

**DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA AMPLIACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE DE BELLAVISTA**

**MEMORIA EJECUTIVA**

**Contenido**

1	INFORMACION GENERAL .....	4
2	OBJETIVOS .....	4
2.1	OBJETIVOS GENERALES.....	4
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	4
3	ALCANCE DE LA CONSULTORIA.....	5
4	DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL PROYECTO .....	6
5	EVALUACION Y DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	6
5.1	AREA DE ESTUDIO .....	6
5.2	INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS EXISTENTES .....	9
6	JUSTIFICACION DE LA SOLUCION ADOPTADA .....	9
7	TRABAJOS DE TOPOGRAFIA.....	9
8	ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO .....	10
9	PRUEBAS DE TRATABILIDAD .....	12
9.1	PROYECTO DE AGUA POTABLE RÍOS ORIENTALES (PRO).....	12
9.1.1	Determinación de dosis óptima de coagulante.....	13
9.1.2	Estudio de gradientes y tiempos de detención óptima.....	13
9.1.3	Filtración de Afinado.....	14
9.1.4	Conclusiones y Recomendaciones.....	14
9.2	PROYECTO DISEÑO DEFINITIVO DE LA AMPLIACION DE LA PTAP DE BELLAVISTA .....	15
9.2.1	Calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista. ....	15
9.2.2	Estudio de tratabilidad de las muestras.....	16
9.3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	21
10	DISEÑO DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA .....	22
10.1	CALIDAD DEL AGUA QUE INGRESA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO BELLAVISTA .....	22
10.2	LÍNEA DE TRATAMIENTO.....	23
10.3	DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	24
10.3.1	Mezcla Rápida.....	24
10.3.2	Clarificadores.....	25
10.3.3	Filtros .....	28
10.3.4	Cámara de Contacto .....	32

10.3.5	Sistema de Desinfección.....	33
10.4	CASA DE CLORACIÓN.....	33
10.4.1	Sistema de protección contra fugas .....	33
11	DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS.....	35
12	INSTALACIONES PARA MANEJO DE QUIMICOS.....	42
12.1	DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE.....	42
12.2	DOSIFICACIÓN DE AYUDANTE DE COAGULACIÓN.....	42
13.....	EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE DESINFECCION Y SUMINISTRO DE AIRE .....	43
14	DISEÑO ESTRUCTURAL.....	44
15	DISEÑO ELECTRICO .....	46
16	DISEÑO ELECTRO - MECANICO.....	48
17	AUTOMATIZACION E INSTRUMENTACION .....	53
18	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL .....	56
18.1	EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	56
18.2	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.....	57
19	SISTEMA DE PREVENCION Y PROTECCION DE INCENDIOS.....	58
20	EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA .....	59
20.1	CONSIDERACIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE VIABILIDAD DE LAS EVALUACIONES.....	59
20.1.1	Consideraciones para la Evaluación Financiera .....	59
20.1.2	Consideraciones para la Evaluación Económica .....	59
20.2	INVERSIONES, COSTOS DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO.....	60
20.3	PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE .....	60
20.4	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE .....	61
20.5	INGRESOS .....	62
20.6	FUENTES DE FINANCIAMIENTO PARA EL PROYECTO .....	63
20.7	RESULTADOS DE LA RENTABILIDAD FINANCIERA Y ECONÓMICA.....	64
20.7.1	Resultados de la Evaluación Financiera Sin y Con Financiamiento.....	65
20.7.2	Resultados de la Evaluación Económica.....	65
20.8	CONCLUSIONES .....	66
21	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	67
22	CANTIDADES DE OBRA, ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA .....	67
22.1	CANTIDADES DE OBRA .....	67
22.2	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS .....	67

22.3	PRESUPUESTOS .....	68
22.4	FÓRMULAS POLINÓMICAS.....	68
22.5	CRONOGRAMAS .....	69
23	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	69
24	ESPECIFICACIONES TECNICAS.....	70
25	DISPONIBILIDAD DE LOS TERRENOS (EXPROPIACIONES).....	70
26	CONTROL DE CALIDAD .....	70
27	PLAN DE OBRAS Y TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION .....	71
28	ESTUDIO DE VULNERABILIDAD Y RIESGO .....	71

## **DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA AMPLIACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BELLAVISTA**

### **MEMORIA EJECUTIVA**

#### **1 INFORMACION GENERAL**

La EPMAPS contrató con CORPCONSUL Cía. Ltda. la ejecución de la consultoría para desarrollar los "DISEÑOS DEFINITIVOS PARA LA AMPLIACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE BELLAVISTA", de 3000 l/s a 4500 l/s, en una sola fase.

#### **2 OBJETIVOS**

##### **2.1 OBJETIVOS GENERALES**

- a) Obtener los estudios, diseños definitivos, planos, especificaciones y todo documento necesario para ampliar la PTAP Bellavista, e incrementar su capacidad desde los 3.000 l/s actuales hasta la capacidad establecida en la Actualización del Plan Maestro, considerando dos módulos, para tratar 750 l/s cada uno, que serán construidos simultáneamente.
- b) Realizar los diseños definitivos de las instalaciones para el tratamiento de los efluentes, producto de la limpieza de las unidades de tratamiento de la planta, que en general se designan como tratamiento de lodos.

##### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- a) Revisar los diseños a nivel de factibilidad realizados dentro de los "Estudios de Actualización del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ";
- b) Realizar el levantamiento topográfico detallado de la planta actual así como el área en donde se implantarán los nuevos módulos de tratamiento y el área que se requiera para las unidades de tratamiento de efluentes;
- c) Realizar los estudios geotécnicos para determinar el tipo de suelo y las propiedades geomecánicas de los mismos;
- d) Revisar e interpretar los estudios de tratabilidad utilizados por el Plan Maestro así como los estudios de tratabilidad complementarios que proporcionará la EPMAPS, a fin de ratificar o rectificar los parámetros de diseño determinados en "Estudios de Actualización del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ", incluyendo parámetros de sedimentación para el diseño de los clarificadores y de los espesadores del sistema de tratamiento de lodos.
- e) Concebir la configuración del sistema de tratamiento de efluentes producto del lavado de las unidades de tratamiento;
- f) Realizar los diseños hidrosanitarios de las unidades de tratamiento así como las interconexiones con la planta existente;

- g) Realizar los diseños hidrosanitarios del sistema de tratamiento de efluentes producto del lavado de las unidades de tratamiento;
- h) Realizar los diseños electromecánicos y de automatización;
- i) Realizar los estudios y diseños del sistema contra incendios de las edificaciones existentes;
- j) Realizar los diseños estructurales de las unidades de tratamiento;
- k) Realizar el diseño del sistema de desinfección;
- l) Realizar la actualización y complementación de la línea base ambiental de la zona de implantación del proyecto;
- m) Realizar la identificación y evaluación de impactos ambientales por las actividades de construcción, operación y cierre del presente proyecto;
- n) Elaborar el PMA ambiental para las Etapas de construcción, operación y cierre del presente proyecto; y,
- o) Realizar la actualización y complementación de Plan de manejo ambiental general, vigente para el SIPGTE, al cual se integran los componentes contemplados en el presente proyecto, considerando particularmente, las afectaciones ambientales que podrían suscitarse por la operación y mantenimiento de los mismos.

### **3 ALCANCE DE LA CONSULTORIA**

Realizar el Diseño Definitivo de la Ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Bellavista (PTAPB), con toda la documentación técnica que permita su construcción.

#### **ETAPAS DE LA CONSULTORIA:**

##### **Etapas 1: Estudios Preliminares y Prediseño Hidráulico Sanitario**

Topografía, geotecnia, interpretación de pruebas de tratabilidad; prediseño hidráulico-sanitario de las unidades de tratamiento y del sistema de tratamiento de lodos. Evaluación de los sistemas de desinfección y de suministro de aire y agua para lavado de los filtros existentes en la planta actual, para definir su capacidad y estado. Actualización y complementación de la línea base ambiental.

##### **Etapas 2: Diseño Hidráulico – Sanitario**

Realización de diseño definitivo de las unidades de tratamiento, sistema de desinfección y tratamiento de lodos, desagües, interconexiones. Identificación y evaluación de impactos ambientales, considerando las principales actividades del proyecto en las etapas de construcción, operación y cierre.

##### **Etapas 3: Diseño Definitivo Detallado**

Realización de diseños Estructurales, Electromecánicos Y De Automatización, Sistema Contra Incendios, Presupuestos, diseño del Plan de Manejo Ambiental y Manual de Operación y Mantenimiento.

#### **Etapa 4: Elaboración del Informe Final Provisional y Definitivo**

El Informe Final Provisional, comprende una compilación de los informes de fase.

Una vez aprobado el Informe Final Provisional, se entregará el Informe Final Definitivo, con sus respectivos anexos, planos, cuadros, figuras y un CD con los archivos debidamente organizados a fin de poder reimprimirlos sin inconveniente alguno.

### **4 DESCRIPCION Y LOCALIZACION DEL PROYECTO**

La PTAP de Bellavista se encuentra ubicada en la zona centro oriental de la ciudad de Quito, en la parroquia de Ñaquito, al interior del parque Metropolitano, a una cota de 2.960 msnm.

**Gráfico No. 4.1 Vista la PTAP de Bellavista**



Fuente: Google Earth 2016

La PTAP de Bellavista forma parte del sistema de abastecimiento de agua potable Papallacta, fue diseñada por la empresa Nisalco y construida por la empresa Techint, iniciando sus operaciones en octubre de 1990.

### **5 EVALUACION Y DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO**

#### **5.1 AREA DE ESTUDIO**

La PTAP de Bellavista fue diseñada para tratar un total de 4,5 m<sup>3</sup>/s en dos etapas de construcción, la primera, que se encuentra en operación, con una capacidad nominal de 3,0 m<sup>3</sup>/s, y la segunda etapa, que se diseña en este proyecto, debe completar la capacidad con 1,5 m<sup>3</sup>/s.

Las instalaciones originales fueron concebidas para la capacidad total final de la planta.

La planta actual consta de dos módulos simétricos compuestos por dos clarificadores y cinco filtros cada uno, separados por un canal común de alimentación.

El tratamiento del agua se realiza con los siguientes procesos:

- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección

#### • **Coagulación**

El proceso de coagulación se realiza con adición de sulfato de aluminio líquido, que se aplica en las cámaras ubicadas al ingreso de la planta en donde se realiza la mezcla rápida.

La mezcla rápida es del tipo mecánico, se realiza por medio de turbinas verticales con paletas planas accionada por con motor eléctrico de dos velocidades.

La unidad cuenta con tres cámaras en paralelo, cada una para 1,5 m<sup>3</sup>/s, la central está reservada para la ampliación, en las cámaras de los extremos se encuentran instaladas las turbinas en operación.

Las cámaras descargan en un canal común que distribuye el agua a los módulos de tratamiento.

#### • **Floculación y Sedimentación**

Como ayudante de floculación se utiliza polímero, el mismo que se aplica a la salida de la mezcla rápida, al inicio del canal de distribución, sitio en el que también se realiza la precloración para control y oxidación de hierro.

Los procesos de floculación y sedimentación se realizan en una misma estructura (clarificador), y están ubicadas simétricamente junto al canal de distribución de agua coagulada, dos a cada lado.

El sistema de clarificadores contempla la floculación por contacto en un manto de lodos, el cual se forma dentro de la campana que la separa del proceso de sedimentación. Ambas zonas, la de floculación y sedimentación, se comunican por sus extremos inferior y superior. El agua coagulada ingresa a la zona de floculación y se distribuye internamente hacia la cámara inferior. La zona de floculación, está dividida en dos compartimientos mediante una turbina que genera una agitación suave y promueve la recirculación de los lodos desde la zona de sedimentación. Esta última, dispone de un sistema de ductos plásticos de sección cuadrada (5cm x 5 cm; L=0.60m) inclinados 60° respecto al plano horizontal, que promueve el flujo laminar e incrementa el área de sedimentación; la recolección del agua decantada se hace en canales distribuidos en toda la superficie.

## **Filtración**

El agua floculada y sedimentada (clarificada) es recolectada en los canales superiores de los clarificadores que descargan a un canal recolector que la conduce a la batería de filtros (5 en cada módulo), dispuesta a continuación de los clarificadores, simétricamente al canal central.

Se dispone de filtros rápidos de un solo lecho, arena uniforme de 90 cm de espesor, de tasa y nivel constantes, controlados por una válvula con actuador neumático en la salida de agua filtrada.

Los filtros descargan a un canal, en cada batería, que conduce el agua filtrada a la cámara de contacto de cloro.

La planta puede realizar el tratamiento mediante filtración directa, por medio de un canal by pass que conduce directamente el agua coagulada, desde el canal central, hasta los canales de distribución de las baterías de filtros.

Cuenta con los sistemas de lavado de filtros con aire y agua, cada uno con capacidad suficiente para cubrir las necesidades de la planta existente y la ampliación.

## **Desinfección**

El proceso de desinfección se realiza por medio de aplicación de cloro gas, desde cilindros de 1 tonelada de capacidad.

El punto de aplicación del cloro gas es mediante difusores ubicados al ingreso a cada cámara de contacto, que se encuentran bajo las unidades de tratamiento, desde donde se conduce el agua desinfectada a las reservas.

## **Sistema de Evacuación de Efluentes de Limpieza**

Los lodos provenientes de purgas de clarificadores, el vaciado de los mismos y los efluentes del lavado de filtros, son recogidos por un canal ubicado debajo del canal central de distribución de agua coagulada que descarga en el tanque equalizador, cuya función es laminar las descargas para verterlas al sistema de alcantarillado de la ciudad.

## **Reserva de agua tratada**

Los canales de recolección de agua filtrada y las cámaras de contacto de cloro constituyen una reserva de 10.000 m<sup>3</sup>, la misma que junto al tanque exterior de 20.000 m<sup>3</sup>, conforman la reserva de agua tratada en la PTAP de Bellavista.

## **Edificaciones**

La planta cuenta con: edificio de almacenamiento y dosificación de sustancias químicas; edificios de mantenimiento, administración, guardianía y generación eléctrica; vías interiores, etc.

## Área para la Ampliación

El sitio para la ampliación de la planta se encuentra a continuación de los módulos existentes con un área útil de 3.758 m<sup>2</sup>.

## 5.2 INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS EXISTENTES

La Consultora realizó el catastro de los ductos y estructuras principales a las que se empatará la ampliación de la planta propuesta que consta de:

- Alcantarilla que recoge las aguas que provienen del lavado de clarificadores y filtros;
- Sistema de aire comprimido para lavado de filtros;
- Sistema de agua de lavado de filtros;
- Sistema de tuberías de PVC para el cloro gas.

En la construcción de las obras proyectadas de la ampliación de la PTAPB, no se prevé afectar ningún servicio, ya que todas las intervenciones se desarrollan dentro sus predios.

Tampoco se afectará la producción de agua potable, pues los módulos de la ampliación se complementan con los existentes y los empates se realizan en los puntos previstos en el diseño original, de acuerdo a lo determinado en el proceso constructivo.

## 6 JUSTIFICACION DE LA SOLUCION ADOPTADA

Para definir la mejor solución para la ampliación se analizaron las recomendaciones de la actualización del Plan Maestro, los criterios de los funcionarios que administran y manejan la planta, los resultados de los procesos de tratamiento actual y la calidad del agua cruda que ingresa a la planta se definió mantener la configuración de la planta actual y dar continuidad a los procesos que se han efectuado rutinariamente en la operación de la planta.

## 7 TRABAJOS DE TOPOGRAFIA

Se realizaron las siguientes actividades:

- Control de campo horizontal y vertical con puntos GNSS, se ubicaron cuatro puntos, LTPB-15, LTPB-16, LTPB-17, LTPB-18, los mismos que, a su vez, se enlazan a la red de control de la línea Paluguillo – Bellavista. Como producto de esta actividad se entregaron las respectivas monografías de los puntos de control.  
El equipo utilizado para el posicionamiento satelital estuvo conformado por 4 receptores GNSS.
- Nivelación geométrica de precisión entre los puntos GNSS del proyecto y los puntos de control horizontal y vertical del IGM mediante un nivel electrónico digital.
- Levantamiento aerofotogramétrico con utilización de un vehículo aéreo no tripulado (UAV). Se realizaron tres vuelos con dron, cubriendo un total de 30 Ha sobre la PTAP de Bellavista.

Como resultado del procesamiento se generó:

- Mosaico ortorectificado de 8 cm por pixel
  - Curvas de nivel índice (cada 5 m) y auxiliares con un intervalo de 1 m.
  - Digitalización en 2D de objetos fotoidentificables en formatos .shp, dwg.
- Levantamiento topográfico de 3Ha con escáner, para generar una información en 3D del levantamiento.

## 8 ESTUDIO GEOLOGICO - GEOTECNICO

Con el objeto de conocer las condiciones geológicas del área en la que se construirá la ampliación de la PTAP de Bellavista, se realizó el estudio Geológico, con los siguientes resultados:

La PTAP de Bellavista se asienta sobre la denominada formación Cangahua (Dirección de Geología y Minas DGM 1980), definida por (Sawer, 1949) como tobas alteradas de colores amarillentos a marrones, generalmente intercaladas con caídas de cenizas, pómez, paleosuelos, flujos de lodo y paleo-canales aluviales.

Los análisis muestran que su composición litológica es intermedia entre dacita y andesita (Vera y López, 1986). La edad de la formación Cangahua se estima en 165-180 Ka (Pleistoceno Superior a Holoceno) (Alvarado, 2012).

El origen de esta formación es volcano sedimentario trasladado por los vientos y que se ha depositado en forma periclinal sobre el paleo-relieve. La potencia de la formación alcanza los 30 metros (DGM 1980).

También se desarrollaron trabajos de prospección geofísica, realizando 2 perfiles de Sísmica de Refracción de 110 y 35 metros respectivamente, dispuestos en dirección perpendicular entre sí en la zona de ampliación de la PTAP, y otros dos de 72 y 35 metros de longitud, en los que se han aplicado técnicas pasivas de sísmica.

**CUADRO No. 8.1. SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SISMICA PASIVA MASW**

PERFIL	ORIENTACION	LONGITUD	Vp	Vs	SITUACION
PS-1	N – S	110	SI		Longitudinal a zona
PS-2	E – W	35	SI		Transversal al anterior
PSP-1	N – S	72		SI	Longitudinal a zona
PSP-2	E – W	35		SI	Transversal al anterior

Elaboración: CORPCONSUL

La exploración geofísica define seis estratos hasta la profundidad de 35 metros; correspondientes a tres unidades geológicas, estas son relleno, formaciones Cangahua y Machángara.

Adicionalmente, el estudio de suelos se realizó con cuatro perforaciones que alcanzaron los 11,45 m de profundidad (P1, P2, P3 y P4) y tres calicatas de 2,17 m de profundidad (C1, C2 y C3) en el área destinada a la ampliación de la planta; y, dos perforaciones (P5 y P6) que llegaron a 8,45 m de profundidad, en el área de la planta de lodos. Los sondeos mecánicos se perforaron a rotación I, se realizaron ensayos de permeabilidad Lefranc y ensayos de SPT en suelos cada metro, además de muestreo inalterado.

**Cuadro No. 8.2. Coordenadas de los Sondeos Mecánicos y Calicatas**

SONDEO CALICATA	COORDENADAS		COTA
	ESTE	NORTE	
P1	782486	9980026	2960
P2	782502	9980005	2960
P3	782489	9979980	2959
P4	782503	9979947	2960
P5	782455	9979908	2960
P6	782429	9979948	2957
C1	782492	9980015	2960
C2	782503	9979974	2960
C3	782490	9979959	2959

Elaboración: CORPCONSUL

**Gráfico No. 8.1. Ubicación de Sondeos Mecánicos**



Con los resultados de los sondeos y laboratorio se determinaron los parámetros del diseño geotécnico con las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- El material sobre el que se van a construir las diferentes estructuras es una secuencia sedimentaria formada, principalmente, por materiales finos, granulares formados por limos arenosos (ML) junto con limos arcillosos y arenas.

- Los materiales geológicos (hasta los 11 metros de profundidad) disponen de una baja a nula plasticidad, con promedio de humedad baja (25%), los cuales se pueden extender hasta, al menos, los 25 metros de profundidad media.
- No se ha detectado un nivel freático ni piezométrico en los sondeos realizados.
- El tipo de cimentación propuesto es la de losa continua.
- La capacidad portante del terreno para el presente proyecto se ha valorado en una carga admisible neta de 218,14 kN/m<sup>2</sup>. Con un módulo de balasto de 704,34 Ton/m<sup>3</sup>.
- La cota de desplante de la cimentación es la 2.958,5 m.s.n.m
- La zona de riesgo sísmico donde se encuentra la zona de actuación es alta, con un valor estimado de 0,40 g (N.C.E. 2014).

#### **Recomendaciones:**

- Realizar la excavación del terreno a cota de rasante (2.958,5 m.s.n.m) a la que habrá de sumarse el canto de la losa de cimentación, llegando a los materiales autóctonos y retirando todo el relleno y suelos que puedan contener materia orgánica en su composición.
- Ejecutar una sobrexcautación (la rasante de excavación mencionada se entiende que es la cara superior de la losa) de 0,3 a 0,5 metros, máximo, bajo la rasante final de cimentación, con el fin de sanear completamente el terreno, siendo rellenada esta mediante hormigón de limpieza o pobre sobre el que ejecutar la losa de cimentación.
- Mantener un ángulo de excavación en los taludes no superior a 1:5.
- Proteger los taludes de la intemperie en el caso de condiciones meteorológicas adversas o si estos van a permanecer expuesto por más de 48 horas.

## **9 PRUEBAS DE TRATABILIDAD**

Se revisó los estudios de tratabilidad realizado por el Proyecto Ríos Orientales y utilizado por el Plan Maestro y se realizó con la EPMAPS estudios de tratabilidad complementarios con el fin de ratificar o rectificar los parámetros de diseño determinados en “Estudios de Actualización del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ”.

### **9.1 PROYECTO DE AGUA POTABLE RÍOS ORIENTALES (PRO)**

Realizó dos campañas de muestreos de fuentes de agua. La primera realizada durante del 27 al 30 de junio de 2005; la segunda ejecutada los días 28 de agosto al 6 de septiembre de 2005. La calidad de las aguas se obtuvo de las mezclas compuestas y utilizadas para poder realizar las pruebas de tratabilidad se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro No. 9.1. Características de las muestras compuestas**

Parámetro	UNIDAD	Muestra 1	Muestra 2
PH		7,45	7.15
COLOR APARENTE	Pt. Co	415	30
TURBIEDAD	NTU	73	5.88
ALCALINIDAD como Ca Co <sub>3</sub>	mg/l	53	78
HIERRO TOTAL	mg/l	3,18	1.166
MANGANESO	mg/l		0.035

Fuente: PRO

Como reactivos principales en las pruebas de tratabilidad se utilizaron los siguientes:

- Sulfato de aluminio líquido comercial: al 1%.
- Como ayudante de coagulación: Polielectrolito Praestrol 650 catiónico al 1‰.
- Como alcalinizante: hidróxido de calcio al 2%.

#### 9.1.1 Determinación de dosis óptima de coagulante

Con las muestras compuestas se efectuaron pruebas de Jarras para determinar: dosis óptima, condiciones del pH, gradientes vs tiempos y filtrabilidad, cuyos resultados fueron:

- Los mejores resultados se obtienen en esta prueba en la jarra con una concentración de 60 mg/L de sulfato de aluminio y 0,4 mg/l de polímero.
- Los valores de turbidez y color, determinan que la dosis óptima de coagulante, baja de 60 mg/l a 20 y 30mg/l concentración que confirma el principal mecanismo de remoción de color que es la estequiometría o proporcionalidad entre el contenido de color y turbidez y la cantidad de coagulante requerido para removerlo.
- El pH se mantiene en valores adecuados, por lo cual no hay necesidad de modificarlo.

De los resultados se concluye que es necesario la inclusión de ayudantes de coagulación ya que estos logran mayores eficiencias en la remoción de color, turbiedad y de hierro.

#### 9.1.2 Estudio de gradientes y tiempos de detención óptima

Se seleccionó tres tipos de gradientes de velocidad para los rangos bajo (30 rpm), medio (50 rpm) y alto (70 rpm), cada uno de los cuales fue investigado con diferentes tiempos de floculación.

Los mejores resultados en cuanto a remoción de color, turbidez y hierro se encuentran con 50 y 70 rpm y un tiempo de floculación comprendidos entre los 20 y 27 minutos.

En general, la remoción de color, turbidez y hierro se da en todas las velocidades de agitación, lo que varía son los tiempos de floculación. Esto permite establecer condiciones de prediseño en floculadores con un sistema flexible que permite combinar diferentes gradientes dentro del mismo floculador.

Se recomienda que el tiempo de floculación esté entre 20 y 35 minutos.

### 9.1.3 Filtración de Afinado

Se efectuaron pruebas de filtrado con lo cual se logró reducir el color, turbiedad y hierro, lo que indica que con un proceso de tratamiento convencional que incluye coagulación, sedimentación y filtración y el manejo de dosis adecuadas, se conseguirá agua que cumpla con la calidad requerida y la normativa.

**Cuadro No. 9.1. Prueba de sedimentación + filtración**

Parámetro	Agua Sedimentada	Agua Filtrada
pH	7.25	7.13
Color (UC Pt-Co)	15	5
Turbiedad (NTU)	1	1.05
Fe (mg/l)	0.37	0.078
Mn (mg/l)		0.015

Fuente: Propia- 2da. tratabilidad

### 9.1.4 Conclusiones y Recomendaciones

- En forma general la calidad del agua de las fuentes elegidas cumple con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, del anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, la tabla 1
- No se necesita modificar el pH de la muestra para los procesos de tratabilidad del agua.
- Debido a que los valores de la calidad del agua obtenidos luego de la sedimentación en relación a la turbidez son menores a 10 NTU y al color son menores a 15 Pt-Co, luego de la filtración se obtiene una calidad de agua que cumple con la normativa vigente.
- De las pruebas realizadas en todos los gradientes existe remoción de color, turbidez y hierro, lo que varía son los tiempos de floculación y sedimentación.
- Con las muestras compuestas se efectuaron pruebas de Jarras y con los resultados de estas pruebas se obtuvieron los siguientes criterios :
  - o De acuerdo a las concentraciones de sulfato de aluminio utilizadas, los rangos de valores de turbidez y pH, en las aguas del PRO rige la coagulación por incorporación o de barrido.
  - o No hace falta introducir modificadores de pH para el tratamiento.
  - o Se puede operar a temperatura ambiente.
  - o Para los prediseños se debe considerar mecanismos de floculación con gradientes en el orden de  $70 \text{ s}^{-1}$  y  $40 \text{ s}^{-1}$ .
  - o Periodos de retención para la floculación entre 20 y 35 minutos.
  - o Para el proceso de sedimentación, se recomienda usar la sedimentación laminar con tasas conservadoras de  $120$  a  $140 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$
  - o El gradiente de mezcla rápida aplicado fue de 70 rpm, con un tiempo de 40 min, observándose buenos resultados.

## 9.2 PROYECTO DISEÑO DEFINITIVO DE LA AMPLIACION DE LA PTAP DE BELLAVISTA

La determinación de la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista y las pruebas de tratabilidad de las muestras, fueron desarrolladas conjuntamente entre las especialistas de la EPMAPS y la especialista de CORPCONSUL.

### 9.2.1 Calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista.

Se realizó la toma de 5 muestras del agua obteniéndose los siguientes datos de calidad:

**Cuadro 9.2. Características del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista**

CALIDAD DEL AGUA DE INGRESO A LA PLANTA DE TRATAMIENTO BELLAVISTA						
PARAMETRO	UNIDAD	Muestra 1 (M1)	Muestra 2 (M2)	Muestra 3 (M3)	Muestra 4 (M4)	Muestra 5 (M5)
Fecha de toma de muestra		05-04-2016	06-04-2016	07-04-2016	09-04-2016	26-04-2016
pH		6,96	6,64	6,82	6,66	7,55
Color Aparente	Pt.Co	200	107	76	26	49
Turbiedad	NTU	16,2	8,42	7,51	4,42	3,62
Conductividad	uS/cm	62,5	72,1	64,6	56,3	83,1
Hierro Total	mg/L	1,38	0,70	0,56	0,04	0,82

Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

En el análisis de los parámetros de las muestras se observa que:

- Los resultados de las muestras M2, M3, M4, M5 son muy parecidos en cuanto a valores de pH, turbidez y conductividad, de esta forma se puede utilizar cualquiera de estas muestras para obtener las dosis óptimas.
- El pH se encuentra en valores adecuados tanto para realizar los estudios de tratabilidad, realizar el tratamiento en la planta, como para su posterior conducción en la red de agua potable, por lo tanto no se requiere adicionar ningún químico para modificarlo.
- El color aparente tiene un rango de valores amplio, lo cual permite analizar condiciones extremas al realizar las pruebas de tratabilidad.
- La turbiedad tiene valores bajos, debido a lo cual las cantidades de coagulante y floculante a utilizar deberán ser muy bien determinadas.
- La conductividad del agua es baja, lo cual indica poca cantidad de aniones y cationes disueltos.
- El hierro total tiene valores que están sobre la normativa INEN 1108 . Se necesita el uso de un oxidante que mejore su remoción con el proceso de coagulación– floculación.

Se realizó el análisis de algunos metales pesados y carbón orgánico total en la muestra M5, con los siguientes resultados:

**Cuadro 9.3. Características del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista-metales pesados**

PARAMETRO	UNIDAD	Muestra 5 (M5)
Fecha de toma de muestra		26-04-2016
Aluminio	mg/L	< 0,50
Cadmio	mg/L	< 0,002
Arsénico	mg/L	0,003
Cobre	mg/L	< 0,014
Cromo total	mg/L	< 0,040
Manganeso total	mg/L	< 0,050
Mercurio	mg/L	< 0,001
Plomo	mg/L	< 0,010
Carbón Orgánico total	mg/L	3,962

Fuente: EPMAPS, laboratorio central de control de calidad

Elaborado: CORPCONSUL

En el análisis de los parámetros se observa que cumple con la normativa vigente, para ser considerados para fuentes para agua potable.

## 9.2.2 Estudio de tratabilidad de las muestras

Se efectuaron pruebas de Jarras para determinar: dosis óptimas y gradientes para lo cual se utilizaron los siguientes reactivos principales:

- Sulfato de aluminio líquido comercial: con una concentración de 8,43% de alúmina.
- Como ayudante de coagulación: polímero marca Kemira, Superfloc C-490 con una concentración del 100%.
- Como oxidante: hipoclorito de sodio sólido del que se preparó una solución de 1,77 mg/l.

### 9.2.2.1 Determinación de dosis óptima de coagulante, ayudante de floculación y oxidante

El cuadro No. 9.4 presenta la aplicación de las concentraciones óptimas determinadas en las pruebas preliminares, esto se realizó con la muestra M3 correspondientes a las jarras de la 1 a 6. Adicionalmente se aplicó dosis altas de alúmina a la muestra M3 correspondiente a las jarras de la 7 a 12, los resultados se presentan a continuación:

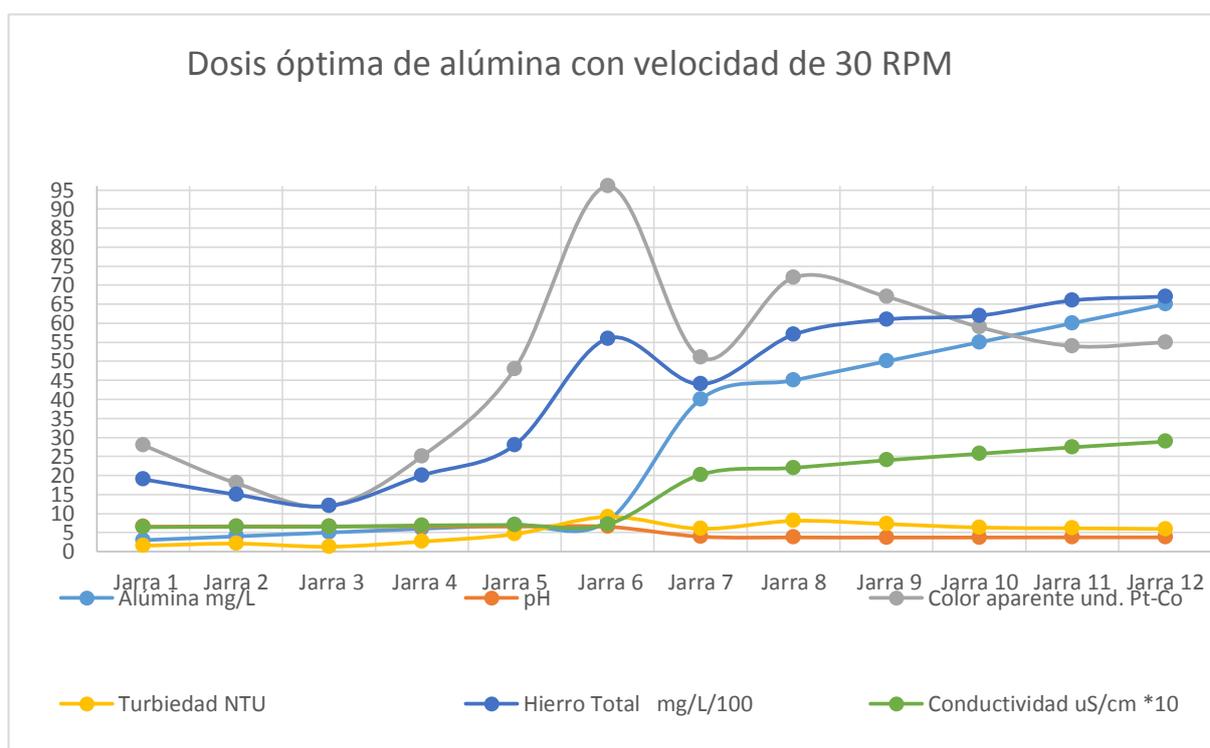
**Cuadro 9.4. Determinación de la dosis óptima de alúmina con una velocidad de 30 rpm**

Dosis óptima de alúmina con velocidad de 30 RPM													
Parámetros	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6	Jarra 7	Jarra 8	Jarra 9	Jarra 10	Jarra 11	Jarra 12
Alúmina	mg/L	3	4	5	6	7	8	40	45	50	55	60	65
pH		6,53	6,63	6,63	6,61	6,57	6,53	3,93	3,72	3,70	3,71	3,74	3,74
Color aparente	und. Pt-Co	28	18	12	25	48	96	51	72	67	59	54	55
Turbiedad	NTU	1,54	2,1	1,28	2,63	4,6	9,13	6,00	8,08	7,25	6,32	6,13	5,95
Hierro Total	mg/L	0,19	0,15	0,12	0,2	0,28	0,56	0,44	0,57	0,61	0,62	0,66	0,67
Conductividad	uS/cm	64,1	65,2	65,3	68,8	69,9	70	200	220,00	240	257	274	289

Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

**Gráfico 9.1. Dosis óptima de alúmina con gradiente de 20 s<sup>-1</sup>**



Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

Se observa que el valor de alúmina óptimo es de 5 mg/l. Al ser más bajos los valores de turbidez y color se necesitan concentraciones bajas de coagulante lo que confirma el principal mecanismo de remoción de color que es la estequiometría o proporcionalidad entre el contenido de color y turbidez y la cantidad de coagulante requerido para removerlo. En cuanto al pH se mantiene en niveles adecuados, al aplicar concentraciones bajas de alúmina.

En el gráfico 9.5 se observa que la remoción del hierro está en función del color aparente debido a que tienen la misma tendencia de comportamiento. Se realizó una prueba utilizando un ayudante de coagulación débilmente catiónico con la dosis óptima de alúmina de 5 mg/l. Los resultados de remoción de hierro mejoran cuyos resultados son:

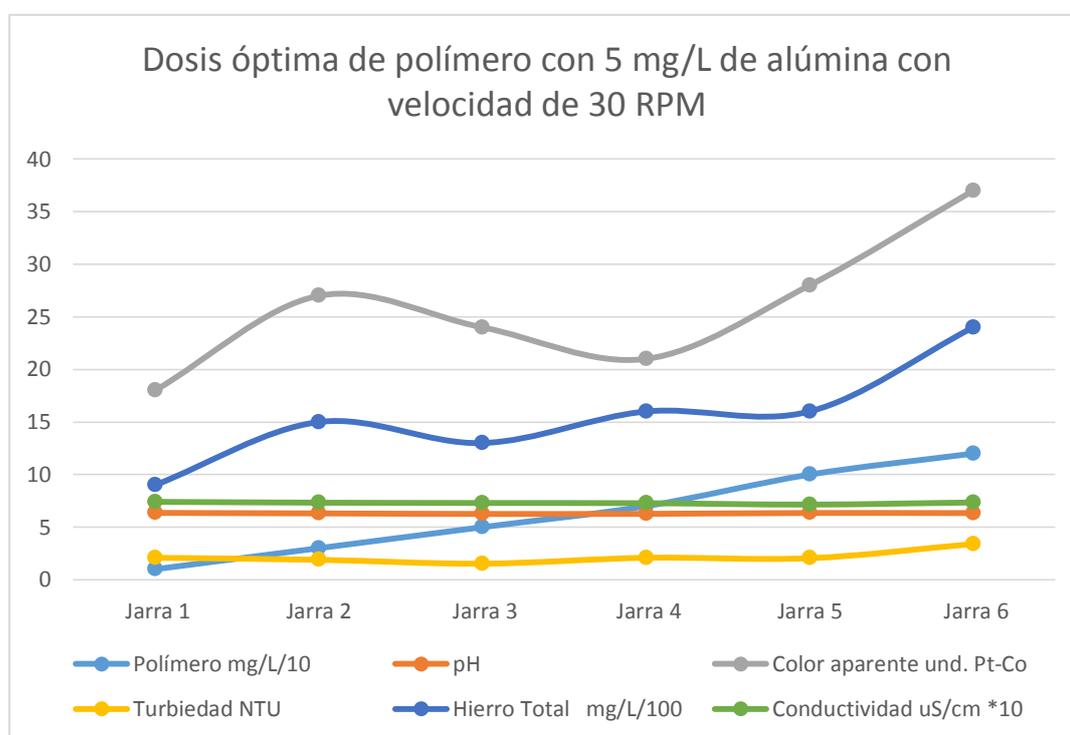
**Cuadro 9.5. Variación de dosis de ayudante de coagulación**

Dosis óptima de polímero con 5mg/L de alúmina con velocidad de 30 RPM							
Parámetros	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Polímero	mg/L	0,1	0,3	0,5	0,7	1	1,2
pH		6,36	6,31	6,26	6,27	6,35	6,34
Color aparente	und. Pt-Co	18	27	24	21	28	37
Turbiedad	NTU	2,09	1,9	1,53	2,09	2,05	3,4
Hierro Total	mg/L	0,09	0,15	0,13	0,16	0,16	0,24
Conductividad	uS/cm	74,1	73,3	73	72,8	71,5	70

Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

**Gráfico 9.2. Dosis óptima del polímero con un gradiente de velocidad de  $20 \text{ s}^{-1}$**



Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

En el gráfico 9.2 se observa que la dosis óptima de polímero encontrada es de 0,1 mg/l.

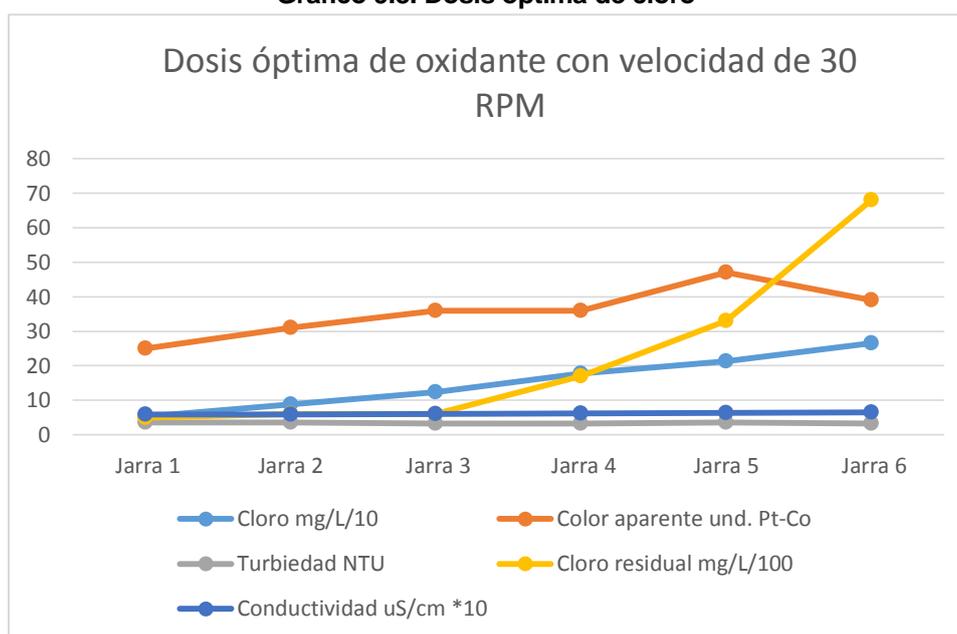
Se realizaron seis pruebas de jarras en la muestra M4 con la adición de oxidante, los resultados se encuentran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 9.6. Dosis óptima de cloro**

Dosis óptima de oxidante con velocidad de 30 RPM							
Parámetros	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6
Cloro	mg/L	0,531	0,885	1,239	1,77	2,124	2,655
Color aparente	und. Pt-Co	25	31	36	36	47	39
Turbiedad	NTU	3,59	3,57	3,3	3,23	3,53	3,33
Cloro residual	mg/L	0,05	0,06	0,06	0,17	0,33	0,68
Conductividad	uS/cm	58,4	59,5	60,7	62,4	63,9	70

Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

**Gráfico 9.8. Dosis óptima de cloro**


Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

En todas las concentraciones de oxidante utilizadas se observa que existe cloro residual, se escoge como óptimo el valor de 1,77 mg/l, debido a que su residual está entre 0,1 y 0,2 mg/l.

### 9.2.2.2 Estudio de gradientes y tiempos de detención óptima

Se seleccionó tres tipos de gradientes de velocidad para los rangos bajo ( $10 \text{ rpm}$  o gradiente de  $10 \text{ s}^{-1}$ ), medio ( $50 \text{ rpm}$  o gradiente de  $36 \text{ s}^{-1}$ ) y alto ( $70 \text{ rpm}$  o gradiente de  $56 \text{ s}^{-1}$ ) a las que se añadió 5 mg/l de alúmina, 0,1 mg/l de polímero y 1,17 mg/l de cloro.

En el Cuadro 9.7 se muestra los resultados para los diversos gradientes de velocidad.

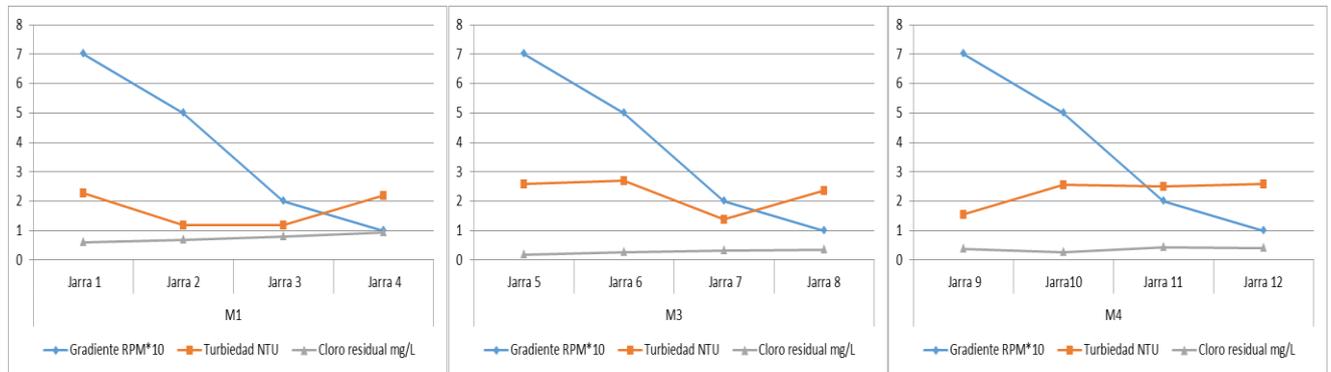
**Cuadro 9.7. Estudio de gradientes**

Estudio de gradientes, aplicación de 5 mg/L de alúmina, 0,1 mg/L de polímero y 1,77 mg/L de cloro													
Muestra de agua		M1				M3				M4			
Parámetros	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6	Jarra 7	Jarra 8	Jarra 9	Jarra10	Jarra 11	Jarra 12
Velocidad de las paletas	RPM	70	50	20	10	70	50	20	10	70	50	20	10
Gradiente	s-1	56	36	12	10	56	36	12	10	56	36	12	10
Turbiedad	NTU	2,28	1,19	1,18	2,2	2,6	2,71	1,39	2,37	1,54	2,57	2,51	2,58
Cloro residual	mg/L	0,6	0,68	0,8	0,94	0,17	0,26	0,31	0,36	0,37	0,26	0,44	0,41

Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

**Gráfico 9.9. Gradientes de velocidad**



Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

Según lo observado en las pruebas el tiempo de floculación requerido fluctúa entre los 14 y 20 minutos. La sedimentación se realiza a los 20 minutos.

En todas las velocidades de agitación estudiadas, con las distintas calidades de agua se obtiene una turbidez menor a 3 NTU.

### 9.2.2.3 Simulación del Manto de lodos con una velocidad de 50 RPM.

Para completar el estudio de tratabilidad, se realizó una simulación del agua cruda con lodo y se simuló el manto de lodos, esto se logra preparando agua con la concentración de lodo requerida para su tratamiento a una velocidad de las paletas de 50 rpm. Los resultados se encuentran en el siguiente cuadro:

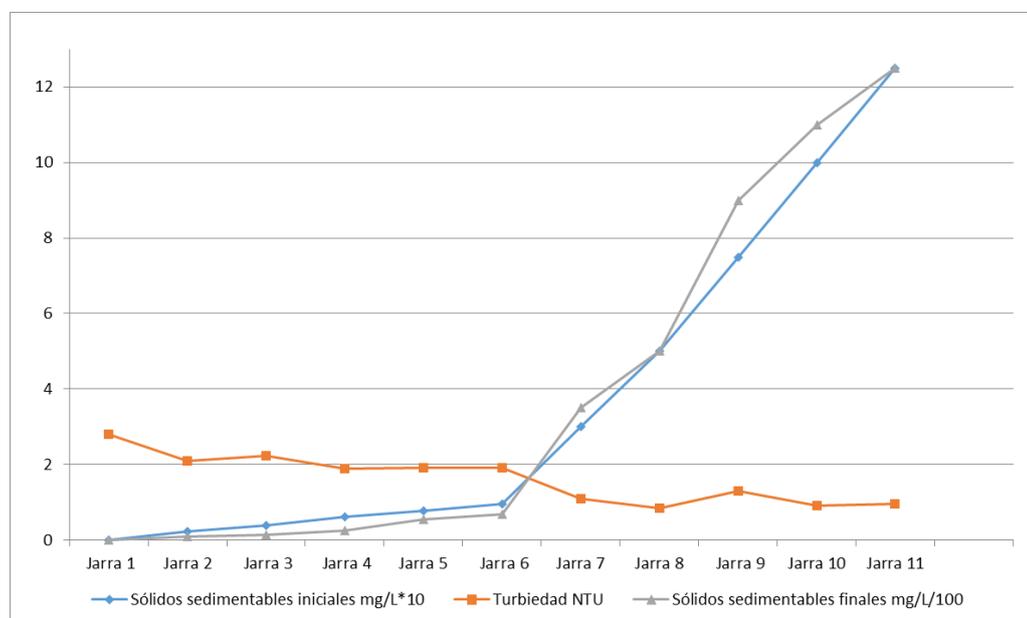
**Cuadro 9.9. Simulación manto de lodos**

Simulación del manto de lodos, prueba con agua a ser tratada y lodos del clarificador utilizando 5 mg/L de alúmina y 0,1 mg/L de polímero con un gradiente de 50 RPM												
Parámetros	Unidades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4	Jarra 5	Jarra 6	Jarra 7	Jarra 8	Jarra 9	Jarra 10	Jarra 11
Sólidos sedimentables iniciales	mg/L	0	2,34	3,9	6,24	7,8	9,75	30	50	75	100	125
Turbiedad	NTU	2,81	2,1	2,23	1,89	1,91	1,93	1,09	0,86	1,30	0,92	0,96
Sólidos sedimentables finales	mg/L	0	1	1,5	2,5	5,5	7	35	50	90	110	125

Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

**Gráfico No. 9.10. Simulación mantos de lodos**



Fuente: Estudios de tratabilidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento bellavista

Elaborado: CORPCONSUL

En general la turbidez del agua tratada es cercana a 2 NTU. El manto de lodos mejora el proceso de remoción de la turbidez en todas las concentraciones de lodos sedimentables estudiadas.

Se obtiene valores menores a 2 NTU a partir de 6,24 ml/l de sólidos sedimentables. Al aumentar la cantidad de los mismos mejora la remoción de la turbidez.

### 9.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En forma general la calidad del agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista cumple con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, del anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, tabla 1.
- No se necesita modificar el pH de la muestra para los procesos de tratabilidad del agua.

- El carbón orgánico total dio menor a 5 mg/l por lo que se puede realizar la oxidación con cloro.
- De los resultados obtenidos en cuanto a la dosificación de la alúmina su rango varía entre 4 y 6 mg/l, obteniéndose un óptimo de 5 mg/l.
- En cuanto al polímero según las pruebas de tratabilidad el óptimo es de 0,1 mg/l.
- Luego de la sedimentación los valores de la turbidez son menores a 10 NTU y de color menores a 15 Pt-Co, por tanto al realizar filtración se obtendrá una calidad de agua que cumple con la normativa.
- De las pruebas realizadas, en todos los gradientes existe remoción de color, turbidez y hierro, lo que varía son los tiempos de floculación y sedimentación.
- En la prueba de tratabilidad se consideró el manto de lodos, concluyéndose que éste mejora la remoción de la turbidez en el agua tratada.
- Con las muestras compuestas se efectuaron pruebas de Jarras para determinar: dosis óptima, condiciones del pH, gradientes vs tiempos y filtrabilidad y se concluyó con los siguientes criterios:
  - o De acuerdo a las concentraciones de alúmina utilizadas, los rangos de valores de turbidez y pH, para las aguas crudas rige la coagulación por adsorción neutralización.
  - o Se puede operar a temperatura ambiente.
  - o Para los diseños se debe considerar mecanismos de floculación con velocidades de paletas entre 70 y 20 rpm. ( $56$  y  $12\text{ s}^{-1}$ )
  - o Periodos de retención entre 20 y 30 minutos.
  - o Para retener el floc remanente, el floc sobrenadante y patógenos, se recomienda unidades de filtración dentro del rango de  $120$  a  $140\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ .
  - o El gradiente de mezcla rápida aplicado fue de 300 rpm ( $320\text{ s}^{-1}$ ), con un tiempo de 18 s, observándose buenos resultados.
  - o En general, la remoción de color, turbidez y hierro se da en todas las velocidades de agitación, lo que varía son los tiempos de floculación. Esto permite establecer condiciones de diseño en floculadores con un sistema flexible que permite combinar diferentes gradientes dentro del mismo floculador.
- De acuerdo a lo anotado, se recomienda que el tiempo de floculación esté entre 14 y 20 minutos.
- La filtración directa se puede efectuar cuando la calidad del agua se encuentra con valores de turbidez menores a 15 NTU y valores de color menores a 30 Pt-Co.

## **10 DISEÑO DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA**

Conforme a los criterios expuestos en los informes de fase, lo determinado en los TdRs, los resultados de las pruebas de tratabilidad y el análisis de la fase de Factibilidad, así como los resultados de los procesos de tratamiento actual y la calidad del agua cruda que ingresa a la planta se realizaron los diseños de las unidades de tratamiento de la ampliación de la PTAP de Bellavista, manteniendo la configuración de la planta actual.

### **10.1 CALIDAD DEL AGUA QUE INGRESA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO BELLAVISTA**

La determinación de la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista y las pruebas de tratabilidad de las muestras, fueron desarrolladas conjuntamente entre las especialistas de la EPMAPS y la especialista de CORPCONSUL.

Los datos de calidad que se reportaron en el numeral 9.2.1 de este informe son:

**Cuadro No. 10.1 Características del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista**

CALIDAD DEL AGUA DE INGRESO A LA PLANTA DE TRATAMIENTO BELLAVISTA						
PARAMETRO	UNIDAD	Muestra 1 (M1)	Muestra 2 (M2)	Muestra 3 (M3)	Muestra 4 (M4)	Muestra 5 (M5)
Fecha de toma de muestra		05-04-2016	06-04-2016	07-04-2016	09-04-2016	26-04-2016
pH		6,96	6,64	6,82	6,66	7,55
Color Aparente	Pt.Co	200	107	76	26	49
Turbiedad	NTU	16,2	8,42	7,51	4,42	3,62
Conductividad	uS/cm	62,5	72,1	64,6	56,3	83,1
Hierro Total	mg/l	1,38	0,70	0,56	0,04	0,82

FUENTE: ESTUDIOS DE TRATABILIDAD DEL AGUA QUE INGRESA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO BELLAVISTA

ELABORADO: CORPCONSUL

La Consultora consideró también los reportes históricos de calidad de agua cruda de ingreso a la planta de tratamiento Bellavista, proporcionados por la EPMAPS, cuyos resultados generales son los siguientes:

**Cuadro No. 10.2 Características del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista**

Año	PROMEDIOS									
	Color Pt-Co	Turbiedad N.T.U.	Hierro Total mg/l	pH	Sólidos totales mg/l	Alcalinidad (CaCO <sub>3</sub> ) mg/l	Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> ) mg/l	Calcio (Ca <sup>2+</sup> ) mg/l	Magnesio (Mg <sup>2+</sup> ) mg/l	Temperatura °C
2011	33,5	3,75	0,87	7,77	85,45	38,02	39,61	10,07	3,52	10,24
2012	28,97	3,64	0,67	7,72	87,81	38,56	40,97	10,81	3,4	10,68
2013	27,91	4,08		7,2	84,2	34,4	47,9	11,6	4,6	10,5
2014	29,97	3,60	0,10	7,2	92,3	32,1	46	10,6	4,8	10,4
2015	29,82	4,54		7,12	125	44,2	56,8	15,6	4,34	10,4

FUENTE: REPORTES DE CALIDAD DE AGUA CRUDA PTAPB, EPMAPS

ELABORADO: CORPCONSUL

En forma general la calidad del agua que ingresa a la planta de tratamiento Bellavista, reportada por la EPMAPS y la determinada en las pruebas de tratabilidad del proyecto, cumple con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, del anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, tabla 1.

## 10.2 LÍNEA DE TRATAMIENTO

La línea de tratamiento diseñada es similar a la que se encuentra actualmente operando la planta de tratamiento de agua potable Bellavista; esto es:

- Mezcla rápida
- Clarificadores por manto de lodos (floculación-sedimentación)
- Filtros de tasa constante
- Desinfección.
- Filtración directa ocasional

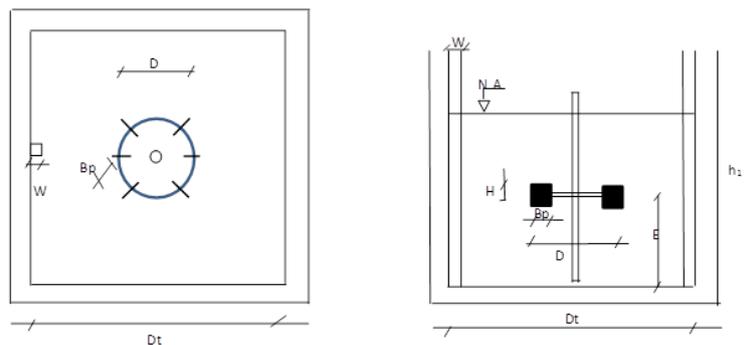
### 10.3 DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE AGUA

#### 10.3.1 Mezcla Rápida

La mezcla rápida es del tipo mecánico, se realiza por medio de turbinas verticales con motor eléctrico de dos velocidades y equipadas con paletas planas, que generan dos gradientes hidráulicos de 316 y 900 s<sup>-1</sup>. Las turbinas existentes se ubican en dos de las tres cámaras construidas para la capacidad total de la planta, la central está reservada para la ampliación. El proceso de coagulación se realiza con adición de sulfato de aluminio líquido, que se aplica en las cámaras mencionadas. Las cámaras descargan en un canal común que distribuye el agua a los módulos de tratamiento.

Los cálculos y diseños de la mezcla en las mismas condiciones de la existente determinan una turbina con hélice de 1,00 m de diámetro, y seis alas del agitador de 0,25 x 0,20 m. Se determinó que con velocidades de 113 rpm y 226 rpm se obtendría gradientes de velocidad de 310s<sup>-1</sup> y 878 s<sup>-1</sup>, y el factor de GT obtenido es de 5.590 y 15.812, respectivamente, esto es, cumple con las recomendaciones de diseño de la literatura técnica, en especial sobre el factor GT. Por tanto se confirma el sistema actual de turbina con hélice de 1,00 m de diámetro que se instalará en la cámara central de la mezcla rápida existente.

**Gráfico No. 10.1 Turbina de mezcla rápida**



La potencia de agitación de la turbina fue calculada mediante la expresión:

$$P = Ktb \times \rho \times Dt^5 \times Nr^3$$

En la cual:

P = Potencia disipada por la turbina

Ktb = Constante de la turbina, 5

P = Masa específica del agua, 997,1 kg/m<sup>3</sup>

Dt = Diámetro de la turbina, 1,00m

Nr = Velocidad de rotación de la turbina (113 rpm y 226 rpm)

La gradiente de velocidad se determinó mediante la expresión:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}}$$

En la cual:

P = Potencia de agitación

$\mu$  = Viscosidad absoluta del agua

V = Volumen de la cámara

### 10.3.2 Clarificadores

Para el diseño del clarificador se consideraron los siguientes criterios:

#### 10.3.2.1 Zona de Floculación

El sistema de floculación y sedimentación se realizó bajo la misma línea del tratamiento existente, esto es el proceso de floculación-sedimentación en una misma estructura (clarificador), en dos unidades simétricamente ubicadas junto al canal de distribución de agua coagulada, uno a cada lado.

En el cálculo del clarificador se consideró la ecuación de HUDSON en la que la velocidad de floculación en igualdad de condiciones de gradiente y tiempo, depende solamente de la concentración en volumen de los floculos y es independiente del número y tamaño de las partículas primarias.

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\alpha \frac{CGT}{\pi}}$$

La expresión CGT es una modificación al número de Camp GT que al incorporar C, concentración de floculos, TAMBO (1979) determinó que la eficiencia de un reactor de manto de lodos será mayor cuando mayor sea la concentración de floculos, altura del manto y el tamaño de las partículas que ingresa.

Se determinó que con un C de 4% la expresión CGT calculada es de 100,79, valor que está dentro del rango recomendado para operación del clarificador.

El sistema de clarificadores contempla la floculación por contacto en un manto de lodos, el cual se forma dentro de la campana que la separa del proceso de sedimentación. El agua coagulada de la mezcla rápida ingresa a cada clarificador, a través de una tubería de acero de 900 mm de diámetro a un canal triangular perimetral y, mediante orificios rectangulares en la base del canal distribuye el agua, a la cámara primaria o zona de floculación, en donde se genera el manto de lodos a través de una turbina de bajas revoluciones que mantiene en suspensión la masa de lodos. La turbina, en la

parte inferior, está conformada por una hélice de 5,39 m de diámetro, y 30 álabes de acero en la parte superior y 30 álabes de acero de en la parte inferior.

La parte superior de la turbina aspira los lodos hacia la cámara secundaria, en donde se completa el proceso de floculación y esta agua con los flóculos en su mejor tamaño, es conducida hacia el sector de clarificación, en el cual, se encuentra un sistema de seditubos de 0,05 x 0,05 m x 0,53 m inclinados 60°, en los que se produce la sedimentación. El agua sedimentada es conducida en la parte alta del clarificador hacia el canal principal externo al sector de los filtros. Este canal externo está conectado al canal by-pass existente que lleva las aguas a la filtración directa. Los lodos de los seditubos sedimentan y son succionados nuevamente hacia la cámara primaria, igualmente por la turbina antes mencionada. En las esquinas de la cámara secundaria están las tolvas de lodos en las que se produce la sedimentación y extracción de los lodos que se producen en exceso.

El cálculo y diseño de cada clarificador partió de las siguientes consideraciones:

Q=	Caudal de diseño Q	0,75 m <sup>3</sup> /s
C =	Concentración de sólidos V/V	0,05
T =	Tiempo de floculación esperado	5 a 25 min
G =	Gradiente de velocidad recomendado	< 5 s <sup>-1</sup>
CGT =	Coefficiente esperado	60 a 120 (más cercano a 100)
t =	Temperatura media del agua	10,4°C
ρ =	Masa específica del agua	999,7 kg/m <sup>3</sup>
g =	Gravedad	9,81 m/s <sup>2</sup>
μ =	Viscosidad absoluta del agua	1,307E-03 N s/m <sup>2</sup>
ρF =	Masa específica de flóculos	1.002 kg/m <sup>3</sup>

Sobre estas condiciones se diseñó el clarificador con una sección de 27,0m x 27,0 m en la parte superior y 16,92m x 16,92 m en la parte inferior del mismo, una altura del manto de 2,90m y paredes a 45° de inclinación respecto a la horizontal.

La gradiente hidráulica G se determinó a partir de la expresión:

$$G = \sqrt{\frac{\rho * g}{\mu}} * \sqrt{\frac{C * (\rho_f - \rho) * U_o}{(1 - C) * \rho}}$$

Los resultados obtenidos fueron:

Velocidad ascendente en la zona de floculación	17,19 m/h 0,00478 m/s
Valor del gradiente de velocidad G	1,834 s <sup>-1</sup>
Tiempo medio de floculación	22,89 min (1373.4 s)
Valor de CGT	100,79 para una concentración de 4%

Y la eficiencia se calculó a partir de la expresión de HUDSON:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\alpha \frac{CGT}{\pi}}$$

En la cual:

$\alpha$  = coeficiente de eficiencia de la colisión; 0,2

N = turbiedad del agua luego de la floculación

No = turbiedad del agua al inicio de la floculación

$\pi$  = número PI

A partir de estos resultados se determinó la eficiencia del proceso así:

$$N/N_0 = 1,63 \text{ E-}03$$

$$\text{Eficiencia de floculación \%} = 1 - N/N_0 = 99,84\%$$

### 10.3.2.2 Zona de Sedimentación

En la zona de decantación se ha diseñado un sistema de sedimentación con flujo laminar ascendente a través de seditubos.

El valor de SC o factor de Yao se obtiene de bibliografía (Pérez-Carrión).

Tomando como datos los mencionados en los párrafos anteriores, se calculó la velocidad del agua entre las placas para la remoción total de partículas, la cual fue comparada con la velocidad crítica de sedimentación determinándose que es superior y por lo tanto se garantiza velocidad de auto lavado en los seditubos.

Partiendo de esta velocidad se puede calcular la tasa efectiva superficial requerida, que combinada con el caudal de diseño sirven para obtener el área superficial neta requerida.

Una vez comprobadas las condiciones geométricas de la unidad se procedió a revisar las condiciones hidráulicas de la misma. Se realizó también la comprobación de que la velocidad entre los seditubos sea menor que la velocidad de arrastre de los flóculos.

La formulación y los cálculos se adjuntan en el Anexo "Diseño de las Unidades de Tratamiento".

Los cálculos y diseños se realizaron bajo las siguientes consideraciones:

Sistema de ductos cuadrados de material	ABS,
Sección	0,05 m x 0,05 m
Altura:	0,53 m
Inclinación respecto de la horizontal:	60°
Espesor de las placas	0,001 m
Tasa media superficial recomendada	30 - 120 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d.
Velocidad crítica de sedimentación de los flóculos	2 - 8 cm/min.
Factor de Yao para el tipo de ducto	1,36

Condición de flujo laminar	$Re \leq 800$
Condición para no arrastrar los flóculos	$< 21 \text{ cm/min}$

Los resultados obtenidos fueron:

Velocidad de agua entre las placas	8,88 cm/min
Área superficial del clarificador	585,00 m <sup>2</sup>
Tasa efectiva superficial	110,79 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
Velocidad de sedimentación	2,04 cm/ min
Número de ductos 0,05m x 0,05m	420 u
Número de Reynolds	14,15 (flujo laminar)

### 10.3.3 Filtros

Se seleccionó un sistema que contempla la utilización de seis filtros rápidos (modulados de tres en tres a cada costado de las unidades clarificación – sedimentación), de capa única de arena, lecho profundo ( $h= 1,30\text{m}$ ), soporte del medio filtrante con retenedor de medios y se complementa con la utilización de fondo falso y equipados con un sistema de tasa constante. Cada unidad tiene dos cámaras de filtración separadas entre sí por el canal central de lavado. Se ha considerado la operación de la planta bajo la modalidad de filtración directa.

El ingreso del agua al medio filtrante, será por medio de un canal trapecial ubicado en los costados de cada cámara de las unidades de filtración.

El diseño se completa con el sistema de retro-lavado de los filtros que está compuesto por lavado conjunto (aire y agua) y lavado con agua utilizando el sistema de bombeo existente en la planta actual, para lo cual se han previsto las interconexiones necesarias.

Para operar la planta bajo la modalidad de filtración directa se prolongará el canal de by pass existente desde los canales de ingreso de agua a filtros hasta las nuevas unidades de filtración.

#### 10.3.3.1 Operación Normal de los Filtros

El ingreso del agua a los filtros se realiza desde el canal de alimentación que recibe las aguas del clarificador – sedimentador y del by-pass; el agua ingresa a los filtros mediante el uso de 3 compuertas que permitirán ingresar un caudal de 250 l/s a cada filtro, que se deriva hacia los costados por medio de un canal que conduce 125 l/s a través de un vertedero para mantener constante la tasa de filtración.

Del vertedero el agua ingresa a un canal trapecial que cuenta en su parte inferior con orificios circulares ( $\varnothing=0,04 \text{ m}$ ) que permiten el ingreso del agua al medio filtrante.

El nivel de agua en el filtro será controlado mediante una válvula en la descarga, operada mediante un actuador automático que permitirá su apertura de manera progresiva que permite compensar las pérdidas ocurridas en el filtro, proporcionando la carga constante sobre el filtro.

El lavado, se realizará en dos fases: aire y agua y sólo agua. En la fase de lavado con agua y aire no se producirá expansión del lecho filtrante. La introducción de aire producirá una ligera expansión y agitación completa de la arena, desprendiendo las partículas adheridas a ésta.

### **10.3.3.2 Operación en Modalidad Filtración Directa**

Los filtros diseñados podrán operar en la modalidad de filtración directa con aguas cuya turbiedad sea menor a 15 NTU, cuyo color sea menor a 30 UC, con valores de hierro y manganeso menores a 1,00 mg/lit y en períodos de operación cortos; los límites de los parámetros descritos deben ser tomados de manera individual y no como una combinación de algunos de ellos o todos.

### **10.3.3.3 Medio Filtrante**

Constituido por arena con diámetro efectivo de 1,0 mm, coeficiente de uniformidad de 1,10 y una altura del lecho de 1,30 m. previene la desgasificación del agua. La altura de la arena nos permitirá una mayor penetración de las impurezas del lavado y la existencia de una capa de arena limpia en el fondo del filtro que nos servirá de margen de seguridad, sobre todo cuando opera el by-pass y en los filtros se tengan que producir coagulación del agua.

La altura de agua sobre el lecho filtrante es de 1,20 m, y que es una medida más que previene las presiones negativas.

### **10.3.3.4 Sistema de Drenaje de los Filtros**

El sistema de drenaje de los filtros, es para recolectar el agua filtrada y distribuir agua y aire durante la etapa de lavado, está constituido por un retenedor de medios y un fondo falso prefabricados:

- El retenedor de medios es un soporte para el lecho filtrante y permite retener a la arena que se encuentra ubicada sobre él, es de material plástico y tiene una capacidad de retención de 450 micrones, similar a Leopold IMS 200.
- El fondo falso asegurará un flujo continuo y uniforme de aire y agua durante el lavado de los filtros, con un desvío para ambos fluidos no mayor al 5, es de polietileno, con una longitud de 1,20 m., un ancho de 0,24 m. y una altura de 0,28 m, similar al Leopold tipo XA

El fondo falso se conecta a un múltiple que garantiza una recolección o distribución de agua, uniformes durante las etapas de filtración y lavado, respectivamente.

### **10.3.3.5 Parámetros y Criterios de Diseño para la Operación y el Lavado**

La tasa de filtración adoptada es de  $185 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ .

Para la verificación de la capacidad de los equipos existentes de lavado de las unidades se consideró los siguientes valores:

- La tasa superficial de aire para el lavado de un filtro, en la fase de agitación, adoptada es de  $60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ .
- La tasa de agua de lavado, durante la fase de esponjamiento (aplicación de aire y agua simultáneamente), adoptada es de  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ .
- La tasa de agua de lavado, durante la fase de aclarado (aplicación solamente de agua), es de  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hora}$ .

#### **10.3.3.6 Resultados del Diseño**

La formulación y los cálculos se adjuntan en el Anexo "Diseño de las Unidades de Tratamiento".

La filtración se realizará mediante seis unidades, cada una con dos cámaras de filtración:

Cada cámara de filtración tendrá las siguientes dimensiones:  $3,63 \text{ m} \times 16,08 \text{ m}$ ; es decir cada filtro contará con  $116,74 \text{ m}^2$  de superficie.

Los caudales y las velocidades de filtración resultantes son las siguientes:

$$Q \text{ nominal} = 0,25 \text{ m}^3/\text{s} \text{ por unidad}; \quad VF = 7,71 \text{ m/h}$$

Lo que representa un valor de tasa de filtración de  $185 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ .

La pérdida de carga en el medio filtrante limpio resultó en un valor de  $0,47 \text{ m}$ . La pérdida de carga total en el sistema de filtración, al inicio de la carrera de filtración fue de  $0,73 \text{ m}$ .

La tasa de aire para el lavado de un filtro, en la fase de agitación, se consideró un valor de  $60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hora}$ , la cual para el área de un filtro ( $116,74 \text{ m}^2$ ), resultó en un caudal de  $7.355 \text{ m}^3/\text{hora}$  considerando un 5% de factor de seguridad. Para este efecto, se prolongará la tubería de aire existente hasta las nuevas unidades de filtración, mediante una tubería de Acero de  $\text{DN}=400 \text{ mm}$ , con lo que la velocidad en el interior de la misma será de  $30,76 \text{ m/s}$ . El caudal de aire será regulado mediante una válvula y se controlará, mediante un medidor electromagnético de masa.

En esta misma etapa de lavado, la tasa de agua, durante la fase de agitación se consideró igual a  $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hora}$ , que resulta en un caudal de  $1.167 \text{ m}^3/\text{hora}$ ; o equivalente a  $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para este efecto se instalará una tubería de Acero de  $\text{DN}= 32''$  derivada del conducto de hormigón armado existente (a presión) que conduce el agua de lavado a los filtros actuales, la velocidad en el interior de la tubería será de  $0,65 \text{ m/s}$ .

El tiempo de lavado durante esta fase de agitación (aire más agua), será de 2 a 4 minutos.

La tasa de agua de lavado, durante la fase de aclarado, es  $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hora}$ . El caudal de agua resultante es de  $2.335 \text{ m}^3/\text{hora}$ , equivalente a  $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$ . El tiempo de lavado será de 10 a 12 minutos.

El sistema de aire comprimido para lavado de filtros existente está compuesto de tres unidades de las siguientes características:

Marca:	ELECMA
Modelo:	E-50
Volumen de aire:	4.000 m <sup>3</sup> /h
Densidad a CN:	1,294 kg/m <sup>3</sup>
Presión Diferencial:	4.350 mmca

Con estos datos se obtuvo que el caudal másico que puede manejar cada soplador es de 5.160 kg (aire en CN)/h. Si normalmente se ocupan 2 unidades se dispondría de 10.320 kg (aire en CN)/h.

El sistema tiene que suministrar 7.355 m<sup>3</sup>/h de aire; si la densidad del aire a condiciones ambientales promedio de Quito es de 0.84 m<sup>3</sup>/h, se tendría un flujo másico requerido de 6.178 kg/h. Se debe tener en cuenta que cada soplador tiene una capacidad de manejo de 4000 m<sup>3</sup>/h con un caudal másico de 3360 kg/h.

Para que el suministro de aire sea adecuado en la fase de agitación se requiere que funcionen dos sopladores con un factor de seguridad del 8%, adicional al 5% incluido en el cálculo inicial del volumen de aire.

El sistema de bombeo de agua existente para lavado de filtros actuales, está compuesto de tres equipos de las siguientes características:

Marca:	KSB
Modelo:	SPY 400-440
Serie:	16285
Potencia motor:	125 CV
Velocidad:	875 rpm

Las bombas trabajan entre los siguientes puntos de operación:

Caudal:	1.350 m <sup>3</sup> /h – ADT: 15,50 m
Eficiencia:	74%
Potencia Absorbida:	104,72 CV

Caudal:	1.850 m <sup>3</sup> /h – ADT: 12,50 m
Eficiencia:	79%
Potencia Absorbida:	108,40 CV

Actualmente el control del caudal del agua de lavado se realiza con el posicionamiento de la válvula de mariposa instalada en la salida del múltiple de descarga de las bombas, de la siguiente manera: al inicio de las operaciones de lavado arranca una bomba con la válvula cerrada, para la primera etapa de lavado se abre la válvula un 25% para alcanzar un caudal de bombeo de 375 l/s, posición que se mantiene durante 10 a 12 minutos que dura la fase; para la segunda etapa de lavado entra en funcionamiento la segunda bomba en paralelo, simultáneamente la válvula se posiciona en 65% abierta, produciendo un caudal conjunto de 1.083 l/s.

Para el control del lavado de los nuevos módulos de filtración se utilizará el mismo sistema, que para los nuevos filtros la apertura de la válvula será para que impulse 320 l/s en la primera fase de lavado, mientras que para la segunda fase deberán seguir operando dos bombas en paralelo.

#### 10.3.4 Cámara de Contacto

Se diseñaron dos cámaras de contacto de cloro, una para cada módulo en reactores de flujo tipo pistón, que se localizan bajo las baterías de filtros. Sus dimensiones son 27,00 x 18,53 m, una altura de agua de 1,80 m, por tanto se tiene un volumen de 900,56 m<sup>3</sup>, se ubicarán tabiques para forzar el flujo pistón, constituyendo tres tramos de canal de 27,00 m de largo y 6,08 m de ancho, dos tramos y 6,07 m de ancho un tramo.

Los resultados del cálculo son:

Caudal por módulo:	0,75 m <sup>3</sup> /s
Longitud del tramo:	27,00 m
Número de tramos:	3
Longitud del canal:	81,00 m
Ancho canal:	6,08 m (dos tramos)
Ancho canal:	6,07 m (un tramo)
Altura del agua:	2,30 m
Volumen cámara:	1.115,69 m <sup>3</sup>
Tiempo de contacto:	24,79 minutos
Velocidad del flujo:	0,06 m/s

El tiempo de contacto se encuentra dentro del rango seleccionado para que la acción desinfectante del cloro sea efectiva, se debe considerar además que la cámara descarga en el tanque de almacenamiento de 20.000 m<sup>3</sup> por medio de tuberías de acero de 800 mm de diámetro. El tubo en su inicio funciona como un vertedero circular vertical, por tanto es necesario conocer la carga requerida sobre el mismo para descargar el caudal de diseño, para esto se utilizó la siguiente expresión:

$$Q = K * L * H^n$$

$$L = \pi * D$$

Dónde:

Q= caudal descargado en m<sup>3</sup>/s

L= longitud del vertedero en m

K= coeficiente que depende del diámetro del tubo, en este caso 1,54

n= potencia igual a 1,42

H= altura sobre el vertedero en m

El resultado es H= 0,32 m

La pérdida de carga de la tubería de descarga hasta el tanque de reserva se calculó con la fórmula de Hazen y Williams.

$$Q = 0,28 * C * D^{2,63} * J^{0,54}$$

Dónde:

Q= caudal de descarga en m<sup>3</sup>/s

C= coeficiente de velocidad

D= diámetro en m

J= pérdida de carga en m/m

El valor de C empleado en la fórmula de Hazen y Williams para acero es 120; para el cálculo de las pérdidas de carga en accesorios se aplicó el método de longitudes equivalentes. Las pérdidas de carga calculadas son de 32 cm.

La carga disponible sobre el vertedero es de 40 cm, con lo cual se garantiza el ingreso del agua al tanque de reserva de 20.000 m<sup>3</sup>.

### **10.3.5 Sistema de Desinfección**

De conformidad con la información proporcionada por la EPMAPS, la dosis media de cloro aplicada al agua es de 2,08 mg/l, en la que se incluyen pre y post cloración. Para la pre cloración se estima una dosis entera 0,20 y 0,25 mg/l.

Por tanto la capacidad del equipo dosificador, incluyendo al caudal adicional de 1,5 m<sup>3</sup>/s será de 33,69 Kg/h, según se indica a continuación.

- Caudal a tratar: 4.500 l/s
- Dosis: 2,08 mg/l
- Consumo diario: 808,70 Kg/d (1.782,88 PPD)
- Consumo horario: 33,69 Kg/h

La capacidad de los equipos de cloración existentes (dos, uno en operación y otro en reserva) es de 40 Kg/h cada uno, por tanto cubre las condiciones futuras de funcionamiento, pudiendo dosificar hasta 2,40 mg/l en casos de emergencia.

La aplicación del cloro se realizará al ingreso a cada cámara de contacto, ubicadas bajo los filtros.

## **10.4 CASA DE CLORACIÓN**

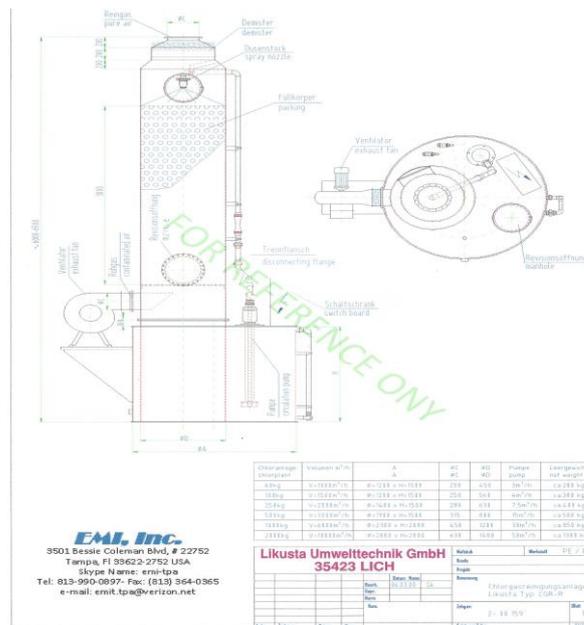
### **10.4.1 Sistema de protección contra fugas**

El edificio de cloración está compuesto por dos secciones, un local abierto con cubierta, en tres de sus cuatro linderos, de 17,00 x 37,00 m, en donde se almacenan los cilindros de una tonelada y se encuentran instalados las balanzas, el manifold y los reguladores de vacío. La segunda sección es un

local cerrado de 25 m<sup>2</sup>, en donde se encuentran los dosificadores de cloro y el tablero de control, así como un extractor que renueva permanentemente el aire del ambiente.

A fin de evitar cualquier riesgo por fuga de gas cloro se ha previsto cerrar la sala de almacenamiento y utilizar scrubbers para extraer el aire del recinto, el equipo es similar al que se presenta en el Gráfico 10.2.

**Gráfico 10.2 Scrubber**



FUENTE: Proveedor

El recinto tiene un área total de 629 m<sup>2</sup> y una altura de 6,20 m, por tanto el volumen total actual del sistema de cloración es de 3.899,80 m<sup>3</sup>.

Con el fin de minimizar los costos para la instalación de los scrubbers se definió reducir el volumen de confinamiento de los cilindros, dividiendo al área de almacenamiento en dos zonas, la primera: “zona de riesgo”, de 182 m<sup>2</sup> de área y 11285,40 m<sup>3</sup> de volumen, que será confinada, abarca el sector de básculas, manifold, reguladores de vacío y el área necesaria para almacenar contenedores de cloro gas de una tonelada, para un periodo de operación de 26 días.

La segunda zona no será confinada y servirá para el almacenamiento de los contenedores vacíos.

Para el área confinada se ha determinado la instalación de un scrubber que cumpla con las siguientes condiciones:

- Flujo másico de gas cloro 1000 kg
- Caudal de salida: 5100 m<sup>3</sup>/h
- Eficiencia esperada en la remoción del cloro gas: 99.9%
- Líquido de lavado de NaOH (sosa cáustica) en tanque de almacenamiento (min 7,0 m<sup>3</sup>)
- Accesorios plásticos

- Bomba de circulación
- Visualizadores de nivel, control y temperatura
- Ventilador para 5.100 m<sup>3</sup>/h
- Sensor de fugas

Estas medidas de seguridad son adecuadas para controlar fugas masivas de cloro gas, que se pueden producir cuando un cilindro tiene un daño mayor, pero cuya probabilidad de ocurrencia es mínima. En los años de funcionamiento de la planta no se ha producido esa emergencia.

## 11 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS

Para el diseño de la planta se tomó muestras en las descargas de filtros y de lodos de la purga de las tolvas de los clarificadores. De estas muestras se determinó la cantidad de lodos producidos.

Los datos para la estimación del caudal de diseño del proyecto, fueron proporcionados por parte del personal operativo de la Planta de Tratamiento de Bellavista. El dato de volumen promedio mensual de lavado de filtros proporcionado por la EPMAPS es de 10,505.75 m<sup>3</sup> que da un caudal de 437,74 m<sup>3</sup>/h y para los clarificadores 1,689.19 m<sup>3</sup> que da un caudal de 70,38 m<sup>3</sup>/h.

En los análisis realizados, se determinó que existe un total de 0.3 gr de peso neto de lodos deshidratados en una muestra de 1 litro de filtros y 2,7 gr de lodos secos para la muestra de clarificadores. Por tanto las concentraciones de masa seca (MS) son:

- MS filtros: 196.98 kg/h
- MS clarificadores: 285.05 kg/h
- MS Total: 482.03 kg/h

El rendimiento de sólidos por equipo de secado es de 90Kg/h por tanto se requiere 6 equipos de secado de lodos.

Para la estimación de los lodos que se producen en la PTAPB, se estableció un tiempo de retención de 1:30h y se obtuvo lo siguiente:

- Volumen Total de la muestra: 695 ml
- Tiempo de Retención: 1:30 h
- Volumen de agua clarificada: 670 ml
- Volumen de sólidos sedimentables: 25 ml

Estos datos determinaron que los sólidos sedimentables corresponden al 3,6% y el agua clarificada al 96,4%.

La planta de tratamiento de lodos se ubicará en el espacio existente entre las vías, de ingreso a la planta y la que conduce al edificio de Control de Calidad, frente al ecualizador de lodos existente. Está compuesta de las siguientes unidades:

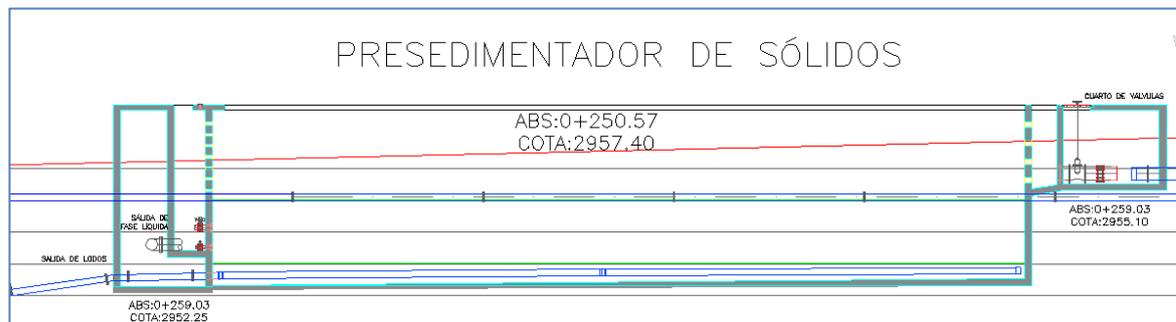
- Sedimentador primario
- Sistema de bombeo de lodos 1
- Espesador de lodos
- Tanque de lodos
- Sistema de bombeo de lodos 2
- Estación de polímeros
- Separadores de lodos
- Banda transportadora
- Área de carga y desalojo de lodo seco

Los lodos de clarificadores y filtros, serán conducidos por medio de las tuberías existentes, a cuatro presedimentadores discontinuos, que se construirán en el sitio del tanque equalizador actual. Luego de la sedimentación el agua se descarga en el sistema de alcantarillado mientras que los lodos sedimentados se bombean al espesador que se ubicará aguas arriba del edificio de secado.

El lodo se descarga a gravedad hasta el cárcamo de bombeo 2, desde el cual son impulsados a los equipos de separación, en el trayecto se adicionan polímeros a los lodos.

Una vez secos se conducen, por medio de una banda transportadora, al patio de embarque y desalojo para ser transportados a la disposición final en el relleno sanitario de Quito.

**Gráfico No. 11.1. Presedimentador de lodos**



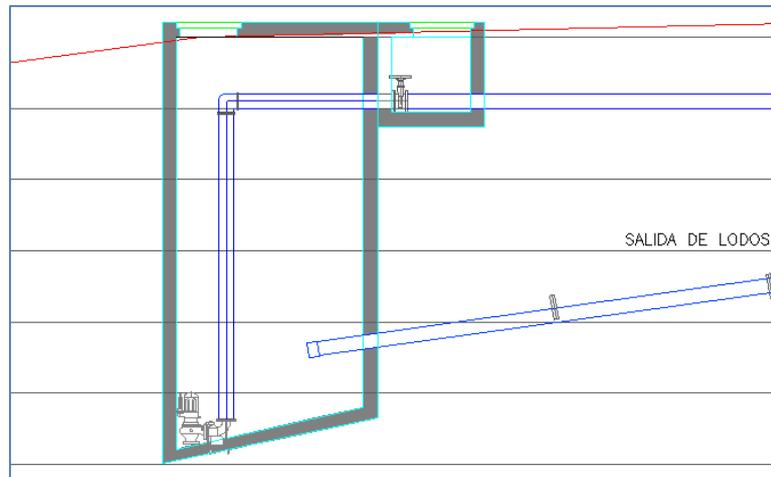
Elaboración CORPCONSUL - Masagro

Características de un presedimentador:

- Altura total 5,00 m
- Altura efectiva (Nivel de agua) 2,00 m
- Altura de la Tolva 2,00 m
- Ancho 6,00 m
- Largo 25,00 m
- Volumen por unidad: 535.5 m<sup>3</sup>
- Volumen Total de almacenamiento 2,142.00 m<sup>3</sup>.

El sistema de bombeo de lodos 1 cuenta con un cárcamo de bombeo ubicado a la salida de los presedimentadores y mediante bombas sumergibles, elevar el caudal de lodos al tanque espesador.

**Gráfico No. 11.2. Esquema Cárcamo de Bombeo 1**



Elaboración: CORPCONSUL - Masagro

Características del cárcamo de bombeo:

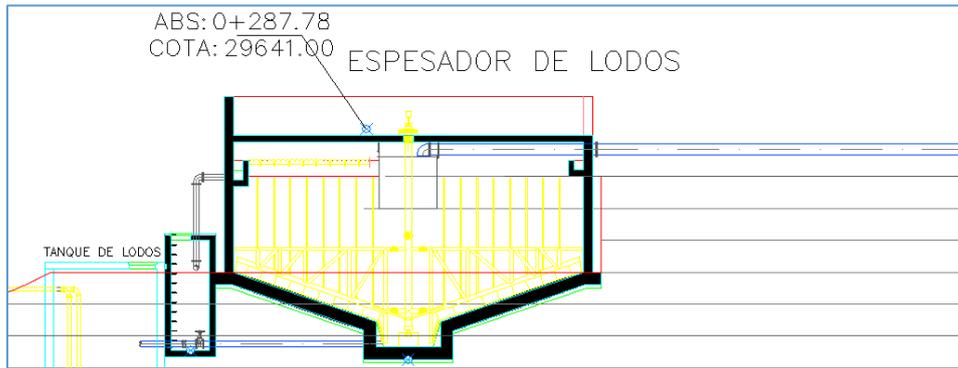
- Altura Total 6,00 m
- Altura de lodos 4,00 m
- Ancho 2,50 m
- Largo 2,50 m

Características de las bombas de lodos:

- Tipo: sumergible de eje vertical.
- Caudal: 30 m<sup>3</sup>/h
- ADT: 19,54 m
- Líquido a bombear: agua con 4% sólidos densidad máxima 1.100 Kg/m<sup>3</sup>.

El espesador consiste en un tanque de hormigón, de planta circular, donde se provoca la sedimentación de las partículas por acción de unas piquetas de lento giro del. Envían los lodos a la parte inferior del mismo donde se incrementa la proporción de materia sólida y unas barrederas los evacuan. Una estructura puente sirve de pasarela y de apoyo a todo el conjunto.

**Gráfico No. 11.3. Esquema del Espesador**



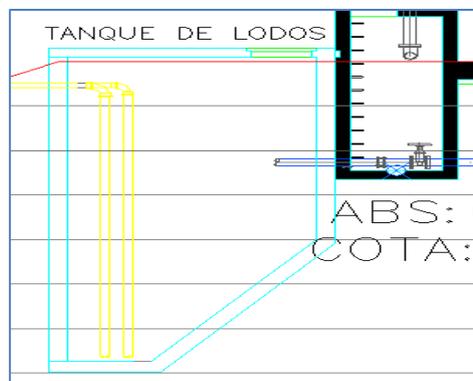
Elaboración: CORPCONSUL - Masagro

Características del espesador:

- Altura Total: 7,10 m
- Diámetro interno 16,00 m
- Volumen Máx. 1150 m<sup>3</sup>

Los lodos del efluente del espesador se concentran en el tanque de lodos; funciona como un sistema de amortiguamiento antes de la entrada a los sistemas de separación de lodos y también como cárcamo del sistema de bombeo 2.

**Gráfico No. 11.4. Esquema del Tanque de Lodos**



Elaboración: CORPCONSUL - Masagro

Características:

- Altura 4,30 m
- Largo 4,50 m
- Ancho 3,50 m
- Volumen Max 67,70 m<sup>3</sup>

El sistema de bombeo 2 alimenta los lodos al sistema de secado, cuenta con dos equipos de las siguientes características:

**Gráfico No. 11.5. Esquema de bomba de alimentación**

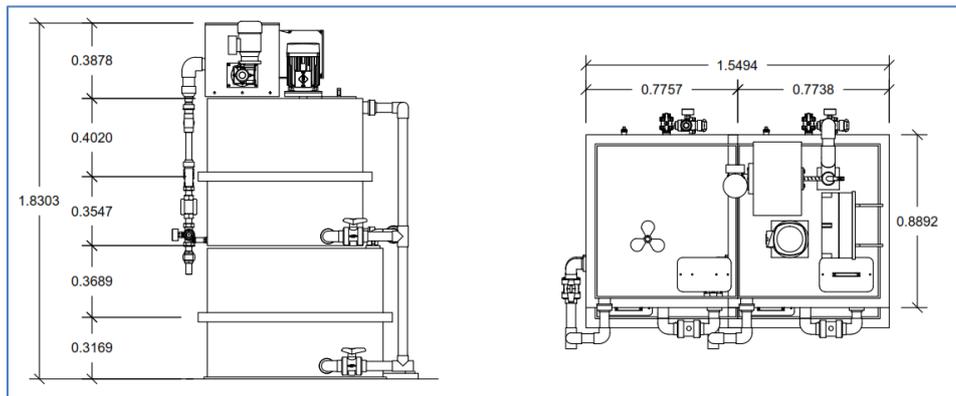


Fuente: Proveedor

- Rendimiento 10 m<sup>3</sup>/hora
- Bomba de tornillo excéntrico (helicoidal)
- Potencia requerida 3 KW

La adición de polímeros se realiza previa al secado de los lodos, conforme el gráfico No. 11.6.

**Gráfico No. 11.6. Esquema de la Estación de Polímeros**



Fuente: Ficha Proveedor

El sistema está compuesto por dos equipos de las siguientes características:

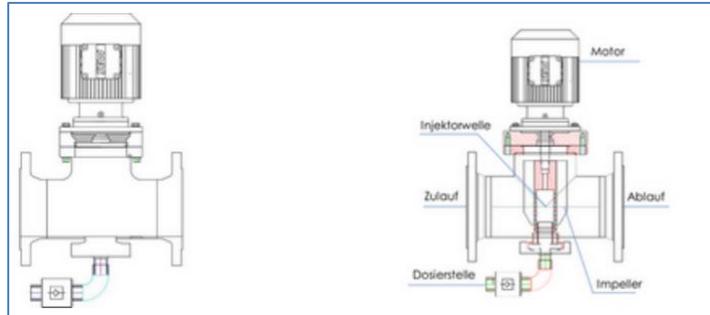
- Polímero requerido para cada estación de 4 a 15 g/kg. de materia seca.
- Alimentación eléctrica de 220/380V, frecuencia 60Hz.
- El motor principal con una potencia de 1.5 KW.

Las características de las mezcladoras de polímeros son:

- Alimentación eléctrica de 220/380V, frecuencia 60Hz
- Presión (máx.), Includo el conector del sensor de presión. 6 bar -16 bar
- Sensor de caudal electromagnético
- Convertidor de señal para caudalímetros electromagnéticos

- Max potencia del motor 3.0 KW
- Tubería de lodos con polímeros, de 3" de diámetro

**Gráfico No. 11.7. Esquema de la Mezcladora**



Fuente: Ficha Proveedor

El Separador de Sólidos trabaja con concentraciones desde el 2% de lodos y a un rendimiento de 3 m<sup>3</sup>/h; la planta cuenta con seis equipos de separación.

**Gráfico No. 11.8. Esquema del Separador de lodos**



Fuente: Proveedor

Características:

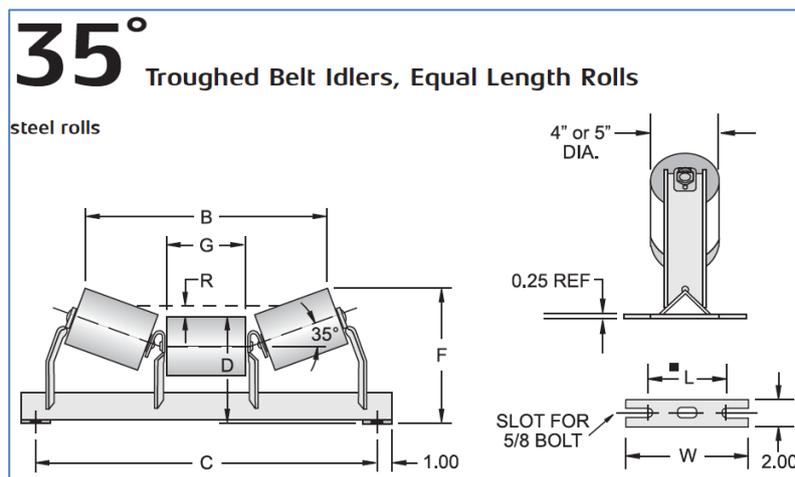
- El separador de lodos tiene la capacidad de auto limpiar su criba de forma automática, guiado por su ordenador, calibrando el intervalo de tiempo y duración del lavado.
- No experimenta un aumento en la temperatura de la masa final. No emana gases de lodos en proceso por sus bajas revoluciones por minuto
- Número de revoluciones del sinfín: 0,25 – 1,2 RPM.
- La boquilla de salida regulada por presión de aire, permite regular la humedad de la masa final, accionada por un compresor que regula la compuerta de acuerdo a su necesidad (2 compresores de ½ HP).
- Capacidad máxima de cada separador de lodos 3 m<sup>3</sup>/h obteniendo (20-100kg de solidos/hora).
- El motor principal de cada separador con potencia de 550W y consumo de 1.38 Amp.

- Porcentaje de deshidratación de lodos superior al 30% de materia seca con una extracción superior al 90% de humedad.
- Macerador (para homogenizar partículas antes de entrar en el SPS), 157 RPM, conexión eléctrica: 2,2 kW.

El material seco es llevado, por medio de la banda transportadora, hasta el sitio de almacenamiento y carga, las características del equipo son:

- Bastidor de acero inoxidable AISI 304 2B en 1.5 mm de espesor
- Longitud total del equipo 25m
- Ancho total: 600mm (24")
- Banda con perfil elevador de 30mm (vulcanizados directamente sobre la banda de PVC)
- Alto 250mm
- Rodillos de 4" de diámetro
- Moto-reductor trifásico de 3 HP.
- Caja reductora 80X 50 I60 28 RPM
- Gabinete eléctrico con variador de velocidad 3HP
- Rodillos laterales de 2"
- Longitud área plana: 10.5 m
- Longitud elevada: 14.5 m
- Sistema de elevación de 18°
- Peso aproximado: 50 kg por metro lineal -> 1250 kg
- 8 Soportes de sujeción a la estructura metálica del galpón de carga.

**Gráfico No. 11.9. Esquema de banda trasportadora**



Fuente: Proveedor

## **12 INSTALACIONES PARA MANEJO DE QUIMICOS**

### **12.1 DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE**

La planta de agua potable Bellavista utiliza como coagulante químico al sulfato de aluminio líquido, con una concentración de 8.43% de alúmina, que es aplicado en las cámaras de contacto de mezcla rápida, a la entrada a la planta de tratamiento del agua cruda.

El sulfato de aluminio es suministrado desde un tanque de almacenamiento de 12 m<sup>3</sup> ubicado en la ladera sur de las instalaciones y es provisto a gravedad.

La entrega del sulfato de aluminio se realiza por la parte superior de la mezcla rápida, por medio de vertederos triangulares que permiten controlar la cantidad definida. y descargan por la parte inferior de los vertederos junto a las paletas de las turbinas de la mezcla, produciéndose la coagulación de manera inmediata.

La ampliación diseñada establece que para la unidad central de mezcla rápida a implementarse, se utilizará el mismo sistema. De acuerdo a las pruebas de tratabilidad realizadas, la dosificación de sulfato de aluminio óptima está entre 5 mg/l y 7 mg/l de alúmina.

### **12.2 DOSIFICACIÓN DE AYUDANTE DE COAGULACIÓN**

La planta de agua potable Bellavista utiliza como ayudante de coagulación, un polímero de marca Kemira Superefloc C-490 que es aplicado a la salida de las cámaras de contacto de mezcla rápida.

El polímero es preparado en dos tanques de 8 m<sup>3</sup> de capacidad que se encuentran en la sala de químicos del edificio y el suministro a la planta se lo realiza por medio de bombas dosificadoras con una capacidad de 3 a 30,3 l/min para una altura dinámica total de 87,9 mca.

La dosificación actual del polímero es de 0,20 mg/l, lo que determina un consumo de 51,84 kg/d para el caudal de operación de la planta actual de 3000 l/s. Las pruebas de tratabilidad realizadas conjuntamente por la EPMAPS y la Consultora realizadas al agua cruda de ingreso, determinaron una dosis óptima de polímero de 0,1 mg/l, que para la totalidad de la planta, esto es 4500 l/s, determinan un consumo de 38.8 kg/d, por tanto, el equipo existente es de suficiente capacidad para continuar operando para la totalidad del caudal de la planta.

El material seco, producto del tratamiento de lodos será dispuesto en el relleno sanitario del Distrito Metropolitano de Quito, conforme lo determina el Plan de Manejo Ambiental.

## 13 EVALUACION DE LOS SISTEMAS DE DESINFECCION Y SUMINISTRO DE AIRE

### SISTEMA DE DESINFECCION

La capacidad de los equipos de cloración existentes (dos, uno en operación y otro en reserva) es de 40 Kg/h cada uno, mientras que el consumo diario de la planta, incluyendo la ampliación, será de 33,69 Kg/h, por tanto cubre las condiciones futuras de funcionamiento, pudiendo dosificar hasta 2,40 mg/l en casos de emergencia.

Adicionalmente se determinó que los equipos originales de dosificación de cloro gas (Wallace & Tiernan de 60 Kg/h de capacidad), fueron reemplazados hace 12 años por los existentes marca Portacel. La EPMAPS ha previsto reemplazarlos, posiblemente en el año 2017. Para el cambio de dosificadores y en vista de es recomendable que los equipos dosificadores trabajen normalmente al 80% de su capacidad máxima, se recomienda un aumento a capacidad de los dosificadores a 60 Kg/h, ya que es el siguiente en el rango de capacidades en el mercado. Además que se incremente de cinco a siete los cilindros conectados simultáneamente al manifold. También se deberá incrementar dos eyectores de orificio fijo para los nuevos puntos de aplicación de cloro gas.

### SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE

El retro lavado se realiza en etapas, con aire a presión y agua; una vez que se detiene el proceso de filtrado se envía aire comprimido con agua para remover las partículas retenidas por el manto de material filtrante. En una segunda etapa se enviará agua para el enjuague o aclarado.

El diseño actual del caudal de aire para los sistemas de filtración está entre 50 – 60 ( $m^3/(m^2 \cdot h)$ ).

Para producir el aire comprimido actualmente se encuentran instalados 3 compresores (sopladores) en paralelo (tipo Roots) que manejan caudales muy altos de aire con baja presión de suministro, normalmente menor a 20 psig. La operación de los sopladores se realiza en par y un tercero de reserva.

El área de filtros es de 116,74  $m^2$  por lo que el caudal de soplado debe ser estar entre 5837  $Nm^3/h$  a 7004  $Nm^3/h$  a condiciones ambientales locales.

Se realizaron pruebas de operación para conocer si los sopladores existentes tienen capacidad para la ampliación de la planta. Las mediciones de los valores máximos de caudal fueron bastante similares en los sopladores A y B existentes.

En la operación conjunta de los dos sopladores para limpieza de un filtro se observó que el sistema combinado de sopladores de arranque puede dotar de 7000  $m^3/h$  y en operación continua se mantiene en 5000  $m^3/h$ . Esto implica que en conjunto los sopladores trabajan con caudales adecuados para la operación.

La tubería de suministro de aire comprimido diseñada para la ampliación estará sometida a una presión interna de máximo 15 psig y cuyo diámetro es 16pulg. en SCH 10 ( $d_e=406,4$  mm y  $d_i=392,7$

mm), será fabricada con lámina de ¼ pulg. (6,35 mm) y soldada. Los codos y las tees de derivación, serán fabricadas mediante soldadura con electrodo E6011 de 1/8" y desarrollo del perfil.

## CONCLUSIONES

- Los sopladores disponen del caudal suficiente para operar los filtros nuevos.
- Las pérdidas de presión tanto en tubería como en el filtro llegan a ser 13 psig presión que está en cerca del límite de apertura de las válvulas de alivio.
- En los ensayos que se hicieron las válvulas de alivio se abrieron a los 13,5 psig, razón por la que la presión que desarrollarán los sopladores, cuando operen en paralelo, estará muy cerca de la presión de alivio.
- Debe ajustarse las válvulas de alivio de la zona de los sopladores para que se abra en 15 psig.

## RECOMENDACIONES

- El sistema de provisión de aire comprimido actualmente está construido en dos ramales paralelos. Se prolongarán dichos ramales hasta los filtros nuevos.
- La válvula tele comandada que se encuentra colocada al final del ramal norte de la tubería de aire comprimido deberá ser retirada y colocada al final del nuevo ramal después del último filtro en el mismo ramal norte.
- En el ramal sur de la tubería de aire comprimido, debe eliminarse la válvula que permanece abierta en el extremo de la tubería y deberá colocarse la prolongación del ramal.

El sistema de suministro de aire existente es el original, es decir que tiene más de 25 años de operación, según la información obtenida del Departamento de Mantenimiento de Plantas de la EPMAPS se ha previsto su reemplazo para el año 2017.

## 14 DISEÑO ESTRUCTURAL

Se realizaron los diseños estructurales de la ampliación de la planta de tratamiento de agua potable y de las obras civiles de la planta de tratamiento de lodos.

La importancia de la obra, hace que se le tome como una ampliación de tipo esencial,  $I=1,5$ , con todas las condiciones y exigencias que se consignan en las nuevas normas, de manera que el análisis estructural se realizó con esas consideraciones.

Las cargas utilizadas, se tomaron de acuerdo a las especificaciones y las recomendaciones del NEC 2015.

### CARGAS ESTATICAS:

Carga viva en caminerías:	300 Kg/m <sup>2</sup>
Carga motor y accesorios de rotación (Diseño Mecánico, se tomó como carga permanente)	20.00 Ton
Torque: 60.000 N – m	6118 Kg – m

Carga viva en losa de apoyo de motor	200 Kg/m <sup>2</sup>
Sector tuberías con agua, D= 80CM,	0.70 Ton/m <sup>2</sup>
Agua como Carga Viva	1.00 Ton/m <sup>3</sup>
Hormigón armado	2.40 Ton/m <sup>3</sup>

Todo elemento estructural se construirá con un hormigón sin recubrimientos, de manera que no tendrá enlucidos, ni masillados extras, y tendrá las dimensiones exactas que constan en los planos arquitectónicos y estructurales.

En lo concerniente a las Cargas Sísmicas, se parte de la geometría de la propuesta, la misma que es similar, como es lógico, a la planta existente, y se diseña a la luz de las Nuevas Normas NEC-2015 especialmente en lo referente a las cargas sísmicas, combinando con las cargas permanentes y las de servicio.

#### SISMO ESTÁTICO

El sismo resultante de la carga de C. Muerta 100 % multiplicada por el coeficiente sísmico, que resulta de considerar lo siguiente, según las normas NEC 2015, vigentes, más el 25 % como construcción esencial:

#### CÁLCULO COEFICIENTE SÍSMICO: NEC 2015

#### CARGAS DINÁMICAS:

Todo recipiente que contenga líquidos, en este caso el agua, está sometido al efecto dinámico del movimiento que éste produce en un movimiento, adicional a la carga de agua vertical y horizontal.

Para recipientes que están cimentados directamente en el suelo, se utilizará el efecto dinámico que plantea WESTERGAARD:

$$W = (7/8) \cdot K_n \cdot H \cdot Y \cdot \sqrt{x/H}$$

Dónde:

$K_n$  = aceleración del sitio en función de  $g$ , en el presente caso 0,40

$H$  = altura máxima, 7,00m

$x$  = profundidad de medida desde el nivel superior del agua

$Y$  = peso del agua, 1,0 ton/m<sup>3</sup>

Toda la filosofía del diseño está basada en los parámetros que el ACI 350 ha emitido con la finalidad de uniformizar los diseños de estas estructuras.

En todo elemento de hormigón armado de la planta, se utilizará un concreto con una resistencia a la rotura a los 28 días de  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ .

Se podrán usar aditivos afines, para fraguado, trabajabilidad e impermeabilización, de acuerdo a un solo fabricante aprobado por la Fiscalización, y con sus propias especificaciones.

El Acero de refuerzo para el hormigón tendrá un límite de fluencia  $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  para diámetros mayores o iguales a 10 milímetros.

Las mallas electro soldadas tendrán un límite de fluencia  $F_y = 5000 \text{ Kg/cm}^2$ .

Los perfiles de acero serán bajo la norma ASTM A-36, según lo especificado en planos, de fácil obtención en nuestro medio, con las protecciones para la corrosión pertinentes.

Antes de armar la cimentación de las estructuras nuevas, se colocará un replantillo de 7 cm de espesor de un hormigón de  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ .

El esfuerzo del suelo se tomó como  $21.81 \text{ Ton/m}^2$  ( $2.18 \text{ kg/cm}^2$ ), de acuerdo al estudio correspondiente, para ser verificado en obra.

Para el análisis y diseño estructural de cada estructura, se trabajó en el programa de computadora SAP 2000 versión 18.0.1, cargando con las fuerzas resultantes correspondientes al espectro sísmico, en los dos sentidos y con las cargas verticales de peso propio y carga viva. El análisis se realizó con todas las combinaciones posibles que trae el programa con la opción del diseño de hormigón con el ACI318 - 2014, que contempla diseño plástico de cada elemento. El análisis se hizo estático que corresponde aproximadamente al primer modo de vibración. El chequeo más importante fue el de los desplazamientos o derivas, constatando que sea lo menor a lo admisible permitido en el NEC 2015 para estas estructuras.

## **15 DISEÑO ELECTRICO**

### **CALCULO DE LA DEMANDA**

En el diseño eléctrico se han aplicado las Normas: NEC (National Electrical Code) y la EEQ. DD-722-IN-03 Partes A-B-y C. normativa de sistemas de distribución eléctrica, EEQ 2014.

Se realizó el cálculo de la demanda considerando las instalaciones existentes y las que requerirá la ampliación de la PTAP y de la planta de tratamiento de lodos.

En el Cuadro 15.1 se presenta el resumen del cálculo de la demanda de la planta existente y de las demandas calculadas de la ampliación de la planta y de la planta de lodos.

**Cuadro No. 15.1. Resumen de las demandas**

<b>Carga</b>	<b>Potencia (KVA)</b>
Planta Actual	351,98
Ampliación	114,95
Planta de Lodos	27,36
<b>TOTAL</b>	<b>494,29</b>

Elaboración: CORPCONSUL

#### SELECCIÓN DEL GENERADOR DE EMERGENCIA

Para la selección del generador de emergencia se consideró la demanda máxima, un 10% de reserva de potencia y un factor extra del 20% por arranque de motores, da como resultado 652,46 kVA, por lo que se recomienda un generador de 750 kVA, con un factor por derrateo, a la altura de 2972 m.s.n.m, de 0,88 da una potencia de 660 kVA con lo cual se cubre el valor de demanda para las plantas.

Los transformadores existentes en la subestación tienen una capacidad cada uno de 1000 kVA.

#### CALCULO DE ACOMETIDAS

Se calcularon también las intensidades de las acometidas y conductores, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de Construcción, apartado 7, que define las especificaciones técnicas de Alimentadores, la caída de tensión máxima admisible provocada por la corriente que circula por ellos, que será de 3%; se considera también que la caída de tensión total en el punto más desfavorable no debe exceder el 5%, se presenta el siguiente cuadro resumen de las caídas de tensión para los conductores a utilizar en la alimentación eléctrica de los CCMs y equipos más relevantes.

#### CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

En consideración a que las cargas preponderantes en el sistema eléctrico de la planta de tratamiento y de lodos son las unidades de lavado de filtros, las turbinas de mezcla rápida y de clarificadores las cuales, para su conmutación de estado y modulación se emplean equipos Arrancadores Electrónicos Suaves, se instalarán bancos de capacitores compensadores del factor de potencia primitivo hacia factor de potencia consignado establecido en 0.95 inductivo de operación automática.

#### ILUMINACION

El diseño del sistema de iluminación de la ampliación de la planta se realizó con la aplicación de la Norma API RP 14F.

Para el sistema de iluminación de la planta se utilizarán lámparas de alta presión de sodio HPS, montaje en poste, con 16 luminarias de 250 W, dos en cada poste de 9m de altura, con reflector centrado.

## SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Se dimensionó un sistema de puesta a tierra, acorde con la normativa vigente, y que garantice una adecuada protección de las personas y equipos expuestos a sobrevoltajes en las instalaciones, debido a causas internas o externas al Sistema Eléctrico.

El diseño del sistema de puesta a tierra se realizó en cumplimiento de las Normas IEEE Std. 80-2000, IEEE Std. 142-1991 y API RP 2003.

Como sistema de puesta a tierra se adoptó una malla de conductores de cobre desnudo horizontales y varillas de cobre verticales que se vinculará con la malla existente en la pull box disponible en el terreno de la ampliación a través de un equalizador de potencial.

## 16 DISEÑO ELECTRO - MECANICO

### SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AIRE

En el diagnóstico realizado al sistema de aire comprimido existente para el lavado de filtros, descrito en el numeral 13 de este informe, se concluye que el mismo está en capacidad de proporcionar el caudal suficiente para lavar las nuevas unidades de filtración, de manera que la ampliación de la PTAP de Bellavista utilizará el sistema instalado.

### DOSIFICACION DE POLIMEROS Y SULFATO

Se utilizarán los sistemas de dosificación existentes.

### SISTEMA DE BOMBEO

Como se describe en el numeral 10 de este informe, luego del análisis del sistema de bombeo existente, se define que el mismo está en capacidad de proporcionar los caudales y presión necesaria para el lavado de los filtros de la ampliación.

### SISTEMA DE MEZCLA DE SULFATO DE ALUMINIO

El agitador mecánico cumple la función de mezclar el floculante, sulfato de aluminio, con el agua cruda, para realizar la mezcla rápida, para el efecto se diseñó un agitador de 6 paletas, que se instalará en la cámara disponible entre los agitadores existentes.

Las medidas del mezclador son:

- Da= 1.000 mm. Diámetro del rotor
- Dt= 3.000 mm. Diámetro de la tina
- W= 200 mm. Ancho del alabe)
- Dd= 666 mm. Diámetro del disco de soporte de los alabes
- L= 250 mm. Largo del alabe

Para que el sistema reductor no soporte el peso del agitador, se realizó el análisis de un rodamiento axial el cual soportará el peso del mismo. Para ello se seleccionó un sistema de rodamientos axiales de rodillo cilíndricos SKF para una capacidad de rodamiento axial de 100 mm de diámetro interno, que tiene una capacidad de carga dinámica de 224.000 N y de carga estática de 830.000 N.

A pesar de que el sistema del mezclador está con un sistema alineador en la zona inferior que evita desbalances en el sistema a causa de la rotación, se colocará un rodamiento tipo radial en la zona superior para desbalances mínimos que pudiesen ocurrir y además por seguridad.

El motor eléctrico para el sistema mezclador tendrá las siguientes características:

- Eje de salida: horizontal
- Alimentación: trifásica
- Voltaje VAC: 440
- Potencia mínima: 40 kW

El reductor de velocidad tendrá las siguientes características:

- Torque de salida: 30.000 N-m
- Relación de transmisión: 15:1
- Velocidad de entrada: 1750 rpm
- Potencia de entrada mínima: 40 kW

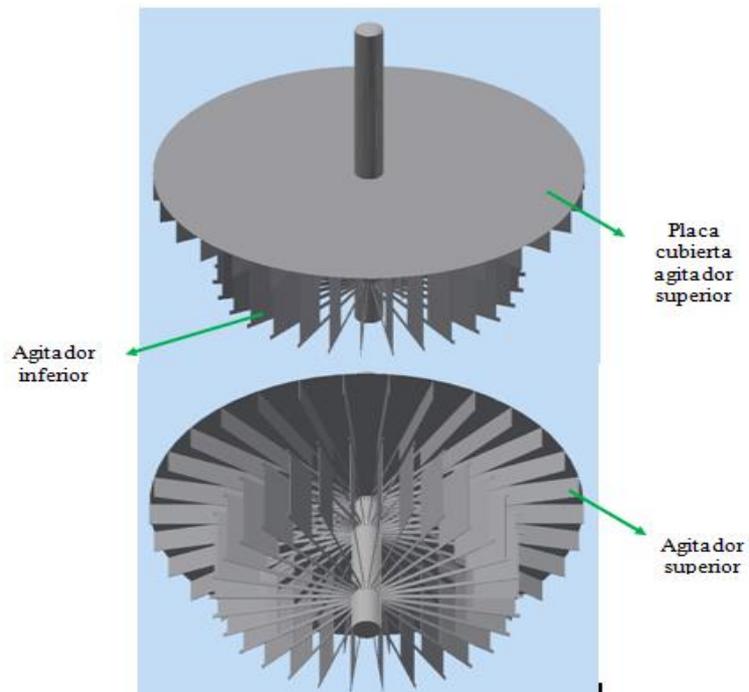
## SISTEMA MECANICO DE AGITACION DEL CLARIFICADOR

El sistema de agitación mecánico permite que los lodos del clarificador estén siempre en movimiento. Para lograr que esta solución acuosa tenga turbulencia es necesario usar un sistema generador de flujos dentro del tanque floculador.

El sistema del clarificador existente fue diseñado por NISALCO, por tanto, como primer paso en el diseño mecánico del sistema de agitación se realizó un análisis de las condiciones de operación actual del agitador, para posteriormente realizar mejoras al diseño original. El modelo existente es un agitador dinámico que genera turbulencia y mantiene el manto de lodos en actividad, al que se realizó un análisis numérico aplicando la ecuación de Navier Stokes.

En la figura 16.1 se observa el esquema actual del clarificador, en donde existe una única placa que cubre la parte superior del primer alabe (agitador superior). Se observa que no posee placas en la zona inferior, tanto de los agitadores superiores e inferiores.

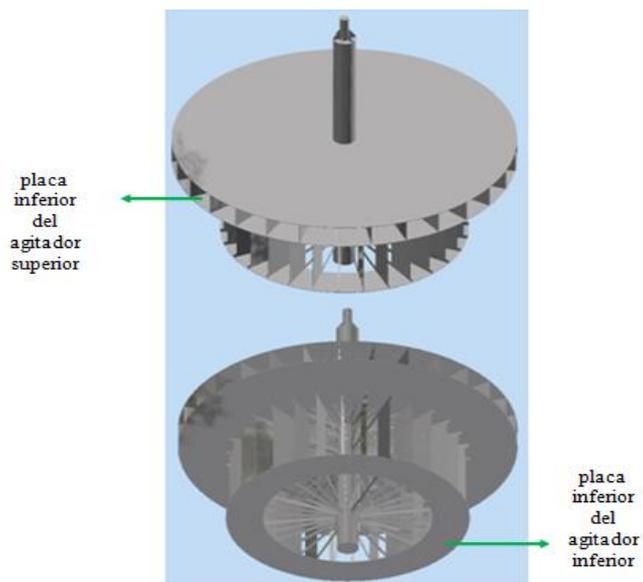
**Figura No. 16.1. Esquema clarificador actual**



Fuente: Elaboración propia

Con las modernas técnicas numéricas se ha podido visualizar que se puede mejorar la transferencia de cantidad de movimiento del agitador al agua, haciendo pequeños cambios en la forma hidrodinámica del agitador central, como se observa en la figura 16.2, añadiendo dos placas en ambos rodetes.

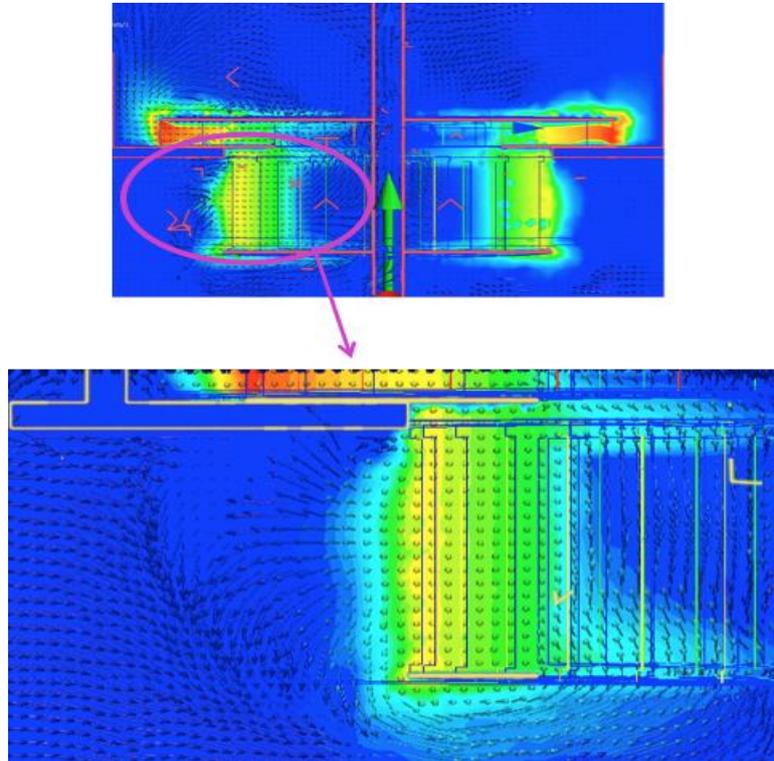
**Figura No. 16.2. Cambios hidrodinámicos sobre el diseño hidráulico anterior**



Fuente: Elaboración propia

En la figura 16.3 se observa el cambio de la dirección del flujo a causa del aumento de las placas inferiores. Además el flujo presenta mejor uniformidad que ayuda a que se presente una mejor mezcla.

**Figura No. 16.3. Cantidad de movimiento y dirección del fluido por efecto de adición de placas inferiores**



Fuente: Elaboración propia

El resultado de las condiciones de simulación determina que la velocidad periférica del fluido en el rotor superior promedio es de 1,36 m/s y rotor inferior tiene un promedio de 1,00 m/s.

Los componentes del agitador serán construidos con acero A36 con esfuerzo de fluencia  $S_y$  es 36 ksi y el esfuerzo último de tracción  $S_{ut}$  es 58 ksi.

Los álabes de los dos rotores son rectangulares, en el Cuadro 16.1 se presentan las medidas y los planos de los álabes tanto del rotor superior e inferior.

**Cuadro 16.1. Medidas de los álabes**

Alabe superior	$b$	1.910 mm
	$h$	441 mm
Alabe inferior	$b$	760 mm
	$h$	1.922 mm

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

$b$  = ancho del alabe (mm).

$h$  = altura de alabe (mm).

Los perfiles estructurales serán tipo ángulo laminados en caliente (HR), el sistema de unión que se utiliza en el agitador son pernos de grado 8 y rosca UNF.

El eje del agitador corresponde a un tubo de acero cédula 40 grado B, de 20" de diámetro. El eje de transmisión de potencia tiene 240 mm de diámetro.

El reductor de velocidad es el componente que proporcionara un torque de 60.000Nm y 3,5 rpm, necesarias para que el agitador o clarificador se accione y cumpla la función de mezcla, tendrá una relación de transmisión de 584:1 y 22 kW de potencia de entrada mínima.

El variador de frecuencia para el motor será electrónico y será de 60hp con alimentación trifásica.

El motor eléctrico para el sistema clarificador será de eje de salida horizontal y 22 kW de potencia mínima.

El dimensionamiento del motor eléctrico que se acoplará a la caja reductora se realizó con la aplicación de la siguiente ecuación:

$$P_e = T * w$$
$$P_e = 22000 W = 22 kW$$

Dónde:

$P_e$  = Potencia eléctrica (w)

$T$  = Torque (Nm)

$w$  = velocidad angular (1/s) = 3,5 rpm = 0,37 1/s

La estructura del clarificador que se basa principalmente en un doble empotramiento estará apoyada sobre un bastidor compuesto por perfiles tipo W de acero 1045 y el único esfuerzo al cual está sometido es el flector.

Mediante el uso de un modelo matemático (elementos finitos) se realizó la simulación del funcionamiento hidráulico del clarificador, en conjunto con el sistema de agitación, este proceso definió las modificaciones a la arquitectura del clarificador existente.

## DISEÑO DE COMPUERTAS

Las compuertas son requeridas para control de caudal de ingreso a los clarificadores, así como para el ingreso de agua a los filtros y control de flujo en el retro lavado.

Las compuertas se diseñaron con acero A-36 y serán operadas por medio de actuadores eléctricos del tipo modulante.

Los tornillos de potencia son elementos mecánicos que permiten hacer movimientos lineales suaves de las compuertas para controlar los caudales que entran y/o salen de clarificadores y filtros.

El diseño del tornillo de potencia tiene ciertas particularidades como es la capacidad autotrabante, de modo que el sistema no pueda retroceder de manera automática, debe ser comandado por un actuador eléctrico.

En los siguientes cuadros se presentan las características del diseño de las compuertas.

**Cuadro No. 16.2. Medidas compuertas ingreso clarificador**

DESCRIPCION	VALORES	
Peso compuerta	1.408 (lb)	639(kg)
Altura (h)	1,70 (m)	66,93 (in)
Longitud (L)	1,10 (m)	43,31 (in)

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro No. 16. 3. Medidas compuertas de ingreso a los filtros**

DESCRIPCION	VALORES	
Peso compuerta	766 lb	348 kg
Altura (h)	0,95(m)	37,40 (in)
Longitud (L)	1,00(m)	39,37 (in)

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro No. 16.4. Medidas compuertas de salida de filtros**

DESCRIPCION	VALORES	
Peso compuerta	850 lb	386 kg
Altura (h)	0,95(m)	37,40(in)
Longitud (L)	1,00(m)	39,37 (in)

Fuente: Elaboración Propia

El sello mecánico se realizará con caucho sintético (neopreno), que tiene un coeficiente de fricción caucho–acero de 0,35.

## ACCESORIOS DE TUBERIA

Los accesorios de tuberías de acero, codos, tees, reducciones, etc. se diseñaron aplicando la Norma ANSI/AWWA C208-07 “Dimensions for Fabricated Steel Water Pipe Fittings”, los detalles y el despiece se presentan en los planos respectivos.

## 17 AUTOMATIZACION E INSTRUMENTACION

La arquitectura de control tendrá tres macro bloques de control, la planta existente, la ampliación de la planta y la planta de lodos. Cada uno de estos bloques será comandado por un PLC de control redundante, es decir un principal y un stand by.

Para la integración de los tres bloques se realizará un anillo de fibra óptica redundante, que partirá desde el cuarto de comunicaciones del edificio principal. Actualmente existe un enlace entre el sistema de bombeo Bellavista – Puengasí y la Planta Actual de Bellavista. Para integrar los demás bloques se tendrá fibra desde los tableros de control del Sistema de Bombeo Bellavista Puengasí hacia el tablero de control de la Planta de Lodos. Desde esta planta se trazará fibra hacia el tablero TR2-02 (Tablero Remota 2) ubicado en la unión de la planta existente y la ampliación de la Planta Bellavista. Finalmente se cerrará el anillo desde este tablero TR2-02 hacia el cuarto de comunicaciones del edificio principal cerrando el lazo redundante de fibra óptica.

Actualmente, la Planta de Bellavista cuenta para su operación con un PLC redundante de la marca Schneider Electric, modelo Quatum, tres remotas (remota 1, remota 2 y remota de comunicaciones), que integran todas las señales de instrumentación y control digital, así como las diferentes comunicaciones con actuadores y equipos.

Se va a eliminar la remota de comunicaciones y se ubicará dicha tarjeta en cada uno de los PLC Quantum, principal y stand by a fin de tener la redundancia en el protocolo de comunicaciones Profibus que maneja los actuadores de los clarificadores y demás equipos profibus.

El control de la ampliación de la planta se lo realizará a través de un equipo controlador PLC que permita tener redundancia en CPU y dispondrá de dos remotas. Remota 1 para el control de los motores y Remota 2 para la recolección de la instrumentación y demás señales de campo (filtros y clarificadores). El control de los actuadores debe ser a través de una estación maestra que maneje un anillo redundante para los 42 actuadores que dispondrá la planta a través del protocolo Modbus.

La remota 2 estará ubicado en un tablero (TR2-02) que será montado en el espacio que quedará entre la planta existente y la ampliación en el cruce peatonal. Esta será la encargada de recolectar todos los datos de instrumentación de filtros y clarificadores.

Para el control de los diferentes motores tanto de la planta existente como de la ampliación de la planta, se deberá reemplazar el MCC existente considerando las cargas actuales y con el espacio necesario para alojar las nuevas cargas.

Este tablero MCC se ubicará en la posición del actual MCC haciendo una instalación nueva con acometidas nuevas en forma paralela para evitar que se paralice el actual funcionamiento de la planta.

En el cuadro No. 17.1 se detallan los tableros que deben ser instalados:

**Cuadro No. 17.1. Tableros de la Ampliación**

<b>NOMBRE TABLERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>TBT</b>	Tablero Bloqueo Transformadores T1 y T2
<b>TTA</b>	Tablero Transferencia Automática
<b>MCC</b>	Tablero Centro Control Motores
<b>TCP-02</b>	Tablero Control Ampliación de la Planta
<b>TR1-02</b>	Tablero Remota 1 (Control Motores)
<b>TR2-02</b>	Tablero Remota 2 (Instrumentación y Control Campo)
<b>TD-01</b>	Tablero Distribución Actuadores.
<b>TCP-03</b>	Tablero Control Planta Lodos
<b>TD-03</b>	Tablero Distribución bombas lodos

Fuente: Elaboración Propia

#### SOFTWARE SCADA

El software para monitoreo y control debe ser el Wonderware Intouch V2014R2 SP1 de Schneider Electric, ya que éste es el software operativo de la actual Planta de Tratamiento de Bellavista.

Para la ampliación de la planta se considera 2 licencias de 1000 Tags, una para el servidor principal y la otra para el servidor secundario.

También se considera un servidor donde se alojará la base de datos que para este proyecto será el Historian Server de la plataforma Wonderware de Schneider Electric con una licencia de 1000 Tags.

Para la Planta de Lodos se considera una licencia de 1000 Tags para Intouch y una licencia de 1000 Tags para el Historian Server.

#### SCADA AMPLIACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

La cantidad de tags necesarios para la aplicación de Intouch de la ampliación de la PTAP de Bellavista es de 1000 variables, las mismas que se detallan a continuación:

TIPO DE SEÑAL	CANTIDAD
SEÑALES DISCRETAS	500
SEÑALES ANALÓGICAS	300
RESERVA	200

Mientras que la cantidad de variables requerida para el almacenamiento en la base de Datos Historian Server es de 500 Tags.

#### SCADA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS BELLAVISTA

La cantidad de tags necesarios para la aplicación de Intouch de la Planta de Tratamiento de Lodos de Bellavista es de 1000 variables, las mismas que se detallan a continuación:

TIPO DE SEÑAL	CANTIDAD
SEÑALES DISCRETAS	500
SEÑALES ANALÓGICAS	300
RESERVA	200

Mientras que la cantidad de variables requerida para el almacenamiento en la base de Datos Historian Server es de 500 Tags, la misma que debe ser integrada al actual Historian Server que maneja la PTAP de Bellavista a fin de tener una sola base de datos. Por lo tanto el oferente deberá realizar el upgrade necesario de la licencia actual del Historian Server para integrar los 500 tags requeridos.

## 18 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

En el Estudio Ambiental se han definido la identificación y evaluación de impactos ambientales; y, el desarrollo del Plan de Manejo Ambiental.

### 18.1 EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES

En el análisis realizado se identificaron 29 impactos en la fase de construcción y 10 impactos en la fase de operación.

A continuación se encuentran los datos de la categorización de los impactos en la etapa de construcción y operación del proyecto.

**Cuadro No.18.1. Categorización del impacto – etapa de construcción**

Categorización del Impacto Ambiental – Etapa Construcción	Altamente Significativo	Significativo	Despreciable	Benéfico
Ampliación plata de tratamiento de agua potable de Bellavista	0%	6.9%	69.0%	24.1%

Elaboración: CORPCONSUL

**Cuadro No.18.2. Categorización del impacto – etapa de operación**

Categorización del Impacto Ambiental - Etapa Operación	Altamente Significativo	Significativo	Despreciable	Benéfico
Ampliación plata de tratamiento de agua potable de Bellavista	0.0%	10.0%	40.0%	50.0%

Elaboración: CORPCONSUL

De los cuadros anteriores se desprende que la incidencia de impactos altamente significativos para la fase de construcción es del 0.0% y para operación es el 0.0%.

Los Impactos significativos identificados son el 6.9% para la fase de construcción y el 10.0% para la de Operación, siendo estos impactos, más los altamente significativos, los que deben ser controlados por el Plan de Manejo Ambiental.

Es importante señalar que los beneficios en la fase de operación alcanzan el 50.0%, mientras que en la fase de construcción solo alcanzan el 24.1%. Esto se debe principalmente a la generación de empleo en las etapas.

Como punto importante cabe mencionar que los impactos despreciables abarcan un porcentaje alto, tales como son el 69.0% en la fase de construcción y el 40.0% en la fase de operación.

#### **POSITIVOS:**

- Generación de empleo para la población por las actividades que demanda la ampliación de la planta de tratamiento de agua potable de Bellavista, tanto en la fase de construcción como en la de operación.
- Dotación del servicio básico como es el agua potable a la población de la ciudad de Quito, mejorando la calidad del mismo al implementarse el proyecto.

#### **NEGATIVOS:**

Los impactos identificados en la fase de construcción se dan en orden de incidencia sobre la vista escénica (paisaje) y actividades de recreación del parque Metropolitano, los cuales se deben principalmente a las acciones del transporte de material por acción de labores de construcción del proyecto. Cabe indicar que el resto de impactos identificados son despreciables.

Los impactos identificados en la fase de operación se dan principalmente por acción de la actividad de Operación de la planta de tratamiento de agua potable de Bellavista que tiene incidencia con la generación de ruido, de igual manera el resto de impactos identificados son despreciables.

La construcción, operación y cierre del proyecto es viable desde el punto de vista ambiental, si se cumplen las medidas adecuadas que se planteará en el Plan de Manejo Ambiental.

### **18.2 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

En base a la identificación, cuantificación y análisis de los impactos ambientales, se definieron las medidas de prevención, mitigación y compensación que tienden a recuperar y estabilizar los componentes ambientales afectados, tanto para las fases de Construcción como para la de Operación y Mantenimiento.

El Plan de Manejo Ambiental es una herramienta dinámica, y variable en el tiempo, la cual debe ser actualizada y mejorada en la medida que la operación lo demande. Esto implica que se debe mantener un compromiso hacia la mejora continua en el mantenimiento de los aspectos ambientales, sobre los cuales fueron reconocidos impactos en la sección correspondiente.

Para el presente estudio, el Plan de Manejo Ambiental incluye los siguientes componentes:

- ✚ Programa de Prevención, Mitigación y Remediación de impactos
- ✚ Programa de Contingencias

- + Programa de Compensación e Indemnización
- + Programa de Manejo de Desechos, Residuos y Efluentes
- + Programa de Capacitación Ambiental
- + Programa de Salud y Seguridad Industrial
- + Programa de Participación y Relación Comunitaria
- + Programa de Rehabilitación de Áreas Afectadas
- + Programa de Monitoreo
- + Programa de Seguimiento
- + Programa de Abandono y Entrega del Área

El Plan de Manejo Ambiental se desarrolló en función de la Legislación Ambiental Vigente.

## **19 SISTEMA DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN DE INCENDIOS**

Los diseños del sistema de prevención y protección contra incendios, se los realizó de conformidad con lo establecido en la Reglas Técnicas sobre prevención de incendios del DMQ (RTQ/2015), así como la Norma NFPA.

El sistema de prevención y protección de incendios está constituido por los siguientes elementos:

- Señalización de vías de escape
- Iluminación de emergencia
- Sistemas de detección y alarma
- Sistemas de extinción de incendios
  - Extintores portátiles
  - Sistema de tuberías vertical y conexiones de manguera
  - Sistema de bombeo
  - Conexión para el cuerpo de bomberos
  - Gabinetes contra incendios

Si bien es cierto que las regulaciones municipales no exigen un sistema de extinción de incendios mediante tubería vertical para edificaciones existentes, dadas las características de uso múltiple del Edificio de Químicos de la PTAPB y la necesidad de estar protegidos contra posibles riesgos, es necesaria la instalación del sistema contra incendios por tubería vertical y gabinetes contra incendios.

El abastecimiento de agua para la tubería vertical del sistema contra incendios se la realizará desde los dos tanques de reserva existentes que se encuentran en la parte superior del edificio de químicos.

Los datos del sistema de bombeo son:

Bomba principal:

Centrífuga horizontal

Q = 6,31 l/s

HDT = 47,89 m.c.a

Bomba Jockey:  
Centrífuga vertical  
Q mín. = 0,0631 l/s, 1 GPM  
HDT = 52,68 m

Se ha previsto la instalación de una válvula siamesa de bronce de 2 ½" x 2 ½" x 3" en la fachada oriental del edificio de químicos, junto al ingreso, para la conexión de bomberos al sistema interno.

## **20 EVALUACION ECONOMICA Y FINANCIERA**

La evaluación económica y financiera del proyecto se desarrolló tomando en consideración normas generalmente establecidas nacional e internacionalmente; así como, las orientaciones que constan en el "Manual para la Evaluación Financiera y Económica ex-ante de los Proyectos de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento" del Distrito Metropolitano de Quito.

### **20.1 CONSIDERACIONES PARA LA ESTIMACIÓN DE VIABILIDAD DE LAS EVALUACIONES**

Para las dos evaluaciones, se describe la metodología definida, seguidamente los costos de inversión, de operación y mantenimiento, tanto financieros y económicos calculados, para después presentar los supuestos sobre la demanda. Se describe el conjunto de variables utilizadas para el proceso de evaluación con los resultados obtenidos.

#### **20.1.1 Consideraciones para la Evaluación Financiera**

La Evaluación Financiera se realizó a precios de mercado y en valores corrientes. Se consideraron todos los costos como valores del año cero y se incrementaron a una tasa anual de 2,5%.

En la Evaluación Financiera, constan: el análisis correspondiente a los egresos por inversión; y, los egresos correspondientes a la operación y mantenimiento de la planta en un período de 20 años. De esta manera se establecieron los presupuestos de funcionamiento con que se estima operará la planta durante una vida útil de 20 años, considerando además dos años de construcción.

En la estimación de los ingresos y egresos para la evaluación financiera se realizó mostrando el comportamiento del flujo de fondos en los escenarios sin proyecto y con proyecto al año 20. Las cifras se estimaron con base en la revisión de los costos actuales de la Planta Bellavista; y, las proyecciones de la Consultora, para el costo total con el proyecto propuesto.

Para este período de análisis se estima la tarifa promedio necesaria, por estratos, para un equilibrio financiero del sistema de agua, con valores calculados con base en los precios unitarios en dólares de los Estados Unidos de América, de julio-diciembre de 2016.

#### **20.1.2 Consideraciones para la Evaluación Económica**

Para efectuar la Evaluación Económica del proyecto, se utilizó el Método Costo-Beneficio que se basa en determinar la rentabilidad económica de un proyecto de inversión pública a partir del flujo de

beneficios económicos y costos económicos incrementables, sobre cuya base se calculan los indicadores de rentabilidad, que dan como resultado los beneficios netos económicos.

Los factores de corrección (FC) empleados en esta evaluación fueron:

- FC de bienes nacionales: Los bienes y servicios no transables, cuya producción es nacional.
- FC de bienes de origen importado: Los bienes y servicios transables, cuya producción es importado.
- FC de mano de obra calificada: Salarios de la mano de obra calificada: están afectados por el impuesto a la renta.
- FC de mano de obra no calificada: Salarios de la mano de obra no calificada: el factor de corrección dependerá de la zona geográfica donde se ejecute el proyecto.

La evaluación económica a precios de eficiencia, fue calculada luego de obtener la evaluación financiera.

## **20.2 INVERSIONES, COSTOS DE OPERACIÓN Y DE MANTENIMIENTO**

En congruencia con la modalidad internacionalmente aceptada en el ámbito de servicios de agua potable, los egresos fueron clasificados de acuerdo su objeto. En consecuencia, los egresos fueron clasificados en los siguientes grupos:

- De inversiones en el año cero
- De inversiones en la operación del proyecto
- De capital
- Financieros

Los Costos por m<sup>3</sup> de agua producida, proporcionados por la EPMAPS, están en el orden de entre 0,017 y 0,022 dólares por mes. Dependiendo el caudal recibido y tratado.

## **20.3 PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE**

La Planta Bellavista pertenece al Sistema de Agua Potable Bellavista que está integrada por cinco plantas: Bellavista, Noroccidente, Rumipamba, Uyachul y Gualea.

Al año 2015 la Planta Bellavista registrada una producción anual de 84´061.142 m<sup>3</sup> representando su importancia en el sistema con una participación del 93,21% como puede observarse en el cuadro No. 20.1.

**Cuadro No. 20.1. Producción agua potable Unidad Sistema Bellavista**

PLANTA	PRODUCCION	PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN
	(m <sup>3</sup> )	
Bellavista	84.061.142	93,21
Noroccidente	4.671.277	5,18
Rumipamba	1.077.424	1,19
Uyachul	187.192	0,21
Gualea	184.556	0,20
<b>TOTAL</b>	<b>90.181.591</b>	<b>100,00</b>
Fuente: Informe anual EPMAPS 2015		

La producción de agua potable de la ampliación de la Planta Bellavista equivaldría a 42.030.571 m<sup>3</sup> adicionales. Esto daría una oferta total anual constante de 126.091.713 m<sup>3</sup> en el período de vida del proyecto, con un promedio mensual de 10.507.643 m<sup>3</sup>.

Se considera el año 2015 un valor de distribución de 81.404.810 m<sup>3</sup> como arranque de la Planta Bellavista, en el año 1, para la estimación en el Flujo Neto de Fondos del proyecto.

#### **20.4 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE**

Para el cálculo de la demanda de agua potable, se consideró: la población del área de influencia del proyecto; la estratificación socioeconómica de la población en función de la sectorización económica del suelo urbano del DMQ; los sectores económicos comercial e industrial en función de la población; y, además, las instituciones de servicio público.

La población del área de influencia corresponde a 11 sectores de la parte norte de la ciudad de Quito y a 6 parroquias del DMdeQ y para el año 2039, año 20 del proyecto, el número de familias será de 348.864.

Dada la característica de la Planta de Tratamiento Bellavista, la población es la misma, se realice o no la ampliación, por ser la única planta oferente de agua potable para este sector de la población.

La estructura porcentual de los demandantes es la siguiente:

- Consumo doméstico 79,13% año máximo consumo
- Comercio 13,16%
- industria y sector público en general 7,70%
- **TOTAL 100,00%**

Para en análisis del Flujo Neto de Fondos, se consideran constantes los consumos relacionados a comercio e instituciones del sector público, en tanto que las que sí tendrán variación en el transcurso de los años será el consumo doméstico.

## 20.5 INGRESOS

Dado que los valores residuales se los considera de valor cero, los únicos ingresos incrementales por efecto de la ampliación de la planta de tratamiento de agua potable Bellavista, a tomarse en cuenta en el Flujo Neto de Fondos, son los provenientes del consumo estimado de agua potable, relacionado a la demanda de las familias. Lo que corresponde al consumo por Comercio, industria manufacturera e instituciones públicas se considera constante en el tiempo, utilizándose en la estimación del Flujo Neto de Fondos sin proyecto.

En consecuencia, los ingresos y egresos fueron clasificados en los siguientes grupos:

- Por consumo doméstico: considerando lo establecido en el pliego tarifario de la EPMAPS para la estimación sin y con proyecto.
- Por consumo por comercio, industria manufacturera, instituciones públicas: considerando lo establecido en el pliego tarifario de la EPMAPS para la estimación sin proyecto

### TARIFA

Para la estimación de los ingresos del proyecto, se consideró que el precio de venta de agua responde a una política de precios municipales que se mantienen inalterables a lo largo del tiempo e incluso se subsidia, a un sector de la población, de acuerdo a un tipo preestablecido de consumidor considerando su condición socioeconómica. Esto quiere decir, que a valores corrientes los ingresos se mantienen y solamente se observa un crecimiento por las nuevas conexiones de agua potable, empujados por la demanda.

De una muestra, tomada al azar, de consumidores de agua potable de la Planta Bellavista entre los años 2013 y 2016, se establece que el precio por m<sup>3</sup> permanece constante: con subsidio entre USD 0,35 y 0,46 por m<sup>3</sup>; y, sin subsidio entre USD 0,73 y 0,77 por m<sup>3</sup>, observando la política de precios emitida por el DMQ.

Para la estimación de ingresos relacionados a la población de área de influencia del proyecto, observando el comportamiento poblacional, se estimó un consumo anual promedio de 252 m<sup>3</sup> por familia a un precio promedio de USD 0,478 por m<sup>3</sup> que, de acuerdo a la información proporcionada por la EPMAPS, corresponde al promedio ponderado de los metros cúbicos domésticos facturados en la ciudad (USD 45.199.512 / 94.613.003 m<sup>3</sup>) en el año 2016.

En el cuadro No. 20.2 se presenta el Pliego Tarifario establecido por la EPMAPS, sobre consumos: doméstico, oficial y municipal, vigente a partir de consumos de junio de 2015.

**Cuadro No. 20.2. Pliego Tarifario EPMAPS**

<b>CONSUMOS: DOMÉSTICO, OFICIAL Y MUNICIPAL</b>						
<b>VIGENTE A PARTIR DE CONSUMOS DE JUNIO DE 2015</b>						
<b>CARGO FIJO POR CONEXIÓN USD</b>	<b>RANGOS DE CONSUMO</b>					
	<b>0 – 11 m<sup>3</sup></b>		<b>12 – 18 m<sup>3</sup></b>		<b>&gt; 18 m<sup>3</sup></b>	
	<b>Tarifa Básico USD</b>	<b>Tarifa Adicional USD</b>	<b>Tarifa Básico USD</b>	<b>Tarifa Adicional USD</b>	<b>Tarifa Básico USD</b>	<b>Tarifa Adicional USD</b>
2.10	0.00	0.31	3.41	0.43	0.42	0,72
<b>CUADRO N° 2</b>		<b>CUADRO N° 3</b>				
<b>PLIEGO TARIFARIO CONSUMO COMERCIAL E INDUSTRIAL</b>		<b>Descuentos por condición socioeconómica en función de la sectorización económica del suelo urbano del DMQ</b>				
<b>CARGO FIJO POR CONEXIÓN USD</b>	<b>TARIFA USD/m<sup>3</sup></b>	<b>Sector Económico</b>	<b>Descuentos</b>	<b>Sector Económico</b>		
2.10	0.72	9	22,00%	Bajo		
		8	22,00%	Bajo-medio		
		7	10,00%	Bajo-alto		
		6	10,00%	Medio-bajo		
		5	5,00%	Medio		
		4	0,00%	Medio-alto		
		3		Alto-bajo		
		2		Alto-medio		
		1		Alto		

Fuente: Oficio N°: EPMAPS-GTIE-2016-561

## 20.6 FUENTES DE FINANCIAMIENTO PARA EL PROYECTO

Debido al estrecho margen financiero que se identifica principalmente en instituciones como la ejecutora de este proyecto, para la realización de las obras propuestas de carácter social, como la del presente estudio, es necesario el aporte de financiamiento de otros agentes financieros interesados en este tipo de proyecto. La alternativa considerada fue el financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

El BID es un agente financiero interesado en la consecución de dicho proyecto. La EPMAPS vislumbra que el BID aporte los recursos necesarios para el proyecto, dentro de un paquete de inversiones que tiene la EPMAPS para los próximos años. Al respecto ya mantiene conversaciones con dicha Agencia y continuarán con reuniones de trabajo en marzo de 2017. De concretarse las negociaciones, el aporte de la Agencia para el proyecto será del 82,29% y la EPMAPS deberá asignar en su presupuesto el 17,71%.

Tomando en cuenta que el costo total del proyecto asciende a USD 9.113.703, su financiamiento será de la siguiente manera:

Préstamo BID	USD 7,5 millones	(82,29 %)
Aporte Nacional	US\$ 1,6 millones	(17,71 %)

El aporte nacional estará constituido por la asignación presupuestaria de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.

Las características del crédito son:

Monto:	USD 6.800.000
Plazo:	20 años, con 5 años de período de gracia
Tasa de interés:	6,25%. LIBOR más 0,5% de margen
Comisión de compromiso:	0,75% sobre saldos no desembolsados
Amortización del crédito:	30 cuotas semestrales, iguales, desde el año 6.

Una vez identificada la posible fuente de financiamiento, se diseñó un modelo financiero que consideró como objetivo principal minimizar las aportaciones institucionales, sobre la base de su capacidad real de endeudamiento y de crecimiento en sus ingresos. Como alternativa viable se presenta en el Flujo Neto de Fondos, aquél que se caracterizó como la mejor combinación de recursos.

## CONCLUSIONES A LA SOLICITUD DEL PRÉSTAMO

La ejecución del proyecto, dada la falta de disponibilidad de fondos en la EPMAPS, demanda de recursos internos y externos, por lo que es necesario recurrir a la contratación de un crédito internacional, buscando la alternativa más conveniente a los intereses del organismo ejecutor. Con los organismos internacionales los únicos términos negociables son el plazo y la tasa de interés.

Los términos y condiciones financieras constantes en la tabla de amortización elaborada son las que actualmente rigen en el mercado de capitales del BID.

Los préstamos que conceden los organismos internacionales de desarrollo cubren únicamente hasta el 85% del costo del proyecto, el 15% restante para completar el financiamiento total del proyecto, exigen se cubra con recursos internos en calidad de contraparte nacional.

La programación del servicio de la deuda es estable para toda la vida del préstamo del BID. Revisada la TIR del préstamo del BID es conveniente.

## 20.7 RESULTADOS DE LA RENTABILIDAD FINANCIERA Y ECONÓMICA

La evaluación financiera y la económica del proyecto se basaron en el cálculo del Valor Neto, la Tasa Interna de Retorno y la Relación Beneficio Costo, sobre el periodo de inversión (año cero) y los flujos de operación considerados entre los años 1 y 20.

La tasa nominal o tasa de descuento para la estimación de los indicadores de rentabilidad financiera se estimó así:

Tasa real	8,50%
Inflación	1,50%
Tasa nominal= $(1+tasa\ real)*(1+inflación) - 1$	10,13%

Para la evaluación económica se consideró la tasa de actualización del 12% que es la recomendada por los organismos de financiamiento.

### 20.7.1 Resultados de la Evaluación Financiera Sin y Con Financiamiento

Analizada la evaluación financiera sin financiamiento, los resultados demuestran que el proyecto es rentable financieramente, con un VAN de USD 4.022.331; una TIR de 27,13%; y, una relación B/C de 3,95. Esta rentabilidad del proyecto es un caso atípico y obedece a que el fuerte de las inversiones realizadas en la planta actual, no se pueden considerar en la ampliación de la planta. Es un proyecto en marcha. En su análisis se tomaron únicamente los ingresos y egresos incrementales, así como la inversión incremental.

El apalancamiento de la rentabilidad financiera, se da por lo indicado respecto de las inversiones ya realizadas en la planta actual.

**Cuadro No. 20.3. Resultados sin financiamiento**

VAN sin financiamiento	4.022.331
TIR sin financiamiento	27,13%
B/C sin financiamiento	3,95

Fuente: Elaboración propia

Dado que la EPMAPS no cuenta con los fondos necesarios para la ejecución del proyecto, la alternativa es el financiamiento que otorga el BID. Con esa alternativa de financiamiento se elaboró el Flujo Neto de fondos con financiamiento, obteniéndose un VAN de USD 7.456.905; una TIR de 43,86%; y, una relación B/C de 11,25. Los resultados de los indicadores financieros son superiores a los presentados sin financiamiento, dado que en el año cero hay un menor valor a recuperar por efectos del financiamiento.

**Cuadro No. 20.4. Resultados con financiamiento**

VAN con financiamiento	7.456.905
TIR con financiamiento	43,86%
B/C con financiamiento	11,25

Fuente: Elaboración propia

### 20.7.2 Resultados de la Evaluación Económica

El análisis económico del proyecto de ampliación de la planta agua potable Bellavista contempla que las inversiones sean de interés para la sociedad, pues es ésta quien, en última instancia, proporciona los recursos; y, por lo tanto, los beneficios del proyecto de ampliación de la planta de agua potable

Bellavista se refieren al bienestar social. Esta inversión permitirá al Gobierno Seccional por intermedio de la EPMAPS seguir determinadas políticas.

Para la elaboración del Flujo Neto de Fondos, se desglosaron los costos de inversión, conforme al Cuadro No. 20.5.

**Cuadro No. 20.5. Costos obra civil a precios de mercado para evaluación económica**

Mano de obra no calificada	419.973
Mano de obra calificada	497.458
Componente nacional (BNT)	1.472.434
Componente importado (BT)	5.204.889
Costos indirectos	1.518.950
<b>TOTAL</b>	<b>9.113.703</b>

Fuente: Diseño del proyecto

Los resultados de la evaluación económica sin financiamiento, demuestran que el proyecto es rentable, con un VAN de USD **7.269.058**; una TIR de **39,17%**; y, una relación B/C de 6,19.

**Cuadro No. 20.6. Resultados de la evaluación económica sin financiamiento**

<b>VAN sin financiamiento</b>	<b>7.269.058</b>
<b>TIR sin financiamiento</b>	<b>39,17%</b>
<b>B/C sin financiamiento</b>	<b>6,19</b>
<b>Tasa Referencial</b>	<b>12%</b>

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores financieros del Flujo Neto de Fondos de la evaluación económica con financiamiento, dieron un VAN de USD 11.001.024; una TIR de 98,19%; y, una relación B/C de 37,89, demostrando la bondad del proyecto.

**Cuadro No. 20.7. Resultados de la evaluación económica con financiamiento**

<b>VAN con financiamiento</b>	<b>11.001.024</b>
<b>TIR con financiamiento</b>	<b>98,19%</b>
<b>B/C con financiamiento</b>	<b>37,89</b>
<b>Tasa Referencial</b>	<b>12%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 20.8 CONCLUSIONES

- La evaluación financiera demuestra que una vez estimados los ingresos y los egresos incrementales de la ampliación de la planta de agua potable Bellavista es viable financieramente.
- La evaluación económica, también demuestra, que en el proyecto de ampliación de la planta de tratamiento de agua potable Bellavista, existen beneficios sociales que pueden ser medidos en unidades económicas, permitiendo contar con un criterio objetivo de apoyo en la toma de decisiones de inversión.
- Para la ejecución de la ampliación de la planta de tratamiento de Agua Potable Bellavista, se prevé la

necesidad de realizar las inversiones del proyecto PRO.

- d) Este estudio recomienda se impulse la construcción de la ampliación de la planta de tratamiento de agua potable Bellavista, por ser financieramente y económicamente factible de realizar y por cuanto llegará a cubrir una demanda insatisfecha en el área de influencia de la planta de tratamiento de agua Bellavista a partir del año 2021.

## **21 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Considerando que la Ampliación de la PTAP responde a la misma línea de tratamiento que la existente, el Manual de Operación y Mantenimiento se basó en el que la EPMAPS ha venido utilizando desde el inicio de operaciones de la planta, el que fue actualizado por la Consultora en donde se incluyeron tiempos de ejecución de determinadas tareas.

## **22 CANTIDADES DE OBRA, ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA**

El costo del proyecto y sus componentes, se encuentran estructurados en dos grandes bloques de inversión:

- El primero es el requerido para ejecutar o construir las obras o partes de ellas (costos directos e indirectos de obras civiles, materiales, suministros, equipos y accesorios); y,
- El segundo para cubrir las variables directamente involucradas (fiscalización, ambientales, terrenos, puesta en marcha, etc.).

En este acápite se define la categoría de las inversiones o costos iniciales presupuestos de construcción; costos ambientales; previstos como componentes de presupuesto e inversiones.

### **22.1 CANTIDADES DE OBRA**

Para el cálculo de las cantidades de material y equipamiento en cada uno de los componentes y elementos del proyecto, se utilizó la siguiente información:

- Planos de diseño de cada uno de los componentes y elementos del proyecto;
- Listado de equipos mecánicos;
- Listado de equipos eléctricos e instrumentación requeridos;

Para cada uno de los elementos de obra se calcula el volumen y cantidad de obra a ejecutar, estos cálculos se sujetan a lo previsto en planos y a las Especificaciones Técnicas, en las que se define con claridad los criterios de medición de cada rubro.

### **22.2 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

Para establecer los costos unitarios de los rubros se tomó la base de datos de precios de la EPMAPS, realizando los análisis de precios unitarios (APU) de rubros nuevos con el programa PROEXCEL, manteniendo la misma estructura de los de la Empresa Pública.

Algunos APU de la base de datos de la EPMAPS fueron actualizados con las cotizaciones obtenidas de proveedores, realizadas a la fecha.

Los costos indirectos se han justificado adecuadamente, estableciendo un valor del 20% por este concepto, similar a lo estimado por la EPMAPS en su base de datos.

### 22.3 PRESUPUESTOS

En esta actividad se establecieron los rubros que forman parte de las obras civiles, así como de equipos e instrumentos de las unidades de tratamiento, tanto de agua potable como de lodos, a fin de establecer el presupuesto de las inversiones. Se determinó los volúmenes de obra y los precios unitarios de cada uno y se preparó los presupuestos según los componentes de las inversiones que son: la ampliación de la PTAP, planta de tratamiento de lodos (PTL), el sistema contra incendios y las adecuaciones en la casa de cloración para prevenir fugas.

Se desarrollaron cuatro fórmulas de reajuste de precios y el Estudio de Desagregación Tecnológica de cada presupuesto.

En el siguiente cuadro se presenta un resumen de los costos de inversión del proyecto:

**Cuadro No. 22.1. Resumen del presupuesto**

<b>COMPONENTE</b>	<b>COSTO</b>
AMPLIACION PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	6.472.465,95
PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS	2.434.941,10
CASETA DE CLORACION	177.034,16
SISTEMA DE PREVENCION Y PROTECCION DE INCENDIOS	29.261,64
<b>TOTAL</b>	<b>9.113.702,85</b>

Fuente: Presupuesto del proyecto

Adicionalmente, con el fin de que la EPMAPS cuente con elementos para proteger las unidades de la ampliación ante una eventual caída de ceniza por erupción volcánica, se procedió a presupuestar un sistema de carpas de lona con estructura de tubo de HG, que se instalarán en caso de emergencia. El costo de estos elementos es de USD 93.657,25.

### 22.4 FÓRMULAS POLINÓMICAS

Para cada uno de los componentes de inversión se realizó la respectiva fórmula de reajustes de precios.

- Ampliación de la PTAPB
- Planta de tratamiento de lodos
- Sistema de prevención y protección de incendios
- Casa de cloración

## 22.5 CRONOGRAMAS

A base de la información de los diseños, la metodología de trabajos, los rendimientos de mano de obra y equipos, así como las condiciones del medio, se prepararon los Cronogramas de Obra, estos son cronogramas generales (macro) que hacen hincapié en la planificación estratégica y las metas a conseguir. Según la planificación los plazos de ejecución de las obras son:

- Ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable: 20 meses.
- Planta de Tratamiento de Lodos: 9 meses.
- Sistema Contra Incendios: 3 meses.
- Caseta de cloración: 3 meses.

## 23 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En el capítulo correspondiente a la Evaluación Económica y Financiera se realiza un análisis de los costos de operación y mantenimiento, de donde se extrae la siguiente información.

### COSTOS DE PERSONAL

El costo y distributivo de personal para el escenario sin proyecto se proyectó en base al número actualmente observado de 34 empleados para la Planta Bellavista, dato registrado en la EPMAPS.

Los costos de personal que en lo relacionado a sueldos y salarios, se mantiene constante con una tasa de crecimiento de 2% en la proyección hasta el año 20 sin y con proyecto. El supuesto es, que el número de 34 empleados permite manejar la producción de 3.000 o 4.500 l/s; por constituir un solo cuerpo de producción la Planta Bellavista.

### ENERGIA ELECTRICA

El costo de energía eléctrica, toma como base el observado en el escenario sin proyecto y se incrementa un 50% anual en el escenario con proyecto. Esta cifra es la estimada por la Consultora para el nuevo proyecto con base en la potencia de los equipos y las horas de bombeo. Se considera que los costos se incrementarán en 1,5% anual. El resultado de este supuesto, es que el gasto incremental en energía eléctrica, está en función del caudal de agua recibida y producida. El cuadro No. 23.1, resume los kw-h y sus costos

**Cuadro No. 23.1. Consumo de energía eléctrica**

Rubros	kW-h	USD
Energía consumida respecto de 3.000 l/s año 2015	983.243	23.161
Energía a consumir respecto de 1.500 m3	491.621	11.580
Energía a consumir respecto de 4.500 m3	1.474.864	34.741
Fuente: Informe anual EPMAPS 2015 y proyecciones		

## INSUMOS QUIMICOS

Con datos obtenidos de la información entregada por la EPMAPS se presentan en el cuadro No. 20.7 los insumos químicos para el tratamiento del agua de la Planta Bellavista con la situación sin proyecto.

Con la situación con proyecto, el costo de los insumos químicos, es proporcional a la distribución anual del agua, de acuerdo al diseño del proyecto.

**Cuadro No. 23.2. Costo total anual de insumos**

<b>Químicos planta actual</b>	<b>kg</b>	<b>USD</b>
Sulfato de aluminio	3.833.492	747.531
Cloro gas	174.493	189.541
Polímeros	17.000	92.924
	<b>TOTAL</b>	<b>1.019.996</b>
Fuente; Información de la EPMAPS y diseño del proyecto		

## OTROS COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Otros costos de operación y mantenimiento, respecto de materiales y suministros se estimó, con base en los registros de la planta actual Bellavista y comprenden los rubros de: transporte contratado, vigilancia contratada, contratos limpieza, combustibles, mantenimiento de vehículos y aquellos relacionados a análisis de laboratorio, que equivalen a la cifra anual de USD 103.658.

## 24 ESPECIFICACIONES TECNICAS

En el Anexo “Especificaciones Técnicas” se presentan las especificaciones generales y particulares de los rubros de construcción de obras civiles, equipos, instrumentación, válvulas, accesorios, tuberías, etc., basadas en las especificaciones de la EPMAPS, aplicadas al proyecto actual.

Para los rubros nuevos, no contemplados en el documento de la EPMAPS, la Consultora desarrolló las respectivas especificaciones.

## 25 DISPONIBILIDAD DE LOS TERRENOS (EXPROPIACIONES)

Los terrenos en los que se implantarán las obras de ampliación de la PTAP-B y la planta de tratamiento de lodos son propiedad de la EPMAPS, por tanto no se requiere expropiar ningún terreno adicional.

## 26 CONTROL DE CALIDAD

Los diseños se han ejecutado con aplicación de las Normas de Diseño de Sistemas de Agua Potable de la EPMAPS, la Norma CO.10.07 – 601 del Código Ecuatoriano para el Diseño y Construcción de Obras Sanitarias, así como los manuales EPMAPS para evaluación económica – financiera, para estudios ambientales, para levantamientos geológicos – geotécnicos, de gestión de riesgos y las normas de dibujo para la elaboración de planos digitales de sistemas de agua potable de la empresa pública.

Los informes y documentos desarrollados en los estudios han pasado por control de calidad, basado en las normas y reglamentación enunciada anteriormente, dentro de un proceso desarrollado por la Consultora.

## **27 PLAN DE OBRAS Y TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION**

Se realizó de manera detallada la organización, los procesos de construcción, equipos necesarios, plazos, medidas de protección, etc., que facilitará al Constructor a preparar su propia metodología de construcción

## **28 ESTUDIO DE VULNERABILIDAD Y RIESGO**

Se realizó el análisis de Riegos para la ampliación de la PTAP-B, considerando procesos Geofísicos y Morfoclimáticos, de donde se toman las siguientes conclusiones y recomendaciones:

### Conclusiones

- Ante la eventual erupción de los volcanes Antisana, Cotopaxi, Reventador y Guagua Pichincha, se espera caída de ceniza con espesor inferior a 5 cm.; en la erupción del volcán Reventador (03/11/2002) se suspendió el bombeo en la planta de tratamiento Bellavista, por falta de energía eléctrica. Considerando la intensidad y frecuencia de los procesos eruptivos, el peligro volcánico ante la potencial reactivación del volcán Reventador es Medio, en el caso de los volcanes Cotopaxi y Guagua Pichincha es Bajo-Medio y por erupción del volcán Antisana el peligro es bajo.
- La ciudad de Quito se encuentra en una zona sísmicamente activa, históricamente se han registrado ocho sismos con intensidad superior a grado VII en la escala de Mercalli; el tiempo transcurrido entre eventos fluctúa entre los 24 hasta los 199 años, el período de recurrencia promedio de sismos importantes es de 42 años; la aceleración de la gravedad (z) es de 0,40 g. El peligro sísmico en la ciudad de Quito es alto.
- En el área de influencia directa no se visualizan procesos morfoclimáticos, el peligro por este tipo de procesos es bajo. El peligro se incrementa en la fase de construcción por la excavación que genera desplomes desde los taludes, para la planta de tratamiento de lodos
- En caso de terremoto, los potenciales daños en la planta de tratamiento de agua Bellavista, son: derrumbe de cubiertas y pilares interiores, ruptura de cañerías y conductos, olas en embalse de agua cruda. La vulnerabilidad física ante un terremoto (superior a grado VIII), los elementos más vulnerables son las tuberías por ruptura de accesorios y el sistema SCADA por suspensión de energía eléctrica.
- Los daños esperados ante procesos eruptivos, son: inutilización de los filtros por arrastre de ceniza, contaminación en estanques de coagulación, contaminación de tanque de agua cruda (falta de agua para tratamiento). La vulnerabilidad física en caso de erupciones volcánicas, se relaciona con la suspensión de energía eléctrica que interrumpe el funcionamiento de las bombas dosificadores erupción del volcán Reventador) y el sistema de comunicación de igual forma por falta de energía eléctrica.

- Los procesos morfoclimáticos no son importantes en el área de influencia directa. La vulnerabilidad física es baja, el canal de distribución de agua cruda, está expuesto a contaminación por arrastre de sedimentos en caso de lluvias extraordinarias.
- La ampliación de la planta de tratamiento de Bellavista, no está expuesta a inundaciones.
- El riesgo volcánico es medio, para los siguientes elementos: canal agua cruda, tubería lavado aire/agua, bombas dosificadoras, sistema SCADA y clarificadores; riesgo volcánico bajo tienen los siguientes componentes: tubería tanque CI-tanque reserva y cámara de contacto CI.
- El riesgo sísmico es medio-alto en los siguientes componentes: canal agua cruda, tubería tanque CI-tanque reserva, tubería lavado aire/agua, bombas dosificadoras y sistema SCADA; riesgo Medio, los siguientes componentes: clarificadores y cámara de contacto CI.
- El riesgo por procesos morfoclimáticos es bajo en todos los componentes del sistema, un grado de vulnerabilidad más relevante presenta el canal agua cruda y cámara de contacto CI.

#### Recomendaciones

- Para evitar la suspensión de sistema de comunicación y accionar de bombas eléctricas, es necesario disponer de abastecimiento autónomo de energía eléctrica, el generador debe tener suficiente capacidad para abastecer de energía a la planta de tratamiento Bellavista.
- Los accesorios (codos, acoples) de las tuberías deben ser de material flexible (tipo acero soldado), para evitar daños mayores.
- Las estructuras de hormigón, deben tener la filosofía de sismoresistentes.
- Ante la posibilidad de caída de ceniza en las estructuras expuestas al ambiente que contienen agua, se debe disponer de carpas plegables para protegerles de la caída de ceniza.
- Las excavaciones deberán ser ejecutadas hasta la cota indicada en los planos, dejando taludes remanentes uniformes, deberá evitarse excavaciones más allá de esa línea. Tomar precaución para evitar fractura de las rocas remanentes en taludes excavados.
- Tomar precauciones para que el material depositado en las áreas de deposición de escombros no cause daños, por deslizamientos o erosión hídrica tipo escurrimiento superficial del agua.

La PTAP de Bellavista, que viene operando desde el año de 1990, cuenta con un Plan de Emergencia y Contingencia del año 2014, sin embargo la EPMAPS ha elaborado una nueva versión en marzo de 2016, la misma que no ha entrado oficialmente en vigencia.

En este sentido, la Consultora desarrolló un alcance al nuevo plan de emergencia y contingencia, en donde se recomienda incorporar al mismo lo siguiente:

#### **PROTOCOLOS DE INTERVENCIÓN ANTE EMERGENCIAS**

En el numeral 10.5. PROCEDIMIENTOS DE RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS SEGÚN LA MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.

Se debe incorporar el derrame de hidrocarburos.

## **PELIGROS NATURALES**

Como alcance al numeral 5 PELIGROS NATURALES del Plan de Emergencia de la Planta Bellavista, se debe incorporar:

Erupciones volcánicas

En el área de filtros colocar una cubierta, para evitar la caída de ceniza y la obstrucción de los filtros.

En caso de interrupción de energía eléctrica, si la caída de ceniza es ligera encender el equipo de generadores.

En el caso de la Planta de Bellavista, el único peligro es la caída de ceniza, no existe la exposición a lahares ni flujos de lodo secundarios.