

AUTOMATIZACIÓN DE UN TANQUE DE RESERVA DE AGUA POTABLE
INFORME DE PASANTIA CLÍNICA LA ESTANCIA



JOHAO EDWIN GUZMAN PRADA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y DE LA EDUCACION
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2015

**AUTOMATIZACIÓN DE UN TANQUE DE RESERVA DE AGUA POTABLE
INFORME DE PASANTÍA CLÍNICA LA ESTANCIA**

TRABAJO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO FÍSICO

JOHAO EDWIN GUZMÁN PRADA

**Tutor Académico:
Ing. GERMAN BACCA**

**Tutor Empresarial:
Ing. YASMIN IMBACHI**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y DE LA EDUCACION
DEPARTAMENTO DE FISICA
PROGRAMA DE INGENIERIA FISICA
POPAYAN
2015**

Nota de aceptación

Director _____
Ing. German Bacca.

Jurado _____
Ing. Wilfrand Pérez.

Jurado _____
Ing. Mario Andrés Córdoba.

Fecha y lugar de sustentación: Popayán, 22 de Septiembre de 2015

ÍNDICE GENERAL

	PAG.
CAPITULO I	5
INTRODUCCIÓN	5
CAPITULO II	10
2.1 IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN.	10
2.1.1 Datos de la Empresa	10
2.1.2 Reseña histórica	10
2.1.3 Visión	10
2.1.4 Misión	10
2.1.5 Objetivos de la organización	11
2.1.6 Políticas De Calidad	11
2.1.7 Valores	11
2.2 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO E INFRAESTRUCTURA	12
2.2.1 Descripción	12
2.2.2 Funciones	12
2.2.3 Relación con otras áreas o departamentos de La empresa.	13
CAPITULO III	14
3.1 AUTOMATIZACION DE TANQUE DE AGUA	
3.1.1. Marco Teórico	14
3.1.2. Cronograma de las actividades realizadas	20
3.1.3 Descripción de las actividades realizadas	20
3.1.4 Resultados	27
CAPITULO IV	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
CONSULTAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
ANEXOS	32
A.1. Datos del fabricante de la bomba Pedrollo CP 700C y CP680C Variador ABB de velocidad y controlador PLC.	32

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La hidráulica es la ciencia que forma parte de la física y comprende la transmisión y regulación de fuerzas y movimientos por medio de los líquidos. Cuando se escuche la palabra “hidráulica” hay que remarcar el concepto de que se refiere a la transformación de la energía, ya sea de mecánica ó eléctrica en hidráulica para obtener un beneficio en términos de energía mecánica al finalizar el proceso.

Etimológicamente la palabra hidráulica se refiere al agua: *Hidros* - agua. *Aulos* - flauta. Algunos especialistas que no emplean el agua como medio transmisor de la energía, sino el aceite por ejemplo, establecen los términos para distinguir entre Oleodinámica, Oleo hidráulica u Oléolica.

El desplazamiento de fluidos, líquidos o gases (en ocasiones incluso con sólidos en suspensión) se desarrolla normalmente en sistemas de flujo, más o menos largos y complejos que implican conducciones rectas, generalmente cilíndricas de diámetros variados, enlazadas por uniones convenientes, curvaturas, codos, válvulas, etc. A través de estos sistemas el fluido sólo fluye espontáneamente si su energía total disminuye en la dirección del flujo. De no ser así, habrá que comunicarle energía desde el exterior mediante dispositivos tales como *bombas*, en el caso de líquidos, o *compresores soplantes o ventiladores*, en el caso de gases. Tal aporte de energía puede invertirse en aumentar la velocidad, la altura o la presión del fluido.

La cuantía de la energía que deberá suministrarse a un fluido para conseguir su desplazamiento por un sistema determinado dependerá de su caudal, de la altura a que deba elevarse, de la presión con que se requiera al final de su recorrido, de las longitudes y diámetros de los tramos rectos de conducción, de los accidentes (ensanchamientos, estrechamientos, curvaturas válvulas, codos, etc.) intercalados entre ellos y de sus propiedades físicas, fundamentalmente su viscosidad y su densidad. [1]

Este trabajo de carácter práctico en la rama de la instrumentación y control de procesos industriales; permitió mejorar el desempeño del equipo de apoyo encargado del bombeo de agua potable; en la red hidráulica para la torre B, almacenada en el tanque de reserva existente en **Clínica la Estancia** de la ciudad de Popayán. La figura 3.1 muestra la disposición final del cuarto de bombas para un sistema de presión con velocidad variable.



Figura 3.1. Disposición final del cuarto de bombas

El modelo planteado para el sistema, parte de una presión constante en la red, el cual será el valor nominal a controlar. Luego se obtiene este valor de presión en la red mediante un transmisor de presión acoplado que capta el valor y lo transmite al controlador de la bomba primaria, otro transmisor acoplado envía la señal al tablero de control. Se activa en las caídas de presión en la red por demanda de puntos servidos. La figura 3.2 muestra el transmisor utilizado un Danfoss MBS 33 y la figura 3.3 el variador de velocidad marca ABB modelo ACS350.



Figura 3.2. Transmisor de presión Danfoss



Figura 3.3. Variador de velocidad ABB

El tablero de control contiene un PLC (controlador lógico programable), revisar figura 3.4. PLC Siemens S-7 1200. La señal del transmisor de presión es enviada a una entrada del PLC, nos permite inicialmente captar valores de presión en la red, por medio de su puerto de comunicación para monitoreo de los valores de trabajo. El controlador y el variador de velocidad por medio de los macros del variador permitirán mejorar el desempeño del sistema.



Figura 3.4. Controlador lógico programable Siemens S7-1200

1.1 Planteamiento del problema tecnológico

En Clínica La Estancia S.A. de la ciudad de Popayán, se presentaban inconvenientes en la red de agua potable de la torre B, por ejemplo; cuando el fluido se suspende por parte del proveedor del servicio o ante la demanda en horas pico, que ocasiona pérdida de presión en puntos críticos.

El sistema Hidroflo que existía presentaba problemas como golpes de ariete y rupturas en nodos de la red por elevarse la presión y alto consumo de potencia en los motores impulsores, debido a la velocidad constante de este modelo de presión.

La disminución en la presión o corte en el suministro, afecta el normal funcionamiento de la institución de manera significativa, unidades de alta complejidad que dependen del líquido como procedimientos de diálisis, cirugías, autoclaves industriales y otras áreas que requieren continuidad en el servicio, son afectadas en su desempeño, al igual que los de baja y mediana complejidad como lavandería, cocina y procesos continuos de desinfección no pueden funcionar de manera satisfactoria, situaciones que colocan en riesgo la integridad de los pacientes, usuarios, y personal de la institución.

Debido a esta situación, se identificó la necesidad de implementar un sistema automatizado en red cerrada, con capacidad para responder con calidad y tiempo en los servicios y emergencias generadas por distintos factores en la institución.

El sistema de red cerrada de bombeo planteado, el cual inicia de forma automática al detectar una caída de presión en puntos de la red hidráulica, permite compensar la pérdida con los motores que el variador hace girar a la potencia necesaria para mantener el caudal a presión normal en cortes y demandas por consumo.

1.2 Objetivos del Trabajo

El objetivo principal fue diseñar e implementar un sistema de presión en red cerrada con velocidad variable para un tanque de reserva de agua potable ubicado en la torre B de la institución.

Para alcanzar este objetivo fue necesario objetivos secundarios que incluyeron el planteamiento de un modelo que permitiese el cálculo del caudal demandado, la selección de la instrumentación a utilizar con su respectiva instalación y acoplamiento a la infraestructura del edificio al cuarto de bombas, tableros de control y potencia, acometidas eléctricas, hidráulicas y ajuste del sistema a las condiciones reales de desempeño.

1.3 CONTRIBUCION DEL TRABAJO

El desarrollo del proyecto permite en reforzar la seguridad del paciente desde un punto de vista clínico, por permitir una respuesta oportuna en eventos que involucran la red hidráulica en las instalaciones de esta torre. Sin agua no sería posible que la institución funcionara, por ello la normatividad Colombiana exige a las entidades de salud, contar con infraestructura moderna y eficiente, como forma de prevenir los posibles eventos adversos, eventos que involucran la vida del paciente.

En el aspecto económico se pueden mencionar las distintas situaciones que se presentaban cuando la presión trabajaba en valores mínimos, afectaba de manera directa la producción en la central de esterilización, al detenerse su producción, debido a que el autoclave tiene un valor mínimo de trabajo que la red no estaba en capacidad de brindar, evento que representaba perdidas y retrasos, teniendo en cuenta que cirugía es el nivel más alto de atención y sin material estéril, no hay procedimiento; siendo necesario solicitar apoyo en instituciones vecinas para este proceso, por supuesto se elevan los costos y retrasan los programas de los operarios, el sistema instalado permite mantener un valor nominal, sin llegar a los límites inferiores que afectan distintos equipos en sus presiones de entrada y definir alarmas para reaccionar a posibles problemas de funcionamiento.

A nivel social la institución busca por medio de su sistema de gestión de calidad, acreditarse en la prestación de sus servicios, el desarrollo de proyectos como el de la red hidráulica que permiten mejorar la atención al usuario, podrán contribuir en los objetivos planteados por la organización, objetivos que benefician a los usuarios del servicio de la ciudad.

En el aspecto técnico obtuvimos un modelo eficiente que a ser desarrollado desde el departamento de mantenimiento e ingeniería, permitió con la ejecución de las actividades requeridas; a cargo de un grupo de trabajo multidisciplinario, innovar en la solución de las necesidades técnicas que se presentan en la institución.

El proyecto conto con personas conocedoras del problema, competentes y enfocadas en obtener un sistema de control que cumpla con los requerimientos y exigencias de la red hidráulica.

El proyecto permitió obtener tecnología con respaldo, garantizando su desempeño, soporte técnico, repuestos, consumibles y todo lo relacionado de acuerdo a normas vigentes para los distintos componentes utilizados para el montaje; aportando a la institución la posibilidad de continuar implementando sistemas de control con el mismo controlador, como el denominado Alarma Temprana Para el Rio Molino, debido a que se cuenta con un controlador de alta gama, optimizando así los recursos económicos invertidos.

Gracias al modelo estadístico aplicado se obtuvo un valor de caudal para los puntos sanitarios servidos, este modelo se puede recomendar para futuras modificaciones de la red.

CAPITULO II

2.1 IDENTIFICACION DE LA ORGANIZACIÓN

2.1.1 DATOS DE LA EMPRESA

CLINICA LA ESTANCIA S.A, con NIT 817.003.166-1 ubicada en la ciudad de Popayán en la calle 15N No. 2-350, teléfono 833100 ext. 1040.
Clínica de nivel III y IV de complejidad.

2.1.2 RESEÑA HISTORICA

En el año de 1999, en plena crisis del sector de la salud en Colombia, de la cual, obviamente, no escapaba el Cauca, un pequeño grupo de noveles empresarios, que había creado la IPS Medicauca, de primer nivel ambulatorio para prestar servicios a los usuarios de la Caja Nacional de Previsión y que intentaba ampliar su portafolio de servicios para hacer más atractiva su oferta a esa entidad y a otros aseguradores EPS y ARS de la época, vio como una gran oportunidad en nuestro medio alquilar las instalaciones en donde funcionaba la Clínica Santillana, cerradas un año atrás como consecuencia de la quiebra de esa empresa de salud. Luego de concretar la respectiva negociación, inicia en julio de ese año de finales de siglo XX.

En la actualidad debido al esfuerzo, perseverancia y compromiso de los directivos, funcionarios administrativos, operativos y asistenciales Clínica La Estancia ocupa un lugar privilegiado dentro del gremio de las IPS al lograr una buena posición en el mercado y una comunicación consistente en el tiempo. [3]

2.1.3 VISION

En el año 2017 Clínica La Estancia será reconocida en el ámbito nacional e internacional como un centro de excelencia con prestación integral de servicios de salud, en un entorno saludable e innovador, encaminados en el concepto de modelo de gestión social responsable.

2.1.4 MISION

Clínica La Estancia es una institución que presta servicios de salud de manera integral generando valor en sus procesos y a su entorno, comprometida con el cuidado y la recuperación de nuestros usuarios, respetando sus derechos y

deberes, propiciando el desarrollo del conocimiento científico, en un ambiente innovador, humanizado y seguro.

2.1.5 OBJETIVOS DE LA ORGANIZACIÓN

CLIENTE: Prestar un servicio que cumpla con las características de calidad.

FINANCIERA: Alcanzar el retorno de la inversión en el tiempo estimado.

RESPONSABILIDAD SOCIAL: Ser reconocidos como líderes en el cuidado medioambiental basados en el desarrollo de proyectos como:

- 1-. **Diseño e Implementación de Sistema de Automatización de Tanque de Agua**
2. Proyecto de instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales.
3. Programa de Gestión Ambiental
4. Proyecto de utilización de aguas lluvias
5. Proyecto de paneles solares para agua caliente
6. Programa de hospital verde.

2.1.6 POLÍTICA DE CALIDAD

Lograr la satisfacción de nuestros clientes de manera integral, brindando servicios de salud que cumplan con las expectativas, contando con personal competente, tecnología e infraestructura adecuada, desarrollando procesos de mejoramiento continuo con el fin de agregar valor a nuestro entorno, garantizando la sostenibilidad económica del proyecto.

2.1.7 VALORES

El Compromiso

Con la institución el cual está basado en el sentido de pertenencia, actitud proactiva, criterio y responsabilidad con uno mismo y con la misión institucional.

La Solidaridad

Entendida como la convivencia social dentro de la empresa para servir con sentido humano respeto a todos nuestros usuarios.

La Calidad

Representada en el calor humano, buen trato y amabilidad, hacia nuestros usuarios.

La Eficiencia

Considerada como el logro de los objetivos establecidos por nuestra institución teniendo la convicción de que todo lo realizado se hace de acuerdo con nuestros valores y conocimientos, utilizando los recursos de la mejor forma posible.

La Honradez

Actuando como siempre con la verdad hacia uno mismo y con nuestros usuarios.
[3]

2.2 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO E INFRAESTRUCTURA

2.2.1 DESCRIPCION

Por mantenimiento hospitalario se entiende la actividad técnico-administrativa dirigida principalmente a prevenir averías, y a restablecer la infraestructura y la dotación hospitalaria a su estado normal de funcionamiento, así como las actividades tendientes a mejorar el funcionamiento de un equipo.

El departamento es coordinado por la Ingeniera Biomédica Yasmin Imbachi y consta de un grupo de trabajo de aproximadamente 20 personas entre los que se encuentran técnicos electrónicos, técnicos eléctricos, ingenieros físicos, ingenieros biomédicos, técnicos de telecomunicaciones, maestros de obra y demás personas encargadas de desempeñar las actividades del departamento.

2.2.2 FUNCIONES

En el congreso internacional de la OCDE de 1963, definió el mantenimiento como la función empresarial que se encarga del control constante de las instalaciones y equipos; además del conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de las instalaciones productivas de servicios e instrumentación de los establecimientos.

La función del mantenimiento se puede resumir en la acción de retardar y prevenir el daño de equipos, conservándolos en las mejores condiciones de funcionamiento que garanticen seguridad, eficiencia y economía.

Dentro de las funciones se encuentra la elaboración anual del mantenimiento preventivo y correctivo a las instalaciones, así como a los equipos del proceso productivo como son el equipo biomédico y equipos de apoyo (plantas eléctricas, red de gases, red eléctrica, red hidráulica, etc.).

De acuerdo con esta definición la función del mantenimiento se caracteriza como un servicio a favor de la producción del sistema, un servicio en el caso hospitalario a favor de la asistencia sanitaria. [4]

2.2.3 RELACION CON OTRAS AREAS

La relación con otras áreas de la institución es necesaria debido a los procesos internos que se deben aplicar que incluyen aspectos económicos, administrativos y de control para el correcto desarrollo y utilización de los recursos asignados para el desarrollo del presente proyecto, es así que tenemos relación directa con los departamentos de tesorería, facturación, compras, gerencia e infraestructura entre otros.

CAPITULO III

3.1. AUTOMATIZACIÓN DE TANQUE DE AGUA

3.1.1. Marco Teórico

Definición De Sistemas De Bombeo

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos.

En un sistema típico, además de las tuberías que enlazan los puntos de origen y destino, son necesarios otros elementos. Algunos de ellos proporcionan la energía necesaria para el transporte: bombas, lugares de almacenamiento y depósitos. [2] Otros son elementos de regulación y control: válvulas y equipos de medida. Las figuras 3.5 y 3.6 muestran algunos ejemplos típicos de sistemas utilizados.

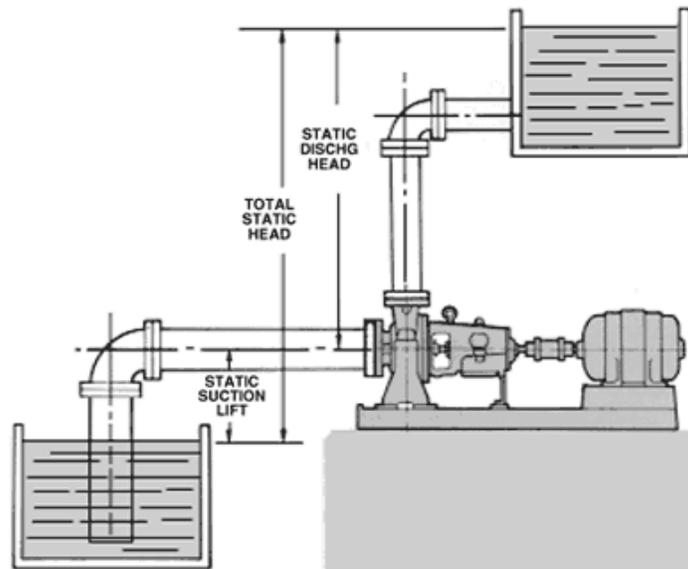


Figura 3.5. Esquema de un sistema típico de bombeo

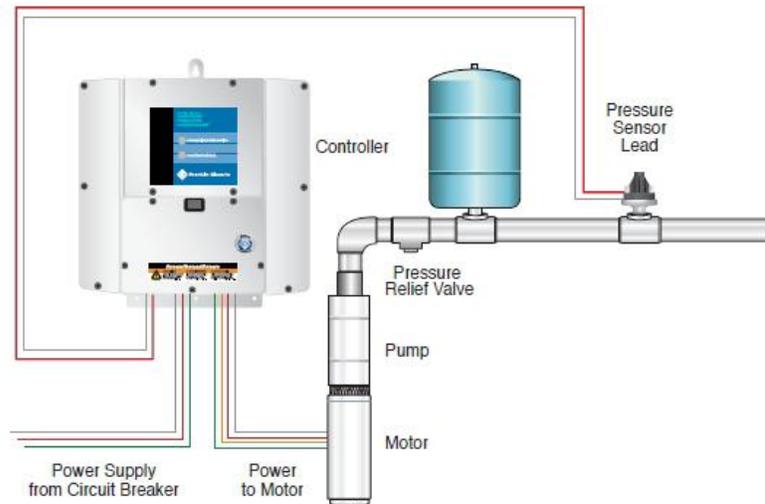


Figura 3.6. Sistema de control para un sistema hidráulico

La especificación básica que debe satisfacer un sistema de bombeo es el transporte de un caudal de un determinado fluido de un lugar a otro. Además, suele ser necesario que el fluido llegue al lugar de destino con una cierta presión, y que el sistema permita un rango de variación tanto del caudal como de la presión. El diseño de un sistema de bombeo consiste en el cálculo y/o selección de las tuberías, bombas, y demás componentes que permitan cumplir las especificaciones de la forma más económica posible. De todas formas, aunque la parte financiera y económica suele ser una parte muy importante al final de un diseño, para que esté correctamente realizado es necesario contemplar otros aspectos como la seguridad, fiabilidad, facilidad de mantenimiento, impacto ambiental y otros factores humanos.

En cuanto a la operación de un sistema de bombeo, hay que tener en cuenta los sistemas de regulación y control que permitan obtener el caudal y la presión deseados, así como los problemas de cavitación, inestabilidades y transitorios que se puedan producir. [1]

Determinación de la Demanda

Determinar la demanda, es estimar un valor de caudal máximo probable que se puede presentar en una instalación, sin embargo es complicado establecer dicho valor debido a que los puntos hidráulicos son utilizados de forma intermitente, con frecuencias muy variadas y en diferentes tipos de edificaciones.

En términos generales se han desarrollado tres metodologías para determinar los caudales o gastos de diseño, para las diferentes partes de un sistema de distribución de agua; los cuales se pueden clasificar así:

Métodos Empíricos: En estos métodos, para un número dado de muebles sanitarios en un sistema, se toma una decisión arbitraria, con base en la experiencia, en relación al número de muebles que pueden operar simultáneamente. En teoría, los métodos empíricos podrían considerarse los mejores para el cálculo de pequeños sistemas hidráulicos. Se destacan el método Británico y el método de Dawson y Bowman.

Métodos Semiempíricos: Estos métodos, aunque se basan en la experiencia, tienen cierto sustento teórico, que les permite establecer fórmulas y expresiones matemáticas. Se destacan el método alemán de la raíz cuadrada, el método del factor de simultaneidad y el método racional o español.

Métodos Probabilísticos: La teoría de probabilidad, aunque es la más racional, es de dudosa aplicación cuando se trata del diseño de instalaciones hidráulicas en edificios con escasos puntos sanitarios; para el caso de instalaciones hospitalarias donde las frecuencias de uso son considerables, el método probabilístico de Hunter, es recomendable para la obtención del caudal máximo probable. Tenemos el método de Hunter, el método de Hunter modificado, y el método de Hunter modificado para Colombia.

La determinación de la demanda es muy importante debido a que a partir de esta se establece la capacidad o tamaño de todas las partes del sistema de suministro de agua. La rata de cambio en la demanda es un inconveniente para el diseño del sistema adecuado a las necesidades de la edificación, esta puede llegar a aumentar desde una demanda mínima, hasta una demanda máxima en un corto tiempo. [1]

Máximo Caudal Instantáneo Probable o Caudal de Punta (Q_c)

Caudal simultáneo, caudal de cálculo o de consumo simultáneo máximo probable (Q_c): Es el caudal expresado normalmente en litros por segundo que puede ser esperado en un tramo de la red de un edificio con el uso normal de los aparatos sanitarios instalados, teniendo en cuenta que no todos ellos son utilizados al mismo tiempo. Se basa en la escasa probabilidad de que funcionen simultáneamente todos los aparatos de un mismo ramal y de que con el aumento del número de aparatos instalados esta probabilidad disminuye. El inconveniente de la aplicación de este método es la dificultad de obtener información sobre la utilización de los aparatos sanitarios, por el diferente horario y uso que se les da

según el tipo de establecimiento, sea que se trate de edificios de viviendas, oficinas, hoteles, etc., y en los que a su vez la probabilidad de uso es muy variada en función del equipamiento y las particularidades de sus griferías.

Caudal Instantáneo Mínimo (Q_{min})

Caudal instantáneo que se debe suministrar a cada uno de los aparatos sanitarios con independencia del estado de funcionamiento. Es un valor empírico, expresado normalmente también en litros por segundo, establecido por la experiencia y reflejado en las recomendaciones de distintas normas y publicaciones especializadas.[1]

Cálculo Del Caudal

De acuerdo a los métodos existentes, para la determinación del caudal probable en la red hidráulica de la institución, se decide determinar el caudal por medio de:

Según la norma NTC 1500

La norma NTC 1500 Colombiana define actualmente según la tabla de evaluación del consumo, un estimado para hospitales de 600 litros/persona/día. Con este estimado, se procede a obtener un número de piezas servidas que se clasifican para determinar su caudal individual, luego en la curva de Hunter, con este número de piezas se obtiene un valor de Q_c probable.

Según la norma se define la presión mínima de servicio cuando la fuente de abastecimiento de una edificación no sea capaz de satisfacer los requisitos mínimos de caudal de los accesorios en la red hidráulica, en la tabla 3.1 se encuentran los caudales de demanda por pieza sanitaria. [5]

Norma Francesa

Para la obtención del caudal máximo probable se hace preciso establecer los caudales de los aparatos instalados, sumarlos y, posteriormente, afectar los resultados por un coeficiente de simultaneidad k .

Es de uso universal la fórmula:

$$k = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \quad (1)$$

Siendo:

k : El coeficiente (≤ 1) que ha de multiplicar a los caudales instalados para obtener Q_c .

n : Número total de aparatos servidos

Esta fórmula es la establecida por la Norma Francesa NP 41-204 para toda clase de edificios. Se comprenderá que existen otras fórmulas genéricas, así como otras específicas para los diferentes tipos de edificios. [6]

Los caudales mínimos recomendados se muestran en la Tabla N° 3.1

PIEZAS SANITARIAS	DIAMETRO MINIMO (Pulg)	PRESION MINIMA (m)	CAUDAL Q (l/s)
INODORO TANQUE	½"	5	0.10
INODOROS DE FLUX	1"	14	1.50
LAVABOS	½"	2	0.15
DUCHAS	½"	2	0.20
LAVACHATAS	1"	2	0.30
FREGADERO DE COCINA	½"	7	0.20
LLAVES DE MANGUERA	½"	7	0.25
URINARIOS	¾"	10	0.30

Tabla N° 3.1 Caudales de demanda por pieza sanitaria

Entonces Q_c será:

$$Q_c = k_1 \times q_{\max}$$



De diferentes congresos internacionales sobre el tema se ha concluido por conveniencia que en ningún caso k_1 será inferior a 0,2 aunque es una condición, que puede ser revaluada.

Cavitación

El cálculo de la *NPSH*, carga de succión neta positiva, permitirá garantizar al diseño evitar los problemas de cavitación, que ocurre cuando la presión de succión en la entrada de la bomba es demasiado baja y se forman burbujas en el fluido, como si hirviera.

El fluido entra a la bomba por el puerto de succión en el ojo central del impulsor. La rotación de este acelera el líquido hacia afuera, a lo largo de las aspas en dirección de la carcasa, en lo que se llama una voluta. La presión del fluido continúa su elevación a través de este proceso. Si se hubieran formado burbujas de vapor en el puerto de succión debido a una presión baja en exceso,

colapsarían cuando llegaran a las zonas de presión más alta. El colapso de las burbujas liberaría cantidades grandes de energía, lo que afectaría las aspas del impulsor y ocasionaría la erosión rápida de la superficie.

Cuando hay cavitación, el rendimiento de la bomba se degrada con severidad conforme el flujo volumétrico desciende. La bomba se hace ruidosa y genera un sonido fuerte e intermitente, como si hubiera grava en el fluido. [1]

Carga de Succión Positiva Neta, $NPSH$

Los fabricantes de bombas prueban cada diseño para determinar el nivel de la presión de succión que se requiere, con el fin de evitar la cavitación, y reportan los resultados como la carga de succión positiva neta requerida, $NPSH_R$ de la bomba en cada condición de capacidad de operación (flujo volumétrico) y carga total sobre la bomba. Es responsabilidad del diseñador del sistema de bombeo garantizar que la carga de succión neta positiva disponible $NPSH_A$, este muy por arriba de la $NPSH_R$.

El American National Standards Institute (ANSI) y Hidraulic Institute(HI) emiten juntos estándares que especifican un margen mínimo de 10% para la $NPSH_A$, sobre la $NPSH_R$. Es decir,

$$NPSH_A > 1,10 NPSH_R \quad (3)$$

Cálculo de la $NPSH_A$

El valor de la $NPSH_A$ depende de la presión del vapor del fluido que se bombea, la perdidas de energía en el tubo de succión, la ubicación del almacenamiento de fluido y la presión que se aplica a este. Esto se expresa como

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \quad (4)$$

Dónde:

p_{sp} : Presión estática (absoluta) sobre el fluido en el depósito.

p_{sp} : Carga de presión estática (absoluta) sobre el fluido en el almacenamiento, se expresa en metros cúbicos o pies de líquido.

h_s : Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito a la línea central de la entrada de succión de la bomba; se expresa en metros o en pies. Si la bomba esta abajo del depósito h_s es positiva, si está arriba h_s será negativa.

h_f : Perdida de carga en la tubería de succión, debido a la fricción y perdidas menores, se expresa en metros o en pies.

p_{vp} : Presión de vapor (absoluta) del líquido a la temperatura a que se bombea.

h_{vp} : Carga de presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo.[1]

3.1.2 CRONOGRAMA DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

ACTIVIDAD	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Revisión bibliográfica	X	X	X	X	x	x
Calculo del caudal por el método según norma colombiana NTC 1500 y Norma Francesa.	X					
Diseño de acuerdo a los valores obtenidos de caudal y presión.	X					
Instrumentación requerida para el sistema (bombas, PLC, variador de velocidad, etc)	X	X				
Programación del PLC Siemens S7-1200		X	X			
Construcción del tablero de control, instalación de motobombas, instrumentación, red hidráulica y puntos eléctricos necesarios.	X	X	X	X	X	x
Elaboración de documento final	X	X	X	X	X	x

3.1.3 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Consideraciones de Diseño

En el sótano de la torre B de Clínica La Estancia, fue el punto de referencia para el diseño del sistema de velocidad variable, aquí se ubica un tanque de almacenamiento de agua potable. El tanque se fue construido en la parte posterior del sótano a la intemperie, donde sobre su losa superior de concreto, están ubicados los orificios de succión para las bombas, por tanto se hace necesario una

estructura para el cuarto de bombas del sistema. En la figura (3.7) se observa los tanques del sistema hidroflo y el inicio de la implementación.



Figura 3.7 Sitio asignado para el cuarto de bombas

Luego se realiza un inventario y clasificación del total del número de piezas servidas (lavamanos, duchas, sanitarios, ect), con su respectivo caudal de consumo, como lo indica la tabla (3.1) de la norma NTC 1500, el número total de piezas servidas fue de 446, el volumen del tanque corresponde a 800 metros cúbicos.

El punto más alto a suministrar el fluido se encuentra a una altura máxima de $h = 20,85m$, con una distancia, $d = 65m$, correspondiente a la unidad de diálisis, ubicada en el cuarto piso, unidad de alta complejidad con alarmas constantes por baja presión.

Esta información permite calcular un valor de caudal probable, $Q_c = 7,9l/s$ aplicando la NTC 1500 y actualizar la información y condiciones de la red hidráulica.

El obtener un valor de caudal probable a una altura determinada, permite calcular la motobomba con mejor desempeño, que se ajuste a las características técnicas y económicas del diseño.

El sistema cuenta con tres bombas conectadas en paralelo, el variador de velocidad para el control de la motobomba primaria, el tablero de control, y dos transmisores de presión. Por tanto son necesarias actividades de cableado eléctrico, etapas de potencia, control, comunicación, caracterización de sensores, trabajos sobre la red hidráulica y demás requeridas por el diseño.

Implementación

La figura (3.8), muestra la caseta para el cuarto de bombas terminada.



Figura 3.8 Caseta para cuarto de control terminada

Para cada etapa en la implementación, es necesario realizar los procedimientos administrativos para el recurso económico, inicialmente una revisión de las ofertas en el mercado, con posterior cotización de acuerdo a las características técnicas definidas, proceso de pago y entrega del producto para su instalación.

Para el cuarto de bombas se cuenta con tres bombas conectadas en paralelo, ver figura (3.9). La bomba primaria es una bomba Pedrollo CP-700C y como secundarias dos 680C. (Véase anexo A.1).



Figura 3.9 Conexión de bombas centrifugas en paralelo.

Terminada la caseta para el cuarto de bombas, las bombas son instaladas con su respectivos requerimientos hidráulicos, su tubería de succión con válvulas pie de bronce, tubería galvanizada a 2", para la etapa de bombeo tenemos válvula cheque, manómetro, llave de paso y universal. Vease figura (3.10).



Figura 3.10. Conexión de tubería de succión y bombeo.

Entre las actividades eléctricas, para la conexión de los motores impulsores, se encuentra el tablero de potencia que se muestra en la figura (3.11). Este tablero contiene los circuitos de conexión para el variador de velocidad, y los motores a 220v.



Figura 3.11 Tablero de potencia para variador de velocidad y motores impulsores.

El variador de velocidad ABB modelo ASC-310 del sistema, se muestra en la figura (3.12) instalado en el cuarto de bombas.



Figura 3.12 Variador de velocidad ABB ASC-310

El tablero de control donde ira la siemens S7-1200 es una actividad realizada paralela a las actividades anteriores, la figura (3.13) muestra la disposición final del tablero de control. En su interior el controlador lógico programable, cuenta con software licenciado, conectado al servidor de la institución por medio de su puerto de comunicación que permite monitorear los valores de presión en la red.



Figura 3.13 Tablero de control con PLC siemens S7-1200

La S7-1200 es modular, es adquirida por su capacidad de realizar múltiples tareas, gracias a los módulos con entradas y salidas, de acuerdo a las necesidades de cada aplicación. El proyecto de alarma temprana para el Rio Molino, es controlado por la S7-1200, cuenta con un sensor ultrasónico, puerta de cierre, alarmas luminosas en pasillos del sótano, reflectores que apuntan al rio y monitoreo constante por medio de la red, ante posibles incrementos o disminución en la altura del agua; justificando la inversión y el respaldo de la marca Siemens. De igual forma permitirá implementar un sistema de nivel, para el llenado del tanque de agua, en ese punto los tableros de control como el de potencia ya instalado en el cuarto de bombas, representan una disminución en los costos para los proyectos. Los valores de las entradas, salidas, señales de control, etc, pueden ser visualizados desde cualquier dispositivo que utilice los sistemas operativos de transmisión de datos, previa autorización del responsable del sistema en la institución.

En una de sus entradas analógicas de 4 a 20mA, es conectada la señal del transmisor de presión acoplado a la red, un danfoss de la serie MBS-33. Los valores obtenidos por el transmisor, son comparados con un indicador de presión que permite también acoplarse a la red, y con trazabilidad para confianza en los valores visualizados. Los valores obtenidos por medio de la señal de corriente, son acordes a los visualizados en el equipo patrón, por tanto la señal de realimentación para el sistema, es confiable. De la misma forma, realizamos la comparación para los manómetros indicadores de presión, en las motobombas del sistema.

La señal del transmisor, es utilizada en el variador de velocidad, para configurar el macro de aplicación PID en el sistema, que permite la variación de frecuencia en el motor, de acuerdo al valor nominal de la señal de entrada. Este tipo de variador contiene macros especializados en el control de sistemas hidráulicos, mejorando el desempeño de la red hidráulica, incluyendo un macro para interconectarse con la S7-1200.

La figura 3.14 muestra el transmisor acoplado a la red hidráulica.



Figura 3.14 Transmisor de presión danfoss.

El sistema en red cerrada a velocidad variable fue ajustado en su funcionamiento de acuerdo al comportamiento en tiempo real de la red y los valores teóricos obtenidos. La figura 3.15 muestra el sistema terminado en su cuarto de máquinas con las bombas y su variador, el tablero de control se ubica al interior del edificio.



Figura 3.15 Cuarto de máquinas terminado.

La instrumentación fue adquirida de acuerdo a características técnicas y optimización de recursos económicos y convenios de pago con la institución, que permitieron justificar el recurso económico requerido.

3.1.4. Resultados

A continuación se relacionan en la tabla 3.2 el levantamiento del número de puntos sanitarios en la institución con sus respectivas distancias y alturas de ubicación, con respecto al tanque de almacenamiento, la tabla 3.3 muestra los resultados obtenidos con la norma Francesa de caudal para edificios, que comparamos con el obtenido por la norma colombiana NTC 1500.

Área	Longitud al Tanque (m)	Altura de Referencia (m)	Sanitarios	Lavamanos	Duchas	Lavaplatos	Tanques	Otro	Observaciones
			(Unid)	(Unid)	(Unid)	(Unid)	Pequeños (Unid)	(Unid)	
Sótano Lavandería	7	0	0	0	0	0	0	5	Lavadoras
Sótano Cocina	15,75	0	0	0	0	6	0	0	Lavaplatos cocina
Sótano Baños	23,4	0	5	4	2	0	1	0	
Urgencias Adultos	8,5	4,5	25	32	12	5	1	1	Dispensador de agua y otros
Uci y Cirugía Segundo Piso	40	8	12	20	5	1	4	21	Puntos nuevos y UCI nueva 21
Tercer Piso	40	12,85	52	43	36	2	4	1	Autoclave
Cuarto Piso	55	16,85	12	14	6	1	3	3	
Fresenius	65	16,85	5	12	0	4	2	25	Diálisis puntos 23
Quinto Piso	20	20,85	14	24	10	1	1	9	Autoclave y calentadores
TOTALES			125	149	71	20	16	65	446

Tabla 3.2 Puntos sanitarios

TRAMO	Caudal Total Q_c (l/seg)	N ^a Aparatos	k_1	Caudal Pico Norma Francesa Q_c (l/seg)
Sótano	4,70	24	0,21	0,97
Primer Piso Urgencias	11,20	76	0,11	1,23
Uci y Cirugía Segundo Piso	6,4	42	0,16	1,0
Puntos de Diálisis UCI	6,3	21	0,22	1,4
Tercer Piso Tramo 1	5,20	52	0,14	0,73
Tercer Piso Tramo 2	6,45	43	0,15	0,99
Tercer Piso Tramo 3	8,85	43	0,15	1,33
Cuarto Piso	6,2	39	0,16	1,01
Fresenius	11,1	48	0,15	1,62
Quinto Piso	10,15	50	0,14	1,45
Caudal Pico Q_c				11,73

Tabla 3.3 Caudales según norma francesa

Aplicando la norma NTC 1500 con las 446 piezas servidas, $Q_c = 7,9l/s$, en la curva de Hunter para caudales y con la norma Francesa $Q_c = 11,73l/s$. El método de Hunter permite obtener una cuantificación del caudal de mayor confianza, adaptado a las condiciones de nuestro país y el método de la norma francesa solo nos ayuda a indicar otro posible valor.

La carga neta positiva de succión requerida $NPSH$ y las demás variables involucradas en el diseño de sistemas de presión y estudio de fluidos en movimiento [1] permiten obtener:

$h_{sp} = 8,15m$ Carga de presión estática

$Q_v = 900l/min$ Flujo volumétrico

$d = 2"$ Diámetro de la tubería

$V = 0,058m/s$ Velocidad del fluido.

Se obtiene:

$N_r = 37248,6$ Número de Reynolds, que indica un flujo turbulento.

Con los valores de:

$h_f = 0,00041$ Pérdida menor

$h_{vp} = 0,7580$ Presión de vapor del líquido

El valor de la carga neta positiva de succión disponible es $NPSH_A = 4,39m$ por lo tanto el valor de la requerida según la ecuación número 3 se obtiene:

$$NPSH_R = 3,9m$$

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde este trabajo se llegó a concluir y recomendar:

- 1- Se diseñó e implemento un sistema de presión con velocidad variable, cumpliendo con los requerimientos planteados, en Clínica La Estancia de la ciudad de Popayán.
- 2- Se obtuvo un valor de caudal $Q_C = 474l/min = 7,9l/s$ para un número de 446 piezas sanitarias, estos caudales se encuentran dentro de los rangos permitidos de las bombas seleccionadas según las tablas del anexo A1, los rangos de trabajo permite garantizar un correcto desempeño de los motores.
- 3- El montaje implementado utiliza instrumentacion y equipos que garantizan calidad, respaldo y desempeño de acuerdo a los requerimientos de diseño.
- 4- Debido al monitoreo constante por parte del controlador que recibe la señal del transmisor, la clínica podrá visualizar los valores de presión en cualquier momento permitiendo verificar cualquier reporte de falla en la red hidráulica. Este monitoreo se puede realizar en cualquier punto con conexión a internet, lo que facilita el trabajo a los encargados de atender disponibilidad 24 horas.
- 5- Se mejora el bombeo de agua gracias a que de un sistema de velocidad constante que ocasionaba entre otras golpe de ariete, se desarrolla un sistema con velocidad variable que permite un mejor desempeño de la red hidráulica
- 6- Con el modelo utilizado, los valores de altura y distancias al tanque y el caudal obtenido, se pueden considerar para futuras instalaciones hidráulicas que permitan el correcto desempeño de la red.
- 7- Como recomendación sería continuar con el macro del variador que permite el manejo de varias bombas y desarrollar el sistema de control de nivel por medio la siemens S7-1200; una vez se pueda contar con el recurso económico que requeriría este proyecto, de esta forma se aprovecharía el trabajo ya adelantado en cuanto a tableros de control, potencia, software y modelos de trabajo utilizados.
- 8- Se logró un trabajo final acorde a las necesidades de la institución que fue ejecutado por personal competente.

CONSULTAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Robert L. Mott (2006), *Mecánica De Fluidos. Sexta edición*, Pearson Educación, México, ISBN 970-26-0805-8.

[2] Claudio Mataix (2005), *Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas, Segunda edición*, Alfaomega-Oxford, ISBN: 842-190753.

[3] Clínica La Estancia. (2014). *Clínica La estancia*. [Internet], disponible desde: <http://www.laestancia.com.co/web/>
[Acceso Junio de 2014]

[4] La gerencia en la administración del mantenimiento hospitalario. (2013). [Internet], disponible desde <http://www.minsa.gob.pe/dgiem/cendoc/pdfs/Gerencia%20Mantenimiento.pdf>

[5] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Código Colombiano de fontanería. 2 ed. Bogotá DC: ICONTEC, 2004 (NTC1500). I.C.S: 91.140.60

[6] PESSOA Joao, Aplicación de los métodos para el cálculo de caudales máximos probables instantáneos en edificaciones de diferente tipo. En seminario Iberoamericano sobre sistemas de abastecimiento urbano de agua [en línea], 5 a 7 de junio de 2006. Disponible en: http://evirtual.lasalle.edu.co/info_basica/nuevos/guia/GuiaClaseNo.3.pdf [citado junio de 2014]

[7] SIEMENS. SIMATIC. Actualización del manual de sistema S-1200. (2012). Segunda edición. [Internet]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/769/53741769/att_107339/v1/S7-1200_4-2012-manual_update_es-ES_es-ES.pdf [citado junio de 2014].

[8] ABB, variador de velocidad ACS-310. Manual de usuario.(2008). Tercera edición. [Internet]. Disponible en: <http://www.clrwtr.com/PDF/ABB-Drives/ABB-ACS310-Users-Guide.pdf> [citado julio 2014]

ANEXOS

A.1. El sistema cuenta con tres bombas conectadas en paralelo, la principal será la bomba PEDROLLO CP 700C cuyas especificaciones son

MODELO	POTENCIA		Q	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
	kW	HP		l/min	0	100	200	300	400	500	600	700	800
CP 700C	5.5	7.5	H metros	51	50	49.5	48	46	43.5	40	36.5	32	27
CP 700B	7.5	10		56	56	55.5	54	52	49	45.5	41	36	30
CP 700A	9	12.5		62	62	61.5	60	57.5	54.5	50.5	45.5	39.5	33

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

Tabla 3.4 Especificaciones técnicas de la bomba CP700C

Las dos bombas secundarias serán las PEDROLLO CP680C cuyas características son

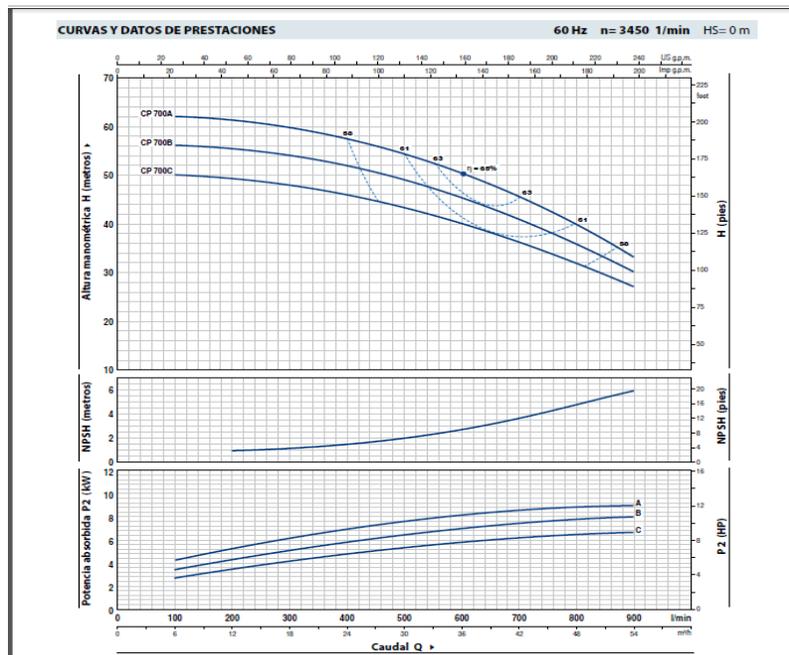
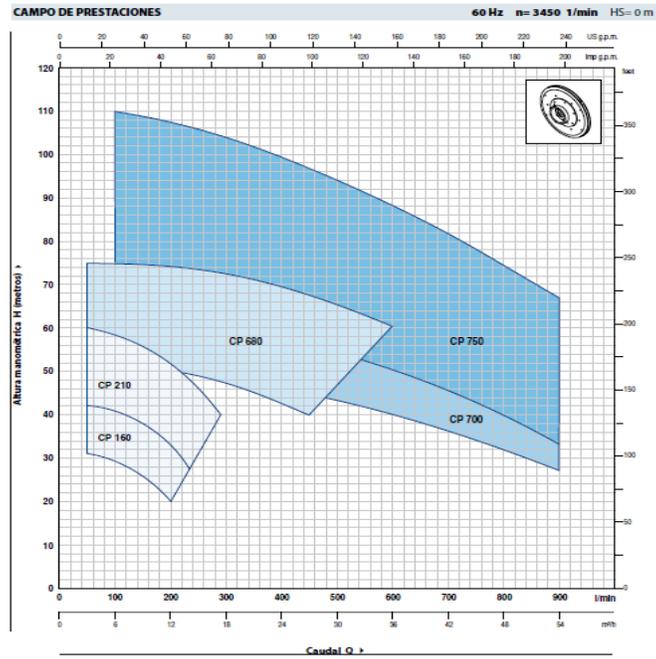
MODELO		POTENCIA		Q	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
CPm 680C	CP 680C	4	5.5	H metros	52	51.5	51	50.8	50.3	49	47.5	45	43	40			
-	CP 680B	5.5	7.5		61	60.5	60	59.5	59	58.5	57	55	52.5	50			
-	CP 680A	7.5	10		75	75	74.5	74.3	74	73.5	72.5	71	68.5	67.3	65	62.8	60

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

Tabla 3.5 Especificaciones técnicas de la bomba CP 680C

Las curvas características son:



Programador Lógico Programable.

De acuerdo con la definición de la "Nema" (National Electrical Manufacturers Association) un controlador programable es:

Un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (1- 5 VDC, 4- 20 mA, etc.), varios tipos de máquinas o procesos.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó un PLC marca Siemens de alta gama modular modelo S7-1200 con software licenciado. La S7-1200 es la encargada de monitorear el nivel del río molino de la ciudad de Popayán con sus acciones de control frente a un evento de inundación en la zona. Un sensor ultrasónico instalado en el río envía los datos a nuestro controlador quien nos mantiene informados de los valores actualizados y a su vez envía señales de alarma al interior del edificio para activar los procesos derivados ante el evento de emergencia.

La gama S7-1200 abarca distintos controladores lógicos programables (PLCs) que pueden utilizarse para numerosas tareas. Gracias a esto con un módulo adicional controla el sistema de velocidad variable recibiendo de un transmisor de presión su señal para activar los motores y compensar la pérdida, también estará enviando información del valor de presión al operario responsable de su funcionamiento.

Además de tener conectadas dos válvulas on-off funcionando para la implementación del control de nivel.

Gracias a su diseño compacto, bajo costo y amplio juego de instrucciones, los PLCs S7-1200 son idóneos para controlar una gran variedad de aplicaciones. Los modelos S7-1200 y el software de programación basado en Windows ofrecen la flexibilidad necesaria para solucionar el problema tecnológico planteado. [7]

Variador de Velocidad

Se trata de dispositivos electrónicos, que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de corriente continua con variación de la tensión, y de corriente alterna, variación de la frecuencia.

Los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar; jaula; inversores y variadores de velocidad.

La serie de convertidores de frecuencia ACS 310 fue el que se utilizó en el proyecto y están especialmente diseñados para aplicaciones de par variable, como bombas y ventiladores. Su diseño exclusivo incluye un potente conjunto de funciones como controladores PID integrados y PFC (control de bombas y ventiladores) que varían el rendimiento del convertidor en función de los cambios de presión y flujo o bien de otros datos de origen externo, mejorando así las aplicaciones de bombas y ventiladores.

Un sistema con bombas de control de presión tiene por objeto elevar la presión del agua suministrada hasta un nivel predeterminado en plantas de bombeo y de tratamiento de agua. La macro de control de bombas y ventiladores (PFC) del convertidor ACS310 es útil cuando se operan diversas bombas en paralelo al mismo tiempo y el caudal necesario es variable. También dispone de control PID que permite mantener un punto de consigna preciso en el proceso mediante el ajuste de las salidas de control, de gran ayuda para optimizar el control en procesos complicados. La presión se monitoriza en todo momento y el bombeo se reinicia cuando la presión cae por debajo del nivel mínimo. [8]

Bombas Centrifugas

Las bombas centrifugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico.

Con el caudal obtenido y la altura del edificio se analizaron los equipos e instrumentos disponibles en el mercado con aspectos como el económico, técnico, soporte de repuestos, respaldo con normas de calidad, formas de pago, disponibilidad y demás para realizar el proceso de compra por parte de la institución, finalmente cumplido el proceso nuestras tres bombas resultan siendo bombas centrifugas Italianas Pedrollo, con referencias CP 700C y CP680C. (Véase anexo A1)

Con las bombas adquiridas presentaremos un valor para la NPSH (carga neta positiva de succión); relacionado al fenómeno de cavitación, y demás valores a tener en cuenta para el control del caudal requerido de la bomba primaria.

Transmisor de Presión

Un transmisor de presión marca Danfoos modelo MBS 33 060G3011 con señal de 4 a 20 mA será el encargado de obtener la señal en la red hidráulica del edificio.