recalcar que este trabajo puede servir como guía de estudio para estudiantes y profesionales, que se interesen por esta rama, ya que en está se reflejan problemas que se presentan, comúnmente en nuestro país.

El informe esta compuesto por cuatro capítulos que abordan los siguientes aspectos.

### **Capítulo I**

Se basa en la fundamentación teórica sobre los fluidos, además analiza un algoritmo matemático mediante analogías entre sistemas y los conocimientos teóricos para la regulación y el mantenimiento.

### **Capítulo II**

Es una descripción del sistema de bombeo empleado, como también la experiencia en la explotación y el mantenimiento ejecutado.

### **Capítulo III**

Conlleva a calcular las pérdidas de la red mediante los conocimientos de la mecánica de fluidos, determinar la ecuación de la máquina y elaborar un modelo matemático de la instalación. Calcular la altura de trabajo, rendimiento, potencia, y energía de la bomba y una propuesta para el mejoramiento del sistema de bombeo.

### **Capítulo IV**

Comprende la valoración económica actual como la propuesta de mejoramiento del sistema de bombeo.

## CAPITULO 1.

### ESTADO DEL ARTE

#### 1.1. Fundamentación Teórica

##### 1.1.1. Clasificación de los Fluidos

Conforme con la ley de Newton los fluidos se clasifican en: líquidos newtonianos y líquidos no newtonianos.

##### 1.1.2. Aspectos generales sobre las Pérdidas Hidráulicas

Para transportar los fluidos se utilizan dos tipos de clases de conductos:

- Conductos cerrados o tuberías en los cuales el fluido se encuentra bajo presión o depresión.
- Conductos abiertos o canales

##### **Pérdidas de carga en las Tuberías.**

Dos clases dividen a las pérdidas: primarias y secundarias.

Las **pérdidas primarias** son las pérdidas debido al contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí (régimen turbulento).

Las **pérdidas secundarias** son las pérdidas debido a la variación de las dimensiones o configuración del cauce, donde cambia la velocidad del flujo y surgen habitualmente torbellinos (estrechamiento o expansiones de la corriente).

##### **Pérdidas de carga en régimen laminar y turbulento**

Para el cálculo de las pérdidas de carga en las tuberías juegan un papel discriminante dos factores: el que la tubería sea lisa y el que el régimen de corriente sea laminar o turbulento, para lo cual es imprescindible conocer el número de Reynolds.

##### **Ecuación General de las pérdidas de carga: Ecuación de Darcy – Weisbach.**

La fórmula fundamental de la Ecuación de **DARCY-WEISBACH** (para las pérdidas primarias) es:

$$H_{rp} := \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

1.1

Donde:

$H_{rp}$ - pérdidas de carga primaria. (m)

$\lambda$  - coeficiente de pérdida de carga por rozamiento.

L- longitud de la tubería (m).

D- diámetro de la tubería (m).

V- velocidad media del fluido. (m/s)

En la expresión de pérdida de carga es necesario el estudio y determinación del coeficiente de rozamiento para cada uno de los regímenes, turbulento y laminar, así como su determinación en tuberías rugosas, lisas, etc.

### EL COEFICIENTE $\lambda$

En el caso más general  $\lambda$ , coeficiente adimensional de pérdidas de carga es función de dos variables adimensionales: el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

$$\frac{VD\rho}{\mu} \text{ - número de Reynolds, Re} \quad k/D \text{ - rugosidad relativa}$$

### Coeficiente de pérdidas primarias $\lambda$

Todos los casos que pueden presentarse, se reducen a:

- Régimen laminar
  - a) Con tuberías lisas ( $k/D=0$ : tuberías de vidrio o de cobre, por ejemplo).
  - b) Con tuberías rugosas: tuberías de hierro, hormigón, etc.
- Régimen turbulento
  - c) Con tuberías lisas.
  - d) Con tuberías rugosas.

El coeficiente  $\lambda$

- en general  $\lambda=f(\text{Re}, k/D)$ .
- en régimen laminar  $\lambda=f(\text{Re})$  y no es función de la rugosidad  $k/D$ .
- en régimen turbulento,  $\text{Re}$  mayor a 100000,  $\lambda=f(\text{Re}, k/D)$ .

- en régimen turbulento con un número elevado del Re,  $\lambda = f(K/D)$  y no es función del Reynolds.

**Fórmula de Poiseuille**

En régimen laminar  $\lambda$  no es función de la rugosidad y la ecuación deducida vale para tuberías lisas y rugosas; la cual es:

$$\lambda = 64 / Re \qquad 1.2$$

Dependiendo del régimen (No. de Reynolds) y de la tubería, existen diversas ecuaciones que nos permiten conocer el valor de  $\lambda$ , y que están resumidas en la tabla siguiente:

**TABLA 1.1 Coeficiente  $\lambda$  para tuberías comerciales**

Tuberías	Régimen	Fórmula	Autor	No. Ec.
Lisas y rugosas	Laminar	$\lambda = 64/Re$	Poiseuille	1.3
Lisas	Turbulento $Re < 10^5$	$\lambda := \frac{0.316}{4\sqrt{Re}}$	Blasius	1.4
Lisas	Turbulento $Re > 10^5$	$\frac{1}{\lambda} := \left(2 \cdot \log_{10} \cdot R \cdot \sqrt{\lambda}\right) - 0.8$	Kármán-Prandtl (Primera ecuación)	1.5
Rugosas	Turbulento (zona de transición)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} := -2 \cdot \log_{10} \left( \frac{\frac{K}{r}}{7.4} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right)$	Colebrook	1.6
Rugosas	Turbulento (zona final)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} := \left(2 \cdot \log_{10} \cdot \frac{r}{K}\right) + 1.74$	Kármán-Prandtl (Segunda ecuación)	1.7

Algunas de las ecuaciones son de cálculos muy laboriosos, razón por la cual se puede utilizar el ábaco conocido como Diagrama de Moody de fácil interpretación.

### **1.1.3. Fundamentos para la selección de tuberías.**

Es de gran importancia aclarar la diferencia que existe entre los términos “tubería” y “tubo”, pues comúnmente son confundidos. Las tuberías corresponde al conjunto conformado por el tubo, los accesorios, las válvulas, etc.; encargados de transportar los gases o líquidos que así lo necesitan. Mientras que tubo, es aquel producto tubular con dimensiones ya definidas y de material de uso común.

Las tuberías con destinación industrial tienen una muy amplia aplicación, pues es por medio de ellas que se transportan todos los fluidos (gases, mezclas, líquidos, etc.) para optimizar y no limitar los procesos industriales.

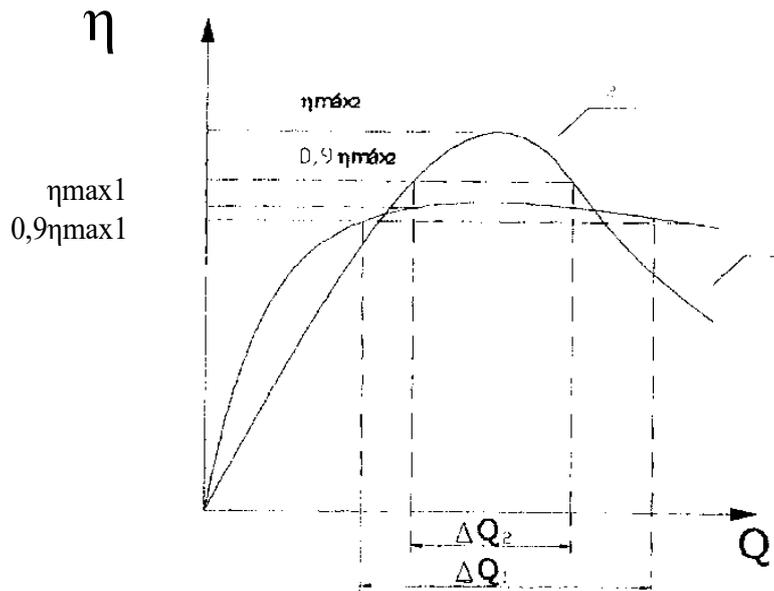
Existen tubos con costura y sin costura, la diferencia entre ellos radica en el modo de fabricación. Los primeros basan su manufactura en la soldadura, mientras los segundos no.

#### **Criterios de selección**

El criterio correcto para elegir las características de los tubos depende del uso (aplicación final de la tubería, acueductos, desagües cloacales, desagües industriales, etc.), el diámetro nominal (según proyecto hidráulico, diámetro interior), la clase de presión (función de las presiones internas actuantes en el tubo) y la clase de rigidez (función de las condiciones de instalación de la tubería).

### **1.1.4. Métodos para la regulación de las turbomáquinas.**

Para satisfacer las demandas del sistema al que esté acoplado la máquina centrífuga, es necesario que esta sea capaz de variar sus parámetros de trabajo dentro de ciertos límites manteniendo un alto rendimiento. Para lograr esto, los diseñadores tratan de obtener modelos que garanticen, para las máquinas sometidas a regímenes variables de trabajo, características de rendimiento altas y planas (curva 1, figura 1.1). Para las máquinas que trabajan en condiciones estables de operación se busca que el rendimiento sea lo más elevado posible en el punto de operación (curva 2, figura 1.1). (Ramos N. 1994)



**Figura 1.1 Curvas de rendimiento y forma de trabajo óptimo**

La zona de trabajo óptimo de una máquina centrífuga, se define como la variación de gasto que queda en el entorno de  $0,9 \eta_{\text{máx}}$ . En la figura 1.1 se observa que la curva 1 tiene una zona de trabajo óptimo mayor que la curva 2. Estos criterios deben tenerse en cuenta al seleccionar la máquina para una aplicación dada, ya que una máquina de alto rendimiento puede resultar ineficiente si se opera fuera de su zona de trabajo óptimo durante la mayor parte de su tiempo de explotación.

Estos criterios también son válidos al seleccionar los sistemas de regulación de la máquina. A continuación se estudiarán los sistemas de regulación más empleados en las máquinas centrífugas.

### **Regulación por estrangulación.**

Desde el punto de vista energético es el menos eficiente por basarse la regulación en el incremento de las pérdidas del sistema. La regulación por estrangulación se realiza mediante una válvula o compuerta colocada en la succión o descarga de la máquina.

La estrangulación en la succión no se recomienda en el caso de las bombas, ya que esto puede ocasionar que ocurra la cavitación al aumentar la caída de presión en la succión.

### **Regulación por variación de las frecuencias de giro.**

Este sistema de regulación es muy aplicado en aquellas máquinas accionadas por turbinas, motores de combustión interna y motores eléctricos de velocidad variable. La regulación en este caso se produce de acuerdo con las leyes de semejanza estudiadas y los puntos de operación estarán ubicados sobre la curva del sistema

Al aplicar este método es necesario comprobar si para las máximas revoluciones por minuto de la máquina, el motor posee la potencia requerida, ya que como se expresa en la siguiente ecuación:

$$N1/N2 = n1^3/n2^3 \quad 1.8$$

La potencia varía proporcionalmente con el cubo de las revoluciones.

### **Regulación por variación de la prerrotación del fluido.**

De acuerdo con la ecuación de Euler:

$$H_{\infty} = \frac{1}{g} (u_2 \cdot C_{2u} - u_1 C_{1u}) \quad 1.9$$

En realidad el fluido no se comporta de esta manera, ya que al ponerse en contacto con el eje y las paredes del rodete que se encuentran en movimiento, el fluido adquiere un cierto movimiento de rotación que produce que el ángulo con el cual penetra en el canal interálabes del impelente sea mayor de 90°. A este efecto se le denomina prerrotación del fluido y es una de las causas por las que no se logra alcanzar la carga teórica máxima. Para evitar esto, algunas máquinas están provistas de alabes guías a la entrada para garantizar un flujo radial. Basado en este mismo principio, se construyen aparatos de regulación para colocarlos en el conducto de entrada y que mediante el movimiento de alabes directores, se logre variar el sentido de la prerrotación del fluido.

## 1.2. CARACTERIZACION DE LA RED

### 1.2.1. Determinación de la Característica de Red

Las redes de distribución hidráulica tienen una analogía con las redes de distribución eléctrica: el caudal corresponde a la intensidad de corriente, la pérdida de carga a la caída de tensión y la resistencia hidráulica a la resistencia óhmica (o a la impedancia). Los problemas que se presentan en la práctica en ambos casos suelen ser a veces muy laboriosos.

En hidráulica una ley semejante a la ley de Ohm en corriente continua  $V=IR$  solo se verifica si el régimen es laminar. Si el régimen es turbulento  $H_r$  es proporcional a  $V^2$  (y a  $Q^2$ ).

Si el problema se encuentra en la zona de transición esta última relación es aún más complicada, las pérdidas de carga son proporcionales a la velocidad elevado a una potencia comprendida entre 1 y 2 y dependiente también de la rugosidad relativa (Mataix C.2003).

#### **Tuberías en Serie.**

El caudal que circula por tramos continuos es el mismo.

- La pérdida total es igual a la suma de las pérdidas parciales.
- Se cumple la ecuación de la continuidad.

#### **Tuberías en Paralelo.**

En las tuberías en paralelo tenemos que las pérdidas son iguales, en cambio el caudal es igual a la sumatoria de cada una de los ramales en paralelo.

El caudal total  $Q$  se distribuye entre todas las tuberías. (Nekrasov. B. 1983)

Los sistemas de tuberías están formados por un conjunto de tuberías de iguales o distintos diámetros dispuestas en forma muy variada.

En general, estos se clasifican en tres grandes grupos:

1. Tuberías simples.
2. Tuberías compuestas.
3. Redes de tuberías.

**Las Tuberías Simples.** Son sistemas formados por una sola tubería que tiene un diámetro uniforme en toda su longitud y en la cual aparece uno o varios

accesorios (válvulas, tees, codos, etc.). Que permiten al sistema cumplir la función para la cual fue diseñado.

### **Redes de Tuberías.**

Las redes de tuberías pueden ser de dos tipos:

1. Redes ramificadas o abiertas, y;
2. Redes en malla.

### **Tuberías Ramificadas.**

Las redes ramificadas o abiertas, están formadas por una tubería principal de la que salen una o más tuberías secundarias de éstas salen una o terciarias y así sucesivamente. Los puntos donde las tuberías simples se dividen se denominan **nodos del sistema**.

En las redes ramificadas el sentido de circulación del agua puede determinarse fácilmente ya que el agua, puede llegar a cada punto por un solo camino. Este tipo de red presenta dos inconvenientes principales; en primer lugar, que una rotura interrumpa el servicio a todos los lugares que quedan aguas abajo del mismo y en segundo lugar, que las pérdidas de carga resultan mayores ya que el líquido tiene un solo camino para llegar a un lugar determinado.

Para evitar dichos inconvenientes, se utilizan las llamadas redes en malla que se pueden obtener uniendo entre sí los extremos libres de las tuberías ramificadas o a puntos de otros ramales.

### **Redes en Malla**

Las redes en mallas se caracterizan por estar formadas por varios circuitos cerrados, por lo que en un punto cualquiera de la red puede abastecerse por varios caminos, lo que hace que se reduzcan las pérdidas de carga, y que por otra parte una interrupción determinada no afecte a otros puntos aguas abajo ya que puede abastecer por otro camino.

La red hidráulica del Hospital isidro Ayora esta compuesta por una tubería matriz que sale del banco de bombas y que tiene ramificaciones en serie y en paralelo, tal como se detalla en Anexos respecto a los planos de los pisos del hospital: planta baja, 1º, 2do, 3er y 4to piso, por lo que fue necesario realizar su levantamiento hidráulico para llevar a cabo la ecuación de la red recogida en el capítulo 3.

### 1.2.2. Algoritmo matemático del cálculo de la red en malla <sup>(14)</sup>.

La red en malla se presenta como una alternativa para que no exista interrupción del suministro de agua a una toma en especial de agua, sea por mantenimiento o por daño fortuito, ya que la alimentación puede abastecerse por otros caminos, este tipo se caracteriza estructuralmente por formar circuitos cerrados, donde las redes pueden obtenerse uniendo entre si los extremos libres de las tuberías ramificadas o a puntos de otros ramales, donde la red quedará dividida en sectores mediante llaves de paso. Lo que si hay que resaltar que el montaje de la red resulta más costoso que cualquier otro tipo de red.

Son diversos los métodos que se pueden emplear para el cálculo de redes en mallas, a) El de Hardy – Cross y b) el de Redes Hidráulicas mediante circuitos eléctricos, mencionaremos sobre el primero.

#### Método de Hardy – Cross

El método consiste en calcular los gastos y pérdidas en cada una de las tuberías simples que componen la red así como las cotas piezométricas en los nudos. Los datos de partida son las dimensiones de las tuberías, el gasto total que entra al sistema, etc. Se han de cumplir tres leyes fundamentales en estos tipos de redes:

- **Ley de la pérdida de carga:** en cada tubería se ha de cumplir la ecuación siguiente:  $H_f = K_L \cdot Q^n$ . 1.10
- **Ley de los nudos:** el caudal que entra en un nudo debe ser igual a la suma de los caudales que salen del nudo.  $\Sigma Q = 0$ . 1.11
- **Ley de las mallas:** la suma algebraica de las pérdidas de carga en una malla ha de ser igual a cero:  $\Sigma H_f = 0$  (Pérez F. 1984) 1.12

Esto consiste en un juego de valores razonables supuestos, que satisfagan la ecuación de continuidad, y después ajustar en forma sistemática esos valores supuestos, manteniendo satisfecha la continuidad, hasta que se satisfagan las ecuaciones de pérdida de carga con un nivel de precisión deseado. En este

método, se satisfacen automáticamente y continuamente todas las ecuaciones de continuidad.

Si la primera aproximación de las suposiciones es razonable, los regímenes de flujo verdaderos,  $Q_i$ , deberán diferir en solo una pequeña cantidad  $\Delta Q$ , diferente de las suposiciones,  $Q_{oi}$ , en cada circuito (o gaza), lo cual es, solamente para un tubo en una gaza:

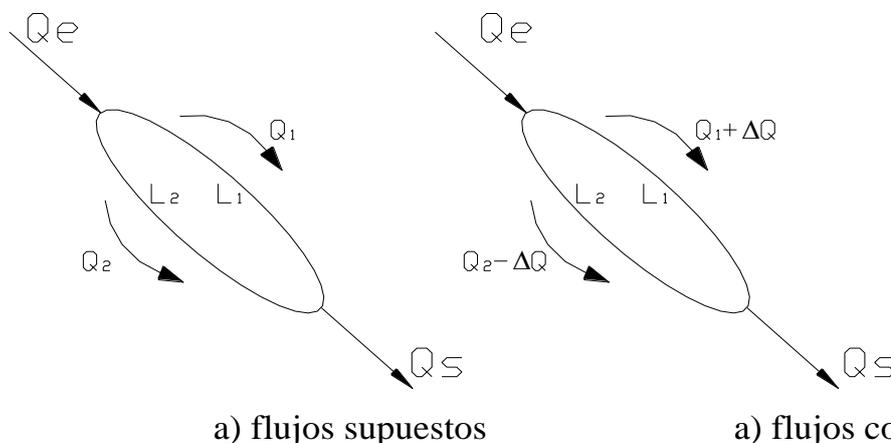
$$Q_i = Q_{oi} \pm \Delta Q \tag{1.13}$$

Donde el signo  $\pm$  depende de las direcciones asumidas por  $Q_i$  y  $\Delta Q$ . Para mantener la continuidad se aplica a cada tubo de la gaza la corrección,  $\Delta Q$ . Por ejemplo,

$$Q_3 = Q_{03} + \Delta Q_l \tag{1.14}$$

Para mantener una consistencia algebraica, se establecerá un convenio de signos de la siguiente forma: se le dará signo positivo al flujo en sentido de las agujas del reloj y a las pérdidas de carga correspondientes a ese flujo, y signo negativo a lo flujos y pérdidas de carga en sentido contrario a las agujas del reloj.

Para un mejor entendimiento de este método vamos a establecer una situación. Si tenemos una red simple como la que aparece en la Fig., cuyas longitudes, diámetros y rugosidades se conocen, podemos obtener la ecuación básica para hacer las correcciones del flujo.



El flujo que entra a la red lo suponemos dividido en dos ramales  $L_1$  y  $L_2$  de modo que si establecemos el convenio de signo para este caso obtendremos:

$$Q_2 = Q_e - \Delta Q \text{ Y } Q_1 = Q_e + \Delta Q$$

Si llamamos  $H_{f1}$  a las pérdidas de carga calculadas para  $Q_1$  en el ramal  $L_1$  y  $H_{f2}$  para el ramal  $L_2$  y  $Q_1$  y  $Q_2$  han sido escogidos de modo tal que el sistema quede balanceado hidráulicamente  $H_{f1}$  deberá ser igual a  $H_{f2}$ .

Si  $H_{f1} - H_{f2}$  resulta diferente de cero los valores iniciales que se han supuesto para los caudales anteriores, son erróneos.

Entonces, supongamos que  $Q_1$  era demasiado pequeño y que le faltaba una cantidad  $\Delta Q$  para estar correcto; por lo que a  $Q_2$  le sobrará  $\Delta Q$ , debido a que:

$$Q_1 + Q_2 = Q_e$$

De lo anterior resulta que los flujos reales para cada rama serán:

$$Q'_1 = Q_1 + \Delta Q \text{ Y } Q'_2 = Q_2 + \Delta Q$$

Y las pérdidas de carga reales, deben ser iguales, ya que las pérdidas por fricción en cada ramal deben ser las mismas para que el valor de la cota piezométrica en el punto de salida sea una sola (en un punto solo puede haber una sola presión). Finalmente, obtendremos las ecuaciones generales: <sup>(14)</sup>

$$\sum_f H_{f1} = \sum_f \pm K_i \cdot (Q_{0i} \pm \Delta Q)^n = 0 \quad 1.15$$

$$\Delta Q = - \frac{\sum_f \pm K_i \cdot Q_{0i}^n}{\sum_f |n \cdot K_i \cdot Q_{0i}^{n-1}|} \quad 1.16$$

### Resumen del método de Hardy – Cross <sup>(14)</sup>

- Sobre un croquis de la red se hace una distribución razonable de caudales dibujando con flechas los sentidos estimados.
- Se supone una distribución de caudales que satisfagan la ecuación de continuidad y que después de un cuidadoso examen de la red se presuma que es la mejor.

- Se calcula la pérdida de carga en cada tubería. Se calcula la pérdida de carga alrededor de cada circuito.
- Se calcula para cada circuito  $\sum |nK_i Q^{n-1}|$  (todos los términos se consideran positivos).
- Se establece para cada circuito un caudal correctivo  $\Delta Q$  para compensar la altura en el circuito.
- Se calculan los caudales corregidos en cada tubería y se repite el proceso hasta conseguir la precisión deseada.

Se conoce que la solución es correcta cuando todas las condiciones se satisfacen para cada circuito.

Hardy-Cross, se hace más sencillo si se logra realizar un programa de computación para cualquier número de circuitos y tubos. Una vez determinados los regímenes de flujo, se procede a calcular las pérdidas de carga reales, los cambios de presión y las presiones reales. <sup>(22)</sup>

### 1.2.3. Estudio del diseño de la red con PVC <sup>(12)</sup>

La American Society for Testing And Materials (ASTM) define plástico como: "Un material que contiene esencialmente moléculas orgánicas de muy alto peso molecular, sólido en su estado final y en alguna etapa de su fabricación es formado por flujo a su forma final".<sup>(12)</sup>

La aceptación de las tuberías PVC se debe a sus ventajas económicas y técnicas. Algunas de estas propiedades son:

**TABLA 1.2 PROPIEDADES DE LAS TUBERÍAS PVC**

Gran resistencia a la corrosión	Bajo coeficiente de fricción
Alta resistencia química	Bajo peso
Alta resistencia al envejecimiento	Facilidad de instalación
Bajo coeficiente de elasticidad	Gran resistencia al golpe de ariete

Como todos los materiales, las tuberías PVC poseen sus limitaciones:

- a. A temperaturas cercanas o inferiores a 0° C la resistencia al impacto se reduce.
- b. Para conducción de fluidos a presión y a temperaturas mayores de 25° C, debe aplicarse un factor para reducir la presión máxima de trabajo o aumentar el espesor mínimo de pared del tubo.
- c. La tubería de PVC tipo I grado I no debe quedar expuesta a los rayos solares por períodos prolongados, ya que éstos pueden afectar ciertas propiedades mecánicas del tubo.

Las tuberías de PVC se emplean extensamente en instalaciones hidráulicas (redes de distribución y conducción de agua), instalaciones eléctricas (como protector de cables), industriales (conducción de fluidos corrosivos), gas natural y (líneas de distribución de gas), etc.

### **Comportamiento de las tuberías de PVC**

#### a. Resistencia Química

La tubería de PVC es altamente resistente al ataque químico de suelos agresivos, de aguas conducidas y en general de ácidos, álcalis y soluciones salinas. Al PVC no le afecta el agua y absorbe solamente 0,1 a 0,4% de su peso después de una inmersión de 48 hrs. (norma NCH 399). Se ha demostrado que el ataque de algas, hongos, bacterias, etc. carece de importancia por no haber material nutriente en el PVC.

#### b. Resistencia y propiedades físicas del PVC tipo I grado I clasificación 1114.

A continuación se enumeran las características más importantes de acuerdo a los métodos recomendados

**TABLA 1.3 PROPIEDADES DE LAS TUBERÍAS PVC**

<b>Características</b>	<b>Valor</b>	<b>Métodos de Prueba ASTM</b>
Densidad	1,4 g/cm <sup>3</sup>	-
Resistencia mínima al impacto - Izod.	3.55 cm/kg f/cm de ranura	D - 256 – 73c
Resistencia mínima a la tensión	492 kg f/cm <sup>3</sup>	D - 638 - 76

Temperatura mínima de deflexión	70°C	D - 648 - 72
Módulo de elasticidad	2.81 x 10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup>	D - 638 - 76
Resistencia química	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (conc. 93%, 14 días y 55°C) incremento de peso máx. 5%. Aceite ASTM N°3 (30 días y 23°C) incremento de peso máx. 1%	D - 543 - 67 D - 471 - 75
Flamabilidad	Autoextinguible Δ	D - 635 - 76
Dilatación térmica lineal	0,08 mm/m/°C de t°	

### Presiones de trabajo y relación de dimensiones.

Las tuberías de PVC para conducción de agua están calculadas con el esfuerzo permisible de diseño de 100 kg/cm<sup>2</sup> para asegurar que la tubería de PVC siempre trabaje dentro de su límite elástico.

A continuación se muestra la tabla 1.6, donde se consignan las presiones de trabajo y presiones de ruptura para las distintas clases.

**TABLA 1.4. PRESIONES DE TRABAJO Y PRESIÓN DE RUPTURA EN TUBERÍA DE PVC.**

Relación de dimensiones Clase	Presión mínima de ruptura según norma Duratec	Presión máxima de trabajo
16	68 kg/cm <sup>2</sup>	16 kg/cm <sup>2</sup>
10	51 kg/cm <sup>2</sup>	10 kg/cm <sup>2</sup>
6	28 kg/cm <sup>2</sup>	6 kg/cm <sup>2</sup>
4	22 kg/cm <sup>2</sup>	4 kg/cm <sup>2</sup>

### Especificaciones

#### a. Sanitarias

La National Sanitation Foundation de la Universidad de Michigan (NSF), así como la Organización Panamericana de la Salud, estudiaron extensivamente la tubería de PVC para uso de agua potable y encontraron que:

1. no imparten al agua sabor ni olor.

2. no contaminan el agua, para lo cual se hicieron pruebas de contenido de plomo, cadmio, bario y cobre en el agua de contacto.
3. no son susceptibles al ataque de roedores.
4. son resistentes al ataque de productos usados para el tratamiento de las aguas conducidas.

#### **b. Dimensionales**

Se indican los diámetros externos, espesores de pared, excentricidad, ovalidad y longitud de los tubos y conexiones de PVC, con lo que se garantiza la interconexión e intercambiabilidad de las piezas.

#### **c. Físicas y Químicas**

Tener resistencia a la acción de la acetona, la absorción de agua, aplastamiento y combustibilidad.

### **1.3.- REGULACION Y MANTENIMIENTO**

#### **1.3.1.-Aplicación del control por frecuencia en accionamiento de bombas centrífugas.**

Uno de los aspectos de mayor interés en el accionamiento de bombas centrífuga es el comportamiento de la eficiencia de todo el sistema, la cual depende de sus componentes principales: **MI** el motor eléctrico, **BC** la bomba centrífuga y el diseño y configuración de la red hidráulica **RH**.

El factor que más contribuye al empeoramiento de la eficiencia de la bomba centrífuga es el sobredimensionamiento de la bomba BC, ocasionado por una selección inadecuada debido a consideraciones anticipadas en las condiciones futuras de trabajo de la instalación, en la que intervienen esencialmente, el diámetro de las tuberías, el gasto o caudal de la hidromezcla y la naturaleza del fluido a transportar, que pueden provocar caídas excesivas en los requerimientos de funcionamiento del sistema.

El uso de la regulación del caudal mediante el estrangulamiento de válvulas en la tubería de descarga es casi siempre utilizada en bombas sobredimensionadas, provocando pérdidas del gasto del fluido y caídas de la altura de presión que desarrolla la turbo-máquina. Existen otros métodos para lograr eficiencias mayores en bombas sobredimensionadas como el uso de

impelentes de tamaños adecuados, cambios de la velocidad de rotación del accionamiento, y el uso de la conexión serie-paralela de las bombas.

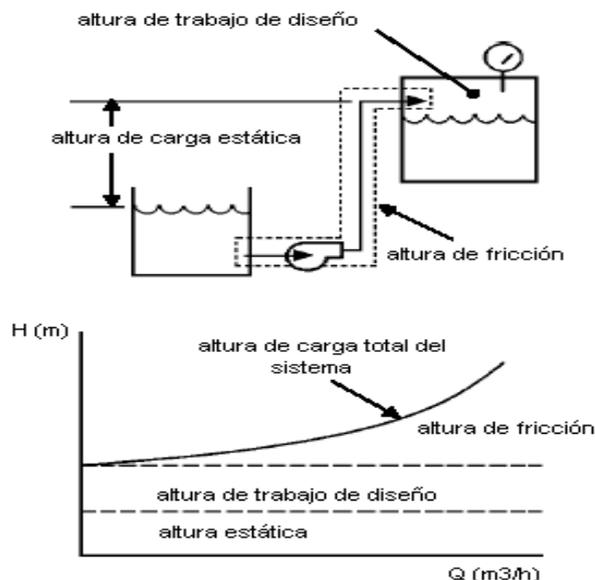
### 1.3.2.-Aspectos sobre el ahorro de energía en las bombas centrífugas.

Para una mejor comprensión de cómo mejorar la eficiencia del sistema de bombeo, vamos a explicar brevemente algunos de los aspectos relacionados con la operación, terminología y características de operación de la bomba centrífuga. En la figura 1.2 se tiene un sistema de bombeo típico, donde se representa el comportamiento de la altura de carga o presión en función del caudal desarrollado  $H=f(Q)$ .

Aquí se definen tres componentes:

La altura estática, determinada por la distancia desde el nivel del recipiente donde está depositado el fluido hasta el punto máximo de descarga del fluido, es decir hasta donde el fluido ya comienza a bajar por gravedad.

La altura de diseño o de trabajo, es la altura viable en una localización específica para satisfacer los requerimientos de diseño del sistema.

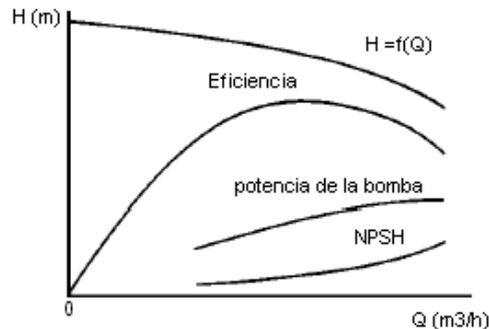


**Figura 1.2. Curvas de operación de una bomba centrífuga**

La altura de fricción, dada por la distancia en la tubería desde el punto de impulsión de la bomba hasta el punto máximo de descarga en el recipiente de destino del fluido.

### Curvas de las bombas centrífugas

Los fabricantes de bombas centrífugas suministran las curvas de trabajo de las bombas  $H = f(Q)$  que predicen el comportamiento futuro de estas bajo condiciones de trabajo determinadas. En la figura 1.3 se muestran las curvas simples de explotación de una bomba centrífuga para un diámetro dado del impelente de trabajo.



**Figura 1.3 Curvas típicas de bombas centrífugas.**

Usualmente el punto de máxima eficiencia en el trabajo de la BC en la característica  $H = f(Q)$  es el punto de diseño de ésta. En la figura 1.4 se muestran una familia de curvas que caracterizan el trabajo de la bomba BC con diferentes diámetros del impelente.

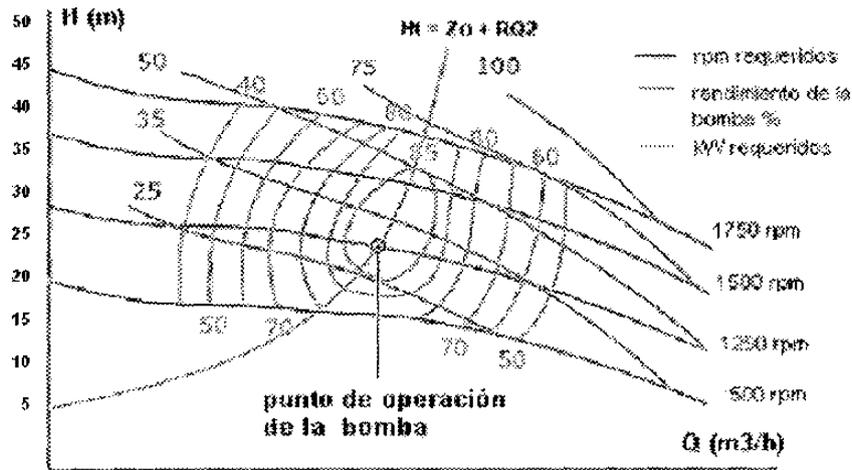
El punto de operación de la bomba está determinado por la intersección entre la curva  $H = f(Q)$  y la de la red  $H_t(Q)$ , tal como se gráfica en la figura 1.5.

### Medidas de eficiencia de energía (Rojas P. 2005).

La eficiencia en un accionamiento eléctrico de bomba centrífuga puede ser mejorada directamente por incremento del rendimiento del motor eléctrico y/o de la bomba centrífuga.

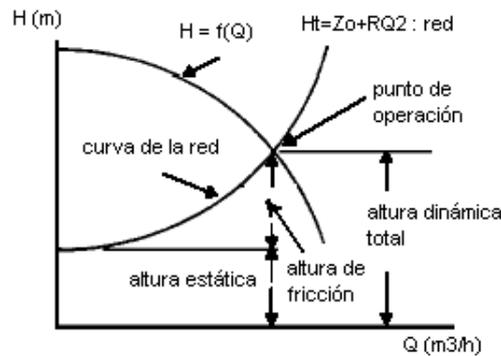
Las siguientes acciones específicas pueden ser tomadas:

- Reemplazar o reparar el impelente de la bomba.
- Adecuar la bomba. Es decir, ajustar el impelente a la cantidad máxima de caudal a bombear para las condiciones reales de trabajo.



25 50 75 100 125 150 175 200 225 25» 275 300 325 350 375 400 425 450

**Figura 1.4. Curvas múltiples de operación de la bomba centrífuga**



**Figura 1.5. Punto de operación de la bomba centrífuga.**

- Disminuir la altura dinámica total de la bomba. Esto tiene relación con conseguir el punto correcto de operación de la bomba que garantice el mayor caudal con la adecuada altura de presión. Una válvula en la tubería de descarga de la bomba es usualmente utilizada para disminuir el caudal, pero ocasiona caídas en la altura de presión a través de la válvula.
- Velando el cumplimiento de la ausencia de cavitación.

El cambio de la velocidad de rotación de la bomba centrífuga se viene realizando a través del cambio de frecuencia en el motor de inducción frecuentemente utilizado en estos tipos de accionamientos eléctricos. Los motores de inducción o llamados también motores asincrónicos los cuales pueden operar con múltiples frecuencias a partir de 60 Hz, ya sea hacia arriba o hacia debajo de este rango, con velocidades desde 900 hasta 3600 rpm. Esto se realiza hoy en día a partir de los llamados variadores de velocidad. En sentido general las medidas para mejorar la eficiencia en las bombas centrífugas están contenidas según se muestra en la siguiente tabla 1.5.

**Tabla 1.5. EFICIENCIA EN LAS BOMBAS CENTRIFUGAS**

Medidas de eficiencia	Requerimiento del sistema hidráulico		
	Constante	Distinción de pasos	Altamente variable
Dimensionamiento del impelente	X		
Velocidad del motor	X		
Motores de dos velocidad		X	
Bombas en paralelo		X	
Bombas en serie		X	
Variadores de velocidad			X

**Estimación del ahorro de energía (Rojas P. 2005):**

El potencial para el mejoramiento de la eficiencia en los accionamientos de bombas está dado por los años de fabricación, el diseño del equipamiento y las condiciones de explotación. En el accionamiento antiguo, la eficiencia puede estar dada aproximadamente en un 50 %. En accionamientos nuevos con motores de buena calidad de fabricación (tipo Premium), la eficiencia puede encontrarse en los rangos de uno 60 % con posibilidades de incrementarse en un 20 %.

La potencia de la bomba centrífuga se puede calcular por la siguiente expresión:

$$N_b = \frac{QH\rho}{102 \times \eta_b} \tag{1.17}$$

Donde:

Q es el caudal desarrollado por la bomba, [m<sup>3</sup>/h]

H es la altura de carga de la bomba, [m]

P es la densidad del fluido, [kg/m<sup>3</sup>].

La potencia del motor eléctrico en kW:

$$P_{MI} = \frac{N_b 0,746}{\eta_{MI}} \quad 1.18$$

Donde:

$\eta_{MI}$ - es la eficiencia del motor de inducción, [%].

El caudal nominal de la bomba puede ser ganado directamente de acuerdo al radio de velocidad del motor de inducción:

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1} \quad 1.19$$

Donde:

$Q_2$  - es el caudal nominal de la bomba, [m<sup>3</sup>/h]

$Q_1$  - es el caudal para las condiciones iniciales del accionamiento, [m<sup>3</sup>/h].

$n_2$  - es la velocidad de rotación de la bomba para las nuevas condiciones, [rpm]

$n_1$  - es la velocidad de rotación para las condiciones iniciales, [rpm]

La altura de carga o de presión varía proporcionalmente al cuadrado del radio de velocidades de la bomba:

$$H_2 = H_1 \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad 1.20$$

Donde:

$H_2$  - es la altura de presión a la nueva velocidad, [m].

$H_1$ - es la altura de presión para las condiciones iniciales, [m].

La potencia de la bomba puede variar en relación cúbica al radio de la velocidad o el diámetro del impelente:

$$N_{b2} = N_{b1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

1.21

Donde:

$N_{b2}$  - es la potencia requerida por la bomba para la nueva velocidad, [kW]

$N_{b1}$  - es la potencia requerida en las condiciones iniciales, [kW].

### **1.3.3. Sistema para la planificación y control del mantenimiento en instalaciones de bombeo con bombas centrífugas.**

Mantenimiento implica el uso de prácticas técnico-gerenciales aplicadas a los bienes físicos, como las plantas y sus componentes (equipos, instalaciones y servicios), a fin de garantizar su utilización con una productividad máxima al menor costo posible.

#### **Parámetros de control en el mantenimiento preventivo.**

**Niveles de vibración.** El análisis de vibración es el parámetro más utilizado en el mantenimiento de equipos. Utiliza las medidas de vibración tomadas en un punto accesible de la máquina para inferir la condición de los componentes en movimiento en el interior de esta. Los problemas básicos monitoreados por medio de este análisis son: desbalance de componentes rotativos, desalineación, componentes flojos, deterioro de cojinetes y engranajes.

#### **Temperatura:**

La observación y el registro de las tendencias de éste parámetro son muy significativas para la evaluación del comportamiento principal de un equipo o de parte de los componentes. A continuación se mencionan los casos más resaltantes, donde juega un papel importante este parámetro.

- Temperatura de succión o descarga del producto manejado por un equipo.
- Temperatura de operación de los cojinetes.
- Temperatura del material de la carcaza de los equipos.
- Temperatura de operación de las cámaras de sellos o empaques.
- Temperaturas de operación del líquido refrigerante.

#### **Inestabilidad Operacional.**

Es importante la detección oportuna de fenómenos como la cavitación, la recirculación o el cabeceo (hunting), debido a que causan fallas como el desgaste o rotura de anillos, fallas prematuras de cojinetes, atascamiento de equipos por roce interno, etc.

### **Lubricación.**

La correcta lubricación de las máquinas y sistemas es de gran significado para su desempeño. La función más importante de la lubricación consiste en asegurar que los componentes de las máquinas trabajen en forma confiable con una operación libre de fallas durante la mayor parte del tiempo y al menor costo posible. De esta forma, la lubricación es el componente principal del mantenimiento programado.

Con el fin de establecer un programa de lubricación, se debe realizar un inventario de los equipos ha ser lubricados, especificando el nombre del fabricante, modelo, número o código asignado al equipo. Asimismo, se deben identificar las partes del equipo ha ser lubricados con la identificación de su lubricación; de su ubicación y sistemas de lubricación disponibles. El lubricante se debe establecer de acuerdo con las recomendaciones de los manuales de mantenimiento del equipo, tomando en cuenta las condiciones de operación. (Carga, velocidad, temperatura y algún otro factor relevante).

### **Consumo de potencia.**

El control de vigilancia del consumo de potencia es de suma importancia ya que sus variaciones podrían no estar asociadas a la demanda de la producción. Podría estar asociada a anomalías como barras flojas en motores eléctricos, restricciones en los filtros de succión o la excesiva recirculación de partículas de desgaste interno

La potencia es fácilmente determinada con las mediciones que se haga con un amperímetro de gancho y un cosenofímetro los cuales facilitan una supervisión continua del sistema.

### **Rodamientos**

El mantenimiento en las bombas centrífugas; comprende llevar a cabo un programa que incluye todos los elementos constitutivos, por ejemplo en el caso de los rodamientos debe considerarse, la limpieza, manipulación, inspecciones, instalaciones, montajes y chequeo de nuevos rodamientos. A continuación se detalla sobre la limpieza y la inspección de los rodamientos.

### **Limpieza de los Rodamientos**

La suciedad es causa del 90% de fallas de los rodamientos por tanto es fundamental tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- 1.- No abrir las chumaceras a menos que sea absolutamente necesario
- 2.- Limpiarlas sobre papel periódico extendido sobre un banco. Asentar las herramientas y rodamientos solamente sobre papel.
- 3.- Lavarse las manos. Limpiar la suciedad, virutas y grasa de las herramientas.
- 4.- Mantener rodamientos, chumaceras, y eje cubiertos con trapos limpios cuando ellos no estén siendo manipulados.
- 5.- No desenvolver los rodamientos nuevos hasta que no estén listos para ser instalados.
6. Limpiar a chorro de aire el eje y chumacera con solvente antes de reensamblar.

Estos aspectos al no ser observados se experimento el cambio continuo de rodamientos en el hospital Isidro Ayora.

### **Inspección de rodamientos y eje**

- 1.- Es importante examinar cuidadosamente el cojinete y desecharlo si hay cualquier achatamiento, corte o picaduras en las bolas o pista. Los rodamientos deben estar en perfecto estado.
- 2.- Hay que girar lentamente el rodamiento por medio de la mano. Debe girar fácilmente y silenciosamente y desecharlo si esta ruidoso o pegajoso.
- 3.- Siempre que se tenga duda de las condiciones de los rodamientos, desecharlos, 5 a 10 dólares que es el costo de los rodamientos puede prevenir serias pérdidas de tiempo y averías de las bombas. En servicios críticos o severos, reemplazar los rodamientos cada mantenimiento integral (overhaul).

4.- Verificar las condiciones del eje. Los asientos de los rodamientos deben ser lisos y libres de rebabas, para ello lijar suavemente con paño de polvo abrasivo. El eje debe ser exacto y no corrido.

Ahora bien para asegurar la vida útil para los cuales fueron construidas las bombas centrífugas, se plantea un programa del mantenimiento preventivo.

### **Plan de Mantenimiento Preventivo.**

Para establecer un plan de mantenimiento preventivo es necesario determinar las unidades o partes componentes de un equipo, instalación, etc. que deben cambiarse por haber trabajado un tiempo determinado (mantenimiento preventivo), o por mostrar desajuste o tendencia a una condición crítica (mantenimiento predictivo); todo lo anterior debe determinarse con base en técnicas preestablecidas. Este tiempo de operación conocido como vida útil o vida económica de la unidad se mide en horas de operación, número de operaciones especiales, tiempo de calendario una combinación de éstas unidades.

Las partes o componentes pueden ser reparables o no. La decisión sobre desecho versus reparación – construcción de una instalación, equipo o pieza debe hacerse en base a un análisis que involucra muchos factores.

### **Planificación del Trabajo de mantenimiento.**

La planificación permite estimar las actividades que estarán sujetas a un departamento, la cantidad y calidad de mano de obra necesaria, las reparaciones y materiales que se deberán emplear, así como el equipo y el tiempo probables que se pretende desarrollar.

La planificación del mantenimiento deber ser un proceso continuo. El historial de los equipos se debe revisar y ajustar a la realidad, de acuerdo con la información actualizada y la experiencia acumulada por los operadores de plantas y equipos. Esto permite incrementar o disminuir el tiempo de labores de mantenimiento sin menoscabo de la condición operacional del equipo.

La apreciación global del mantenimiento ayuda a que las bombas duren el tiempo para el cual fueron diseñadas por esta razón es importante tomar en

cuenta parámetros tales como: la presión de succión, la presión de descarga, flujo, velocidad de la bomba, propiedades del gasto de la bomba, la potencia, y la altura dinámica total.

Sobre la potencia ya se especifico la forma de obtenerla; el método básico para determinar la altura dinámica total (TDH) de la bomba es por medio de la utilización de manómetros de succión y de descarga. La instalación de las tuercas para la instalación de los manómetros es muy importante. Idealmente, ellos deben estar localizados normalmente en una sección recta de la tubería y de esta forma evitar ubicar las tuercas en los codos o reductores porque las lecturas no indicarían la verdadera presión estática debido a la carga de velocidad. Por otro lado evitar ubicar las roscas en parte superior o en el fondo de una tubería porque los manómetros rebotarían de aire o se obstruirían con sólidos.

Para la medición de caudal puede instalarse un caudalímetro aunque actualmente existen en el mercado dispositivos no invasivos.

La Temperatura del volumen de bombeo, viscosidad, y gravedad específica; deben ser conocidos.

Cuando todos los parámetros anteriores mencionados sean conocidos, se vuelve simple el cálculo del rendimiento de la bomba.

### **Análisis del sistema de bombeo**

El análisis del sistema de bombeo a menudo se pasa por alto porque se supone que el sistema fue construido y que la operación de las bombas esta en concordancia con las especificaciones de diseño. A menudo este no es el caso. Un análisis apropiado empieza con las curvas de la altura de carga.

Un análisis típico incluye el conocimiento de la siguiente información:  $NPSH_A$ ,  $NPSH_R$ , altura estática, la pérdida de fricción a través del sistema, la revisión de la tubería y válvulas.

#### **1.4.- Conclusiones parciales**

1. En la etapa de explotación de la instalación hidráulica del Hospital Isidro Ayora se confrontan dificultades con el trasiego de agua; así como problemas de baja eficiencia de dicha instalación.
2. En la bibliografía consultada tanto nacional como internacional se hace referencia en general, varios métodos y formas para tener altos rendimientos en una instalación hidráulica, proyección de instalaciones hidráulicas a partir de formular un adecuado diseño de la bomba y la red de acuerdo con los tipos de tuberías existentes en el mercado para una correcta selección y adecuado montaje que no de lugar a interrupciones de servicio debido a fallas de un tramo o accesorios de la red.
3. En el caso de los sistemas ya instalados existen varios aspectos sobre el ahorro de energía que influye al acoplamiento de reguladores de velocidad; incluyendo el reemplazo de una red que conlleve a gastos altos de explotación, para la cual se presenta algoritmos matemáticos que simplifiquen la evaluación de las pérdidas de carga y por ende del consumo energético; pero no se reportan metodologías de cálculo integral que consideren también tuberías ramificadas primarias y secundarias como la existente en el hospital Isidro Ayora de Loja Ecuador.

## **CAPITULO 2.**

### **CARACTERIZACION DEL SISTEMA DE BOMBEO.**

#### **2.1. Descripción del flujo tecnológico.**

El Hospital Isidro Ayora ubicado en la ciudad de Loja al Sur del Ecuador, inició sus actividades en el año de 1979 con una capacidad instalada de 400 camas, para lo cual se monto el sistema hidráulico de presión constante con una cisterna de 227 metros cúbicos de la cual se succiona el agua mediante 3 bombas ubicadas en a un colector común de 3 metros de longitud que tiene un diámetro de 0.15 m. La tubería de salida desde este colector es de 0,1016 m. que es la tubería matriz de distribución de agua a los diferentes sectores del Hospital.

#### **Planta Baja y Primer Piso**

En la instalación hidráulica cada 6 metros se encuentra uniones universales y exactamente a los 18 m hacia el Sur se encuentra una válvula check que sirve como mecanismo de protección para el sistema de bombeo, a continuación de la check existe una Tee que deriva en dos partes una con la cual continúa la tubería de 0.101 m. y otra que reduce a 0.0508 m.; donde se subdivide en dos ramales que sirven para alimentar de agua hacia el tanque de condensado de las calderas y la otra para el tanque calentador de agua. Siguiendo con el esquema 18m después se encuentra una Tee que deriva la tubería matriz hacia el Este del Edificio y otra que reduce a 0.0508 m. que distribuye el líquido hacia el Departamento de Rayos "X" que se encuentra en la primera Planta (Hay que destacar que la tubería que se encuentra en planta baja distribuye el agua tanto para este piso como para la primera planta). 18 metros hacia el este existe otra Tee que se divide en dos, la una hacia el Norte al sector que comprende Alimentación y la otra sigue hasta 2 metros más hacia el este, donde gira en un codo de 90° hacia el sur en una longitud de 39 m. hasta una Tee de 3 vías que ramifica en dos tuberías de 0.0508 m. hacia consulta externa que se encuentra en el primer piso y otra de 0.1016 que va hasta los pisos superiores.

En la matriz de 0.1016 que se dirige hacia el Sur existe una Tee a los 14 m. y a su vez una reducción hasta los 0.0508 m. que proporciona agua a la morgue que se ubica en el subsuelo. 10 m. más adelante en la tubería matriz existe otra desviación dirigida hacia el este que alimenta de agua en un ramal de 0.0762 m. y una longitud de 26 m. a 4 lavadoras de 55 kilogramos.

Con respecto a la tubería que se desvía hacia alimentación en un diámetro de 0.1016 m. lo hace en una longitud de 15 m. A los 7 m. donde inicia este ramal existe una Tee y una reducción hasta los 0.0508 m. que conduce agua hacia el Área Administrativa ubicada en el primer piso. Al final de esta tubería o sea a los 15 m. existe una tee que deriva en dos, una de 0.1016 hacia el este y que al final de su longitud de 20 m. cursa la misma hacia los pisos superiores, la otra sigue la dirección norte pero reducida a 0.0508 m en una longitud de 10m. al final de la cual existe un ramal de 0.0508 m. que se desvía al este en una longitud de 16 m. que sirve para alimentar de agua a dos sectores el uno a 5 marmitas y el otro para la lavadora de vajilla ambas en un diámetro de 0.0254 m. Posterior a los 10 m. en la misma tee que ramifica a las marmitas continúa una tubería de 0.0381 m de diámetro hacia el norte que ramifica a su vez a Laboratorio, Fisiatría y lavabos de Cocina.

En anexos se puede apreciar el esquema de distribución de las tuberías en Planta Baja y primer Piso.

### **Segundo Piso**

Para el segundo piso (Anexos) se tiene dos ramales designados como Norte y Sur. El ramal norte alimenta de agua al Departamento de Gineco Obstetricia ubicado al este del hospital, allí desde la tubería vertical de 0.1016 m por medio de una Tee deriva hacia la derecha en un diámetro de 0.0762 m y hacia la izquierda en 0.0508 m de cuyos matrices se subdividen en tuberías de 0.0381 m de diámetro que distribuyen agua a los cuartos de este departamento tanto para baño, lavabo y servicio higiénico, en lo que respecta a los baños y lavabos la alimentación es en una tubería de 0.0127 m. Al oeste del ramal norte se ubican los quirófanos de Centro Obstétrico y el servicio de Neonatología los mismos que son abastecidos con una tubería de 0.0508 m.

En el ramal Sur al igual que en el norte desde la tubería vertical de 0.1016 m se distribuye y se reduce a un tubo de 0.0635 m de los cuales se ramifica a tubos de 0.0381 m para distribuir agua a las áreas de Patología, Endoscopía y Salud Mental, esto en lo que respecta a la ubicación Este. En lo que tiene que ver al Oeste desde el tubo de 0.0635 por medio de una Tee se deriva en la misma medida hacia el sector de Residencia Médica.

### **Tercer Piso**

El ramal Norte de este piso es idéntico al segundo piso. En lo que concierne al ramal Sur, desde la tubería vertical de 0.1016 se subdivide a través de una Tee en dos tramos el derecho con un diámetro de 0,0635 m y el izquierdo con una medida de 0.0508 m de los cuales se alimentan en tuberías de 0.0381 m a la Unidad de Quemados, Hemodiálisis y Unidad de Cuidados Intensivos, en este ramal no existe distribución hacia el sector oeste ya que no hay edificación alguna.

### **Cuarto Piso**

La distribución es similar a la del tercer piso tanto en el ramal Norte como en el Sur con la excepción que en el ramal norte no existe distribución al Oeste puesto que no existe edificación en este piso.

Para toda esta instalación se utiliza una gran cantidad de accesorios los mismos que están detallados en la Tabla 3.3

## **2.2. Características del sistema de bombeo empleado.**

El sistema de bombeo para el Hospital Isidro Ayora de la ciudad de Loja posee un tanque de hormigón armado de 60000 galones de capacidad, con un diámetro de 10,85m y 2,85 m de altura; se encuentra a 1995 m. sobre el nivel del mar con una presión atmosférica de 8,13 m.c.a y un nivel de agua de 2,74 m, la altura de succión es 1,00 m hasta el eje de la bomba, y una tubería de succión de 0,2032 m de diámetro.

Para el bombeo tenemos 3 bombas marca Gould: 2 bombas de 50 Hp y 1 bomba de 25 Hp las cuales están ubicadas en paralelo. Estas son bombas centrífugas de eje vertical con las bocas de aspiración e impulsión en línea,

sello por cierre mecánico, La bomba está diseñada para fluidos limpios o ligeramente agresivos, sin abrasivos ni partículas sólidas.

Para cada una de estas bombas tenemos los siguientes datos de placa.

**TABLA 2.1 DATOS DE PLACA DE LAS BOMBAS**

	<b>BOMBA 50 HP</b>	<b>BOMBA 25 HP</b>
POTENCIA KW	37.28	18.64
Parte:	6-339659-01	6-33512-01
FR	324JP	256JP
VELOCIDAD RPM	3450	3500
FRECUENCIA HERTZ	60	60
PH	3	3
VOLTAJE	230 - 460	230 - 460
INTENSIDAD DE CORRIENTE	116 - 58	59 – 29,5

El sistema esta diseñado para que funcionen alternadamente, las bombas de 18.64 y 37.28 Kw, pero solamente funciona la primera ya que el caudal requerido nunca es mayor al que proporciona la de 18.64 Kw (25 HP), por lo que sirven solamente cuando existe algún daño de esta bomba y por cortos periodos, ya que representa un alto consumo energético, como ejemplo en el mes de julio del 2003 de un consumo promedio mensual de 46000 Kw de todo el hospital llegó a un valor de 60000 Kw lo que representó económicamente 5800 USD. La bomba funcionan las 24 horas del día, con un caudal de 18.11 m<sup>3</sup> /H. (80 GPM). Para cada bomba se dispone 2 válvulas de mariposa de 0,1016 m de diámetro, así mismo medidores de presión para la succión e impulsión. Como también un flujómetro de 0,2032 m de diámetro para medir el caudal y una válvula de globo.

De acuerdo a lo que establece la Organización Mundial de la Salud contemplada en el Sistema de Suministro de Agua correspondiente a los parámetros de diseño, establece que el consumo en litros y por cama debe ser de 450 a 600 litros, según este concepto el consumo real del Hospital Isidro Ayora fluctuaría por los 10 m<sup>3</sup>/h (44 Galones por minuto), razón por lo cual es procedente determinar la ecuación de la red, el gasto real de la instalación, así como otros parámetros como son la potencia, la eficiencia, etc.

### 2.3. Descripción de las redes hidráulicas

Con la finalidad de determinar la ecuación de la red así como también las pérdidas hidráulicas tuvo que realizarse el levantamiento de la red hidráulica, la información se encuentra registrada en los planos correspondientes a cada piso del Hospital; a su vez estos facilitan realizar los esquemas para encontrar las resistencias en los tramos de las tuberías.

### 2.4 Mantenimiento y explotación del sistema de bombeo.

El mantenimiento que se efectúa corresponde al Preventivo y al correctivo. En cuanto al mantenimiento que se ha llevado a cabo, se tiene las siguientes actividades de mantenimiento que constan en la hoja de vida de las bombas, las cuales se detallan en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2. REGISTRO DE MANTENIMIENTO DE LAS BOMBAS**

Fecha	Bomba 1	Bomba 2	Bomba 3
15 de Marzo de 1992	Se desmonto la bomba se realiza las siguientes reparaciones: desincrustación, cambio de rodamientos en la bomba de 25 hp. N° 1.		
7 de julio de 1993			Reemplazo del sello mecánico de la bomba N° 3 de 50Hp
12 de Febrero de 1994	Chequeo de bombas; cambio de empaques.	Chequeo de bombas; cambio de empaques.	Chequeo de bombas; cambio de empaques.

11 de Noviembre de 1995	Verificación de bombas constatación de sellos; rodamientos (H 222 16 BH DIC).	Verificación de bombas constatación de sellos; rodamientos (H 222 16 BH DIC).	Verificación de bombas constatación de sellos; rodamientos (H 222 16 BH DIC).
17 de Diciembre de 1995	Revisión de tuberías y válvulas en la succión.	Revisión de tuberías y válvulas en la succión.	Revisión de tuberías y válvulas en la succión.
23 – 30 de Abril de 1996	Cambio de Breaker trifásico.	Cambio de Breaker trifásico.	Cambio de Breaker trifásico.
18 de Agosto de 1998	Cambio de sello mecánico en bomba de 25 Hp N° 1 , cambio de rodamientos 62072.		
7 de Septiembre de 1998		Cambio de rodamiento bomba 50 Hp N° 2.	
14 de Noviembre del 2000	Chequeo eléctrico y revisión de bombas; cambio de empaques.	Chequeo eléctrico y revisión de bombas; cambio de empaques.	Chequeo eléctrico y revisión de bombas; cambio de empaques.
15 de Agosto del 2001	Cambio de sello mecánico de la bomba de 25 Hp		
Julio del 2003	Cambio de rodamiento 6207 Z rígido de bolas, sello mecánico, metalizado en frío de tapas y rectificación de tapas para alojamiento de rodamientos.		
Noviembre 2004	Alineación de motor - bomba		
Noviembre 2004	Cambio de empaquetadura y ajuste correspondientes.		

El presente sistema de bombeo entrega diariamente la cantidad de 18.11 m<sup>3</sup>/h durante las 24 horas del día, lo cual, debido a la instalación se ha convertido en un problema por el costo de consumo de energía eléctrica.

Para el trasiego de agua potable a temperatura ambiente se lo hace a través de:

Tubo de acero galvanizado de 0.1016m de diámetro.

Especificación del material: ASTM A53-A.

Propiedades mecánicas:  $\tau_t=3428\text{Kgf/cm}^2$  y  $\tau_r=2143\text{ Kgf/cm}^2$ .

**Tabla 2.3. COMPOSICION QUIMICA**

<b>%C</b>	<b>%Si</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>
0.1 – 0.15	<0.4	<0.04	<0.04

**Características metalográficas:** Acero galvanizado de bajo contenido de carbono, con estructura ferrito-perlítica, hipoeutectoide.

Propiedades tecnológicas:

Soldabilidad: Buena.

Maquinabilidad: Buena.

Templabilidad: Nula.

Se puede sustituir por el AISI: 1010 (0.1%C);1015 (0.15% C); 1020 (0.2 % C).

## **2.5. Conclusiones parciales.**

1. El sistema actualmente instalado conlleva a grandes pérdidas como también a un aspecto no operacional, ya que al estar alimentado por una matriz que se divide en dos ramales principales norte y sur; cuando existe una falla en un subramal tiene que suspenderse el servicio de agua debido a la forma constructiva de la red, por otro lado el tiempo de servicio implica un desgaste de la tubería de hierro galvanizado con lo que acrecienta las pérdidas en la transportación del fluido.
2. El diseño original se encuentra sobredimensionado con respecto al número de camas, el gasto de diseño de la instalación es de  $18\text{ m}^3/\text{h}$ ., correspondiente este para un número aproximado de 800 camas, según normas de diseño de la Organización Mundial de la Salud. El número de camas que se esta utilizando actualmente es de 243, teniendo en cuenta

la norma de consumo de agua, la demanda sería de  $6.13 \text{ m}^3/\text{h}$ , no obstante este número de camas no es utilizado manteniéndose en un 60% de ocupación de las camas.

3. En el trabajo realizado (Quizhpe José 2003) sobre el sistema; se ha dado un seguimiento del funcionamiento de las bombas; donde a partir de la alineación y ajustes que se llevo a cabo en el año 2004, se ha comprobado que no existe el golpe de ariete en la instalación, como tampoco se han afectado rodamientos y sellos mecánicos.

**CAPITULO 3.****CÁLCULO Y EVALUACION DEL SISTEMA DE EXPLOTACION.****3.1. Determinación de las pérdidas hidráulicas.**

Para la determinación de las pérdidas primarias y secundarias en la instalación hemos utilizado la siguiente metodología la cual detallamos a continuación:

Diámetro de la tubería:

$$A = \frac{\Pi.D^2}{4} \quad 3.1$$

D: Diámetro en m.

Velocidad del fluido:

$$v = \frac{Q}{A} \quad 3.2$$

Donde:

Q: caudal en m<sup>3</sup>/s

V: velocidad m/s

A: área m<sup>2</sup>

Número de Reynolds

$$Re = \frac{v.D}{\nu} \quad 3.3$$

Donde:

v: velocidad, m/s.

$\nu$ : Viscosidad cinemática, m<sup>2</sup>/s

Una vez determinado el régimen de trabajo de nuestro fluido, definimos que se encuentran en el régimen turbulento, y que es correcta la fórmula de Nikurazze para determinar el coeficiente de rozamiento de las tuberías.

Coeficiente de Pérdidas por rozamiento

$$\lambda = \left( \frac{1}{1,75 + 2 \log \frac{r}{K}} \right)^2 \quad 3.4$$

Para determinar el valor de  $\lambda$  de la tubería podemos usar el diagrama de Moody, obteniendo valores similares a los encontrados en las fórmulas.

Las pérdidas por rozamiento en las tuberías. La fórmula más empleada es la Darcy – Weisbach.

$$H_{roz} = \lambda \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad 3.5$$

Donde:

l: longitud de tubería m. D: diámetro de tubería m. g: gravedad.

D/k: rugosidad relativa de la tubería, la rugosidad del Hierro Galvanizado es k = 0,0001

Pérdidas secundarias o locales

$$H_{loc} = \sum \xi \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{D^4 \Pi^2 g} \quad 3.6$$

Donde:

$\Sigma$ : Número de accesorios.

$\xi$ : Coeficiente de pérdidas del accesorio.

Para cada uno de los accesorios se ha encontrado el valor de  $\xi$ .

Para finalmente encontrar las perdidas totales:

$$H_{to} = H_{roz} + H_{Loc}. \quad 3.7$$

Para realizar los cálculos de pérdidas se dividió en tramos las tuberías de todo el sistema de bombeo.

Para esta formula necesitamos calcular la K en cada uno de los tramos valiéndonos de la siguiente expresión:

$$K = \left( \sum \xi + \lambda \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{8}{g \Pi^2 D^4} \quad 3.8$$

En la tabla 3.1 se muestra la conexión en serie o en paralelo de cada tramo.

**TABLA 3.1. CONEXIÓN EN SERIE O EN PARALELO DE CADA TRAMO**

Tramo	Serie	Paralelo	Tramo	Serie	Paralelo	Tramo	Serie	Paralelo
1 - 2	X		4 - 5	X		11 - 12	X	
2 - 3	X		5 - 6	X		12 - 13		X
3 - 4	X		6 - 7		X	PISO 4		
4 - 5	X		7 - 8		X	1 - 2	X	
5 - 6		X	8 - 9		X	2 - 3	X	
6 - 7		X	9 - 10	X		3 - 4	X	
7 - 8		X	10 - 11	X		4 - 5	X	
8 - 9	X		11 - 12		X	5 - 6	X	
9 - 10		X	12 - 13		X	6 - 7	X	
10 - 11		X	13 - 14		X	7 - 8	X	
11 - 12		X	14 - 15		X	8 - 9	X	
12 - 13		X	PISO 3			9 - 10		X
13 - 14		X	1 - 2	X				
14 - 15		X	2 - 3	X				
15 - 16		X	3 - 4	X				
16 - 17		X	4 - 5	X				
17 - 18		X	5 - 6	X				
18 - 19		X	6 - 7		X			
PISO 2			7 - 8		X			
1 - 2	X		8 - 9		X			
2 - 3	X		9 - 10	X				
3 - 4	X		10 - 11	X				

En la tabla 3.2 se puede apreciar los resultados tabulados de pérdidas por rozamiento en las tuberías, incluido las resistencias en cada tramo.

**TABLA 3.2. CUADRO DE PERDIDAS PRIMARIAS DEL SISTEMA DE BOMBEO.**

TRAMO	D	L	Q	$\lambda$	V	Re	Hroz	$\Sigma \xi$	K
<b>PB y 1º PISO</b>	<b>M</b>	<b>m</b>	<b>m³/s</b>		<b>m/s</b>		<b>m.c.a</b>		<b>m<sup>-5</sup>.s<sup>2</sup></b>
1 – 2	0.203	3	0.00504	0.0182	0.155	31360	0.00308	3.5	183.60
2 -3	0.101	4.5	0.00504	0.0215	0.621	62721	0.01881	5.1	4053.12
3 – 4	0.101	36	0.00504	0.0215	0.621	62721	0.14	9.0	13242.87
4 – 5	0.101	20	0.00504	0.0215	0.621	62721	0.078	5.8	7992.93
5 – 6	0.101	15	0.00504	0.023	1.10	62721	0.058	4.5	6290.95
6 – 7	0.0508	10	0.00504	0.021	0.62	62721	0.05017	2.0	76122.16
7 – 8	0.0381	16	0.00114	0.025	1.00	37720	0.538	14.7	279404.32
8 – 9	0.101	39	0.00504	0.02	0.629	62721	0.152	12.8	16307.85
9 -10	0.0508	16	0.00120	0.023	0.592	29780	0.131	36.3	540729.26
10 – 11	0.0508	26	0.00120	0.023	0.592	29780	0.098	11.8	292712.08
11 – 12	0.076	15	0.0028	0.021	0.61	46440	0.08	8.6	31580.55
12 – 13	0.0508	7	0.0013	0.023	0.662	32780	0.073	2.6	71642.88
13 – 14	0.0508	18	0.00120	0.023	0.611	30260	0.16	4.8	160807.82
14 – 15	0.101	18	0.00504	0.0215	0.621	62721	0.07	0.8	3680.93
15- 16	0.0508	16	0.0010	0.023	0.509	25210	0.09	3.8	137145.23
16 – 17	0.025	20	0.0003	0.028	0.611	15130	0.431	8.3	6499558.40
17 – 18	0.019	8	0.00050	0.031	1.05	66350	0.082	5.7	11898504.38
18 - 19	0.0508	16	0.0012	0.02	0.592	29780	0.131	3.5	121686.32

TRAMO	D	L	Q	$\lambda$	V	Re	Hroz	$\Sigma \xi$	K
<b>PISO 2</b>	<b>M</b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>		<b>m/s</b>		<b>m.c.a</b>		<b>m<sup>-5</sup>.s<sup>2</sup></b>
1 - 2	0.076	22	0.00504	0.021	1.111	83600	0.381	17.17	57630
2 - 3	0.0635	7	0.00504	0.022	1.591	100100	0.312	5.54	40510
3- 4	0.0508	5	0.00504	0.023	2.487	125100	0.721	3.25	68470
4 - 5	0.0381	12	0.00200	0.025	1.754	66170	1.241	13.9	854600
5 - 6	0.076	7	0.00504	0.021	1.111	83600	0.121	5.52	18480
6 - 7	0.0508	30	0.0028	0.023	1.381	69480	1.335	8.0	234300
7 - 8	0.0508	17	0.0028	0.023	1.381	69480	0.756	12.7	303900
8 - 9	0.0508	5	0.0028	0.023	1.381	69480	0.222	4.5	224600
9 - 10	0.0635	5	0.00504	0.022	1.591	100100	0.220	2.04	19190
10 - 11	0.0635	37	0.00504	0.022	1.591	100100	1.649	22.28	492600
11 - 12	0.0635	26	0.00504	0.022	1.591	100100	1.159	6.0	76340
12 - 13	0.0508	7	0.0028	0.023	1.381	69480	0.311	9.61	158700
13 - 14	0.0508	5	0.0028	0.023	1.381	69480	0.222	0.68	36560
14 - 15	0.0381	8	0.0009	0.025	0.789	29780	0.168	19.5	971300

TRAMO	D	L	Q	$\lambda$	V	Re	Hroz	$\Sigma \xi$	K
<b>PISO 3</b>	<b>M</b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>		<b>m/s</b>		<b>m.c.a</b>		<b>m<sup>-5</sup>.s<sup>2</sup></b>
1 - 2	0.0762	22	0.00504	0.021	1.111	83600	0.381	17.17	57630
2 - 3	0.0635	15	0.00504	0.022	1.591	100100	0.669	5.54	54610
3- 4	0.0508	4	0.00504	0.023	2.487	125100	0.577	3.25	62850
4 - 5	0.0381	5	0.00200	0.025	1.754	66170	0.517	13.9	674300
5 - 6	0.076	12	0.00504	0.021	1.111	83600	0.208	5.52	21900
6 - 7	0.0508	30	0.0028	0.023	1.381	69480	1.335	8.0	268000
7 - 8	0.0508	7	0.0028	0.023	1.381	69480	0.311	12.7	197100
8 - 9	0.0508	10	0.0028	0.023	1.381	69480	0.445	4.5	112100

9 – 10	0.0635	20	0.00504	0.022	1.591	100100	0.891	2.04	45620
10 – 11	0.0635	5	0.00504	0.022	1.591	100100	0.223	22.28	122100
11 – 12	0.0635	31	0.00504	0.022	1.591	100100	1.382	6.0	85150
12 – 13	0.0381	8	0.0009	0.025	0.789	29780	0.168	19.5	971300

TRAMO	D	L	Q	$\lambda$	V	Re	Hroz	$\Sigma \xi$	K
<b>PISO 4</b>	<b>M</b>	<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>		<b>m/s</b>		<b>m.c.a</b>		<b>m<sup>-5</sup>.s<sup>2</sup></b>
1 – 2	0.0762	2	0.00504	0.021	1.111	83600	0.381	17.17	57630
2 – 3	0.0635	22	0.00504	0.022	1.591	100100	0.669	5.54	54610
3 – 4	0.0508	13	0.00504	0.023	2.487	125100	0.577	3.25	62850
4 – 5	0.0508	18	0.00504	0.025	1.754	66170	0.517	13.9	674300
5 – 6	0.0381	5	0.00200	0.021	1.111	83600	0.208	5.52	21900
6 – 7	0.0508	18	0.00504	0.023	1.381	69480	1.335	8.0	268000
7 – 8	0.0635	20	0.00504	0.023	1.381	69480	0.311	12.7	197100
8 - 9	0.0381	10	0.00200	0.023	1.381	69480	0.445	4.5	112100
9 – 10	0.0381	8	0.0009	0.025	0.789	29780	0.168	19.5	971300

						$\Sigma$ Hroz	28.92		
--	--	--	--	--	--	---------------	-------	--	--

### Cálculo de las pérdidas secundarias del sistema de bombeo

En la tabla 3.3 se detalla las pérdidas secundarias del sistema de bombeo.

**TABLA 3.3 CUADRO DE PERDIDAS SECUNDARIAS**

TRAMO	ACCESORIOS	D	$\xi$	Q	V	Hloc
PB y 1º PISO		m		m <sup>3</sup> /s	m/s	m.c.a
1 - 2	Medidor de Caudal Ensanchamiento suave	0.203	3 0.5	0.00504	0.155	0.0688
2 – 3	3 Codos de 90º 1 Válvula de Globo	0.101	0.8 2.7	0.00504	0.621	0.1
3 – 4	6 Uniones	0.101	1	0.00504	0.621	0.197

	universales 3 Tees		2			
4 – 5	1 Válvula check 1 Codo de 90°	0.101	5 0.8	0.00504	0.621	0.114
5 – 6	2 Uniones universales 1 Tee 1 Reducción	0.101	1 2 0.5	0.00504	1.10	0.088
6 – 7	1 Unión universal 2 Reducción	0.0508	1 0.5	0.00504	0.62	0.04
7 – 8	3 Uniones universales 4 Tees 1 Válvula de globo 2 reducciones	0.0381	1 2 2.7 0.5	0.00114	1.0	0.0646
8 – 9	1 codo 90° 3 Tees 6 Uniones universales	0.101	0.8 2 1	0.00504	0.629	0.213
9 – 10	10 válvulas de compuerta 0.0127 m 7 Uniones universales 1 codo de 90° 1 Reducción	0.0508	2.7 1 0.8 1.5	0.00120	0.592	0.027
10 – 11	3 codos de 90° 3 uniones universales 8 válvulas de compuerta	0.0508	0.8 1 0.8	0.00120	0.592	0.12
11 – 12	1 codo de 90° 3 uniones universales 4 válvulas de compuerta	0.076	0.8 1 0.8	0.0028	0.61	0.311
12 – 13	2 codos de 90° 1 Unión universal	0.0508	0.8 1	0.0013	0.662	0.0024
13 – 14	1 reducción 1 válvula de globo 3 uniones universales	0.0508	1 0.8 1	0.00120	0.611	0.017
14 – 15	1 codo de 90°	0.101	0.8	0.00504	0.621	0.016
15 – 16	2 reducciones 2 uniones universales 1 válvula de globo	0.0508	0.5 1 0.8	0.0001	0.509	0.00075
16 – 17	1 reducción 2 codos 90° 3 uniones universales 1 válvula de globo	0.025	1 0.8 1 2.7	0.0003	0.611	0.0042
17 – 18	1 reducción 2 uniones universales 1 válvula de globo	0.019	1 1 2.7	0.0001	1.05	0.00034
18 – 19	1 reducción 2 uniones universales	0.0508	1.5 1	0.00120	0.592	0.0021
<b>TRAMO</b>	<b>ACCESORIOS</b>	<b>D</b>	<b>ξ</b>	<b>Q</b>	<b>V</b>	<b>Hloc</b>
2° PISO		m		m³/s	m/s	m.c.a
1 - 2	6 Tee 1 Válvula 3"	0.0762	1.5 2.7	0.00504	1.111	1.069

	5 Reducciones a 0.0381 3 Uniones Universales 1 Reducción a 0.0636		0.45 1 0.22			
2 – 3	2 Reducción a 0.0381 1 Reducción a 0.0508 1 Unión universal 2 Tees	0.0636	0.27 0.15 1 1.5	0.00504	1.591	1.371
3 – 4	1 Reducción a 0.0381 2 Tees	0.0508	0.25 1	0.00504	2.487	1.103
4 – 5	3 Tees 1 Codo de 90° 2 Uniones universales 3 Válvulas compuerta	0.0381	1 0.8 1 2.7	0.00504	4.421	2.023
5 – 6	1 Uniones universales 2 Tees 2 Reducciones a 0.0381 1 Reducción a 0.0508	0.0672	1 2 0.15 0.22	0.00504	1.111	0.569
6 – 7	5 Unión universal 2 Tee	0.0508	1 1.5	0.0028	1.381	0.778
7 – 8	3 Uniones universales 3 Tees 2 Válvula de compuerta 2 reducciones 1 Codo 90°	0.0508	1 1.5 2.7 0.5 0.8	0.0028	1.381	1.43
8 – 9	1 Válvulas compuerta 1 Codo 90° 1 Uniones universales	0.0508	2.7 0.8 1	0.0028	0.617	0.438
9 – 10	1 Tee 2 Reducción a 0.0381	0.0636	1.5 0.27	0.00504	1.591	0.264
10 – 11	3 codos de 90° 6 uniones universales 4 válvulas compuerta 4 Reducciones a 0.0381 2 Tees	0.0636	0.8 1 2.7 0.27 1	0.00504	1.591	2.876
11 – 12	2 Tees 4 uniones universales	0.0636	1 1	0.00504	1.111	0.774
12 – 13	3 Reducciones a 0.0381 1 Unión universal 3 Válvulas	0.0508	0.17 1 2.7	0.0028	0.617	0.935
13 – 14	4 reducciones a 0.0381	0.0508	0.17	0.0028	0.617	0.066

14 - 15	3 Reducciones a 0.0127 3 Válvulas compuerta 9 Codos 90° 3 uniones universales	0.0381	0.4 2.7 0.8 1	0.0006	0.474	0.223
---------	--	--------	------------------------	--------	-------	-------

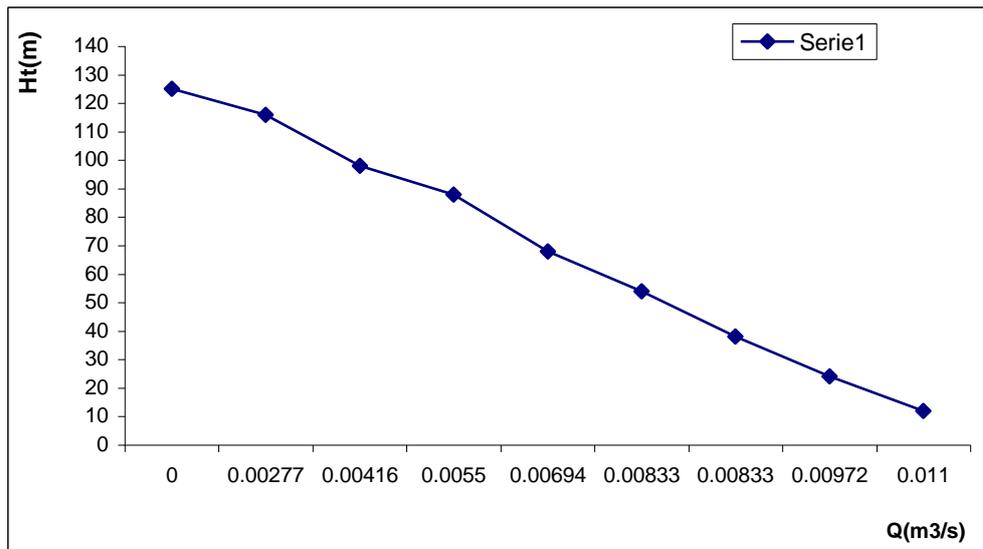
**Pérdidas Locales Totales:**  $1.38585 + 13.919 + 12.918 + 9.004 = 37.22$  mca.

Estas incluyen los pisos 3 y 4.

### 3.2. Ecuación de la máquina y modelo matemático de la red.

#### Ecuación de la máquina.

Para determinar la ecuación de la máquina nos basamos en la curva de la bomba, mostrada en la figura siguiente.



**Fig. 3.1. Curva Característica de la Bomba Gould**

Para obtener la altura de la bomba en función del caudal, lo hacemos tomando tres puntos de la curva, seleccionando los valores de carga H y de gasto volumétrico Q para tres puntos.

Para que la curva quede más exacta seleccionaremos el primer punto donde el gasto es cero.

Con estos valores se hace un sistema de ecuaciones, tres con tres, partiendo de la siguiente ecuación:

$$H = a + bQ + cQ^2 \quad 3.9$$

$$H = 126 \text{ m} \quad Q = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 120 \text{ m} \quad Q = 10.08 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 90 \text{ m} \quad Q = 19.08 \text{ m}^3/\text{h}$$

Estos valores se sustituyen en la ecuación 3.1, con lo que tenemos:

$$126 = a + b(0) + c(0)^2$$

$$120 = a + b(10.08) + c(10.08)^2$$

$$90 = a + b(19.08) + c(19.08)^2$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$126 = a + b(0) + c(0)^2$$

$$120 = a + b(10.08) + c(101.6064)$$

$$90 = a + b(19.08) + c(364.0464)$$

En el programa Math Cad se calcula el sistema de ecuaciones formando una matriz para facilitar el cálculo.

$$Q := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 10.08 & 101.6064 \\ 1 & 19.08 & 364.0464 \end{pmatrix}$$

$$H := \begin{pmatrix} 126 \\ 120 \\ 90 \end{pmatrix}$$

$$R := \text{lsolve}(Q, H)$$

$$R = \begin{pmatrix} 126 \\ 0.851 \\ -0.144 \end{pmatrix}$$

$$a := 126$$

$$b := 0.851$$

$$c := -0.144$$

Se sustituyen estos valores en la ecuación 3.10., quedando de la siguiente forma:

$$H \text{ bomba} = 126 + 0.851 * Q - 0.144 * Q^2$$

### **Determinaciones prácticas de consumo de agua.**

Con la finalidad de determinar las pérdidas hidráulicas como también caracterizar la ecuación de la red, se realizaron aforos en algunos puntos de la instalación hidráulica. Para ello se midieron tiempos de llenado en envases de 5 galones en tomas de lavabos y duchas escogidas en cada piso como también en tanques de 55 galones en líneas hidráulicas de 4, 3, 2.5 y 2 pulgadas, con lo cual se determina el caudal promedio de cada aforo, el mismo que se multiplica por el número de tomas (lavabos, duchas, servicios) y por el 10% (valor referente a que en un hospital no todas las tomas están usándose en un mismo tiempo - Hernández Alberto 2004), de tal forma la ecuación de cálculo quedaría de la siguiente forma:

$$Q \text{ tramo} = \text{No. De tomas} * \text{Caudal medio determinado} * 0.10 \quad 3.10$$

En la tabla 3.4 esta condensado las mediciones y cálculos basados: en los anexos que detallan la cantidad de tomas del hospital así como de los esquemas detallados en Anexos, los mismos que sirvieron para encontrar las pérdidas y las resistencias de los tramos, para los pisos 2,3 y 4, en la misma tabla se ubico los consumos determinados en la planta baja y primer piso, de acuerdo a aforos como también a datos de placa de los equipos.

En la tabla 3.4. Se puede apreciar que el caudal medio determinado experimentalmente disminuye al ascender hacia el piso superior, fenómeno que se explica por el incremento de las resistencias hidráulicas.

De acuerdo a las mediciones experimentales realizadas el caudal para el ramal norte es de 0.00201 m<sup>3</sup>/s (32 GPM) y para el Sur es de 0.00220 m<sup>3</sup>/s (35 GPM) (Tabla 3.4), la suma de estos dos gastos es de 0.00422 m<sup>3</sup>/s (67 GPM).

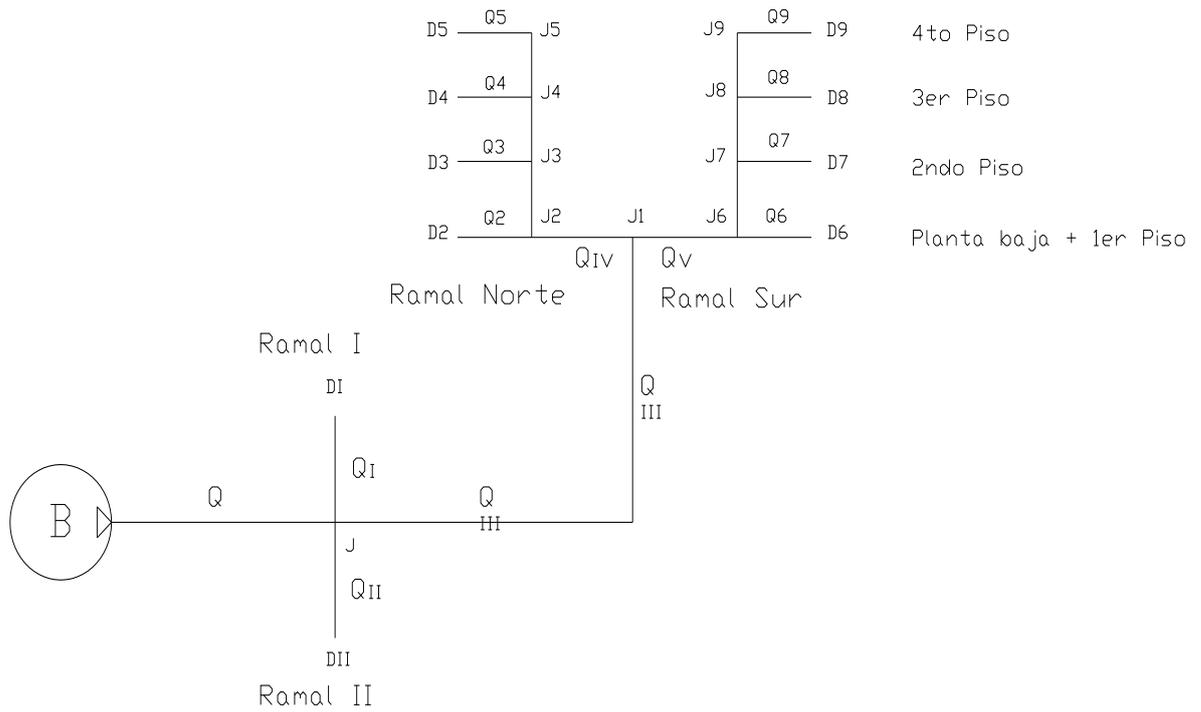
Si a este valor sumamos los gastos en caldera e intercambiador de calor se tiene  $0.00504 \text{ m}^3/\text{s}$  (80 GPM) que es el gasto total de la instalación.

**TABLA 3.4. CAUDALES POR NÚMERO DE TOMAS**

	RAMAL NORTE			RAMAL SUR		
1er. Piso y PB	Caudal: $0.00082 \text{ m}^3/\text{s}$			Caudal: $0.0015 \text{ m}^3/\text{s}$		
2do. Piso		No. Tomas	Caudal $\text{m}^3/\text{s}$		No. Tomas	Caudal $\text{m}^3/\text{s}$
Caudal medio determinado experimentalmente= $0.00007380 \text{ m}^3/\text{s}$	Derecha	49	0.000360	D	19	0.00014
	Izquierda	12	0.000088	I	28	0.00020
3er. Piso		No. Tomas	Caudal $\text{m}^3/\text{s}$		No. Tomas	Caudal $\text{m}^3/\text{s}$
Caudal medio determinado experimentalmente= $0.00006939 \text{ m}^3/\text{s}$	Derecha	42	0.000290	D	9	0.000062
	Izquierda	18	0.000124	I	8	0.000055
4to. Piso		No. Tomas	Caudal $\text{m}^3/\text{s}$		No. Tomas	Caudal $\text{m}^3/\text{s}$
Caudal medio determinado experimentalmente= $0.00006308 \text{ m}^3/\text{s}$	Derecha	26	0.00016	D	19	0.000119
	Izquierda	24	0.000151	I	18	0.000113

### Modelo matemático de la red

Para obtener el modelo matemático de la red, es necesario determinar las resistencias entre nodos de acuerdo a la figura 3.2 que es el esquema simplificado de la red hidráulica del hospital con la sumatoria en serie y en paralelo de las resistencias para cada piso y cada ramal. En la tabla 3.5 se expone las resistencias acorde a la figura anteriormente señalada.



**FIG. 3.2. Esquema simplificado de la red con la utilización de nodos**

**TABLA 3.5 CUADRO DE RESISTENCIAS POR PISOS**

PISO	RESISTENCIA $m^5.s^2$			
	RAMAL NORTE		RAMAL SUR	
PB Y 1º PISO	$K_{(J2-D2)}$	$K_{(J1-J2)}$	$K_{(J6-D6)}$	$K_{(J1-J6)}$
	91991	13860	19650	20290
2º PISO	$K_{(J3-D3)}$	$K_{(J2-J3)}$	$K_{(J7-D7)}$	$K_{(J6-J7)}$
	812396	15640	545759	15640
3º PISO	$K_{(J4-D4)}$	$K_{(J3-J4)}$	$K_{(J8-D8)}$	$K_{(J7-J8)}$
	963996	15640	932520	15640
4º PISO	$K_{(J5-D5)}$	$K_{(J4-J5)}$	$K_{(J9-D9)}$	$K_{(J8-J9)}$
	2137670	50150	1706090	50150

De la aplicación de Bernouilli entre dos puntos de una red hidráulica ramificada se puede obtener el conjunto de ecuaciones de todo el sistema dividido en pequeñas secciones y limitado por nodos:

La ecuación general se expresa a continuación:

$$E_s + H_{nec} = E_J + K_{(S-J)} * Q^2 + E_p \quad 3.11$$

Del nodo J al deposito D<sub>I</sub>

$$E_J = E_I + K_{(J-DI)} * Q_I^2$$

Del nodo J al deposito D<sub>II</sub>

$$E_J = E_{II} + K_{(J-DII)} * Q_{II}^2$$

Del nodo J al nodo J<sub>1</sub>

$$E_J = E_{J1} + K_{(J-J1)} * Q_{III}^2$$

Con:  $Q_{III} = Q - (Q_I + Q_{II})$

$$E_J = E_{J1} + K_{(J-J1)} * [Q - (Q_I + Q_{II})]^2 \quad 3.12$$

$$Q_{III} = Q_{IV} + Q_V$$

Del nodo J<sub>1</sub> al nodo J<sub>2</sub>

$$E_{J1} = E_{J2} + K_{(J1-J2)} * Q_{IV}^2 \quad 3.13$$

Del nodo J<sub>2</sub> al deposito D<sub>2</sub>

$$E_{J2} = E_2 + K_{(J2-D2)} * Q_2^2$$

Del nodo J<sub>2</sub> al nodo J<sub>3</sub>

$$E_{J2} = E_{J3} + K_{(J2-J3)} * (Q_{IV} - Q_2)^2 \quad 3.14$$

Del nodo J<sub>3</sub> al deposito D<sub>3</sub>

$$E_{J3} = E_3 + K_{(J3-D3)} * Q_3^2 \quad - \quad 3.15$$

Del nodo J<sub>3</sub> al nodo J<sub>4</sub>

$$E_{J_3} = E_{J_4} + K_{(J_3-J_4)} * [Q_{IV} - (Q_2 + Q_3)]^2 \quad 3.16$$

Del nodo J<sub>4</sub> al deposito D<sub>4</sub>

$$E_{J_4} = E_4 + K_{(J_4-D_4)} * Q_4^2$$

Del nodo J<sub>4</sub> al nodo J<sub>5</sub>

$$E_{J_4} = E_{J_5} + K_{(J_4-J_5)} * [Q_{IV} - (Q_2 + Q_3 + Q_4)]^2 \quad 3.17$$

Del nodo J<sub>5</sub> al deposito D<sub>5</sub>

$$E_{J_5} = E_5 + K_{(J_5-D_5)} * Q_5^2$$

Si se quiere determinar por ejemplo el gasto que llega al depósito 3, se procede de la siguiente manera:

Sustituyendo 3.16 en 3.15:

$$E_{J_2} = E_3 + K_{(J_3-D_3)} * Q_3^2 + K_{(J_2-J_3)} * (Q_{IV} - Q_2)^2 \quad 3.18$$

Sustituyendo 3.18 en 3.14:

$$E_{J_1} = E_3 + K_{(J_3-D_3)} * Q_3^2 + K_{(J_2-J_3)} * (Q_{IV} - Q_2)^2 + K_{(J_1-J_2)} * Q_{IV}^2 \quad 3.19$$

Sustituyendo 3.20 en 3.13:

$$E_J = E_3 + K_{(J_3-D_3)} * Q_3^2 + K_{(J_2-J_3)} * (Q_{IV} - Q_2)^2 + K_{(J_1-J_2)} * Q_{IV}^2 + K_{(J-J_1)} * [Q - (Q_I + Q_{II})]^2 \quad 3.21$$

Sustituyendo 3.21 en 3.12:

$$E_S + H_{nec} = E_3 + K_{(J_3-D_3)} * Q_3^2 + K_{(J_2-J_3)} * (Q_{IV} - Q_2)^2 + K_{(J_1-J_2)} * Q_{IV}^2 + K_{(J-J_1)} * [Q - (Q_I + Q_{II})]^2 + K_{(S-J)} * Q^2 + Ep$$

Despejando a Q<sub>3</sub>:

$$Q_3 = \sqrt{\frac{E_S + H_{nec} - Ep - E_3 - K_{(J_2-J_3)} * (Q_{IV} - Q_2)^2 - K_{(J_1-J_2)} * Q_{IV}^2 - K_{(J-J_1)} * [Q - (Q_I + Q_{II})]^2 - K_{(S-J)} * Q^2}{K_{(J_3-D_3)}}}$$

Del nodo  $J_1$  al nodo  $J_6$

$$E_{J_1} = E_{J_6} + K_{(J_1-J_6)} * Q_V^2$$

El balance de masa en el sistema establece que:

$$Q = Q_I + Q_{II} + Q_{IV} + Q_V$$

$$Q_{IV} = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$Q_V = Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$$

Donde:

$Q_I, Q_{II}, Q_{IV}, Q_V$ : son los flujos que circulan en los ramales I, II, IV y V en  $[m^3/s]$ .

$Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, Q_7, Q_8, Q_9$ : son los flujos que circulan hacia los depósitos del 2 al 9 en  $[m^3/s]$ .

$E_s$ , es la energía por unidad de peso que el fluido posee en la succión.

$E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7, E_8, E_9$ : son las energías por unidad de peso que el fluido posee a la salida de las llaves al nivel de los consumidores respectivamente en  $[m]$ .

$E_{J_1}, E_{J_2}, E_{J_3}, E_{J_4}, E_{J_5}, E_{J_6}, E_{J_7}, E_{J_8}, E_{J_9}$ : son las energías en los nodos de ramificación  $J_1, J_2, \dots, J_9$  respectivamente, en  $[m]$ .

$K_{(S-J)}, K_{(J-J_1)}, K_{(J_1-J_2)}, K_{(J_2-J_3)}, K_{(J_2-2)}, K_{(J_3-3)}$ : son las constantes hidráulicas de las tuberías entre los nodos y las tuberías que llevan el fluido hasta el consumidor en  $[s^2/m^5]$ .

La determinación del régimen de trabajo de la instalación se realizó igualando la  $H_{nec} = H_{bomba}$ . La sustitución de la Ecuación 3.10 en 3.11 nos permite determinar el gasto de explotación de la instalación.

### 3.3. Cálculo para comprobar la ausencia del fenómeno de la cavitación de la bomba.

Según Karassik Igor 1985, para comprobar la ausencia de cavitación se debe cumplir:

$$NPSH_A > NPSH_R$$

Donde:

$$NPSH_A = Patm + Hs + Heva + \Sigma H_{tol} \quad 3.20$$

Patm: Presión atmosférica.

Hs: Altura de succión

Heva: Tensión de vapor.

$\Sigma H_{tol}$ : Perdidas en la tubería de succión.

$$NPSH_A = 8.13 \text{ m.c.a} - 1.00 \text{ m} - 0.2 \text{ m} - 0.0031339 \text{ m.c.a}$$

$$NPSH_A = 6.926 \text{ m.c.a.}$$

Por medio del catalogo de la bomba obtenemos la curva del  $NPSH_R$  y su valor para el gasto nominal de la bomba:

Donde:

$$NPSH_R = 1,891 \text{ m.c.a}$$

Se comprueba que no existe el fenómeno de la cavitación, ni tampoco existen evidencias físicas en los impelentes de la bomba.

### 3.4. Calculo para determinar el rendimiento, potencia, y energía de la bomba.

#### Determinación de la eficiencia.

$$\eta_{tr} \geq 0.9\eta_n \text{ Condición para la eficiencia.}$$

$$\eta_{tr} \geq 0.9 \times 0.48$$

$$\eta = 0,48 \text{ eficiencia máxima.}$$

$$\eta_{tr} \geq 0.432$$

Potencia de la bomba.

$$N = \frac{Nu}{\eta} = \frac{\text{Potencia. util}}{\text{rendimiento de trabajo}} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta} \quad 3.21$$

$$N = 9800 \cdot 0.00504 \cdot 120 / 1000 \cdot 0.432 \quad 3.22$$

$$N = 13.72 \text{ Kw. } 1 \text{ Kw} / 0.746 \text{ Hp} = 20 \text{ Hp.}$$

Consumo de Energía

THUESMAN MONTAÑO PERALTA

$$E = N.t \quad 3.23$$

N: Potencia, Kw.

t: Tiempo, h.

$$E = 13.72 \text{ Kw.} \times 24\text{h}$$

$$E = 329.28 \text{ Kw. h}$$

Consumo específico de energía.

$$E_c = \frac{E}{Q} \quad 3.24$$

E: Energía Consumida.

Q: Caudal.

$$E_c = 329.28 \text{ KwH}/18.41 \text{ m}^3/\text{h} \times 24\text{H}$$

$$E_c = 0.745 \text{ Kw.h/m}^3$$

La potencia que entrega el motor al eje de la bomba se determina por la siguiente expresión:

$$N_e = \frac{\sqrt{3}.V.I.\text{Cos}\Theta.E}{1000} \quad 3.25$$

Donde:

V: Tensión, unidad el voltio

I: Corriente, unidad el amperio.

E: Energía, unidad el Kwh

Cos  $\Phi$  = Factor de potencia, también llamado coseno fi.

$$N_e = \frac{\sqrt{3} \times 460 \times 29.5 \times 0.8 \times 329.28}{1000} = 6191 \text{ Kw}$$

### 3.5. Propuesta para el mejoramiento del sistema de bombeo.

Después de haber realizado los respectivos cálculos en todo el sistema de bombeo estamos en capacidad de proponer una alternativa para el mejor funcionamiento del sistema de bombeo, disminuyendo el alto consumo energético, mejorando su rendimiento, y el desperdicio del líquido vital como es el agua ya que en la actualidad es tanpreciado.

Debido a esto proponemos colocar una bomba de 20Hp y la bomba de 25 Hp que funcionaría como auxiliar, un motor eléctrico nuevo, y como principal variación colocaremos un variador de frecuencia que funcionara, en determinadas horas, variando la frecuencia por lo tanto variando el caudal sin afectar el consumo de agua para la institución ya que a partir de las 6 p.m. de la tarde el consumo baja a casi el 50% del consumo normal.

La bomba que hemos escogido para el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua del hospital Isidro Ayora después de haber realizado los cálculos necesarios es una bomba centrífuga de eje vertical marca Gould. Con un costo de 6539 USD. Es recomendable para toda instalación colocar otra bomba de iguales características en paralelo, para ponerla en funcionamiento en caso de parada por mantenimiento de la principal, o por avería o cualquier eventualidad. Las bombas tendrán las siguientes características dadas por el fabricante:

Bomba centrífuga de eje vertical, con un diámetro de succión e impulsión de 0.1016 m equivalente a 4" con una altura de trabajo de 150 m.c.a para todo el sistema. Con las bocas de aspiración y succión en línea: Impulsor cerrado. Sellado por cierre mecánico. Versión automática ILCS que incorpora una bomba auxiliar de cebado. Motor normalizado I.E.C. Para fluidos limpios o ligeramente agresivos, sin abrasivos ni partículas sólidas.

Antes hablaremos de las ventajas y desventajas de utilizar un variador de frecuencia en la presente instalación. Los variadores de frecuencia allí donde las condiciones de caudal fluctúan o donde hay necesidad de controlar la presión, temperatura, nivel, golpe hidráulico.

### **Variador de Frecuencia.**

En aplicaciones donde intervienen bombas, tales como estaciones de bombeo, podemos mantener un parámetro constante en función de la velocidad de la bomba. No obstante la decisión de utilizar un variador en una instalación debe estar basada en un completo entendimiento del impacto de este sobre la instalación.

Las principales ventajas de utilizar un variador de frecuencia tenemos: mantener siempre constante el parámetro a controlar, control continuo. Reducción de la potencia absorbida por el motor en función de la disminución de velocidad de la bomba. Compensación de la potencia reactiva de la bomba. Disminución de las averías mecánicas y eléctricas. Reducción del coste de la obra civil en los sistemas de bombeo. Control del fenómeno del choque hidráulico. Pero, sin duda alguna el factor más importante es el ahorro de energía eléctrica en el sistema de bombeo.

Este ahorro se produce, en aplicaciones en donde el requerimiento es proporcional al cuadrado de la velocidad y la carga no requiere que la bomba trabaje a la máxima velocidad de forma continuada. Este tipo de carga es común en aplicaciones de bombas centrífugas. Con este tipo de carga, la potencia consumida es proporcional al cubo de la velocidad en el eje de la bomba, y el caudal es aproximadamente proporcional a la velocidad en el eje.

De esta manera se pueden conseguir significativos ahorros de energía a través de la variación de la velocidad en contraposición con los métodos más tradicionales como el de estrangulación de bombas o by-pass.

Como ya se ha mencionado el variador controla el caudal de agua que pasa a través de las bombas. En el caso concreto debe mantener la presión constante que necesite el sistema de bombeo, además controla el arranque/paro de las bombas fijas, así como también su alternancia en el turno de trabajo, encargándose de que ambas bombas trabajen la misma cantidad de tiempo. Los dos arrancadores realizan un arranque suave y para totalmente controlado evitando el golpe de ariete. También protegerán al motor eléctrico y al conjunto hidráulico de la instalación en general ya que son capaces de detectar si la bomba se queda sin agua, o esta bloqueada, si esta girando al revés, etc.

Los elementos que complementan al variador son un transductor de presión que informa al variador de la presión existente en la instalación, lo cual es de gran ayuda para la presente instalación ya que esto nos permite eliminar el golpe de ariete. Al primer indicio de que la presión empiece a elevarse.

### **Circuitos que conforman un variador de frecuencia.**

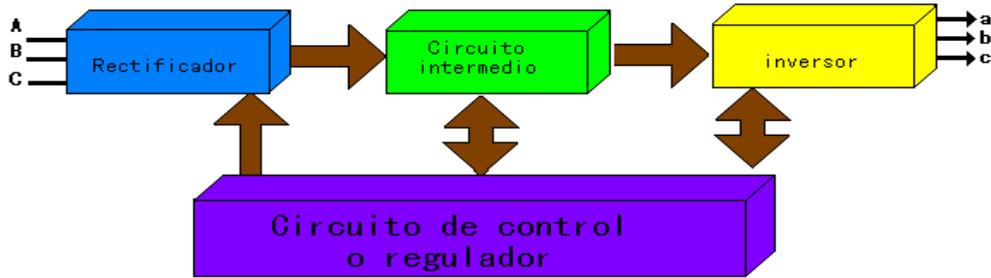
El elemento que le sigue en la formación del lazo de control de velocidad es el propio convertidor de frecuencia. Sobre esto por su complejidad haremos alusión a algunos aspectos fundamentales de los mismos. Es bueno destacar que el tema de los convertidores de frecuencia es bastante complejo y extenso. Como tal no es primordial de este trabajo hacer una descripción exacta de los variadores de velocidad, por ello este enfoque teórico se limita a dar una breve explicación de los módulos que lo componen, de la técnica de conmutación que se emplea en el inversor (GPD515) y de las características U/F. Todos ellos de vital importancia para la correcta selección del mismo.

Los variadores de frecuencia no son más que fuentes de corriente alterna (CA) que a partir de una tensión y frecuencia constante de entrada (A,B,C) entregan a su salida una tensión y frecuencia variable (a,b,c).

Las técnicas para la obtención de las mismas son muy diversas y cada una tiene sus propias particularidades. Pero en todos los casos; el principio eléctrico se basa en convertir la señal alterna de entrada en una señal de corriente directa, y desde esta a una señal alterna pero variable en amplitud y fases. Para lograr esto los variadores de frecuencia se forman por tres subconvertidores clásicos que son: El rectificador, el circuito intermedio y el inversor.

El objetivo principal es que a la salida del inversor se obtenga un voltaje variando la amplitud de la frecuencia variable. Es posible obtenerlo variando la amplitud y la frecuencia en el inversor, en ese caso el rectificador y el circuito intermedio entregan magnitudes constantes.

Una segunda posibilidad es que el inversor sólo se varíe la frecuencia, en ese caso la amplitud se varía en el rectificador o en el circuito intermedio. Ahora; si se realiza en el circuito intermedio, un interruptor pulsatorio delante del filtro varía el voltaje. Si se realiza en el rectificador este deberá ser controlado para que permita la variación del voltaje. Ver figura 3.2.



**Figura 3.2. Circuito del variador de alcance.**

### **Clasificación Actual de los variadores de frecuencia.**

Actualmente casi todos los variadores de frecuencia son electrónicos y pueden ser directos e indirectos. Los primeros, también llamados ciclo convertidores, producen una tensión alterna uniendo fragmentos de sinusoides procedentes de las distintas fases del suministro. Los convertidores más habituales (los únicos a los que se le hará referencia a partir de ahora) son los indirectos.

Los convertidores indirectos se dividen en:

- Convertidores de fuente de voltaje (voltaje source inverte o VSI).
- Convertidores de fuente de corriente (Courrent Source Invertir o CSI).

Los convertidores de voltaje se dividen a su vez según la modulación utilizada en el inversor en:

- Modulación por el valor de amplitud del pulso (Pulse Width Modulation o PAM).
- Modulación por ancho de pulso (Pulse Width Modulation O PWM).

Por las peculiaridades de cada uno de los subconvertidores que componen a los variadores de velocidad, expondremos una breve explicación de los mismos.

El sistema de accionamiento que lo compone. Al ser un motor de jaula de ardilla de corriente alterna trifásico el que viene acoplada con el mecanismo Bomba, el accionamiento eléctrico, se clasifica en un accionamiento eléctrico de corriente alterna trifásico con motores de inducción, este motor con las

exigencias de la carga y del método de control de velocidad, excelente graduación y el mismo puede resultar muy económico.

La potencia y el régimen de carga. La potencia demandada al motor está definida de las características de la propia bomba, ya que entre los dos no media ningún otro elemento. La aplicación de bombeo es con régimen continuo, es decir que trabaja los 365 días del año.

El régimen de arranque y frenado. En esta aplicación no es tan importante porque apenas se realizan paradas y arrancadas de los mismos. El régimen continuo establece apenas un 0,4% del tiempo de paradas y arrancadas normales comparadas con el tiempo que se mantiene trabajando el motor.

La red de suministro, las bombas es parte de los equipos tecnológicos del sistema, acopladas a un motor de corriente alterna trifásica, por lo que la red de suministro es una red trifásica. En efecto la misma es alimentada desde un tablero de potencia.

### **Selección del convertidor de frecuencia.**

El conjunto motor y equipo accionado representa un importante campo como objetivo de la gestión de la demanda eléctrica cuando el equipo accionado trabaja en condiciones de carga variable. La variación del flujo es un típico ejemplo en este caso.

La selección adecuada del conjunto convertidor – motor es uno de los puntos clave para un buen análisis energético, ya que este convertidor a través del motor eléctrico logra variar el flujo de salida de la bomba.

Primeramente para seleccionar el convertidor el primer punto a analizar es verificar cual característica corresponde, en nuestra aplicación. Evidentemente estamos hablando de bombas centrífugas, nos estamos refiriendo a características de par cuadrático, donde responde a las leyes de proporcionalidad. Es muy importante definir esto antes de seleccionar dicho variador, puesto que los precios y las ventajas técnicas entre los diferentes variadores y las diferentes aplicaciones son considerables.

La selección de estos convertidores se hace partiendo directamente de los datos nominales del motor, ya que ellos disponen de protecciones y capacidades de sobrecargas limitadas en tiempo, que permiten atendiendo a estos valores ajustar los mismos para diferentes aplicaciones. Para este tipo de accionamiento fue utilizado el método por potencia, corriente y tabla de los fabricantes, para la selección del convertidor de frecuencia.

Los datos del convertidor de frecuencia son:

MARCA	MODELO	FRECUENCIA	POTENCIA VARIADOR DE FREC.	CAPACIDAD	DIAPASON DE FRECU.	CORRIENTE ADMISIBLE	FRECUENCIA DE SALIDA
Magnetek	GPD515C – B128 to B302	50/60 HZ	12 – 55 Hp	98 KVA	Hasta los 400 Hz	128 A	0 – 400 HZ

Estos datos fueron escogidos del Technical Manual GPD 515, donde la potencia escogida de dicho variador es mayor que la potencia del motor y la corriente admisible es mayor que la del motor.

Para encontrar la frecuencia a la que debe girar el motor y por lo tanto la bomba en las horas pico a partir de la 6 p.m. hasta las 6 a.m., produciendo dentro del sistema la variación del caudal bombeado por la bomba, utilizaremos las siguientes fórmulas:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \tag{3.26}$$

Trabajaremos con los siguientes datos:

Q<sub>1</sub>: 40 m<sup>3</sup>/h; Q<sub>2</sub>:20 m<sup>3</sup>/h, 15 m<sup>3</sup>/h, 10 m<sup>3</sup>/h

η<sub>1</sub>: 3500 r.p.m; η<sub>2</sub>: 1750 r.p.m, 1312.5 r.p.m, 875 r.p.m

Tenemos ya la velocidad necesaria para diferentes caudales ahora encontraremos la frecuencia para estos distintos gastos:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{f_1}{f_2} \tag{3.27}$$

Obtenemos que para  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  la frecuencia de trabajo es de  $60 \text{ Hz}$ , por lo tanto aplicando la fórmula tenemos que: la frecuencia de trabajo para  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  es de  $45 \text{ Hz}$ , y para  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  es de  $30 \text{ Hz}$ , que podría ser la más recomendable a partir de las 21H00 p.m. para el funcionamiento del Hospital.

Estas son las frecuencias que necesitamos para bajar la velocidad y el gasto de las bombas y así disminuir el costo por consumo eléctrico.

### **Ajuste del convertidor de frecuencia.**

Como se explicó anteriormente los malos ajustes de un lazo de control, deben de ser tomados en cuenta, al programar a estos, puesto que estos traería valores inadecuados en la variable de salida, para evitar esto se debe tener una correcta variación de todos los datos de ajuste del convertidor de frecuencia.

- Se debe introducir los datos nominales del motor en caso de que el variador ya haya sido mal seleccionado y sea de potencia de salida menor que la del motor, automáticamente en las pruebas de autotest ( comprobación de la resistencia interna del estator), el convertidor indicará señales de advertencia de posibles fallas en el funcionamiento. En este caso como el convertidor de frecuencia y el motor son de igual potencia, al introducir los valores del motor eléctrico, el convertidor hace una comprobación de los valores nominales para él.
- Parametrización de los niveles máximos y mínimo de velocidad (frecuencia), estos límites se corresponden con los valores deseados del flujo. Se ajusta como velocidad máxima la velocidad del motor de corriente alterna, y como mínima un 10% del flujo mínimo deseado.
- Rampas de aceleración y desaceleración, Por defecto viene para un tiempo de 10 segundos en el arranque y frenado, esto se reduce para mejorar la rapidez de respuesta de dicho convertidor.
- Método de control. Como estamos frente a una aplicación de par constante, el método escogido es controlar la variación de tensión /frecuencia, ya que es el idóneo para lograr en estas aplicaciones el ahorro energético deseado, el ajuste de la curva U/F se escoge no lineal.

- Reforzamiento del par a baja velocidad. Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema convertidor de frecuencia / motor eléctrico, a bajas revoluciones se ajusta en el convertidor un parámetro que permite un reforzamiento de voltaje de salida de forma no lineal con la velocidad, esto es muy importante para el convertidor de frecuencia ajustados con U/F.
- Ajuste de máxima sobrecarga del convertidor de frecuencia al 150% del momento nominal durante 60 segundos. Con esto se garantiza la protección del motor, o las posibles sobrecargas que puedan trabajar en el mecanismo.
- Frecuencia de conmutación del inversor. Para aplicaciones de par cuadrático donde la inercia del mecanismo ayuda al propio comportamiento dinámico del motor, se aconseja que la conmutación no sea mayor de 7,5 KHz (frecuencia de la onda triangular, lográndose con esto una forma de onda de la corriente prácticamente sinusoidal.
- Sobrecargas en condiciones normales. Se ajusta el parámetro no mayor del 100%, este ajuste se hace a este nivel ya que se ha comprobado que los motores de corriente alterna trabajan entre el 70% y el 80% de su carga nominal, garantizándose así una protección de sobrecarga de alrededor del 15%.

A continuación realizamos los cálculos para encontrar el motor para el variador de frecuencia el cual es de marca Magnetek para un voltaje de 460 voltios y un valor de 5700 USD

Primero encontramos el torque del motor:

$$\text{Torque.de.carga} = \frac{\text{Potencia}}{\text{velocidad}} = \frac{13.72 \text{ Kw}}{2161.26 \text{ rpm}} = 0.0063 \text{ N.m} \quad 3.28$$

$$\text{torque.no min al} = \frac{13.72 \text{ Kw}}{3500 \text{ r.p.m}} = 0.0039 \text{ N.m} \quad 3.29$$

Encontramos la relación de torque de carga para el torque nominal:

$$\frac{T_c}{T_n} = \frac{0.0072}{0.0039} = 1.62$$

3.30

Con este factor de 1.62 podemos encontrar la potencia del motor requerido para que pueda funcionar el variador de frecuencia:

$$Potencia.del.motor = 1.62 \times 13.72 Kw = 22.22 Kw.$$

Como podemos observar la potencia requerida para el motor de la bomba es de 22.22Kw equivalente a un motor de 29.7 Hp. El cual tendrá que ser adquirido. En este caso se da un margen de seguridad necesario, según como lo crea conveniente el diseñador. Y según los estándares de venta de los fabricantes, tendríamos un motor de 30HP.

Como conclusión podemos decir cuando utilizamos bombas con sistema de arranque convencional, el volumen de la estación vendrá limitado por el número de arranques que pueda efectuar el motor de la bomba. Así como por las características de la instalación (caudales entrantes, curvas de las bombas, etc).

El consumo energético de la estación si esta equipado con variadores de frecuencia es sensiblemente inferior. Normalmente casi todos los sistemas de bombeo que se proyectan en la actualidad son de tres bombas, dos que trabajan con mayor regularidad y una tercera para emergencias; en ese caso, se pueden utilizar dos bombas con variador de frecuencia y la de emergencia con arrancadores estáticos, de este modo podemos adaptarnos a cualquier modulación de caudal de entrada. Para nuestro caso hemos recomendado dos bombas.

Estudiando otros caudales podemos observar que la combinación de dos variadores de frecuencia siempre es más ventajosa desde el punto de vista energético que con bomba fija y otra variable. Para comprobar esto último hay que hacer un estudio minucioso de las curvas de las bombas y los caudales a bombear desde el punto de vista de mantenimiento, los variadores pueden hacer que las bombas trabajen el mismo número de horas y ellos mismos pueden automatizar una estación de bombeo sin la necesidad de autómatas programables, lo que minimiza la intervención por varias compañías quedando

reducida únicamente a la del variador y el instalador. En el supuesto que utilicen dos variadores y un arrancador estático en un sistema de bombeo, si se produjera una avería, el sistema podría seguir trabajando sin ningún problema, con un variador y un arrancador estático.

### **3.5. Conclusiones parciales**

1. El cálculo verificativo de explotación en la instalación demuestra que las bombas están sobredimensionadas; porque existe una potencia de 18.648 Kw y para las condiciones de explotación son necesarias 13.72 Kw.
2. El elevado consumo de energía se produce debido al sobredimensionamiento de las bombas en el sistema; inapropiado mantenimiento desde su funcionamiento; no existe un control de regulación en función de la demanda del hospital.
3. Se comprobó que el estado técnico de las tuberías presentan incrustaciones que han provocado en algunos tramos la disminución del diámetro de la tubería que incrementa el coeficiente de resistencia hidráulica y los costos de explotación y mantenimiento.
4. Se propone una metodología de cálculo para diseñar y evaluar las pérdidas hidráulicas en las tuberías y determinar el sistema de bombeo requerido sobre la base de un conjunto de ecuaciones validadas en el presente trabajo.

## CAPITULO 4. Evaluación técnica económica.

### 4.1. Determinación del costo de m<sup>3</sup> de agua para el esquema actual.

#### Gasto anual por consumo eléctrico.

$$g_{elect} = \frac{Ta..N.Kp.t}{\eta} n \quad 4.1$$

Donde:

Ta: Tarifa de corriente eléctrica 1Kwh: 0.10USD

N: Potencia consumida por el motor durante la transportación del líquido Kw.

Kp: Coeficiente de pérdida: 0.4.

t: Cantidad de horas de funcionamiento al año.

$\eta$ : Rendimiento %.

n: Número de bombas.

$$g_{elec} = \frac{0.10..x18.65x0.4x8640}{0,43} x1$$

$$g_{elec} = 14989.39535 \text{ USD}$$

Esto quiere decir que cada mes se paga 1249,1162 USD.

Se hace el cálculo únicamente para una bomba debido a que funciona una solo bomba de las tres para bombeo de agua durante todo el día y la noche se ha estimado todas las horas del año calendario.

#### Gasto anual por consumo de salario del personal directo a la estación de bombeo.

$$g_s : (ta).(tn.kss.kdr.kpc).n \quad 4.2$$

Donde:

ta: Tarifa de salario del operario.

tn: Tiempo de trabajo h.

Kss: Coeficiente de seguridad social.

Kdr: Coeficiente de descanso retribuido.

Kpc: Coeficiente de pago retribuido.

n: Número de personal.

$$K_{pc} = 1 + \frac{C}{100} \quad 4.3$$

$$K_{pc} = 1 + \frac{4,5}{100}$$

$$K_{pc} = 1.045$$

$$gs = (100) \times (2880 \times 0.019138 \times 1.045 \times 1.045) \times 2$$

$$gs = 11520 \text{ USD}$$

#### **Gasto de amortización de las bombas.**

$$g_{amort} = \frac{Ng \cdot I}{100} n \quad 4.4$$

Donde:

Ng: Tasa de amortización del 6%.

I: Valor Inicial de las bombas.

n: Número de bombas.

$$g_{amort1} = \frac{6 \times 2000}{100} \times 3$$

$$g_{amort1} = 360 \text{ USD}$$

#### **Gasto de amortización de la tubería y soporte.**

$$g_{amort2} = \frac{Ng \cdot It}{100} \quad 4.5$$

Ng: Tasa de amortización.

It: Valor inicial de las tuberías y soportes.

$$g_{amort2} = \frac{6 \times 15000}{100}$$

gamort2= 900USD

### **Gastos Unitarios Variables.**

$$V = gs + gelec \quad 4.6$$

$$V = 11520 + 14989,395$$

$$V = 26509,395 \text{ USD}$$

### **Gastos fijos globales.**

$$F = amort1 + amort2 \quad 4.7$$

$$F = 360 + 900$$

$$F = 1260 \text{ USD.}$$

### **Costo de explotación del líquido a transportar.**

$$Gb = V + F \quad 4.8$$

$$Gb = 26509,365 + 1260$$

$$Gb = 27769.365 \text{ USD}$$

### **Gasto de explotación de una instalación de bombeo para transportar 1m<sup>3</sup> de agua a 1000 m de distancia.**

$$G_{exp} = \left( \frac{Gb \cdot L}{Q} \right) n \quad 4.9$$

Donde:

n: Número de bombas.

Q: Caudal de trabajo de las bombas en un año.

$$G_{exp} : \left( \frac{27769.3 \times 0.8055}{156384} \right) \times 1$$

$$G_{exp}: 0.14 \text{ USD}$$

Por medio de este parámetro podemos darnos cuenta lo costosa que resulta mantener en funcionamiento esta instalación, por lo que a continuación buscaremos una alternativa para disminuir los gastos de explotación. Ver tabla 4.5.

**Gasto por mantenimiento.**

$$gmant = gmone + gma \quad 4.10$$

Donde:

gmone= Gastos monetarios del personal.

gma= Gastos materiales.

Gastos materiales.

- 10 Sellos de las bombas a 35.7 USD, total 357 USD.
- 1 Rodamiento de la bomba 1, 122USD.
- 1 Rodamiento de la bomba 2, 85USD.
- 40 Kg de grasa, 2.06 USD.

Gasto total por materiales y mantenimiento es 566.06

**4.2. Determinación del costo inicial de la inversión.**

$$I = Iinv + Iinve + Imon \quad 4.11$$

Iinv= Costo de la investigación.

Iinve= Valor de la inversión.

Imon= Valor del montaje.

**Tabla 4.1. Gasto por el salario de ingeniería y proyecto.**

Categoría	Costo USD	Tiempo de operación	Costo Total. USD
Investigación	3.00	720	2160.00

**Tabla 4.2. Gasto por el costo de equipos.**

Categoría	Potencia HP	Costo unitario USD	Unidades	Costo total USD
Bomba	20	6539.00	1	6539.00
Motor	30	1500.00	1	1500.00

Variador de frecuencia	9 - 42	5700	1	5700.00
			$\Sigma$ Total	13739.00

**Tabla 4.3. Gasto por montaje.**

Categoría	Cantidad	Tarifa USD	Tiempo de Operaciones	Costo.USD
Mecánico A	3	2.50	14	35
Mecánico C	3	1.50	14	21
Eléctrico	3	3.00	12	36
Ayudante	4	1.00	14	14

El gasto por montaje será de 106 USD.

**Tabla 4.4. Costo total de la inversión.**

Proyecto de ingeniería	2160.00 USD
Equipos	13739.00 USD
Montaje	106.00 USD
Total	16005.00 USD

**Cálculo de la eficiencia económica de la inversión.**

$$E = G_{exp1} - G_{exp2} \quad 4.12$$

$G_{exp1}$ : Gastos de explotación de la instalación actual.

$G_{exp2}$ : Gastos de explotación estimado de la variante propuesta.

**Gastos de amortización de las bombas para la variante.**

$$g_{amort} = \frac{Ng \cdot I}{100} n \quad 4.13$$

$$gamort = \frac{6 \times 6539}{100} \cdot 1 = 392.3 \text{ USD}$$

**Gasto anual por consumo eléctrico para la variante.**

$$gelect = \frac{Ta \cdot N \cdot Kp \cdot t}{\eta} \cdot n \quad 4.14$$

$$gelect = \frac{0.10 \times 14.92 \times 0.4 \times 8640}{0.65} \cdot 1$$

$$gelect = 7932.8492 \text{ USD}$$

**Gasto anual por consumo de salario del personal directo a la estación de bombeo para la nueva variante.**

$$gs : (ta) \cdot (tn \cdot kss \cdot kdr \cdot kpc) \cdot n \quad 4.15$$

Para esta nueva variante debido a que con la instalación de los nuevos equipos: bomba, motor, variador, se mejora notablemente el rendimiento del sistema, creemos necesario que únicamente se necesita una sola persona para el mantenimiento del sistema.

$$Kpc = 1 + \frac{C}{100} \quad 4.16$$

$$Kpc = 1 + \frac{4,5}{100}$$

$$Kpc = 1.045$$

$$gs = (100) \times (2880 \times 0.019138 \times 1.045 \times 1.045) \times 1$$

$$gs = 5759.77 \text{ USD}$$

$$V = gs + gelect \quad 4.17$$

$$V = 7932.8492 + 5759.77 = 13692.619 \text{ USD}$$

$$Gb = V + F \quad 4.18$$

$$Gb = 13692.619 + 1292.34 = 14984.9592 \text{ USD}$$

**Gasto de explotación de la instalación de bombeo para transportar 1m<sup>3</sup> de agua por 1000 m de distancia para la nueva variante.**

$$G_{exp} = \left( \frac{Gb \cdot L}{Q} \right) \cdot n \quad 4.19$$

$$G_{exp} = \left( \frac{14984.9592 \times 0.8055}{156384} \right) \cdot 1$$

$$G_{exp} = 0.077 \text{ USD.}$$

### 4.3.- Comparación entre las variantes actual y propuesta.

En la tabla 4.5 se expone los valores entre la variante actual y la propuesta.

**Tabla 4.5. Resumen del costo de explotación para transportar agua 1m<sup>3</sup> a 1000 m.**

	Actual USD	Propuesto	Diferencia
Gasto de salario de personal	<b>11520.00</b>	<b>5759.77</b>	<b>(5760.22)</b>
Gasto por energía eléctrica	<b>14989.39</b>	<b>7932.84</b>	<b>(7056.54)</b>
Gastos por mantenimiento	<b>566.06</b>	<b>125.00</b>	<b>(441.00)</b>
Gastos por amortización de las bombas	<b>360</b>	<b>392.3</b>	<b>32.3</b>
Gastos por amortización de soportes y tuberías	<b>900</b>	<b>900</b>	<b>0</b>
Total Gb	<b>27769.36</b>	<b>14984.95</b>	<b>(12779.40)</b>
Gasto por 1m <sup>3</sup> a 769,2 m	<b>0.14</b>	<b>0.077</b>	<b>(0.063)</b>

### Cálculo de la efectividad económica de la inversión.

$$E = G_{exp_1} + G_{exp_2} \quad 4.20$$

$$E = 0.14 - 0.077$$

$$E = 0.063 \text{ USD}$$

### Tiempo de recuperación de la Inversión.

$$T = \frac{I}{V_p} \quad 4.21$$

**Valor de los beneficios.**

$$Vp = \sum_{n=1}^1 \frac{Bi}{(1+r)^n} = \frac{14315.6088}{(1+0.08)} = 10198.4883 \quad 4.22$$

$$T = \frac{16005}{10198.4883} = 1.5705 \text{ años}$$

El tiempo de recuperación de la inversión es en 1.57 años.

**Cálculo del valor actual neto.**

$$VAN = (\sum_{n=1}^5 \frac{Bi}{(1+r)^n} - \sum_{n=1}^5 \frac{Ci}{(1+r)^n}) \quad 4.23$$

Donde:

Bi: ingresos en el año en curso.

Ci: Egresos en el año en curso.

r: tasa de interés 8%.

n: cantidad de años.

$$Bi = Ch \cdot Q = 0.12 \text{ USD} \times 156384 = 187667 \text{ USD}$$

Ch= costo del m<sup>3</sup>

El precio normal del agua es 0.12 USD.

$$VAN = (\sum_{n=1}^5 \frac{18766}{(1+0.08)^5} - \sum_{n=1}^5 \frac{14984.92}{(1+0.08)^5}) =$$

$$VAN = 12766 - 10194$$

$$VAN = 2572 \text{ USD}$$

**Tabla 4.6. Costo de amortización y tiempo de servicio de la bomba.**

Amortización	Amortización Anual %	Gasto de amortización para los capitales	Costo por el cambio de bomba	Tiempo de trabajo en el año	Total de horas en trabajo de vida útil	Número de horas de trabajo durante toda su vida útil
Propuesta	24	8.0	16	6.2	8640	53568

Actual	38	9.4	28.6	2.5	8520	21300
Diferencia	14	1.4	12.6	(2.7)	(120)	32268

**Tabla 4.7. Costo de Amortización del sistema por horas de servicio.**

Costo	Total de bombas	Costo de una bomba USD	Costo total	Costo Horario	Costo anual
Propuesta	1	6539	6539	0.122	1654.08
Actual	3	2000	6000	0.2816	2399.23
Diferencia	2	4539	539	(0,1596)	(745.15)

5149.97 es el ahorro en todo el periodo anual por el número de horas de servicio.

#### **4.4. Conclusiones Parciales.**

En análisis económico revela que en los principales gastos de la instalación son provocados por los gastos energéticos y por los gastos por concepto de mantenimiento. Con la aplicación de la variante propuesta se ahorrarían 0.063 USD por cada m<sup>3</sup> de agua transportada, lo que daría un ahorro en los gastos de explotación de 9852.20 USD anual.

## CONCLUSIONES.

Después de haber realizado un análisis integral del sistema de abastecimiento de agua potable del Hospital Isidro Ayora de la ciudad de Loja. Hemos llegado a las siguientes conclusiones:

1. En la etapa de explotación de la instalación hidráulica del Hospital Isidro Ayora se confrontan dificultades con el trasiego de agua; así como problemas de baja eficiencia de dicha instalación, debido al sobre diseño de la instalación ya que el gasto actual de  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  corresponde a un número aproximado de 800 camas, según normas de diseño de la Organización Mundial de la Salud. El número de camas que se esta utilizando actualmente es de 243, teniendo en cuenta la norma de consumo de agua, la demanda sería de  $6.13 \text{ m}^3/\text{h}$ , no obstante este número de camas no es utilizado manteniéndose en un 60% de ocupación.
2. El sistema actualmente instalado conlleva a grandes pérdidas como también a un aspecto no operacional, ya que al estar alimentado por una matriz que se divide en dos ramales principales norte y sur; cuando existe una falla en un subramal tiene que suspenderse el servicio de agua debido a la forma constructiva de la red, por otro lado el tiempo de servicio implica un desgaste de la tubería de hierro galvanizado con lo que acrecienta las pérdidas en la transportación del fluido, con el correspondiente consumo elevado de energía, inapropiado mantenimiento; y no existe un sistema de regulación en función de la demanda del hospital.
3. El cálculo verificativo de explotación en la instalación demuestra que las bombas están sobredimensionadas; porque existe una potencia instalada de 18.648 Kw. y para las condiciones de explotación son necesarias 13.72 Kw.

4. El conjunto de correlaciones obtenidas permitió conformar un modelo matemático aplicado para la metodología de cálculo en la instalación de abastecimiento de agua potable del Hospital Isidro Ayora, que permitió evaluar la instalación, establecer el régimen racional de trabajo y seleccionar adecuadamente el equipamiento.
  
5. En análisis económico revela que en los principales gastos de la instalación son provocados por los gastos energéticos y por los gastos por concepto de mantenimiento. Con la aplicación de la variante propuesta se ahorrarían 0.063 USD por cada m<sup>3</sup> de agua transportada, lo que daría un ahorro en los gastos de explotación de 9852.20 USD anual.

## RECOMENDACIONES

Para el presente trabajo consideración las siguientes recomendaciones:

1. La experiencia acumulada en instalaciones similares han demostrado que se alcanza mayor eficiencia con el empleo de los hidroneumáticos con respecto a otras instalaciones, razón por la cual se recomienda el estudio de su aplicación en el presente caso.
2. Debido a que actualmente existen en el mercado nuevos tipos de tuberías tales como el PVC y el acero inoxidable que tienen menor coeficiente de fricción y que son usadas en la transportación de agua, se recomienda realizar un análisis técnico y económico para determinar cual es más viable en la instalación hidráulica del Hospital Isidro Ayora.
3. Aplicar los resultados obtenidos en el presente trabajo en el cálculo, diseño y evaluación en instalaciones similares en la República del Ecuador.

**BIBLIOGRAFÍA**

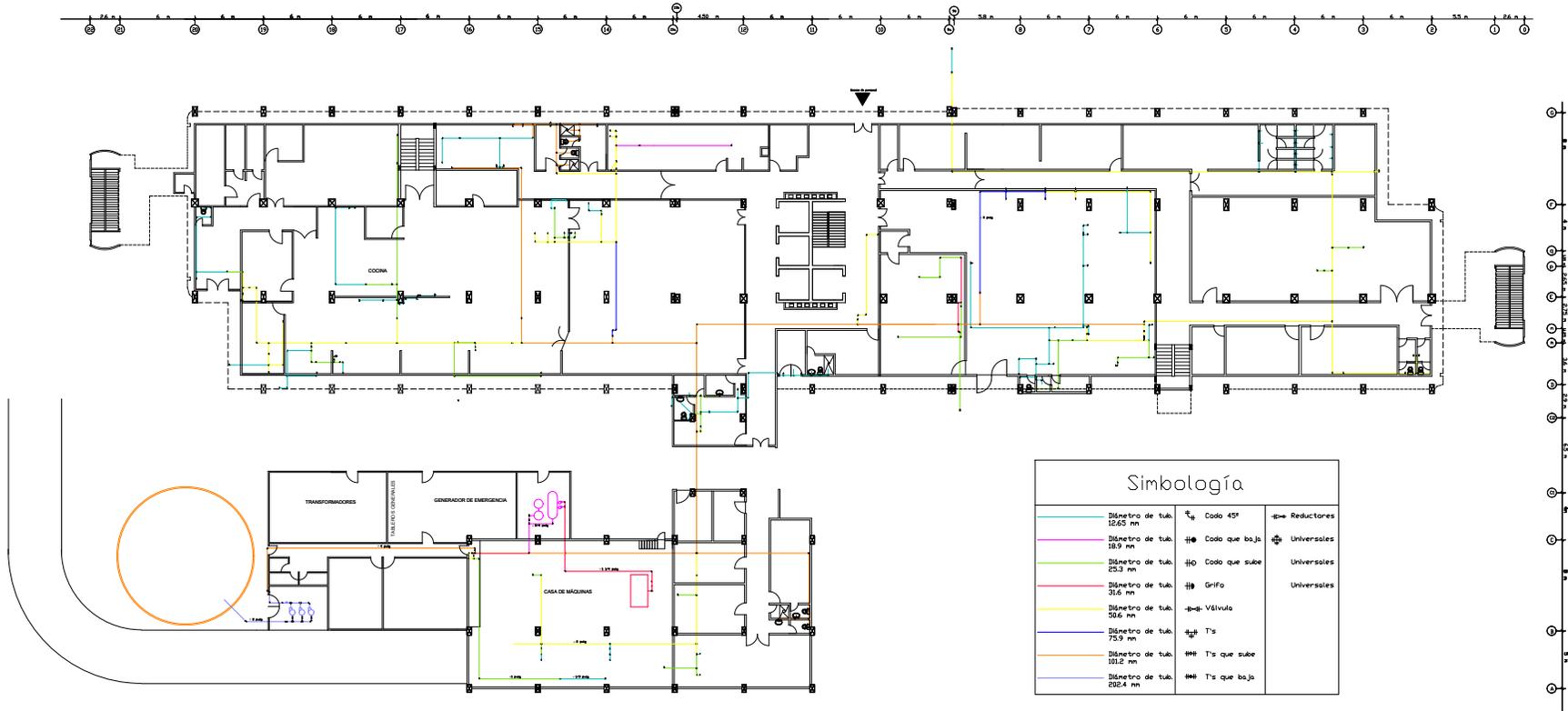
1. Nekrasov. B. Hidráulica. Editorial MIR. Moscú 1983.
2. Olivera, Mató A. Fundamentos de la teoría de circuitos I. Editorial Pueblo y Educación 1989.
3. Perea Franco D. Equipos de Bombeo. Editorial del Pueblo y Educación Ciudad de la Habana, 1985.
4. Parrado, Arguelles A. José. Elementos de Ingeniería de Sistemas y Controles Automáticos. Editorial Pueblo y educación 1986.
5. Pérez, F Diosdado. Equipos de Bombeo. Editorial Pueblo y educación, 1984.
6. Tuberías, Válvulas, Conexiones. Madrid, 1985.
7. Streeter Victor. Mecánica de los Fluidos. Editorial pueblo y educación. Ciudad de la Habana. 1988.
8. Hervis, L. Osvaldo. Manual del Mecánico de Bombas y Compresores. Ciudad de la Habana. Editorial Pueblo y Educación, 1981.
9. Robinovich. E.Z. Hidráulica. Editorial MIR. Moscú, 1983.
10. Igor.Karassik. Bombas centrífugas. Selección uso y mantenimiento. Tomo 1. Primera edición cubana, 1985.
11. Igor Karassik. Bombas centrífugas . Selección uso y mantenimiento. Tomo 2. Primera edición cubana, 1985.
12. Criterios de diseño para tuberías de PVC. [icc.uvc.cl/oooss/duratecvinilit.doc](http://icc.uvc.cl/oooss/duratecvinilit.doc).
13. Tuberías selección. [Html.rincondelvago.com/tuberías.html](http://Html.rincondelvago.com/tuberías.html).
14. Hardy – Cross Tutorial. Typical piping layaout. [www.eng.rpi.edu/Dep./chem-eng/Biotech – Environ/NETWORKS/hardy.html](http://www.eng.rpi.edu/Dep./chem-eng/Biotech – Environ/NETWORKS/hardy.html) – 1k – Em cache.
15. Tuberías Petroplast. [www.petroplast.com.a1/tuberías2.html](http://www.petroplast.com.a1/tuberías2.html).
16. Morfología de las redes de distribución... [editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/1\\_abasto/11\\_esquema/i116.htm](http://editorial.cda.ulpgc.es/instalacion/1_abasto/11_esquema/i116.htm)-36K – Em cache.
17. Vennard Jaon. Streeter. Elementos de Mecánica de fluidos. Primera parte. Primera edición. Edición revolucionaria, la Habana, 1986.

18. Llanos Virgilio. Unidades de las magnitudes físicas y sus dimensiones. Editorial MIR. Moscú. 1981.
19. Glastone, Samuel; Termodinámicas para químicos; Ediciones Aguilar, Madrid, 1977.
20. Ramos, P.Nestor. Bombas, Ventiladores y Compresores. Editorial I.S.P.J.A.E, 1994.
21. Robinovich, E. Z. Hidráulica. Editorial MIR. Moscú. 1983.
22. Pipe Networks. [www.student.uwa.edu.au/~kadeley/lab2.hatm](http://www.student.uwa.edu.au/~kadeley/lab2.hatm) - 11k
23. [www.elprisma.com.http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/ohmlaw.html](http://www.elprisma.com.http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/ohmlaw.html)
24. [www.betcht.com/Process%Power/Spanish/Services/Diseño%20.htm](http://www.betcht.com/Process%Power/Spanish/Services/Diseño%20.htm) - 6k – Em. Diseño y análisis de tuberías.
25. Tuberías, Válvulas, Conexiones. Madrid, 1985.
26. Tuberías y accesorios en PVC y Polietileno. Pasión por la calidad, lista de precios. [www.ralco.com.co/Precios2005/PreciosMar\\_06.htm](http://www.ralco.com.co/Precios2005/PreciosMar_06.htm) - 9k - Em.
27. A.V.Ivanov – Smolenski, Máquinas Eléctricas Tomo II. Editorial MIR. Moscú.1983.
28. Nichols, H.L. Manual de reparación y mantenimiento de máquina pesada. 2da Edición. Mc Graw – Hill Interamericana de México, S.A, 1983.
29. Gonzáles,A;Cols,B Torres. Manual de mantenimiento para la pequeña y la mediana industria. Caracas, Venezuela, 1991.92.
30. Maraven, S.A. Mantenimiento planificado .Boletín N° 9. Caracas Venezuela.1986.
31. Catálogo Bombas Gould. 2003.
32. Avila, R. Fundamentos de Mantenimiento.1ª edición, México; Editorial Limuosa, México.1992.
33. Hernández Alberto. OMS. Parámetros de Diseño. Diplomado “Gestión de Tecnología en Salud” Universidad Pontificia de Lima – Perú. 2004.
34. Mataix Claudio. Mecánica de Fluidos. 3ra. Edición. 2003.
35. Rojas Puron Luis Delfín. Apuntes para libro de texto. 2005.

# ANEXOS

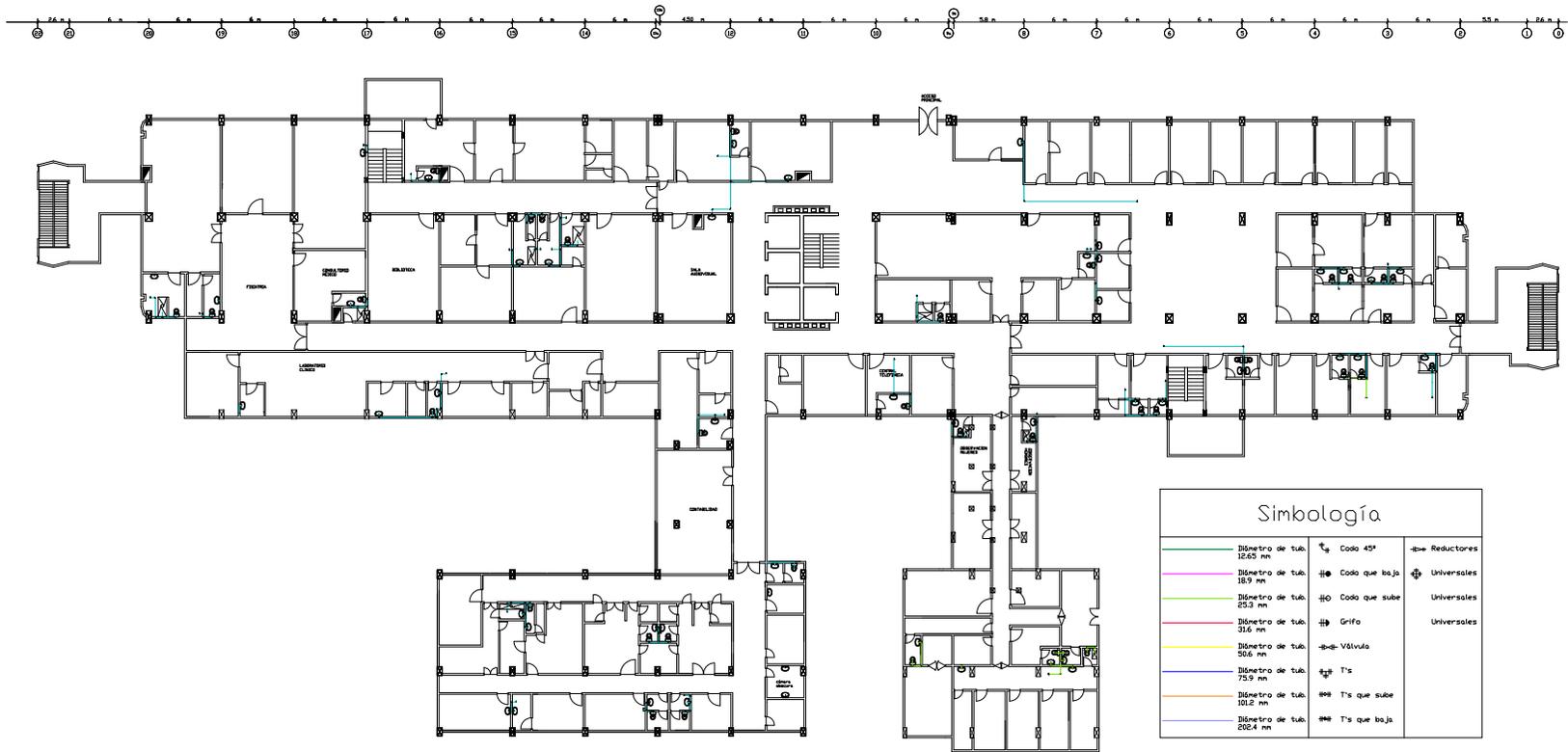


# PLANTA BAJA

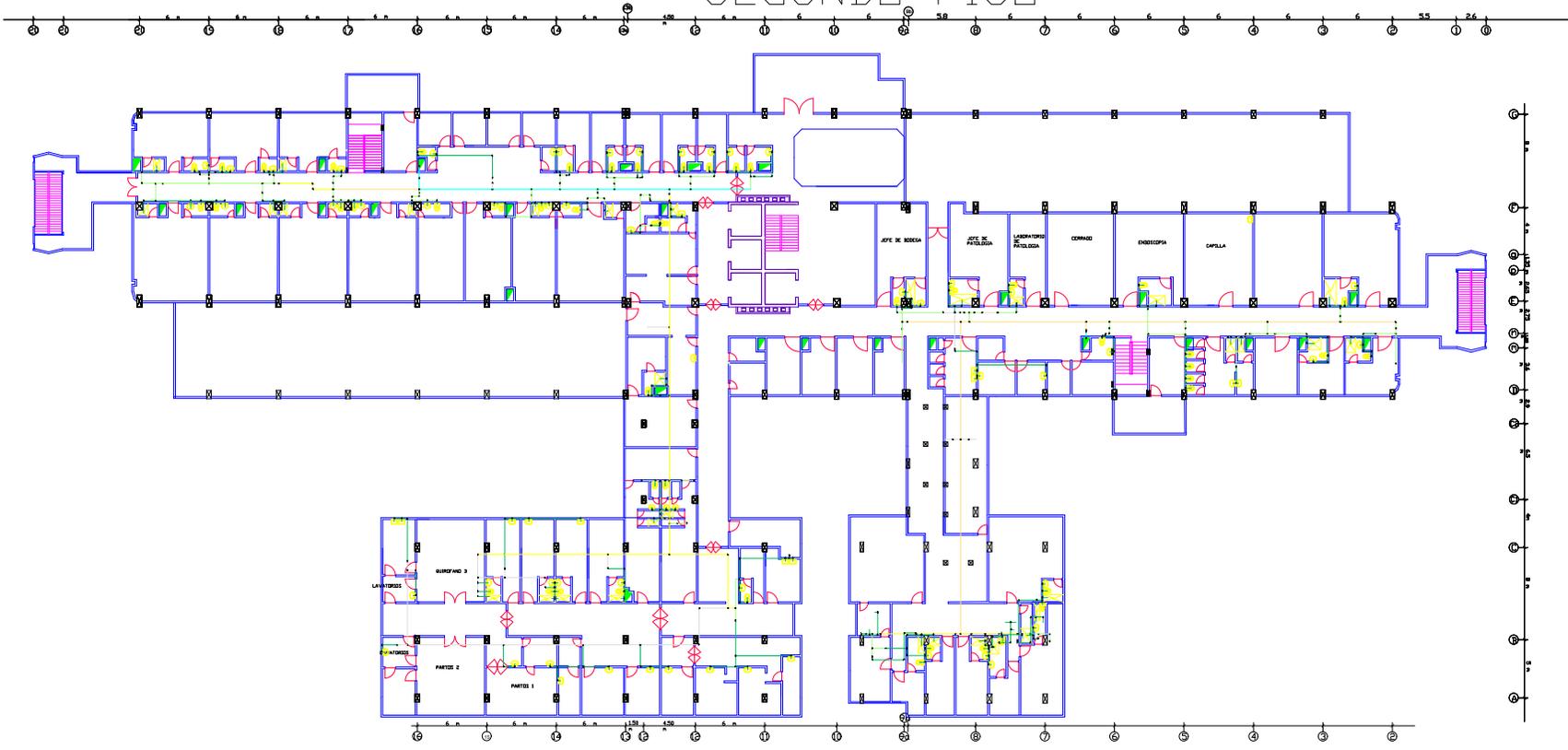


Simbología			
— (Cyan) —	Díámetro de tub. 12.65 mm	⌋ Codo 45°	⌋ Reductores
— (Magenta) —	Díámetro de tub. 18.9 mm	⌋ Codo que baja	⌋ Universales
— (Green) —	Díámetro de tub. 25.3 mm	⌋ Codo que sube	⌋ Universales
— (Red) —	Díámetro de tub. 31.6 mm	⌋ Grifo	⌋ Universales
— (Yellow) —	Díámetro de tub. 38 mm	⌋ Válvula	
— (Blue) —	Díámetro de tub. 75.9 mm	⌋ T's	
— (Orange) —	Díámetro de tub. 101.2 mm	⌋ T's que sube	
— (Purple) —	Díámetro de tub. 202.4 mm	⌋ T's que baja	

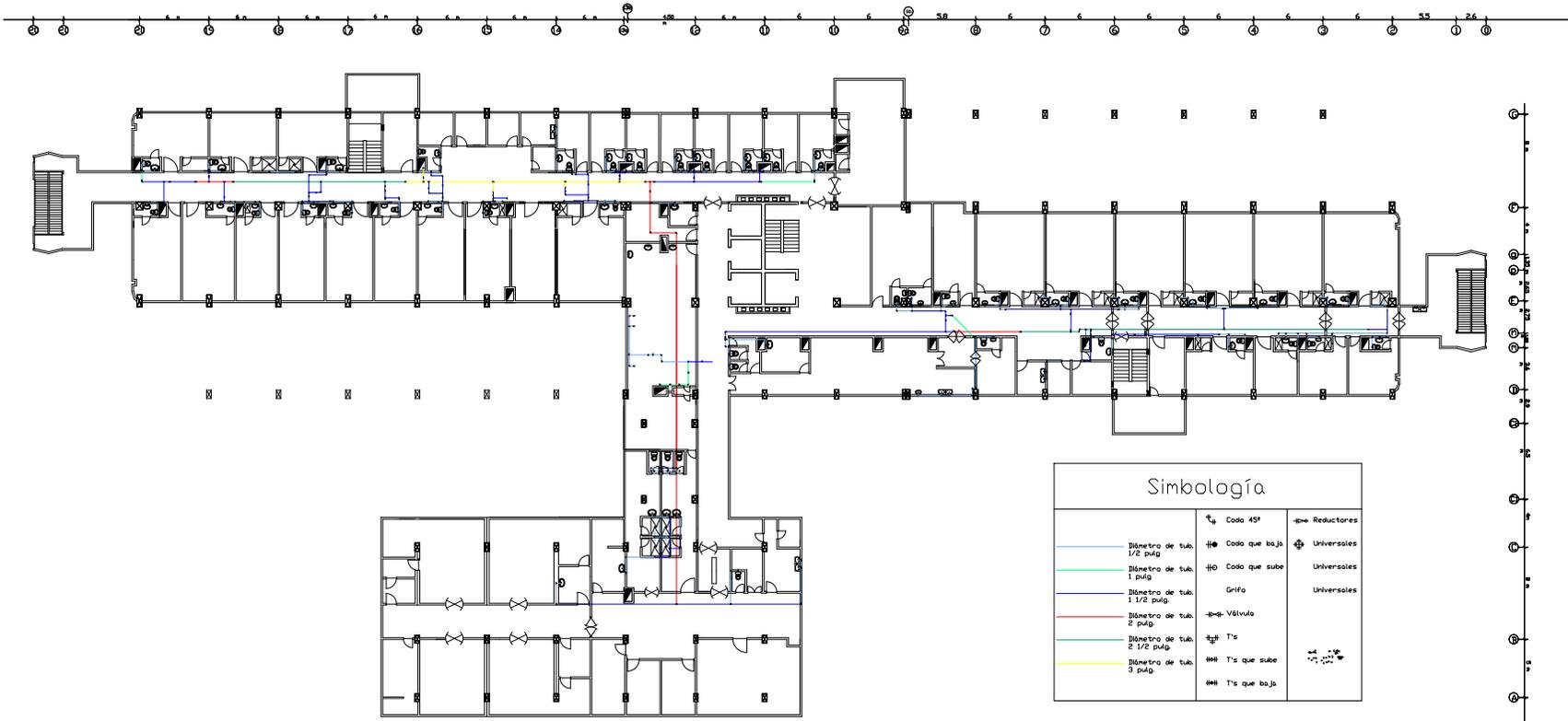
# PRIMER PISO



# SEGUNDO PISO

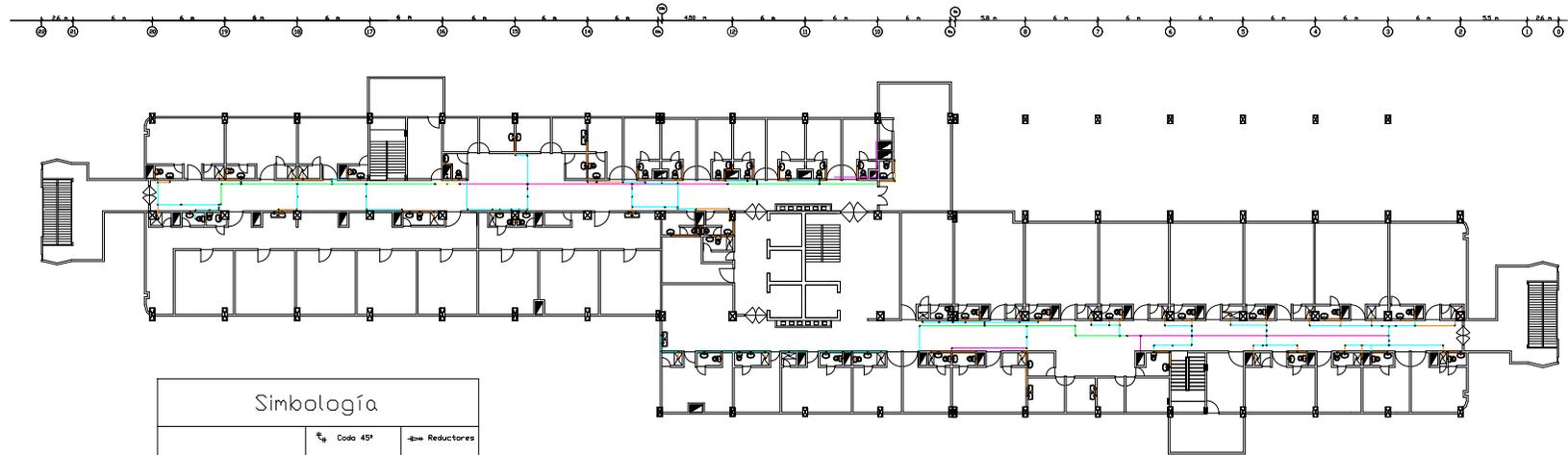


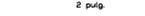
# TERCER PISO



Simbología		
— Diámetro de tub. 1/2 pulg.	↘ Codo 45°	↔ Reductores
— Diámetro de tub. 1 pulg.	↙ Codo que baja	⊕ Universales
— Diámetro de tub. 1 1/2 pulg.	↗ Codo que sube	⊖ Universales
— Diámetro de tub. 2 pulg.	⊕ Grifo	⊖ Universales
— Diámetro de tub. 2 1/2 pulg.	⊖ Válvula	
— Diámetro de tub. 3 pulg.	⊕ T's	↔ T's que sube
	⊖ T's que sube	↔ T's que baja

# CUARTO PISO



Simbología		
	↳ Codo 45°	↳ Reductores
	↳ Codo que baja	↳ Universales
	↳ Codo que sube	↳ Universales
	↳ Grifo	↳ Universales
	↳ Válvula	
	↳ T's	
	↳ T's que sube	
	↳ T's que baja	