

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO “PLANTA DE AGUA POTABLE DEL SISTEMA CULEBRILLAS, CIUDAD DE CUENCA”

Los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la ciudad de Cuenca – II Etapa, dentro de su propuesta de mejoramiento del sistema de agua potable de la ciudad, en su capítulo 7 presentan los diseños conceptuales de las plantas de potabilización; y, específicamente en el numeral 7.3.3 consta la planta de agua potable del sistema Culebrillas.

El presente estudio cumple con el objetivo de presentar los diseños definitivos de la nueva Planta de Tratamiento del Sistema de Agua Potable Culebrillas, integrada a los tramos de conducción de agua cruda de la línea existente, y la conducción de agua tratada entre la salida de la misma con la interconexión de la conducción existente.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE CULEBRILLAS

La zona se encuentra parcialmente servida por cuatro subsistemas de abastecimientos independientes denominados: “San Pedro del Cebollar”, “Sayausi”, “San Miguel de Putushi”, “Sigcho Cocha”. A continuación se resume en el siguiente cuadro, la información pertinente:

CUADRO No. 3.1
Evaluación de los Sistemas de Agua Potable

ASPECTO ANALIZADO	SUBSISTEMA EXISTENTE			
	San Pedro del Cebollar	Duda	Sigcho	Sayausí
Año de construcción	1978	1990	1991	2000
Area servida (Ha)	1354	85	151	70
Fuente de agua	Río Sinincay	Q. Dudahuayco	R. Sininca	R. Culebrillas
Caudal medio de abastecimiento (l/s)	22	4	2	20
Condiciones operativas	Regulares	Regulares	Malas	Buenas
Calidad del servicio	Regular	Mala	Mala	Buena
Longitud total de redes	22.063	3.000	3.000	7.298
Zonas de Servicio		San Miguel de Putushi Alto, Ingapirca, La Ermita, Progreso	Sigcho	

Fuente: M. Sc. Rubén Jerves Cobo, Diseños Definitivos del Proyecto Culebrillas, Julio 2004

Según el citado estudio se deduce que los tres sistemas (San Pedro del Cebollar, San Miguel de Putushi, Sigcho Cocha) tienen deficiencias operativas, las cuales se traducen en un servicio también deficiente; de otra parte, los sistemas Duda y Sigcho, brindan una cobertura muy reducida con relación al área y población total de servicio, lo cual justifica plenamente la implementación del nuevo sistema objeto del presente estudio.

3.1.1. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA

La alternativa asumida para el diseño de la planta de tratamiento fue recomendada por ETAPA, en vista de que se han ejecutado y están operativas algunas plantas de potabilización en su jurisdicción, que han dado buenos resultados.

También la tecnología empleada ha sido empleada en varias ciudades del país con resultados exitosos.

En consecuencia la Consultora, con la aprobación de la fiscalización se adoptó por la tecnología que está implícita en la siguiente descripción.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO SISTEMA CULEBRILLAS

La planta de tratamiento Culebrillas alimentará al sistema del mismo nombre y tendrá capacidad para trabajar con un caudal de 150 l/s. Esta planta servirá a las zonas del Noroccidente de la ciudad de Cuenca que se encuentran a un nivel superior al de la planta de El Cebollar.

El río Culebrillas conocido también como Sayausid es el afluente principal del río Tomebamba y durante el periodo de 1949 a 1970 fue la fuente de abastecimiento de la ciudad de Cuenca.

Del análisis de 201 datos registrados y procesados por ETAPA durante el período 2001-2006 se concluye que el agua de esta fuente tiene un color aparente igual o inferior a 20 UC el 45,23 % del tiempo, y que el 71,36% del tiempo el color fue igual o menor que 30 UC. El máximo valor de color aparente registrado en este lapso fue de 161 UC, mientras que el valor medio alcanzó los 26,87 UC.

En cuanto a la turbiedad, en el mismo periodo, más de la mitad del tiempo (el 57,21 %), se mantuvo por debajo de 1,00 UNT y el 93,53 % alcanzó valores iguales o menores que 3 UNT; el máximo registrado fue de 19,20 UNT alcanzando un promedio de 1,48 UNT.

El pH es un parámetro que registró una amplia variación, oscilando desde un pH ácido de 6,2 hasta uno alcalino de 7,9, aunque cabe anotar que los pHs ácidos se han presentado con poca frecuencia, así por ejemplo, valores iguales o inferiores a 6,7 se presentan apenas el 5,97 % del tiempo, mientras que los valores cercanos al neutro han sido predominantes habiéndose observado que en un 54,73 % del tiempo el pH osciló entre 6,9 y 7,3 y dentro de este rango los valores entre 7,1 y 7,3 fueron los más frecuentes presentándose en un 36,8 % de los casos.

La alcalinidad de esta agua, si bien ocasionalmente ha alcanzado valores bajos con un mínimo de 15,2 mg/l como CaCO_3 , en términos generales se puede decir que es moderadamente baja ya que en el 83,08 % de los caso ha registrado un valor igual o menor que 55 mg/l, habiéndose registrado un máximo de 78,32 mg/l y un promedio de 41,74 mg/l.

En cuanto a otros parámetros, el agua tiene poca dureza registrando más del 80 % del tiempo una dureza igual o menor a 50 mg/l como CaCO_3 ; igualmente, la concentración de sólidos disueltos totales también es baja con más del 75 % del tiempo por debajo de 70 mg/l.

En el aspecto bacteriológico esta agua presenta un máximo de 2400 coliformes como NMP por 100 ml, con una media de 221.

Como conclusión se puede decir que esta agua presenta una turbiedad muy baja, un color aparente entre medio y bajo y una alcalinidad moderadamente baja aunque

suficiente para las reacciones de coagulación. Para las características de las aguas se concluye que puede emplearse la tecnología de filtración directa durante el 50 % del tiempo o más, mientras que para el resto del tiempo se requiere el empleo del tratamiento completo, de manera que la planta de potabilización se diseñará para permitir estas dos líneas de tratamiento. Por lo indicado, el proceso de tratamiento constará de:

- I. Mezcla rápida, con un gradiente de velocidad elevado para trabajar con coagulación por adsorción neutralización apropiada para la filtración directa, y que permita utilizar coagulación por barrido para el tratamiento completo.
- II. Floculación
- III. Sedimentación de alta tasa
- IV. Filtración de tasa declinante y lavado mutuo.
- V. Tanque de contacto

Para establecer los parámetros óptimos de diseño se tienen previsto efectuar varias pruebas de tratabilidad, las cuales se encuentran en proceso, y de cuyos resultados preliminares se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- I. El tiempo de floculación óptimo está alrededor de 20 minutos.
- II. El floculo logrado solo con el uso de sulfato de aluminio es muy liviano, de manera que se requiere el uso de un polímero.
- III. De la experiencia en la operación de las plantas existentes se concluye que el polímero funciona mejor como ayudante de floculación y no de coagulación.
- IV. Los resultados obtenidos con el pH natural son parecidos a los obtenidos modificando el pH tanto hacia arriba como hacia abajo, de manera que no hay una ganancia significativa modificando este parámetro.

Debido a que aun no se cuenta con resultados de las pruebas de tratabilidad, para el predimensionamiento de la planta de tratamiento de Culebrillas se han asumido los parámetros establecidas en los Planes Maestros.

A continuación se hace una breve descripción de las diferentes unidades que se han prediseñado para la planta de tratamiento:

3.2.1. Ingreso y Medición

El ingreso del agua se hace a través de una tubería de acero de 12" de diámetro provista de una válvula de mariposa y un medidor electromagnético, los cuales van alojados en una caja de hormigón armado de 2,30 m de largo, 1,85 m de ancho y 2,00 m de altura.

La velocidad del agua al ingresar por la tubería de 12" (300 mm) es:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,15}{\pi \frac{0,30^2}{4}} = 2,12 \text{ m/s}$$

La tubería de ingreso descarga a una cámara húmeda separada en dos compartimentos por una pared perforada, el primero de los cuales tiene 0,80 m de largo por 1,75 m de ancho y 3,50 m de profundidad, mientras que el segundo tiene 1,85 m de largo y el mismo ancho y alto. El paso del agua del primero al segundo compartimento se hace a través de 8 orificios de 250 mm de diámetro situados en la parte inferior del tabique de manera que la velocidad de circulación del agua del primero al segundo compartimento es:

$$A_o = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi * 0,25^2}{4} = 0,0491 \text{ m}^2$$

$$v_o = \frac{Q}{N_o A_o} = \frac{0,15}{8 * 0,0491} = 0,382 \text{ m/s}$$

Y la pérdida de carga es:

$$h_o = \frac{\left(\frac{v_o}{0,61}\right)^2}{2g} = 0,020 \text{ m}$$

A su vez, la velocidad de ascenso del agua en el segundo compartimento es:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,15}{1,85 * 1,75} = 0,046 \text{ m/s}$$

La salida de esta cámara se hace a través de un canal de 0,80 m de ancho que se inicia con un corto tramo horizontal de 1,25 m de longitud situado a 2,75 m del fondo de la cámara húmeda de ingreso. Este tramo inicial del canal de salida se comporta como un vertedero de cresta ancha en el cual se tiene una carga de agua igual a:

$$h_v = \left(\frac{Q}{1,71 * b}\right)^{\frac{2}{3}} = 0,229 \text{ m}$$

Por esta razón, el tirante de agua en el segundo compartimento de la cámara de ingreso es 2,98 m mientras que en el primer compartimento es 3,00 m, de manera que el tiempo total de residencia en esta cámara de ingreso es de 1,54 minutos.

3.2.2. Mezcla Rápida

Para la mezcla rápida del coagulante se ha prediseñado un canal inclinado de 2,00 m de longitud y 1,00 m de desnivel seguido por un canal de fondo horizontal de manera que el cambio de régimen de supercrítico a subcrítico genera un resalto hidráulico.

Para una pendiente del 50%, el calado que corresponde al caudal de ingreso, determinado por aproximaciones sucesivas utilizando la fórmula de Manning con un coeficiente $n=0,013$, el es de 0,034 m, que corresponde al calado al inicio del resalto.

Por lo tanto, la velocidad al inicio del resalto es:

$$v_1 = \frac{Q}{h_1 b} = \frac{0,15}{0,034 * 0,8} = 5,447 \text{ m/s}$$

La altura crítica en el canal es:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g b^2}} = \sqrt[3]{\frac{0,15^2}{9,8 * 0,8^2}} = 0,153 \text{ m}$$

Donde:

h_c = altura crítica, m

Q = caudal, m³/s

g = aceleración de la gravedad, m/s²

b = ancho del canal, m

La altura a la salida del resalto se obtiene con la fórmula:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_c}{h_1} \right)^3} - 1 \right) = 0,439 \text{ m}$$

El número de Froude, resulta:

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g * h_1}} = 9,38$$

Para este número de Froude, el coeficiente para calcular la longitud del resalto dado por Di Bernardo es de aproximadamente 6,2, de manera que dicha longitud es:

$$L_r = \alpha(h_2 - h_1) = 2,51 \text{ m}$$

La sección de control se coloca un 10 % más lejos, de manera que la longitud a dicha sección de control es 2,76 m.

La velocidad a la salida del resalto es:

$$v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{0,150}{0,80 * 0,439} = 0,427 \text{ m/s}$$

La energía disipada es:

$$E = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 * h_1 * h_2} = 1,098 \text{ m}$$

El tiempo de mezcla es igual a:

$$t_m = \frac{L_r}{\frac{(v_1 + v_2)}{2}} = 0,855 \text{ s}$$

Y el gradiente de velocidad resulta:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * E}{\mu * t_m}} = 3186 \text{ s}^{-1}$$

3.2.3. Floculadores

Se han prediseñado tres floculadores hidráulicos de flujo vertical, cada uno para un caudal de 50 l/s. Cada floculador consiste en un tanque de 5,70 m de ancho, 5,09 m de

largo y una altura variable entre 4,24 m y 4,07 m, con un tirante de agua de 3,70 m, en el cual se han conformado 7 canales de 0,643 m de ancho. El ancho del tanque se ha adoptado para permitir una concordancia con las dimensiones de los sedimentadores.

Cada canal está dividido en celdas de 0,50 m de ancho mediante la instalación de tabiques de PVC de 1,0 cm de espesor, los cuales irán colocados de manera que mientras unos permiten el paso del agua por la parte inferior, por el orificio ahogado que se forma entre su borde inferior y el fondo del tanque, el siguiente obliga el paso del agua por la parte superior, funcionando como vertedero sumergido, y el subsiguiente nuevamente permite el paso por la parte inferior y así sucesivamente en forma alternada.

El número de canales se ha escogido con los siguientes criterios:

1. Que la salida del agua se produzca por la pared opuesta a la de ingreso.
2. Que se tenga una separación razonable entre tabiques (0,50 m) sin bajar excesivamente la velocidad de circulación del agua en cada celda ($>0,15$ m/s).
3. Que la separación entre paredes interiores, o entre estas y las paredes exteriores, sea suficiente para permitir su construcción sin mayor problema (0,643 m).

Con la configuración indicada, el volumen útil de cada floculador es de 75 m^3 por lo que el tiempo es de detención de 25 minutos, que está en el orden del óptimo observado en las pruebas preliminares de tratabilidad.

Debido a que en general los diferentes investigadores concuerdan en que se obtienen mejores resultados en la floculación cuando se opera con gradientes de velocidad decrecientes se ha considerado una reducción del gradiente de un canal a otro en el rango recomendado por el Plan Maestro, lo cual posteriormente se ajustará en base a los resultados de las pruebas de tratabilidad. Con este criterio se han establecido 7 zonas de floculación cada una correspondiente a un canal, la primera zona se ha prediseñado con un gradiente de velocidad de 50 s^{-1} , reduciéndose el gradiente en 5 s^{-1} de una zona a otra hasta llegar a un gradiente de velocidad de 20 s^{-1} en el último canal.

Puesto que el tiempo de floculación total es de 25 minutos, el tiempo de residencia en cada canal es de 3,57 minutos.

Establecido el gradiente de velocidad que se desea obtener y conociendo el tiempo de floculación, se puede determinar la pérdida de carga en cada zona o canal.

$$h = \frac{G^2 \nu t}{g}$$

Donde:

- h = pérdida de carga en la zona, m
- G = gradiente de velocidad en la zona, s^{-1}
- ν = viscosidad cinemática, m^2/s
- t = tiempo de floculación en la zona, s
- g = aceleración de la gravedad, m/s^2

Para la separación de tabiques adoptada, la velocidad en cada celda es:

$$v = \frac{Q}{b * w} = \frac{0,05}{0,643 * 0,5} = 0,156 \text{ m/s}$$

El número total de tabiques en la zona es 9, de manera que la pérdida de carga que se requiere producir en cada tabique, independientemente de que se trate de un tabique vertedero o tabique orificio, es la novena parte de la pérdida de carga total en cada zona.

Para el cálculo de los pasos superiores se ha adoptado el procedimiento sugerido por Arboleda que consiste en asumir una carga aguas arriba del vertedero (h_1) y determinar la carga aguas abajo del mismo (h_2) por la simple resta de la pérdida en el tabique, con lo cual se obtiene la sumergencia que es la relación h_2/h_1 . Para esta sumergencia se calcula el caudal unitario por metro de vertedero con la ecuación tomada de la Hidráulica de Sotelo:

$$q = 1,84(\alpha h_1)^{3/2}$$

En la cual:

q = caudal por metro de vertedero, m^3/s

α = coeficiente, tabulado para cada valor de sumergencia

h_1 = carga aguas arriba del vertedero, m

El coeficiente α se ha establecido tomando los valores tabulados en la Hidráulica de Sotelo para una sumergencia del 90 al 99 % y determinando la curva polinómica de regresión mediante el programa Excel el cual entrega la ecuación correspondiente, debiendo anotar que el coeficiente de correlación R^2 es 0,9992 que indica un ajuste prácticamente perfecto. Obtenido el caudal unitario por metro de vertedero, se determina el ancho de vertedero necesario para el caudal, y mediante la herramienta "Buscar objetivo" del Excel se determina la carga h_1 que cumple con el ancho de vertedero (ancho del canal) adoptado. En el siguiente cuadro se resumen los valores encontrados con el procedimiento indicado.

Parámetro	Unidad	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
G	s^{-1}	50	45	40	35	30	25	20
h zona	m	0,068	0,055	0,043	0,033	0,024	0,017	0,011
h tabique	m	7,52E-03	6,09E-03	4,82E-03	3,69E-03	2,71E-03	1,88E-03	1,20E-03
Sumergen		0,9776	0,9838	0,9885	0,9920	0,9946	0,9965	0,9979
α		0,361	0,323	0,290	0,262	0,241	0,225	0,212
h_1	m	0,336	0,376	0,419	0,462	0,503	0,540	0,571

Los pasos superiores se han calculado como orificios sumergidos sin contracciones laterales ni en el fondo, utilizando la ecuación:

$$A_o = \frac{Q}{\sqrt{2g C_d^2 h_t}}$$

Donde:

A_o = área del orificio, m^2

Q = caudal, m^3/s

C_d = coeficiente de descarga

h_t = pérdida de carga por tabique, m

El coeficiente de descarga C_d para el caso de contracción incompleta de la vena se calcula con la fórmula:

$$C_d = 0,61(1 + 0,15k)$$

$$k = \frac{\text{Perímetro de la parte donde hay supesión}}{\text{perímetro total del orificio}}$$

El cálculo hay que hacerlo en dos pasos porque es necesario reajustar el valor del coeficiente C_d . Determinada el área del orificio, como se tiene el ancho del canal, queda establecida la altura del orificio.

El gradiente de velocidad en el paso por el orificio se determina con la siguiente ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{f v^3}{8 \nu R_h}}$$

En la cual:

G = gradiente de velocidad, s^{-1}

f = coeficiente de Darcy-Weisbach, varía entre 0,015 y 0,03

v = velocidad a través del orificio, m/s

ν = viscosidad cinemática, m^2/s

R_h = radio hidráulico del orificio, m

Un resumen de los resultados se muestra en el siguiente cuadro:

Parámetro	Unidad	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
A_o	m^2	0,194	0,215	0,242	0,276	0,321	0,384	0,478
C_d		0,670	0,671	0,673	0,674	0,676	0,678	0,680
h orificio	m	0,302	0,335	0,376	0,429	0,499	0,597	0,744
Velocidad	m/s	0,26	0,23	0,21	0,18	0,16	0,13	0,10
G orificio	s^{-1}	22,41	18,52	15,02	11,83	9,03	6,57	4,47

Para fines de limpieza se deja el borde inferior de los tabiques vertedero a una altura de 0,05 m del fondo del floculador, de manera que se forma un orificio de $0,032 m^2$ que representa el 10 % del área de la celda.

3.2.4. Sedimentadores

Se han prediseñado tres sedimentadores de flujo laminar cada uno con capacidad para 50 l/s. Cada sedimentador contará con dos zonas de sedimentación separadas por un canal central a dos niveles, siendo el inferior un múltiple de distribución del agua floculada y el superior el canal de recolección de agua sedimentada.

Zona de Sedimentación

La zona de sedimentación se ha prediseñado para una tasa de $120 m^3/m^2/d$, para lo cual se ha considerado el uso de placas de ABS de 1,5 mm de espesor y 1,20 m de ancho, separadas entre sí 5,0 cm e inclinadas 60° , las que conformarán módulos de

sedimentación de 1,20 m de largo, 1,00 m de ancho y 1,04 m de alto. El ancho de cada zona de sedimentación es 2,40 m.

La velocidad de escurrimiento entre placas es:

$$v_o = \frac{TS}{\text{sen } \theta} = \frac{120}{\text{sen } 60} = 138,56 \text{ m/d}$$

Donde:

TS = tasa de sedimentación, $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$

θ = ángulo de inclinación de las placas

El coeficiente ε es igual a:

$$\varepsilon = \frac{e_p}{e + e_p} = \frac{0,0015}{0,05 + 0,0015} = 0,029$$

Donde:

e_p = espesor de las placas, m

e = espaciamiento entre placas, m

El área cubierta por placas se calcula con la ecuación:

$$A_p = \frac{Q_s}{v_o \text{ sen } \theta (1 - \varepsilon)} = 37,08 \text{ m}^2$$

Donde:

Q_s = caudal del sedimentador, m^3/s

v_o = velocidad de escurrimiento entre placas, m/s

De manera que la longitud necesaria de la zona de sedimentación es:

$$L_s = \frac{A_p}{2 * b} = \frac{37,08}{2 * 2,40} = 7,73 \text{ m}$$

A esto se le añade 0,60 m que corresponden a la longitud que se pierde por la inclinación de las placas, de manera que la longitud total de la zona de sedimentación es 8,33 m que se redondean a 8,35 m.

El número de Reynolds en este caso se calcula con la siguiente expresión:

$$Re = \frac{2 * e * v_o}{\nu} = \frac{2 * 0,05 * 138,56}{86400 * 0,00000124} = 129,3$$

Que es adecuado por cuanto se recomienda que sea menor a 280.

La carga superficial equivalente, es decir, la que correspondería a un sedimentador convencional, se determina usando la expresión:

$$v_{se} = \frac{V_o}{\text{sen}\theta + \left(\frac{L}{e} - 0,013\text{Re}\right)\text{cos}\theta} = 11,52 \text{ m/d}$$

Que es adecuada.

Adicionalmente se deja una zona para ingreso al fondo de las unidades la misma que tiene 0,60 m de ancho y cuya longitud ocupa el ancho de cada zona de sedimentación.

Distribución del Agua Floculada

El ingreso del agua floculada se hará a través de un múltiple de distribución que es un ducto de 0,60 m de ancho, una altura inicial de 1,20 m y una altura final de 0,60 m, el cual contará con 20 orificios por lado conformados por manguitos hechos con tubería de PVC de 110 mm de diámetro nominal y 0,8 MPa de presión de trabajo, los cuales tienen un diámetro interior de 103,2 mm de manera que el área de cada orificio es 0,0084 m².

El caudal medio por orificio es:

$$q_o = \frac{Q_s}{N_o} = \frac{0,05}{20 * 2} = 0,00125 \text{ m}^3/\text{s}$$

Y la velocidad media en los orificios:

$$v_o = \frac{q_o}{A_o} = \frac{0,00125}{0,0084} = 0,149 \text{ m/s}$$

De manera que el gradiente de velocidad medio en el paso por los orificios es:

$$G = \sqrt{\frac{f v^3}{8 \nu R_h}} = 19,78 \text{ s}^{-1}$$

La pérdida de carga en los orificios es:

$$h_o = \frac{\left(\frac{Q}{C_d A}\right)^2}{2g} = 0,003 \text{ m}$$

El cálculo del múltiple de repartición efectuado con el procedimiento iterativo sugerido por Hudson y presentado también por Di Bernardo, y realizado considerando la mitad del múltiple, se presenta en la siguiente tabla:

Lateral N°	Q lateral	Vel lateral	Q manifold	A manifold	V manifold	(vm/vl) ²	h'f/(V _L ² /2g)	bi	(1/bi) ^{0.5}	G
1	0,00123	0,14735	0,02500	0,702	0,03561	0,05841	0,78761	1,78761	0,74793	19,37
2	0,00123	0,14756	0,02377	0,684	0,03475	0,05545	0,78318	1,78318	0,74886	19,41
3	0,00124	0,14777	0,02253	0,666	0,03383	0,05243	0,77864	1,77864	0,74982	19,45
4	0,00124	0,14798	0,02130	0,648	0,03287	0,04933	0,77399	1,77399	0,75080	19,49
5	0,00124	0,14820	0,02006	0,630	0,03184	0,04616	0,76924	1,76924	0,75181	19,53
6	0,00124	0,14842	0,01882	0,612	0,03075	0,04293	0,76439	1,76439	0,75284	19,58
7	0,00124	0,14865	0,01758	0,594	0,02959	0,03963	0,75945	1,75945	0,75390	19,62
8	0,00125	0,14888	0,01633	0,576	0,02836	0,03628	0,75443	1,75443	0,75497	19,67
9	0,00125	0,14911	0,01509	0,558	0,02704	0,03289	0,74933	1,74933	0,75607	19,71

10	0,00125	0,14935	0,01384	0,540	0,02563	0,02946	0,74419	1,74419	0,75719	19,76
11	0,00125	0,14959	0,01259	0,522	0,02412	0,02601	0,73902	1,73902	0,75831	19,81
12	0,00125	0,14982	0,01134	0,504	0,02250	0,02256	0,73384	1,73384	0,75944	19,85
13	0,00126	0,15006	0,01009	0,486	0,02076	0,01914	0,72871	1,72871	0,76057	19,90
14	0,00126	0,15029	0,00883	0,468	0,01887	0,01577	0,72366	1,72366	0,76168	19,95
15	0,00126	0,15051	0,00758	0,450	0,01684	0,01251	0,71877	1,71877	0,76277	19,99
16	0,00126	0,15072	0,00632	0,432	0,01462	0,00941	0,71412	1,71412	0,76380	20,03
17	0,00126	0,15091	0,00506	0,414	0,01221	0,00655	0,70983	1,70983	0,76476	20,07
18	0,00126	0,15108	0,00379	0,396	0,00958	0,00402	0,70603	1,70603	0,76561	20,11
19	0,00126	0,15122	0,00253	0,378	0,00669	0,00196	0,70294	1,70294	0,76630	20,13
20	0,00127	0,15131	0,00127	0,360	0,00352	0,00054	0,70081	1,70081	0,76678	20,15
	0,025								15,15422	

Como se puede observar, la diferencia de caudal entre el primer orificio y el último orificio es de solo un 2,7 %.

La relación entre la longitud del chorro al diámetro interno del orificio es:

$$\frac{x}{A_o} = \frac{2,40}{0,1032} = 23,3$$

Extrapolando de la fig. 9.24 del libro de Di Bernardo, para este valor se tiene una relación entre el radio máximo del chorro al diámetro interior de aproximadamente 4,0, por lo tanto, el radio máximo del chorro, que nos fija la altura del borde inferior de las placas de sedimentación y el inicio de la tolva de lodos, es 0,41 m.

Recolección de Agua Sedimentada

Para la recolección del agua sedimentada la literatura técnica recomienda el uso de una tasa de recolección máxima de 1,8 l/s por metro de vertedero o tubos perforados. En este caso se han escogido 7 tuberías perforadas por zona de sedimentación, de manera que se tiene una longitud total de 33,6 m de tubos recolectores y la tasa de recolección resulta de 1,488 l/s/m.

El caudal por tubo es igual a 3,57 l/s, con el cual se calcula su diámetro mediante la expresión:

$$D_t = Q_t^{0,4} = 0,105 \text{ m}$$

En la cual:

D_t = diámetro del tubo, m

Q_t = caudal por tubo, en m³/s

Se usarán tuberías de PVC de 160 mm de diámetro nominal y 1,0 MPa de presión de trabajo.

Se han considerado 15 orificios por tubo con un diámetro de 25 mm de manera que se tiene una separación de 0,16 m entre orificios, de centro a centro.

El caudal por orificio resulta 2,38E-04 m³/s y la carga sobre el orificio es:

$$h_o = \frac{\left(\frac{Q_o}{C_d A_o}\right)^2}{2g} = \frac{\left(\frac{0,000238}{0,61 * 0,000491}\right)^2}{19,62} = 0,032 \text{ m}$$

De la figura 9.102 del libro de Di Bernardo se determina que para una tasa de escurrimiento superficial de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ la relación entre la separación de los tubos y la distancia del nivel superior de las placas de sedimentación al nivel del agua debe ser como máximo 2,5, de manera que la mínima altura del agua sobre las placas sería 0,48 m. En el diseño se ha asumido una distancia de 0,60 m que sería adecuada para una tasa de hasta $150 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$.

Sistema de Recolección de Lodos

Para la recolección de lodos se ha prediseñado una tolva longitudinal por zona de sedimentación, la misma que tendrá sus paredes inclinadas a 56° , de manera que con una altura de 1,45 m de la parte inclinada de la tolva queda en el fondo una sección plana de 0,45 m de ancho.

Este fondo estará conformado por 22 losetas prefabricadas de 0,45 m de largo, 0,414 m de ancho y 0,07 m de espesor con un orificio conformado por un manguito hecho de tubería de PVC de 50 mm de diámetro nominal y 1,0 MPa de presión de trabajo, que tiene un diámetro interior de 46,2 mm.

Bajo las losetas prefabricadas se encuentra un canal rectangular de fondo inclinado, el cual tiene 0,35 m de ancho, 0,30 m de altura inicial y 0,40 m de profundidad final, de aquí el agua sale a través de un tramo corto de tubería de 300 mm de diámetro y 0,50 m de longitud equipado con una válvula de mariposa tipo lug y un codo de 90° .

La carga de agua sobre los orificios es 3,90 m y la pérdida de carga en los orificios es:

$$h_o = \frac{\left(\frac{Q_o}{C_d A}\right)^2}{2g} = 47396,2 Q_o^2$$

La pérdida de carga en el manifold es:

$$h_m = \frac{L_m}{3} \left(\frac{n * N_o Q_o}{A_m R_h^{2/3}} \right)^2 = 299,6 Q_o^2$$

La pérdida de carga en el tubo corto puede ser calculada con la misma expresión del orificio con un coeficiente C_d 0.82 (L 2 a 3D). La pérdida en la válvula de mariposa con un coeficiente $k=0,2$ y en el codo de 90° ($k=0,9$) en la expresión de las pérdidas de carga accidentales en función de la velocidad pueden ser llevadas a la misma forma de la pérdida de carga en el orificio, resultando la suma en un coeficiente $C_d=0,62$, entonces, la pérdida de carga en la tubería de salida y todos sus accesorios resulta:

$$h_{ts} = \frac{\left(\frac{N_o Q_o}{C_d A}\right)^2}{2g} = 12838,8 Q_o^2$$

Y la suma de todas las pérdidas de carga es $60.534,6 Q_0^2$, de donde sale que el caudal por orificio es $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ y la velocidad en el orificio es $4,706 \text{ m/s}$.

Para una velocidad mínima de arrastre de $0,02 \text{ m/s}$, se tiene una relación del área de influencia al área del orificio (inversa de la relación de velocidades) igual a $235,3$, de donde sale que el área del uso esférico es $0,40 \text{ m}^2$ y el diámetro de influencia en el fondo es $0,505 \text{ m}$.

La suma de áreas de los orificios es $0,0374 \text{ m}^2$ de manera que la relación de esta suma de áreas al área transversal final del manifold es $0,267$, que garantiza una recolección equitativa.

La velocidad de circulación al final del manifold es $1,257 \text{ m/s}$ y el caudal por tolva $0,176 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.2.5. Filtros

La planta de tratamiento se ha prediseñado con 6 filtros de antracita y arena, tasa declinante y lavado mutuo. El sistema de drenaje será con bloques Leopold Universal tipo SL para permitir el lavado con aire y agua.

Cada filtro se ha diseñado con un canal lateral de recolección de agua de lavado de $0,60 \text{ m}$ de ancho, separado del área filtrante por una pared de $0,15 \text{ m}$ de espesor, de manera que haciendo concordar el ancho total de los filtros con el ancho total de las unidades de sedimentación queda un ancho del área filtrante de $1,95 \text{ m}$ por filtro. Como los bloques Leopold requieren de $0,30 \text{ m}$ de ancho por hilera para su instalación, se adopta una longitud de $4,50 \text{ m}$ por filtro, de manera que el área filtrante es $8,775 \text{ m}^2$ y la tasa media de filtración $246,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$.

Lavado de los Filtros

Para determinar la velocidad de lavado de los filtros se calcula la velocidad mínima de fluidificación del medio filtrante.

El medio filtrante se ha prediseñado con una capa de arena de $0,30 \text{ m}$ de espesor con un tamaño efectivo de $0,5 \text{ mm}$, un coeficiente de uniformidad de $1,6$ y una densidad de 2650 kg/m^3 , y una capa de antracita de $0,45 \text{ m}$ de espesor, de similares características a las que ofrece Leopold, esto es de un tamaño efectivo de $1,0 \text{ mm}$, un coeficiente de uniformidad de $1,3$ y una densidad de 1650 kg/m^3 .

Para determinar la granulometría de los materiales se han establecido las ecuaciones que satisfacen las condiciones de tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad de cada material y con estas se han encontrado las fracciones entre dos tamices consecutivos de la serie granulométrica, tal como se observa en el siguiente cuadro en el que se incluye la granulometría de la grava, la cual se ha seleccionada según las recomendaciones de Leopold.

ENTRE TAMICES US STD				MEDIA GEOM.	FRACC. ENTRE	xi /di	(xi /di) ²
PASA		RETENIDO		(d1 * d2) ^{0,5}	TAMICES		
Nº	mm	Nº	mm	di (mm)	xi	mm ⁻¹	mm ⁻²
ARENA							
30	0,595	40	0,42	0,50	0,285	0,570	1,140
25	0,707	30	0,595	0,65	0,183	0,282	0,435
20	0,841	25	0,707	0,77	0,185	0,240	0,311
18	1	20	0,841	0,92	0,184	0,201	0,219
16	1,19	18	1	1,09	0,163	0,149	0,137
TOTAL					1	1,442	2,242
ANTRACITA							
18	1	20	0,841	0,92	0,101	0,110	0,120
16	1,19	18	1	1,09	0,335	0,307	0,282
14	1,41	16	1,19	1,30	0,326	0,252	0,194
12	1,68	14	1,41	1,54	0,238	0,155	0,100
TOTAL					1	0,824	0,696
GRAVA							
3/4"	19,05	1/2"	12,7	15,55	0,1667	0,011	0,001
1/4"	6,35	1/8"	3,18	4,49	0,1667	0,037	0,008
1/8"	3,18	10	2	2,52	0,1667	0,066	0,026
1/4"	6,35	1/8"	3,18	4,49	0,1667	0,037	0,008
1/2"	12,7	1/4"	6,35	8,98	0,1667	0,019	0,002
3/4"	19,05	1/2"	12,7	15,55	0,1667	0,011	0,001
TOTAL					1	0,180	0,046

Con las características de los materiales se ha calculado la velocidad mínima de fluidificación del medio granular y la velocidad de fluidificación total del medio granular. En el proceso de cálculo se han determinado el número de Galileo, el número de Reynolds y la velocidad mínima de fluidificación, con las siguientes expresiones:

$$Ga = \frac{D_{eq}^3 \rho_a (\rho_m - \rho_a) g}{\mu^2}$$

Para la arena:

$$Re = 0,5321 * Ga^{0,5554}$$

Para la antracita:

$$Re = 0,2723 * Ga^{0,6133}$$

Velocidad mínima de fluidificación de medios uniformes (retenido entre dos tamices consecutivos)

$$v_{mf} = \frac{\mu}{\rho_a D_{eq}} \left(\sqrt{33,7^2 + 0,0408 Ga} - 33,7 \right)$$

Velocidad mínima de fluidificación del medio granular no uniforme

$$v_{bf} = \frac{\mu}{\rho_a D_{eq}} \left(\sqrt{18,1^2 + 0,0192Ga} - 18,1 \right)$$

Velocidad de fluidificación total del medio granular

$$v_{ft} = \frac{\mu}{\rho_a D_{eq}} \left(\sqrt{24,0^2 + 0,0546Ga} - 24,0 \right)$$

$$D_{eq} = \frac{1}{\sum \left(\frac{x_i}{D_i} \right)}$$

$$D_i = \sqrt{D_1 * D_2}$$

En las que:

D_{eq} = diámetro equivalente, m

x_i = fracción entre dos tamices consecutivos

D_i = diámetro medio entre dos tamices, m

ρ_a = densidad del agua, kg/m³

ρ_m = densidad del medio, kg/m³

Aplicando estas ecuaciones se tiene:

$$D_{eq(arena)} = 6,93E-04 \text{ m}$$

$$v_{bf(arena)} = 3,17E-03 \text{ m/s}$$

$$v_{ft(arena)} = 6,63E-03 \text{ m/s} = 0,40 \text{ m/min}$$

$$D_{eq(antracita)} = 1,214E-03 \text{ m}$$

$$v_{bf(antracita)} = 3,66E-03 \text{ m/s}$$

$$v_{ft(antracita)} = 7,49E-03 \text{ m/s} = 0,45 \text{ m/min}$$

Entonces, la velocidad de lavado se escoge un poco mayor para garantizar una expansión adecuada.

En el siguiente cuadro se muestran los resultados del cálculo de la expansión para una velocidad de lavado de 0,60 m/min y la velocidad mínima de fluidificación de las diferentes fracciones entre tamices de ambos materiales, donde se han utilizado las siguientes ecuaciones adicionales:

$$v_s = \frac{\mu Re}{\rho_a D_i}$$

$$p_e = \left(\frac{v_L}{v_s} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

p_e = porosidad expandida

v_L = velocidad de lavado, m/s

Diámetro Medio	Fracción entre tamices	Número de Galileo	Número de Reynolds	v_s	$1/n$	Porosidad expandida	Expansión	Longitud expandida	Velocidad mínima de fluidificación
d_i (m)	x_i			m/s				m	m/s
ARENA									
5,00E-04	0,285	1315	28,722	0,0713	0,241	0,623	0,564	11,14	1,95E-03
6,49E-04	0,183	2872	44,324	0,0848	0,262	0,571	0,375	6,29	3,24E-03
7,71E-04	0,185	4826	59,134	0,0951	0,278	0,535	0,269	5,87	4,51E-03
9,17E-04	0,184	8117	78,938	0,1068	0,294	0,499	0,178	5,42	6,22E-03
1,09E-03	0,163	13663	105,408	0,1199	0,311	0,462	0,097	4,47	8,47E-03
TOTAL	1,000							33,19	
ANTRACITA									
9,17E-04	0,101	3199	38,432	0,0520	0,263	0,649	0,480	6,73	2,55E-03
1,09E-03	0,335	5385	52,891	0,0602	0,271	0,615	0,350	20,34	3,54E-03
1,30E-03	0,326	9016	72,552	0,0695	0,280	0,581	0,241	18,21	4,86E-03
1,54E-03	0,238	15123	99,638	0,0803	0,289	0,547	0,149	12,31	6,58E-03
TOTAL	1,000							57,58	

Establecida la velocidad de lavado, se determina las pérdidas de carga durante el lavado, que son las siguientes:

En el falso fondo de bloques Leopold Universal, cuando la hilera es <4,57 m:

$$h_L = 3,542 \text{ E} - 03 * q_L^{1,968} = 0,329 \text{ m}$$

En la que:

h_L = pérdida de carga en el falso fondo Leopold, m

q_L = caudal de lavado por unidad de área, l/s/m²

Para un lecho de arena de 0,30 m, la pérdida de carga durante el lavado es:

$$h_s = L (S_s - 1)(1-p) = 0,287 \text{ m}$$

Donde:

L = espesor de la capa, m

S_s = densidad relativa de la arena = 2,65

p = porosidad de la arena = 0,42.

La pérdida de carga en una capa de 0,45 m de antracita se calcula con la misma ecuación, considerando el espesor de la capa correspondiente y que la densidad relativa de la antracita es 1,65 y la porosidad de la antracita es 0,48.

$$H_c = L (S_c - 1)(1-p) = 0,152 \text{ m}$$

La pérdida de carga en la grava se calcula mediante la ecuación de Ergun:

$$h = \left(\frac{150 \mu * (1-p)^2 v \sum \left(\frac{x_i}{d_i} \right)^2}{g \rho p^3 \varepsilon^2} + \frac{1,75(1-p) v^2 \sum \frac{x_i}{d_i}}{p^3 g \varepsilon} \right) L = 0,043 \text{ m}$$

En la cual:

ε = esfericidad de la grava

3.3. DISEÑOS ARQUITECTÓNICOS

El diseño arquitectónico está llamado a visualizar las edificaciones y el ambiente del proyecto para establecer tanto el aspecto estético funcional, sugerir los materiales apropiados y ambientar las instalaciones hidráulicas y obras civiles, minimizando el impacto que un nuevo proyecto tiene sobre el ambiente natural. El diseño debe puntualizar las relaciones visuales, la escala de las edificaciones propuestas en total relación con el área adjunta a la planta, con el fin de conseguir que la obra represente un logro y un orgullo de la comunidad.

El diseño arquitectónico está llamado a proponer un adecuado espacio para que, tanto a los directivos, técnicos, como a los visitantes y en general a los habitantes del sector y de la ciudad se les permita desarrollar sus actividades como relacionar fácilmente las funciones de la planta de tratamiento con el ambiente interno y externo.

3.3.1. Edificio de administración y control

El edificio destinado a locales administrativos, sala de control, laboratorio y servicios complementarios, se encuentra lo más cerca de los procesos de tratamiento, y está integrado con las siguientes áreas:

- Acceso y recepción. Es una área de circulación que nos permite acceder de forma rápida y directa a las oficinas e instalaciones del edificio, además servirá como área de recepción para usarse en ocasiones en las que el público visita la planta, se instalará en esta zona por lo menos un gabinete contra incendios.
- Laboratorio. Para el desempeño de las labores analíticas de control de calidad del agua.
- Sala de Control. Se prevé esta área para facilitar las funciones de monitoreo y operación de la planta. Cuenta con espacio suficiente para emplazamiento de los instrumentos de registro, archivo, y mesas de trabajo. El local permite una amplia visión de las áreas de operación de la planta.
- Oficina para la jefatura de la Planta. Dispone de un espacio funcional para emplazamiento de escritorio, archivo, información técnica y de todos los elementos

necesarios para las funciones de control administrativo y de operación. Cuenta con un mirador panorámico para la supervisión integral de las instalaciones.

- Sala - comedor, cocina. Se considera necesario disponer de este servicio para atención al personal administrativo, técnico y de laboratorio.
- Mirador. Considerando que la vista que se tiene tanto para el ambiente circundante a la planta de tratamiento, como la vista panorámica del sector sur-oriental de la ciudad de Cuenca, se diseñó un mirador que cumple con esta doble función, sin incrementar sustancialmente el costo de la obra, pues utiliza la losa de cubierta del laboratorio y la sala - comedor.
- Lavabos y servicios higiénicos. Destinados al personal técnico, administrativo y de laboratorio.

3.3.2. Edificio de Químicos

Está destinado tanto al almacenamiento de productos químicos, como el sulfato de aluminio y polímeros como a los tanques de solución del sulfato para la aplicación al proceso de tratamiento de la planta.

3.3.3. Mantenimiento electrónico, control eléctrico, bodega de la planta y utilería.

En esta instalaciones se prevé el trabajo de un técnico en labores de mantenimiento, reparación y almacenamiento de componentes electrónicos del sistema de instrumentación y control; así como también el control eléctrico, para alojamiento de elementos de control y seguridad de las instalaciones eléctricas del local de laboratorio y de las otras áreas que desempeñan funciones diferentes. Se complementa con áreas de la bodega de la planta para el almacenamiento de accesorios, repuestos y herramientas indispensables para el normal funcionamiento de la planta de tratamiento; y, utilería para almacenamiento de materiales y artefactos de limpieza.

3.3.4. Instalaciones para la cloración

Luego de haber concluido el proceso de filtración, el líquido vital parará a la cámara de contacto, en la cual se procederá a dosificar el cloro para la desinfección del agua. Para ello, se prevé las instalaciones en las que se ubique el equipo de dosificación, y se almacenen los cilindros de cloro de una tonelada de capacidad

3.3.5. Casa de máquinas

En la casa de máquinas, se instalará los equipos sopladores para la alimentación de aire en el proceso de lavado de los filtros; así como también los compresores para el accionamiento de las electroválvulas y compuertas de la planta.

Igualmente en esta área se instalarán las bombas para la dosificación de cloro y los hidroneumáticos para el servicio de agua potable de la planta.

3.3.6. Tratamiento de fangos

Para el tratamiento de fangos, se contempla la unidad de clarificación de lodos, un filtro banda, banda transportadora y tolva de carga a los volquetes.

3.3.7. Caseta de generación

En esta unidad se instalará el generador de la planta el cual entrará en funcionamiento cuando se produzcan eventuales cortes de energía del servicios de la red pública.

3.3.8. Viviendas para operador y guardiana.

Se plantea una vivienda para el operador en el caso que requiera eventualmente utilizarla para cumplir las actividades en el turno de la noche, pues normalmente los mismos cuentan con el servicio de transporte proporcionado por ETAPA, hacia la ciudad de Cuenca.

En cambio para el guardián, se prevé una vivienda completa con tres dormitorios para su permanencia habitual en la planta de tratamiento.

3.3.9. Accesos, vías de circulación, áreas verdes y de parqueo.

Se plantea dos accesos y una garita en la puerta principal para guardias que permite llevar un control efectivo del ingreso a la planta.

Al ingresar por la puerta principal, se tiene acceso al edificio administrativo y control, al edificio de químicos, a las instalaciones de los diferentes procesos de tratamiento, a las instalaciones de dosificación de cloración, a la casa de máquinas, al tanque de reserva de 2000 m³, a la bodega de la planta, a la casa del operador y de guardián.

En cambio el segundo ingreso está previsto en la parte baja de la planta, para el acceso al sistema de tratamiento de fangos, caseta de generación eléctrica y fosa séptica.

3.3.10. Circulación, señalización, áreas verdes y parqueo

Todas las vías de circulación están diseñadas con anchos y radios de giro adecuados que permite fluidez en la circulación, ya sea esta de vehículos pequeños o transporte pesado de servicio o abastecimiento de productos químicos a la planta, pues se ha previsto espacios suficientes para la maniobrabilidad de los vehículos. Se ha estudiado especialmente la zona destinada a la recepción de los productos químicos, tanques de cloro y evacuación de fangos deshidratados. La señalización se realizará en las diferentes vías de circulación, así como también existirá la adecuada rotulación para la información de ubicación de las diferentes edificaciones que forman parte de la planta de tratamiento.

Se complementa las instalaciones con las áreas verdes y de parqueo, tanto para visitantes como técnicos y personal administrativo de la planta de tratamiento.

3.3.11. Diseño de obras adicionales: cerramientos.

Con el fin de precautelar las instalaciones de la planta de tratamiento, se proyectó el cerramiento que permita cumplir con el propósito señalado, a la vez que mantener un diseño arquitectónico armónico con las edificaciones interiores y el entorno de la planta de tratamiento.

3.4. DESCRIPCION GENERAL DE LAS ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION

El plan de trabajo diseñado, permitirá una adecuada secuencia de las actividades a desarrollar, con los equipos y personal asignado para el efecto.

3.4.1. Proceso constructivo y Frentes de Obra

3.4.1.1 Actividades

- a) Como paso inicial se hará una revisión completa de los diseños de las obras, mediante la confección de planos de ingeniería de detalle, tanto de las obras civiles, como de todos los

- principales equipos a ser suministrados, a fin de definir con claridad las características totales de la planta y así colocar las respectivas órdenes de fabricación.
- b) Previo al inicio de los trabajos de construcción se llevará a cabo recorridos a lo largo de los sitios de la obra conjuntamente con técnicos de la Fiscalización, a fin de definir los sitios de emplazamiento de las obras en concordancia con los planos del proyecto.
 - c) Trabajos de topografía: partiendo de los planos de coordenadas y cotas suministradas por ETAPA, se realizara el replanteo de las obras, para luego en oficina procesar la información planimetría y aifetrica, de acuerdo a lo establecido en las especificaciones técnicas, para el análisis y aprobación de la Fiscalización.
 - d) Movimientos de tierras: Se efectuaran mediante el uso de equipos mecánicos, fundamentalmente de excavadoras de orugas, se efectuara el control del agua mediante el uso de bombas de achique. La conformación de las áreas y plataformas se harán mediante el uso de tractor, motoniveladora, tanquero y rodillo.
 - e) Montajes eléctricos y electrónicos: Previo a la ejecución se prepararan planos de taller y se cuidara de contar con todos los materiales y equipos necesarios para cumplir a cabalidad con el montaje y las pruebas respectivas. Su ejecución estará a cargo de obreros especializados bajo la supervisión del Ingeniero Jefe de Frente.
 - f) Montajes mecánicos: Previo a la ejecución se prepararan planos de taller y se cuidara de contar con todos los materiales y equipos necesarios para cumplir a cabalidad con el montaje y las pruebas respectivas. Su ejecución estará a cargo de obreros especializados bajo la supervisión del Ingeniero Jefe de Frente.
 - g) Instrumentación: Su montaje estará a cargo de personal especializado bajo las normas de los suministradores de los equipos.

3.4.1.2 Frentes de trabajo

En consideración al plazo de ejecución previsto para las obras, serán dispuestos los siguientes frentes de trabajo:

- Líneas de conducción de Agua Cruda y agua tratada
- Planta de tratamiento

a) Líneas de Conducción de agua cruda y agua tratada

Las actividades de este frente de obra, arrancaran con el replanteo de la línea, a fin de verificar la información contenida en los planos de diseño. Esta información será puesta a consideración de fiscalización, para su análisis y aprobación.

Aprobado el replanteo de la línea de conducción, se dará inicio a la instalación de de tubería de hierro dúctil, estableciendo conjuntamente con la Fiscalización, tramos en los cuales se realizaran las pruebas de presión correspondientes.

Para el relleno de la zanja se utilizarán vibrocompactadores y rodillos.

Dada la pendiente transversal elevada en el tramo de llegada a la planta, el diseño considera el empleo de anclajes,

b) Planta de Tratamiento

Dentro de este frente de trabajo, la construcción de las unidades de la planta, comprenderá las siguientes actividades:

1. Aprobación por parte de fiscalización de los equipos requeridos para la planta
2. Fabricación de equipos, componentes y demás accesorios.
3. Construcción de plataformas para las estructura de llegada, unidades de Coagulación-floculación, filtración y desinfección.
4. Ejecución de cimentaciones y red de drenaje y desagües
5. Construcción de las obras civiles de los estructuras de medición, estructura de Ingreso, mezcla rápida, dosificación de químicos, floculadores, sedimentadores y Filtros, desinfección, tanque de reserva, tratamiento de fangos y edificaciones.
6. Boras exteriores
7. Montaje mecánico de los equipos de la planta
8. Instalaciones eléctricas.
9. Instalación de las redes de interconexión hidráulica
10. Instalación de tableros de control y redes de interconexión eléctrica
11. Instrumentación y control
12. Equipamiento del laboratorio
13. Pruebas de funcionamiento de la planta

3.4.2. Selección de equipos, accesorios y materiales

Considerando la enorme importancia que tienen el suministro de equipos y materiales en el proyecto, se puso gran énfasis en la selección de los fabricantes de los equipos de floculación, sedimentación, bombeo, tuberías, válvulas, medidores, dosificadores, , laboratorio, instrumentación, y más equipos y accesorios a utilizarse en la Construcción del proyecto, por lo cual garantizamos el estricto cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas y de la calidad de los suministros, que proceden de fábricas de enorme prestigio.

Por otra parte, en cumplimiento de lo establecido en las especificaciones, para las tuberías, agregados para la fabricación de hormigones, acero estructural, válvulas, accesorios, etc., se realizaran las pruebas especificadas, llevando un registro de resultados de las pruebas practicadas, que serán sometidos a consideración y aprobación de la Fiscalización del proyecto.

3.4.3. Pruebas y puesta en marcha del sistema

Las acciones de pruebas, durante y a la finalización de las obras civiles, de adecuamiento e instrumentación de acuerdo a los procesos que forman parte de las obras y especificaciones se pueden dividir en las siguientes:

3.4.3.1. Durante la Construcción:

Pruebas de estanqueidad de todas las unidades que forman parte de los diferentes procesos de la planta de tratamiento, funcionamiento de sistemas de drenaje, suministro de agua potable,

energía eléctrica, de instrumentación y proceso de instalaciones. Todo lo mencionado tendría por objetivo una corrección temprana que podrá surgir: por imprevisiones en detalle de diseño, o por necesidades en la obra que surjan por parte de ETAPA, o de la fiscalización.

3.4.3.2. Pruebas Finales.

Una vez terminada la totalidad de la obra, o al finalizar labores como: de instalación de equipos e instrumentos, accesorios que requieran el concurso de personal especializado de parte de los proveedores, se realizarán las pruebas que determinen la correcta instalación, operación y eficiencia, especialmente en lo relacionado a equipos, instrumentos e instalaciones especiales.

En el periodo final de ejecución se realizarán con el concurso de la fiscalización y de los técnicos de ETAPA, las siguientes pruebas:

- En accesorios de maniobra, de operación, mantenimiento y seguridad, conducción y planta de tratamiento
- Calibración de equipos de dosificación de productos químicos, aforos control de instalaciones especiales y sus componentes.
- Pruebas de estanqueidad en tanques de almacenamiento de productos químicos y en sus accesorios de maniobra, operación y seguridad, de carga y recepción.
- Pruebas de funcionamiento de bombas, motores, accesorios, juntas, pasamuros e instalaciones, sistemas de sujeción y anclaje. Verificación y operación de plomería menor.
- Equipos como de espesamiento y deshidratación de fangos, bombas especiales y otros serán probados posteriormente en la fase siguiente de puesta en marcha.
- Pruebas en instalaciones eléctricas de fuerza e iluminación, elementos de operación y protección.
- Pruebas de instrumentación, automatización
- Pruebas en sistemas neumáticos y eléctricos de comando.
- Correcciones de fallas y complementos finales de acabado, revestimiento y detalles.
- Pruebas de funcionamiento de equipos de laboratorio, de sus instalaciones y complementos.
- Retire de escombros y de materiales sobrantes.
- Pruebas de funcionamiento de colectores sanitarios y pluviales

De acuerdo a lo especificado el constructor dispondrá en el sitio de todos los productos químicos requeridos para prueba y puesta en marcha, repuestos, accesorios, herramientas especiales y del personal calificado de acuerdo especificado en las bases, así como de la Dirección Técnica y el control de correcciones y de sus resultados, con el fin de que la obra con todas sus partes integrantes queden a entera satisfacción del propietario.

En esta fase el Jefe de operación de la planta, conjuntamente con el Ing. Encargado de procesos, el laboratorista y el personal auxiliar ejecutarán las pruebas de dosificación y optimización de coagulantes, alcalinizantes y ayudantes en función de las variaciones de calidad del agua cruda, y se iniciarán las rutinas de control de calidad y variantes operacionales a implementarse por parte del personal técnico y de operadores.

Se entregaran a ETAPA todos los catálogos, instrucciones y recomendaciones de los fabricantes, proveedores de equipos, instrumentos, y del personal que realice el montaje e instalación de equipos especiales, como de desinfección y de seguridad, control de dosificación y residuales de cloro, espesamiento deshidratación y manejo de fangos.

Se procederá a la desinfección de todos los componentes del sistema.

Prueba de componentes emergentes: grupo generador, recepción y trasmisión de datos, instrumentación en línea.

Se iniciara la operación inicial de la planta, con el fin de disponer de agua filtrada para las pruebas de retrolavado con aire y agua. Los filtros se lavaran con la secuencia requerida y se verificara la expansión y perdida de material filtrante, se probaran todos los mecanismos de control, desagüe, lavado, producción y alimentación de aire comprimido. Se repondrá al nivel requerido el material del medio filtrante. Se mantendrá en sitio una cantidad suficiente del lote de arena con características previamente verificadas por la fiscalización.

El personal de laboratorio procederá a la preparación de reactivos y a la calibración de equipos, para todas las labores de control de calidad y variables de operación.

3.4.3.3. Pruebas de Control de Calidad.

3.4.3.3.1 El constructor mantendrá el personal especificado en las bases y previamente aceptado por ETAPA, así como los equipos y herramientas requeridos para correcciones en instalaciones, accesorios, equipos e instrumentos.

3.4.3.3.2 El personal de laboratorio dará inicio a las pruebas de control de calidad, fijando la frecuencia de análisis físico, químico, bacteriológicos, especiales y los sitios de muestreo. Se fijaran las pruebas de control rutinarias por parte del personal de operación y los métodos y prácticas de registro.

3.4.3.3.3 Se entiende que en las bases se exige que el constructor ponga en marcha y opere la planta con todos sus elementos y a caudal de diseño por un lapso que permita apreciar el correcto funcionamiento de la planta, para estas pruebas puntuales correrá a su cargo los insumos químicos, los costos de energía eléctrica, personal especializado y otros que requiera la operación normal de la planta con todas las variables que pueden surgir por cambios de calidad del agua cruda.

3.4.3.3.4 En el cálculo de costos indirectos para el componente de pruebas y puesta en marcha, se considerará el costo en cantidades suficientes para operar durante estos periodos de prueba puntuales de los siguientes productos químicos: Sulfato de aluminio, polielectrolitos tanto para ayudantes de coagulación como para ayudantes de filtración, cloro para desinfección, reactivos para laboratorio. La selección de tipo, clase, marca y procedencia de los productos químicos se realizara de mutuo acuerdo con los técnicos de ETAPA y de la Fiscalización.

Se recomienda que esta fase el personal de ETAPA realice un control de las operaciones, pruebas, y puesta en marcha de la planta y una vigilancia de la calidad del agua en la parte de la operación y proceso que considere recomendado.

3.4.3.3.5 Se pondrá igualmente en operación, por prueba durante un período que permita apreciar su funcionamiento todo el sistema de extracción y tratamiento de fangos, en forma tal, salvo, condición muy emergente que ningún efluente será descargado al río Amarillo.

3.4.3.3.6 Todos los sistemas de operación, comando, seguridad, de operación manual y remota serán operados en formas completa.

3.4.4. Control de los Procesos Constructivos

Se refiere a las principales actividades que se consideran deben ser controladas suficientemente con un seguimiento continuo en relación con el cumplimiento de las especificaciones técnicas y de las normas, reglamentos y especificaciones relativas a protección ambiental y seguridad industrial.

Para el control de los procesos menos definido los puntos de inspección, que pueden ser complementados, donde sea pertinente, con los respectivos ensayos de campo o de laboratorio, con el fin de establecer la conformidad con lo realizado.

Debemos señalar que las especificaciones de los materiales para rellenos y para fabricar concretos, etc., deben ser comprobadas mediante los ensayos respectivos antes de proceder a la compra.

Por tanto, son puntos de inspección, en los que se deberá verificar el cumplimiento de las especificaciones mediante los ensayos especificados.

Se llevará un registro minucioso de estas inspecciones y de los resultados de pruebas y ensayos, fundamentalmente de las observaciones o no conformidades presentadas, las mismas que se corregirían de inmediato.

3.4.5. Control de Equipos

Los vehículos y equipos de construcción que utilizará para la ejecución del proyecto, serán revisados totalmente antes de iniciar las labores, debiendo contarse con la garantía de su correcto funcionamiento.

Los equipos de medición y ensayos de campo serán calibrados inicialmente y revisados periódicamente para garantizar la exactitud de sus mediciones.

3.4.6. Acciones Correctivas y Preventivas

La detección de no conformidades y las correspondientes acciones correctivas y preventivas, tienen por objeto identificar los orígenes o causas de dichas inconformidades y eliminarlas a fin de que en el futuro no se vuelvan a producir.

Mediante la aplicación del un plan de aseguramiento de la calidad se determina que una actividad o un proceso constructivo no ha cumplido lo estipulado en las especificaciones técnicas y por tanto debe procederse a su corrección.

Durante la ejecución del proyecto, las no conformidades pueden presentarse fundamentalmente en:

- Materiales de construcción o elementos a instalarse que, una vez realizados los ensayos previstos y aprobada su compra, hayan llegado con defectos a la bodega o al sitio de instalación.

- Exámenes, verificaciones y/o ensayos realizados en los puntos de control con resultados insatisfactorios.
- Inobservancia de las normas de seguridad e higiene industrial.
- Inobservancia de las normas relativas a la protección del ambiente.

Luego de conocidas las inconformidades por el Superintendente de Obra, se analizarán las causas inmediatas y mediatas de las mismas, a fin de aplicar las medidas correctivas, eliminar el origen y prevenir la futura ocurrencia de las mismas.

Se llevará un archivo con las inconformidades presentadas, su análisis, la aplicación de las medidas correctivas y el resultado de las mismas.