

# **NORMA TÉCNICA DE IMPULSIÓN Y TRANSMISIÓN DE AGUA**

**NDI-SE-IT-001**

## **CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO PARA ACUEDUCTO**



<b>Código</b>	<b>NDI-SE-IT-001</b>
<b>Estado</b>	<b>VIGENTE</b>
<b>Versión</b>	<b>1.0 – 11/12/2013</b>
<b>Fuente</b>	<b>GUENA – EMCALI EICE ESP-DISEÑO</b>
<b>Tipo de Documento</b>	<b>NORMA TÉCNICA DE SERVICIO</b>
<b>Tema</b>	<b>IMPULSIÓN Y TRANSMISION DE AGUA POTABLE</b>
<b>Comité</b>	<b>COMITÉ TÉCNICO DE APROBACIÓN DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO</b>

<b>Título</b>	<b>CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO PARA ACUEDUCTO</b>
---------------	---

## **ÍNDICE**

	<b>Pág.</b>
1. PROLOGO	<b>6</b>
2. OBJETO	<b>7</b>
3. ALCANCE	<b>7</b>
4. DEFINICIONES	<b>7</b>
5. REFERENCIAS NORMATIVAS	<b>8</b>
6. REQUISITOS	<b>11</b>
6.1 GENERALIDADES DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO	<b>11</b>
6.1.1 Sistema de Telemetría	12
6.1.2 Vulnerabilidad y Amenaza Sísmica	12
6.1.3 Factibilidad de Ampliación	13
6.1.4 Aislamientos	13
6.1.5 Seguridad	13
6.1.6 Protección contra Inundaciones	13
6.1.7 Protección contra Rayos	13
6.1.8 Protección contra Incendios	14
6.1.9 Protección Contra Trasientes	14
6.1.10Facilidad de Mantenimiento	14
6.1.11Disponibilidad de energía	14
6.1.12Operación Económica	15
6.1.13Restricción de Acceso	15
6.2 RECOMENDACIONES CIVILES	<b>15</b>
6.2.1 Generalidades	15
6.2.2 Sala de Bombas	15
6.2.3 Sala de Control	15
6.3 INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS	<b>16</b>
6.3.1 Accesos y Escaleras	16
6.3.2 Iluminación general y de emergencia	16
6.3.3 Señalización	17
6.3.4 Ventilación	17
6.3.5 Control de Temperatura en la Sala de Control	17
6.3.6 Equipos de movilización y cargue	17
6.3.7 Drenaje de Pisos	18
6.3.8 Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias	18
6.3.9 Aislamiento Acústico	18

6.3.10	Control de Calidad de Agua	19
6.4	<b>DISEÑO DE LAS ESTACIONES</b>	<b>19</b>
6.4.1	Parámetros de diseño	19
6.4.1.1	Período de diseño	19
6.4.1.2	Caudal de Diseño	19
6.4.1.3	Conducto de entrada o llegada a la estación	19
6.4.2	Pozo de Succión	20
6.4.2.1	Dimensionamiento	20
6.4.2.2	Sumergencia	21
6.4.2.3	Distancia entre el fondo y/o paredes y la boca de la tubería	21
6.4.2.4	Velocidad de entrada	21
6.4.2.5	Dispositivos complementarios	21
6.4.2.6	Número de bombas	21
6.4.2.7	Velocidad en Tuberías de Succión	21
6.4.2.8	Velocidad en Tuberías de Impulsión	22
6.4.2.9	Diámetros de la Tubería	22
6.4.2.10	Cálculo de las Pérdidas	22
6.4.2.10.1	Cálculo hidráulico de tuberías simples	22
6.4.2.10.2	Cálculo de las pérdidas por fricción	23
6.4.2.10.3	Cálculo de las pérdidas menores	25
6.4.2.10.4	Cálculo hidráulico con la Ecuación de Hazen-Williams	27
6.5	Recubrimientos y protección de tuberías	27
6.6	Golpe de Ariete	28
6.7	Eficiencia del bombeo	29
6.8	Válvulas y Accesorios	29
6.8.1	Condiciones básicas	29
6.8.2	Accesorios necesarios	30
6.9	Dispositivos de Medición y Control	30
6.9.1	Instrumentación	30
6.9.2	Sala de control	31
6.10	<b>COMPONENTES BASICOS</b>	<b>31</b>
6.10.1	Ampliación Concéntrica	31
6.10.2	Válvula Antiretorno	31
6.10.3	Niple de Conexión	32
6.10.4	Unión de Desmontaje	32
6.10.5	Válvula de Aislamiento	32
6.10.6	Válvula de Ventosa	32

6.10.7	Válvulas de Alivio de Presión	32
6.10.8	Variadores de Velocidad	32
6.10.9	Válvula anticipadora de Golpe de Ariete	32
6.11	CONDICIONES GENERALES PARA INSTALACIÓN DE BOMBAS	<b>33</b>
6.12	ACCESORIOS PARA TENER EN CUENTA EN LA INSTALACIÓN DE LAS BOMBAS	<b>33</b>
6.12.1	Generalidades	33
6.12.2	En la Succión	33
6.12.3	En la Descarga	33
6.13	DISEÑO ELÉCTRICO	<b>34</b>
6.14	CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACION	<b>34</b>
6.14.1	Generalidades	34
6.14.2	Sistema para la Medida de Nivel	35
6.14.3	Sistema para la Medida de Flujo de Salida	35
6.14.4	Sistema de Automatización	35
6.14.5	Protecciones del Automatismo	35
6.14.5.1	Protecciones mecánicas y eléctricas	<b>35</b>
6.14.5.2	Protección de la Cadena de Bombeo (en el caso que aplique).	<b>36</b>
6.14.5.3	Protecciones por consignas	<b>36</b>
6.14.6	Funcionalidad General IHM (Interfaz Hombre Máquina)	36
6.14.7	Modos de Operación	37
6.14.7.1	Modo de Operación por Unidad operacional (Selector 1)	<b>37</b>
6.14.7.2	Modos de Operación por Equipo (Selector 2)	<b>38</b>
6.14.7.3	Modos de Operación Manual por Equipo (Selector 3)	<b>39</b>
6.14.8	Lógica General PLC	39
6.14.9	Sistema de Protecciones	42
6.14.10	Sistema de Alimentación de Energía en 24 Vdc	42
6.15	DISEÑO MECANICO	<b>42</b>
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	<b>43</b>

## **1. PROLOGO**

La Unidad Estratégica de los Negocios de Acueducto y Alcantarillado - UENAA ha establecido el Área Funcional Sistema de Normas y Especificaciones Técnicas para gestionar el desarrollo y la actualización de las normas y especificaciones técnicas a ser utilizadas por el personal de EMCALI EICE ESP, contratistas, consultores, usuarios y otras partes interesadas. La misión principal del área, consiste en la normalización de los procesos, productos y servicios, para estar acorde con el estado del arte tecnológico y las exigencias gubernamentales, en beneficio de los diferentes sectores que participan en el desarrollo de la infraestructura del entorno y de la comunidad en general.

La versión final de esta Norma Técnica fue revisada y aprobada a través de los Comités Técnico y de Aprobación y ordenada su Publicación y Cumplimiento mediante la resolución de Gerencia General de EMCALI EICE ESP No. GG-001255 del 12 de Julio de 2011.

## **2. OBJETO**

Definir las condiciones generales que se requieren para el diseño de las obras civiles, mecánicas, eléctricas y de control de los sistemas de agua potable de EMCALI EICE ESP para su distribución.

## **3. ALCANCE**

Aplica para el diseño de las estaciones de bombeo de aguas crudas hacia las plantas de tratamiento, y de agua potable desde las plantas de tratamiento hasta las redes matrices y hasta los tanques de abastecimiento de redes menores.

## **4. DEFINICIONES**

### **4.1. AGUA CRUDA**

Agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.

### **4.2. AGUA POTABLE**

Agua que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano sin producir efectos adversos a la salud y cumple con las normas de calidad de agua y las condiciones señaladas en el Decreto 475 de 1998.

### **4.3. CAUDAL DE DISEÑO**

Caudal determinado con base en las demandas y consumos máximos diarios, con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

### **4.4. CAUDAL MÁXIMO DIARIO**

Consumo máximo durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un periodo de un año.

Consumo máximo durante veinticuatro horas, observado en un periodo de un año, sin tener en cuenta las demandas contra incendio que se hayan presentado

### **4.5. CONSUMO**

Volumen de agua potable recibido por el usuario en un periodo determinado

### **4.6. ESTACIÓN DE BOMBEO DE ACUEDUCTO**

Componente destinado a aumentar la presión del agua con el objeto de transportarla a estructuras más elevadas.

### **4.7. GOLPE DE ARIETE**

Fenómeno hidráulico de tipo dinámico oscilatorio, causado por la interrupción violenta del flujo en una tubería, bien por el cierre rápido de una válvula o apagado del sistema de bombeo, que da lugar a la

transformación de la energía cinética en energía elástica, tanto en el flujo como en la tubería, produciendo sobreelevación de la presión, subpresiones y cambios en el sentido de la velocidad del flujo.

#### **4.8. PERDIDAS POR FRICCIÓN**

Pérdida de energía causada por los esfuerzos cortantes del flujo en las paredes de un conducto.

#### **4.9. POZO DE SUCCIÓN**

Tanque o estructura dentro del cual el fluido es extraído por bombeo.

#### **4.10. TUBERÍA**

Conducto prefabricado, o construido en sitio, de concreto, concreto reforzado, plástico, poliuretano de alta densidad, asbesto-cemento, hierro fundido, gres vitrificado, PVC, plástico con refuerzo de fibra de vidrio, u otro material cuya tecnología y proceso de fabricación cumplan con las normas técnicas correspondientes. Por lo general su sección es circular.

#### **4.11. TUBERÍA DE IMPULSIÓN**

Tubería de salida de un equipo de bombeo.

#### **4.12. TUBERÍA DE SUCCIÓN**

Tubería de entrada a un equipo de bombeo.

### **5. REFERENCIAS NORMATIVAS**

Para las siguientes referencias normativas aplica su versión vigente o reglamentación que las modifique, sustituya o adicione.

#### **AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE**

Grade Stainless Steel. Washington, DC: AISI (AISI 303/316).

#### **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION**

- Swing-Check Valves for Waterworks Service, 2-In. Through 24-In. (50-mm Through 600-mm) NPS. Denver: AWWA (AWWA C508).
- Double Check Valve Backflow Prevention Assembly. Denver: AWWA (AWWA C510).

#### **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**

- Standard Specification for Composition Bronze or Ounce Metal Castings. Philadelphia: ASTM (ASTM B62)
- Standard Specification for Free-Cutting Brass Rod, Bar and Shapes for Use in Screw Machines. Philadelphia: ASTM (ASTM B16)

#### **INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION**

- Metallic flanges. Part 1, Steel flanges. Ginebra: ISO (ISO 7005-1)



- Metallic flanges. Part 2, Cast iron flanges. Ginebra: ISO (ISO 7005-2)

**UNDERWRITERS LABORATORIES**

- Electromagnetic Interference Filters. Estados Unidos: UL (UL 1283)
- Surge Protective Devices. Estados Unidos: UL (UL 1449)

**MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO**

- Resolución 1096 de 2000: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS. Bogotá: MinDesarrollo, 2000 (RAS-2000) versión vigente y sus posteriores actualizaciones.

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA**

- Resolución 181294 de abril 7 de 2008 por el cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE.
- Resolución 180398 de agosto 6 de 2004, se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE.

**MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA (Actual Ministerio de Salud y Protección Social)**

- Resolución 08321 de 1983 del Ministerio de Salud Público: Por medio de la cual se dictan normas sobre protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos. En el capítulo II hace referencia al ruido ambiental y sus métodos de medición.

**MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA**

- Decreto 475 de 1998: Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. Bogotá: MinSalud Publica, 1998.

**ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL**

- Seminario internacional sobre diseño, montaje, operación y mantenimiento de estaciones de bombeo. Cali: Acodal, 1990.

**ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA**

- Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente. Bogotá: AIS, 2010 (NSR-10).

**INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN**

- Bombas hidráulicas. Definiciones, terminología y símbolos. Bogotá: ICONTEC (NTC 1595)
- Bombas centrífugas, bombas de flujo axial y mixto. Bogotá: ICONTEC (NTC 1775)
- Código eléctrico colombiano. Bogotá: ICONTEC (NTC 2050)
- Detectores de incendio. Clasificación. Bogotá: ICONTEC (NTC 1483)

- Extintores de fuego portátiles. Bogotá: ICONTEC (NTC 2885)
- Flotadores para accionamiento de válvulas. Bogotá: ICONTEC (NTC 1991)
- Higiene y seguridad. Colores y señales de seguridad. Bogotá: ICONTEC (NTC 1461)
- Higiene y seguridad. Sistema de señales contra incendio. Instalación, mantenimiento y usos. Bogotá: ICONTEC (NTC 1867)
- Mecánica. Flotadores para accionamiento de válvulas. Bogotá: ICONTEC (NTC 1991).
- Plásticos. Tubos de policloruro de vinilo (PVC) rígido para uso sanitario, aguas lluvias y ventilación. Bogotá: ICONTEC (NTC 1087)
- Protección contra incendios. Señales de seguridad. Bogotá: ICONTEC (NTC 1931)
- Válvulas de fundición de hierro para retención. Bogotá: ICONTEC (NTC 2011)
- Válvulas tipo globo, de compuerta y de retención de aleaciones de cobre. Bogotá: ICONTEC (NTC 1762).

**EMPRESAS MUNICIPALES DE CALI - EMCALI EICE ESP**

- Aspectos técnicos para diseño y construcción de subdrenajes. EMCALI EICE ESP (NDC-SE-GE-004)
- Aspectos técnicos para diseño y construcción obras de protección de taludes. EMCALI EICE ESP (NDC-SE-GE-002)
- Aspectos técnicos para instalación de válvulas. EMCALI EICE ESP (NCO-SE-DA-010)
- Cerramientos. EMCALI EICE ESP (NCO-PM-AA-005)
- Código de colores de las tuberías, equipos eléctricos y mecánicos de las plantas de tratamiento de agua potable. EMCALI EICE ESP (NDC-SE-DA-038)
- Criterios de diseño estructural. EMCALI EICE ESP (NDC-SE-AA-019)
- Criterios para selección de válvulas. EMCALI EICE ESP (NDI-PM-DA-016)
- Directrices para la ejecución de levantamientos topográficos. EMCALI EICE ESP (NDI-SE-AA-015)
- Lineamientos para el control de la calidad de agua para consumo humano en la red de distribución. EMCALI EICE ESP (NOP-SE-DA-054)
- Protección de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado. EMCALI EICE ESP (NDC-SE-AA-010)
- Requisitos mínimos de higiene y seguridad industrial en espacios confinados. EMCALI EICE ESP (NPL-SE-AA-030)
- Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos. EMCALI EICE ESP (NDC-SE-GE-001)
- Tuberías para acueducto. EMCALI EICE ESP (NCO-PM-DA-046)

- Uniones en hierro dúctil. EMCALI EICE ESP (NCO-PM-AA-041)
- Válvulas de mariposa con sello elástico. EMCALI EICE ESP (NCO-PM-DA-027)

## **6. REQUISITOS**

### **6.1 GENERALIDADES DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO**

Debe hacerse un mapa de la zona de la estación, indicando edificaciones cercanas, vías existentes y por construir, cauces y drenajes principales. Así mismo, deben ubicarse redes de acueducto, alcantarillado, teléfonos, energía y gas.

Además, deben hacerse las descripciones del uso del suelo y la urbanística de la zona y análisis de predios.

Deben presentarse planos topográficos de la zona, a escala adecuada teniendo en cuenta lo establecido en la norma técnica de EMCALI EICE ESP “NDI-SE-AA-015 Directrices para la ejecución de levantamientos topográficos”. Cuando se considere necesario, los niveles se deben presentar en planos aerofotogramétricos.

Deben conocerse las propiedades del suelo en el sitio de la estación, por medio de un estudio de suelos característico del desarrollo de obras civiles, el cual debe cumplir con la norma técnica de EMCALI EICE ESP “NDC-SE-GE-001 Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos”

Deben estudiarse las condiciones de suministro de energía, incluidos la capacidad de la estación generadora, la demanda de la estación de bombeo, la frecuencia de interrupciones en el servicio de energía, el sitio más cercano para derivar la energía, el voltaje, el ciclaje y el costo del kilowattio-hora; debe considerarse la posibilidad de utilizar varios tipos de energía incluidos energía eléctrica, gas, diesel, entre otros. Debe elaborarse el correspondiente estudio cumpliendo con la norma RETIE y debe ser aprobado por la entidad competente.

Podrá utilizarse la posibilidad de que la estación tenga generación propia de energía, siempre y cuando ésta resulte la alternativa más económica.

Debe colocarse permanentemente, una planta generadora, disponible para el caso de emergencias.

El aspecto mecánico incluye la selección de las bombas y componentes relacionados como tubería, válvulas, controles según los parámetros de las alturas de succión, de descarga, condiciones del fluido, potencia requerida y demás características del sitio donde se va a establecer la estación.

El aspecto eléctrico se basa en la selección de los equipos y sus sistemas de protección y control, de acuerdo con las especificaciones dadas en el diseño mecánico; se deben seleccionar los motores, el transformador y la subestación y los sistemas complementarios como son:

- Acometidas.
- Protecciones como son la puesta a tierra y contra los trasientes de tensión debidas a la operación y a las descargas atmosféricas.
- Iluminación.
- Instrumentación tanto de control como de medición.

Debido al volumen y peso de los componentes de la estación, el diseño debe incluir las especificaciones electromecánicas de los equipos que se utilicen para su izaje y para el diseño de las obras civiles se debe tener en cuenta lo establecido en la norma de EMCALI EICE ESP “NDC-SE-AA-019 Criterios de diseño estructural”.

El diseño de la estación de bombeo debe asegurar que ésta se ubique en un sitio estable con respecto a fenómenos erosivos, fenómenos de deslizamientos o fallas de taludes, y en general fenómenos de movimiento de suelos causados por fallas geológicas (ver normas de EMCALI EICE ESP “NDC-SE-GE-002 Aspectos para diseño y construcción de obras de protección de taludes” y “NDC-SE-GE-001 Requisitos para la elaboración y presentación de estudios geotécnicos”)

También se debe asegurar que la estación de bombeo no se vea afectada por la calidad del agua que circula por ella.

En la localización de la Estación de Bombeo, se debe tener en cuenta las servidumbres necesarias y/o existentes, la factibilidad de ampliación y adquisición de predios adyacentes para satisfacer necesidades futuras y el estudio de títulos de propiedad.

#### **6.1.1 Sistema de Telemetría**

Debe realizarse un estudio de radio frecuencia en la cual el Contratista presente las mediciones técnicas exigidas por EMCALI EICE ESP. Dicho estudio consistirá en la elaboración de un perfil topológico, así como un estudio del balance de potencia del vano. Para la elaboración de dichos cálculos, se utilizará un software especializado, junto con una cartografía digital del terreno.

De esta forma, se tendrá una primera aproximación de las viabilidades de los estudios teóricos los cuales deben ser verificados “in situ”. Para cada uno de los vanos en análisis, se verificará con el uso de unos prismáticos la existencia de línea de visión y suficiente despejamiento entre las futuras ubicaciones de las antenas emisoras / receptoras, vanos del Sistema de Radio, lo cual será verificado mediante protocolos de pruebas validado por EMCALI EICE ESP con una disponibilidad mínima del 99.5% de enlace.

Toda estación debe ser completamente automática y conectada al Centro de Control Maestro existente para realizar operación remota de este sistema con la información hidráulica y de Energía.

#### **6.1.2 Vulnerabilidad y Amenaza Sísmica**

Debe conocerse específicamente el nivel de amenaza sísmica de la zona en la cual se localiza, diseñe o construya la estación de bombeo. En particular, debe tenerse en cuenta los requisitos establecidos en la "NSR-10 Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente" vigente a la fecha; con respecto a los niveles de amenaza sísmica de las diferentes zonas del territorio nacional. La estación debe estar ubicada en un sitio estable contra la erosión.

Las estaciones de bombeo si son vulnerables a la deformación del suelo causada por problemas geotécnicos, geológicos y/o topográficos, el diseño debe establecer el nivel de vulnerabilidad y de mitigación de este riesgo, en caso de que por razones geológicas, topográficas, sísmicas o cualquier otro tipo de factor se considere que la estación de bombeo tiene una alta vulnerabilidad, el diseño debe tener en cuenta que ésta sea fácil y rápida de reparar en caso de daños. Los diseños deben considerar los métodos constructivos que mitiguen o eliminen el riesgo. En caso que, el riesgo sea muy alto o exista riesgo de daños que puedan sacar de servicio esa infraestructura, es preferible considerar otra solución bien sea, en otro sitio u otro tipo de alternativa.

Con el fin de disminuir la vulnerabilidad frente a fenómenos sísmicos, los materiales de tuberías y de sus accesorios, deben estar diseñados para soportar los esfuerzos de tensión y corte generados por el sismo de diseño.

### **6.1.3 Factibilidad de Ampliación**

Todos los diseños deben ser modulares, deben considerarse las facilidades técnicas para una posible ampliación futura. Deben definirse las etapas de expansión, indicando en cada una el número de bombas, el tipo de bombas y la capacidad estimada de la estación. Además, debe disponerse del espacio suficiente para la colocación futura de bombas y/o la ampliación de la casa de máquinas.

### **6.1.4 Aislamientos**

Se debe tener en cuenta lo establecido en el POT vigente.

### **6.1.5 Seguridad**

El diseño debe tener en cuenta todas las medidas de seguridad necesarias para evitar el acceso de personas extrañas, diferentes a aquellas encargadas de la operación y mantenimiento, mediante los cerramientos apropiados de acuerdo con la norma de EMCALI EICE ESP “NCO-PM-AA-005 Cerramientos”.

La operación de la estación no debe afectar la calidad del agua.

### **6.1.6 Protección contra Inundaciones**

Durante la operación normal de la estación de bombeo no deben presentarse inundaciones, para lo cual la edificación debe contar con los drenajes adecuados (ver norma de EMCALI EICE ESP “NDC-SE-GE-004 Aspectos técnicos para diseños y construcción de subdrenajes”). En el caso en que exista un pozo de succión, éste debe incluir un nivel de protección contra excesos de caudal provenientes de la red de alcantarillado, causados por fallas en los sistemas de control, y eventualmente por fallas en la evacuación del caudal. En todo caso, la estructura de la estación debe estar protegida contra una inundación causada por una creciente de un período de retorno de 1:100 años.

Debe considerarse que la Estación de Bombeo tiene que seguir operando aún en condiciones de inundación probable de sus instalaciones. En tal sentido, todo el equipo eléctrico y de control (motores, centros de control de motores, sistemas de control, subestaciones eléctricas, etc.), deberán instalarse como mínimo un metro por encima del máximo nivel probable de inundación. En casos especiales EMCALI EICE ESP podrá ampliarlo.

### **6.1.7 Protección contra Rayos**

Dentro del diseño de toda estación de bombeo se debe considerar el diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas, siguiendo las Normas nacionales e internacionales vigentes.

En caso de que la estación de bombeo sea eléctrica, la subestación debe tener un pararrayos con buena conexión a tierra con el fin de proteger los equipos contra los rayos. Su diseño debe ser aprobado por la entidad competente.

### **6.1.8 Protección contra Incendios**

Deben colocarse los equipos de protección contra incendios de acuerdo a lo aprobado y definido por el departamento de proyectos del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de la ciudad, el cual debe contener un análisis técnico según áreas y riesgos potenciales de cargas combustibles, según la norma de EMCALI EICE ESP "NPL-SE-AA-030 Requisitos mínimos de higiene y seguridad industrial en espacios confinados".

Los extintores especificados para cada una de las áreas que conforman el sistema de extinción deberán estar perfectamente señalizados. Adicionalmente, se deberá tener en cuenta en la construcción de la estación, la selección y especificación de materiales para la obra civil y de amoblamiento arquitectónico incombustibles y/o retardante a las llamas.

El cuarto de baterías, el cuarto de control y en todos los sitios donde existan equipos eléctricos se deben instalar extintores de las características requeridas según el área y de la capacidad adecuada.

Adicionalmente, para los diseños de estos sistemas, se deben tener en cuenta los requisitos indicados en las normas "NTC 1483 Detectores de incendio. Clasificación" y la "NTC 2885 Extintores de fuego portátiles".

### **6.1.9 Protección Contra Trasientes**

Este sistema debe cumplir con la norma técnica UL 1283 y UL 1449.

### **6.1.10 Facilidad de Mantenimiento**

Deben dejarse los accesos necesarios para efectuar las labores de mantenimiento. La estación debe diseñarse de tal forma que las labores de mantenimiento no afecten la prestación del servicio. Todas estas áreas y accesos deberán estar de acuerdo con la norma de EMCALI EICE ESP "NPL-SE-AA-030 Requisitos mínimos de higiene y seguridad industrial en espacios confinados".

Se deben dejar instalados en la sala de bombas sistemas de puente grúa con capacidad superior al peso del conjunto motor-bomba, dicho equipo debe tener todos sus movimientos electromecánicos. Se deben utilizar puentes grúa de cable con longitud suficiente para bajar el gancho hasta la cota inferior del pozo de succión. De igual manera el tamaño de la sala de bombas debe ser lo suficiente para realizar las actividades de mantenimiento.

### **6.1.11 Disponibilidad de energía**

El diseño debe estudiar las condiciones de suministro de energía eléctrica, para lo cual es necesario solicitar los Datos Básicos a la empresa prestadora del servicio de energía para que se determine cuál es el punto de red más conveniente. También se debe estudiar la capacidad de la red de energía eléctrica en la zona en donde se construirá la estación de bombeo, la demanda de energía de la estación de bombeo, la frecuencia de interrupciones en el servicio de energía, el voltaje, el ciclaje y el costo del kilovatio hora. El diseño debe ser presentado a la empresa prestadora de energía para su revisión y aprobación. Para la construcción de la subestación eléctrica tiene que contar con la Interventoría de la empresa prestadora de energía.

La Estación de Bombeo definitiva deberá disponer de una fuente alternativa de energía para el suministro del 100% de la potencia demandada, cuando el nivel de tensión de la subestación principal sea de 13.2 kV, del 70% en 34,5 kV y del 50% en 115 kV en condiciones de falla del suministro o cuando la caída de tensión supere el 10%. Este sistema será definido por el proyecto implementando un grupo electrógeno

conmutando el nivel de tensión del lado de la carga o instalando un circuito independiente. El diseño debe incluir una planta generadora alternativa con disposición permanente para el caso de emergencias.

#### **6.1.12 Operación Económica**

En la selección de los elementos de la estación de bombeo, se debe tener en cuenta las características de los equipos con altas eficiencias, lo que se traduce que para bombas las eficiencias deben ser superiores al 80% y para los motores las eficiencias deben estar por encima del 90%. Se exigirá que los equipos sean avalados y homologados por EMCALI EICE ESP.

Debe seleccionarse la alternativa de mínimo costo a largo plazo, incluyendo los análisis de vida útil esperada y los costos de energía, repuestos y mantenimiento.

La estación debe tener el menor costo posible de operación, y las bombas y los motores deben operar en una eficiencia cercana a la máxima posible.

#### **6.1.13 Restricción de Acceso**

Deben tomarse las medidas de seguridad necesarias para evitar el acceso de personas extrañas, diferentes a aquellas encargadas de la operación y/o mantenimiento, mediante un cerramiento que diseñe el Contratista previa aprobación de EMCALI EICE ESP, atendiendo la norma "NCO-PM-AA-005 Cerramientos".

### **6.2 RECOMENDACIONES CIVILES**

#### **6.2.1 Generalidades**

El dimensionamiento general de las estaciones de bombeo, se debe efectuar de acuerdo con los parámetros requeridos por EMCALI EICE ESP, considerando las áreas suficientes para albergar todos los equipos: conjunto bomba-motor, las válvulas, accesorios y aditamentos (niples, codos, tees, reducciones, uniones de desmontaje), bases para bombas, motores, anclajes. También deben considerarse los espacios necesarios para ventilación, circulación, maniobras de montaje y desmontaje, alturas suficientes para operación del puente-grúa, de accionamiento eléctrico, puertas de acceso que permiten entrada y salida de los vehículos que transportan los equipos.

En una edificación, integrada a la sala de equipos, deben preverse cuarto de control, el cuarto con baño, cocineta, los lockers y el cuarto de baterías.

#### **6.2.2 Sala de Bombas**

En el dimensionamiento de la sala de bombas se debe tener en cuenta como mínimo lo siguiente:

- El tamaño de la sala debe ser suficiente para ubicar el conjunto bomba-motor y los equipos de montaje. Las dimensiones deben permitir la facilidad de circulación, montaje y desmontaje de los equipos, y en caso necesario el movimiento de las unidades de bombeo.
- Las dimensiones deben ser compatibles con las del pozo de succión, con el fin de asegurar una adecuada distribución de la obra civil, buscando al mismo tiempo minimizar sus costos.

#### **6.2.3 Sala de Control**

El diseño de la estación de bombeo debe contemplar una sala de control hacia la cual los sistemas de medición deben transmitir los datos y en la cual se deben ubicar los tableros que indiquen las condiciones

de operación de la estación. Como mínimo, los tableros deben incluir el caudal instantáneo por unidad de bombeo, la presión en las líneas de succión y descarga, el nivel del agua en el pozo de succión cuando éste exista, la temperatura y presión de aceite en los motores, el voltaje y amperaje de las líneas de alimentación de la bomba y las revoluciones por minuto de los motores, potencia activa y potencia reactiva, factor de potencia.

Así mismo, en la sala de control deben disponerse los interruptores y mecanismos que permitan energizar y desenergizar cualquier elemento relacionado con el sistema de bombeo, como también monitoreo y cámaras de televisión. Todos los datos transmitidos a la sala de control simultáneamente deben ser transmitidos a la sala de control general del sistema de acueducto de EMCALI EICE ESP.

También deben existir los espacios para los equipos de automatización.

### **6.3 INSTALACIONES COMPLEMENTARIAS**

#### **6.3.1 Accesos y Escaleras**

En la estación de bombeo, el diseño debe considerar las vías de acceso necesarias para efectuar las labores de operación y mantenimiento. En particular, el diseño debe tener en cuenta todos aquellos aspectos necesarios para la movilización de los equipos electromecánicos tales como puertas de acceso, rampas, puente grúas, etc. Por otro lado, el diseño de la estación de bombeo debe propender que las labores de mantenimiento de la estación de bombeo no afecten la operación del sistema de acueducto.

Con respecto al espacio entre las estructuras que conforman la estación de bombeo y el cerramiento interno de la estación, el ancho debe ser el mínimo que permita en forma cómoda realizar las tareas de inspección y mantenimiento de la estación y sus tanques asociados. El ancho debe fijarse con base en la geometría de la estación de bombeo, el espacio ocupado por los componentes de la estación, la facilidad de acceso y el espacio para maniobras de los equipos. En todo caso se recomienda que el ancho del espacio mencionado no sea inferior a 10 m.

Entre los diferentes pisos deben colocarse escaleras seguras y apropiadas que permitan la movilización del personal y los equipos necesarios. En caso de falta de espacio, deben usarse escaleras metálicas con barandilla, peldaños amplios y piso antideslizante.

#### **6.3.2 Iluminación general y de emergencia**

Los diseños de los sistemas de iluminación interior, exterior y de emergencia deben plantear los criterios utilizados para la selección y definición de las luminarias a implementar en cada una de las áreas de las estaciones definitivas. De igual forma en estos se deben describir la metodología y procedimientos de cálculo por computador empleados para el diseño de los sistemas de iluminación interior y exterior así como el control y el dimensionamiento de las redes eléctricas requeridas para los sistemas.

Las estaciones de bombeo definitivas deben contar con un adecuado sistema de iluminación en su interior como complemento a la luz natural durante el día y en las noches debe proporcionar los valores y niveles de iluminación recomendados para la actividad específica de cada una de las áreas, evitando la presencia de altos contrastes en el ambiente visual entre áreas y recomendando la utilización de luminarias que no provoquen deslumbramiento e ilusiones ópticas.

En las áreas exteriores, en zonas de equipo instalado, de tránsito y vías de acceso se debe implementar un sistema de iluminación adecuado para que el personal de operación, mantenimiento y vigilancia puedan realizar sus trabajos respectivos. En general, en los sistemas de iluminación en las áreas exteriores se deben considerar cuatro propósitos básicos: seguridad en la operación del equipo, tránsito



sin peligro, inspección de equipo y trabajos de mantenimiento. Se consideran estas condiciones necesarias para que el sistema de iluminación brinde óptimos resultados.

El equipo a utilizar, para la implementación del sistema iluminación de emergencia, debe garantizar el suministro ininterrumpido de potencia aunque falle y/o se suspenda el suministro de corriente alterna de la red externa y de suplencia. Para tal fin el equipo deberá estar provisto de un banco de baterías como soporte en caso de falla del suministro de energía.

### **6.3.3 Señalización**

La estación debe contar con una señalización visual clara en toda el área, indicando zonas de peligro de alta tensión, salidas de emergencia, localización de extintores, áreas de tránsito restringido y demás elementos y actividades que sea necesario resaltar por su peligro potencial o porque resulten importantes en la prevención de accidentes. Adicionalmente, la estación debe contar con una valla de identificación.

La señalización debe cumplir con los requisitos de la norma técnica de EMCALI EICE ESP "NDC-SE-DA-038 Código de colores de las tuberías, equipos eléctricos y mecánicos de las plantas de tratamiento de agua potable" y "NTC 1461 Higiene y seguridad. Colores y señales de seguridad"

Las señales contra incendio, deben cumplir con los requisitos de las normas técnicas "NTC 1931 Protección contra incendios. Señales de seguridad" y "NTC 1867 Higiene y seguridad. Sistema de señales contra incendios. Instalación, mantenimiento y usos".

### **6.3.4 Ventilación**

Con respecto a la ventilación, el diseño de la estación de bombeo debe tener en cuenta los siguientes requerimientos y lo establecido en la norma de EMCALI EICE ESP "NPL-SE-AA-030 Requisitos mínimos de higiene y seguridad industrial en espacios confinados":

1. Todas las salas, compartimentos, pozos y otros recintos cerrados por debajo del nivel del terreno, que puedan presentar un aire perjudicial, deben contar con una ventilación artificial forzada, realizando un mínimo de 6 cambios completos de aire por hora, cuando la ventilación es continua y 30 cuando es intermitente.
2. Los controles de ventilación forzada podrán ser accionados manualmente desde afuera del recinto o automáticamente, por medio de sensores y medidores, cuando se detecte concentración perjudicial de gases en el aire.

Para ductos de ventilación se permite utilizar los tubos plásticos que cumplen con los requisitos de la norma técnica "NTC 1087 Plásticos. Tubos de poli-cloruro de vinilo (PVC) rígido para uso sanitario, aguas lluvia y ventilación".

### **6.3.5 Control de Temperatura en la Sala de Control**

En caso de requerirse controlar la temperatura determinada en la sala de Control, esto debe preverse en el diseño y construcción.

### **6.3.6 Equipos de movilización y cargue**

La estación debe contar con elementos que permitan el transporte y movilización de maquinaria y equipo, tales como puentes grúas, rieles, poleas diferenciales, teniendo en cuenta las siguientes disposiciones:

- La capacidad del equipo deber ser suficiente para mover el elemento de mayor peso que pueda ser transportado.
- La trayectoria del equipo durante su movilización al interior de la estación de bombeo debe analizarse para permitir que en todo momento el retiro, la movilización y la reposición de cualquier elemento de la estación sea fácil y expedita.
- Deben ser previstos los accesos necesarios en la casa de bombas, de manera que permitan el manejo adecuado de los equipos en las labores de mantenimiento, retiro o reposición de elementos de la estación.

### **6.3.7 Drenaje de Pisos**

El diseño de la estación de bombeo debe incluir el análisis del drenaje de los pisos de la estación, teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

1. El diseño debe incluir uno o dos pozos de drenaje hacia los cuales debe conducirse el agua de fugas o lavado, por medio de una pendiente muy suave en el piso de la estación de bombas.
2. Cuando los pozos de drenaje no puedan ser evacuados por gravedad, deben disponerse bombas para tal fin. Estas bombas deben accionarse automáticamente, mediante el uso de sensores que detecten el nivel del agua en los pozos de drenaje.

### **6.3.8 Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias**

- Debe proveerse un tanque con capacidad definida por el diseño hidráulico para atender las necesidades de agua potable en la estación de bombeo de acueducto.
- Las aguas residuales provenientes de lavado de equipos y limpieza deben ser recogidas por un sistema adecuado que las conduzca hasta un pozo séptico, o un sitio seguro, desde el punto de vista sanitario.
- La estación debe diseñarse de tal forma que se minimicen los efectos perjudiciales causados por cavitación, golpe de ariete y trasientes de presión. Deben instalarse los mecanismos de protección adecuados.

### **6.3.9 Aislamiento Acústico**

El diseño de la estación de bombeo debe cumplir con lo establecido en la Resolución 8321 del 4 de Agosto de 1983, o aquella que la reemplace, del Ministerio de Salud Pública, por el cual se dictan normas sobre protección y conservación de la audición, de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos. En particular se debe tener en cuenta lo establecido por el Artículo 17 del Capítulo 2 el cual dice:

“Artículo 17: Para prevenir y controlar las molestias, las alteraciones y las pérdidas auditivas ocasionadas a la población por la emisión de ruidos, se establecen los niveles sonoros máximos permisibles incluidos en la siguiente tabla:

Tabla 1 Nivel de presión sonora en dB (A)

ZONAS RECEPTORAS	Período diurno 7:01 a.m. – 9:00 p.m	Período nocturno 9:01 p.m. – 7:00 a.m.
Zona I Residencial	65	45
Zona II Comercial	70	60
Zona III Industrial	70	75
Zona IV de tranquilidad	45	45

Parágrafo 1: Para efectos del presente artículo, la zonificación contemplada en la tabla anterior corresponde a aquella definida o determinada por la autoridad competente en cada localidad y para cada caso.

Parágrafo 2: Denomínese zona 4- de tranquilidad, el área previamente designada donde haya necesidad de una tranquilidad excepcional y en la cual el nivel equivalente de ruido no exceda de 45 dB (A).

Nota: dB(A), representa el nivel de presión sonora del ruido obtenido con un medidor de nivel sonoro, en interacción y con filtro de ponderación A

Parágrafo 3: Cuando el predio originador o fuente emisora del sonido puede ser identificado y el ruido medido afecta a más de una zona, se aplicará el nivel de sonido de la zona receptora más restrictiva.”

### 6.3.10 Control de Calidad de Agua

Debe estudiarse la calidad del agua, tanto en sus propiedades físicas como químicas, con el fin de proteger los equipos de bombeo contra posibles daños causados por la contaminación del agua. Debe tenerse especial cuidado en el caso de bombeo de agua cruda en las aducciones. Debe tenerse en cuenta lo establecido en la norma de EMCALI EICE ESP “NOP-SE-DA-054 Lineamientos para el control de la calidad de agua para consumo humano en la red de distribución”

## 6.4 DISEÑO DE LAS ESTACIONES

### 6.4.1 Parámetros de diseño

El punto de partida para el diseño son los Datos Básicos emitidos por EMCALI EICE ESP y se complementan con los siguientes aspectos.

#### 6.4.1.1 Período de diseño

El período de diseño para las estaciones de bombeo de EMCALI EICE ESP debe ser de 30 años.

#### 6.4.1.2 Caudal de Diseño

Para determinar la capacidad de la estación de bombeo, el diseñador debe tener en cuenta el caudal medio diario, el caudal máximo horario y los caudales máximos y mínimos en las condiciones iniciales y finales de operación de la estación, a lo largo del período de diseño.

#### 6.4.1.3 Conducto de entrada o llegada a la estación

Se deben conocer las características del tramo aguas arriba de la estación de bombeo. Específicamente, el diseñador debe conocer:

- La forma, material, dimensiones, cota de batea del conducto en la entrada a la estación, cota máxima de agua en la entrada de la estación y diferencia de altura entre la succión y la descarga.
- Relación con las demás partes del sistema. Debe conocerse el funcionamiento y reglas de operación de otros componentes, tales como plantas de tratamiento, tanques de compensación, redes de distribución entre otros, con el fin de lograr compatibilidad de la estación con el resto del sistema, especialmente en su capacidad y operación.
- Inventario de las estaciones existentes, con el fin de determinar el aprovechamiento de instalaciones antiguas y su factibilidad de ampliación.
- Altura dinámica total requerida por el flujo.
- Capacidad de la estación.
- Energía disponible.
- Energía requerida.

Debe hacerse un estudio de población y demanda, según lo establecido en el "RAS-2000 Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico", para determinar la capacidad actual y futura de la estación, cantidad que debe estar acorde con el sistema que será atendido

La capacidad de la estación debe ser el caudal máximo diario, QMD, si el bombeo es de 24 horas. Si se bombea menos horas al día la capacidad de la estación debe ser el caudal máximo diario dividido por el porcentaje del tiempo de bombeo. Siempre debe bombearse a un tanque de almacenamiento o compensación.

No se permite el bombeo directo hacia la red de distribución. De igual forma, se prohíbe el bombeo directo desde la red de distribución.

#### **6.4.2 Pozo de Succión**

##### 6.4.2.1 Dimensionamiento

El pozo se debe diseñar con una capacidad igual o superior al caudal de diseño de las bombas. Para calcular sus dimensiones se recomienda utilizar la metodología del Hydraulic Institute, o utilizando la literatura técnica aplicable. En cuanto a la forma del pozo, deben seguirse las siguientes disposiciones:

- La entrada de agua al pozo no debe producir turbulencias, para lo cual se recomienda hacerla por medio de compuertas o conductos sumergidos.
- La forma y dimensiones del pozo no puede interferir con el buen funcionamiento de las bombas.
- Debe evitarse la formación de vórtices.
- En caso de que se tenga un canal como entrada al pozo, éste debe ser preferiblemente rectangular.
- El pozo no debe tener cambios geométricos pronunciados, cambios bruscos de dirección en el flujo, pendientes pronunciadas y formas rápidamente divergentes.
- Debe preverse un espacio para la instalación y montaje de los equipos de bombeo y tuberías, así como para las futuras labores de inspección y mantenimiento.

- La entrada de agua al pozo debe estar por debajo del nivel de agua en la tubería de succión.
- Los canales o estructuras de acceso deben considerar que la distribución de velocidades del flujo de entrada en cada bomba debe ser lo más uniforme posible.
- La forma de entrada al pozo debe ser regular y continua, sin zonas que determinen velocidades altas o zonas muertas.

#### 6.4.2.2 Sumergencia

La sumergencia mínima de la tubería de succión debe ser mayor que 2 veces su diámetro, pero nunca inferior a 0,50 m

#### 6.4.2.3 Distancia entre el fondo y/o paredes y la boca de la tubería

La distancia entre el fondo y paredes de la cámara de succión y la boca de la tubería de succión debe estar entre 0,5 y 1,5 veces el diámetro de la tubería de succión, pero no puede ser menor que 0,25 m

#### 6.4.2.4 Velocidad de entrada

La velocidad de entrada al pozo de succión no debe superar los 0,7 m/s. Se recomienda obtener una velocidad de 0,5 m/s. Esto aplica para tanques de almacenamiento.

#### 6.4.2.5 Dispositivos complementarios

El pozo de succión debe contar con tuberías y válvulas de desagüe. Debe disponerse de un vertedero de exceso de agua en el pozo de succión.

#### 6.4.2.6 Número de bombas

El número de bombas por colocar en la estación debe definirse de acuerdo con la capacidad requerida y la energía disponible, según las siguientes disposiciones:

- El número de bombas debe ser determinado por el análisis de costo mínimo, colocando un mínimo de dos bombas. Cuando se utilicen únicamente dos bombas, cada una de ellas debe tener una capacidad igual al caudal de diseño de la estación.
- Cuando el número de bombas sea mayor que dos, la capacidad debe distribuirse equitativamente entre ellas. Además, deben preverse unidades de reserva del mismo tipo.
- Cuando se requieran tres o más bombas, debe colocarse una unidad adicional como reserva por cada tres bombas empleadas.

Cuando la demanda es variable, se debe considerar la factibilidad de tener varias bombas más pequeñas operando en paralelo, en su punto de máxima eficiencia, que se pueden encender en cascada, que una sola bomba que cubre un rango de operación más amplio. Esto igualmente permite tener bombas de stand-by o emergencia más pequeñas.

#### 6.4.2.7 Velocidad en Tuberías de Succión

La velocidad máxima en tuberías de succión depende del diámetro, según la Tabla 2.

Tabla 2 Velocidad máxima aceptable en la tubería de succión, según el diámetro

Diámetro de la tubería de succión (mm)	Velocidad máxima (m/s)
50	0,75
75	1,00
100	1,30
150	1,45
200	1,60
250	1,60
300	1,70
Mayor que 400	1,80

Fuente: RAS 2000

La velocidad mínima en tuberías de succión debe ser de 0,45 m/s

#### 6.4.2.8 Velocidad en Tuberías de Impulsión

La velocidad en las tuberías de impulsión debe estar entre 1,0 y 3,0 m/s. Valores por fuera del rango deben ser justificados económicamente.

#### 6.4.2.9 Diámetros de la Tubería

El diámetro de tuberías de succión y de impulsión no pueden ser menores que los admitidos por el equipo de bombeo. Se recomienda que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de impulsión, por lo menos en 50 mm.

En caso de que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de la admisión de la bomba, debe ponerse una reducción excéntrica con su parte superior horizontal.

Para predefinir el diámetro más económico de las tuberías de succión e impulsión de una estación de bombeo, se debe hacer uso de la siguiente ecuación:

$$D = K(XQ)^{1/2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$X = (t/24)^{1/2}$$

Donde,

- $t$  = Número de horas de bombeo por día (h/día)
- $Q$  = Caudal de bombeo ( $m^3/s$ )
- $D$  = Diámetro interior real de la tubería (m)
- $K$  = Coeficiente que varía entre 1.2 y 1.6.

Este último coeficiente es función del costo de la tubería y el costo del kilovatio hora de energía eléctrica.

#### 6.4.2.10 Cálculo de las Pérdidas

##### 6.4.2.10.1 Cálculo hidráulico de tuberías simples

Para el cálculo hidráulico, en el diseño de las líneas de succión e impulsión debe efectuarse el estudio hidráulico del flujo a través de las tuberías con el fin de determinar las presiones a lo largo de éstas. En ningún caso se deben permitir presiones manométricas negativas. Además, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Para el cálculo hidráulico y la determinación de las pérdidas por fricción en las tuberías a presión debe utilizarse la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Colebrook-White o Jain Swamme. También puede utilizarse la ecuación de Hazen-Williams, con la debida consideración de los rangos de validez y la exactitud, especialmente en lo referente a los límites de diámetros y de número de Reynolds según se describe en el Numeral 6.4.2.10.4. En todos los casos el diseño debe dejar claramente establecidas las suposiciones hechas para el cálculo del factor de fricción.
2. La ecuación de Darcy-Weisbach, utilizada en conjunto con la ecuación de Colebrook –White o Jain Swamme, es adecuada para todos los tipos de flujo turbulento, desde hidráulicamente liso hasta hidráulicamente rugoso.
3. En el cálculo del flujo en las tuberías debe considerarse el efecto producido por cada uno de los accesorios colocados en las líneas de succión e impulsión de la estación y que produzcan pérdidas de energías adicionales, tales como las válvulas, los codos, las reducciones, las ampliaciones, etc. En ningún caso se permite el cálculo de pérdidas producidas por los accesorios utilizando la metodología de longitud equivalente.
4. Para el cálculo de las pérdidas menores debe utilizarse el coeficiente de pérdidas menores multiplicado por la altura de velocidad en el sitio donde se localiza el accesorio.

#### 6.4.2.10.2 Cálculo de las pérdidas por fricción

En el cálculo de las pérdidas de energía debidas a la fricción en una tubería o conducto cilíndrico largo, con un interior de diámetro continuo, debe hacerse mediante el uso de la ecuación de Darcy – Weisbach, mostrada a continuación:

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

**Ecuación 2**

Donde,

- $f$  = Factor de fricción.
- $L$  = Longitud de la tubería (m).
- $D$  = Diámetro de la tubería (m).
- $v$  = Velocidad del fluido (m/s).
- $g$  = Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

Esta ecuación conforma la ecuación universal de resistencia fluida para conductos a presión para la cual deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. El coeficiente de fricción de Darcy,  $f$ , para tuberías de sección circular se obtiene utilizando las siguientes ecuaciones.

- Flujo Laminar (Re menor que 2000)

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

**Ecuación 3**

Donde,

- $\text{Re}$  = Número de Reynolds.

- Flujo Turbulento (Re mayor a 4000), desde flujo hidráulicamente liso a flujo hidráulicamente rugoso

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k_s}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

**Ecuación 4**

Donde,

$k_s$  = Rugosidad absoluta de la tubería (m).

$D$  = Diámetro de la tubería (m).

Para calcular el factor de fricción de acuerdo con esta última ecuación, se debe utilizar un proceso iterativo tal como el Método de Iteración de un Punto o el Método de Newton-Raphson.

También, para flujo turbulento, puede utilizarse la ecuación de Swamme- Jain (1976)

$$f = \frac{0.25}{[\log(Ks / 3.71D + 5.74 / Re^{0.9})]^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

La ecuación de Swamme-Jain tiene las siguientes restricciones para su uso:

$$10^{-6} < Ks < 10^{-2} \text{ mm}, 10^3 < Re < 10^8$$

2. El número de Reynolds (Re) está definido por la ecuación:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

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

$\mu$  = Viscosidad del fluido ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )

En todo caso el diseño debe evitar, para todas las condiciones de operación, la operación de la línea de impulsión y/o succión para flujos en la zona de transición ( $2000 < Re < 4000$ ).

3. En la Tabla 3 (tomada del Título B del RAS 2000) se dan los valores de la densidad y la viscosidad absoluta del agua como función de la temperatura media de ésta, los cuales deben utilizarse durante el diseño de las líneas de succión y/o impulsión.

**Tabla 3 Densidad y viscosidad del agua según la temperatura**

Temperatura (°C)	Densidad, $\rho$ ( $\text{Kg/m}^3$ )	Viscosidad, $\mu$ ( $\times 10^{-3} \text{Pa}\cdot\text{s}$ )
0	999.9	1.792
5	1000.0	1.519
10	999.7	1.308
15	999.1	1.140
20	998.2	1.005
30	995.7	0.801
40	992.2	0.656
50	988.1	0.549

Fuente: RAS 2000

4. La rugosidad absoluta de la tubería ( $k_s$ ) de las tuberías se debe evaluar de acuerdo con la Tabla 4 (Tomada del Título B del RAS 2000) teniendo en cuenta su relación y dependencia con los siguientes factores: el material del cual están hechos los tubos, el proceso de fabricación de los tubos y el tiempo de servicio de ésta.



Tabla 4 Valores de rugosidad absoluta

Material	Rugosidad absoluta $k_s$ (mm)
Acero comercial	0.45
CCP	0.12
Hierro dúctil	0.25
GRP	0.030
Polietileno	0.007
PVC	0.0015

Fuente: RAS 2000

5. La rugosidad absoluta indicada en la tabla anterior debe ser multiplicada por un factor de 2.0, para tuberías con longitudes mayores a 1000 m.
6. El envejecimiento de tuberías de concreto reforzado aislado interiormente y de tuberías de materiales plásticos extruídas puede ser considerado despreciable para el proyecto de diseño de las conducciones a presión.
7. Para tuberías metálicas, cuando no sea posible una limpieza periódica y si éstas no estuvieran pintadas interiormente con materiales anticorrosivos, el diseño debe incluir un factor de seguridad sobre la rugosidad absoluta de la tubería, que refleje los efectos hidráulicos del deterioro de la pared interna al final del período de diseño. Este factor debe ser aprobado por EMCALI EICE ESP y no puede ser inferior a 3.0.

#### 6.4.2.10.3 Cálculo de las pérdidas menores

Para el cálculo de las pérdidas menores producidas por los accesorios colocados en las líneas de succión e impulsión, tales como las válvulas, los codos, las tees, las reducciones, las ampliaciones y otros accesorios debe utilizarse la siguiente ecuación:

$$h_m = K_m \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

$K_m$  = Coeficiente de pérdidas menores.

El diseño debe justificar el valor de cada coeficiente de pérdidas menores para cada uno de los accesorios de la línea de succión y/o impulsión, con base en la bibliografía adoptada por el diseñador. En la Tabla 5 (Tomada del Título B del RAS 2000), se presentan algunos coeficientes de pérdidas menores para accesorios típicos de conducciones a presión. Para accesorios diferentes a los mostrados en esa tabla, el diseñador debe sustentar el coeficiente de pérdidas menores, el cual debe ser aprobado por EMCALI EICE ESP.

Tabla 5 Coeficientes de pérdidas menores para accesorios comunes

Accesorio	$K_m$
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula de mariposa, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Codo de radio corto	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de gran radio	0.6
Codo de 45°	0.4
Te, en sentido recto	0.3
Te, a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45°, en sentido recto	0.3
Ye de 45°, salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.5
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo entrante	0.9
Salida	1.0

Fuente: RAS 2000

Para el caso específico de las pérdidas menores causadas por las uniones entre los tubos que conforman la línea de succión y/o impulsión, deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos:

1. La pérdida de energía en tuberías a presión, que presenten salientes en las juntas de los tubos a lo largo del perímetro interior de la sección, es la suma de la pérdida de energía debida a la fricción, calculada como si no existieran las juntas indicadas, más las pérdidas menores debidas a la presencia de las juntas, las cuales se deben calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$H_m = K_m \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 8}$$

Para  $l_j/D$  menor que 30, donde  $l_j$  es la distancia en metros entre juntas se tiene que:

$$K_m = K_0 \times K_1 \quad \text{Ecuación 9}$$

Para  $l_j/D$  mayor que 30:

$$K_m = K_1 \quad \text{Ecuación 10}$$

Los coeficientes  $K_0$  y  $K_1$  deben tomarse de la Tabla 6 y Tabla 7, tomadas del Título B del RAS 2000, mostradas a continuación:

Tabla 6 Valores de  $K_0$ 

$l_j / D$	4	8	12	16	20	24	30
$K_0$	0.30	0.45	0.58	0.68	0.78	0.87	1.00

Tabla 7 Valores de K1

d / D	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	1.00
K <sub>1</sub>	0.015	0.035	0.06	0.09	0.13	0.17	0.21	0.26	0.32	0.38

2. Las pérdidas de energía debidas a las uniones de tipo campana y espigo y a uniones con anillo de caucho similar pueden considerarse como despreciables, debido a que no presentan salientes hacia el interior de la tubería, siempre y cuando la longitud de la tubería sea por lo menos 500m.

#### 6.4.2.10.4 Cálculo hidráulico con la Ecuación de Hazen-Williams

Alternativamente, para el cálculo del diámetro de las tuberías de la succión y la impulsión, se puede utilizar la ecuación de Hazen-Williams mostrada a continuación:

$$h_f = 10.69 \times L \times Q^{1.852} \times C^{-1.852} \times D^{-4.867} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde,

- L = Longitud de la tubería (m).
- $h_f$  = Pérdidas por fricción en la tubería (m).
- Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s).
- C = Coeficiente de Hazen-Williams.
- D = Diámetro de la tubería (m).

En este caso es necesario tener en cuenta las restricciones para el uso de esta ecuación, las cuales son:

- a. El diámetro nominal no puede ser menor a 100 milímetros.
- b. La velocidad no puede ser mayor a 3 m/s.
- c. El flujo no puede ser laminar.

Para obtener el coeficiente de Hazen-Williams a ser utilizado en la Ecuación 11 se deben utilizar los valores establecidos en la Tabla 8.

Tabla 8 Coeficiente de Fricción

Clase de tubería y tipo de revestimiento	Coeficiente C
PVC - Polietileno - Fibra de vidrio (GRP)	130
Acero con revestimiento interno de coal-tar enamel o epoxi	120
Hierro fundido y dúctil con revestimiento de mortero	120
Concreto reforzado y acero con revestimiento interior de mortero o concreto	120

## 6.5 Recubrimientos y protección de tuberías

Las tuberías a utilizar en las estaciones de bombeo con respecto a su recubrimiento y protección deben atender las normas técnicas de EMCALI EICE ESP “NDC-PM-DA-046 Tuberías para acueducto” y “NDC-SE-AA-010 Protección de Tuberías en redes de Acueducto y Alcantarillado”.

## **6.6 Golpe de Ariete**

Para este tipo de estaciones, se debe elaborar un estudio de golpe de ariete causado por interrupciones en el suministro de energía y la consecuente interrupción del flujo. Debe calcularse la máxima sobre elevación de presión y la subpresión, considerando el caudal máximo en las diferentes condiciones de operación.

No se admiten subpresiones en la tubería. El estudio debe contener la recomendación y diseño del sistema o medida de protección correspondiente.

El diseñador debe hacer el análisis del golpe de ariete en las tuberías de conducción para las condiciones normales de operación, para las condiciones excepcionales ocasionadas por mantenimientos o emergencias o para cambios importantes en las condiciones de operación.

Las condiciones para el cálculo del golpe de ariete son las siguientes:

### **1. Condiciones normales de operación por bombeo.**

En las conducciones que conformen líneas de impulsión de bombeos se consideran como condiciones normales de operación las siguientes:

- El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control de golpe de ariete previsto en la etapa de diseño.
- La interrupción súbita del bombeo.
- Inicio del bombeo hacia el tanque de almacenamiento y/o compensación.
- Las maniobras de cierre o apertura de válvulas de control o de cierre que existan en la conducción.
- La ocurrencia de las conducciones especiales establecidas en todas las estaciones de bombeo de un sistema complejo.

### **2. Condiciones excepcionales en conducciones que conformen líneas de impulsión de bombeos.**

En los sistemas por bombeo se consideran como condiciones excepcionales las siguientes:

- La falla de cualquiera de los dispositivos de protección y control del golpe de ariete.
- Las maniobras inadecuadas en las válvulas, que estén en desacuerdo con las reglas de operación especificadas por el diseño.
- La ruptura de la tubería en la sección de máxima presión bajo régimen de flujo permanente.
- El cierre retardado de una de las válvulas de retención de la descarga de las bombas antes o simultáneamente con la máxima velocidad de reversa, ocurrida posteriormente a la interrupción del bombeo.

### **3. Condiciones normales de operación en conducciones trabajando por gravedad.**

Se consideran como condiciones normales de operación de una conducción por gravedad las siguientes:

- El funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección y control contra el golpe de ariete previstos desde la etapa de diseño.
- Las maniobras de cierre y apertura de las válvulas de control y de cierre existentes en la tubería de la conducción.

#### 4. Condiciones excepcionales en las conducciones trabajando por gravedad.

Las condiciones excepcionales en una conducción trabajando por gravedad son las siguientes:

- La falla en cualquiera de los dispositivos de protección y control contra el golpe de ariete.
- Las maniobras inadecuadas de las válvulas, en desacuerdo con las reglas de operación establecidas en el diseño del proyecto.
- La ruptura de la línea de conducción en la sección de máxima presión bajo una condición de flujo permanente.

### **6.7 Eficiencia del bombeo**

El diseño debe asegurar que para todas las posibles condiciones de operación de las bombas, éstas trabajen en o cerca de su punto de máxima eficiencia, de acuerdo con la curva de eficiencia suministrada por el fabricante del equipo. El punto de operación del sistema de bombeo corresponde al cruce de las curvas de las bombas y del sistema, para cualquiera de las condiciones de operación de bombeo, ya sea en serie o en paralelo. Este punto de operación se debe obtener a partir de las alturas piezométricas, con base en las cuales se debe estimar la altura dinámica total y el caudal de bombeo. Esta condición de operación se debe comparar con el punto de operación inicial para establecer posibles problemas de la bomba o del sistema.

Para el diseño de las estaciones de bombeo se deben evitar las curvas de doble pendiente teniendo en cuenta los siguientes puntos:

1. Si se está dentro de la zona de doble operatividad, es necesario tener en cuenta que a cualquier altura (H) le corresponden dos valores de caudal (Q).
2. Si se está por debajo o por fuera de la zona de doble operatividad, a cualquier punto de altura (H) de la curva le corresponde un solo caudal (Q) y la bomba trabaja con su mayor eficiencia.
3. La zona de máxima eficiencia del bombeo siempre se encuentra por fuera de la zona donde se presenta la doble operatividad.
4. Cuando se tienen dos bombas trabajando simultáneamente, existe la tendencia a trabajar en la zona de doble operatividad. El diseño debe controlar esto disminuyendo la altura estática de bombeo.

### **6.8 Válvulas y Accesorios**

#### **6.8.1 Condiciones básicas**

La estación debe tener ciertos accesorios que permitan una fácil operación, según las siguientes disposiciones:

- Las válvulas de regulación y válvulas de corte deben tener una señalización que indique si se encuentran abiertas o cerradas.
- Las válvulas mayores o iguales a 300 mm (12 pulgadas), deben tener actuadores eléctricos.
- Para válvulas de accionamiento manual, deben colocarse dispositivos que hagan posible su operación con una fuerza tangencial menor que 200 N.
- Las válvulas y registros deben estar instalados en sitios de fácil acceso para el operador.

- Las válvulas y accesorios deben instalarse de tal manera que resulte fácil su inspección y mantenimiento, y que permitan un adecuado montaje y desmontaje.

### **6.8.2 Accesorios necesarios**

En cuanto al tipo de válvulas necesarias, deben atenderse las siguientes recomendaciones:

- Todas las unidades de bombeo deben tener una válvula de guarda y otra de cheque (retención) en la tubería de impulsión.
- Las bombas instaladas en pozos secos, y que operen por debajo del nivel del agua de succión, deben tener válvula de guarda en la línea de succión.
- En una tubería de succión que no trabaje bajo carga positiva debe instalarse una válvula de pie (retención) en la parte inferior para evitar su vaciado.
- Deben ponerse válvulas de ventosa, cuyo uso y especificaciones depende del tipo de bomba que va a utilizarse, la operación y colocación adoptadas.
- En todo caso, deben consultarse las Normas Técnicas Colombiana NTC 1991, NTC 2011 y NTC 1762, o las normas AWWA C508, AWWA C510, previa aprobación de EMCALI EICE ESP.

## **6.9 Dispositivos de Medición y Control**

### **6.9.1 Instrumentación**

Los dispositivos de control deben medir en todo momento las condiciones de operación y detectar fallas rápidamente. Estos dispositivos deben ser automáticos, reduciendo al máximo la intervención del operador en las labores de medición.

Como mínimo, deben colocarse los siguientes dispositivos de control:

- Interfaz Hombre Maquina (IHM)
- Manómetros en la descarga.
- Indicadores de presión en la línea de succión, cuando ésta trabaje en presiones negativas.
- Un interruptor eléctrico accionado electrónicamente y con respaldo por flotador en el tanque de succión, conectado con el arrancador de la bomba.
- Un interruptor eléctrico accionado electrónicamente y con respaldo por flotador en el tanque de descarga, conectado con el arrancador de la bomba.
- Alarma de bajo nivel en la succión
- Se recomienda un totalizador de caudales a la salida de la estación.
- Cuando se tiene cabeza positiva de succión, un reóstato regulador conectado a la tubería de succión de cada bomba.
- Manovacúmetro en la sección de control para controlar las presiones a la entrada de la bomba.

- Tacómetro en el motor de la bomba.
- Indicadores de presión y temperatura del aceite en los motores de combustión interna.
- Voltímetros y amperímetros en la conexión a cada bomba.
- Válvula de cierre automático en la entrada del pozo de succión, accionada con el llenado del pozo.
- Sistemas de autolubricación de las bombas y cebado automático.
- Relé de mínima potencia conectado al arrancador del motor.
- Relé de máxima potencia para proteger el motor de altos voltajes.
- Relé diferencial de fases para proteger el motor de variaciones de tensión de una fase individual.
- Relé de contacto a tierra para proteger el motor de un eventual contacto a tierra.
- Equipos de medición de Potencia Activa, Reactiva y medición

#### **6.9.2 Sala de control**

Los sistemas de medición deben transmitir los datos a la sala de control, en la cual se ubicarán tableros que indiquen las condiciones de operación de la estación. Como mínimo, los tableros deben incluir el caudal instantáneo por unidad de bombeo, la presión en las líneas de succión y descarga, el nivel del agua en el pozo de succión, la temperatura y presión del aceite, el voltaje y amperaje en las líneas de alimentación de las bombas y las revoluciones por minuto de los motores.

### **6.10 COMPONENTES BASICOS**

Los elementos básicos que deben ser instalados en una estación de bombeo, deben ser los siguientes.

#### **6.10.1 Ampliación Concéntrica**

Debe instalarse a la salida de la bomba, debe tener conexión mediante bridas cuya clase está definida por las condiciones de operación. Las bridas deben cumplir con los requisitos de la norma "ISO 7005-1 Metallic flanges. Part 1, Steel flanges" e "ISO 7005-2 Metallic flanges. Part 2, Cast iron flanges".

#### **6.10.2 Válvula Antiretorno**

Debe instalarse a la salida de la bomba, a continuación de la ampliación concéntrica. Su función es la protección de la bomba, ya que al suspenderse el bombeo, cuando la columna de agua se devuelve, la válvula se cierra recibiendo el golpe del agua.

Se recomienda el uso de válvulas antiretorno de disco oscilante con sello metálico para estaciones con tubería de tamaño mayor a 6 pulg.; para estaciones pequeñas, con tamaños menores a 6 pulg. se recomienda el uso de válvulas antiretorno de clapeta.

### **6.10.3 Niple de Conexión**

Deben ser fabricados en acero o hierro dúctil, con extremo liso y brida de acuerdo con las normas "ISO 7005-1 Metallic flanges. Part 1, Steel flanges" e "ISO 7005-2 Metallic flanges. Part 2, Cast iron flanges", PN 20 o PN 50 (clase 125 o 250) según las condiciones de operación del sistema.

### **6.10.4 Unión de Desmontaje**

Debe facilitar los procesos de montaje, desmontaje de los componentes de la estación. Debe cumplir con los requisitos de la norma técnica de EMCALI EICE ESP "NCO-PM-AA-041 Uniones en hierro dúctil".

### **6.10.5 Válvula de Aislamiento**

Pueden ser válvulas de compuerta, o válvulas de mariposa, según la norma técnica de EMCALI EICE ESP "NCO-PM-DA-027 Válvulas de mariposa con sello elástico".

Es recomendable el uso de válvulas de sello metálico para estaciones de bombeo de aguas crudas, y de sello elástico para estaciones de bombeo de aguas tratadas.

### **6.10.6 Válvula de Ventosa**

Deben ser del tipo ventosa cinética y antivacío. Se debe instalar sobre el múltiple de descarga con el fin de admitir y liberar grandes volúmenes de aire durante el llenado y vaciado de la tubería.

Se debe instalar en conjunto con una válvula de aislamiento, con el fin de poderse retirar en caso de mantenimiento o cambio. La válvula de aislamiento puede ser de compuerta, mariposa o bola.

Se debe tener en cuenta lo establecido en la norma técnica de EMCALI EICE ESP "NCO-SE-DA-010 Aspectos técnicos para instalación de válvulas" y "NDI-PM-DA-016 Criterios para selección de válvula"

### **6.10.7 Válvulas de Alivio de Presión**

Si las condiciones de la estación lo ameritan, se debe instalar una válvula de alivio de presión tipo globo, en derivación a la línea de descarga, para aliviar el exceso de presión y proteger el sistema.

La válvula debe mantenerse cerrada hasta que la presión aumente y sobrepase el ajuste del piloto de alivio. En ese momento, la válvula se abre lo suficiente para liberar el exceso de presión y se cierra herméticamente una vez la presión es normal.

### **6.10.8 Variadores de Velocidad**

Se deben especificar estos variadores de velocidad cuando se entrega a la red de distribución, sin embargo, cuando se entregan para alimentar tanques el uso de variadores no es necesario. Los variadores de velocidad deberán suministrarse con todas sus protecciones y que sean en redundancia como son las protecciones contra descargas atmosféricas, protecciones con apantallamiento.

### **6.10.9 Válvula anticipadora de Golpe de Ariete**

Las válvulas anticipadoras de golpe de ariete protegen a las bombas contra las ondas causadas por falla de potencia u ondas de presión generadas por cambios de velocidad. La válvula está cerrada cuando la presión en la línea se encuentra entre los dos puntos de calibración de los pilotos. La válvula abre inicialmente cuando la presión en la línea desciende por debajo del punto de calibración del piloto de baja presión para anticipar la onda asociada con la parada de las bombas. La válvula también continuará



reaccionando y permanecerá abierta cuando la onda de retorno de alta presión esté por arriba del punto de calibración del piloto de alta presión o abrirá cuando la presión en la entrada exceda un punto de calibración predeterminado en cuyo momento la válvula abre rápidamente.

Estas válvulas deben ser:

- Rápida apertura de alivio
- Calibración de la presión fácilmente ajustable
- No requerir servicios eléctricos
- Tipo globo (ángulo).
- Presión / estándar de brida ANSI Clase 150 (ANSI 300, bridas ANSI perforadas según ISO PN 10 / 16/ 25 ó 40).

Los materiales estándar para los componentes del sistema piloto deben ser en Bronce ASTM B-62 o latón ASTM B-16 o Guarnición de acero inoxidable AISI 303/316

### **6.11 CONDICIONES GENERALES PARA INSTALACIÓN DE BOMBAS**

Las bombas deben instalarse tan cerca como sea posible del tanque de abastecimiento o succión.

La tubería de succión debe llegar directamente al agua, bien soportada y con inclinación constante; su longitud debe ser lo más corta y directa posible, teniendo un tramo recto de una longitud mínima de cinco veces el diámetro de la brida, antes del primer codo.

Debe evitarse que la tubería de succión presente picos en su recorrido donde puedan formarse bolsas de aire que impidan la succión.

### **6.12 ACCESORIOS PARA TENER EN CUENTA EN LA INSTALACIÓN DE LAS BOMBAS**

#### **6.12.1 Generalidades**

La tubería debe quedar perfectamente bien soportada y no transmitir los esfuerzos a la bomba, debe ser hermética y con la aplicación de sellantes o empaques en las uniones para evitar escapes de agua o entradas de aire.

#### **6.12.2 En la Succión**

Es recomendable utilizar la menor cantidad posible de accesorios en la succión; sin embargo, debe instalarse una válvula de pie para los casos de bombas que no sean autocebantes; para situaciones diferentes, se debe instalar un filtro o coladera.

Si el diámetro de la tubería de succión es mayor que el diámetro de entrada de la bomba, debe instalarse una reducción excéntrica que evite la formación de bolsas de aire; se debe usar, como mínimo, tubería del mismo diámetro que el de succión de la bomba.

#### **6.12.3 En la Descarga**

En la descarga debe instalarse:

- Una válvula de compuerta
- Una válvula anti retorno, aguas arriba de la válvula de compuerta.
- El diámetro de la tubería debe ser, mayor al diámetro de la salida (descarga) de la bomba.

- Se deben instalar, en caso de ser necesario, los accesorios suficientes para facilitar la labor de cebado.

### **6.13 DISEÑO ELÉCTRICO**

Los diseños presentados deben ser aprobados para construcción por EMCALI EICE ESP y estar debidamente documentados y soportados con memorias de cálculo, cuadros de cargas, cuadros de regulación, diagramas unifilares, plantas, cortes, detalles de montaje y listados para requisición de materiales, utilizando la simbología y normatividad vigente para la presentación de planos y documentos establecida por el proyecto y/o por EMCALI EICE ESP.

Estos planos deben ser validados por un Ingeniero Electricistas con Matricula Profesional vigente.

Los diseños deben considerar las condiciones ambientales interiores y/o exteriores, así como las operativas a las que van a funcionar los equipos eléctricos, con el fin de determinar el adecuado grado de protección por encerramiento para garantizar su integridad. Los diseños deben ser realizados atendiendo la Resolución No. 180398 de abril 7 de 2004 en la cual se aprobó el RETIE- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas, Resolución 181294 de agosto 6 de 2004, donde se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE y el Código Eléctrico Colombiano norma NTC 2050, teniendo en cuenta su vigencia a la presentación del proyecto.

Las estaciones de agua lluvia deben de ir provistas de planta generadora de energía con capacidad igual a la potencia eléctrica instalada.

### **6.14 CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATIZACION**

#### **6.14.1 Generalidades**

El contratista debe ser responsable por el diseño completo e integral de los sistemas de instrumentación y automatización compatible en funcionalidad y de forma coordinada con el equipamiento eléctrico y mecánico instalado, cada uno de los sistemas debe diseñarse completamente para cumplir como mínimo las siguientes condiciones:

- Sistema para la medida de nivel: teniendo en cuenta que el objetivo de la Estación de bombeo es el de elevar desde una cámara o pozo de succión el agua potable, el sistema de nivel es factor primordial para la correcta operación del sistema de automatización instalado, a través de este se toman las decisiones de iniciar o suspender el bombeo para cada una de las unidades de bombeo de la estación.
- Sistema para la medida de flujo de salida: se requiere con el fin de verificar la cantidad de agua bombeada, también es de utilidad para verificar las condiciones de funcionamiento de cada una de las unidades de bombeo.
- Sistema de automatización: este permite tomar decisiones de arranque y parada de cada una de las unidades, de acuerdo con las necesidades de operación de la Estación y teniendo en cuenta que esta debe operar de forma inasistida y con re arranque automático.
- Sistema de protecciones: permiten que el equipo electrónico instalado sufra la menor cantidad de daños posibles a causa de descargas atmosféricas o transitorios de la red.
- Sistema de alimentación de energía en 24 Vdc: Para los equipos de instrumentación y automatización y todo equipo eléctrico que requiera alimentación externa, se utilizara una configuración fuente cargador, banco de baterías flotante a 24 Vdc con una autonomía mínima de 12 horas.

### **6.14.2 Sistema para la Medida de Nivel**

Está compuesto por medidores de pondaje y cámara de succión, se recomienda el uso de medidores ultrasónicos o de tipo radar en la que su medida no se afecte por elementos en suspensión o espuma, también es posible el uso de sondas hidrostáticas siempre y cuando estén garantizadas por el fabricante para el uso en ambientes agresivos de corrosión. En la cámara de succión se deberá instalar mínimo 3 interruptores de nivel tipo flotador para ambientes altamente agresivos por corrosión (nivel alto de sulfuros H<sub>2</sub>S) con efecto que se utilicen como respaldo para el sistema de automatización, tanto las medidas análogas de nivel así como las digitales de los interruptores de nivel deberán alambrarse al sistema de automatización. Todas las medidas análogas de nivel deberán poseer de forma separada al sistema de control un indicador digital en cm. Todos los accesorios de montaje cajas de paso desde la toma de medida hasta el sistema de automatización deberán ser diseñados para soportar altos niveles de corrosión (nivel alto de sulfuros H<sub>2</sub>S). Todas las instalaciones para el sistema de nivel deberán permitir, acceso seguro para efectuar las respectivas labores de mantenimiento. El sistema de medida de nivel deberá tener una precisión menor o igual al 3%.

### **6.14.3 Sistema para la Medida de Flujo de Salida**

Este sistema podrá instalarse con una canaleta tipo parshall, medidor ultrasónico ó magnético, siempre y cuando se asegure que la medida de flujo de salida tenga una precisión menor o igual al 3%, el sistema instalado deberá incluir todos los accesorios de montaje, cajas de paso, alambrado, además deberá poseer un indicador digital (en litros por segundo separado del sistema de control) con funciones de totalizador (no reseteable), para la medida de flujo de salida. Todos los accesorios de montaje cajas de paso desde la toma de medida hasta el sistema de automatización deberán ser diseñados para soportar altos niveles de corrosión (nivel alto de sulfuros H<sub>2</sub>S). Todas las instalaciones para el sistema de flujo deberán permitir, acceso seguro para efectuar las respectivas labores de mantenimiento.

### **6.14.4 Sistema de Automatización**

El sistema de automatización está compuesto por un controlador lógico programable principal (PLC). El PLC y un IHM aprobado por EMCALI deberá tener el dimensionamiento adecuado de entradas/salidas para el total de las variables requeridas por la estación y una expansión del 25%. La lógica de configuración deberá permitir la operación automática del sistema de bombeo de la estación y debe funcionar como una unidad independiente que realice las funciones de control local. En todo caso en una posible falla del PLC la lógica de control deberá permitir el arranque y parada de cada una de las unidades de forma manual sin perder la coordinación de protecciones eléctricas de las unidades de bombeo.

### **6.14.5 Protecciones del Automatismo**

Las protecciones que se tendrán en cuenta para todas las estaciones de bombeo de acueducto son:

#### **6.14.5.1 Protecciones mecánicas y eléctricas**

- **Bombas:** Se realizara la supervisión de variables de proceso como caudal de descarga, la presión de descarga, el nivel o presión de succión y nivel de tanque al que se bombea; con el objeto de no operar las bombas en condiciones inadecuadas (cavitación, sobre presión, con caudal 0, etc).

Se tendrá un control para el arranque de bombas utilizando arrancadores suaves y variadores de velocidad, para evitar cambios bruscos en la velocidad de bombeo y minimizar el golpe de ariete.

Desde el punto de vista eléctrico, la corriente y temperatura del motor será supervisada por el arrancador suave o el variador de velocidad (si están disponibles), que brindan una protección eléctrica fina.

Los tableros de centro de control motores, tendrán fusibles rápidos, interruptores de protección termo magnético y protección contra transitorios de tensión para la protección de los equipos de arranque suave, variación de velocidad y parada de emergencia general del sistema.

- **Consumo de energía:** Se minimizarán los ciclos de bombeo para evitar consumos grandes de energía y así mismo evitar el desgaste electromecánico en los equipos.
- **Rotación:** Se rotará el funcionamiento de las bombas, para darle un trabajo constante a todas las bombas, y se tendrán horómetros por bomba para programación de mantenimiento.

#### 6.14.5.2 Protección de la Cadena de Bombeo (en el caso que aplique).

- **Bombeo a tanque:** Se monitoreará la presión (Tipo Booster) o nivel de succión y el nivel del tanque al cual bombea, para evitar cambios bruscos de velocidad, desperdicios de agua, generación de golpe de ariete que causaría daños en las tuberías y equipos de bombeo. También se mantendrá monitoreado constantemente la presión o nivel de succión para evitar la cavitación en las bombas.
- **Bombeo a Red:** Se monitoreará la presión (Tipo Booster) o nivel de succión y la presión de descarga permisible a la red, para evitar daños en las tuberías, o equipos de bombeo. También se mantendrá monitoreado constantemente la presión o nivel de succión para evitar la cavitación en las bombas.

#### 6.14.5.3 Protecciones por consignas

Para las variables de proceso críticas, se definirá una consigna, banda de control y banda límite. En el caso de que uno de las variables se salga de la banda de control o tenga una situación anormal; el PLC generará una alarma o disparo visualizándola en la IHM local.

En caso de pérdida de comunicaciones cada PLC mantendrá el control local de sus equipos según las últimas consignas recibidas y manteniendo en todo momento sus criterios de seguridad programados.

Se verificará el tiempo entre la orden de marcha de una bomba y el retorno de su confirmación de arranque. Si se supera un límite parametrizado (o consignable) se generará una señal de alarma y se marcará el motor como en falla. El arranque de motor se desbloqueará mediante el envío de una señal de reset desde la IHM.

#### 6.14.6 Funcionalidad General IHM (Interfaz Hombre Máquina)

La IHM tendrá los siguientes despliegues y funcionalidades:

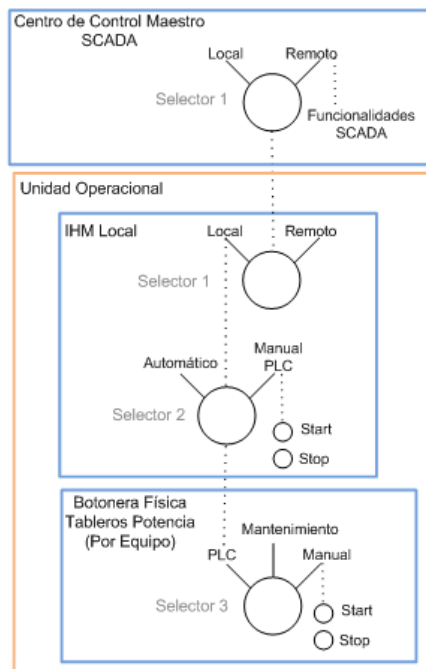
- **Despliegue Principal:** diagrama general de proceso de la estación que muestra las bombas con su estado, instrumentación, tuberías e indicación de las principales variables de proceso.
- **Despliegue de consumo energía:** indicación de las variables eléctricas de la estación de bombeo tomadas del medidor multifuncional de la celda principal. Indicación de las variables eléctricas de los motores tomadas del arrancador o variador si están disponibles por comunicaciones, de lo contrario el operario podría verificar esta información en los paneles de cada equipo.

- Despliegue de programa de mantenimiento: indicación de los horómetros de funcionamiento, consigna de horas de aviso mantenimiento, reset de aviso mantenimiento. Así mismo las consignas para orden de arranque de las unidades de bombeo.
- Despliegue de alarmas y fallas: indicación de las alarmas y fallas principales de los equipos.
- Despliegue de configuración Sistema de Control: contiene las consignas y parámetros que permiten ajustar el funcionamiento del sistema de control (con clave de acceso).

#### 6.14.7 Modos de Operación

Los modos de operación del sistema estarán regidos por 3 selectores, que se muestran en la Figura 1.

**Figura 1. Lógica de Selectores**



El selector que prevalece en el funcionamiento de cada equipo es el selector 3 (PLC, Mantenimiento, Manual), el cual está ubicado físicamente en cada tablero de potencia.

A continuación se describirán con más detalle los modos de operación anteriormente descritos.

##### 6.14.7.1 Modo de Operación por Unidad operacional (Selector 1)

Este modo de operación por unidad operacional tendrá 2 (dos) opciones y será manipulable desde la IHM local o del Centro de Control dependiendo cual tenga el control.

Las opciones de Operación por Unidad Operacional son:

- Local
- Remoto

Al realizar el cambio de local a remoto o viceversa las bombas mantendrán el estado actual y es responsabilidad del operador de turno si es necesario apagarlas o encenderlas.

A continuación se describirá cada una de estas opciones.

➤ Modo de Operación Local

Al seleccionar este modo de operación deshabilita el control desde el Centro de Control Maestro y habilita el control desde la IHM local en la cual se pueden enviar mandos a los equipos (encender/detener) y/o cambiar consignas (niveles, temporizadores, porcentajes, ajustes, etc).

En este modo de operación el operador de turno de la unidad operacional será el directo responsable del funcionamiento.

➤ Modo de Operación Remoto

Al seleccionar este modo de operación deshabilita el control desde la IHM Local de la unidad operacional y habilita el control desde el Centro de Control Maestro con las funcionalidades incluidas en el SCADA.

En este modo de operación el operador de turno del Centro de Control Maestro será el directo responsable del funcionamiento.

#### 6.14.7.2 Modos de Operación por Equipo (Selector 2)

Este modo de operación por equipo tendrá 2 (dos) opciones y se muestra en la IHM Local de cada unidad operacional:

- Automático
- Manual PLC

Al realizar el cambio de automático a manual PLC las bombas mantendrán su estado (Encendido/Apagado) y es responsabilidad del operador de turno con su criterio experto, si es necesario apagarlas o encenderlas.

Al realizar el cambio de manual PLC a automático las bombas mantendrán su estado (Encendido/Apagado), sin embargo el PLC toma acción en las bombas y es el responsable de su manipulación.

➤ Modo de Operación Automático

En este modo se permitirá el cambio de consignas desde la IHM Local o desde el Centro de Control Maestro dependiendo del modo de operación en la que se encuentre la unidad operacional (Selector 1).

El PLC es el encargado de encender o apagar según la lógica de cada unidad operacional.

El operador de turno ingresará las consignas y mandos desde la IHM Local o SCADA y será el directo responsable de su manipulación.

➤ Modo de Operación Manual PLC

Al seleccionar este modo de operación la IHM local habilitará los botones de mando de cada equipo (encendido/apagado), así mismo cuando no se encuentre en este modo de operación quedaran deshabilitados estos botones.

Esta operación será manual, pero supervisada por el PLC, es decir se mantienen los enclavamientos y seguridades incluidas en la lógica.

El operador de la unidad operacional de turno es el encargado de encender o apagar las bombas desde la IHM Local según su criterio experto.

#### 6.14.7.3 Modos de Operación Manual por Equipo (Selector 3)

Este modo de operación por equipo tendrá 3 (tres) opciones, el cual está ubicado en el tablero de cada equipo. A continuación se describirá cada una de estas opciones:

- PLC
- Manual
- Mantenimiento

##### ➤ Modo de Operación PLC

La operación es controlada por el PLC bajo el modo de operación seleccionado para la unidad operacional con selectores 1 y 2. Este modo de funcionamiento es el que tendrá el sistema por defecto.

##### ➤ Modo de Operación Manual

Al seleccionar este modo de operación habilita los mandos de arranque y parada disponibles en cada tablero de potencia.

El PLC no interviene en la operación, no obstante, se tienen las protecciones incluidas en el tablero y la propia que ofrece el arrancador o variador. El operador será el directo responsable de la operación de los equipos.

##### ➤ Modo de Operación Mantenimiento

El equipo que se encuentre en el modo mantenimiento no podrá ser operado, y se mantendrá apagado (eléctricamente no estará disponible).

La celda quedara energizada, sin embargo el control no quedara disponible eléctricamente para el arranque de los equipos.

Para des-energizar la celda se debe bajar el breaker principal y se recomienda colocar un candado en el breaker.

Para la lógica del PLC esta bomba no se tendrá en cuenta para la secuencia de arranque, es decir si necesita encender una bomba según su programación, arrancará la bomba inmediatamente siguiente que cumpla con los requisitos de arranque.

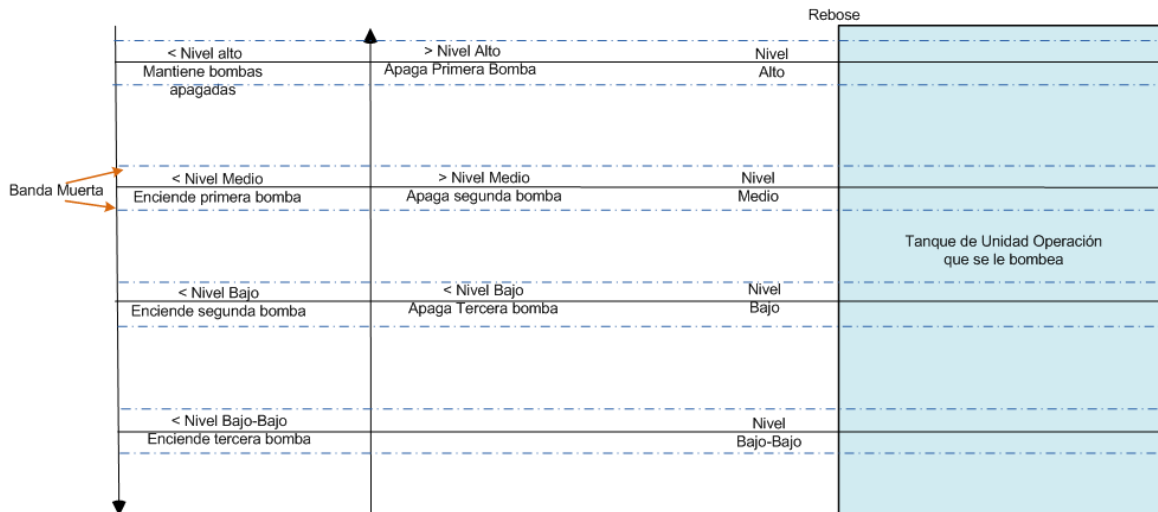
#### **6.14.8 Lógica General PLC**

A continuación se enumeraran las estaciones de bombeo y su tipo de lógica general a utilizar, sin embargo, se diseñara una estrategia de control particular para cada cadena de bombeo y/o unidad operacional.

##### ➤ Cuando se bombea a Tanque

Se monitoreará constantemente el nivel del tanque al que se bombea, en el cual se tiene definido 4 niveles (alto, medio, bajo y bajo-bajo), los cuales serán configurables.

Figura 2. Ilustración de lógica de bombeo a tanque



Si se iniciara desde un nivel alto y el nivel desciende manteniéndose abajo del nivel medio se enciende la primera bomba. Si por las condiciones de consumo del sector, el nivel desciende manteniéndose abajo del nivel bajo, se encenderá la segunda bomba. Si debido al consumo alto del sector sigue desciendo manteniéndose abajo del nivel Bajo-Bajo se encenderá la tercera bomba.

En el caso contrario iniciando desde el nivel Bajo-bajo y el nivel empezara a aumentar hasta mantenerse arriba del nivel Bajo en el cual se apagara la tercera bomba encendida, si el nivel sigue aumentando hasta mantenerse arriba del nivel Medio se apagara la segunda Bomba encendida, si el nivel continua aumentando hasta mantenerse arriba del nivel alto la primera bomba encendida se apagara.

Se considera como aceptada la condición de transición cuando el nivel se mantenga (arriba o abajo según aplique) por un tiempo configurable y teniendo en cuenta una banda muerta.

En caso de que se detecte un comportamiento del nivel del tanque fuera de los límites de seguridad, se generará una alarma para que el operador de turno tome las acciones pertinentes.

➤ Cuando se bombea a Red

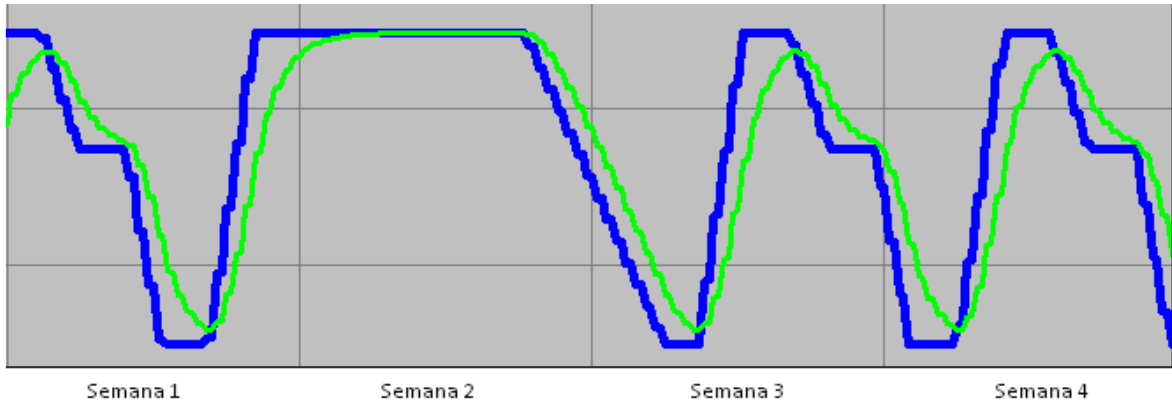
A continuación se describirán 2 opciones aplicables a las estaciones de bombeo que suministran directamente a la red.

- **Curva de demanda:** Cuando se tienen una caracterización completa del comportamiento de la estación de bombeo y se cuenta con un variador de velocidad, se podrá realizar por curva de demanda. Esta curva característica debe ser suministrada por EMCALI EICE ESP.

La finalidad de este caso es que el encargado ingrese unos valores para generar la curva de control en el tiempo, y con la regulación de la velocidad de bombas se pueda realizar el seguimiento de esta variable de control ingresada. En la Figura 3, la línea azul muestra la consigna de curva de demanda ingresada por el encargado y la línea verde es la curva de control (Presión o caudal, según se determine en cada estación)



Figura 3. Curva de control en el tiempo

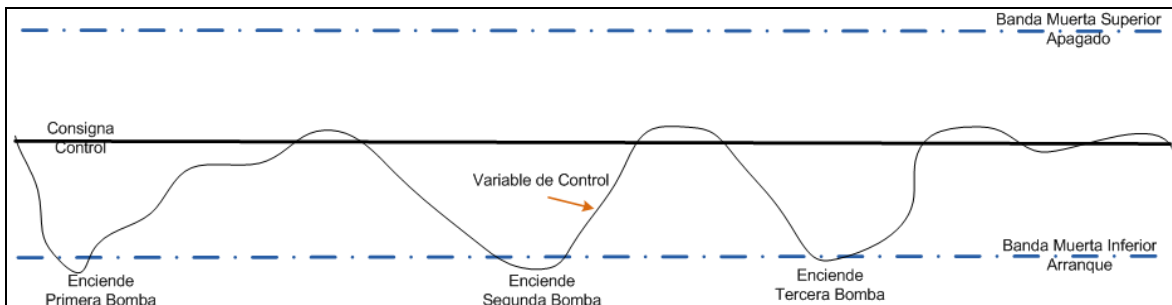


No obstante se mantendrán las protecciones y se monitorearan constantemente todas las variables (Presión, Caudal, Niveles, Temperatura, Corriente, etc)

- **Variable de control:** La finalidad del control en este caso, es mantener la variable de proceso (Presión o Flujo) alrededor del set point configurado por el operador de turno. Para esto, típicamente en las estaciones se contara con:

- Un variador de velocidad para Primera Bomba.
- Un arrancador suave para Segunda Bomba.
- Un arrancador suave para Tercera Bomba.

Figura 4. Ilustración seguimiento Consigna Control



Partiendo de un sistema en reposo, es decir las 3 bombas están apagadas y debido a una demanda la variable de control disminuye hasta mantenerse por debajo de la banda muerta inferior, se encenderá la primera bomba por medio del variador, el cual tendrá programado un control PID para mantener la variable de control en el valor de consigna configurado, en caso de que la demanda varíe de forma que la variable de control disminuya al punto que llegue de nuevo a la banda muerta inferior o la frecuencia del variador se mantenga por arriba del 90% (54HZ) y no alcance a mantener la variable de control en la consigna configurada, la segunda bomba se encenderá, en caso contrario teniendo encendida solamente la primera bomba y la variable de control aumente hasta mantenerse arriba de la banda muerta superior o el variador se encuentra trabajando a la mínima frecuencia configurada, se procederá con el apagado de la primera bomba, retornando al sistema en estado de reposo.

En caso de tener la primera y la segunda bombas encendidas y debido a una demanda la variable de control disminuye hasta mantenerse por debajo de la banda muerta inferior se encenderá la tercera

bomba y el variador de la primera bomba mantendrá la variable de control a un valor muy cercano a la consigna de control. Por otro lado teniendo encendidas la primera bomba y segunda bombas y la variable de control aumente hasta mantenerse arriba de la banda muerta superior o el variador se encuentra trabajando a la mínima frecuencia configurada, se procederá con el apagado de la segunda bomba, manteniendo solo la primera bomba.

Se considera como aceptada la condición de transición cuando el nivel se mantenga (arriba o abajo según aplique) por un tiempo configurable.

El Contratista será el responsable de tener estas condiciones.

#### **6.14.9 Sistema de Protecciones**

Está compuesto por una malla de tierra (diferente a la malla de potencia), elementos de protección gruesa media y fina esta última para cada uno de los equipos de instrumentación y automatización instalado.

#### **6.14.10 Sistema de Alimentación de Energía en 24 Vdc**

Los equipos de instrumentación y control, estará compuesto por cargador, banco de baterías y deberá dimensionarse para el consumo requerido de todos los equipos instalados. Las baterías deberán ser del tipo selladas y libres de mantenimiento con una vida útil no menor a 30 años. Los cargadores deberán poseer contactos secos para alarmas que se deberán alambrear al sistema de automatización.

#### **6.15 DISEÑO MECANICO**

Los diseños mecánicos deben satisfacer las necesidades y requerimientos de los equipos, accesorios e instrumentos indicados en el diseño de la estación de bombeo de tal forma que se garantice un correcto montaje y por ende un adecuado funcionamiento, operación y mantenimiento. Adicionalmente se debe tener en cuenta los espacios necesarios para los desarmes de los equipos sin que el personal de mantenimiento tenga incomodidades.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KARASSIK, Igor. Manual de bombas. México: Mc Graw Hill, 1983.

Normas de Acueducto y Alcantarillado de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2006.

Normas de Acueducto y Alcantarillado de Aguas de Cartagena S.A. ESP, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Cartagena, 2005.

Normas de Diseño de Acueducto y Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín (EPM) ,2006.

Normas de Diseño y Construcción de Acueducto y Alcantarillado de Empresas Municipales de Cali, 1999.

SANKS, Robert L. Pumping station design. Boston: Butterworth Heinemann, 1989

Sistema de Normas Técnicas de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (SISTEC), 2006.

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Seminario: Bombas y estaciones de bombeo. Bogotá: UniAndes, 1977