

**SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL  
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE BOMBEO, USADOS  
PARA MEJORAR LA PRESIÓN EN EL ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN  
DE AGUA POTABLE EN EDIFICACIONES, CONDOMINIOS, CENTROS  
VACACIONALES Y RESIDENCIAS**

**DAVID ANDRÉS VALERO VANEGAS**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
CENTRO REGIONAL GIRARDOT  
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA  
GIRARDOT  
2014-1**

**SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL  
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE BOMBEO, USADOS  
PARA MEJORAR LA PRESIÓN EN EL ABASTECIMIENTO Y DISTRIBUCIÓN  
DE AGUA POTABLE EN EDIFICACIONES, CONDOMINIOS, CENTROS  
VACACIONALES Y RESIDENCIAS**

**DAVID ANDRÉS VALERO VANEGAS**

**TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA**

**ASESORES:  
ING. MAURICIO CONTRERAS MUÑOZ  
ING. ANGEL HERNANDO PALACIOS LOZANO**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
CENTRO REGIONAL GIRARDOT  
TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA  
GIRARDOT  
2014-1**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
**Girardot, 19 de Junio de 2014**

## DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico especialmente a mis padres quienes aun con limitaciones económicas, siempre se esforzaron para poder darme la oportunidad de estudiar y de ampliar mis conocimientos, siempre estuvieron a mi lado incondicionalmente dándome apoyo y fortaleza para solucionar mis problemas y así seguir adelante, ahora sé que lo que me decían: “Que la mejor herencia que podrían dejarme era la educación”, es del todo cierto, pues ¿de qué vale tener dinero, propiedades, lujos, si no se tiene un poco de educación, conocimiento, valores, moral, escrúpulos y aprecio por las personas?

Gracias por darme la vida, el sustento para crecer, estudiar, aprender, mejorar y ser alguien que puede contribuir a mejorar la calidad de vida de las demás personas.

Gracias Papá y Mamá.

## AGRADECIMIENTOS

Inicialmente a Dios, quien permite que este logro sea posible, a mis padres que me dieron la vida y me dieron todo lo que necesité, mis hermanos que me apoyaron incondicionalmente tanto de forma económica como moral, a mis amigos que intervinieron en el proceso de creación como persona y como profesional, a los profesores y tutores que acompañaron todo el proceso de aprendizaje y en general a todas aquellas personas que de alguna manera u otra contribuyeron con realización de este proyecto.

Además quiero agradecer de manera especial a las siguientes personas:

- Ingeniero Armando Darío Tovar Daniel, promotor.
- Ingeniero Rubén Guzmán, colaborador.
- Ingeniero Ángel Palacios, docente de la asignatura.
- Ingeniero Mauricio Contreras, asesor metodológico.
- Ingeniero Efrain Masmela, coordinador del programa.

De igual manera quiero ofrecer mis agradecimientos a la familia, amigos, y en general a todas las personas de mi vínculo social que me colaboraron día tras día.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>14</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
<b>2. JUSTIFICACION</b> .....	<b>16</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>4. MARCOS DE REFERENCIA</b> .....	<b>18</b>
4.1 MARCO LEGAL .....	18
4.1.1 Normas referentes al ahorro, conservación y uso eficiente de la energía eléctrica. ....	18
4.1.2 Normas referentes a la seguridad en instalaciones eléctricas. ....	18
4.1.3 Normas referentes a la regulación, uso eficiente, y calidad del servicio de agua potable: .....	19
4.1.4 Normas Técnicas Colombianas (NTC) .....	19
4.2 MARCO CONCEPTUAL.....	21
4.2.1 Agua. ....	21
4.2.2 Aire. ....	21
4.2.3 Bomba centrífuga. ....	21
4.2.4 Ciclos de bombeo. ....	22
4.2.5 Densidad.....	22
4.2.6 Densidad relativa. ....	22
4.2.7 Dimensión.....	23
4.2.8 Dinámica.....	23
4.2.9 Energía. ....	23
4.2.10 Física. ....	24
4.2.11 Fluidos. ....	25

4.2.12 Fuerza.....	25
4.2.13 Golpe de ariete. ....	25
4.2.14 Hidráulica.....	26
4.2.15 Interruptores de presión.....	26
4.2.16 Líquido. ....	27
4.2.17 Longitud. ....	27
4.2.18 Magnitud. ....	27
4.2.19 Manómetro.....	27
4.2.20 Masa. ....	27
4.2.21 Mecánica. ....	28
4.2.22 Neumática.....	28
4.2.23 PLC (Programable Logic Control).....	29
4.2.24 Presión.....	29
4.2.25 Presión atmosférica. ....	30
4.3.26 Resistencia de los conductores. ....	30
4.2.27 Sensor de presión.....	30
4.2.28 Sistema hidroneumático. ....	30
4.2.29 Tanque de presión. ....	31
4.2.30 Variador de velocidad. ....	32
4.2.31 Volumen.....	32
4.3 MARCO TEÓRICO.....	34
4.3.1 Física. (Ver marco conceptual) ....	34
4.3.2 Segunda ley de Newton.....	34
4.3.3 Unidades de fuerza.....	34
4.3.4 Sistema Técnico de Unidades ....	34
4.3.5 Química. (Ver marco conceptual) ....	35
4.3.6 Estado gaseoso ....	35
4.3.7 Ley general de los gases. ....	35
4.3.8 Ley de Boyle. ....	35
4.3.9 Ley de Charles.....	36
4.3.10 Ley de Gay-Lussac.....	36
4.3.11 Principio de Pascal. ....	37
4.3.12 Principio de la Hidrostática. ....	38

4.3.13 Principio de Arquímedes.....	38
4.3.14 Relación entre peso y masa. ....	38
4.3.15 Electrodinámica. (Ver marco conceptual) .....	38
4.3.16 Corriente eléctrica.....	38
4.3.17 Diferencia de potencial. ....	38
4.3.18 Resistencia eléctrica.....	39
4.3.19 Ohmio $\Omega$ .....	39
4.3.20 Ley de Pouillet. ....	39
4.3.21 Conductancia.....	39
4.3.22 Asociación de resistencias.....	40
4.3.23 Resistencias en serie.....	40
4.3.24 Resistencias en paralelo.....	41
4.3.25 Fuerza electromotriz y resistencia total en un circuito. ....	41
4.3.26 Corrientes derivadas leyes de Kirchhoff. ....	41
4.3.27 1ra. Ley de Kirchhoff: Ley de los Nodos. ....	42
4.3.28 2da. Ley de Kirchhoff: Ley de las Mallas. ....	42
4.3.29 Puente de Wheatstone. ....	42
4.3.30 Energía eléctrica.....	43
4.3.31 Energía consumida o disipada.....	43
4.3.32 Energía producida por un generador. ....	43
4.3.33 Potencia de la corriente eléctrica.....	43
4.3.34 Efecto Joule o Ley de Joule.....	44
<b>5 METODOLOGÍA.....</b>	<b>45</b>
5.1 PARTICIPANTES.....	45
5.2 MATERIALES.....	46
5.3 PROCEDIMIENTO .....	47
5.3.1 Investigación.....	47
5.3.2 Análisis y procesamiento de la información. ....	47
5.3.3 Diseño y simulación. ....	47
5.3.4 Cotización y compra de los materiales. ....	47
5.3.5 Construcción de banco de pruebas del sistema de control.....	47
5.3.6 Pruebas iniciales.....	48
5.3.7 Diseño final e implementación del sistema de control. ....	48



5.4 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACION ACTUAL.....	48
5.5 DISEÑO DE LA SOLUCION PROPUESTA.....	48
5.5.1 Descripción de la solución propuesta. ....	48
5.5.2 Diagrama de etapas.....	51
5.5.3 Diagrama en bloques.....	52
5.5.4 Simulaciones .....	53
<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
6.1 MEDIDAS REALIZADAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL .....	55
<b>7 CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Lista de materiales.....	46
Tabla 2. Comparación general de los valores medidos en los dos sistemas de control.....	55
Tabla 3. Valores de referencia para una carga común.....	55
Tabla 4. Consumo total y costo de referencia para una carga común.....	56
Tabla 5. Comparación valores de referencia de los dos sistemas de control durante el momento crítico del arranque.....	57
Tabla 6. Comparación tiempo de uso y costo y ahorro de los dos sistemas de control durante el momento crítico del arranque.....	58
Tabla 7. Comparación valores medidos en los dos sistemas de control durante los segundos posteriores al arranque.....	60
Tabla 8. Comparación tiempo de uso y costo y ahorro de los dos sistemas de control durante los segundos posteriores al arranque.....	61
Tabla 9. Comparación tiempo de uso y costo y ahorro de los dos sistemas de control durante los primeros 10 segundos de funcionamiento.....	62
Tabla 10. Comparación costos totales de los dos sistemas de control y retorno sobre la inversión.....	63

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Bomba centrífuga. ....	22
Ilustración 2. Ciclo de la energía.....	24
Ilustración 3. Físico-matemático, Albert Einstein. ....	25
Ilustración 4. Representación gráfica de golpe de ariete. ....	26
Ilustración 5. Interruptor de presión o presóstato.....	27
Ilustración 6. Preparación del aire.....	29
Ilustración 7. Fotografía Logo! .....	29
Ilustración 8. Sensor de presión diferencial. ....	30
Ilustración 9. Sistema hidroneumático. ....	31
Ilustración 10. Imagen descriptiva tanque de presión. ....	31
Ilustración 11. Variador de frecuencia Marca Omron.....	32
Ilustración 12. Estados de la materia básicos. ....	35
Ilustración 13. Ley de Boyle.....	36
Ilustración 14. Ley de Charles.....	36
Ilustración 15. Ley de Gay-Lussac.....	37
Ilustración 16. Principio de Pascal. ....	37
Ilustración 17. Representación de una resistencia (a) Americana, (b) Alemana. ”.	40
Ilustración 18. Resistencias en serie.....	40
Ilustración 19. Resistencias en paralelo.....	41
Ilustración 20. Circuito mixto con doble generador. ....	42
Ilustración 21. Puente de Wheatstone. ....	43
Ilustración 22. Diagrama de flujo del sistema de control.....	50
Ilustración 23. Esquema de un hidroneumático. ....	51
Ilustración 24. Diagrama en bloques del sistema propuesto.....	52
Ilustración 25. Diagrama en bloques ilustrado con los dispositivos usados.....	52
Ilustración 26. Diagrama simulación del sistema de control en Logo Soft. ....	53
Ilustración 27. Comparación de los dos sistemas de control. ....	54

## LISTA DE ANEXOS

**Pág.**

ANEXO A. Manual de usuario.....	66
---------------------------------	----

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto nace al observar la necesidad de optimizar los métodos de control en los sistemas de bombeo, usados para mejorar la presión en el abastecimiento y distribución de agua potable en edificaciones, condominios, centros vacacionales y residencias (Sistema hidroneumático), con el fin de disminuir el consumo eléctrico, y así generar un beneficio económico y operativo en cuanto al costo y mantenimiento de estos sistemas, mejorando su productividad y sostenibilidad.

El principal factor que conlleva al elevado consumo de energía eléctrica, consiste en la necesidad de incrementar la presión del agua que llega a cada uno de los usuarios finales, en algunas edificaciones como hoteles, hospitales, u organizaciones como condominios con gran cantidad de residencias o casaquintas, debido a que el caudal que les suministra el acueducto local o en algunos casos especiales su propio acueducto, no es suficiente para satisfacer la demanda por parte de los usuarios, y mucho menos en temporada alta o a determinadas horas del día. Para mitigar este problema de presión baja en la distribución del producto potable, en algunos edificios o residencias se ha instalado un mecanismo llamado sistema hidroneumático, el cual, por lo general es bastante ineficiente en cuanto al uso de la energía eléctrica, por lo cual se propone un sistema de control que mejora notablemente el aspecto de consumo energético.

Dando crédito a esta gran invención, pero observando que el mismo sistema podría mejorarse o ser más eficiente en cuanto a la prestación del servicio, de alguna manera se busca reducir el gasto de energía eléctrica producido por las motobombas que utilizan estos mecanismos, controlando el factor de potencia de los mismos, de esta forma se crea un sistema automatizado que controla tanto el encendido y apagado de los motores, como sus revoluciones por minuto, logrando así reducir el consumo de energía y regular la presión del líquido en todo momento. Utilizando accesorios manejados comúnmente en este tipo de instalaciones, pero agregando el valor de la investigación, el análisis y el procesamiento de datos, para lograr crear el sistema que cumpla con los requisitos y objetivos propuestos.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El nivel de consumo y los costos del suministro de energía eléctrica, así como también, la calidad del servicio de suministro de agua potable en hoteles, condominios, residencias, construcciones y edificaciones en general, son factores que afectan la operación y sostenimiento de este tipo de organizaciones, adicionalmente, el nivel de satisfacción por el servicio prestado a los usuarios es otro factor que se ve comprometido.

Para satisfacer la demanda de agua, se han creado diversos sistemas de abastecimiento convencionales como: sistemas de abastecimiento por gravedad o por bombeo. Estos sistemas se encargan de hacer llegar el agua al lugar donde el usuario y la edificación la requieren. Sin embargo, en algunas ocasiones y debido a ciertos factores como distancia, altura, y número de usuarios conectados al mismo sistema de abastecimiento, se presentan problemas de baja presión del líquido, el cual es común en la mayoría de instalaciones hidráulicas.

Diversos factores pueden afectar la presión y el caudal de líquido en un sistema de abastecimiento y suministro de agua, entre ellos, la distancia entre el punto de abastecimiento y el punto de uso, la altura de las edificaciones, y el número de usuarios o habitantes que obtienen el líquido del mismo sistema de abastecimiento, como es común en los grandes edificios donde funcionan hoteles, residencias, u organizaciones, tales como universidades, hospitales, fábricas entre otros. Por otro lado se puede hablar de los grandes condominios, conformados por centenares de lotes o casaquintas, donde la presión del producto potable se ve afectada, generando en algunos casos inconvenientes con algunos electrodomésticos, que requieren de cierta presión para funcionar adecuadamente.

Para dar respuesta al problema de suministro, se ha creado diversos sistemas que mejoran el caudal o presión del líquido potable, que basan su funcionamiento en las propiedades físicas de los elementos, y en principios elementales como la incompresibilidad del agua y la compresibilidad y elasticidad del aire; entre los que encontramos el sistema Hidroneumático y los sistemas presurizadores, que se encargan de elevar la presión del agua y en caso del último, lo hace únicamente durante el tiempo que se está consumiendo el líquido, dejando la tubería nuevamente sin presión al detectar que se detuvo el consumo de agua.

El sistema Hidroneumático toma el agua contenida en un tanque de almacenamiento, y de allí la envía hacia el tanque de presión cuyo espacio está

conformado por dos compartimientos divididos por una membrana elástica, la cual permite que la relación agua-aire, varíe dependiendo del volumen del líquido que sea forzado a entrar allí. El primer compartimiento contendrá el agua a presión y el segundo aire, el cual se comprime al disminuir el espacio ocupado por el mismo cuando el agua es introducida a la fuerza ocupando la mayor parte del espacio. Luego cuando alcanza cierta presión y volumen de agua, la motobomba se detiene y el sistema presurizado puede bombear el agua sin necesidad de mayor esfuerzo, manteniendo una presión y caudal casi estable y uniforme en cualquier punto de acceso hidráulico de la planta.

De acuerdo con la demanda de agua, la capacidad de almacenamiento del tanque que contiene el agua a presión, y a otros factores que se mencionaran más adelante, se debe tener en cuenta la motobomba implementada, la cual tiene un conjunto de características y parámetros de trabajo que limita los ciclos de bombeo de la misma para un adecuado funcionamiento del sistema Hidroneumático.

Debido a estos factores, por ejemplo si la capacidad de almacenamiento del tanque de presión no es la adecuada, o el control de encendido y apagado del sistema no es eficiente, el cual habitualmente es un control todo o nada realimentado, el sistema provoca demasiados ciclos de bombeo conllevando a costos elevados en cuanto al consumo de energía, el cual consiste en el principal problema causado por el exceso de arranques de las motobombas en el sistema hidroneumático.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

La descripción presentada en el aparte anterior, muestra el impacto desde diferentes factores como el económico, ambiental y la calidad de vida de las personas. Es por lo tanto necesario y útil, mejorar los sistemas eléctricos y electrónicos que actualmente realizan la labor en cuestión, con el fin de generar un uso razonable y eficiente de la energía eléctrica. En consecuencia, surge la siguiente pregunta:

¿Cómo diseñar e implementar un sistema electrónico de control, que optimice el consumo de energía eléctrica en sistemas de bombeo (Sistema hidroneumático), usados para el abastecimiento y distribución de agua potable en edificaciones, condominios, centros vacacionales y residencias?

## 2. JUSTIFICACION

Si bien sabemos el refrigerador es el electrodoméstico que más energía eléctrica consume en una residencia. Según el Fideicomiso Para el Ahorro de Energía Eléctrica (Solís, 2014), el sector Industrial es el que más energía eléctrica consume (61%), comparado con otros sectores como el Doméstico (23%), Comercial y Servicios (7%), Municipal (4%), y el Agrícola (5%). Donde el 36% de la energía demandada por el sector industrial, y más del 45% en todos los sectores, es utilizada en motores eléctricos, sin tener en cuenta los que son utilizados para refrigeración, aire acondicionado y aire comprimido (33%).

Teniendo en cuenta los distintos métodos usados en los sistemas de abastecimiento de agua para regular caudal y presión del líquido: sistema de regulación por estrangulamiento mediante válvula, sistema de regulación por arranque parada, sistema de regulación por by-pass, y por último sistema de regulación electrónica de velocidad con variador de frecuencia. Resulta más eficiente el último método debido a que elimina el problema de golpe de ariete del sistema de regulación por arranque parada, al arrancar y frenar suave, y además previene el envejecimiento prematuro del sistema, reduce la potencia demandada por el motor, algo que no se consigue con el sistema de estrangulamiento, y garantiza el aprovechamiento de toda la energía consumida a diferencia del sistema de regulación por by-pass.

Por estas razones el proyecto es interesante debido a que integra reciente tecnología en cuanto al manejo eficiente de la energía eléctrica (Variadores de frecuencia, PLCs), garantizando no solo un servicio de alta calidad sino también la economía al ahorrar energía y reducir costos de mantenimiento del sistema hidroneumático a corto y largo plazo.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un sistema electrónico de control, que optimice el consumo de energía eléctrica en sistemas de bombeo, usados actualmente para mejorar la presión en el abastecimiento y distribución de agua potable en edificaciones, condominios, centros vacacionales y residencias.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros eléctricos y electrónicos de operación de los sistemas de bombeo, usados en el abastecimiento y distribución de agua potable, que al ser optimizados reduzca los niveles de consumo de energía eléctrica.
- Diseñar un sistema electrónico de control que al integrarse en los sistemas de bombeo de agua potable, permita optimizar el consumo de energía eléctrica
- Implementar el sistema de control diseñado, de forma que evidencie el correcto funcionamiento y el ahorro energético favoreciendo aspectos económicos y ambientales y satisfaciendo las necesidades de las comunidades residentes en este tipo de edificaciones.

## 4. MARCOS DE REFERENCIA

### 4.1 MARCO LEGAL

Dentro del presente punto se van a presentar las diversas normas y reglas establecidas que afectan directa e indirectamente el desarrollo del proyecto. Estas normas hacen referencia a la regulación en sistemas eléctricos, hidráulicos, a nivel ambiental y seguridad industrial.

#### 4.1.1 Normas referentes al ahorro, conservación y uso eficiente de la energía eléctrica.

Teniendo en cuenta la importancia de cuidar nuestros recursos naturales, y la gravedad que implica el gasto desmedido de los mismos, se creó la ley 143 de 1994 donde se menciona la necesidad de crear nuevos artefactos o dispositivos consumidores de energía basados en nuevas tecnología que propendan hacia el ahorro y uso eficiente de la energía, por lo cual el (Congreso de Colombia, 2013), con la Ley 143 de 1994, Capítulo XII, Artículo 67 crea la División de Ahorro, conservación y uso eficiente de la energía y establece las principales funciones que ha de tener dicha organización, una de las cuales (letra e.) dice: “Adoptar normas técnicas para la fabricación de equipos consumidores de energía y para la construcción de inmuebles, que propendan por el ahorro, conservación y uso eficiente de la energía ”

#### 4.1.2 Normas referentes a la seguridad en instalaciones eléctricas.

En el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) expedido por (El Ministerio de Minas y Energía, 2013), se establecen los requisitos que garantizan los objetivos legítimos de protección contra los riesgos de origen eléctrico. A continuación se muestra una pequeña parte del anexo de la presente norma técnica:

## CAPÍTULO 1

### DISPOSICIONES GENERALES

#### ARTÍCULO 1°. OBJETO

El objeto fundamental de este reglamento es establecer las medidas tendientes a garantizar la **seguridad** de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos.

Adicionalmente, señala las exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas con base en su buen funcionamiento; la confiabilidad, calidad y adecuada utilización de los productos y equipos, es decir, fija los parámetros mínimos de seguridad para las instalaciones eléctricas.

Igualmente, es un instrumento técnico-legal para Colombia, que sin crear obstáculos innecesarios al comercio o al ejercicio de la libre empresa, permite garantizar que las instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución, y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- La protección de la vida y la salud humana.
- La protección de la vida animal y vegetal.
- La preservación del medio ambiente.
- La preservación de prácticas que puedan inducir a error al usuario.

#### **4.1.3 Normas referentes a la regulación, uso eficiente, y calidad del servicio de agua potable:**

- Ley 09 de 1979, por la cual se expide el Código Sanitario.
- Ley 373 de 1997, sobre ahorro y uso eficiente del agua.
- Ley 142 de 1994, por la cual se establece la regulación de los Servicios públicos Domiciliarios.
- Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente.

Decreto 475 de 1998, del Ministerio de Salud Pública y de Desarrollo Económico, por el cual se expiden las normas sobre calidad del agua potable.

#### **4.1.4 Normas Técnicas Colombianas (NTC)**

En este apartado se mencionan otras normas que referentes a este proyecto.

- NTC 1461 Colores y Señales de Seguridad.
- NTC 1483 Detectores de Incendio. Clasificación.
- NTC 1595 Bombas Hidráulicas. Definiciones, terminología y símbolos.
- NTC 1762 Válvulas de retención (Cheque) de aleación de Cobre.
- NTC 1775 Bombas centrífugas, bombas de flujo axial y mixto. Ensayos clase
- NTC 1867 Sistema de Señales Contra Incendio. Instalación y usos.
- NTC 1901 Válvulas de accionamiento por flotador

- NTC 1931 Seguridad contra incendios. Señales.
- NTC 1991 Flotadores para accionamiento de válvulas.
- NTC 2011 Válvulas de acondicionamiento por flotador.
- NTC 2097 Válvulas de compuertas con asiento elástico para agua y sistema de alcantarillado.
- NTC 2193 Válvulas de mariposa con asiento elástico
- NTCOO 2295 Uniones mecánicas con sellos elastoméricos para tubos y accesorios de PVC rígido, en transporte de agua a presión.
- NTC 3579 Determinación de la presión hidráulica de rotura a corto plazo en tubos y accesorios de plástico.

## 4.2 MARCO CONCEPTUAL

En este apartado se presentan los conceptos y definiciones que ayudaran al lector a orientarse hacia el significado de los principales términos usados en el contexto del presente documento, debido a que algunos de los términos utilizados pueden tener diferentes significados ocasionando diferentes interpretaciones por parte del lector; por lo que se busca evitar confusiones o errores al momento de leer el cuerpo del trabajo.

### 4.2.1 Agua.

Según el diccionario de la RAE (Real Academia Española):

Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales.

Es el único compuesto al que se le puede encontrar en sus tres estados de la materia (Sólido: hielo, nieve; líquido: ríos, océanos; gaseoso: vapor de agua en el ambiente, humedad).

### 4.2.2 Aire.

Fluido que forma la atmósfera de la Tierra. Es una mezcla gaseosa, que, descontado el vapor de agua que contiene en diversas proporciones, se compone aproximadamente de 21 partes de oxígeno, 78 de nitrógeno y una de argón y otros gases semejantes a este, al que se añaden algunas centésimas de dióxido de carbono. Es una mezcla de varios elementos químicos normalmente invisible, incoloro, inodoro y sin sabor. Según uno de los tantos libros de neumática (Majundar, 1997) los principales constituyentes del aire en volumen son 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno, y 1% de Bióxido de Carbono, y otros gases, incluyendo cierta cantidad de vapor de agua. Se dice que el aire más cercano al suelo es más denso, y en cuanto más altitud se encuentre, la densidad del aire empieza a disminuir.

### 4.2.3 Bomba centrífuga.

Es una máquina eléctrica (motor), con un diseño especial que le permite bombear líquidos en este caso agua desde un contenedor cisterna hasta un tanque de almacenamiento superior o hacia la red de distribución.

Ilustración 1. Bomba centrífuga.



Fuente: <http://www.europacificsa.com/>

#### 4.2.4 Ciclos de bombeo.

Se denomina ciclos de bombeo al número de arranques de la bomba en una hora. Por convención se usa una frecuencia de 4 a 6 ciclos por hora, el ciclo de cuatro (4) arranques/hora se usa para el confort del usuario y se considera que con más de seis (6) arranques/hora puede "Haber" un sobrecalentamiento del motor, desgaste innecesario de las unidades de bombeo y excesivo consumo de energía eléctrica. (SISTEMAS HIDRONEUMATICOS C.A.)

#### 4.2.5 Densidad.

Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. También llamada densidad absoluta de un fluido, se define como la cantidad de masa contenida en una unidad de volumen, así.

$$\rho = \frac{Kg}{m^3}$$

Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico ( $kg/m^3$ ).

#### 4.2.6 Densidad relativa.

La densidad del agua es la densidad que se toma como base para definir la densidad relativa de un fluido, ya que expresa la relación que existe entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua, de la siguiente manera:

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{abs}}{\rho_{H_2O}}$$

#### **4.2.7 Dimensión.**

Longitud, extensión o volumen de una línea, de una superficie o de un cuerpo, respectivamente. A partir de Einstein, se considera la cuarta dimensión: “el tiempo”.

#### **4.2.8 Dinámica.**

Según (Lexus Editores S.A., 2008):

Parte de la mecánica que trata de las leyes del movimiento en relación con las fuerzas que lo producen. Se divide en Hidrodinámica, que se ocupa de la mecánica de los líquidos, Aerodinámica o dinámica de los gases y Dinámica de los puntos o de los cuerpos rígidos.

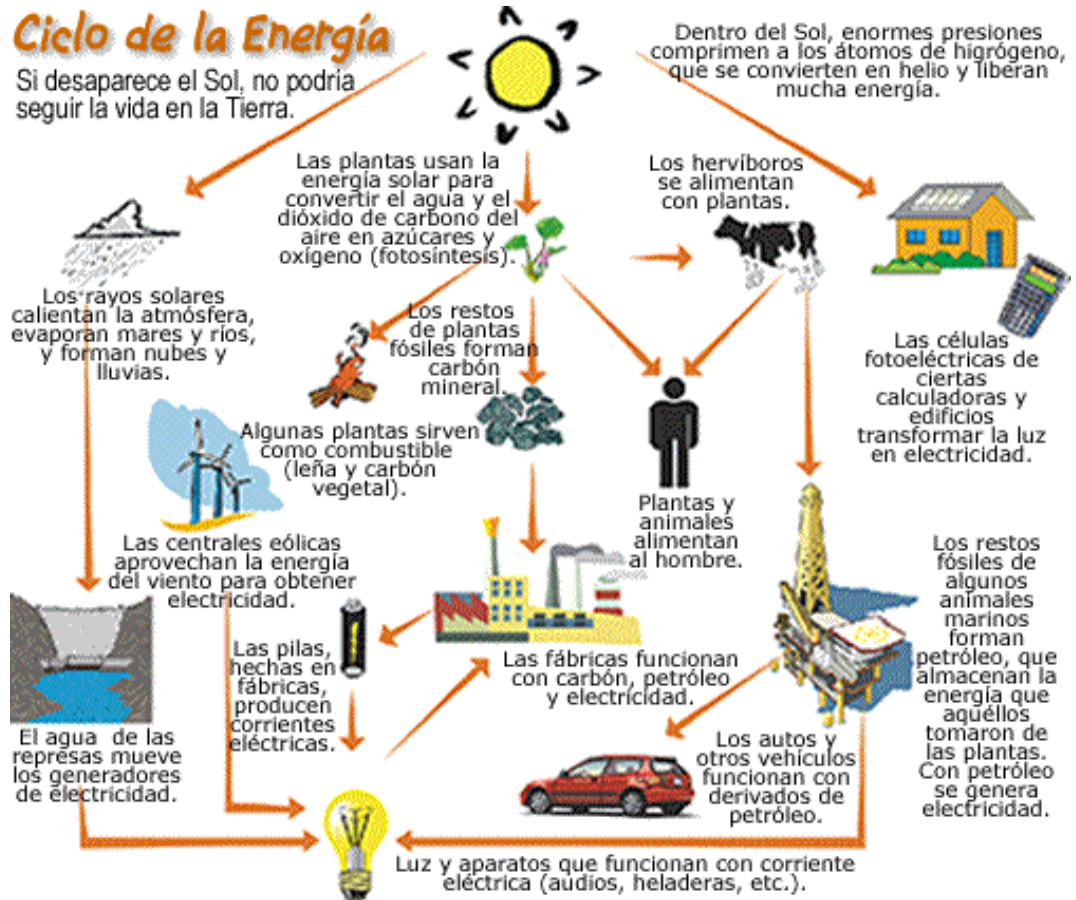
#### **4.2.9 Energía.**

Según (Deléage & Souchon, 1985):

¿Qué es la energía?

Todo el mundo sabe más o menos lo que es, pero nadie puede describirla de forma completa. La energía es algo que interviene en el universo cada vez que se produce un cambio. ¿No parece un tanto vago? Veamos algunos ejemplos: los rayos del sol aportan energía (electromagnética) que, cuando es absorbida por los océanos produce un efecto de calentamiento en los mismos (energía térmica), evapora parte del agua haciéndola llegar hasta las montañas (energía mecánica potencial) hasta que finalmente el agua nos baja de nuevo, proporcionando energía (hidráulica) para las turbinas lo cual produce electricidad, etc. Bajo una apariencia u otra, la energía está en constante transformación, hasta tal punto que uno podría llegar a pensar que este proceso puede continuar infinitamente (principio de conservación de la energía).

Ilustración 2. Ciclo de la energía.



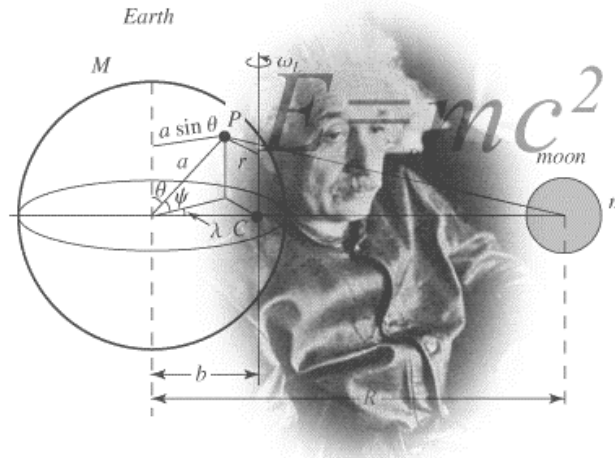
Fuente: <http://www.elpoderdelsol.com/definicion-de-energia.html>

#### 4.2.10 Física.

Es la ciencia que tiene por objeto el estudio de los cuerpos, sus leyes y propiedades mientras no cambie su composición, así como el de los agentes naturales con los fenómenos que en los cuerpos producen su influencia. La física puede dividirse de un modo general en dos: Física Experimental y Física Matemática. En la primera, la labor de investigación tiene a obtener sólo datos y axiomas de la Física matemática. Esta última a su vez, partiendo de esos datos experimentales, establece principios de los cuales se deduce, mediante los recursos del cálculo, fórmulas generales.



Ilustración 3. Físico-matemático, Albert Einstein.



Fuente: [http://www.umag.cl/facultades/ciencias/matematica-fisica/?page\\_id=244](http://www.umag.cl/facultades/ciencias/matematica-fisica/?page_id=244)

#### 4.2.11 Fluidos.

Son sustancias capaces de fluir por un determinado medio al ser aplicadas fuerzas apropiadas sobre estos adaptándose a la forma del recipiente que los contienen. Hasta cierto grado, todos los fluidos son comprensibles y ofrecen poca resistencia a cambios de forma. Básicamente se pueden clasificar en dos grandes grupos: los líquidos y los gases. Las diferencias fundamentales entre líquidos y gases según (Giles, 1970) son: mientras los gases son comprensibles y su masa se expande hasta ocupar todo el espacio del recipiente que lo contiene, los líquidos son prácticamente incompresibles y ocupan un volumen definido.

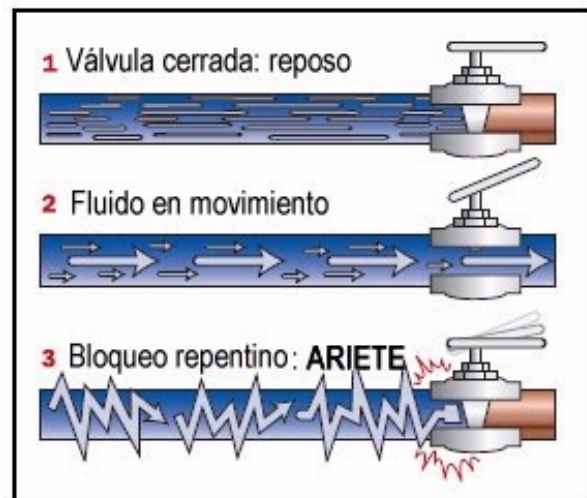
#### 4.2.12 Fuerza.

Es una magnitud vectorial que modifica la situación de los cuerpos, variando su estado de reposo o movimiento, variando la velocidad de los cuerpos, aumentando, disminuyendo o variando su dirección. Toda fuerza aparece como resultado de la interacción de los cuerpos.

#### 4.2.13 Golpe de ariete.

Cuando un líquido es bombeado lleva una alta energía cinética por la velocidad del fluido, que al ser llevado a velocidad cero, por el cierre rápido de una válvula, esta energía se transforma en energía de presión, energía calorífica y ruido, fenómeno conocido como golpe de ariete.

Ilustración 4. Representación gráfica de golpe de ariete.



Fuente: <http://www.bligoo.com/explore/tag/fluidos>

#### 4.2.14 Hidráulica.

La hidráulica utiliza los líquidos como medio de presión para mover los pistones de los cilindros, teniendo en cuenta que este tipo de fluidos es prácticamente incompresible, se puede adicionar a un mecanismo neumático para conformar un sistema hidroneumático.

#### 4.2.15 Interruptores de presión.

Son dispositivos a base de contactos que abren y cierran un circuito en función a una presión mínima y una presión máxima, en este caso para arrancar la motobomba a presión mínima y apagarla a presión máxima.

Ilustración 5. Interruptor de presión o presóstato.



Fuente: <http://www.cpsohio.com/app/load/manual1.aspx?id=ALC0047>

#### **4.2.16 Líquido.**

Una de las dos clases de fluido, prácticamente incompresible, con volumen definido, toma la forma del recipiente que lo contiene.

#### **4.2.17 Longitud.**

Magnitud física que expresa la distancia entre dos puntos. Su unidad en el Sistema Internacional es el metro.

#### **4.2.18 Magnitud.**

Propiedad física que puede ser medida; p. ej., la temperatura, el peso, etc.

#### **4.2.19 Manómetro.**

Es un instrumento de medición que sirve para medir la presión ejercida por los fluidos contenidos en recipientes cerrados. Básicamente existen los manómetros para líquidos y para gases.

#### **4.2.20 Masa.**

Magnitud física que expresa la cantidad de materia que contiene un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo (kg).

#### **4.2.21 Mecánica.**

Mecánica es la parte de la Física que trata del movimiento y de las fuerzas que pueden producirlo, consideradas con toda generalidad, así como del efecto que producen en las máquinas. Tienen tres partes:

- 1.- Mecánica de sólidos:
  - a) Cinemática
  - b) Estática
  - c) Dinámica
- 2.- Mecánica de los líquidos:
  - a) Hidrostática
  - b) Hidrodinámica
- 3.- Mecánica de los gases:
  - a) Neumostática
  - b) Neumodinámica

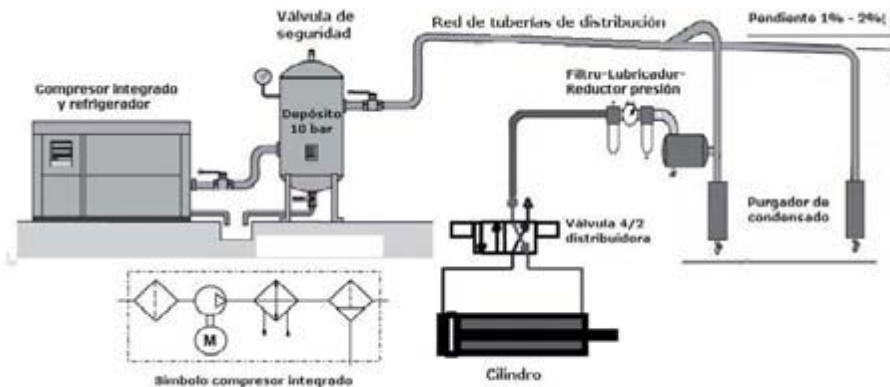
#### **4.2.22 Neumática.**

Según (Solé, 2007), la neumática se refiere al estudio del movimiento del aire. Los sistemas neumáticos son empleados en cilindros y motores neumáticos aplicados en herramientas, válvulas de control, posicionadores, pistolas para pintar, herramientas de impacto como martillos neumáticos, prensas, vibradores, frenos neumáticos, entre otros.

La neumática precisa de una estación de generación y preparación de aire comprimido formada por un compresor de aire un depósito, un sistema de preparación del aire (filtro, lubricador y regulador de presión), una red de tuberías para llegar al utilizador y un conjunto de preparación del aire para cada dispositivo neumático individual (figura 1.1).

Los sistemas neumáticos se complementan con los eléctricos y electrónicos lo que les permite obtener un alto grado de sofisticación y flexibilidad. Utilizan válvulas solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera. El PLC (programmable logic controller) les permite programar la lógica de funcionamiento de un cilindro o de un conjunto de cilindros realizando una tarea específica.

Ilustración 6. Preparación del aire.



Fuente: (Solé, 2007), Pág. 11

#### 4.2.23 PLC (Programmable Logic Control).

Es un control lógico programable, y su función es conmutar si es el caso entre dos bombas centrífugas, así como conectar las entradas y salidas del sistema, tales como sensores, interruptores y señales de control.

Ilustración 7. Fotografía Logo!



Fuente:

<https://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/formacion/sce/pages/zonadedescarga.aspx>

#### 4.2.24 Presión.

La presión es la acción de una fuerza "F", repartida en un área "A". La unidad de presión es el Pascal "Pa".

$$Pa = \frac{N}{m^2}$$

#### 4.2.25 Presión atmosférica.

Presión que ejerce la atmósfera sobre todos los objetos inmersos en ella. Su valor normal al nivel del mar es de 760 mm Hg o 1013 mbar. La superficie de la tierra está rodeada de una capa de aire de unos 1600 Km de altitud llamada atmósfera, la cual ejerce una presión sobre todo lo que rodea llamada presión atmosférica. Según (Majundar, 1997) La presión de los gases es debida a la acción y reacción de los átomos intermoleculares de los mismos. La presión atmosférica al nivel del mar corresponde a 760 mm de mercurio (Hg), lo cual es equivalente a: 76 cm de Hg, 1.013 Bar o 10 m de columna de agua.

#### 4.3.26 Resistencia de los conductores.

La resistencia, es la dificultad que ofrece un conductor al paso de la corriente.

#### 4.2.27 Sensor de presión.

Es un transductor que varía su valor óhmico respecto a la variación de la presión del fluido en un contenedor cerrado.

Ilustración 8. Sensor de presión diferencial.



Fuente: <http://www.sauter-algerie.com/fr/produits/2-regulateurs-deux-points.html>

#### 4.2.28 Sistema hidroneumático.

Es un conjunto de elementos interconectados entre sí, los cuales aprovechando los principios de compresibilidad y elasticidad del aire, permite por medio de una bomba centrífuga, forzar la entrada de agua en un tanque de presión el cual contiene dos compartimientos donde se almacena agua y aire. Al ser introducida a la fuerza, el agua ejerce presión sobre el aire el cual se comprime y eleva su presión empujando a su vez el agua hacia el dispositivo de salida elevando la presión del líquido en la red de suministro.

Ilustración 9. Sistema hidroneumático.



Fuente: <http://limacallao.olx.com.pe/servicio-especializado-en-electrobombas-con-garantia-hidrosal-iiid-513714849>

#### 4.2.29 Tanque de presión.

Es un tanque conformado interiormente por dos compartimientos divididos por una membrana elástica, uno de ellos contiene agua y el otro aire a cierta presión. Consta de un orificio de entrada y otro de salida de agua, y otro orificio para la entrada o salida de aire para calibración de la presión.

Ilustración 10. Imagen descriptiva tanque de presión.



Fuente: [http://www.flexconind.com/html/products/well/challenger\\_series.html](http://www.flexconind.com/html/products/well/challenger_series.html)

#### 4.2.30 Variador de velocidad.

Es un dispositivo electrónico conformado por transistores de potencia o tiristores, capaz de transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial, en energía eléctrica de tensión y frecuencia variables. Dicha variación de frecuencia se logra en dos etapas, una rectificadora que transforma corriente alterna en continua, y otra inversora, que transforma corriente continua en alterna con tensión y frecuencia variable dependiente de las señales de consigna. Básicamente existe dos tecnologías usadas para alcanzar este objetivo: la más común llamada PWM<sup>1</sup> que utiliza transistores; y la otra tecnología consiste en obtener ondas escalonadas, utilizando tiristores.

Ilustración 11. Variador de frecuencia Marca Omron.



Fuente:

[http://industrial.omron.es/es/products/catalogue/motion\\_and\\_drives/frequency\\_inverters/compact\\_solution/mx2/default.html](http://industrial.omron.es/es/products/catalogue/motion_and_drives/frequency_inverters/compact_solution/mx2/default.html)

#### 4.2.31 Volumen.

Magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en tres dimensiones: largo, ancho y alto. Su unidad en el Sistema Internacional es el metro cúbico ( $m^3$ ).

---

<sup>1</sup> (Pulse Width Modulation, o Modulación por anchura de pulsos)





### 4.3 MARCO TEÓRICO

En este apartado se mencionan las teorías en las que se basa el funcionamiento físico, químico, hidráulico, eléctrico y electrónico del proyecto.

#### 4.3.1 Física. (Ver marco conceptual)

#### 4.3.2 Segunda ley de Newton

La aceleración que adquiere un cuerpo de masa “m”, bajo la acción de una fuerza “F”, es directamente proporcional a la fuerza “F” e inversamente proporcional a la masa “m”.

$$a = \frac{F}{m}$$

#### 4.3.3 Unidades de fuerza

1 NEWTON:(unidad de fuerza del SI):

Es la fuerza que se aplica a 1 kg para provocarle la aceleración de  $1m/seg^2$ .

$$1N = 1kg \cdot \frac{m}{seg^2}$$

#### 4.3.4 Sistema Técnico de Unidades

La longitud, fuerza y tiempo, son las magnitudes fundamentales en el Sistema Técnico de Unidades. El metro para la longitud, el Kilogramo fuerza o Kilogramo peso, y el segundo, corresponden a las unidades fundamentales respectivamente. Las demás unidades son deducidas de estas tres básicas. Así la unidad de área es el  $m^2$ , la unidad de volumen es  $m^3$ , la unidad de aceleración es el  $m/seg^2$ , y la unidad de presión es el  $Kg/m^2$ .

La unidad de masa en este sistema, la UTM<sup>2</sup>, se establece a partir de las unidades de aceleración y fuerza. La aceleración a la que es sometido un cuerpo que cae en el vacío, corresponde a la de la gravedad ( $g = 9,81 m/seg^2$ ) al nivel del mar, actuando sobre mismo únicamente la fuerza de su peso. Entonces teniendo en cuenta la segunda ley de Newton.

$$Fuerza \text{ en } Kg = masa \text{ en } UTM \times aceleración \text{ en } m/seg^2$$

---

<sup>2</sup> (Unidad Técnica de Masa)

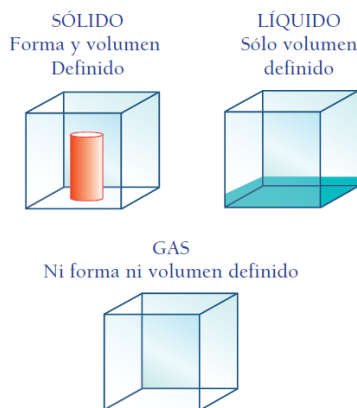
Por lo tanto:  $Peso\ en\ Kg = masa\ en\ UTM \times g(9,81\ m/seg^2)$   
 O  $masa\ M\ en\ UTM = \frac{peso\ W\ en\ Kg}{g(9,81\ m/seg^2)}$

#### 4.3.5 Química. (Ver marco conceptual)

#### 4.3.6 Estado gaseoso

Es un estado de la materia en la que las moléculas gozan de movimiento libre e independiente, alejándose y acercándose entre sí en forma desordenada. Sus movimientos son rectilíneos, caóticos y elásticos. El volumen “V” que ocupa, la temperatura “T” y la presión “P” que ejerce, son variables en los gases.

Ilustración 12. Estados de la materia básicos.



Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 239

#### 4.3.7 Ley general de los gases.

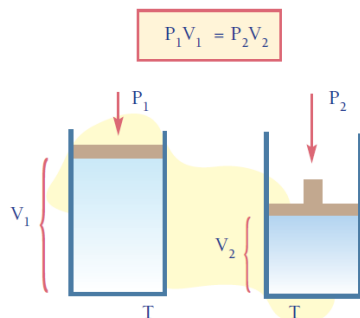
“En todo gas ideal el producto de la presión absoluta por el volumen, dividido entre la temperatura absoluta es constante”.

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

#### 4.3.8 Ley de Boyle.

“A temperatura constante, los volúmenes de un gas varía en forma inversamente proporcional a las presiones absolutas”. El proceso se llama “isotérmico”.

**Ilustración 13. Ley de Boyle.**

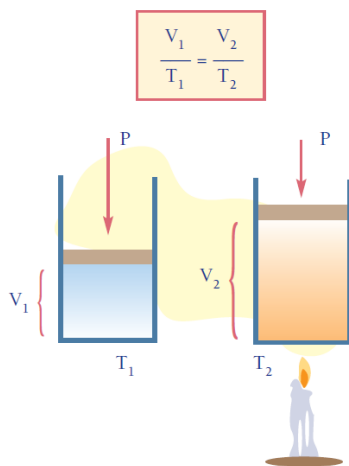


Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 239

#### 4.3.9 Ley de Charles.

“A presión constante, los volúmenes de un gas varían en forma directamente proporcionales a las temperaturas absolutas”. El proceso se llama “isobárico”.

**Ilustración 14. Ley de Charles.**

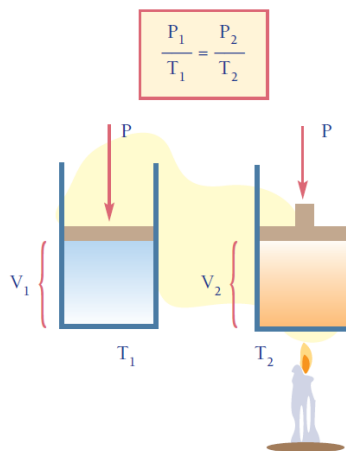


Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 239

#### 4.3.10 Ley de Gay-Lussac

“A volúmenes constantes, las presiones absolutas varían en forma directamente proporcional a las temperaturas absolutas”. El proceso se llama “isométrico” o “isócoro”.

**Ilustración 15. Ley de Gay-Lussac.**



Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 239

#### 4.3.11 Principio de Pascal.

La presión que soporta un líquido lo transmite en todas direcciones y en la misma magnitud. Ejemplo:

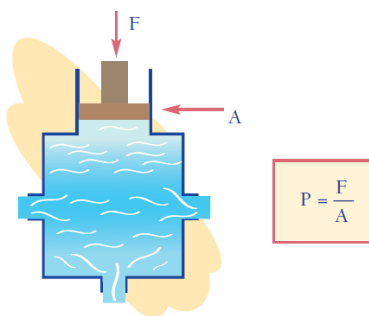
La fuerza “F” sobre el émbolo es 60 N, área del émbolo 0,2 m<sup>2</sup>. Cada orificio tiene 1 cm<sup>2</sup>, la presión con que sale el agua por cada orificio es:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{60 \text{ N}}{0,2 \text{ m}^2} = 300 \text{ Pa}$$

o

$$P = 300 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

**Ilustración 16. Principio de Pascal.**



Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 185

#### 4.3.12 Principio de la Hidrostática.

La presión que soporta un cuerpo que está sumergido en un líquido se distribuye en toda la superficie del cuerpo y en forma perpendicular a esta superficie.

#### 4.3.13 Principio de Arquímedes.

“Todo cuerpo sumergido en un gas, experimenta la acción de una fuerza vertical de abajo hacia arriba que es igual al peso del volumen del gas desalojado”. Esta la razón por la que algunos cuerpos muy livianos, como un globo lleno de Helio, se elevan en la atmósfera.

#### 4.3.14 Relación entre peso y masa.

$$m = \frac{P}{g}$$

Unidades SI:  $\frac{N}{m/seg^2} = kg$

m = masa, en kg

P = peso de la masa “m”, en N

g = aceleración de la gravedad terrestre; en  $m/seg^2$

La unidad de masa del SI es el KILOGRAMO “kg”:

$$kg = \frac{N}{\frac{m}{seg^2}} \Rightarrow N = kg \cdot \frac{m}{seg^2}$$

∴ 1 KILOGRAMO “kg”.- Es la masa que hay en 1  $dm^3$  de agua pura a 4 °C.

#### 4.3.15 Electrodinámica. (Ver marco conceptual)

#### 4.3.16 Corriente eléctrica.

Es el flujo de electrones a través de un conductor. Su unidad es la intensidad.

$$i = \frac{Q}{t}$$

i= intensidad, en amperios: “A”.

Q = masa eléctrica, en coulombios: “C”.

t = tiempo, en segundos: “s”.

#### 4.3.17 Diferencia de potencial.

$$E = \frac{W}{Q}$$

$E$  = fuerza electromotriz, (f.e.m.) en voltios “V”.

$W$  = energía desplazada, en Joulios: “J”.

$Q$  = carga eléctrica desplazada, en Coulombs: “C”.

#### 4.3.18 Resistencia eléctrica.

$$R = \frac{E}{i}$$

$R$  = resistencia del conductor o aparato receptos, en ohmios: “ $\Omega$ ”.

$E$  = f.e.m. en voltios “V”.

$i$  = intensidad, en amperios “A”.

#### 4.3.19 Ohmio $\Omega$ .

El “ohmio patrón” es la resistencia que ofrece un alambre de mercurio (Hg) de 1,063 m de longitud, de 1 mm de diámetro de sección, a 0°C, al paso de un amperio de corriente eléctrica cuando la diferencia de potencial es de 1 voltio.

#### 4.3.20 Ley de Pouillet.

“La resistencia de un conductor homogéneo, de sección recta constante, es directamente proporcional a su longitud “L” e inversamente proporcional a su sección recta “A”.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$R$  = resistencia del conductor, en ohmio “ $\Omega$ ”

$\rho$  = resistividad, o resistencia específica propia de cada material, en ohmios/cm

$L$  = longitud del conductor, en metros: “m”

$A$  = área de la sección del conductor, en “m<sup>2</sup>”

#### 4.3.21 Conductancia.

Es la inversa de la resistencia.

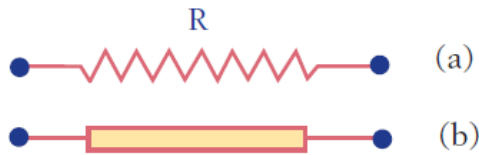
$$G = \frac{1}{R}$$

$G$  = conductancia, en ohms: “ $\Omega$ ”

$R$  = resistencia, en ohms: “ $\Omega$ ”

### 4.3.22 Asociación de resistencias.

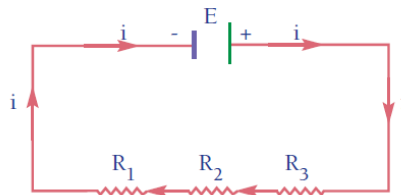
Ilustración 17. Representación de una resistencia (a) Americana, (b) Alemana. ”.



Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 199

### 4.3.23 Resistencias en serie.

Ilustración 18. Resistencias en serie.



Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 199

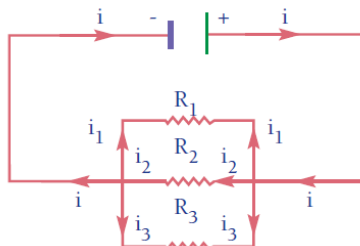
Sus características:

- 1)  $i = i_1 = i_2 = \dots$
- 2)  $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
- 3)  $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$



### 4.3.24 Resistencias en paralelo.

Ilustración 19. Resistencias en paralelo.



Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 199

Sus características:

- 1)  $i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$
- 2)  $\frac{i}{R} = \frac{i}{R_1} + \frac{i}{R_2} + \frac{i}{R_3} + \dots$
- 3)  $E = E_1 = E_2 = E_3 = \dots$

Las intensidades en cada ramal son inversamente proporcionales a sus resistencias:

$$\frac{i_1}{R_2} = \frac{i_2}{R_1} \rightarrow \frac{i_2}{R_3} = \frac{i_3}{R_2} \rightarrow \frac{i_1}{R_3} = \frac{i_3}{R_1}$$

### 4.3.25 Fuerza electromotriz y resistencia total en un circuito.

Caída de tensión externa

$$E_e = i \cdot R_e$$

Caída de tensión interna

$$E_i = i \cdot R_i$$

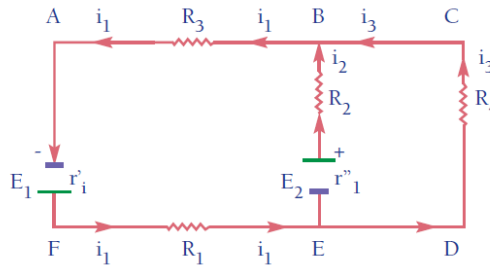
Caída de tensión total

$$E_T = E_e + E_i$$

### 4.3.26 Corrientes derivadas leyes de Kirchhoff.

La dirección que se les asigna a la corriente en cada nudo es arbitraria. Si ha sido equivocada, el proceso de solución matemático lo indicará.

**Ilustración 20. Circuito mixto con doble generador.**



Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 200

**4.3.27 1ra. Ley de Kirchhoff: Ley de los Nodos.**

“La suma algebraica de las intensidades de las corrientes que llegan a un nodo es cero” o “La suma de las intensidades que llegan a un nodo es igual a la suma de las intensidades que salen del nodo”.

$$\sum i = 0$$

Ejemplo: Nudo B:  $i_2 + i_3 = i_1$

**4.3.28 2da. Ley de Kirchhoff: Ley de las Mallas.**

“La suma algebraica de las fuerzas electromotrices de una malla cualquiera es igual a la suma algebraica de los productos de las intensidades por las respectivas resistencias”.

$$\sum E = \sum i * R$$

Ejemplo:

Para la malla ABEF

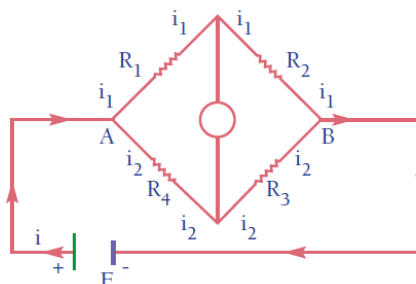
$$E_1 + E_2 = i_1 \cdot R_1 + i_2 \cdot r''_1 + i_2 \cdot R_2 + i_1 \cdot R_3 + i_1 \cdot r'_1$$

**4.3.29 Puente de Wheatstone.**

“Si el puente de Wheatstone se halla en equilibrio, el producto de las resistencias opuestas, son iguales”.

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

Ilustración 21. Puente de Wheatstone.



Fuente: (Lexus Editores S.A., 2008) Pág. 201

#### 4.3.30 Energía eléctrica.

Es la capacidad de la corriente eléctrica para realizar un trabajo. Puede ser: a) Energía consumida por aparatos eléctricos; b) Energía producida por un generador.

#### 4.3.31 Energía consumida o disipada.

$$W = V \cdot Q \quad (I)$$

$W$  = energía consumida, en joules “J”.

$V$  = diferencia de potencial, en volts: “V”.

$Q$  = carga eléctrica consumida, en Coulombs “C”.

La fórmula (I) puede tomar otras formas:

Si:  $Q = i \cdot t \therefore W = V \cdot i \cdot t$

Si:  $i = \frac{V}{R} \therefore W = \frac{V^2 \cdot t}{R}$

Si:  $V = i \cdot R \therefore W = i^2 \cdot R \cdot t$

#### 4.3.32 Energía producida por un generador.

$$W = E \cdot Q \quad (II)$$

$W$  = energía del generador, en joules “J”.

$E$  = f.e.m. del generador, en volts: “V”.

$Q$  = carga suministrada por el generador, en Coulombs “C”.

#### 4.3.33 Potencia de la corriente eléctrica.

$$P = \frac{W}{t} \therefore \text{watt} = \frac{\text{joule}}{t} \therefore W = \frac{J}{t} \quad (I)$$

La fórmula (I) puede tomar otras formas en función de otras mediciones de corrientes, así:

$$\text{Si: } W = E \cdot Q \therefore P = \frac{E \cdot Q}{t}$$

$$\text{Si: } Q = i \cdot t \therefore P = i \cdot E$$

$$\text{Si: } i = \frac{E}{R} \therefore P = \frac{E^2}{R}$$

$$\text{Si: } E = i \cdot R \therefore P = i^2 \cdot R$$

Equivalencias:

$$\begin{aligned} 1 K.W &= 10^3 W \\ 1KW.h &= 3,6 \cdot 10^6 J \end{aligned}$$

#### 4.3.34 Efecto Joule o Ley de Joule.

“El calor “ $Q$ ” disipado por un conductor al pasar la corriente a través de él, es directamente proporcional a la energía eléctrica “ $W$ ” gastada para vencer la resistencia del conductor”.

$$Q = 0,24 \cdot W$$

$$\text{Si: } W = i^2 \cdot R \cdot t \therefore Q = 0,24 \cdot i^2 \cdot R \cdot t$$

Donde:

0,24 = factor de conversión de joules a calorías (0,24 cal/J).

$Q$  = calor producido, en calorías: “cal”.

$i$  = intensidad de la corriente, en amperes: “A”.

$R$  = resistencia del conductor, en ohms: “ $\Omega$ ”.

$t$  = tiempo que circula la corriente, en segundos: “s”.

$$1 J = 0,24 \text{ cal}$$

## 5 METODOLOGÍA

### 5.1 PARTICIPANTES

En el proceso de realización de este proyecto intervinieron un sinnúmero de personas quienes de una manera u otra contribuyeron a que éste se hiciera posible. Algunos aportaron una ayuda económica, otros me facilitaron el aprendizaje de todo lo que concierne al tema, y otros me ayudaron motivacionalmente. Inicialmente hago referencia al Ingeniero Armando Darío Tovar Daniel, quien fue el cocreador de la idea de trabajar sobre la optimización del control de los sistemas hidroneumáticos. Ha sido Director del área de tecnología en electrónica, docente, tutor, y gran concejero. Ha puesto a mi disposición su taller (herramientas, dispositivos, energía eléctrica) para la realización de las pruebas iniciales, y me ha acompañado intelectualmente durante el proceso.

También quiero nombrar al Ingeniero Rubén Guzmán, fundador y dueño de Multicontrol, la cual, es una empresa de Ingeniería, fundada en Colombia en 1999, que se ha especializado en proveer y asesorar a sus clientes en la implementación de instrumentos y controles para automatización de máquinas y procesos industriales. Es una gran persona llena de conocimientos y buenos valores, rodeado por un gran equipo de personas, quien dispuso parte de su tiempo así como el de otras personas para asesorarme en cuanto a los mejores dispositivos utilizados en el sector y los más eficientes métodos de control. De igual manera contribuyó económicamente al realizar un descuento poco habitual sobre el principal dispositivo electrónico usado en este proyecto (variador de frecuencia).

De igual manera el Ingeniero Ángel Palacios docente de la asignatura, quien ha hecho una gran labor en el curso, aclarando parte por parte todo lo concerniente a las etapas del proyecto, por su dedicación y aportes en cuanto a la claridad del documento y además por algunos consejos en cuanto al diseño de la solución propuesta. El Ingeniero Mauricio Contreras, docente y asesor, quien de igual forma ha estado al tanto de las correcciones y actualizaciones velando por que se realice de la mejor forma posible. El Ingeniero Efrain Masmela, Coordinador de las tecnologías de la Uniminuto, quien ha estado al tanto de los requerimientos por parte del proyecto con respecto a la universidad.

Así mismo paso a nombrar a Nicolás Perdomo, compañero y amigo, quien ha estado muy pendiente de los avances del proyecto, me ha venido colaborando motivacional y económicamente. Por último los compañeros de quinto y sexto semestre de tecnología electrónica que de cierta manera me han colaborado, y al Tecnólogo egresado Andrés Triana, quien ha dedicado tiempo para dar respuesta a las solicitudes de préstamo de elementos o laboratorios para las diferentes prácticas y pruebas del sistema de control.

## 5.2 MATERIALES

A continuación se relacionará la cantidad y precio de los dispositivos, elementos y materiales que se usaron para la realización de este proyecto:

Tabla 1. Listado de materiales.

Cantidad	Dispositivo o material	Valor unitario	Valor total
1	Variador de frecuencia Trifásico 3 HP	\$970.000	\$970.000
1	Logo de Siemens	\$750.000	\$750.000
7	Switch de codillo 2 ampers	\$800	\$5.600
3	Cable UTP x metros	\$500	\$1.500
1	Conector hembra RJ45 Ethernet	\$2.200	\$2.200
1	Cheque de cortina 1"	\$25.000	\$25.000
1	Llave de paso PVC 1"	\$13.000	\$13.000
1	Manómetro seco 60 PSI	\$7.000	\$7.000
5	Codo PVC 1"	\$400	\$2.000
2	Tubería PVC 1" x metros	\$1.200	\$2.400
2	Tornillos con arandela y tuerca	\$100	\$200
1	Adaptador PVC 1"	\$800	\$800
1	Cautin	\$12.000	\$12.000
1	Soldadura	\$2.000	\$2.000
<b>Total</b>			<b>\$1.793.700</b>

Fuente: propia, mayo de 2014.

Según lo tabulado en la anterior tabla se puede observar que el presupuesto invertido en el proyecto fue alrededor de un millón setecientos noventa y tres mil setecientos pesos (\$1.793.700).

### **5.3 PROCEDIMIENTO**

Para la realización del presente proyecto se tuvo en cuenta las siguientes fases o etapas:

#### **5.3.1 Investigación.**

Inicialmente se realizó la fase de investigación donde se recogió toda la información referente a los principales sistemas de abastecimiento y aumento de la presión del agua. Se buscó en internet, así como en libros de ingeniería civil e hidroneumática. Para tener una referencia de los sistemas que se están usando actualmente, también se investigó en el sector comercial con empresas que prestan servicios similares y de control automático de procesos.

#### **5.3.2 Análisis y procesamiento de la información.**

En esta fase se realizó un análisis de toda la información recogida en la fase anterior, y se definió las características funcionales del sistema de control, los métodos usados para llegar al objetivo y los dispositivos más eficientes que pudieran garantizar todas las características de la solución propuesta.

#### **5.3.3 Diseño y simulación.**

Para esta fase se implementó un sistema a escala con el cual se comprobó el funcionamiento del sistema “teóricamente”, y facilitó el diseño del sistema de control teniendo en cuenta las variables a controlar y las posibles perturbaciones.

#### **5.3.4 Cotización y compra de los materiales.**

Una vez definido los dispositivos que se iban a usar para la realización del sistema de control, se procedió a realizar la cotización de los mismos y luego la compra teniendo en cuenta las mejores cotizaciones con las mejores características de los dispositivos tales como precio, calidad y rentabilidad.

#### **5.3.5 Construcción de banco de pruebas del sistema de control.**

Teniendo en cuenta la fase anterior y el método de control que se estableció en ella, se diseñó un banco de pruebas conformado por una pecera de vidrio, una motobomba, una tubería de PVC, un manómetro, un variador de velocidad, una caja de interruptores y un LOGO! de Siemens.

### **5.3.6 Pruebas iniciales.**

Una vez construido el banco de pruebas, se inició la fase de experimentación, modificando los distintos parámetros y tomando registro de las distintas variables, con el fin de definir los mejores métodos de control con el sistema más eficiente.

### **5.3.7 Diseño final e implementación del sistema de control.**

Después de la fase de pruebas y el diseño del control con las mejores ventajas y características se procedió con la implementación del sistema como tal.

## **5.4 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACION ACTUAL**

Actualmente los sistemas hidroneumáticos pueden ser controlados mediante diversos métodos de control, el más común es el control “Todo o nada” en lazo cerrado donde un presóstato o interruptor de presión cierra a una presión mínima y abre a una presión máxima, encendiendo y apagando una o más bombas para alcanzar la presión máxima configurada, cuando el sistema cae a la presión mínima establecida.

El anterior método de control resulta ser económico, pero poco eficiente, debido a que muchas veces, por errores de cálculo, tamaño del tanque a presión inapropiado y características de la bomba, se pueden presentar ciclos de bombeo por encima de lo normal implicando gastos energéticos adicionales. También se debe tener en cuenta que este tipo de control sólo aporta una señal de arranque o parada al motor, lo cual radica en que el motor arranca con su máxima potencia consumiendo de seis a ocho veces la corriente nominal del motor.

## **5.5 DISEÑO DE LA SOLUCION PROPUESTA**

### **5.5.1 Descripción de la solución propuesta.**

Para dar solución al problema de los elevados costos energéticos causados por el fenómeno anteriormente mencionado, se implementó un sistema de control digital en lazo cerrado con velocidad variable, el cual recibe las señales de los presóstatos y en función a la presión sensada, controla la velocidad rotacional del motor para aumentar gradualmente la potencia de trabajo y así conseguir arranques suaves con varias velocidades dependientes de la presión del sistema. Los arranques y paradas con rampas de aceleración y desaceleración, que se consiguen con los reguladores de velocidad, implican menores esfuerzos y desgaste en los elementos del sistema así como la disminución del consumo eléctrico.



Para realizar el control se utilizó un Logo! el cual recibe las señales de los presóstatos (simulados con interruptores de codillo.) y en relación a ello, envía las señales de control al variador de frecuencia quien a su vez entrega las variaciones de frecuencia directamente sobre la alimentación del motor. El motor aumenta o reduce sus revoluciones por minuto lo cual incide en el aumento o reducción del caudal de agua bombeado.

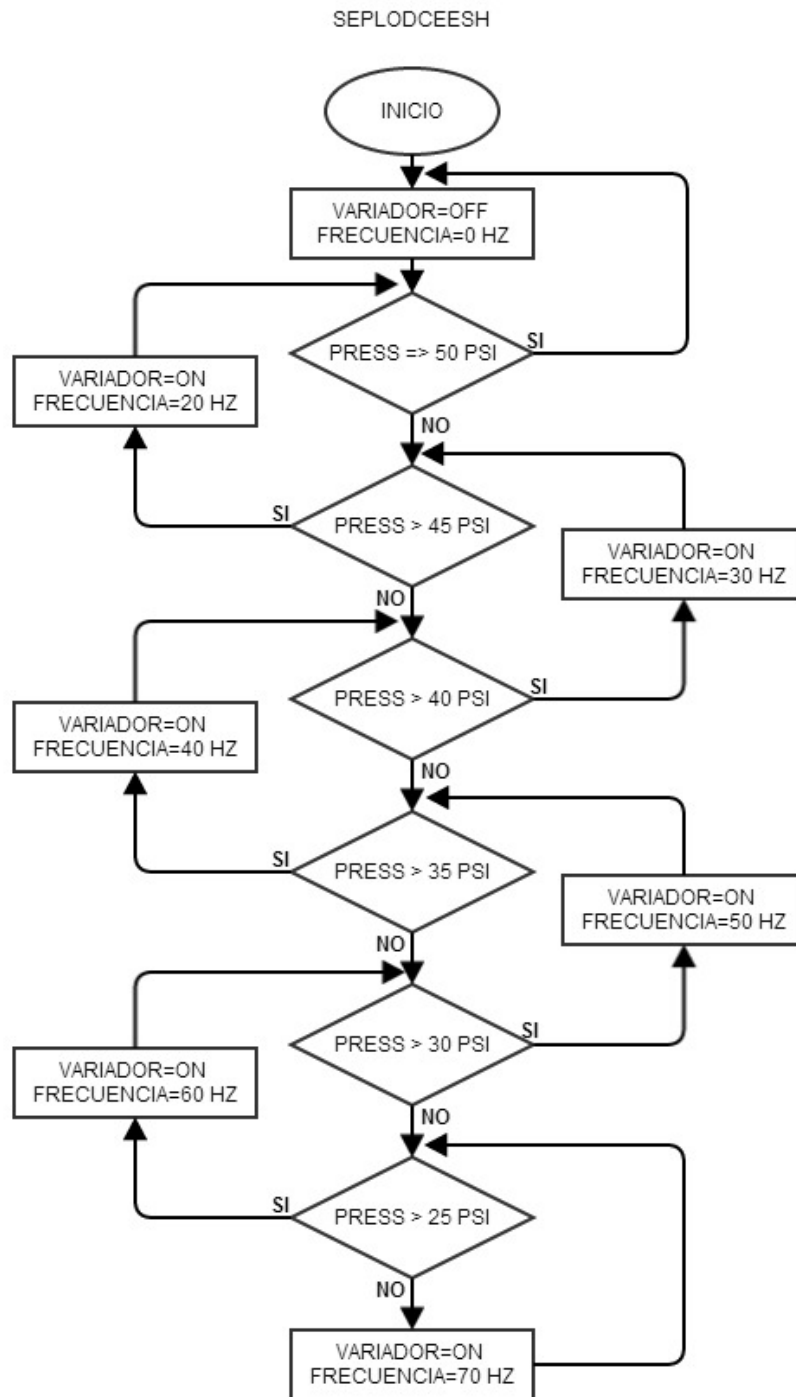
En la Ilustración 22, se puede apreciar un diagrama de flujo del sistema de control, donde se percibe los ciclos y las decisiones tomadas por el Logo!, dependiendo de la presión detectada por los sensores.

Inicialmente el sistema hidroneumático se encuentra apagado y sin presión alguna (0 PSI), al energizar el sistema, inmediatamente evalúa el estado del presóstato de 50 PSI, si la presión es igual o mayor a la presión máxima definida, mantiene el controlador apagado y la frecuencia en 0 Hz (Stand by), si por el contrario la presión se encuentra por debajo de este nivel, evalúa el estado del presóstato de 45 PSI, y si la presión se encuentra entre estos dos valores, enciende el sistema controlador y activa la señal de 20 Hz, volviendo a evaluar el presóstato de 50 PSI (primer ciclo).

De esta forma se mantendrá en este ciclo hasta que la presión alcance los 50 PSI o caiga por debajo de 45 PSI, en cuyo caso activaría la frecuencia de 30 HZ y evaluará el presóstato de 40 PSI (segundo ciclo). Si la presión sube de 45 PSI, realiza la rutina del primer ciclo, pero si por el contrario, baja de 40 PSI, activará la frecuencia de 40 HZ y evaluará el presóstato de 35 PSI (tercer ciclo).

De igual forma continuará evaluando sensor tras sensor activando las distintas frecuencias en función a la presión medida, hasta recuperar la presión establecida, en este caso de 50 PSI.

**Ilustración 22. Diagrama de flujo del sistema de control.**



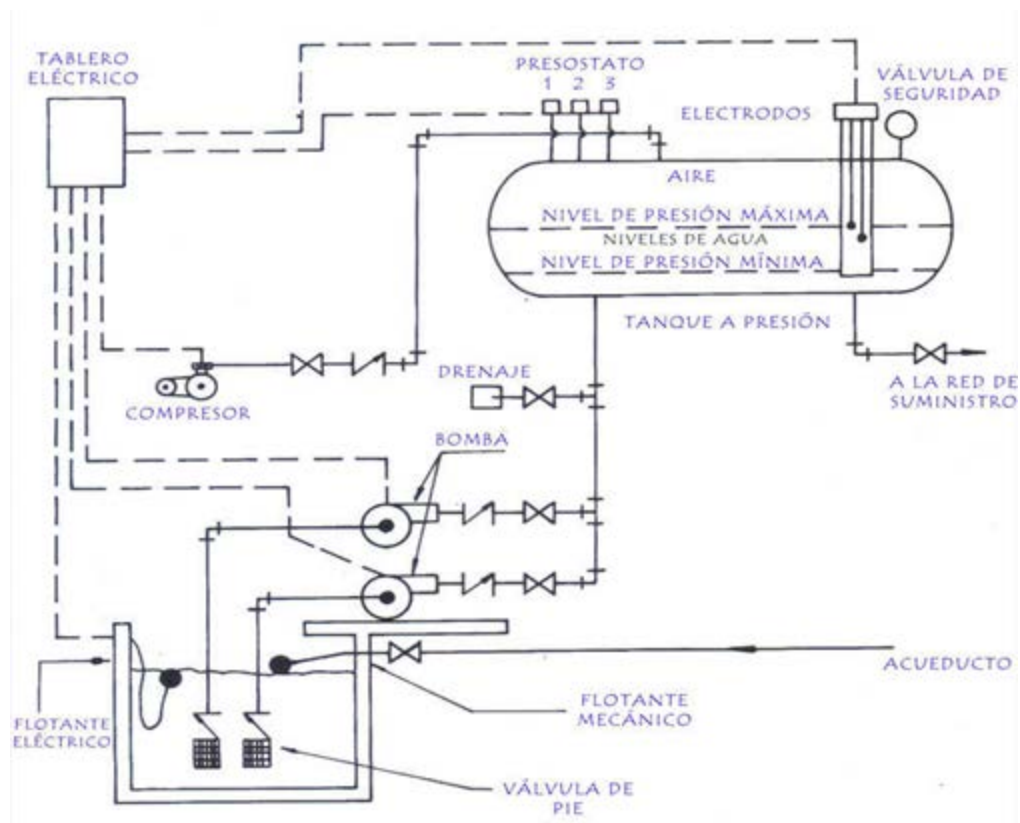
Ver.2014.05.09.22.27 David Andrés Valero Vanegas

**Fuente: propia, mayo de 2014.**

### 5.5.2 Diagrama de etapas

En este diagrama se puede observar el esquema del sistema hidroneumático donde se muestran todos los componentes y sistemas interconectados, tanto partes eléctricas como hidráulicas, y neumáticas.

Ilustración 23. Esquema de un hidroneumático.



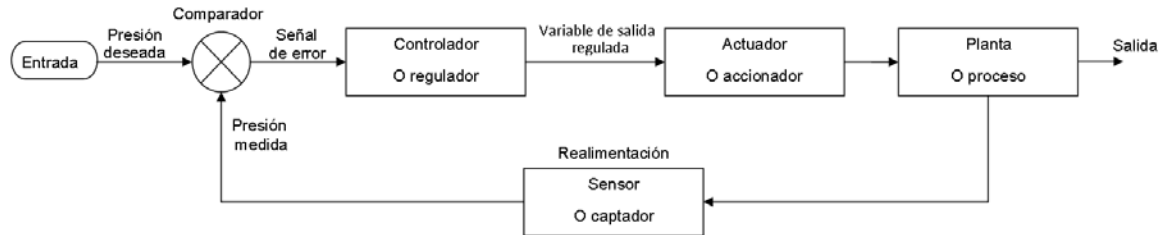
Fuente:

[http://media.wix.com/ugd/2d640b\\_80078e01fc84b46e2357dd702a49d336.pdf?dn=SISTEMA+HIDRONEUMATICO.pdf](http://media.wix.com/ugd/2d640b_80078e01fc84b46e2357dd702a49d336.pdf?dn=SISTEMA+HIDRONEUMATICO.pdf)

### 5.5.3 Diagrama en bloques

En este diagrama se observa las etapas del sistema de control en lazo cerrado, conformado básicamente por un comparador, un controlador, un actuador, un proceso, un sensor, una señal de consigna o entrada, una variable a modificar y una desviación o señal de error.

**Ilustración 24. Diagrama en bloques del sistema propuesto.**



Fuente: propia, mayo de 2014.

En la siguiente ilustración se muestra las etapas de control con imágenes de cada elemento que conforma el sistema de control realimentado. Se observa un Set Point, el cual es la presión máxima del sistema, el LOGO!, quien recibe las señales del o de los sensores de presión o presóstatos, y en función a estos datos, envía una señal de error al controlador el cual es el variador de frecuencia, quien a su vez modifica y controla la frecuencia que entrega al motor. Este aumenta o disminuye su potencia, en función a la señal de control que envía el variador de frecuencia. Al modificar la velocidad de rotación o RPM, puede reducir o aumentar la cantidad de agua que es forzada a entrar al tanque de presión el cual constituye la planta o proceso. Finalmente se observa a la salida una presión de 50 PSI, la cual es la variable y el valor que se quiere mantener con el sistema de control.

**Ilustración 25. Diagrama en bloques ilustrado con los dispositivos usados.**

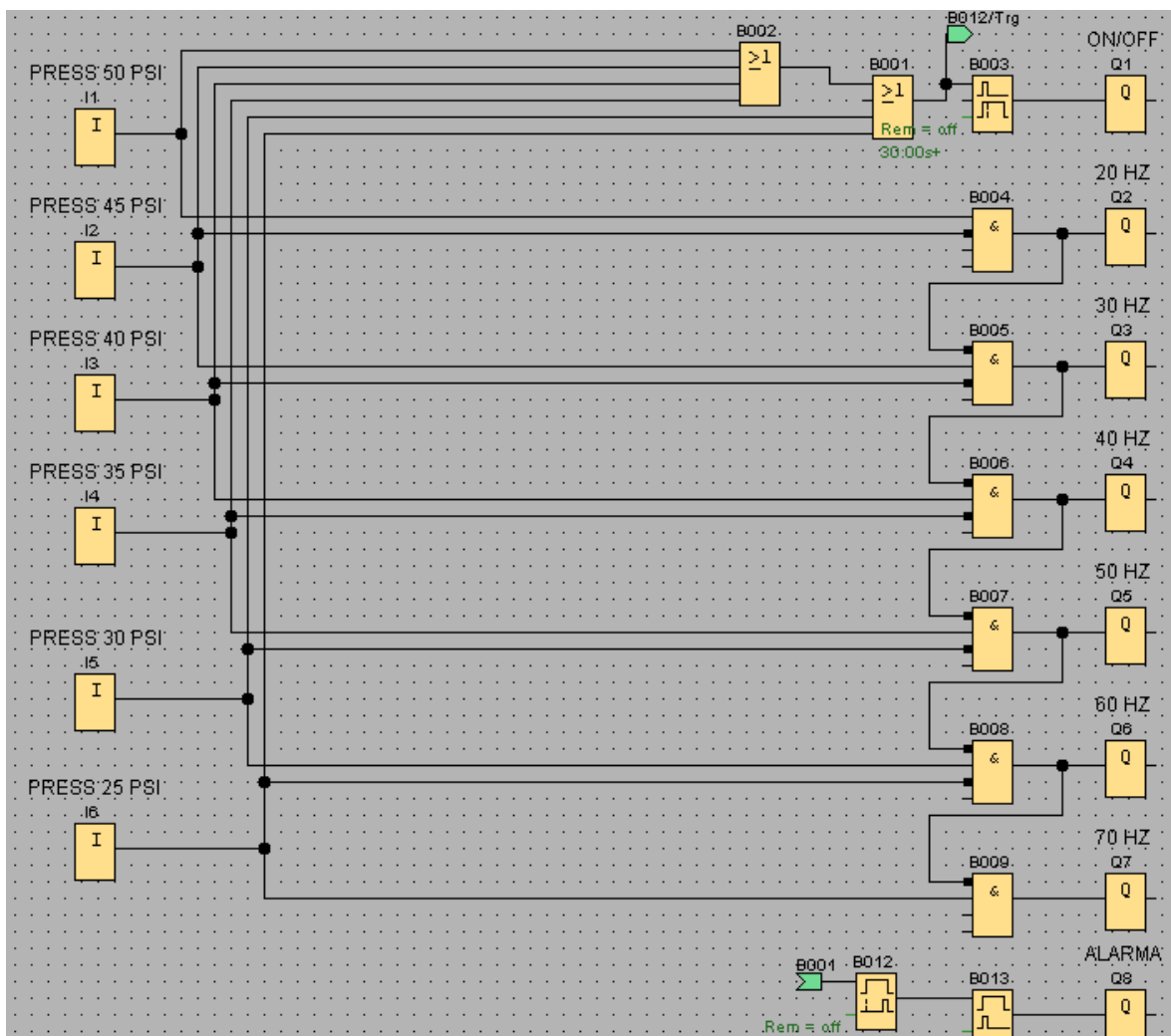


Fuente: propia, mayo de 2014.

### 5.5.4 Simulaciones

A continuación podemos observar el programa del LOGO! con el cual se realiza la recepción y comparación de los sensores de presión, y en base a ello envía la señal al sistema controlador, el variador de velocidad.

Ilustración 26. Diagrama simulación del sistema de control en Logo Soft.

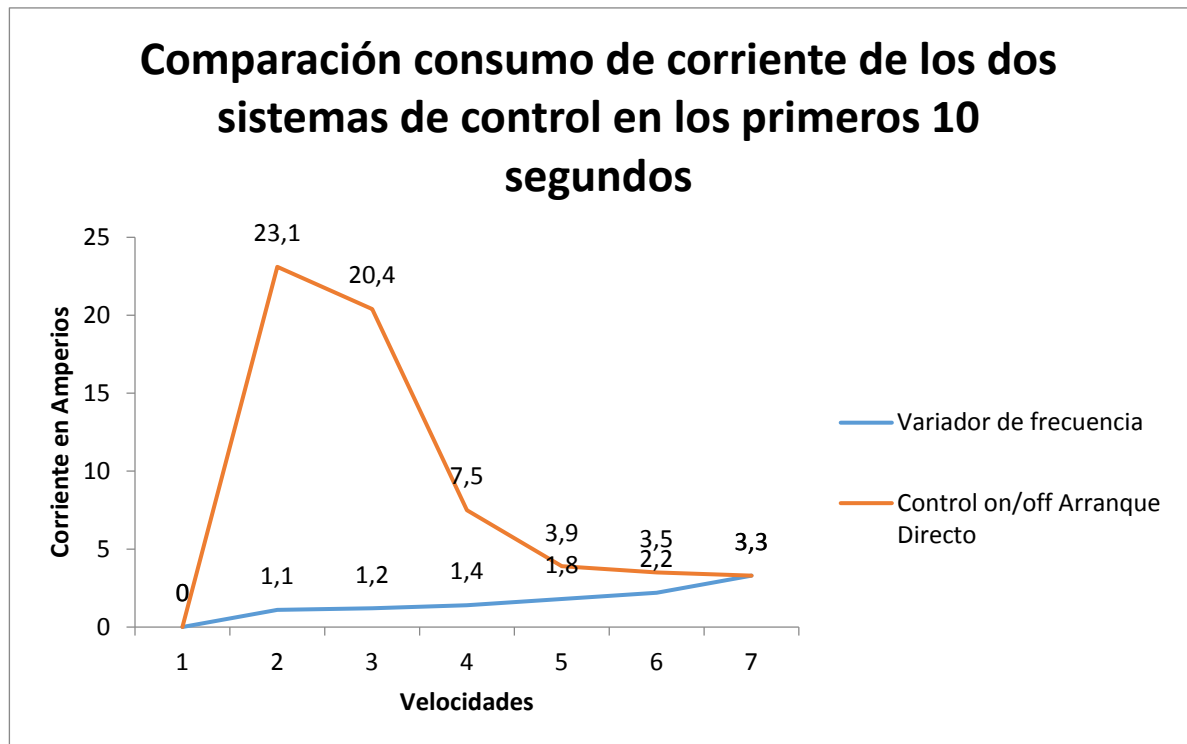


Fuente: propia, mayo de 2014.

## 6 RESULTADOS

En una de las pruebas del sistema de control que se realizó en un sistema de bombeo prototipo, con una motobomba, un circuito hidráulico, un tanque de almacenamiento, una válvula de pie, un manómetro, una válvula de paso, y con la carga, se obtuvo la siguiente información:

Ilustración 27. Comparación de los dos sistemas de control.



Fuente: propia, junio de 2014.

Teniendo en cuenta las mediciones realizadas en distintas pruebas se ha observado que el sistema de control diseñado, cumple inicialmente con los objetivos propuestos ya que suprime prácticamente las reactancias inductivas (Corrientes de arranque en los inducidos), es así que, en ningún momento, bajo circunstancias normales de funcionamiento, la corriente supera el nivel de corriente nominal, sumándole el hecho de que el consumo de corriente del sistema con carga es proporcional a la frecuencia de trabajo, y ésta a su vez es proporcional a la presión del sistema, la mayor parte del tiempo, trabajará en los niveles de consumo menor, ahorrando energía.

## 6.1 MEDIDAS REALIZADAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

En la Tabla 2, se tabulan los valores medidos de voltaje, frecuencia, amperaje, ciclos de bombeo y tiempo estimado de uso, de los dos sistemas de control.

**Tabla 2. Comparación general de los valores medidos en los dos sistemas de control.**

COMPARACIÓN VALORES MEDIDOS DE ENTRADA Y SALIDA DE LOS DOS SISTEMAS DE CONTROL						
	ENTRADA		SALIDA			
	Control on-off	Variador	Control on-off		Variador	
Frecuencia en Hz	59	62	59		S2	20HZ
					S3	30HZ
					S4	40HZ
					S5	50HZ
					S6	60HZ
					S7	70HZ
Voltaje en Voltios	208	209	208		209	
Corriente en Amperios	--	--	Arranque	Nominal	Arranque	Nominal
	--	--	47	7,86	4	7,86A
Arranques en una hora	Control on-off		Variador de frecuencia			
	52		52			
Duración del arranque en segundos	2		2			
Horas de uso al día	18		18			

Fuente: propia, junio de 2014.

En la tabla 3, se muestran los valores normales de voltaje, consumo y potencia de una carga común para efectos de referencia y/o comparación.

**Tabla 3. Valores de referencia para una carga común.**

CARGA	Voltaje en Voltios	Corriente en Amperios	Potencia en Vatios
Bombillo 60 W	120	0,5	60

Fuente: propia, junio de 2014.

En la tabla 4 se muestra costo total en pesos para un uso diario estimado de 18 horas durante 30 días, con un costo de \$500/Kwhora, para una carga de 60W.

**Tabla 4. Consumo total y costo de referencia para una carga común.**

CARGA	Total de tiempo de funcionamiento/1 día	Días de uso/1 mes	Vatios consumidos/1 mes	KWH/1 mes	PRECIO/KWh	Costo total en pesos
Bombillo 60 W	18	30	32400	32,4	500	16200

Fuente: propia, junio de 2014.

Donde:

Vatios consumidos en un mes = horas uso al día × días de uso × potencia en vatios

$$\text{Vatios hora consumidos} = \frac{18 \text{ horas}}{\text{día}} * \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} * 60\text{W}$$

$$\text{Vatios consumidos} = \frac{32400\text{Whora}}{\text{mes}}$$

$$\text{KWhora consumidos} = \frac{32400\text{Whora}}{\text{mes}} \times \frac{1\text{KWhora}}{1000\text{Whora}}$$

$$\text{KWhora consumidos} = \frac{32,4\text{KWhora}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{\text{KWhora consumidos}}{\text{mes}} \times \frac{\text{Pesos}}{\text{KWhora}}$$

$$\text{Costo total} = \frac{32,4\text{KWhora}}{\text{mes}} \times \frac{500 \text{ pesos}}{\text{KWhora}}$$

$$\text{Costo total} = \frac{16200 \text{ pesos}}{\text{mes}}$$



En la tabla 5, se muestra el voltaje, la corriente, la potencia y el tiempo en horas que dura el momento crítico de arranque teniendo en cuenta el número de arranques en una hora y la duración del mismo.

**Tabla 5. Comparación valores de referencia de los dos sistemas de control durante el momento crítico del arranque.**

CARGA	Momento crítico durante el arranque			
	Voltaje en Voltios	Corriente en Amperios	Potencia de arranque en Vatios	Total tiempo de arranque/1 día
Control on-off	208	47	9776	0,02888889
Variador	208	4	832	0,02888889

Fuente: propia, junio de 2014.

Donde:

$$Potencia \text{ en vatios} = corriente \times voltaje$$

Para el control on-off:

$$Potencia \text{ en vatios} = 47A \times 208V$$

$$Potencia \text{ en vatios} = 9776W$$

Para el Variador:

$$Potencia \text{ en vatios} = 4A \times 208V$$

$$Potencia \text{ en vatios} = 832W$$

Tiempo de duración del momento crítico de arranque

$$= \frac{\text{arranques}}{\text{hora}} \times \text{duración en segundos} \times \frac{\text{hora}}{3600 \text{ seg}}$$

$$Tiempo \text{ de duración del momento crítico de arranque} = \frac{52}{\text{hora}} \times 2 \text{ seg} \times \frac{\text{hora}}{3600 \text{ seg}}$$

$$Tiempo \text{ de duración del momento crítico de arranque} = \frac{0,02888889 \text{ horas}}{\text{hora}}$$

En la tabla 6 se muestra el uso estimado diario, días de uso mensual, vatios consumidos, precio por KWhora, costo mensual, y porcentajes de ahorro de los dos sistemas de control en el momento crítico de arranque.

**Tabla 6. Comparación tiempo de uso y costo y ahorro de los dos sistemas de control durante el momento crítico del arranque.**

CARGA	Momento crítico durante el arranque								
	Horas de uso/día	Total tiempo de arranque/día	Días de uso/mes	Vatios hora consumidos /Mes	Kilovatio hora consumidos/mes	Precio KWh en pesos	Costo total en pesos	% consumo actual/anterior	% de ahorro
Control on-off	18	0,52	30	152505,6	152,5056	500	76253	1175,00%	
Variador	18	0,52	30	12979,2	12,9792	500	6490	8,51%	91,49%

Fuente: propia, junio de 2014.

Donde:

$$\begin{aligned} & \text{Tiempo de duración del momento crítico de arranque} \\ &= \frac{\text{horas de uso}}{\text{día}} \times \frac{\text{duración arranque en horas}}{\text{hora}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Tiempo de duración del momento crítico de arranque} \\ &= \frac{18 \text{ horas}}{\text{día}} \times \frac{0,02888889 \text{ horas}}{\text{hora}} \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo de duración del momento crítico de arranque} = \frac{0,52 \text{ horas}}{\text{día}}$$

Para el control on-off:

$$\begin{aligned} & \text{Consumo en vatios} \\ &= \frac{\text{días de uso}}{\text{mes}} \times \text{Potencia de arranque} \\ & \times \text{Tiempo de duración del momento crítico de arranque} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo en vatios} = \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \times 9776W \times \frac{0,52 \text{ horas}}{\text{día}}$$

$$\text{Consumo en vatios} = \frac{152505,6 \text{ Whora}}{\text{mes}}$$

$$\text{Consumo en Kilovatios} = \frac{152505,6\text{Whora}}{\text{mes}} \times \frac{1\text{ KWhora}}{1000\text{Whora}}$$

$$\text{Consumo en Kilovatios} = \frac{152,5056\text{KWhora}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo por KWhora} = 500 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{\text{Consumo en Kilovatios}}{\text{mes}} \times \text{Costo KWhora}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{152,5056\text{KWhora}}{\text{mes}} \times \frac{500 \text{ pesos}}{\text{KWhora}}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{76253 \text{ pesos}}{\text{mes}}$$

Para el variador:

*Consumo en vatios*

$$= \frac{\text{días de uso}}{\text{mes}} \times \text{Potencia de arranque} \\ \times \text{Tiempo de duración del momento crítico de arranque}$$

$$\text{Consumo en vatios hora} = \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} \times 832\text{W} \times \frac{0,52 \text{ horas}}{\text{día}}$$

$$\text{Consumo en vatios hora} = \frac{12979,2\text{Whora}}{\text{mes}}$$

$$\text{Consumo en Kilovatios hora} = \frac{12979,2\text{Whora}}{\text{mes}} \times \frac{1\text{ KWhora}}{1000\text{Whora}}$$

$$\text{Consumo en Kilovatios hora} = \frac{12,9792\text{W}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo por KWhora} = 500 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{\text{Consumo en Kilovatios hora}}{\text{mes}} \times \text{Costo KWhora}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{12,9792\text{KWhora}}{\text{mes}} \times \frac{500 \text{ pesos}}{\text{KWhora}}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{6490 \text{ pesos}}{\text{mes}}$$

En la tabla 7, se muestra el voltaje, la corriente, la potencia y el tiempo en horas durante los segundos posteriores al arranque teniendo en cuenta el número de arranques en una hora y la duración de los mismos.

**Tabla 7. Comparación valores medidos en los dos sistemas de control durante los segundos posteriores al arranque.**

CARGA	Segundos posteriores al arranque			
	Voltaje en Voltios	Corriente nominal en Amperios	Potencia nominal en Vatios	Total de tiempo/1 hora
Control on-off	208	7,68	1597,44	0,11555556
Variador	208	7,68	1597,44	0,11555556

Fuente: propia, junio de 2014.

Donde:

$$Potencia \text{ en vatios} = corriente \text{ nominal} \times voltaje$$

Para el control on-off:

$$Potencia \text{ en vatios} = 7,68A \times 208V$$

$$Potencia \text{ en vatios} = 1597,44W$$

Para el Variador:

$$Potencia \text{ en vatios} = 7,68A \times 208V$$

$$Potencia \text{ en vatios} = 1597,44W$$

$$\begin{aligned} & \text{Tiempo de duración de los segundos postriores al arranque} \\ & = \frac{\text{arranques}}{\text{hora}} \times \text{duración en segundos} \times \frac{\text{hora}}{3600 \text{ seg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Tiempo de duración de los segundos postriores al arranque} \\ & = \frac{52}{\text{hora}} \times 8 \text{ seg} \times \frac{\text{hora}}{3600 \text{ seg}} \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo de duración de los segundos postriores al arranque} = \frac{0,11555556 \text{ horas}}{\text{hora}}$$

En la tabla 8, se muestra el uso estimado diario, días de uso mensual, vatios consumidos, precio por KWhora, costo mensual, y porcentajes de ahorro de los dos sistemas de control durante los segundos posteriores al arranque.

**Tabla 8. Comparación tiempo de uso y costo y ahorro de los dos sistemas de control durante los segundos posteriores al arranque.**

CARGA	Segundos posteriores al arranque								
	Horas de uso/día	Total tiempo posterior al arranque / día	Días de uso/mes	Vatios hora consumidos / Mes	Kilovatio hora/mes	Precio KWh en pesos	Costo total en pesos	% consumo actual/anterior	% de ahorro
Control on-off	18	2,08	30	99680,256	99,68026	500	49840	100,00%	
Variador	18	2,08	30	99680,256	99,68026	500	49840	100,00%	0,00%

Fuente: propia, junio de 2014.

Donde:

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo de duración de los segundos posteriores al arranque} \\ & = \frac{\textit{horas de uso}}{\textit{día}} \times \frac{\textit{duración posterior al arranque en horas}}{\textit{hora}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo de duración de los segundos posteriores al arranque} \\ & = \frac{18 \textit{ horas}}{\textit{día}} \times \frac{0,11555556 \textit{ horas}}{\textit{hora}} \end{aligned}$$

$$\textit{Tiempo de duración de los segundos posteriores al arranque} = \frac{2,08 \textit{ horas}}{\textit{día}}$$

Para los dos sistemas de control:

*Consumo en vatios*

$$\begin{aligned} & = \frac{\textit{días de uso}}{\textit{mes}} \times \textit{Potencia nominal} \\ & \times \textit{Tiempo de duración de los segundos posteriores al arranque} \end{aligned}$$

$$\textit{Consumo en vatios} = \frac{30 \textit{ días}}{\textit{mes}} \times 1597,44W \times \frac{2,08 \textit{ horas}}{\textit{día}}$$

$$\textit{Consumo en vatios} = \frac{99680,256W \textit{ hora}}{\textit{mes}}$$

$$\text{Consumo en Kilovatios} = \frac{99680,256\text{Whora}}{\text{mes}} \times \frac{1\text{ KWhora}}{1000\text{Whora}}$$

$$\text{Consumo en Kilovatios} = \frac{99,68026\text{WhoraKWhora}}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo por KWhora} = 500 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{\text{Consumo en Kilovatios}}{\text{mes}} \times \text{Costo KWhora}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{99,68026\text{KWhora}}{\text{mes}} \times \frac{500 \text{ pesos}}{\text{KWhora}}$$

$$\text{Costo total en pesos} = \frac{49840 \text{ pesos}}{\text{mes}}$$

En la tabla 9, se muestra el uso estimado diario, días de uso mensual, vatios consumidos, precio por KWhora, costo mensual, y porcentajes de ahorro de los dos sistemas de control durante los 10 primeros segundos de funcionamiento.

**Tabla 9. Comparación tiempo de uso y costo y ahorro de los dos sistemas de control durante los primeros 10 segundos de funcionamiento.**

CARGA	10 primeros segundos contando los de arranque								
	Horas de uso/1 día	Total tiempo de arranque/1 día	Días de uso/1 mes	Vatios consumidos/1 Mes	Kilovatio/1 mes	Precio KWh en pesos	Costo total en pesos	% consumo actual/anterior	% de ahorro
Control on-off	18	2,6	30	252185,856	252,1859	500	126093	223,85%	
Variador	18	2,6	30	112659,456	112,6595	500	56330	44,67%	55,33%

En esta tabla se suman los valores de las tablas 6 y 8 y se obtienen los valores totales de los dos sistemas de control durante los primeros 10 segundos de funcionamiento (incluyendo los 2 segundos críticos del momento de arranque).

Se observa que el costo de energía consumida por el sistema propuesto corresponde a un 44,67% del consumo con el control on-off, con un ahorro del 55,33%.

En la tabla 10 se muestra la diferencia de los costos de los dos sistemas de control y se evidencia tanto el ahorro mensual como el retorno sobre la inversión.

**Tabla 10. Comparación costos totales de los dos sistemas de control y retorno sobre la inversión.**

CARGA	Cálculos retorno sobre la inversión (ROI)		
	Costo mes en pesos	Ahorro por mes	Meses para ROI
Control on-off	126092,928		
Variador	56329,728	69763,2	28,6684097
Inversión Control en pesos	2000000		

Fuente: propia, junio de 2014.

Para resumir, se puede apreciar el ahorro en la tabla 6 donde al cambiar del primer sistema de control (on-off), por el sistema de control propuesto, se obtiene un consumo de 8,51% con respecto al anterior consumo, en los dos primeros segundos los cuales se consideran el momento crítico de arranque donde se produce el mayor consumo de energía, y donde actúa principalmente el sistema de control para optimizar el sistema.

En la tabla 10 se aprecia el ahorro:

*Ahorro mensual*

$$= \text{Costo mensual en pesos sistema on – off} \\ - \text{costo mensual en pesos variador}$$

$$\text{Ahorro mensual} = 126092,928 \text{ pesos} - 56329,728 \text{ pesos}$$

$$\text{Ahorro mensual} = 69763,2 \text{ pesos}$$

$$\text{Inversión Control en pesos} = 2000000 \text{ pesos}$$

$$\text{Meses ROI} = \frac{\text{Inversión Control en pesos}}{\text{Ahorro mensual en pesos}}$$

$$\text{Meses ROI} = \frac{2000000 \text{ pesos}}{69763,2 \text{ pesos}}$$

$$\text{Meses ROI} = 28,6684097$$

## 7 CONCLUSIONES

Es claro que este sistema de control se hace más eficiente cuando se trata de potencias elevadas, por lo cual resulta más beneficioso. Por ejemplo los sistemas de bombeo en un hotel, o un centro vacacional, donde el consumo de corriente es excesivamente elevado debido a los potentes sistemas de bombeo requeridos, y teniendo en cuenta que el ahorro de energía es directamente proporcional a la potencia del sistema, esto implica que el retorno de inversión será en un menor tiempo donde la amortización de la inversión nos la financiará el ahorro.

El uso de un variador de velocidad se justifica por el incremento de velocidad y potencia. Los inversores tienen la oportunidad de funcionar a velocidades por encima de la velocidad nominal. En una aplicación de la ley del par al cuadrado, un incremento del 10% en la velocidad aumenta la potencia entregada en un 33% y el par en un 21%.

El uso de Convertidores de Frecuencia añade un enorme potencial para el ahorro de energía disminuyendo la velocidad del motor en muchas aplicaciones. Además, aportan los siguientes beneficios: Mejora del proceso de control y por lo tanto la calidad del producto, arranque programable por software, parada y freno, ancho de rango de velocidad, par y potencia; facilita el control con varios motores.

Este proyecto, aun en la fase en la que se encuentra, puede ser una pequeña muestra de lo que se puede llegar a hacer para contribuir con el medio ambiente y así luchar por una mejor calidad de vida, respetando nuestro hogar, el planeta tierra.

En ocasiones se puede llegar a pensar que no se está en la capacidad intelectual, emocional o física para alcanzar las metas propuestas. A veces se subestima lo mucho que se puede lograr con poco, y sólo hasta cuando alguien toma la iniciativa, es cuando se logran grandes cosas.



## BIBLIOGRAFÍA

- Congreso de Colombia. (30 de Agosto de 2013). LEY 143 DE 1994. Colombia.
- Deléage, J. P., & Souchon, C. (1985). Programa Internacional de Educación Ambiental UNESCO-PNUMA. En *La energía como tema interdisciplinar en la educación ambiental* (C. Syntax, Trad., págs. 91-92). España: Los libros de la Catarata.
- El Ministerio de Minas y Energía. (30 de Agosto de 2013). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Recuperado el 31 de Marzo de 2014, de [http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=3&id\\_categoria=157&id\\_subcategoria=770](http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=3&id_categoria=157&id_subcategoria=770)
- Giles, R. V. (1970). MECANICA DE LOS FLUIDOS E HIDRAULICA. México: McGraw.
- Lexus Editores S.A. (2008). *FÓRMULAS MATEMÁTICAS* (Primera ed.). Miraflores, Perú: Lexus Editores.
- Majundar, S. (1997). Sistemas Neumáticos Principios y mantenimiento. Mac Graw Hill.
- Real Academia Española. (s.f.). Recuperado el 21 de Marzo de 2014, de <http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>
- SISTEMAS HIDRONEUMATICOS C.A. (s.f.). *sishica*. Recuperado el 12 de Mayo de 2014, de <http://www.sishica.com/sishica/download/Manual.pdf>
- Solé, A. C. (2007). En *Neumática e Hidráulica* (pág. 9). España: Marcombo.
- Solís, I. J. (31 de Marzo de 2014). *Conae*. Obtenido de [http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4253/4/210906\\_S2FIDE\\_JAVIERORTEGA.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4253/4/210906_S2FIDE_JAVIERORTEGA.pdf)

## ANEXO A MANUAL DE USUARIO

Sistema Electrónico de Control para  
la Optimización del Consumo de  
Energía Eléctrica en Sistemas de  
Bombeo, Usados para Mejorar la  
Presión en el Abastecimiento y  
Distribución de Agua Potable en  
Edificaciones, Condominios, Centros  
Vacacionales y Residencias.  
Manual de Usuario

David Andrés Valero Vanegas ▶ Ingeniería Valero de Colombia ▶ 09/06/2014

Para mayor información, comuníquese a la siguiente dirección de correo electrónico:  
[ingeniatvalerodacolombia@hotmail.com](mailto:ingeniatvalerodacolombia@hotmail.com)

Para atención inmediata favor comunicarse al 3125794335.