



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

MEMORIA DE EXPERIENCIA PROFESIONAL

INFORME DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN
LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS Y AGUAS RESIDUALES.

QUE PROPONE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO INDUSTRIAL

RAÚL YÁÑEZ RODRÍGUEZ

Profesor Orientador: M. en C. Margarito Coronado Maldonado



Ciudad de México.

Diciembre 2017

Agradecimientos

Gracias a Dios por darme la vida y las bendiciones que he recibido. Gracias a él yo he trabajado haciendo lo que más me gusta.

Agradezco a mis padres: María Tomasa Rodríguez Doroteo y Raúl Javier Yáñez Flores por todo su cariño, soporte y ejemplo de vida. Gracias a ellos pude terminar una carrera profesional y salir adelante.

Gracias a mi esposa Beatriz Cruz Sánchez y a mi hija Larissa Juliette Yáñez Cruz por ser mi familia, inspiración y felicidad.

Muchas gracias al M. en C. Margarito Coronado Maldonado por su amabilidad, apoyo y por asesorarme en la realización de este trabajo.

Gracias a los sinodales M. en C. Martha Elena García Ruíz, Biol. Arturo Chilpa Navarrete, Ing. Juan Manuel Moreyra Mercado y Dr. Enrique Rico Arzate por sus comentarios y observaciones al presente trabajo.

Gracias a mi hermano Juan Carlos Yáñez Rodríguez por apoyarme siempre.

Mi admiración y agradecimiento al Ing. Armando Bernal Torres por su apoyo, dedicación y compromiso con el trabajo.

Todo mi aprecio y orgullo por el Instituto Politécnico Nacional y la ESIQIE.

Índice

Resumen

Introducción

I- CRITERIOS EN LA SUPERVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAM. DE AGUAS	1
1.1.- Caracterización del agua	4
1.2.- Plantas de tratamiento de agua potable	7
1.2.1.- Rejillas de desbaste	10
1.2.2.- Oxidación	10
1.2.3.- Clarificación o sedimentación	11
1.2.4.- Filtración	17
1.2.5.- Cloración	20
1.3.- Plantas de tratamiento de agua residual	21
1.3.1.- Pretratamiento	22
1.3.2.- Tratamiento primario	23
1.3.3.- Tratamiento secundario	24
1.3.3.1.- Lodos activados	24
1.3.3.2.- Clarificación secundaria	27
1.3.4.- Tratamiento terciario	29
1.3.5.- Tratamiento de lodos	30
1.3.5.1.- Espesamiento de lodos	31
1.3.5.2.- Digestión anaerobia	33
II- CONCEPTOS DE INGENIERÍA EN LAS PLANTAS DE TRATAM. DE AGUAS	42
2.1.- Disciplinas de ingeniería	44
2.1.1.- Ingeniería de proceso	45
2.1.2.- Ingeniería mecánica	46
2.1.3.- Ingeniería eléctrica	50
2.1.4.- Ingeniería civil estructural	53
2.1.5.- Ingeniería control e instrumentación	58
2.2.- Organización de la ingeniería	66
2.3.- Seguridad en la ingeniería	67
2.4.- Documentación como fue construido	69
III- ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS	70
3.1.- Desarrollo de un proyecto para tratamiento de aguas	71
3.1.1.- Propuestas	71
3.1.2.- Ingeniería	72
3.1.3.- Suministros	72

3.1.4.- Construcción	72
3.1.5.- Puesta en marcha	73
3.2.- Organización del proyecto	73
3.3.- Seguimiento de los costos	73
3.4.- Planeación	76
3.5.- Avance del proyecto	77
3.6.- Auditorias	78
IV- EJECUCIÓN DEL PROYECTO	79
4.1.- Arranque del proyecto	79
4.2.- Suministros o compras	80
4.3.- Construcción o montaje	91
4.3.1.- Organización de la construcción	92
4.3.2.- Subcontratación de los trabajos	94
4.3.3.- Registro de los cambios	95
V- PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA	96
5.1.- Pruebas de fin de montaje o pre-arranque	98
5.1.1.- Pruebas hidrostáticas de tubería	98
5.1.2.- Pruebas de resistencia de aislamiento	99
5.1.3.- Pruebas de punto a punto	99
5.2.- Pruebas de puesta en marcha o arranque	100
5.2.1.- Limpieza de tuberías y equipos	100
5.2.2.- Calibración de instrumentos	101
5.2.3.- Pruebas de motores y equipos con carga	103
5.2.4.- Verificación de lazos de control	104
5.2.5.- Arranque y estabilización de procesos	105
5.2.6.- Automatización	108
5.3.- Pruebas de funcionamiento	110
VI- RETORNO DE EXPERIENCIA Y MEJORA CONTINUA	112
6.1.- Retorno de experiencia	112
6.2.- Estandarización	112
6.3.- Estructura y organización	114
6.4.- Errores más comunes	115
6.5.- Sistema de gestión de calidad	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	123
ANEXOS	125

Índice de tablas

Tabla No. 1.1 Calidad de agua definida en licitación de C.F.E.....	1
Tabla No. 1.2 Resumen de cambios para tratar el sílice en exceso.....	3
Tabla No. 1.3 Composición de agua de río especificada por IBERDROLA	5
Tabla No. 1.4 Verificación del balance iónico en agua del río Moctezuma	6
Tabla No. 1.5 Composición de agua establecida para diseño de la planta de tratamiento de agua de río “Tamazunchale I”	7
Tabla No. 1.6 Procesos de potabilización usados en México.....	8
Tabla No. 1.7 Prueba de Jarra para plantas Potabilizadoras de Mexicali	12
Tabla No. 1.8 Clasificación de los procesos de lodos activados	24
Tabla No. 1.9 Algunas plantas de tratamiento en México con diferentes tipos de carga	25
Tabla No. 1.10 Condiciones del licor mixto según la presencia de oxígeno disuelto	27
Tabla No. 1.11 Efecto bactericida y remanente de diferentes desinfectantes.....	30
Tabla No. 3.1 Términos de pago de algunos proyectos industriales	75
Tabla No. 3.2 Estructuración de avance en ingeniería	77

Índice de figuras

Figura No. 1 Caudal de agua residual municipal tratada (m^3/s)	vii
Figura No. 2 Noticia desplegada en diario de circulación nacional	ix
Figura No. 3 Producto de General Electric para Bioreactor a membranas.....	x
Figura No. 1.1 Tren de tratamiento para la planta desmineralizadora en la Central Eléctrica San Lorenzo, Puebla	2
Figura No. 1.2 Proceso de Tratamiento, Planta Potabilizadora TUXTLA.....	9
Figura No. 1.3 Reja de desbaste fino (Vista 3D y elevación 2D).....	10
Figura No. 1.4 Escalera de oxidación, Planta Potabilizadora TUXTLA	11
Figura No. 1.5 Esquema de la sedimentación de flóculos en dirección contraria al flujo de agua depurada.....	14
Figura No. 1.6 Fondo de sedimentador longitudinal con mecanismo de rastras.....	15
Figura No. 1.7 Funcionamiento de sedimentador longitudinal, Planta Potabilizadora “Xochimilco”, Mexicali.....	16
Figura No. 1.8 Filtro de arena convencional atmosférico.....	17
Figura No. 1.9 Funcionamiento de filtro a gravedad, con una celda en filtración de agua y otra en retrolavado con agua y aire	18
Figura No. 1.10 Arena antracita debajo de canaletas de recolección de agua sucia de lavado. Planta Potabilizadora “Xochimilco”, Mexicali.....	19
Figura No. 1.11 Cilindros de gas cloro	21
Figura No. 1.12 Rejas finas. P.T.A.R. “SUR”, Ciudad Juárez, Chihuahua	22
Figura No. 1.13 Desarenador – desengrasador rectangular. P.T.A.R. “SUR”, Ciudad Juárez, Chihuahua	23
Figura No. 1.14 Reactor biológico con red de aire y difusores de burbuja fina.	26
Figura No. 1.15 Tratamiento secundario básico con recirculación de lodos	26
Figura No. 1.16 Mecanismo de clarificador: corona central, puente, rastras y tubos verticales con canaleta para extracción de lodos.....	28

Figura No. 1.17 Diagrama de flujo para desinfección por medio de cloro gaseoso y tanque de contacto	29
Figura No. 1.18 Mecanismo de un espesador de lodos circular a gravedad con fondo cónico y sistema de rastras para orientar los lodos al centro	31
Figura No. 1.19 Mesa o reja dinámica de espesamiento de lodos	32
Figura No. 1.20 Tratamiento de agua residual típico	34
Figura No. 1.21 Disposición general, circuitos de biogás y lodos	35
Figura No. 1.22 Cañas de inyección de biogás dentro de digestor anaerobio	36
Figura No. 1.23 Circuito de calentamiento de lodos	38
Figura No. 1.24 Gasómetro 2,100 m ³ de capacidad	39
Figura No. 1.25 Antorcha para quemar de 150 a 250 N m ³ /hr. de biogás	40
Figura No. 1.26 Esquema del sistema de calentamiento para un digestor	41
Figura No. 2.1 Secuencia de un cronograma o planning de ingeniería	42
Figura No. 2.2 Análisis de suelo para reactor biológico de 43.8 m de largo y 28.4 m de ancho	44
Figura No. 2.3 Extracto de piezométrica para la planta potabilizadora Tuxtla	45
Figura No. 2.4 Especificación de válvulas tipo mariposa	47
Figura No. 2.5 Maqueta 3D mediante software PDMS para una planta desmineralizadora de agua	48
Figura No. 2.6 Tanque para almacenamiento de ácido sulfúrico (regeneración de resinas de intercambio iónico), capacidad 30 m ³	49
Figura No. 2.7 Diagrama unifilar planta de agua residual, Cap. 100 Lps	51
Figura No. 2.8 Subestación eléctrica media tensión (13.8 kV) y transformador 750 kVA	52
Figura No. 2.9 Arreglo de Centro de Control de Motores en Cuarto Eléctrico	52
Figura No. 2.10 Sala eléctrica con ductos de aire acondicionado y cuarto HVAC	53
Figura No. 2.11 Imagen 3D del programa STAAD para el cálculo estructural de un clarificador secundario de 45 metros de diámetro	54
Figura No. 2.12 Cuantificación de acero en muro "MC-12" de tanque para lodos activados de 770 m ³ de capacidad	56
Figura No. 2.13 Cimentación de digestor por medio de pilas de concreto	57
Figura No. 2.14 Tecnología para densificar suelo por medio de pilas de grava compactada	58
Figura No. 2.15 Control de una bomba centrífuga representado en Diagrama de Tuberías e Instrumentación (D.T.I.)	59
Figura No. 2.16 Automatización de válvula en D.T.I.	60
Figura No. 2.17 Pantalla en estación de control.	61
Figura No. 2.18 Extracto de una arquitectura de control.	63
Figura No. 2.19 Hoja de datos para instrumento de oxígeno disuelto	64
Figura No. 2.20 Típico de instalación para analizador de cloro residual	65
Figura No. 2.21 Organigrama de ingeniería para diseño de una planta de tratamiento de agua residual	66
Figura No. 3.1 Etapas convencionales de un proyecto	71
Figura No. 3.2 Actividades que realiza y gestiona el departamento de suministros y logística	72
Figura No. 3.3 Clasificación y seguimiento mensual de costos	74
Figura No. 3.4 Curva de gastos, cobros y flujo de caja para Planta desmineralizadora de agua	76
Figura No. 4.1 Skids o patines para lechos mixtos presentados en propuesta	80
Figura No. 4.2 Diagrama de flujo para la revisión de información de proveedores	82
Figura No. 4.3 Ejemplo de dibujo de proveedor aprobado por ingeniería	83
Figura No. 4.4 Reporte de inspección sobre formado de tapas para un intercambiador catiónico, planta San Lorenzo, Puebla	85
Figura No. 4.5 Reporte de prueba de adherencia de pintura en placa metálica de base para una bomba centrífuga	86

Figura No. 4.6 Prueba de funcionamiento de bomba centrífuga. Reporte de ruido	87
Figura No. 4.7 Pantalla de operación en estación de trabajo durante pruebas FAT	88
Figura No. 4.8 Lineamientos de PEMEX sobre la documentación de calidad.....	90
Figura No. 4.9 Organigrama del proyecto P.T.A.R. Valle de Juárez, 500 Lps	93
Figura No. 4.10 Horno estacionario para electrodos de soldadura	95
Figura No. 5.1 Minuta de reunión con PEMEX	96
Figura No. 5.2 Cambio de posición de válvula.....	97
Figura No. 5.3 Medición de resistencia de aislamiento en GigaOhm	99
Figura No. 5.4 Limpieza de tubería y equipo mediante barrido con agua	101
Figura No. 5.5 Calibración de manómetros en sitio	102
Figura No. 5.6 Medición de vibración a un motor acoplado de un ventilador	103
Figura No. 5.7 Pruebas de lazo en tablero de control o PLC.....	104
Figura No. 5.8 Puesta en marcha de reactores biológicos	105
Figura No. 5.9 Índice de lodos y su interpretación práctica	106
Figura No. 5.10 Carga de elementos (membranas) de ósmosis inversa.....	107
Figura No. 5.11 Proyección de ósmosis inversa a cero años de funcionamiento, planta UDA-2, Complejo Procesador de Gas Nuevo PEMEX	108
Figura No. 5.12 Prueba de lógica de control.....	109
Figura No. 5.13 Lógico de control para analizador de turbidez	110
Figura No. 5.14 Columna de calibración para dosificación de bisulfito de sodio.....	111
Figura No. 6.1 Módulos estandarizados de ósmosis inversa.....	113
Figura No. 6.2 Planificación de proyecto en software específico.....	116
Figura No. 6.3 Bitácora Electrónica de Obra Pública. Modelo de funcionamiento	118
Figura No. 6.4 Control de clima en proyecto Nuevo PEMEX, para modernización de las plantas de pretratamiento y tratamiento de agua.....	119

RESUMEN

En este trabajo se describen algunos procesos para tratamiento de agua potable, industrial y residual que han sido aplicados en instalaciones o plantas construidas en México durante los últimos años, cuyas tecnologías siguen vigentes.

En el capítulo I se mencionan criterios de diseño y funcionamiento relacionados con plantas de tratamiento de agua industrial, residual y potable, los cuales pueden tomarse como referencia para la concepción de nuevas instalaciones. Se hace especial énfasis en la caracterización de las aguas para la creación de una nueva planta depuradora.

El capítulo II contiene aspectos sobre la ingeniería de las plantas de tratamiento de agua mencionando las disciplinas que intervienen: proceso, civil estructural, eléctrica, mecánica, control e instrumentación. Se exponen conceptos relevantes de la ingeniería, algunos errores que se cometen y los problemas más comunes a los que se enfrentan los equipos de ingeniería.

El capítulo III contempla las etapas de un proyecto para proponer, diseñar, construir y poner en funcionamiento una planta de tratamiento de agua; explicando la interacción entre las mismas. Se mencionan los aspectos relevantes a monitorear en el desarrollo del proyecto y el seguimiento básico financiero que se realiza.

El capítulo IV describe actividades básicas que se realizan desde que es adjudicado un nuevo proyecto hasta que es entregado al cliente final, haciendo especial énfasis en los suministros (compras, inspección y procuración) así como en la construcción. Este capítulo está influenciado por la experiencia en los proyectos de tipo industrial, los cuales son más complicados que los del tipo municipal debido a las especificaciones, supervisión y estrictos requerimientos del cliente o usuario final.

En el capítulo V se exponen las actividades relacionadas a las pruebas, arranque y puesta en marcha de cualquier planta de tratamiento de agua. Se describen cuidados o puntos de alerta que son importantes de considerar en las actividades de puesta en marcha, los cuales se adquieren en gran medida a través de la ejecución del trabajo o de experiencias vividas.

Finalmente, en el capítulo VI se pone de manifiesto la importancia de aprender de los errores, identificar buenas prácticas y retroalimentar internamente a los empleados de una organización, para conseguir que la empresa sea más competitiva y eficiente. Se pone de manifiesto la estandarización de los diseños o ingeniería, como una opción para evitar errores y reducir los riesgos en el proyecto de una nueva planta de tratamiento.

INTRODUCCION

Debido al incremento en la densidad poblacional en el mundo cada día son más críticos los diversos servicios municipales a las comunidades: llámese agua potable, alcantarillado, iluminación, etc. dentro de los cuales el agua juega un papel vital para lograr la supervivencia y desarrollo de la humanidad.

La demanda de agua potable crece de forma exponencial a través de los años mientras que los mantos acuíferos, pozos y ríos se agotan, por lo cual tecnologías como la desalinización de agua de mar se han vuelto importantes en ciudades como Barcelona o Melbourne, donde gran parte del abastecimiento de agua potable que la población necesita proviene del mar. En México el uso de la ósmosis inversa del agua de mar para la obtención de agua potable, está siendo más relevante en estados como Baja California Norte o Baja California Sur.

Por su parte, las plantas de tratamiento de agua residual (P.T.A.R.) han sido fundamentales en el desarrollo y sustentabilidad de las ciudades o poblaciones a nivel global, disminuyendo la contaminación y evitando problemas graves de sanidad como los que sucedieron en Chile por la contaminación del río Mapocho, el cual era utilizado para riego de hortalizas que luego eran consumidas por la población, generando enfermedades como la tifoidea (Acharán Blau 1968).

En México, el tratamiento del agua residual y su reaprovechamiento para uso como riego de cultivos agrícolas se ha desarrollado en los últimos años, toda vez que la depuración de los efluentes provenientes de las descargas municipales se ha venido incrementando, sin llegar a tratar el cien por ciento de las aguas residuales que se generan en el país. Hasta el año 2015 en México se habían recolectado a través de los sistemas de alcantarillado un total de 212 m³/s de aguas residuales, de las cuales solamente el 57 % eran tratadas en plantas depuradoras (CONAGUA, 2016)¹. En la Figura 1 se presenta un histórico de como ha venido evolucionando la capacidad de tratamiento de aguas residuales en México en los últimos años.

En la industria privada en México, el agua es utilizada ya sea como un servicio (por ejemplo siendo medio de enfriamiento en procesos de manufactura), como fluido para combate a incendios o como parte integral de los mismos productos: bebidas, medicamentos, alimentos u otros. También es utilizada en grandes cantidades para generar electricidad en las Centrales Eléctricas de Ciclo Combinado que existen en México: para las torres de enfriamiento y también como agua desmineralizada que se convierte en vapor, mismo que es utilizado por las turbinas generadoras de energía eléctrica.

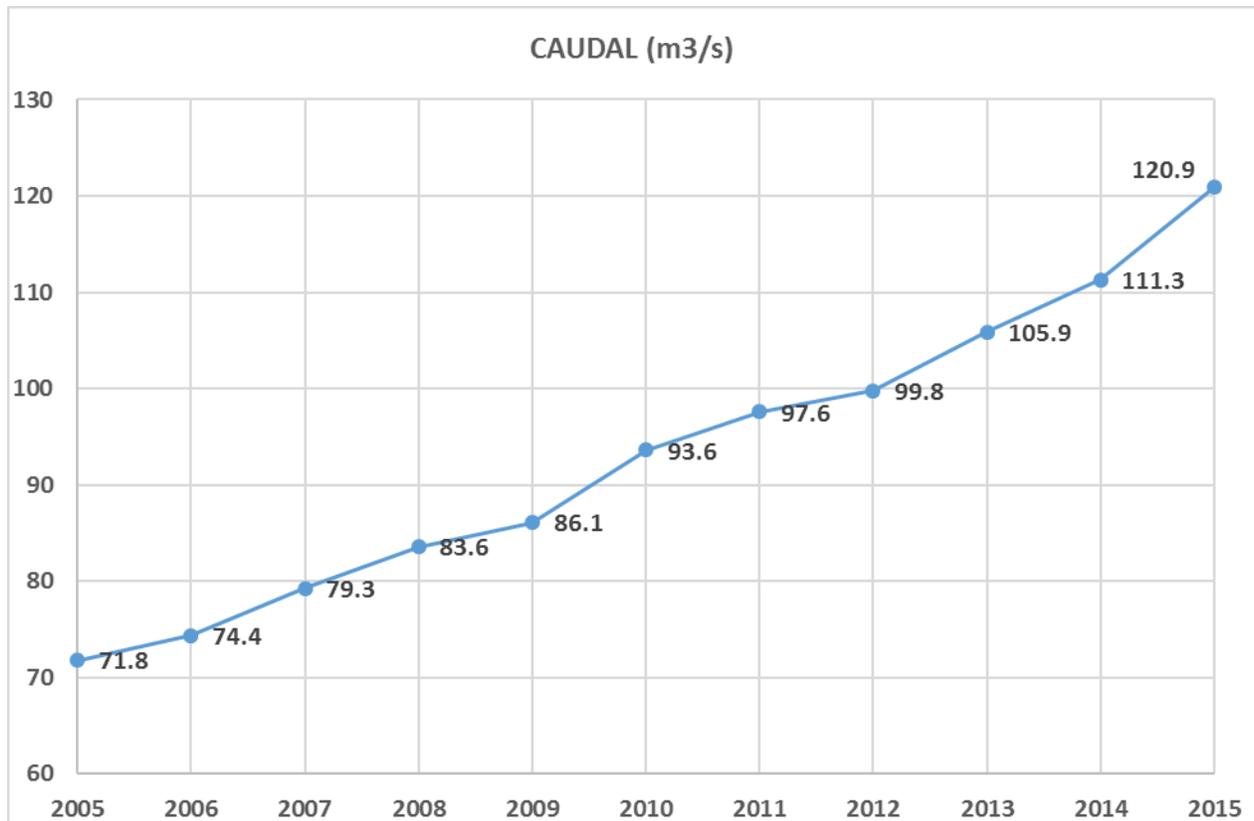


Figura 1. Caudal de agua residual municipal tratada (m³/s)

Fuente: CONAGUA. Estadísticas del Agua en México 2016¹

El agua potable es y seguirá siendo un asunto de alta prioridad no solamente para poblaciones o países en desarrollo, sino también para ciudades de primer mundo como San Diego, que actualmente extrae agua del Río Colorado y el norte de California; pero que dentro de poco podría estar importando agua de la planta desaladora Rosarito, a ser construida y explotada en México. En la Figura 2 se presenta el anuncio de una planta desalinizadora de agua a ser instalada en el municipio de Rosarito, Baja California Norte.

En México, para el año 2030 se requerirá infraestructura para dar tratamiento a 7.1 miles de millones de metros cúbicos al año (225 m³/s) de aguas residuales colectadas, lo que significa cubrir una brecha de aproximadamente 3.2 miles de millones de metros cúbicos en 13 años. Esta brecha está integrada principalmente por insuficiencia de capacidad instalada, capacidad instalada sin operación por falta de red de alcantarillado y agua residual tratada de manera ineficiente. Revertir esta situación requería hasta hace poco de inversiones cercanas a los 114 mil millones de pesos¹¹.

Por todo lo anterior, es evidente que el tratamiento de agua es una actividad de negocio importante, que sigue teniendo un gran crecimiento y en el cual cada vez más empresas están incursionando, razón por la cual es muy importante ser competitivos y ofrecer el mejor servicio / producto a un costo que sea atractivo para el cliente final.

Construirá consorcio internacional desalinizadora de agua en Rosarito



Figura 2. Noticia desplegada en diario de circulación nacional

Fuente: Periódico la Jornada Baja California²

Para ser competitivos, es necesario no solo dominar la tecnología y contar con una trayectoria reconocida en el medio o mercado; sino que también es necesario buscar la mejora continua a través de la retroalimentación interna, identificando los puntos fuertes y ejes de mejora. De lo contrario, los errores en el diseño o en la ejecución se vuelven repetitivos y con grandes costos asociados, que al mismo tiempo crean una imagen negativa ante los clientes.

El diseño básico de una planta depende por mucho de datos confiables sobre la calidad de agua que será tratada; su composición y los valores históricos de cada parámetro juegan un papel determinante en la concepción de un tratamiento. De lo contrario, existe el riesgo de encontrarse con la sorpresa de una planta nueva que no sea capaz de alcanzar los objetivos para los que fue diseñada y construida, que eventualmente requerirá de modificaciones en mayor o menor grado.

En cuanto al desarrollo de la ingeniería detallada, la importancia de establecer los documentos confiables para la construcción y explotación también juega un rol crítico en los objetivos de un proyecto, puesto que define con precisión las características de los componentes que son instalados.

En lo que se refiere a la gestión o administración de un proyecto, la importancia que tienen: el manejo de las variables en las que se mueve el mismo, así como saber interactuar con los involucrados en él (llámense clientes, socios, proveedores, etc.) es vital para conseguir su rentabilidad y éxito. Hoy día, entre las empresas que incluyen el tratamiento de agua entre sus ofertas de negocio se pueden mencionar las de construcción de obras civiles (AYESA), las de industria e infraestructura en general (ICA), las que históricamente tenían solamente negocios en el ramo de la electricidad, etc. Véase la Figura 3 como un ejemplo de equipamiento especializado para tratamiento de agua, comercializado por una empresa ajena históricamente a este ámbito. Todas ellas hoy día también ofrecen productos y soluciones en el ramo del tratamiento de agua, por lo cual la competencia es grande, los proyectos en ocasiones son escasos y las exigencias (plazos, costos, etc.) de los clientes son mayores.

ZeeWeed – GE - ZW500D

Product overview

Supplier

GE Water and Process Technologies

Membrane Configuration

Hollow fibre

Pore Size (μm)

0.02-0.04

Membrane material

PVDF, braided

LEAPmbr Performance:

<http://www.gewater.com/products/leap-mbr.html>



Figura 3. Producto de General Electric para Bioreactor a membranas

Fuente: Sitio web en internet de GE Water & Process Technologies³

En definitiva, son muchas las soluciones que ofrecen diversas empresas de pequeña, mediana y gran escala a los requerimientos del mercado relacionado al tratamiento de agua; de tal forma que la competencia es constante y con un nivel de exigencia más alto cada vez, obligando a optimizar los costos que representan los proyectos en este sector. Por esta razón, la buena ejecución de un proyecto garantiza no solamente la rentabilidad del mismo sino también la buena reputación de la empresa que lo lleva a cabo, en tan competitivo ambiente de negocio.

I.- CRÍTERIOS EN LA SUPERVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Toda planta tratadora de agua debe surgir necesariamente del diseño básico, a partir de las características conocidas del agua a ser procesada y al mismo tiempo de la calidad del agua que se busca obtener. La calidad del agua bruta o cruda es el principal factor a considerar en la selección y diseño de los procesos de tratamiento, primero porque es necesario caracterizarla a través del tiempo y segundo porque eventualmente puede cambiar su composición cuando la planta ya se encuentra construida y en funcionamiento.

Existen varios casos de plantas para agua potable, industrial o residual que fueron diseñadas considerando cierta calidad de agua cruda y que en realidad recibieron un influente con una composición diferente en algunos de sus parámetros fisicoquímicos, impactando en el tren de tratamiento. Por ejemplo, durante la puesta en marcha de la planta desmineralizadora de agua para la central eléctrica CC San Lorenzo, Puebla, se descubrió que el valor de sílice contenido en el agua era mayor al considerado en el diseño básico. Véase la Tabla 1.1 para identificar los parámetros establecidos en el dimensionamiento de esta planta.

Tabla 1.1 Calidad del agua definida en licitación de C.F.E.

Parámetro	
pH	6.83 unidades de pH
Calcio	115 mg/l
Magnesio	21.1 mg/l
Sodio	98 mg/l
Potasio	13.4 mg/l
Conductividad	1033 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$
Temperatura	25.09 °C
Oxígeno disuelto	3.82 mg/L
Dióxido de carbono	8.07 mg/L
Sólidos suspendidos fijos	27 mg/L
Sólidos volátiles	23 mg/L
Sólidos suspendidos totales	50 mg/L
Sólidos disueltos totales	727.9 mg/L
Carbonatos CO_3^{2-}	1.76 mg/L
Bicarbonatos HCO_3^-	515.4 mg/L
Hierro	1.039 mg/L
Manganeso	0.156 mg/L
Cobre	0.393 mg/L
Zinc	0.052 mg/L
Cromo	<0.05 mg/L
Sílice	49.4 mg/L
Alcalinidad total como CaCO_3	431.10 mg/L
Cloruros	21.93 mg/l
Dureza Total (como CaCO_3)	379.9 mg/L



Es decir, las bases de diseño proporcionadas por la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) establecieron un valor de 49.4 ppm como sílice (SiO_2) en el agua cruda sin especificarlo como valor promedio o máximo, para licitar la nueva planta desmineralizadora de agua “CC San Lorenzo, Puebla”. No obstante, después de haberse diseñado y construido dicha planta, ya durante las pruebas de arranque los análisis de agua arrojaron valores de sílice en el orden de 87 a 98 ppm.

En la Figura 1.1 se indica la configuración de la planta “CC San Lorenzo, Puebla”, la cual consideró resinas aniónica débil y aniónica fuerte para la remoción de los aniones; no obstante, solamente la fuerte es capaz de remover sílice. Debido al excedente en el valor de sílice la planta tendría necesidad de parar más continuamente para regenerar con químicos, interrumpiendo su producción. Aunado a lo anterior, existía el riesgo de ensuciamiento por sílice y la necesidad de hacer lavados más específicos (agresivos) que podían acortar incluso la vida útil de dicha resina.

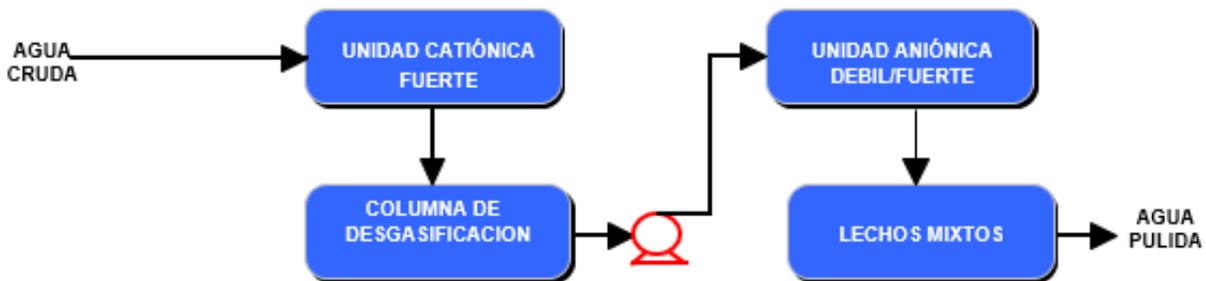


Figura 1.1 Tren de tratamiento para la planta desmineralizadora en la Central Eléctrica San Lorenzo, Puebla

El ejemplo anterior permite identificar algunos aspectos importantes cuando se desarrolla un anteproyecto para una nueva planta, sin importar su tipo. Suponiendo que el licitador especificó los parámetros en la composición del agua a tratar sin mayores observaciones ni cláusulas, está liberando por consiguiente al ganador (ejecutor del proyecto) de toda responsabilidad si estos parámetros se exceden o son diferentes en el agua que recibe la planta durante su funcionamiento. Por su parte, para el ganador de la licitación esto representa un área de oportunidad toda vez que podrá exigir tiempo y costo adicional para resolver la problemática.

En el caso de la planta “CC San Lorenzo, Puebla” el licitador o cliente tuvo que solicitar una propuesta técnica y comercial para solventar la problemática, con el correspondiente impacto negativo (costo, tiempo y recursos adicionales no previstos). Esta situación se presentó en una fase crítica del proyecto, cuando se requería la producción de agua desmineralizada de forma constante, lo cual obligaba al licitador o cliente a tomar acciones inmediatas. Las alternativas presentadas por la empresa a cargo del diseño de la planta fueron las que se muestran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Resumen de cambios para tratar el sílice en exceso

	Unid.	ORIGINAL	OPCION 1	OPCION 2
Volumen de resina Anionica debil	litros	943	NO APLICA	NO APLICA
Denominacion: IRA 96 RF				
Nivel de regeneracion	g / l	74	-----	-----
Volumen de resina Anionica fuerte	litros	943	2,400	2,600
Denominacion: Amberjet 4200				
Nivel de regeneracion	g / l	93	160	160
Caudal neto (salida planta)	m3 / h	17.0	17.0	17.0
Caudal bruto (entrada planta)	m3 / h	21.1	21.1	21.1
Duracion de la corrida	h	15	13	15
Vol. agua para regeneracion anion	m3	16.6	17.0	20.0
Vol. agua para regeneracion cation	m3	28.0	28.0	28.0
Vol. agua para regeneracion lecho mixto	m3	16.0	16.0	16.0
Volumen total de agua p/ regeneracion	m3	60.6	61.0	64.0
Consumo de sosa al 100% (por regenerac.)	kg	87.74	384	416
Volumen sosa al 50%	litros	115	503	545
Concent. de la regeneracion	%	4	2 y 4	2 y 4
Consumo de acido al 100% (por regenerac.)	kg	365.76	365.76	365.76
Volumen acido al 50%	litros	203	203	203
Concent. de la regeneracion	%	0.8 / 2.2 / 4	0.8 / 2.2 / 4	0.8 / 2.2 / 4
Neutralizacion				
1.- Sosa al 100% requerido p/neutral.	kg	105.0	0.0	0.0
2.- Acido al 100% requerido p/neutral.	kg	0.0	174.8	222.3
OPCION 1.				
Consiste en utilizar unicamente resina anionica fuerte en ambos compartimientos.				
El compartimiento superior con 1,150 litros de resina y el inferior con 1,250 litros de resina (forma regenerada).				
No se requieren cambios a los internos de cada recipiente.				
Se requiere la modificacion del sistema de regeneracion.				
OPCION 2.				
Consiste en utilizar unicamente resina anionica fuerte.				
El plato intermedio se elimina, de tal forma de tener un solo lecho de resina.				
La eliminacion del plato intermedio nos permite aumentar el volumen de resina, el nuevo volumen de resina seria de 2,600 litros por recipiente.				
Se requiere la modificacion del sistema de regeneracion.				

De haberse considerado la posibilidad de incremento en la cantidad de iones y en específico de sílice en el agua de pozo, no se hubieran tenido las consecuencias repentinas que se presentaron y en su lugar se hubiera concebido una planta con capacidad para absorber fluctuaciones en la calidad del agua de pozo.

Parecería entonces que para diseñar una nueva planta sería indispensable considerar los peores escenarios en relación a la composición del agua influente; sin embargo, esto tampoco es viable. El suponer valores extremos de ciertos parámetros daría como resultado plantas más grandes, con mayores equipamientos y más costosas.

Normalmente, cuando existe una licitación o concurso para desarrollar un proyecto de agua, las empresas participantes no desean proponer plantas más grandes y caras, sino todo lo contrario: se buscan soluciones que consideren la menor cantidad de equipamiento, menor espacio, etc. esto a pesar de que ofertando una planta más “robusta” o “sobrada” se reducen los riesgos para el cliente licitador. El hacerlo ocasionaría que su oferta o propuesta sea más onerosa y por tanto con menos probabilidad de resultar ganadora. Es por esto que lo conveniente para una empresa licitante o concursante es generar su propuesta atendiendo los requerimientos del cliente, señalando claramente que de no cumplirse los parámetros de la calidad o composición fisicoquímica del agua influente tampoco se podrá asegurar la calidad del agua tratada.

1.1 Caracterización del agua

Establecer la composición de un agua cruda es importante, pero no solamente a partir de un análisis puntual, sino más bien a través de diferentes días, meses o inclusive años, de tal forma que sea posible confiar en que el diseño básico proveerá una planta capaz de manejar todas las posibles variaciones del influente.

Por otro lado, la composición del agua también puede cambiar por diversos factores, tales como incorporación de efluentes adicionales, descargas de agua industrial, etc. lo cual resulta imposible de predecir. Estos eventos no se consideran en los diseños de las plantas porque la probabilidad de que sucedan es baja y además implicaría un costo mucho mayor. Lo que si se toma en cuenta son los parámetros históricos de composición del agua y sus posibles valores máximos.

Ocurre habitualmente que el licitador de un proyecto exprese erróneamente las características del agua cruda durante un concurso para una nueva planta; por ejemplo al considerar que los parámetros máximos de cada ion en los diferentes análisis del agua se deben conjuntar y presentar como una composición o combinación máxima (siendo la “peor” calidad de agua posible a tratar). No obstante, resulta completamente erróneo debido a la composición final en términos de cargas iónicas. Es decir, una caracterización de agua resultado de un análisis puntual se debe considerar como un todo indivisible, de tal forma que existirán algunos iones con valores altos mientras que otros en sus valores bajos.

Para ejemplificar lo anterior, se expone el caso de una planta de tratamiento de agua de río para la Central Ciclo Combinado “Tamazunchale I”, en el año 2005. El licitador IBERINCO (Iberdrola Ingeniería y Consultoría S.A.) estableció en sus bases de diseño

CAPITULO I. CRITERIOS EN LA SUPERVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

o concurso las características del agua de río Moctezuma, en el estado de San Luis Potosí, México conforme se muestra en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Composición de agua de río especificada por IBERDROLA



IBERDROLA
Ingeniería y Consultoría, S.A.

Especificación Particular: Planta de Tratamiento de Aguas

IDENTIF. 13FX-0-9-GC-MIP-IBC-001

REV.: 1 HOJA 9 DE 34

ID. CLTE.: 13FX-32-255-ES-001

		TOMADOS DEL HISTÓRICO						DISEÑO	
Parámetro	Unidades	MÁXIMO	ppm CaCO ₃	MEDIA	ppm CaCO ₃	MÍNIMO	ppm CaCO ₃	mg/l	ppm CaCO ₃
CATIONES									
Ca ⁺⁺		168,33	420,83	88,34	220,86	32,06	80,15	150,0	375,0
Mg ⁺⁺		64,67	269,46	28,13	117,22	4,86	20,25	28,1	117,0
Na ⁺		175,00	380,43	85,15	185,12	38,90	84,57	152,5	331,5
K ⁺		34,00	43,59	14,18	18,18	2,40	3,08	34,0	43,6
Fe ⁺⁺									
Mn ⁺⁺									
Ba ⁺⁺									
Sr ⁺⁺									
TOTAL								364,6	867,1
ANIONES									
HCO ₃ ⁻		421,32	345,34	310,79	254,75	202,07	165,63	420,9	345,0
CO ₃ ⁺⁺		51,07	85,12	10,19	16,98	0,00	0,00	25,8	43,0
Cl ⁻		143,30	201,83	82,57	116,29	31,33	44,13	143,3	201,8
NO ₃ ⁻		4,42	3,56	2,36	1,91	0,83	0,67	4,42	3,6
NO ₂ ⁻		0,37	0,40	0,03	0,03	0,00	0,00	0,37	0,4
SO ₄ ⁺		257,40	268,13	155,90	162,40	86,23	89,82	257,4	268,1
F ⁻		1,22	3,21	0,56	1,47	0,21	0,56	1,22	3,2
PO ₄ ³⁻		0,93	1,48	0,45	0,71	0,00	0,00	0,93	1,5
TOTAL								854,34	868,6
OTROS PARAMETROS									
pH	u. de pH	8,60		7,76		7,60		6,9-8,5	
pH campo	u. de pH	8,30		5,64		6,90			
Temperatura agua	°C	30,00		19,27		17,20		17,2-30	
Color	Pt-Co	50,00		7,26		1,00		50	
Turbiedad	NTU	10,00		1,11		0,05			
TSS	mg/l	497,00		81,83		1,00		497	

En forma acertada se hicieron análisis de agua en diferentes periodos, logrando un histórico de valores; que luego fue resumido considerando “Máximo”, “Media” y “Mínimo”. No obstante, se consideró erróneamente que los parámetros de agua en su valor más alto se podían tomar de diferentes meses o años, para establecer un análisis de agua, “peor condición”, que nunca existió realmente y que era imposible de justificar por estequiometría química.

CAPITULO I. CRITERIOS EN LA SUPERVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Simplemente si se toman los valores de la Tabla 1.3 establecida en la licitación mencionada, no es posible balancear las cargas iónicas de la composición del agua. Los cationes en el caso de la composición “MAXIMO” superan la cantidad de aniones (Tabla 1.4) o viceversa en el caso de la composición “MINIMO”.

Tabla 1.4 Verificación del balance iónico en agua del río Moctezuma

Parámetro	MAXIMO		MEDIA		MINIMO	
	Valor mg/l como ion	Valor como mg/l CaCO ₃	Valor mg/l como ion	Valor como mg/l CaCO ₃	Valor mg/l como ion	Valor como mg/l CaCO ₃
Calcio	168.33	420.8	88.34	220.9	32.06	80.2
Magnesio	64.67	269.5	28.13	117.2	4.86	20.3
Sodio	175	380.4	85.15	185.1	38.9	84.6
Potasio	34	43.6	14.18	18.2	2.4	3.1
Total de cationes	442	1114.3	215.8	541.3	78.22	188.0
Bicarbonatos	421.3	345.3	310.79	254.7	202.07	165.6
Carbonatos	51.07	85.1	10.19	17.0	0	0.0
Cloruros	143.3	201.8	82.57	116.3	31.33	44.1
Sulfatos	257.4	268.1	155.9	162.4	86.23	89.8
Nitratos	4.42	3.6	2.36	1.9	0.83	0.7
Fluoruros	1.2	3.2	0.6	1.5	0.2	0.6
Fosfatos	0.93	1.5	0.45	0.7	0	0.0
Total de aniones	879.6	908.7	562.8	554.5	320.7	300.8

Dureza total (ppm CaCO ₃) por IBERINCO		490.0		344.8		275.0
Dureza total (ppm CaCO ₃) de la tabla		690.3		338.1		100.4
pH campo	8.3		5.64		6.9	
TDS indicados por IBERINCO	1129.0 ppm		755.9 ppm		378.0 ppm	
TDS reales	1321.6 ppm		778.6 ppm		398.9 ppm	

La suma de cationes como carbonato de calcio para la condición “MAXIMO” debería ser igual a la suma de aniones, también expresada como carbonato de calcio; lo cual no ocurría. Esta inconsistencia se explica consultando los análisis de agua históricos realizados entre los años 1995 a 2002. Es decir, los iones bicarbonato (HCO₃⁻) se tomaron de un análisis con fecha 6/08/2002, mientras que el valor para ion calcio corresponde a un análisis con fecha 8/02/1996.

El manejo adecuado de los análisis históricos del río Moctezuma se hizo obteniendo un percentil de la totalidad de los valores tomados a través del tiempo, de tal forma que estos valores fueran representativos de la composición real del agua. Por tanto, fue establecido tomar un percentil de 75% de los valores históricos en lugar de los valores más altos para cada parámetro. Así, el agua para diseño de la planta fue caracterizada con cargas iónicas balanceadas conforme se indica en Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Composición de agua establecida para diseño de la planta de tratamiento de agua de río “Tamazunchale I”

Parámetro	Río Sucio		Río Limpio	
	Valor como mg/l CaCO ₃	Valor mg/l como ion	Valor como mg/l CaCO ₃	Valor mg/l como ion
Calcio	260.5	104.2	260.5	104.2
Magnesio	147.5	35.4	147.5	35.4
Sodio	282.5	130.0	282.5	130.0
Potasio	25.6	20.0	25.6	20.0
Total de cationes	716.1	289.5	716.1	289.5
Bicarbonatos	300.1	366.1	300.1	366.1
Carbonatos	34.7	20.8	34.7	20.8
Cloruros	163.1	115.8	163.1	115.8
Sulfatos	199.9	191.9	199.9	191.9
Nitratos	2.6	3.2	2.6	3.2
Fluoruros	0.0	0.0	0.0	0.0
Fosfatos	1.3	0.8	1.3	0.8
Total de aniones	701.7	698.7	701.7	698.7
Alcalinidad	300.1	-	300.1	-
Dureza total	408	-	408	-
Dureza temporal	300.1	-	300.1	-
Dureza permanente	107.9	-	107.9	-
pH	7.3		7.3	
CO ₂	26.0 ppm CO ₂		26.0 ppm CO ₂	
TDS (estimado)	1021.0 ppm		1021.0 ppm	
SST	497.0 ppm		100.0 ppm	
Sílice (SiO ₂)	33.0 ppm		33.0 ppm	
Conductividad	1646.8 µS/cm		1646.8 µS/cm	

1.2.- Plantas de tratamiento de agua potable

Las fuentes de agua potable son principalmente ríos, pozos y eventualmente cada vez más el mar. Para el agua de río y la mayoría del agua subterránea el tratamiento necesario para potabilizar es relativamente de bajo costo de operación porque el agua es “dulce”, o sea de baja salinidad, que básicamente requiere de remover partículas suspendidas y de un método para desinfección; mientras que para el agua de mar el proceso es utilizado es a través de ósmosis inversa, con gastos de operación más elevados debido al gran consumo energético (electricidad).

CAPITULO I. CRITERIOS EN LA SUPERVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Los ríos requieren una depuración relativamente simple, esencialmente para remover sólidos suspendidos provenientes de material orgánico, mientras que el agua extraída de fuentes subterráneas involucra básicamente la presencia de sólidos disueltos. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) clasifica las aguas subterráneas por su contenido de sólidos totales en dulces (< 1000 mg/l), ligeramente salobres (1000 a 2000 mg/l), salobres (2000 a 10 000 mg/l) y salinas (> 10 000 mg/l)¹.

En México, se utilizan tecnologías de uso y aplicación comprobada para la potabilización del agua superficial o de río; siendo muy común la clarificación a gravedad, la cual requiere de productos químicos específicos para remover sólidos suspendidos. La clarificación o decantación comúnmente está asociada con un proceso de filtración a gravedad y la combinación de ambos constituye un método confiable y económico para depurar grandes volúmenes de agua potable cada día. En la Tabla 1.6 es posible identificar los principales tipos de tratamiento utilizados para potabilización de agua.

Tabla 1.6 Procesos de potabilización usados en México

Proceso central	Propósito	Plantas		Gasto potabilizado	
		Número	%	m ³ /s	%
Ablandamiento	Eliminación de dureza	18	2.3	0.47	0.49
Adsorción	Eliminación de trazas de orgánicos	3	0.4	0.06	0.07
Clarificación convencional	Eliminación de sólidos suspendidos	213	27.3	68.81	71.47
Clarificación de patente	Eliminación de sólidos suspendidos	157	20.2	5.09	5.28
Filtración directa	Eliminación de sólidos suspendidos	76	9.8	15.34	15.94
Filtración lenta	Eliminación de sólidos suspendidos	10	1.3	0.06	0.06
Filtros de carbón activado	Eliminación de sólidos suspendidos	35	4.5	0.03	0.03
Ósmosis inversa	Eliminación de sólidos disueltos	240	30.8	1.81	1.88
Remoción de fierro y manganeso		11	1.4	4.20	4.36
Otros		16	2.1	0.41	0.42
Total		779	100.0	96.27	100.00

Fuente: CONAGUA. Estadísticas del Agua en México, 2015¹

La CONAGUA en su publicación “Diseño de Plantas Potabilizadoras Tipo de Tecnología Simplificada”, 2007, recomienda analizar ciertos parámetros y generar una cierta cantidad de muestras, con la finalidad de caracterizar una agua que se desea potabilizar, dependiendo de si la fuente es subterránea o si es superficial.

La planta potabilizadora “TUXTLA” en Chiapas, construida en el año 2007 y actualmente conocida como Ciudad del Agua, con capacidad de 2000 Lps, toma su influente del río Grijalva y utiliza principalmente los procesos siguientes: desbaste mediante rejilla, precipitación de fierro por oxidación, remoción de sólidos suspendidos mediante clarificación (previa inyección de coagulante y floculante), posteriormente filtración a gravedad con arena sílica y finalmente desinfección. Véase la Figura 1.2

DIAGRAMA DE FLUJO

Planta Potabilizadora Tuxtla Gutiérrez

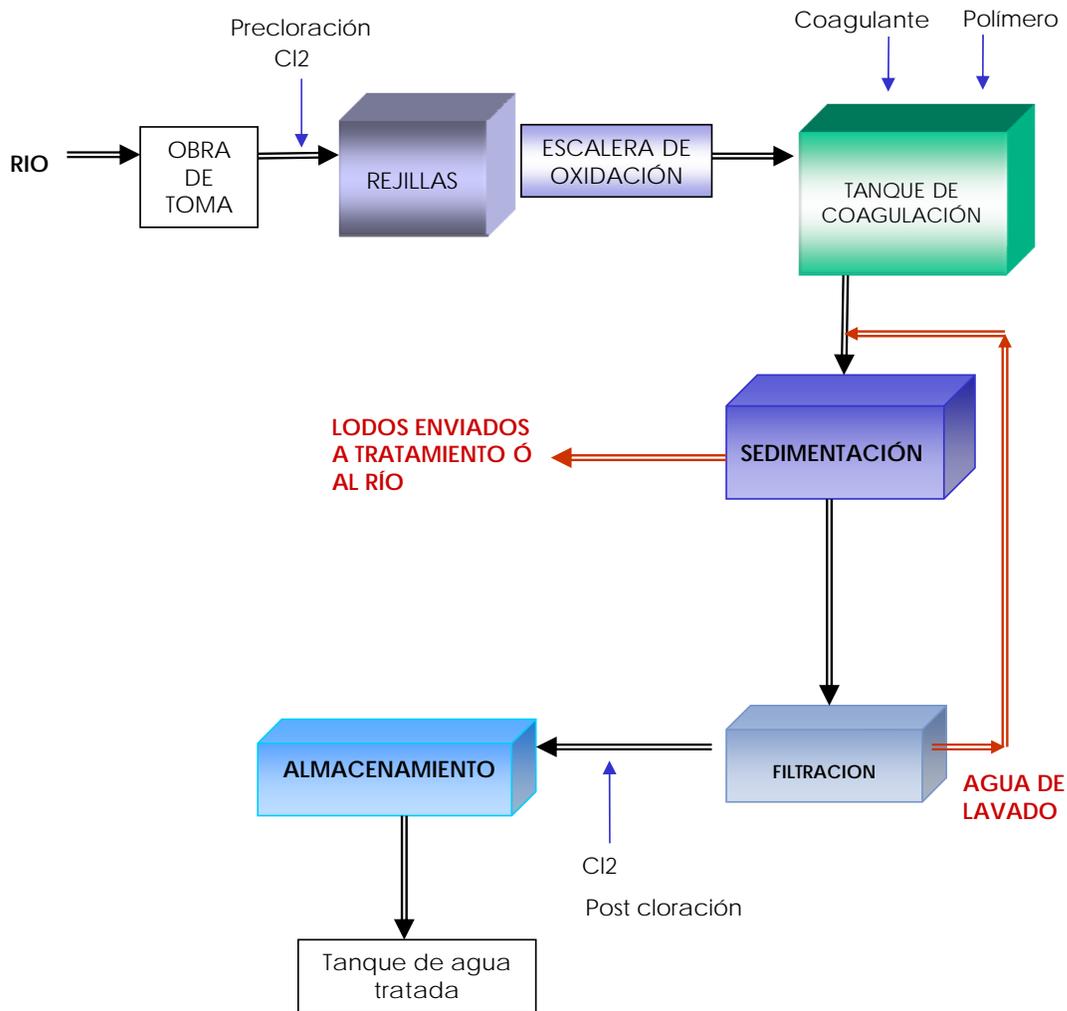


Figura 1.2 Proceso de Tratamiento, Planta Potabilizadora TUXTLA

De acuerdo con las bases de licitación de este proyecto, el agua tratada debía cumplir con los parámetros indicados en la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

A continuación se dará una explicación breve de los procesos y operaciones unitarias, así como equipamientos involucrados para potabilizar el agua empleados en las plantas Tuxtla (Chiapas) y Xochimilco (Baja California Norte).

1.2.1- Rejillas de desbaste

Estos equipos electromecánicos se instalan de forma horizontal o vertical en canales, como se muestra en la Figura 1.3, funcionando de forma automática e independiente del resto de los controladores de la planta. El agua pasa a través de espacios formados por rejas metálicas (o en algunos casos por mallas metálicas), para retener partículas pequeñas como restos de hojas, semillas o ramas.

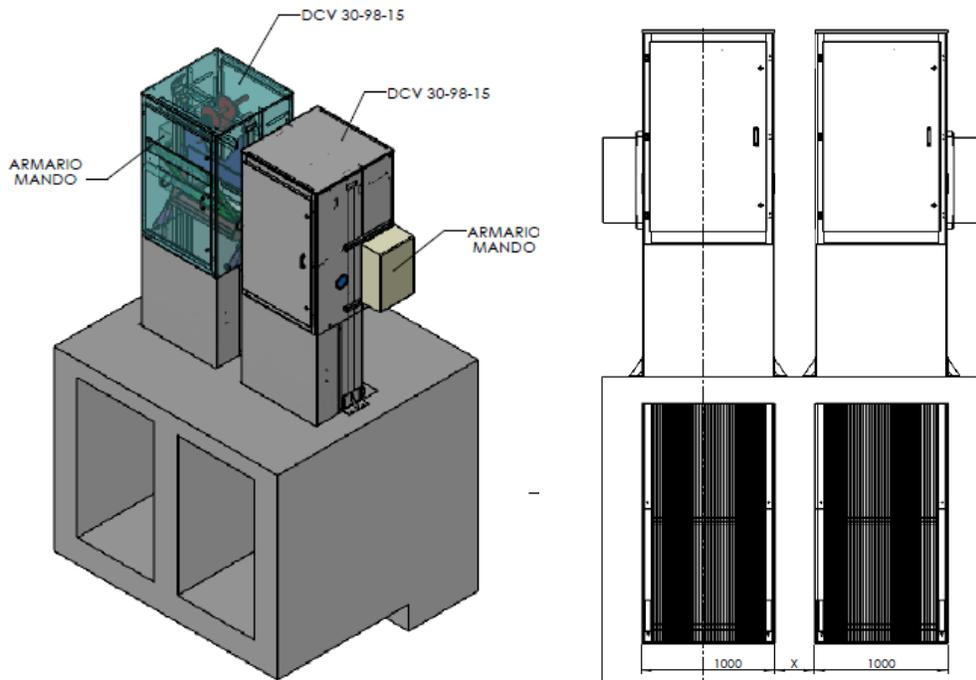


Figura 1.3 Reja de desbaste fino (vista 3D y elevación 2D)

Fuente: Rejillas de fabricante francés EMO⁹

En algunas plantas la retención de sólidos se realiza en dos etapas; primero una llamada desbaste medio, con retención de sólidos superiores a 25 mm y posteriormente desbaste fino, con retención de sólidos de tamaño superior a los 6 mm. En algunos casos sólo se hace la retención en una sola etapa, reteniendo sólidos de tamaño superior a los 15 mm. Se considera un desbaste grueso cuando la separación entre barras es superior a 40 mm (Degrémont 2007).

1.2.2- Oxidación

Este proceso se utiliza para remover hierro disuelto exponiendo la superficie del agua al contacto con el aire del medio ambiente; mediante el principio de oxidación del hierro divalente por el oxígeno del aire. La aireación se lleva a cabo a presión atmosférica

haciendo que el agua fluya sobre una escalera, que permitirá mediante la caída de uno a otro escalón el contacto entre el agua y el oxígeno del aire (ver Figura 1.4).

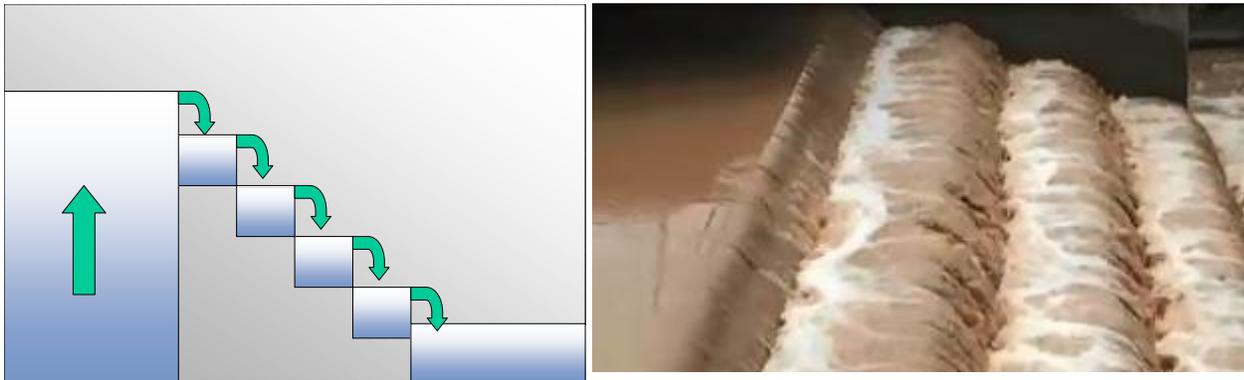


Figura 1.4 Escalera de oxidación, Planta Potabilizadora TUXTLA

Fuente: Video Proceso de Potabilización del Agua. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas⁴

Sin necesidad de introducir oxígeno en forma mecánica u otro oxidante, este método de aireación es económico y eficiente. Con la presencia del agente oxidante se favorece la formación de hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$, compuesto insoluble que se precipita y que se retiene al hacerlo pasar por un medio filtrante.

Por la presencia de materia orgánica y de manganeso en el agua se adiciona cloro en solución diluida, para ayudar a los iones hierro a cambiar a su forma insoluble y así facilitar su remoción (Nemerow, Agardy, Sullivan, Salvato, 2009). La rapidez de la oxidación del hierro divalente por el oxígeno depende de varios factores, en especial: temperatura, pH, contenido de hierro y de oxígeno disuelto.

1.2.3- Clarificación o Sedimentación

El proceso principal para potabilizar el agua en México es la remoción de sólidos suspendidos mediante la clarificación o sedimentación. Ésta se vale de la utilización de químicos para formar aglomerados, que puedan decantar gracias a su propio peso al reducirse la velocidad del agua. Las características de un influente (temperatura, pH, sólidos disueltos, etc.) hace difícil poder fijar un tipo y concentración de coagulante o floculante, por lo cual es muy importante efectuar pruebas de jarras a nivel laboratorio, para poder establecer los reactivos químicos y la concentración / dosificación que se requiere en el diseño de la planta.

La prueba de jarras no simula los procesos de tratamiento de agua, pero es usada para establecer la tasa de dosificación óptima en la coagulación. Para la licitación de las plantas potabilizadoras de la ciudad de Mexicali, Baja California Norte, estas pruebas se llevaron a cabo bajo las condiciones mostradas en la Tabla 1.7 a partir de un tiempo de aproximadamente 32 minutos.

La reacción del coagulante con la materia orgánica del agua requiere de cierta agitación que permita el contacto entre las partículas. Los métodos que se utilizan usualmente son principalmente mezclado hidráulico y agitación mecánica.

En el mezclado por medios mecánicos se utilizan agitadores para crear gradientes de velocidad de 30 s^{-1} o mayores, con tiempo de retención hidráulico de 15 a 60 segundos, tiempo suficiente para conseguir una reacción completa por la turbulencia del medio ("flash mixing"). La agitación beneficia en el sentido de disminuir el tiempo de residencia del agua y por tanto el volumen de las zonas de reacción (menos cantidad de concreto y obra). No obstante, también es posible prescindir de la agitación mecánica y proveer únicamente turbulencia hidráulica mediante baffles o muros, durante el tiempo de residencia de las aguas dentro del tanque. Sin embargo, este tipo de agitación puede no ser suficiente si se reduce el caudal de agua que fluye a través de las instalaciones.

El tiempo de residencia usualmente no es un factor crítico en el proceso de coagulación, siempre y cuando los químicos o reactivos se dispersen satisfactoriamente en el agua que será tratada y al mismo tiempo exista mezclado por al menos algunos segundos.

En cambio para que el proceso de floculación sea eficiente se requiere seleccionar el tiempo de residencia adecuado, una geometría de tanque o cámara para el mezclado y la intensidad de agitación adecuada. Un mezclado inadecuado resultará que el contacto o colisión entre partículas insuficiente y por tanto una pobre formación de flóculos. En cambio una agitación vigorosa en exceso puede romper o desintegrar parcial o totalmente las partículas que ya se hayan agrupado¹².

Generalmente se usan dosis de polímero floculante de 0.1 a 1 mg/L. En mi experiencia profesional la planta potabilizadora TUXTLA, fue diseñada para dosificar en promedio 0.4 mg/L pero con posibilidad de hacerlo máximo hasta 2 mg/L.

Sedimentación

La mayor parte de los clarificadores o sedimentadores son de flujo ascendente, pues el agua sube desde su entrada hasta los drenes del efluente, según esquema indicado en la Figura 1.5. En efecto, el agua que entra al tanque de sedimentación es forzada a ir al fondo mediante una mampara hasta un punto a partir del cual asciende, rebosando por los vertedores hasta la canaleta de recolección.

Las partículas floculadas sedimentan, en dirección contraria al flujo y son continuamente removidas del fondo del tanque por medio de un mecanismo de rastras. Las partículas con velocidad de sedimentación superior a la carga hidráulica Q/A (caudal por área superficial) son retenidas, en tanto que las más ligeras con velocidades inferiores, son sacadas del tanque junto con el efluente.

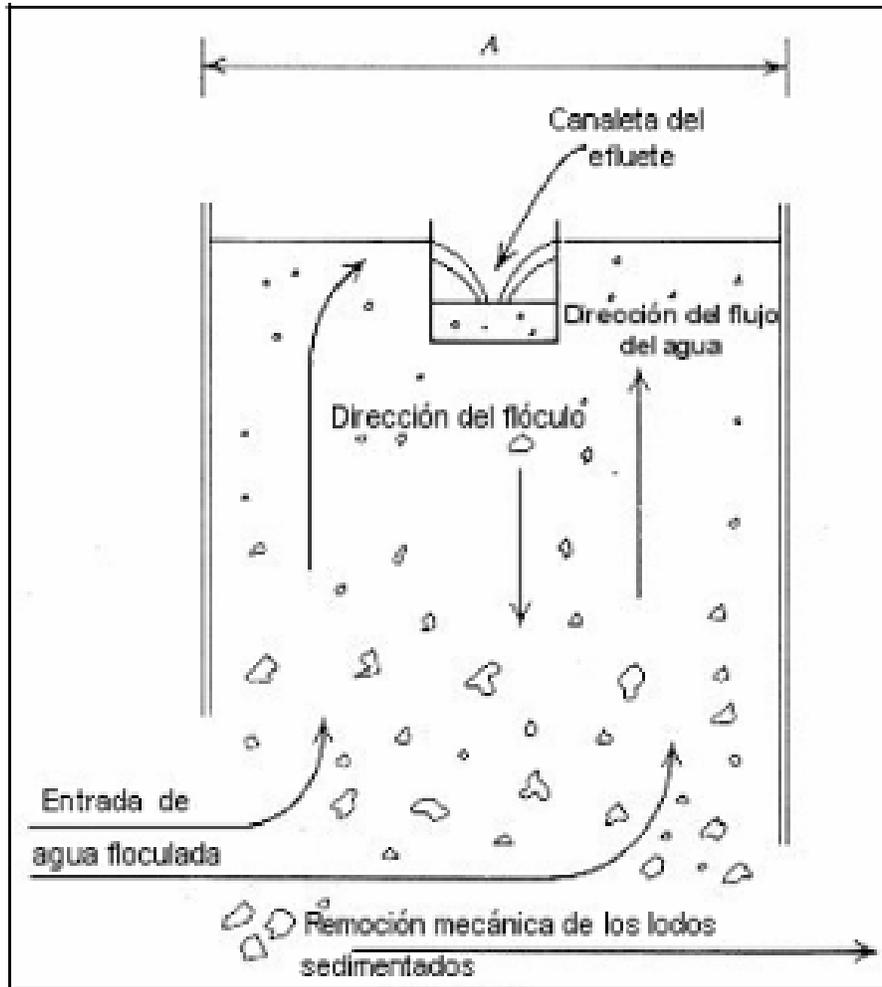


Figura 1.5 Esquema de la sedimentación de flóculos en dirección contraria al flujo de agua depurada

Fuente: CONAGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento⁵

La función primaria de los sedimentadores es eliminar materia decantable pero además, deben permitir recoger y descargar los lodos que se crean, así como concentrarlos, de manera que se eliminen con el menor contenido de humedad posible para facilitar su manejo, tratamiento y disposición. Para lograrlo, los sedimentadores son dotados de mecanismos que barren los lodos en el fondo, como se muestra en la Figura 1.6.

Algunos sedimentadores especializados en lugar de contar con barrido de lodos crean un manto de lodos, que se mantiene rodeado de una serie de mamparas bajo ligera presurización con aire, las cuales lo acumulan en el fondo mientras el agua tratada fluye en sentido ascendente hacia la superficie. Los lodos se purgan constantemente fuera del tanque a partir de válvulas automáticas de apertura todo o nada.



Figura 1.6 Fondo de sedimentador longitudinal con mecanismo de rastras

Fuente: Planta Potabilizadora “Xochimilco”, Mexicali, Baja California Norte

Por otra parte, debido a que en la práctica una fracción de la materia en suspensión del agua está compuesta de sólidos de baja densidad que flotan más que decantan, el sedimentador debe estar provisto de un sistema que permita recogerlos y evacuarlos. A estos sólidos se les asigna el nombre de espumas, las cuales también se mezclan con grasas y aceites que finalmente conforman natas.

Sedimentador rectangular

Los tanques rectangulares se emplean en la sedimentación primaria y en la clarificación (cuando ya se ha realizado previamente la coagulación y la floculación del agua). Pueden ser implementados como una sola unidad o varias con una pared común entre ellos, lo que implica una menor área y costo. La forma que produce mejores resultados hidráulicos es manteniendo una relación longitud/ancho menor a 6. En la mayoría de los casos, la profundidad del tanque estará entre 2.5 y 4 metros.

Los tanques se diseñan para el agua fluya lentamente con un mínimo de corto circuitos. El sedimentador rectangular puede esquematizarse conforme la Figura 1.7.

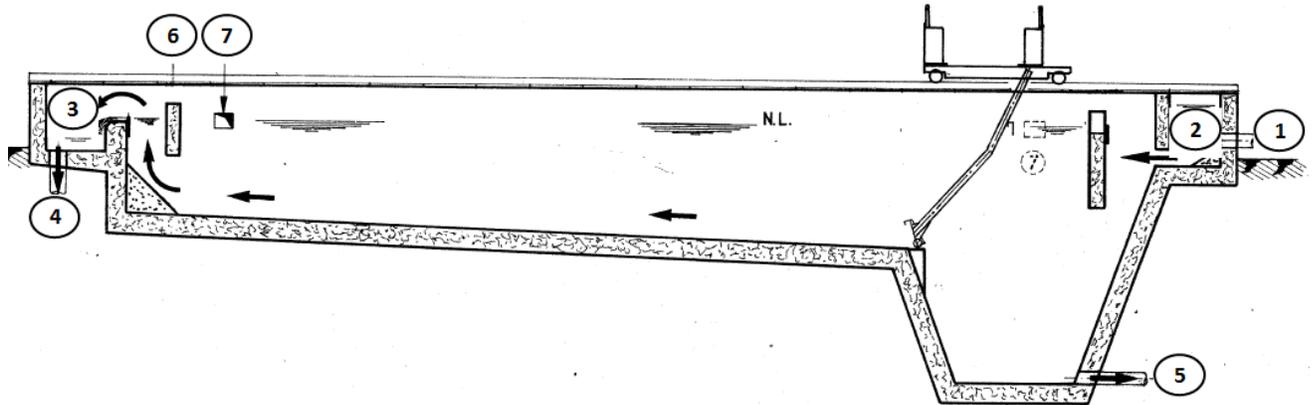


Figura 1.7 Funcionamiento de sedimentador longitudinal, Planta Potabilizadora “Xochimilco”, Mexicali

Fuente: Ficha Técnica Degrémont (SUEZ Medio Ambiente México)

- 1) Entrada de agua cruda
- 2) Mampara de repartición
- 3) Mampara de recolección de agua decantada
- 4) Salida de agua decantada
- 5) Extracción de lodos
- 6) Sifoide
- 7) Hueco para salida de flotantes, grasas y aceites

El sedimentador anterior considera un carro que recorre lentamente toda la longitud del tanque, provisto de mecanismo que puede subir y bajar. Su funcionamiento es automático por medio de sensores de posición. El mecanismo tiene unas “rastras” de hule que barren suavemente los lodos que se depositan en el fondo. Estos lodos se remueven hacia una tolva que permite acumularlos y extraerlos en una concentración más o menos homogénea. La extracción se realiza por medio de válvulas automáticas del tipo apertura – cierre que constantemente se encuentran funcionando durante intervalos cortos de tiempo, de forma intermitente, de tal forma que realizan extracciones hacia un tanque exterior independiente, como puede ser un espesador de lodos a gravedad.

Para la planta potabilizadora “Xochimilco” en Mexicali B.C. cada sedimentador rectangular era de aproximadamente 14 x 54 metros, con una profundidad promedio de 4 metros. El fondo tenía una pendiente de 0.9 % para dirigir los lodos a la tolva, generando lodos con una densidad promedio de 1.3 Kg/m³.

1.2.4- Filtración

El proceso de filtración es uno de los más frecuentemente empleados para potabilizar aguas superficiales. Se emplea con o sin pretratamiento de coagulación y sedimentación (filtración directa), para eliminar los sólidos presentes originalmente en el agua, o los precipitados.

Un filtro típico tiene un tanque de concreto de profundidad aproximada mayor a 2.7 m. El espesor típico del medio es de 0.6 a 0.75 m y se encuentra colocado sobre grava, la cual a su vez está colocada sobre un bajo dren o falso fondo conforme se representa en la Figura 1.8. El influente pasa en sentido descendente por el filtro debido a la fuerza que ejerce la columna de agua sobre el lecho.

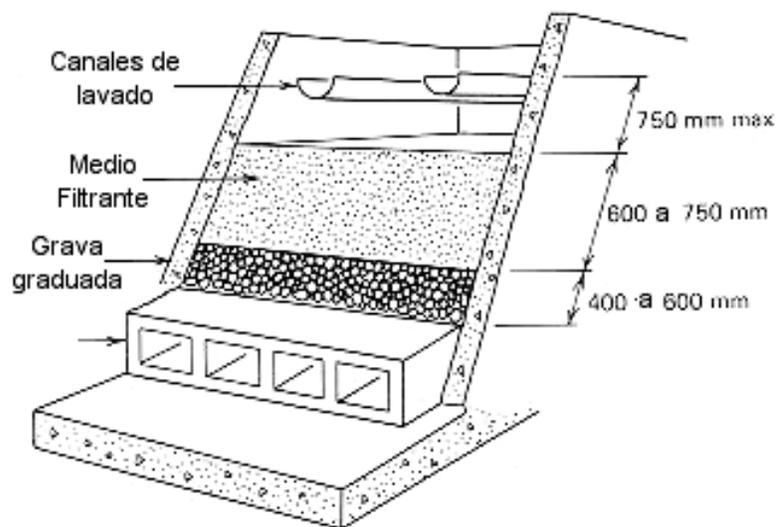


Figura 1.8 Filtro de arena convencional atmosférico

Fuente: CONAGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento⁵

Cuando el filtro se ha saturado éste detiene su producción de agua y se aísla mediante válvulas automáticas. Enseguida dicho filtro se lava con agua filtrada, mediante el cambio en la dirección del flujo (en sentido ascendente) en un proceso que se denomina retrolavado. Una canaleta colocada sobre el filtro, a una altura determinada, recoge el agua “sucia” del lavado.

Una alternativa para garantizar un buen retrolavado involucra la inyección de aire presurizado simultáneamente con el agua, ambos en dirección ascendente. El aire es generado por un equipo electromecánico conocido como soplador, el cual toma aire de la atmosfera y lo impulsa por tubería hasta el fondo de filtro. La velocidad del aire, la cual determina la energía de lavado, se encuentra usualmente en un rango de 40 a 70 m/h mientras pasa por el medio filtrante (Logsdon and Hess, 2002). En la Figura 1.9 se muestran dos celdas de filtro atmosférico a gravedad donde una está en producción y la otra en retrolavado, con suministro de aire mediante un soplador y de agua mediante una bomba.

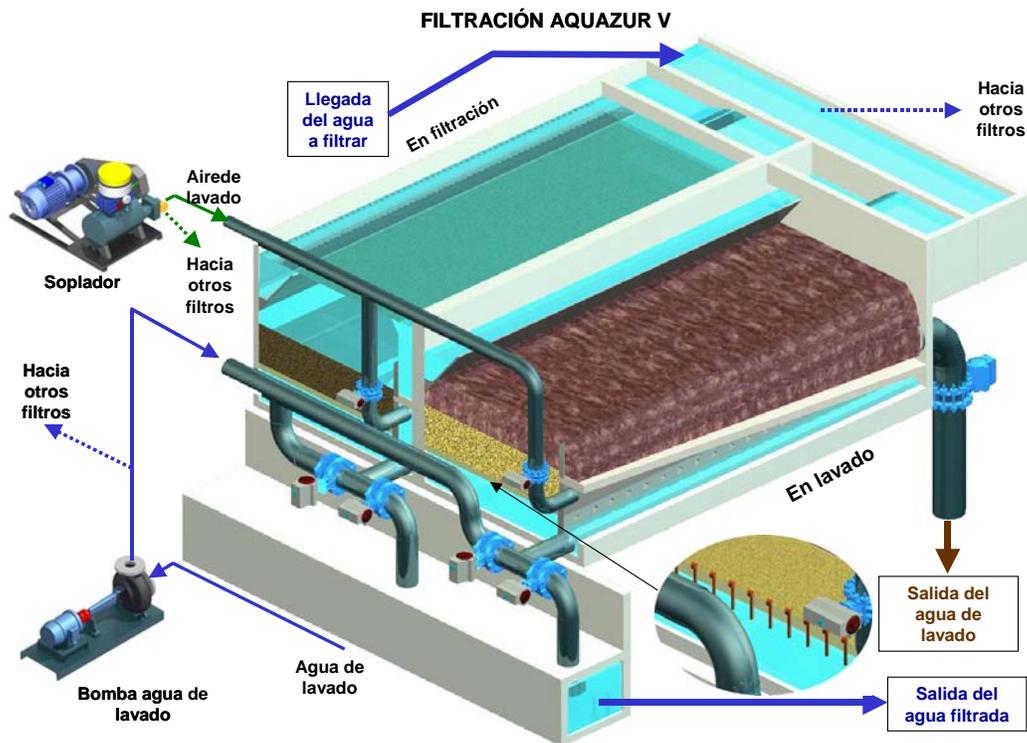


Figura 1.9 Funcionamiento de filtro a gravedad, con una celda en filtración de agua y otra en retrolavado con agua y aire

Fuente: Ficha Técnica Degremont (SUEZ Medio Ambiente México)

El retrolavado es una operación muy importante: si es deficiente causará que algunas zonas se queden permanentemente sucias, dejando un espacio reducido para el paso del agua; lo cual a su vez ocasionará una filtración más acelerada, en forma menos eficiente y creando flujos preferenciales.

Se ha podido constatar que el esquema más frecuente para la potabilización de cuerpos superficiales consiste en combinar la coagulación-floculación, posteriormente sedimentación y finalmente filtración.

Medio filtrante

La arena o medio filtrante que fue considerado en las plantas potabilizadoras que ya se han mencionado reunieron las siguientes características:

- Suficientemente grueso para tener intersticios entre los granos con gran capacidad de almacenamiento

- Suficientemente fino para retener el paso de los sólidos suspendidos
- Una altura suficiente para mantener el tiempo de filtración deseado
- Un tamaño adecuado para permitir un lavado eficiente (arena poco dispersa)

Como medio filtrante es posible utilizar arena silica, antracita, tierra de diatomeas, perlita y carbón activado en polvo o granulado (Figura 1.10). Un filtro se puede rellenar con un sólo tipo de medio o una combinación de éstos. El medio más común empleado es la arena de sílice y para filtros duales, arena con antracita. Se emplea carbón activado como medio filtrante cuando se pretende no sólo eliminar los sólidos en suspensión, sino también remover los materiales disueltos (por adsorción).



Figura 1.10 Arena antracita debajo de canaletas de recolección de agua sucia de lavado. Planta Potabilizadora “Xochimilco”, Mexicali

Fuente: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM)

Los filtros duales generalmente combinan antracita (carbón muy duro) con arena. La antracita tiene un coeficiente de uniformidad o tamaño nominal de 0.9 a 1.1. Los espesores en ambos casos suelen ser de 0.3 m. La antracita es interesante porque tiene un volumen de poros libres 20 % superior al de la arena silica, por lo que actúa como un almacén de flóculos.

Conforme el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA, la American Water Works Association (AWWA) ha establecido valores estándar para la profundidad del lecho filtrante en función del tamaño del medio:

- $h/TE \geq 1000$ para lechos sencillos o duales
- $h/TE \geq 1250$ para lechos triples y arenas gruesas ($1.5 \text{ mm} > d > 1.0 \text{ mm}$)
- $h/TE \geq 1250$ a 1500 para lechos de arena gruesa ($2 \text{ mm} > d > 1.5 \text{ mm}$)

donde:

h : Profundidad del lecho filtrante en mm

TE: Tamaño efectivo

Para la planta Potabilizadora TUXTLA, Chiapas fue utilizada arena silica con un tamaño específico nominal (T.E.N.) de 1.35 mm, con un lecho de 1.5 metros para cada filtro, por lo cual la relación h/TE resulto ser 1111.1

1.2.5 - Cloración

Para potabilizar agua a gran escala el método efectivo para eliminar bacterias y virus, manteniéndolos ausentes durante horas o días, es a partir del uso de cloro gas. El agua es transportada por largos recorridos desde el punto de bombeo en la planta tratadora hasta el domicilio más alejado de la red; lo cual implica que el agua viaje por tuberías en grandes distancias, estando susceptible a desarrollos microbiológicos, aún después de haber sido tratada. Los métodos alternativos para desinfección como la inyección de ozono o los rayos ultravioleta (UV) son efectivos en la desinfección del agua pero no garantizan que el agua se mantenga así por horas ni mucho menos por días, a diferencia de la cloración, porque ésta última deja un residual de cloro en partes por millón (ppm).

En las plantas para potabilizar agua “Ciudad del Agua”, Chiapas; así como “Xochimilco”, Mexicali B.C., la inyección del cloro gaseoso se realiza como última etapa del tratamiento, justo antes del almacenamiento y/o bombeo, cuando ya se ha removido casi la totalidad de los sólidos suspendidos; ya que éstos consumen cloro y entorpecen el objetivo de mantener un residual en el agua, normalmente deseado entre 0.5 y 1 ppm (medido en la estación de bombeo). El cloro se transporta y almacena comúnmente en cilindros metálicos con 900 Kg de producto (Figura 1.11), los cuales se conectan a la red de gas por medio de tuberías. A partir de esta red se interconecta un dispositivo llamado “clorador”, cuya función es regular y medir la cantidad de cloro gaseoso que se dosifica. Esta dosificación se lleva a cabo disolviendo el cloro gas en una corriente de agua, succionándolo mediante vacío que proporciona un dispositivo mecánico llamado eyector. El clorador puede funcionar de manera automática mediante señal de control, para permitir mayor o menor paso de gas en función de la dosis de cloro deseada o del caudal de agua a tratar.



Figura 1.11 Cilindros de cloro gas

Fuente: Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM)

Mientras la mayoría de los cilindros de gas cloro permanecen almacenados, solamente una parte se usa e interconecta a la red de tubería para suministrar el gas. Los cilindros en uso se colocan en una tipo báscula que permite conocer la cantidad de cloro y por tanto alertar de manera automática al operador de la planta cuando el químico se agota, de tal forma que en forma anticipada se pueda realizar la sustitución de los cilindros vacíos por llenos.

La dosis de cloro gas que se aplica normalmente es de 3 a 5 ppm, para conseguir un valor residual de aproximadamente 1 ppm. Esto se realiza antes de que el agua entre al tanque de almacenamiento y por lo tanto antes del bombeo a la red.

1.3.- Plantas de Tratamiento de agua residual

El tratamiento de agua residual urbana involucra diferentes procesos, tecnologías y soluciones, que están en función, entre otras cosas, de las características del agua, el espacio disponible para construir la planta y de los costos de construcción – operación que representen para el financiador y el constructor de las obras. No obstante, es posible agrupar los procesos en tres o cuatro grandes grupos: Pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento biológico o secundario, tratamiento terciario y por último tratamiento de lodos.

1.3.1.- Pretratamiento

El Pretratamiento consiste esencialmente en: a) remover desechos, basuras y sólidos de gran tamaño que ocasionarían problemas en los equipos de bombeo o procesos subsecuentes y b) remoción de grasas o aceites que no pueden degradar los microorganismos en los procesos con lodos activados.

Las rejillas o rejas protegen a los equipos de bombeo de atascamientos y problemas por el ingreso de basuras; por lo cual es necesario consultar a los proveedores de bombas (o inclusive tornillos de Arquímedes) sobre el tamaño de partículas aceptables en sus equipos. No obstante, para bombas centrífugas se establece que las rejas deberán tener un paso de luz de 40 a 80 mm dependiendo del diámetro de paso del impulsor de la bomba (Degrémont, 2007). Este tipo de rejas se pueden llamar rejas gruesas para diferenciarlas de las que eventualmente se encuentren instaladas más adelante en el proceso de depuración del agua.

Eventualmente, también se hace necesaria la instalación de rejas que puedan retener sólidos más pequeños después del bombeo principal, con la finalidad de evitar acumulación en tanques, obstrucción de tuberías, etc. Estas rejas (Figura 1.12) se llamarían “finas” para diferenciar de las que se encuentren instaladas con mayor paso de luz.



Figura 1.12 Rejas finas P.T.A.R. “SUR”, Ciudad Juárez, Chihuahua

Fuente: Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez (JMAS)

El paso de luz para estas rejas finas oscila en los 10 mm de separación entre barrotes. Éstas se instalan totalmente verticales o inclinadas, usualmente en canales independientes de agua negra, antes de los tanques desarenadores y después del bombeo.

Ya sea que las rejas estén consideradas como gruesas o finas todas ellas son equipos de funcionamiento automático. Usualmente consisten en una serie de barrotes instalados en el canal del agua, los cuales se limpian eventualmente cada cierto tiempo con un rastrillo o peine mecanizado, que toma los sólidos, luego los levanta y los descarga en una banda transportadora para finalmente llegar a un contenedor.

1.3.2.- Tratamiento Primario

Existen equipos que se conocen comúnmente como desarenadores – desengrasadores, Figura 1.13, los cuales promueven la sedimentación de las arenas y la flotación natural de las grasas y aceites que se forman en la superficie de los tanques. En el fondo, las arenas se barren por medio de rastras y en algunos equipos se extraen mediante inyección de aire. En la superficie las grasas y aceites también se remueven con rastras superficiales que las depositan en canales específicos, para conducir las fuera del tanque.



Figura 1.13 Desarenador – desengrasador rectangular.
P.T.A.R. “SUR”, Ciudad Juárez, Chihuahua
Fuente: Archivo fotográfico Degrémont (SUEZ Medio Ambiente México)

Otro aspecto importante del tratamiento primario es la posibilidad de remover materia orgánica sedimentable, que fermenta fácilmente, mediante decantadores específicos (circulares, rectangulares, etc.). No obstante, es necesario considerar que esta materia orgánica representa una fuente de carbono que puede ser requerida en procesos posteriores, como la nitrificación y denitrificación, por lo cual es conveniente evaluar si realmente es conveniente retirarla antes del tratamiento biológico. Por otro lado, los lodos extraídos de un proceso de decantación primaria son muy benéficos para su mezclado con lodos secundarios y la digestión anaerobia de ambos.

1.3.3.- Tratamiento secundario

1.3.3.1- Lodos activados

El tratamiento secundario es fundamentalmente realizado por medio de lodos activados, microorganismos que degradan la materia orgánica disuelta incluyendo compuestos de nitrógeno y fósforo. Este tratamiento es en la mayoría de los casos por medio de aireación, con lo cual las bacterias disponen de oxígeno necesario para reproducirse y degradar a la materia (carbono) orgánica mencionada. A continuación se clasifican los procesos con lodos activados según la carga de contaminación (materia orgánica) presente en el agua, la cual comúnmente se mide en términos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO):

Tabla 1.8 Clasificación de los procesos con lodos activados.

Proceso	F/M (Alimento/Microorganismos) (kg DBO₅/kg SS.d)	Carga DBO (kg DBO₅/m³.d)	Edad de lodos	Eficiencia remoción DBO
Baja carga	< 0,20	< 0,7	7 - 30 días	≥ 90 %
Carga media	0,20 - 0,4	0,7 - 1,4	4 - 10 días	80 - 90 %
Alta carga	0,4 - 1,0	1,4 - 3	1,5 - 4 días	70 - 90 %

Fuente: Water Treatment Handbook, Degrémont.

La edad de lodos es un parámetro distinto al tiempo de residencia hidráulico (éste último es volumen dividido por el caudal), ya que toma en cuenta la recirculación que se hace de los mismos lodos clarificados o concentrados. La edad de lodos se define como la masa de lodos en el tanque de aireación dividido por la cantidad de lodos que son extraídos del sistema (Droste R., 1996).

CAPITULO I. CRITERIOS EN LA SUPERVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Los procesos anteriores suceden en los llamados “reactores biológicos”, es decir en tanques con lodos activados que se encuentran en constante aereación, donde las bacterias utilizan el carbono orgánico para su ciclo de vida. Usualmente se le conoce como “licor mezclado” al medio dentro del reactor biológico que está formado por lodos activados (bacterias) y agua residual.

Aunque existen amplias tecnologías y variaciones en el proceso de lodos activados como el bioreactor a membranas o la aereación extendida, el proceso convencional es el más común, el cual considera generalmente: tanque rectangular, difusores de aire en el fondo para alcanzar 1.5 a 2 ppm de oxígeno disuelto (Tchobanoglous, Burton, Stensel, 2003) y una recirculación de biomasa o licor mixto proveniente de un clarificador.

A continuación se señalan algunas plantas de tratamiento de agua municipal en México clasificadas respecto a la carga que reciben (Tabla 1.9):

Tabla 1.9 Algunas Plantas de tratamiento en México con diferentes tipos de carga.

	Capacidad (Lps)	A/M (Alimento/ Microorganismo) (kg DBO ₅ /kg SS.d)	Carga DBO (kg DBO ₅ /m ³ .d)	Edad de lodos (d)	Clasificación
Juárez SUR	2000	0.84	2.09	1.98	Alta carga
Valle de Juárez	500	1.1	1.84	1.21	Alta carga
Tenorio- Villa de Reyes S.L.P.	1050	0.17	0.62	8.3	Baja carga

El aire que requieren los lodos activados puede generarse por medio de equipos mecánicos como agitadores superficiales o a través de sopladores. Estos últimos son máquinas que toman el aire de la atmosfera y lo comprimen, de tal forma que se generan caudales importantes a baja presión (0.5 a 0.7 bar). La presión mencionada estará en función principalmente de la columna de agua a vencer, que usualmente oscila entre los 5 y 7 metros de altura.

Este aire se distribuye hacia diferentes zonas del tanque de aireación por medio de tuberías metálicas, las cuales se ramifican y se sumergen hasta el fondo, para finalizar en un sistema o red con difusores de burbuja fina, como puede observarse en la Figura 1.14



Figura 1.14 Reactor biológico con red de aire y difusores de burbuja fina.
Fuente: Planta "SUR", Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez

El proceso convencional requiere mantener una concentración de sólidos suspendidos volátiles en el reactor biológico de 1.5 a 3 g/L, por lo cual es necesario concentrar los lodos activados (típicamente en un clarificador secundario) para recircularlos posteriormente al tanque de aireación, como se muestra en la Figura 1.15.

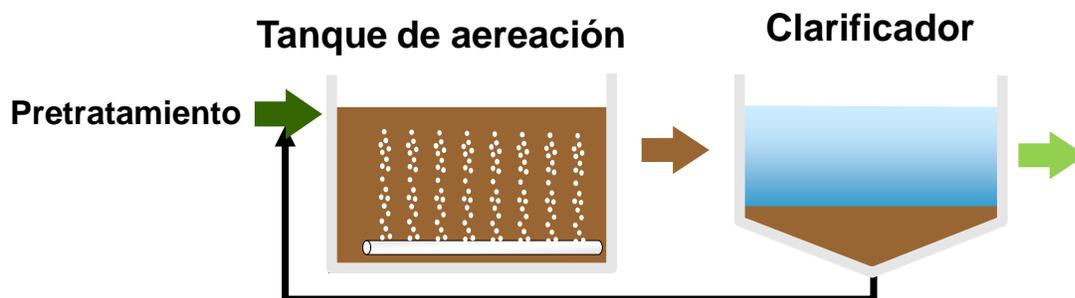


Figura 1.15 Tratamiento secundario básico con recirculación de lodos.
Fuente: SUEZ Medio Ambiente México

Esta recirculación desde el clarificador hasta el tanque de aereación oscila típicamente entre el 50 y el 75% del influente de diseño promedio; estando la capacidad de diseño promedio típicamente entre el 100 y 150% del influente promedio de diseño (Tchobanoglous, Burton, Stensel, 2003).

En paralelo, existen procesos específicos relacionados al tratamiento con lodos activados, los cuales se desarrollan en ausencia de oxígeno para remover compuestos de nitrógeno y fosforo presentes en las aguas negras. Por ejemplo el proceso conocido como “nitrificación – denitrificación”, el cual aprovecha la carencia de oxígeno en el agua para tomarlo de los nitratos y así descomponerlos. En cuanto al fósforo contenido en el agua residual, éste se puede remover en condiciones “anaerobias”, es decir, también de ausencia de oxígeno disuelto en el agua y sin la presencia de compuestos oxigenados (Droste R., 1996).

Tabla 1.10 Condiciones del licor mixto según la presencia de oxígeno disuelto.

Condición	Concentración de oxígeno disuelto (mg/L)	Presencia de N- NO ₃	Potencial redox	Proceso denominado
Aerobia	> 0.5	si/no	> 200 mV	Remoción carbono / nitrificación
Anóxica	~ 0.5	si	50 - 150 mV	Denitrificación
Anaerobia	0	no	< 50 mV	Defosfatación

Fuente: Water Treatment Handbook, Degrémont.

1.3.3.2- Clarificación secundaria

Dentro del tratamiento secundario es necesaria la separación de los lodos para obtener un agua con baja cantidad de sólidos suspendidos y por consecuencia de escasa materia orgánica. Para este fin, frecuentemente se emplean sedimentadores o clarificadores que aprovechan la decantación por gravedad de los flóculos formados. Aunque existen clarificadores circulares y rectangulares de concreto los primeros son los más empleados por ser menos costosos, ya que para un mismo volumen de concreto la superficie para sedimentación de los circulares es mayor (WEF, 2005).

Existen dos tipos de tanques circulares en la clarificación secundaria: el alimentado por el centro y el alimentado por la periferia. Ambos utilizan un mecanismo para transportar y remover del tanque los lodos sedimentados en el fondo del mismo, conforme se observa en Figura 1.16, la cual corresponde a un clarificador de 45 metros de diámetro. El efluente o agua clarificada se extrae a través de vertedores triangulares, localizados cerca del centro o del perímetro del tanque según el tipo de sedimentador. El mecanismo de remoción del sobrenadante (a veces llamado “desnatador”) se localiza en la superficie del tanque.

Los mecanismos de rotación en los clarificadores pueden construirse de aluminio, acero inoxidable, acero con recubrimiento anticorrosivo o acero galvanizado. La elección dependerá de la naturaleza del agua (especialmente cuando contiene cloruros), condiciones financieras y requerimientos locales del cliente. Estos mecanismos se utilizan para barrer y extraer los lodos que se depositan en el fondo.

Los lodos depositados deben permanecer menos de dos horas en el clarificador para evitar fermentación de los mismos (Degrémont, 2007).



Figura 1.16 Mecanismo de clarificador: corona central, puente, rastras y tubos verticales con canaleta para extracción de los lodos

Fuente: Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez (JMAS)

Es muy común que en clarificadores de hasta 25 metros de diámetro el barrido de los lodos se haga hacia el centro, donde se extraen por medio de una tubería que conduce hasta equipos de bombeo. Cuando los clarificadores son mayores de 25 metros de diámetro, es más común utilizar un sistema de succión de lodos, en lugar de extraerlos por el centro, ya que el orientarlos hacia el centro involucra una cierta pendiente que dificulta y hace más caros los trabajos constructivos. Estos lodos después de ser sedimentados, típicamente alcanzan concentraciones entre 2.5 y 6.6 g/L

Los clarificadores secundarios son una buena opción en plantas de tratamiento a gran escala, cuando no existe limitación de espacio. No obstante, en plantas de relativamente bajo caudal es posible utilizar tecnología como el bioreactor a membranas (MBR), el cual utiliza la tecnología de ultrafiltración para lograr separar los lodos activados del agua tratada. La tecnología MBR otorga el beneficio de disminuir el gran espacio requerido para la decantación, disminuyendo el costo de obra civil asociado.

1.3.4.- Tratamiento terciario

Este tratamiento comprende principalmente la eliminación de microorganismos patógenos perjudiciales para la salud del ser humano, como bacterias, virus, helmintos o protozoarios. El principal agente utilizado para lograr la desinfección del efluente es el cloro gaseoso, el cual se disocia en agua formando una solución formada principalmente por ácido hipocloroso. Esta solución se inyecta en el efluente clarificado previamente, dentro de un tanque de contacto, Figura 1.17, antes de enviar el agua al cuerpo receptor.

Como regla general, mantener una concentración de 0.5 ppm de cloro libre residual, durante un tiempo de contacto de 30 minutos y pH inferior a 8, permite eliminar las bacterias patógenas y los virus de la polio (Moles, 2207).

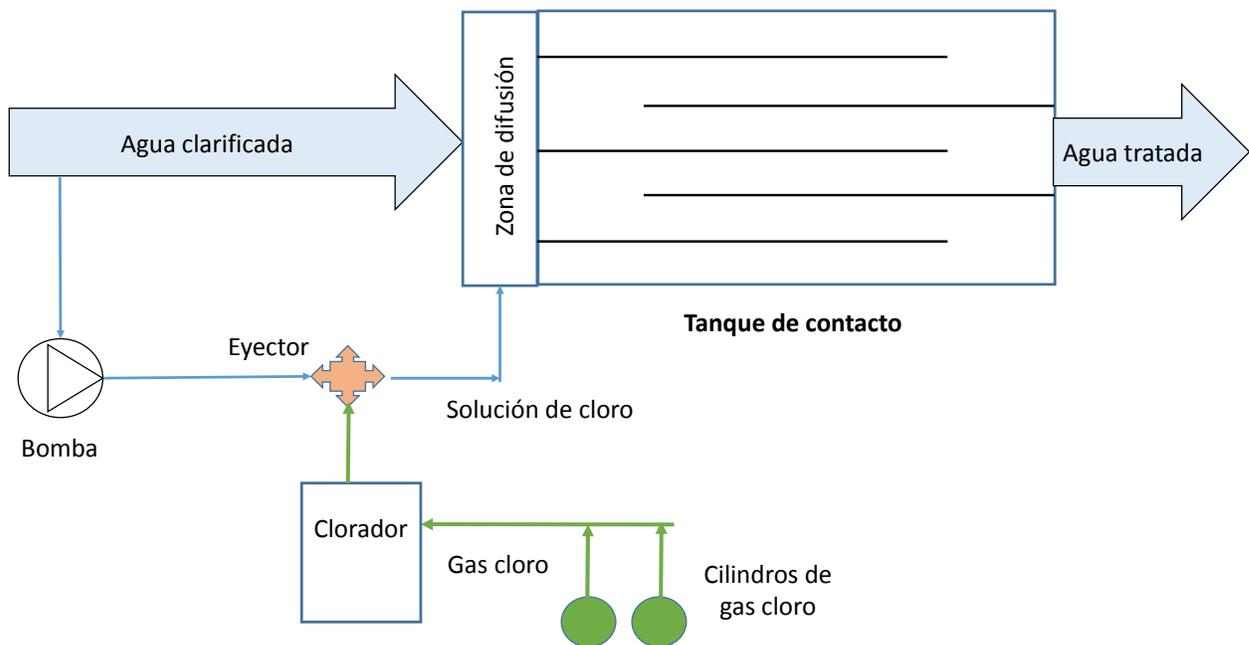


Figura 1.17 Diagrama de flujo para desinfección por medio de cloro gaseoso y tanque de contacto

Fuente: Central Termoeléctrica de Mexicali

La desinfección por medio de cloro gaseoso es el método por excelencia usado en tratamiento de agua residual por ser el más atractivo en términos de explotación, por su relativamente bajo costo (principalmente en plantas tratadoras de gran tamaño). La cloración garantiza no solamente la eliminación por completo de los microorganismos patógenos, sino que también mantiene un efluente relativamente estable durante su transportación al cuerpo receptor (efecto remanente). Otras alternativas de desinfección son el uso de lámparas de rayos ultravioleta (UV) y la utilización de ozono, sin embargo presentan algunos inconvenientes que se presentan en la Tabla 1.11.

Tabla 1.11 Efecto bactericida y remanente de diferentes desinfectantes.

Efecto	ozono	cloro	dióxido de cloro	cloraminas	UV
Efecto bactericida	+++	++	++	+	++
Efecto remanente	0	+	++	+++	0

Fuente: Boletín Técnico “Eaux des Distribution- Désinfection”

Como puede apreciarse la utilización de ozono y de rayos UV no evita que el efluente desinfectado pueda mantenerse como tal y existe mayor facilidad para que vuelva a contaminarse con bacterias, parásitos y virus. Mientras que la utilización de cloro y sus compuestos derivados si dificultan el desarrollo de microorganismos patógenos.

Si el agua residual se desea utilizar para recarga de acuífero deberá cumplirse con la norma NOM-014-CONAGUA-2003 “Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada”, lo cual involucra un tratamiento adicional como la ósmosis inversa, para alcanzar las características del agua requeridas por dicha norma.

1.3.5- Tratamiento de Lodos

Como subproducto de los procesos primario y biológico para remover la materia orgánica del agua, se generan lodos que deben ser purgados del tren de tratamiento. Estos lodos son procesados de forma independiente para espesarlos, deshidratarlos y estabilizarlos, de tal forma que puedan ser transportados para su disposición final o reúso.

Los métodos y tecnologías para realizar el tratamiento (deshidratación o espesamiento) de lodos son diversas, pudiendo mencionarse las siguientes: espesamiento a gravedad, digestión anaerobia, filtración a presión y centrifugación. Posteriormente, los lodos deshidratados se pueden incinerar, secar, disponer en rellenos sanitarios o utilizar como abono en cultivos agrícolas. Los lodos deshidratados por filtro prensa pueden obtener 18% de sequedad mientras que los lodos deshidratados por centrifuga de lodos 23 % de sequedad.

1.3.5.1- Espesamiento de lodos

El espesamiento a gravedad puede dividirse en dos tipos: estático por medio de tanque circular atmosférico o dinámico por medio de equipos electromecánicos (como por ejemplo una mesa de espesamiento). El primero es utilizado principalmente para los lodos extraídos del tratamiento primario, por ser lodos hidrofóbicos de relativamente más fácil separación. El espesamiento dinámico se utiliza para lodos biológicos extraídos del tratamiento secundario, los cuales requieren de la formación de flóculos (adicionando un producto químico o polímero que aglomere y forme partículas pesadas), de tal forma que puedan separarse en un equipo como la mesa de espesamiento.

El espesamiento estático consiste en introducir los lodos primarios en un tanque provisto de una pendiente en su fondo; la cual sirve para concentrar y extraerlos. También se dispone de un accionamiento electromecánico, Figura 1.18, que realiza el barrido de los lodos depositados en el fondo, dirigiéndolos hacia el centro.



Figura 1.18 Mecanismo de un espesador de lodos circular a gravedad con fondo cónico y sistema de rastras para orientar los lodos al centro

Fuente: P.T.A.R. Valle de Juárez, Chihuahua

Los lodos que se concentran en el fondo se extraen por medio de una bomba que los succiona, mientras que el agua separada en la parte superior rebosa por un canal a lo largo de todo el perímetro del tanque. Típicamente los lodos que se alimentan al tanque espesador tienen una concentración de 3 a 10 g/L y se concentran hasta lograr entre 60 y 100 g/L (como sólidos suspendidos totales).

La mesa de espesamiento dinámico, Figura 1.19, integra equipos secundarios para poder flocular los lodos diluidos en un pequeño reactor, provisto de un agitador, donde se mezcla el lodo diluido con polímero. Enseguida, la mezcla se hace pasar por una malla (350 a 800 μm) metálica que retiene los aglomerados, dejando pasar el agua hacia una charola de recolección.

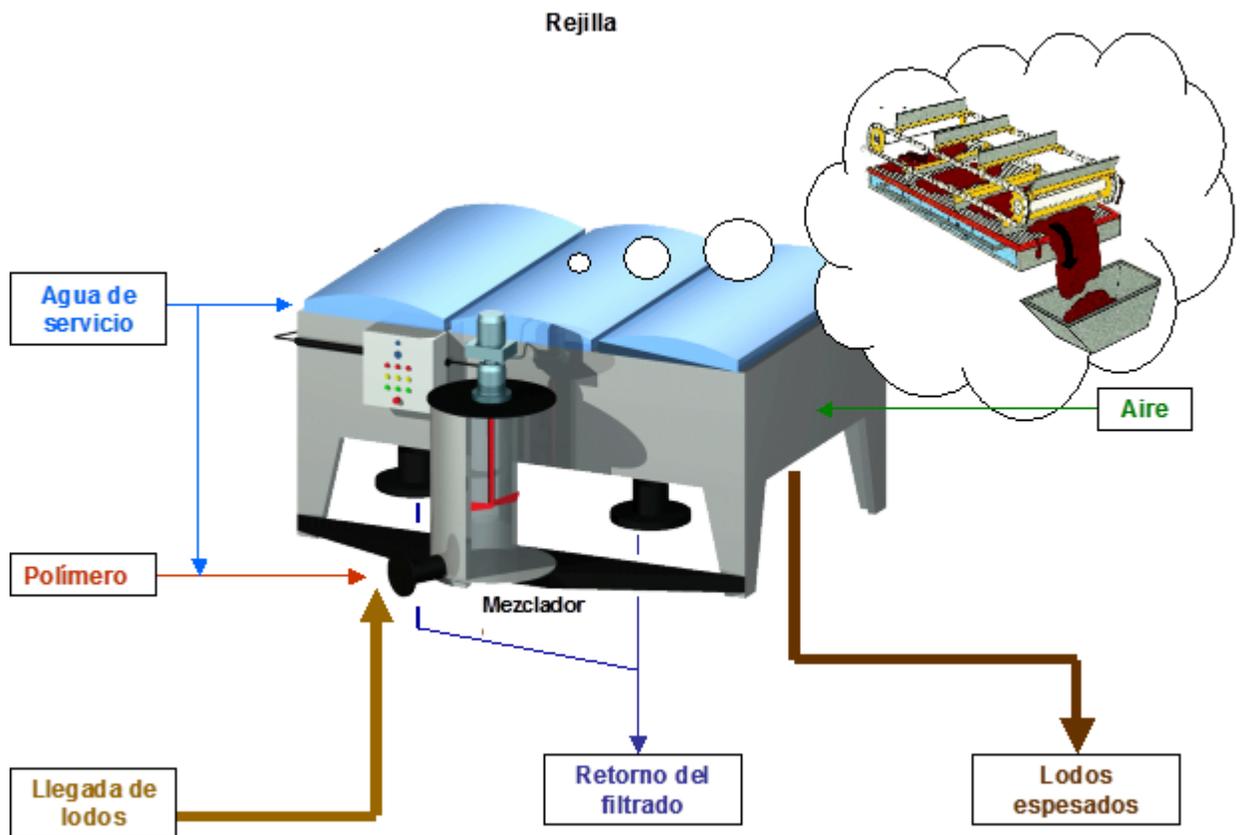


Figura 1.19 Mesa o reja dinámica de espesamiento de lodos

Fuente: Water Treatment Handbook, Degrémont.

Para evitar la saturación o ensuciamiento de la malla metálica constantemente se hace un lavado con agua a presión, sin interrumpir el procesamiento del lodo. Esta agua se recolecta y puede ser recirculada a la entrada de la planta, para incorporarla en el tren de tratamiento. Por su parte, los lodos se envían a un tanque de almacenamiento con bombeo, para transferirlos posteriormente a la digestión anaerobia.

1.3.5.2- Digestión anaerobia

Como subproducto de los procesos primario y biológico para remover la materia orgánica del agua, se generan lodos que deben ser purgados del tren de tratamiento. Estos lodos generalmente se combinan (primarios más biológicos) para ser degradados en un proceso independiente conocido como digestión. La digestión que se efectúa en ausencia de oxígeno o aire, es llamada digestión anaerobia y es un método ampliamente utilizado para tratar los lodos producidos durante la depuración del agua. Los lodos que se alimentan al digester anaerobio (tanque o depósito hermético que facilita el proceso de digestión) deben haber sido espesados previamente para lograr concentraciones de 60 a 70 g/L.

La digestión anaerobia permite estabilizar los lodos (eliminar organismos patógenos) y deshidratarlos, generando gas metano como subproducto de la degradación de ciertos compuestos. Los microorganismos de un digester son más eficientes cuando se les alimenta en pequeños volúmenes a intervalos frecuentes. Por esta razón los lodos frescos se deben inyectar al digester intermitentemente, al menos dos veces al día para plantas pequeñas y más frecuentemente cuando las instalaciones y la disponibilidad de los operadores lo permiten. Esto sin perder de vista la importancia de evitar lodos estancados o almacenados en los tanques por mucho tiempo, lo cual podría originar su descomposición (Cheremisinoff, 2002).

Generación de lodos subproducto del tratamiento de agua residual

La remoción de los sólidos suspendidos, sólidos disueltos, DBO y DQO en el agua residual origina la producción de lodos diluidos que deben ser tratados para reducir su contenido de agua, volumen y finalmente optimizar su manejo y disposición final.

El objetivo de la digestión anaerobia es de reducir la materia orgánica compleja en los lodos producto de las instalaciones de tratamiento de agua residual, transformándolos así en un estado más estable de tal forma que no producen enfermedades. Los procesos de tratamiento biológico (en ausencia de oxígeno) lo llevan a cabo bacterias anaeróbicas. La materia orgánica contenida en los lodos frescos es el alimento de estas bacterias de tal forma que es “digerida” y transformada en gas rico en metano.

La digestión anaerobia es una etapa dentro del tren de tratamiento de los lodos, que usualmente se alimenta de los subproductos de la decantación primaria y del exceso de licor de mezcla en el tratamiento biológico aeróbico, Figura 1.20., posteriormente, los lodos “digeridos” son sometidos a otros procesos (centrifugado, filtración a presión, etc.) para continuar con la eliminación de agua y reducción de su volumen antes de la disposición final.

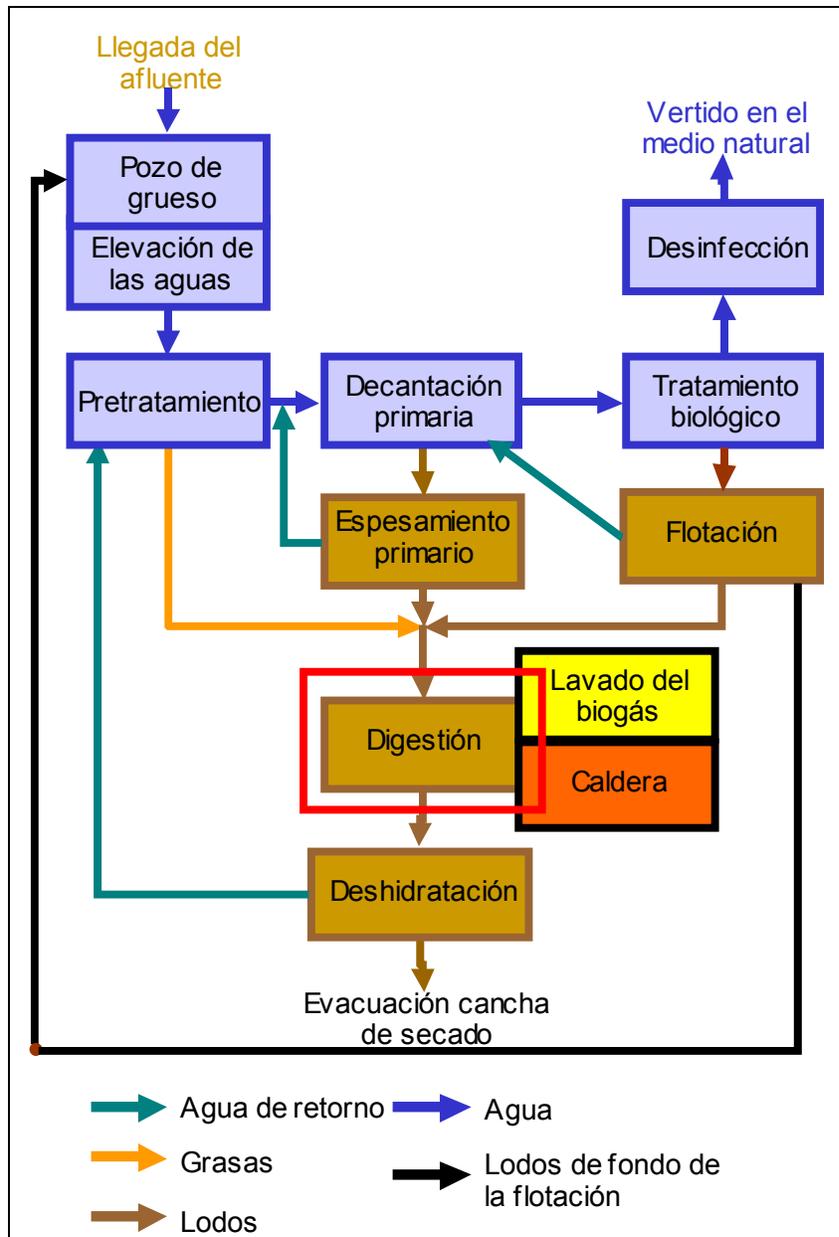


Figura 1.20 Tratamiento de agua residual típico

Fuente: Manual de Operación y Mantenimiento de Planta "La Farfana", Chile

La digestión típica de lodos originados en plantas de tratamiento de aguas residuales, así como aguas industriales (agro-alimentaria, mataderos, etc.) se encarga principalmente de tratar:

- Lodos primarios provenientes de la decantación de aguas residuales
- Lodos biológicos (baja, media y alta carga, así como aereación extendida)
- Lodos mixtos (lodos primarios + lodos biológicos)

Es posible establecer que la digestión anaerobia comprende dos grandes circuitos independientes: un circuito de lodos y un circuito de gas (llamado comúnmente biogás), conforme se indica en la Figura 1.21. El circuito de lodos consiste en alimentar lodos frescos mezclándolos previamente con lodos del mismo digestor que se extraen y recirculan por medio de bombeo.

Los lodos frescos se deben calentar antes de ingresar al digestor, para alcanzar una temperatura de aproximadamente 36°C ; que es la temperatura en cual se desarrolla el proceso de digestión anaerobia convencional. Esto se puede realizar en un intercambiador de calor tubular, que utiliza agua de servicio como medio para transferir el calor a los lodos (Tchobanogous, Burton, Stensel, 2003).

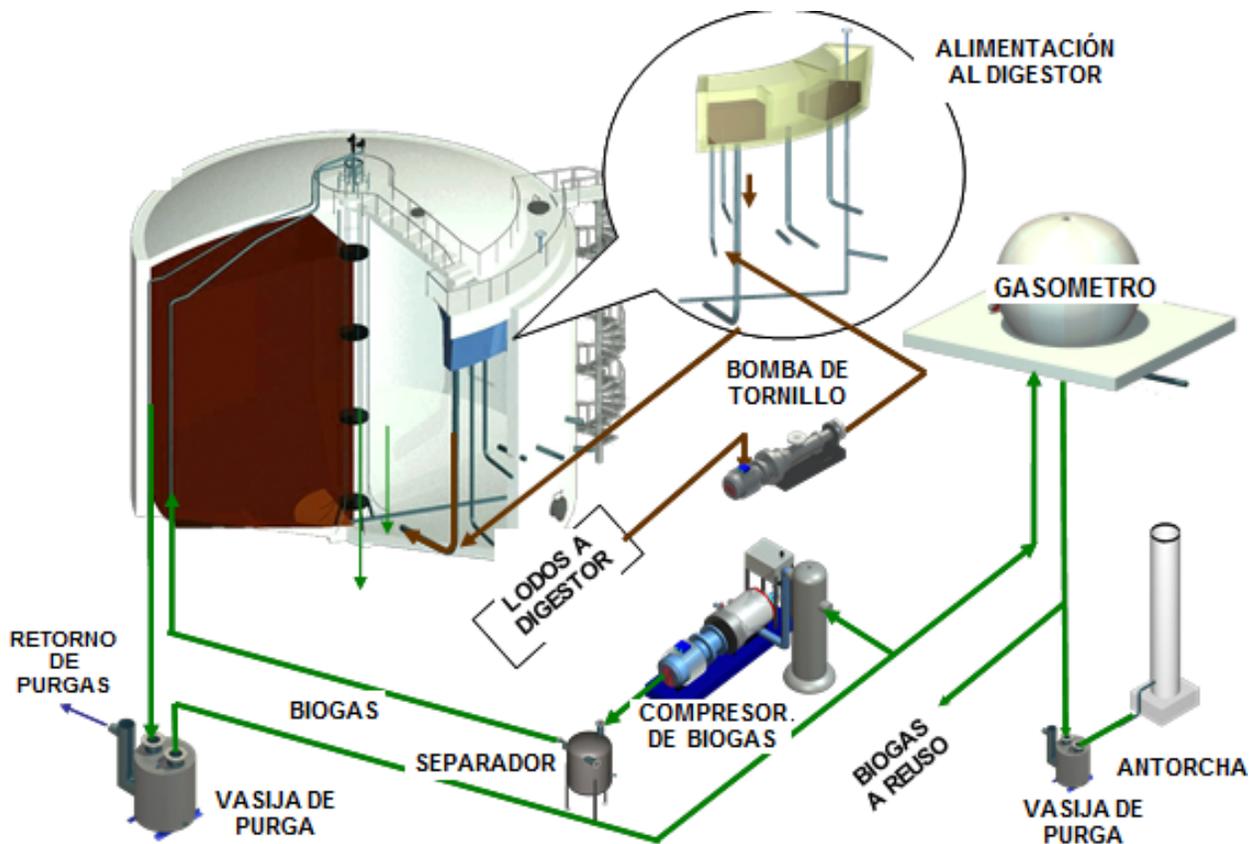


Figura 1.21 Disposición general, circuitos de biogás y lodos

Fuente: Water Treatment Handbook, Degrémont.

El otro circuito involucrado está relacionado con la producción y utilización de biogás, para agitar la mezcla de lodos en el interior del digestor, así como para almacenar y finalmente quemar el gas excedente (este gas excedente es utilizado ocasionalmente para generar energía eléctrica mediante una tecnología llamada “cogeneración”). La agitación de la mezcla en el digestor se puede realizar mediante bombeo, agitación mecánica o por medio de inyección de biogás. En este último método el biogás generado se recircula constantemente por medio de un equipo llamado compresor, que lo inyecta al fondo del digestor a través de tubos verticales llamados cañas de inyección, que permiten hacer una función de difusión.

Se requiere una agitación energética para: a) poner en contacto los lodos con la biomasa, b) asegurar la homogeneidad de la mezcla y la temperatura y c) reducir al mínimo la acumulación de depósitos.

Agitación por biogás

Esta es la técnica más confiable y consiste en introducir el biogás a la masa de lodos dentro del digestor, recirculándolo a presión. Si el gas de inyección se concentra en la zona central y en la base del digestor, para las relaciones apropiadas de diámetro / altura de la estructura (es decir cerca de 2), se produce un poderoso circuito de agitación desde el centro hacia la periferia. El flujo de gas inyectado para asegurar la correcta agitación varía de 1 a 2 $\text{Nm}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, según la naturaleza de los lodos a tratar.

La tecnología de mezcladores a partir de tuberías en forma de cañas de inyección, Figura 1.22, es confiable y requiere energía entre un rango de 5 a 6 Watt/m^3 de digestor.



Figura 1.22 Cañas de inyección de biogás dentro de digestor anaerobio

Fuente: P.T.A.R. Ciudad Juárez “SUR”, Chihuahua

Agitación mecánica

Esta tecnología puede implementarse tomando ciertas precauciones, como son principalmente:

- La relación altura / diámetro digestor debe ser mayor a 1
- Muy baja pendiente en la parte inferior del digestor para reducir la acumulación de sedimentos
- Un tratamiento previo de los lodos alimentados para eliminar filamentos o pelos

Sin estas disposiciones, la agitación corre el riesgo de ser ineficiente (reducción del volumen útil del digestor) y por tanto dificultar la operación o explotación del sistema (necesidad de parar periódicamente los equipos electromecánicos para retirar los filamentos o pelos atascados).

La agitación mecánica puede realizarse por medio de bombeo externo recirculando al digestor, lo cual implica un caudal relativamente grande, que sea suficiente para asegurar una mezcla adecuada. Lamentablemente el bombeo presenta inconvenientes por: atascamientos, desgaste del impulsor debido a las posibles arenas depositadas y desgaste de rodamientos en la bomba (Appels, Baeyens, Degrève, Dewil, 2008).

Cualquiera que sea el método seleccionado, las arenas o sedimentos en el digestor son un inconveniente que se debe considerar para la operación de la planta, planeando la limpieza interna del digestor como una actividad de mantenimiento mayor.

Calentamiento de digestores

La digestión anaerobia es una degradación de la materia orgánica por medios biológicos en ausencia de oxígeno, la cual conduce a la formación de una mezcla de gas rica en metano llamada biogás.

Los siguientes parámetros son los más importantes para una digestión anaerobia adecuada:

- La temperatura;
- El pH;
- La carga orgánica;
- El tiempo de residencia.

La generación de metano está estrechamente relacionada con la temperatura. Dos rangos óptimos de temperatura pueden ser definidos: a) el área de microorganismos mesófilos, alrededor de 36 °C (33 a 37 °C) y b) la zona de termófilos alrededor de 55° C (55 a 60 °C). La digestión más comúnmente utilizada es con microorganismos mesófilos.

La forma más segura para calentar los lodos es a través de intercambiadores tipo “monotubos externos”, alimentados con agua caliente e instalados en un circuito de recirculación de lodos en proceso de digestión, Figura 1.23. Los intercambiadores de espiral, donde la velocidad de circulación y las secciones de flujo son más pequeñas, se puede utilizar bajo ciertas precauciones (dilaceración previa, sin espaciadores...).

Además de calentar el lodo fresco, el sistema de calefacción debe compensar las pérdidas de calor externas. Los coeficientes de transferencia dependen de los materiales y de las condiciones de instalación en el suelo cuando el digester se construirá semienterrado (tomar en cuenta que la influencia de los mantos freáticos puede ser muy desfavorable cuando están próximos a la base del digester).

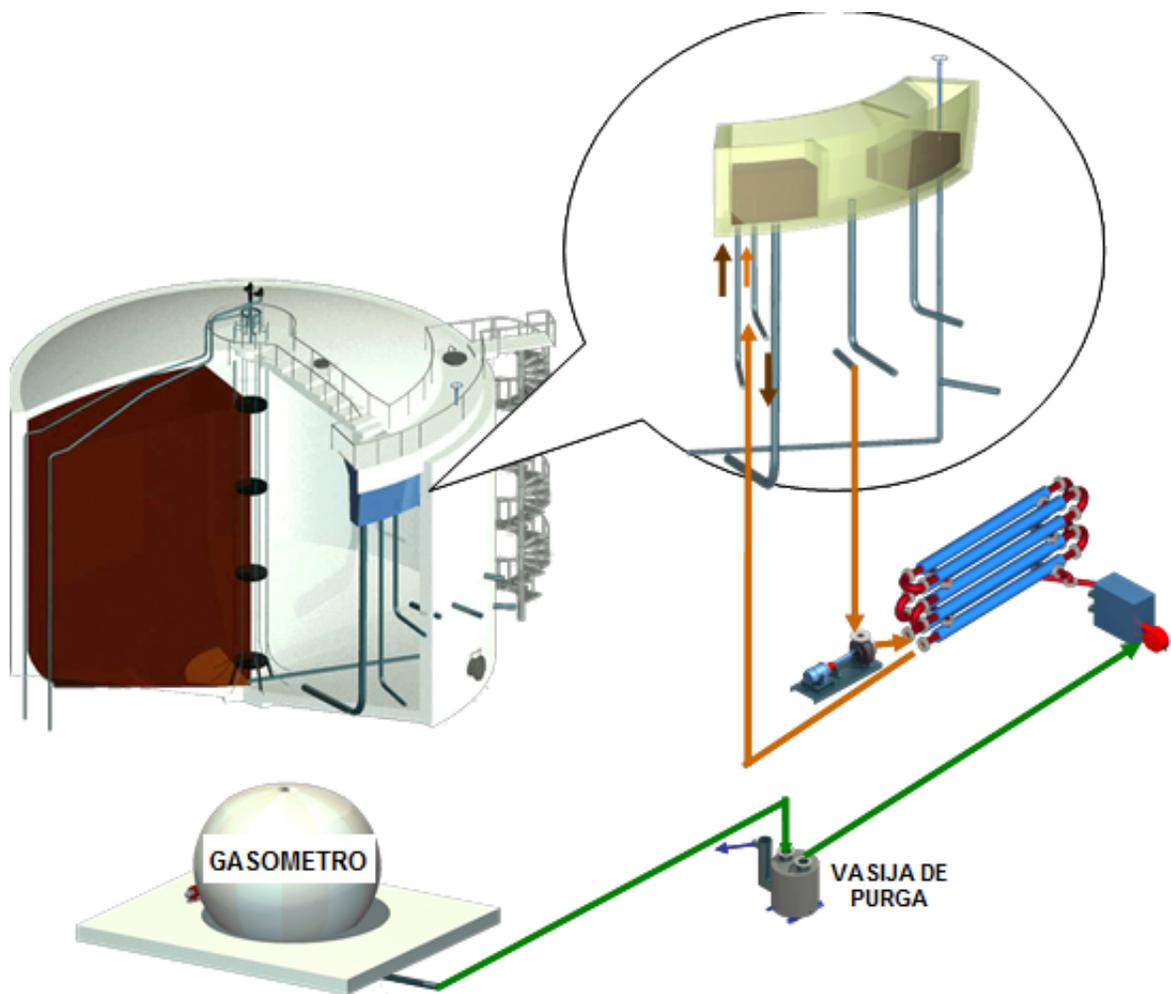


Figura 1.23 Circuito de calentamiento de lodos
Fuente: Ficha técnica Digestión, SUEZ Environnement.

Como una primera aproximación, en países de clima templado, se pueden suponer pérdidas de calor externas de 2100-2500 kJ/m³*día (es decir, 580-700 Watt-h/m³* día) para capacidades de digestión menores de 1000 m³ y de 1250 kJ*m³/día (o 350 Watt-h/m³* día) para capacidades de digestión superiores a 3000 m³ (Degrémont, 2007).

Gasómetro

El gasómetro permite estabilizar la presión en toda la línea de biogás en torno a 20 milibares. Gracias a su volumen disponible de almacenamiento, permite amortiguar las fluctuaciones en la producción de biogás que podrían interferir con el funcionamiento de la instalación. Véase Figura 1.24.

El volumen del gasómetro dependerá de la utilización del biogás. Los gasómetros más utilizados son los de membrana flexible. Estos son más recomendables que los de campana metálica por razones de espacio, resistencia a la corrosión, montaje, mantenimiento y costo. Un gasómetro flexible se compone de dos depósitos (o membranas) que están incluidos el uno en el otro. La membrana interna constituye el tanque de almacenamiento de biogás en sí mismo, mientras que la membrana externa, mantenida bajo presión constante por un ventilador, protege a la interna y asegura la rigidez del conjunto.



Figura 1.24 Gasómetro 2,100 m³ de capacidad
Fuente: Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez (JMAS)

La "burbuja" o el volumen atrapado por la membrana interna se conecta al circuito de biogás mientras que el espacio entre la membrana exterior y la membrana interior se mantiene con aire a presión constante por un ventilador (una válvula de escape se tiene en la salida para regular la presión de este circuito de aire).

Es decir, cuando la producción de biogás es mayor que su consumo, la membrana interna se hincha ocupando una parte del espacio intermembrana. Mientras tanto, el volumen correspondiente de aire en este espacio es descargado a través de la válvula de salida. Sin embargo, cuando el consumo de biogás es mayor que la producción, el ventilador proporciona el volumen equivalente de aire en el espacio intermembrana.

De esta manera, la presión resultante aplicada a la membrana interior es prácticamente nula. La presión interna es igual a la presión del espacio intermembrana y por tanto el circuito de biogás se mantiene a presión constante, con la finalidad de evitar depresiones (consumo mayor a la producción) que faciliten el ingreso de aire del exterior, o sobrepresiones que puedan disminuir la generación de biogás.

Antorcha

La antorcha, Figura 1.25, es un elemento indispensable que permite primeramente quemar el exceso de biogás, especialmente cuando existe una disminución en el uso del mismo (calentamiento de lodos, co-generación, etc.). Así mismo la antorcha permite quemar todo el biogás que se produce si por alguna razón existiera un paro total de los usos mencionados.



Figura 1.25 Antorcha para quemar de 150 a 250 N m³/hr. de biogás

Fuente: P.T.A.R. Ciudad Juárez "SUR", Chihuahua

Sistema para calentamiento de digestor

El objetivo de calentar un digestor es proporcionar energía calorífica a los lodos frescos que se introducen; así como el compensar las pérdidas térmicas a la atmósfera. La meta es mantener una temperatura uniforme de la suspensión en el digestor a 36 °C, teniendo en cuenta las siguientes limitaciones:

- Que no se produzca choque térmico por la entrada de lodos frescos a baja temperatura: esto significa que continuamente los lodos calientes se mezclen con los lodos frescos antes de ingresar en el digestor
- Nunca poner en contacto los lodos con agua caliente por encima de 70 °C para evitar el ensuciamiento del intercambiador de calor. Esta restricción prohíbe calefacción por esquemas convencionales, mediante la circulación de agua caliente hacia el intercambiador a la temperatura de salida de la caldera
- Mantener suficiente temperatura en el retorno a la caldera para evitar condensación, la cual facilita la corrosión en la misma. Manteniendo la bomba de recirculación funcionando de forma ininterrumpida se minimizan los retornos de agua fría, solamente para los periodos de arranque del sistema

El sistema hidráulico, Figura 1.26, incluye tres partes principalmente, cada una con una bomba de circulación:

- Un circuito de recirculación de los lodos a calentar: los lodos del digestor se retiran del mismo, se alimentan en contra corriente al intercambiador y se mezclan con el lodo fresco, en una cámara situada sobre la parte superior del digestor
- Un circuito para la producción de agua caliente por una caldera autónoma
- Un circuito intermedio para ajustar la temperatura del agua que entra al intercambiador

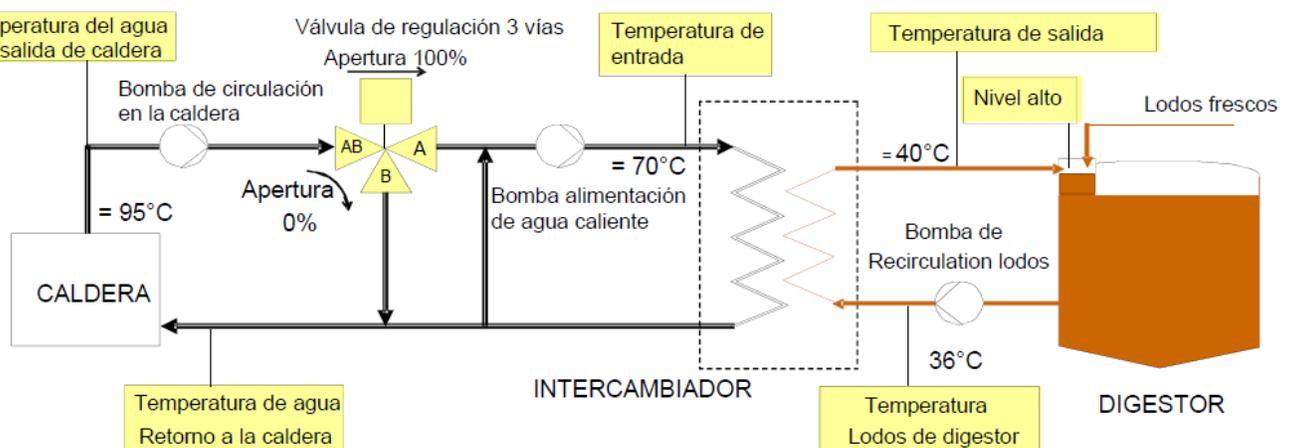


Figura 1.26 Esquema del sistema de calentamiento para un digestor

Fuente: Ficha técnica, SUEZ Environnement

II.- CONCEPTOS DE INGENIERÍA EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

A partir de los esquemas básicos del tren de tratamiento de agua es posible generar los estudios o ingeniería de detalle que permitirán comprar equipamientos, materiales, etc. así como construir y hacer el montaje (mecánico y eléctrico) de todos los componentes de la planta. Estos diseños quedarán plasmados en documentos que al finalizar la construcción deberán reflejar fielmente todas las instalaciones de la planta, incluyendo los últimos cambios realizados (en la puesta en marcha principalmente).

La importancia de generar una ingeniería confiable, de calidad y a tiempo es muy importante para garantizar que no existan problemas importantes durante la construcción. Eventualmente los errores en la ingeniería se detectan cuando se realiza la puesta en marcha, involucrando cambios importantes en la planta que implican mayor costo al proyecto. Es preferible detectar errores y hacer modificaciones durante la ingeniería o inclusive durante el montaje, en lugar de encontrarlos hasta que la planta está construida y en fase de pruebas.

Durante la planificación de la ingeniería se deben tomar en cuenta las obligaciones contractuales para determinar la cantidad de documentos entregables y planos a generar, tomando en cuenta que algunos clientes requieren de estudios específicos (por ejemplo PEMEX para sus instalaciones establece la necesidad de realizar análisis de flexibilidad para algunas tuberías).

Cuando se estima la cantidad de entregables (planos y documentos) es posible establecer un presupuesto de toda esta ingeniería y un cronograma de las actividades, que deben ser la base para la ejecución y también el objetivo para todos los involucrados. Generar un cronograma que sea congruente con las necesidades del proyecto y que siga una lógica de interacción entre disciplinas es fundamental para controlar los costos. En la Figura 2.1 se muestra un cronograma de ingeniería con las diferentes disciplinas y la estimación del inicio de actividades en la obra, que puede considerarse típico para una planta convencional de tratamiento de aguas.

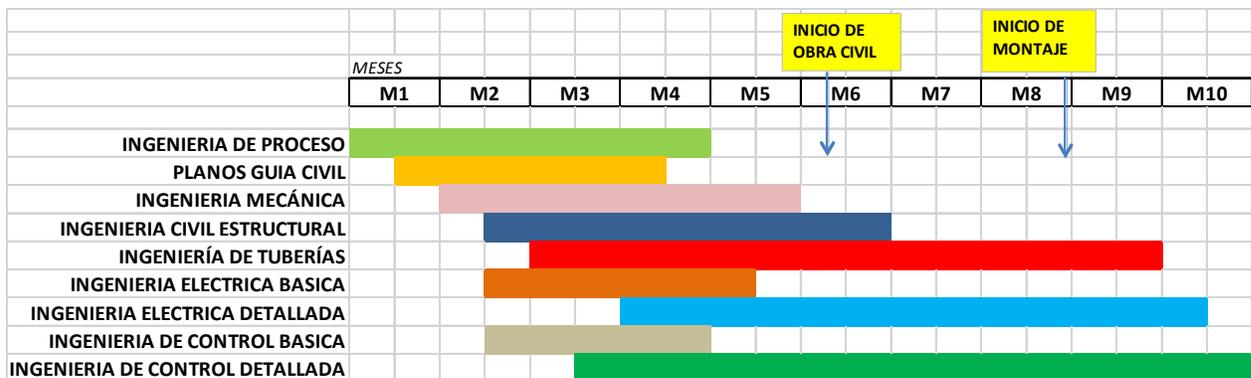


Figura 2.1 Secuencia de un cronograma o planning de ingeniería

En los últimos años las exigencias de los clientes incluyen que la ingeniería de las plantas se realice en plazos muy cortos sin justificación o explicación razonable, lo que representa un gran riesgo para quién debe hacer estos estudios y diseños, puesto que en estos casos la secuencia lógica de la ingeniería se ve afectada, ocasionando inconsistencias, retrabajos, así como errores que terminan detectándose hasta la puesta en marcha. Lo más recomendable en esta situación es negociar con los clientes los plazos de ingeniería; proporcionando la información básica en las primeras semanas o meses y dejando las informaciones de detalle (que normalmente no impactan al cliente) para los últimos meses. De esta forma es posible terminar los diseños básicos de cada disciplina a tiempo y permitir el avance de las siguientes etapas del proyecto.

La ingeniería de detalle requiere de un tiempo mínimo intrínseco, que tiene una explicación y una razón de ser. Depende de los siguientes rubros que a su vez están influenciados por varios aspectos dentro de cualquier empresa:

- Suministros o compras;
- Información del lugar de la obra (topografía, límites de batería, etc.);
- Otros (estructura y organización del equipo de ingeniería, cambios en el tren de tratamiento, etc.).

La influencia que tiene la actividad de suministros o compras en el desarrollo de la ingeniería, es el principal factor que altera el tiempo de ejecución de la misma. La razón es la siguiente: la ingeniería entrega información para cotizar y obtener propuestas de proveedores, que siempre son evaluadas por la gerencia de proyecto antes de decidir por alguna de ellas. Esta definición normalmente lleva cierto tiempo porque existen desviaciones respecto al presupuesto considerado y porque se requiere la formalización de la compra misma (negociación con el proveedor, firmas o aprobaciones y el manejo a través de los sistemas / software como SAP).

Una vez que se ha logrado la compra de algún equipo (bomba, compresor, tablero eléctrico, etc.) el proveedor debe entregar y confirmar los planos dimensionales con las medidas, el peso, los esfuerzos, etc. del equipo en cuestión; que son entradas necesarias para los documentos y planos que la ingeniería tiene que desarrollar. Los proveedores en muchos de los casos a pesar de haberse comprometido con los plazos de fabricación y entrega de información, no respetan los acuerdos y terminan ocasionando retrasos importantes.

La información necesaria por el lugar de la obra está relacionada en primera instancia con el estudio de mecánica de suelos del sitio. Aunque en ciertas ocasiones los clientes ya entregan un estudio preliminar, éste usualmente está incompleto; por lo cual es necesario hacer uno adicional o complementario. Este nuevo estudio con los suficientes sondeos es la fuente de información para un conocimiento adecuado del suelo, que a su vez es la base del diseño civil estructural; pues nos indica la capacidad de carga del terreno a diferentes profundidades (Figura 2,2). Además, el estudio de mecánica de suelo también entrega la información necesaria para diseñar el sistema de puesta a tierra, de la disciplina eléctrica.

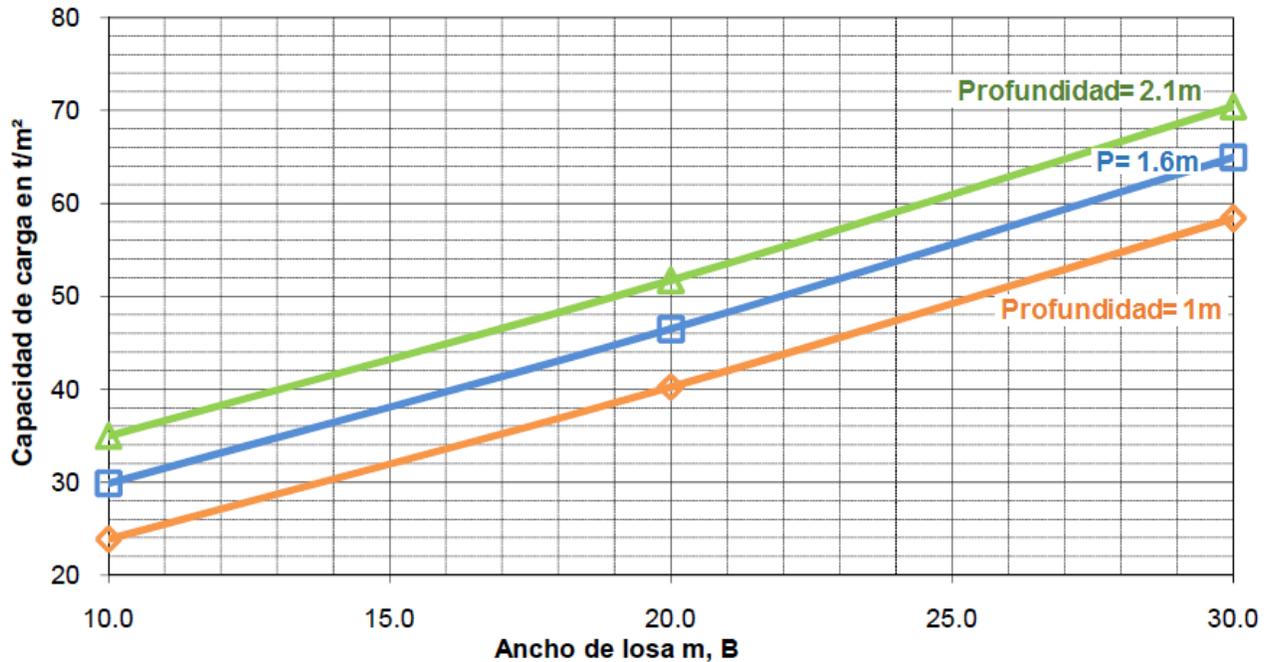


Figura 2.2 Análisis de suelo para reactor biológico de 43.8 metros de largo y 28.4 metros de ancho

Fuente: P.T.A.R. Valle de Juárez, Chihuahua

También como parte de las informaciones que se requieren del sitio está la topografía del terreno o área donde se instalará la planta. Por medio de estas mediciones y a partir de puntos de referencia, es posible definir niveles y coordenadas básicas que pueden utilizarse en la ingeniería de detalle, primeramente para los diseños civiles y a su vez para los planos mecánicos de equipos y tuberías.

Algunos otros aspectos que influyen y pueden complicar el desarrollo de la ingeniería son las cuestiones administrativas o financieras: pagos del cliente que permitan arrancar el proyecto, las fianzas requeridas a subcontratistas de ingeniería por el pago de anticipos y las políticas de pago a proveedores (pagos a 30 días o más complican el desarrollo de las actividades). En algunos casos inclusive se ha presentado la necesidad o exigencia de facturar avances de ingeniería en corto tiempo para evitar penalizaciones por retrasos o incumplimiento al cronograma establecido.

2.1 Disciplinas de ingeniería

La ingeniería básica y de detalle pueden dividirse en las siguientes cinco grandes disciplinas especializadas: Proceso, civil estructural, eléctrica, mecánica y control - instrumentación. Esta división no es una regla general y en ocasiones, dependiendo de la organización, empresa o inclusive país donde se desarrolla la ingeniería, se pueden encontrar disciplinas adicionales como la de tuberías, que en el presente trabajo se está considerando dentro de la disciplina mecánica.

Además de los entregables mencionados anteriormente, la ingeniería de proceso también colabora con el resto de las disciplinas a lo largo de toda la ingeniería de la planta, por ejemplo: en la selección de instrumentos (definiendo parámetros de presión, flujo, nivel, temperatura, conductividad, turbidez, dureza, pH, etc.), revisando planos de tuberías, confirmando cargas eléctricas en operación o verificando cálculo de los drenajes.

2.1.2 Ingeniería mecánica

Esta disciplina abarca los siguientes grandes grupos: equipos estáticos (tanques), equipos dinámicos (bombas, sopladores, filtros banda, centrífugas de lodos, agitadores, compresores, bandas transportadoras, tornillos de Arquímedes, ventiladores) y diseño de tuberías. Por lo tanto, la ingeniería mecánica involucra todo el desarrollo de especificaciones y/o documentos para cotización y compra de equipos, tanques, válvulas, etc. así como de planos de tuberías incluyendo los isométricos, típicos de soportería, etc. También puede ser responsable de elaborar las memorias de cálculo para bombas centrífugas, aunque esta tarea en ocasiones se asigna a los responsables de la ingeniería de proceso.

En ocasiones el diseño de tuberías se considera como una disciplina independiente ya que es una especialidad particular, con criterios, normas y aplicaciones propias para la conducción de fluidos de cualquier tipo (gases, químicos, agua, vapor, lodos, aire). El diseño, la construcción, operación y mantenimiento de sistemas de tubería involucra la comprensión de: los fundamentos de esta materia, de los materiales, de las consideraciones genéricas y específicas de diseño, de la fabricación, la instalación, los ensayos, las pruebas y requerimientos de inspección, así como las regulaciones correspondientes (Nayyar, 2000).

Se mencionan a continuación algunos de los documentos que forman parte de la ingeniería mecánica:

- Especificación de materiales para tubería;
- Especificaciones de válvulas (Figura 2.4);
- Especificación de pintura;
- Arreglos generales;
- Dibujos de tanques;
- Especificaciones de bombas;
- Hojas de datos de equipos;
- Arreglos de tubería;
- Isométricos de tubería;
- Detalles de soportes;
- Listas de materiales (tubería y accesorios);
- Memorias de cálculo de recipientes a presión;
- Cálculos de flexibilidad y soportería.

CAPITULO II. CONCEPTOS DE INGENIERÍA EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

		ESPECIFICACION DE VALVULAS DE MARIPOSA		ESPECIFICACION M1-E2	
FLUIDOS:		AIRE LAVADO DE FILTROS AGUA DE RIO AGUA DE SERVICIO AGUA FILTRADA AGUA CLARIFICADA AGUA DE LAVADOS			
PRESION DE SERVICIO:		MENOR DE 10 Kg/cm2 MENOR DE 9.81 bar		TEMP. DE SERVICIO: MENOR DE 50 °C	
RANGO DE LA VALVULA:		10 Kg/cm2 9.81 bar		CLASE DE LA VALVULA: 150 PSIG	
TAMAÑO:		DE 2 1/2" A 14" DE DIAMETRO= MODELO SERIE 31 16" DE DIAMETRO Y MAYORES= MODELO SERIE 36			
CONSTRUCCION:		TIPO LUG BRIDADA DE UNA SOLA PIEZA, ANSI B16.5 150# DISCO Y ASIEN TO CONCENTRICO			
MATERIALES:		HIERRO FUNDIDO ASTM A 126 CLASE B. ACERO INOXIDABLE ASTM A 351 GRADO CF8 EPDM ACERO INOXIDABLE 416			
OPERACION:		DE 6" Y MENORES CON PALANCA 1/4 DE GIRO DE 8" Y MAYORES CON REDUCTOR ENGRANES			
REFERENCIA:		MARCA : BRAY MODELO: SERIE 31 PARA VALVULAS DE 2 1/2 A 14" Y SERIE 36 PARA VALVULAS DE 10" Y MAYORES			
REV.	COMENTARIOS	REVISO	APROBO	FECHA	
A	EMISION DEL DOCUMENTO	R. YAÑEZ	J. P. MESTRE	24-mar-05	
B	PARA APROBACIÓN Y/O COMENTARIOS	R. YAÑEZ	J. P. MESTRE	19-abr-05	
C	PARA APROBACIÓN Y/O COMENTARIOS	R. YAÑEZ	J. P. MESTRE	09-ago-05	
0	APROBADO PARA CONSTRUCCION	R. YAÑEZ	J. P. MESTRE	23-nov-05	



Figura 2.4 Especificación de válvulas tipo mariposa
 Fuente: Planta tratadora de agua “Tamazunchale I”, San Luis Potosí

En la actualidad existen paquetes informáticos (software) que permiten generar maquetas tridimensionales o 3D para localizar, distribuir e interconectar equipos, tanques, válvulas, soportes y tuberías de una planta de tratamiento de agua, evitando interferencias entre ellos. Aunque la maqueta 3D puede ser utilizada para cualquier tipo de planta tratadora de agua, es más útil en proyectos de agua del tipo industrial; los cuales son más rigurosos en cuanto a normas, criterios y especificaciones, involucrando mayor cantidad de componentes (tuberías, instrumentos, válvulas, soportes, etc.). En estos proyectos la maqueta 3D permite un mejor control de los materiales de tuberías principalmente. Como ejemplo de una maqueta 3D se muestra la Figura 2.5.

Aunque la maqueta 3D permite modelar las canalizaciones eléctricas como charolas (bandejas) y tuberías “conduit”, su principal aplicación es el modelado de tuberías mecánicas de proceso o de servicio.

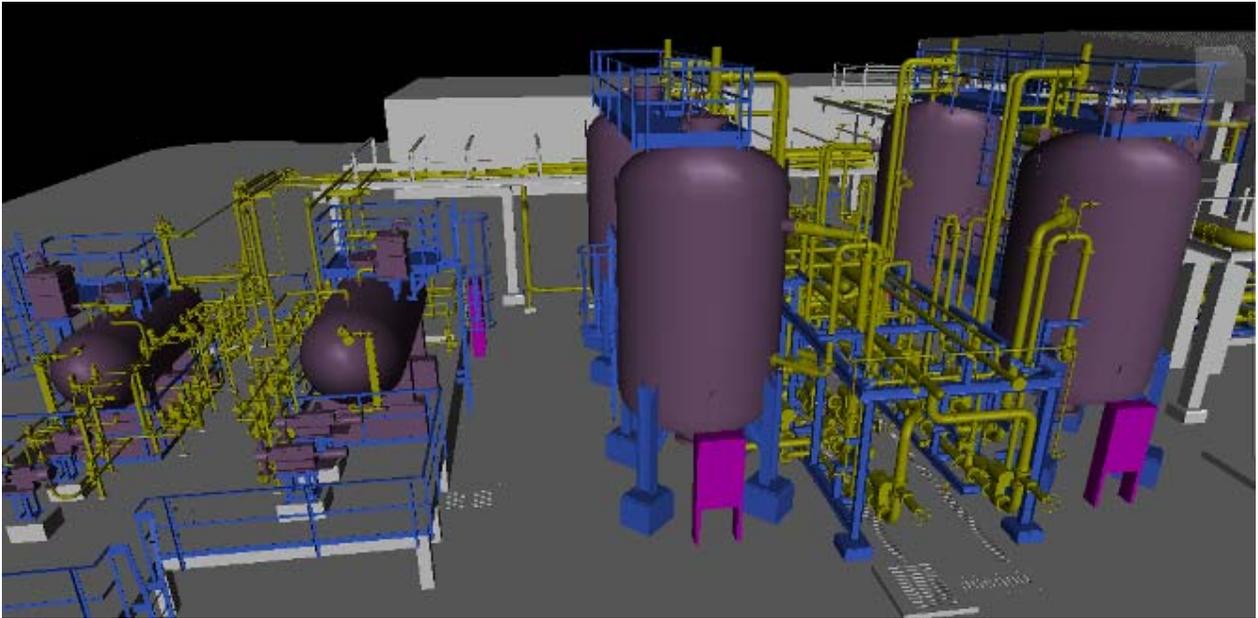


Figura 2.5 Maqueta 3D mediante software PDMS para una planta desmineralizadora de agua

Fuente: Complejo Procesador de Gas Nuevo PEMEX, Tabasco

La maqueta 3D permite extraer las rutas de tuberías como isométricos, necesarios para la fabricación e instalación de circuitos de tuberías. Como se mencionaba anteriormente, también es posible extraer el listado de materiales de tubería y accesorios (codos, reducciones, te´s, bridas, etc.) de manera precisa y confiable. No obstante, no todos los proyectos cuentan con suficiente presupuesto y algunas plantas requieren poco trabajo en diseño de tuberías por ser del tipo municipal (para agua potable o agua residual), cuyos procesos se desarrollan principalmente en tanques de hormigón o concreto.

Dentro de los paquetes dedicados a modelar plantas se encuentran Navisworks, PDMS (Plant Design Management System) y SmartPlant 3D. Todos ellos permiten las funciones mencionadas anteriormente y para utilizarlos no solamente es necesario adquirir las licencias, sino también contar con el personal capacitado para gestionar, cargar, modificar y extraer las informaciones: tipos de materiales (acero inoxidable, CPVC, etc.), tubería (diámetros, servicio, etc.), accesorios (codos, te´s, reducciones, bridas, etc.), equipos (bombas, compresores, tanques, etc.).

La ingeniería mecánica también se encarga de generar aquellos dibujos necesarios para la fabricación de equipo estático como tanques (Figura 2.6 como ejemplo), recipientes a presión, intercambiadores de calor, etc. En México, a estas fabricaciones mecánicas se les conoce como “paileria” y en países de Sudamérica como “calderería”.

Inclusive racks de tuberías, plataformas, skids, escaleras metálicas, etc. son parte de las estructuras llamadas comúnmente “paileria”, que es el término empleado para las estructuras metálicas estáticas que se conforman de acero y perfiles estructurales. Los planos de arreglo dimensional se acompañan de memorias de cálculo, que en muchas ocasiones están regidas por códigos como el ASME (American Society of Mechanical Engineers).

Es común que la ingeniería detallada y la memoria de cálculo de un tanque o recipiente a presión, sean parte del alcance de la empresa a quién se contrata el suministro de materiales y la fabricación (suministro del tanque mismo). Estas empresas usualmente están especializadas e incluso certificadas en el código ASME, por lo cual tienen la capacidad de hacer los cálculos necesarios en software, diseñar los planos y generar los documentos de forma confiable y en corto plazo. En México existe un gran número de empresas que ofrecen trabajos de fabricación metálica de tanques, estructuras y recipientes a presión.

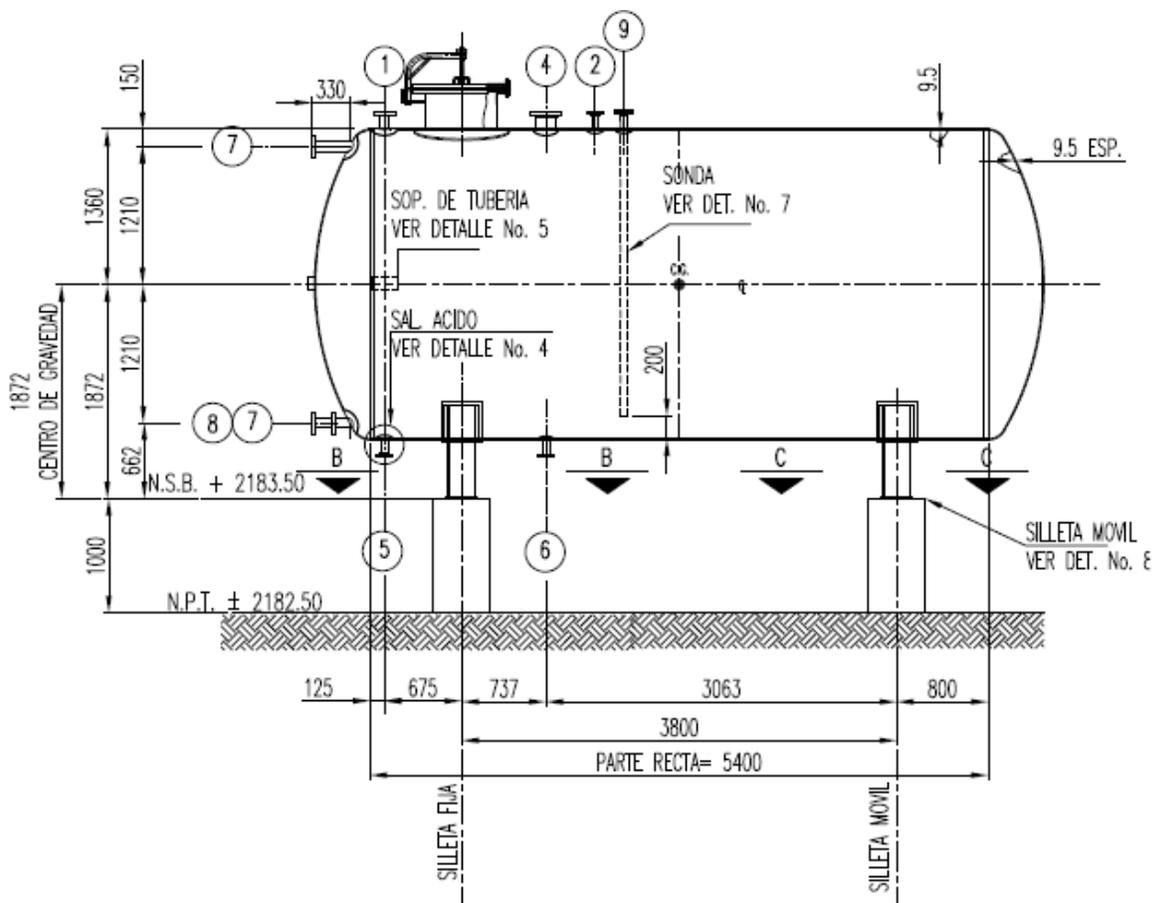


Figura 2.6 Tanque para almacenamiento de ácido sulfúrico (regeneración de resinas de intercambio iónico), capacidad 30 m³.

Fuente: Central Ciclo Combinado “CC San Lorenzo”; Puebla

2.1.3 Ingeniería eléctrica

La ingeniería eléctrica es la encargada de generar información que permite el funcionamiento de los equipos que requieren electricidad, mediante la captación, distribución y conducción de esta energía dentro de la planta. Además, se encarga del sistema de protección a tierra, del diseño y cobertura de los pararrayos, así como de la iluminación de las áreas. Es una disciplina ligada directamente a la ingeniería de proceso en relación a la cantidad de equipos que trabajan, la potencia de los mismos, su modo de funcionamiento y los que deben mantenerse en operación en caso de emergencia (corte de energía eléctrica) a través de un equipo electrógeno. Es decir, normalmente se incluye un equipo de generación eléctrica a partir de diésel, para abastecer equipos críticos en caso de un corte del suministro normal por Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Dentro de los documentos y planos que se producen a partir de la ingeniería eléctrica se mencionan los siguientes:

- Listado de cargas;
- Diagramas unifilares (Figura 2.7);
- Hojas de Datos de Transformador
- Especificación de Generador por diésel
- Memoria de cálculo de cables;
- Especificaciones de Tableros
- Estudio de cortocircuito;
- Coordinación de protecciones;
- Distribución de fuerza;
- Diagrama típico de motores;
- Cedula de cables;
- Distribución de pararrayos;
- Red de tierras;
- Cuadro de cargas para iluminación;
- Distribución de alumbrado (iluminación);
- Detalles de montaje.

La ingeniería eléctrica también establece las protecciones necesarias para los equipos electromecánicos de la planta, definiendo los valores de amperaje al cual se debe desconectar en caso de cortocircuito o puesta a tierra. Es decir, los interruptores en el CCM (Centro de Control de Motores) son seleccionados y “calibrados” a un valor máximo de corriente, en el cual, cortan la alimentación eléctrica al equipo en caso de cortocircuito o de alguna anomalía.

Además de los diseños, cálculos y demás información relacionada con los equipos de proceso, la ingeniería eléctrica también se encarga de la información necesaria para los sistemas de iluminación y pararrayos convencionales, utilizados en oficinas, laboratorios y casetas de vigilancia.

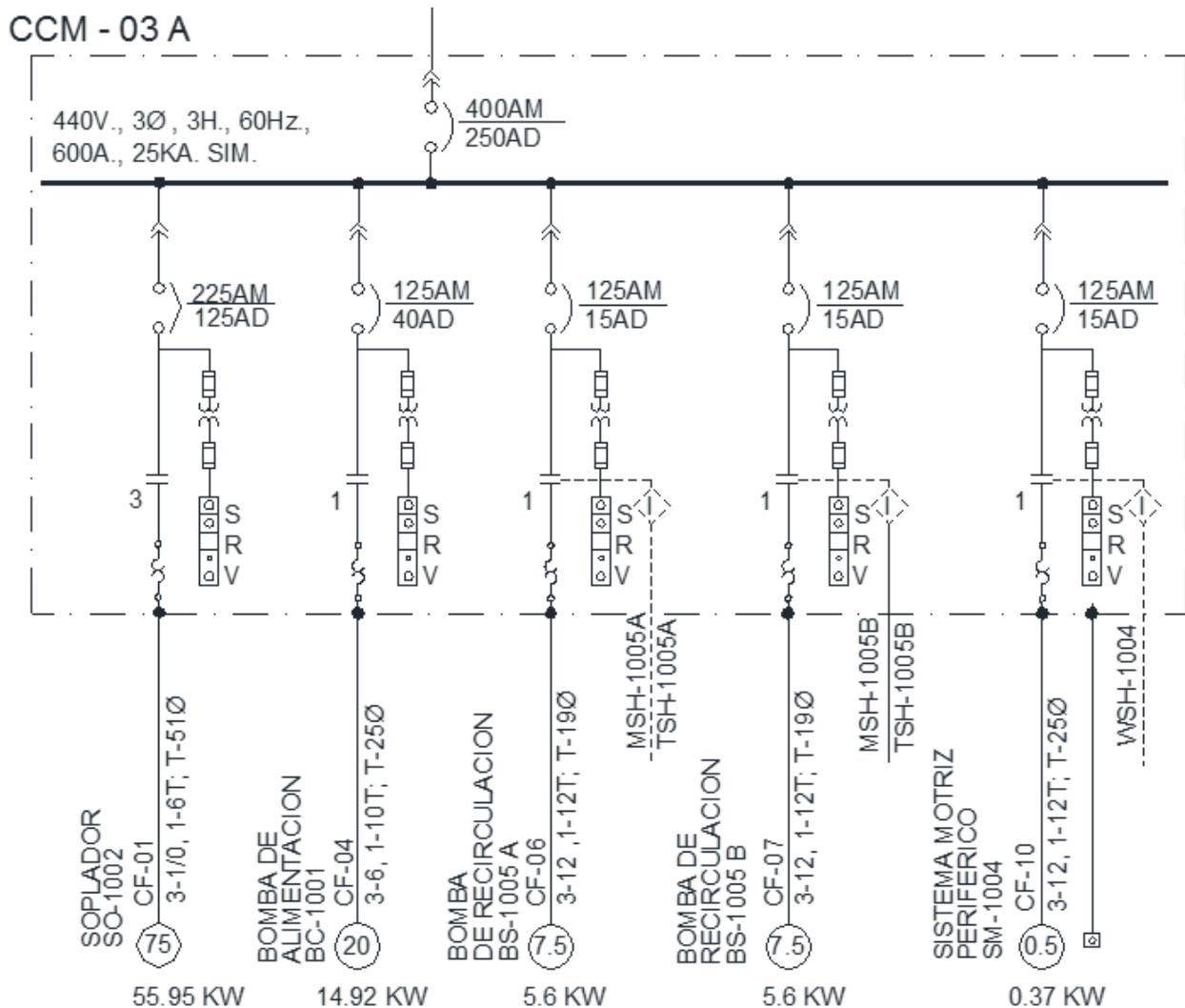


Figura 2.7 Diagrama unifilar planta de agua residual, Cap. 100 Lps.

Fuente: P.T.A.R. Cd. Juárez NORTE, Chihuahua.

Toda instalación eléctrica nueva en México se somete a una revisión y validación por una entidad externa, que certifica el cumplimiento de las normas mexicanas correspondientes, en específico la NOM-001-SEDE “Instalaciones Eléctricas (utilización)”. Esta entidad, usualmente es conocida como UVIE (Unidad Verificadora de Instalaciones Eléctricas). La validación se realiza a nivel de ingeniería y también físicamente durante la construcción de las instalaciones.

Para las plantas de tratamiento de agua el suministro de energía eléctrica por CFE es mediante línea de media tensión 13,800 V, 3 fases, 60 Hz, por lo que se debe hacer una interconexión para canalizar esta energía a un tablero conocido como subestación eléctrica, Figura 2.8, que permite aislar, monitorear, regular y proteger el suministro a la planta. La subestación se enlaza con el siguiente equipo, que consiste en un transformador para cambiar el voltaje para baja tensión, es decir para 460 volts.



Figura 2.8 Subestación eléctrica media tensión (13.8 kV) y transformador 750 kVA

Fuente: P.T.A.R. Ciudad Juárez SUR, Chihuahua (Cap. 2 m³/s).

El transformador, a su vez alimenta a un CCM, Figura 2.9, que se encarga de distribuir la energía de forma independiente hacia cada uno de los consumidores (básicamente motores de bombas, agitadores, etc.), incluyendo iluminación y contactos eléctricos para oficinas.

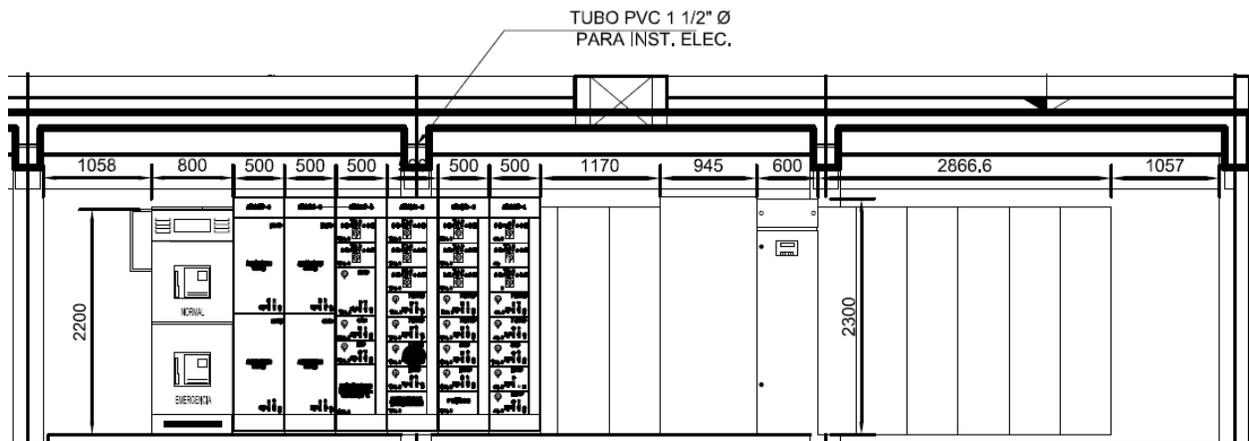


Figura 2.9 Arreglo de Centro de Control de Motores en Cuarto Eléctrico

Fuente: P.T.A.R. Valle de Juárez, Chihuahua.

Cuando se requiere dar mantenimiento a un equipo, es posible desconectar y aislar el suministro eléctrico hacia él mismo desde el CCM, sin interrumpir o afectar otros suministros.

Los diseños de los cuartos para los tableros, CCM y paneles requieren entre otros aspectos una ventilación adecuada para disipar el calor que se genera y controlar la temperatura del ambiente. De hecho, para algunas instalaciones industriales los clientes especifican sistemas de ventilación o HVAC (Heat Ventilation and Air Conditioning) específicos para obtener una calidad (humedad, temperatura y partículas) del aire que garantice el comportamiento y la vida útil de los equipos eléctricos. En la figura 2.10 se muestra una sala eléctrica con equipos y ductos de aire acondicionado.

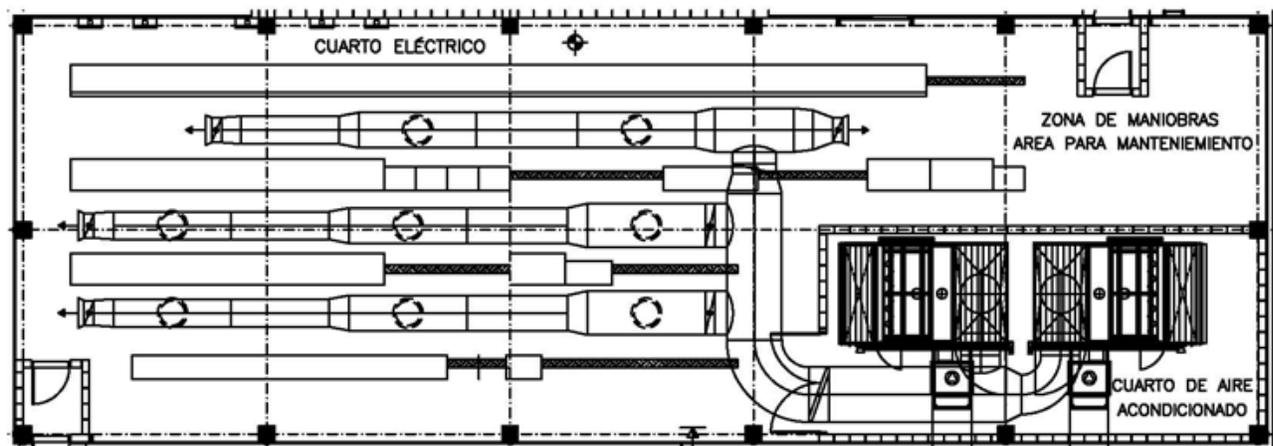


Figura 2.10 Sala eléctrica con ductos de aire acondicionado y cuarto HVAC.

Fuente: Planta Papelera "Montes del Plata", Uruguay.

2.1.4 Ingeniería civil estructural

Esta disciplina cubre los aspectos de diseño para estructuras y tanques de concreto, considerando su cálculo estructural; es decir, considerando su propio peso (cargas muertas) más las cargas ejercidas por eventos de la naturaleza, como vientos, sismo o nieve. Así mismo, esta disciplina también abarca los diseños y cálculos para los drenajes de proceso, los drenajes pluviales o en algunos casos los llamados "drenajes aceitosos" (dependiendo del tipo de industria). Otros diseños relacionados con la ingeniería civil son los que definen las vialidades, terracerías, caminos y en general todas las áreas que tendrán un acabado para servir como banquetas, calles, terracerías, áreas de proceso o jardines. Por supuesto el diseño de oficinas, laboratorios o talleres de mantenimiento también son incluidos en los alcances de la ingeniería civil.

El cálculo estructural implica tomar en cuenta todas las cargas estáticas, factores del medio ambiente (sismo, viento, etc.) así como los esfuerzos que se generen por equipos en movimiento; por lo cual resulta muy complejo llevarse a cabo sin

herramientas informáticas, debido a la cantidad de ecuaciones matemáticas involucradas de manera simultánea. Por lo tanto, generalmente se realiza mediante software específico como el STAAD (Structural Analysis and Design Computer Program), el cual maneja y considera todas las variables mencionadas, así como los factores y criterios establecidos por los principales organismos reguladores del acero y el concreto. El programa STAAD finalmente arroja una memoria de cálculo para definir los espesores de muros, losas, techos, etc. así como la cantidad de aceros de refuerzo (varillas) y su forma de armado.

En la Figura 2.11 se muestra una imagen típica tridimensional de una estructura para tratamiento de agua.

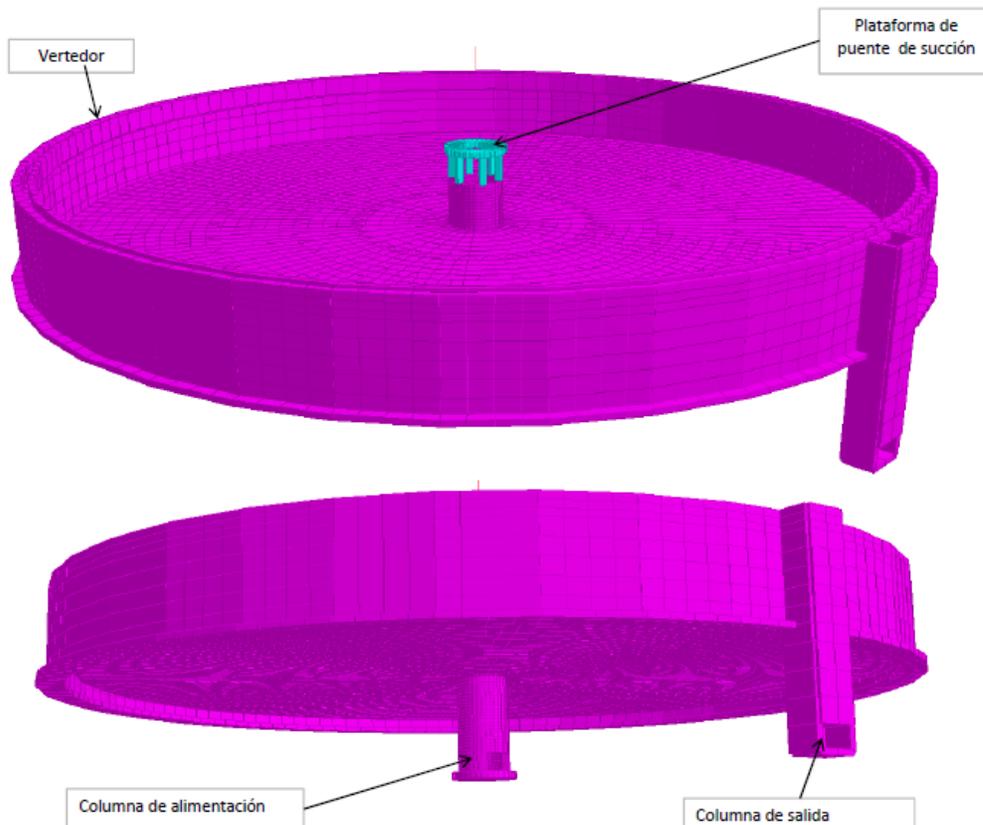


Figura 2.11 Imagen 3D del programa STAAD para el cálculo estructural de un clarificador secundario de 45 metros de diámetro

Fuente: P.T.A.R. Ciudad Juárez SUR, Chihuahua.

Independientemente del diseño estructural la disciplina civil también está relacionada con diseños arquitectónicos que se puedan requerir para edificios. Normalmente para todas las plantas se requieren edificaciones tales como oficinas administrativas, laboratorios, caseta de vigilancia, vestidores, comedor, almacén, etc. Los diseños y construcción de este tipo de inmuebles también son parte de los proyectos para tratamiento de aguas, comúnmente establecidos desde la licitación misma.

Algunos de los documentos y planos que desarrolla la ingeniería civil son los que se mencionan a continuación:

- Bases de diseño;
- Guías o básicos civiles;
- Memorias de cálculo;
- Planos de cimentación;
- Planos estructurales (constructivos);
- Drenajes, trincheras y fosas de absorción;
- Ductos y registros eléctricos;
- Constructivos de racks metálicos y de concreto;
- Soportes y atraques.

Algunos de los diseños anteriores pueden ser generados por empresas relacionadas con las obras civiles y la construcción de puentes, edificios o viviendas, pero necesariamente se requiere un equipo de ingeniería civil especializado para diseñar de manera confiable las estructuras y el tren de proceso. Contratar empresas que no están relacionadas con el tipo de estructuras para tratamiento de agua es un riesgo importante, porque éstas pueden no conocer los criterios que se toman en el cálculo y diseño. Como por ejemplo para diseño de un tanque de aireación dividido en dos celdas, se debe considerar la situación de empuje o esfuerzos en muros cuando una de las dos celdas está llena con agua y la otra está vacía (por mantenimiento del tanque o durante la puesta en marcha).

El diseño de estructuras para tratamiento de agua se basa en gran parte en los códigos o normas siguientes:

- Lineamientos Técnicos para la Elaboración de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA);
- Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE);
- Capítulo C.1.3 “Diseño por Sismo”;
- Capítulo C.2.5 “Tanques y Depósitos”;
- Instituto Americano de Construcciones de Acero (AISC), Manual de Construcción de Acero, Especificaciones de Diseño, Fabricación y Montaje de Edificios de Estructura Metálica;
- Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE);
- Instituto Mexicano de Construcción de Acero (IMCA).

La ingeniería civil también se encarga de realizar las volumetrías de acero y concreto requeridas en las obras. En la figura 2.12 se indica un ejemplo de una cuantificación realizada para un tanque de proceso. Estas volumetrías permiten el control o seguimiento de los costos, así como la previsión de materiales (acero, concreto, etc.) y realización de los trabajos.

CAPITULO II. CONCEPTOS DE INGENIERÍA EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

					PROYECTO:	AN-01-08	PLANTA:	SUR			
					DESCRIPCION	CUANTIFICACION DE ACERO DE REFUERZO DE LA ESTRUCTURA DEL					
					FECHA:	25/10/2010					
TIPO	VARILLA #	a (m)	b (m)	c (m)	TRASLAPE (m)	LONG. TOTAL VARILLA (m)	CANTIDAD VARILLA	NÚM. LECHOS	PESO Kg/m	PESO TOTAL Kg	TOTAL KG
MURO MC-12											
N-1	4	6.25	0.25	0.25		6.75	116	2	0.993	1,555.04	
N-2	5	14.5	0.636	0.636	0.636	16.408	52	2	1.552	2,648.38	
N-3	4	2.5	0.508			3.008	52	4	0.993	621.28	
						0				0.00	
											4,825

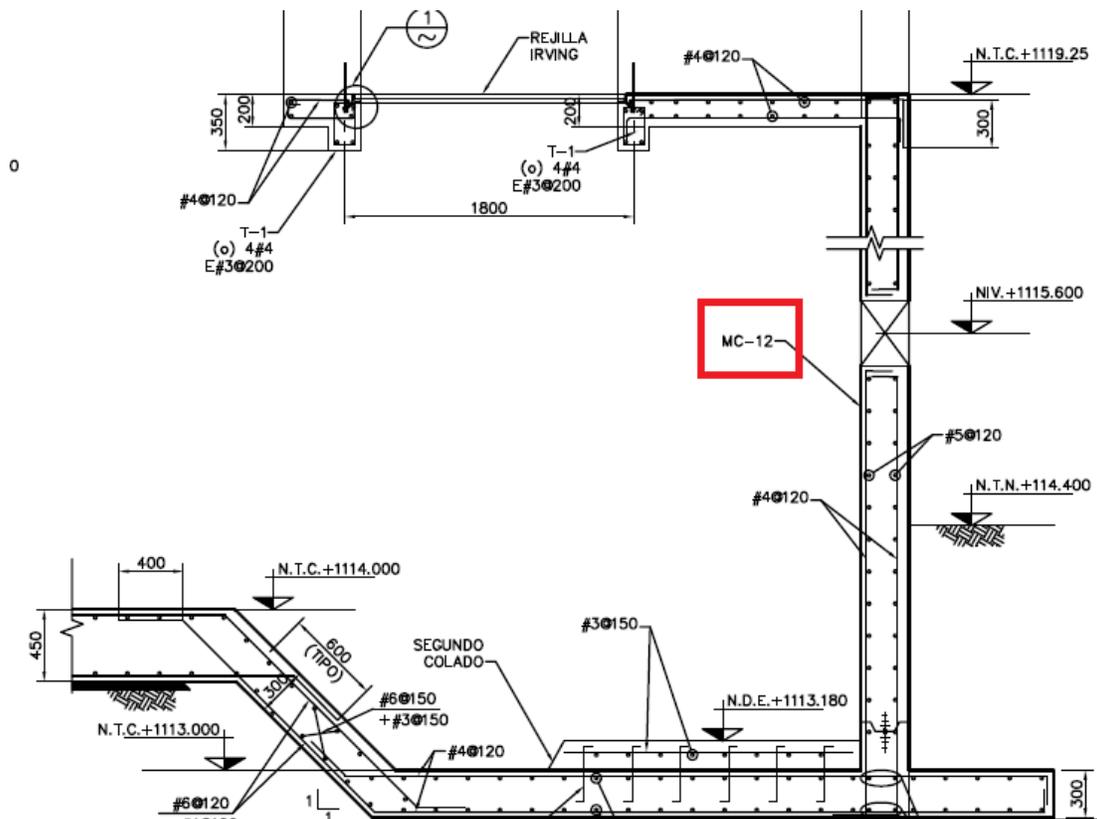


Figura 2.12 Cuantificación de acero en muro “MC-12” de tanque para lodos activados de 770 m3 de capacidad

Fuente: Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, Chihuahua

Las volumetrías de acero y concreto son importantes cuando se subcontratan los trabajos de construcción; de tal forma que se puedan conciliar los costos que presentan las empresas constructoras contra lo estimado por la contratante. Mediante los planos constructivos es posible determinar los tipos y cantidades de varillas que requieren cada muro, cimentación, losa, etc. de una determinada estructura, tanque o edificación.

En cuanto a la cimentación de estructuras, en muchas ocasiones el suelo natural no es apropiado para soportar el peso de los tanques y es necesario hacer mejoramientos del terreno, a partir de la información de mecánica de suelo. En el caso de los digestores anaerobios por ejemplo, es normal utilizar pilas (Figura 2.13) para conseguir la capacidad de carga y resistencia de suelo requerida por el gran peso de estos recipientes en operación.

El uso de pilas no es exclusivamente para digestores anaerobios, en algunos casos las pilas pueden requerirse para varias estructuras de la planta debido a la baja capacidad de carga de los terrenos, como en el caso de la planta potabilizadora “Xaltepec”, en la Delegación Iztapalapa de la Ciudad de México, donde los mantos freáticos eran abundantes y generaban capacidades de carga insuficientes para el desplante de los tanques y estructuras.

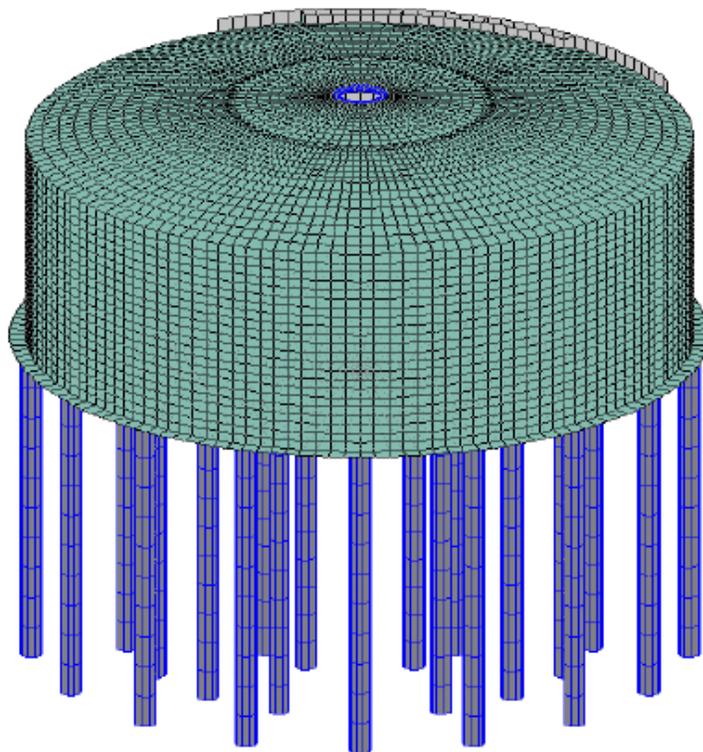


Figura 2.13 Cimentación de digestor por medio de pilas de concreto

Fuente: Memoria de cálculo estructural, P.T.A.R. Ciudad Juárez SUR, Chihuahua.

El uso de las pilas es un método efectivo para garantizar la cimentación de un digestor pero es costoso y los trabajos de ejecución en obra requieren de meses. En cambio, en algunos casos es posible utilizar alternativas para mejoramiento del suelo, como en el caso de la planta Valle de Juárez, Chihuahua, donde se utilizó la técnica de densificación del suelo mediante pilas de grava compactada, Figura 2.14, con mucho menor costo y tiempo de ejecución que el requerido por pilas convencionales de concreto.

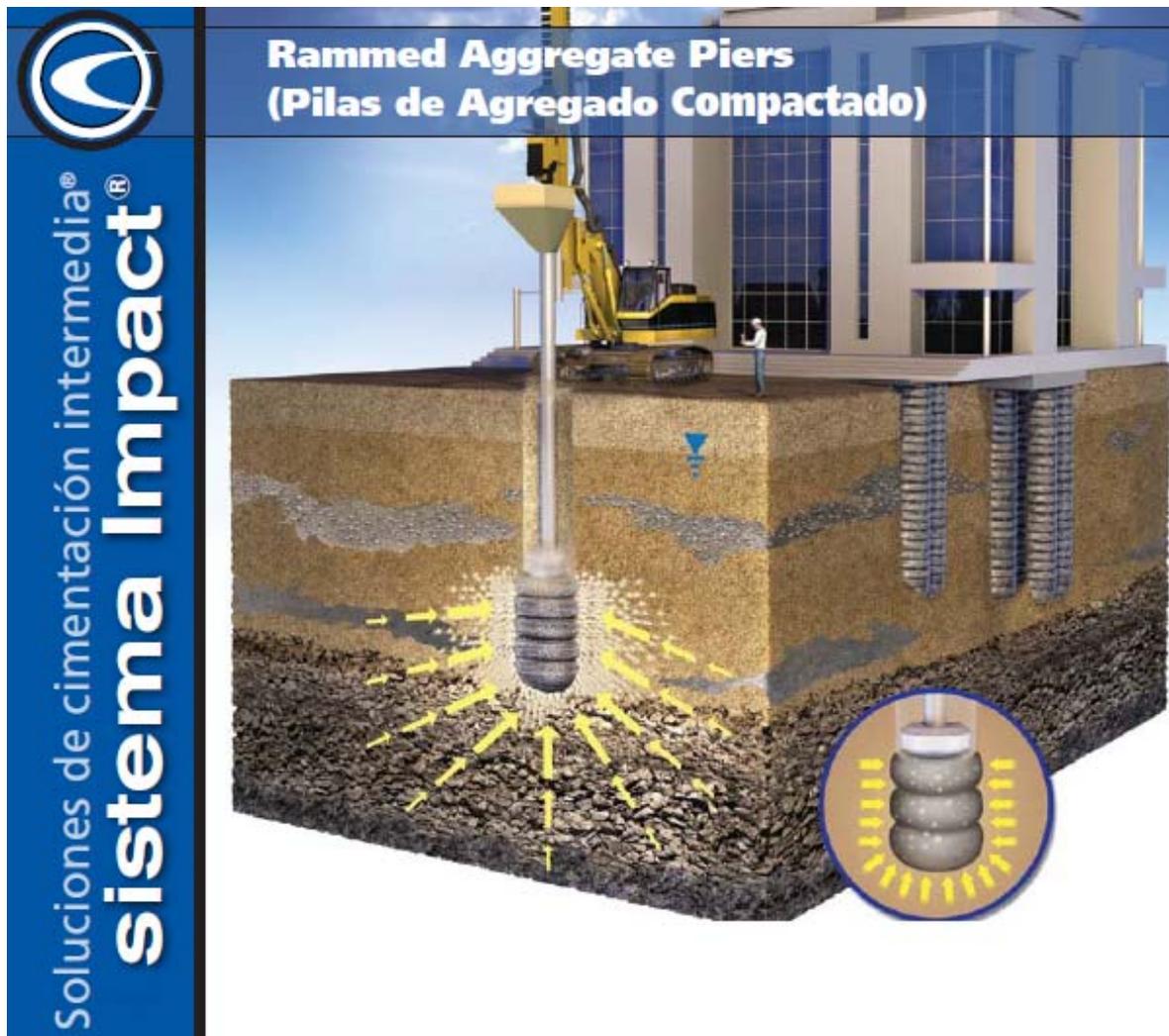


Figura 2.14 Tecnología para densificar suelo por medio de pilas de grava compactada

Fuente: Catálogo de GEOPIER Foundation Company para "Sistema Impact".

Esta tecnología en comparación con el uso de pilas convencionales de concreto requiere de pocos materiales (agregados de roca principalmente), escasa maquinaria y muy poco personal.

2.1.5 Ingeniería de control e instrumentación

La disciplina encargada de automatizar y controlar los componentes de una planta suele conocerse como ingeniería de control; por sus siglas en inglés se denomina como I & C (instrument and control) o también como ICA (instrument, control and automation). Ésta comprende los diseños relacionados a las señales de instrumentación, señales para válvulas, los paneles de automatización, la propia instrumentación (presión, flujo, temperatura, nivel, análisis, humedad, etc.), los cables, la canalización y los diagramas eléctricos relacionados al control.

En esta disciplina se producen documentos y planos que permiten generar un sistema de control - automatización de la planta, de tal forma que ésta sea autónoma y que requiera menor intervención de los operadores. No obstante, en algunos casos las plantas por su naturaleza requieren supervisión humana constante, ya sea porque así lo requieren los procesos de tratamiento de agua o porque la planta fue intencionalmente diseñada con el mínimo de instrumentos, por cuestiones de presupuesto o costo (a mayor automatismo mayor costo pero menor intervención humana durante la explotación de la planta).

La ingeniería de control e instrumentación tiene su origen en documentos de la disciplina de proceso, principalmente en los diagramas de tubería e instrumentación. Al comienzo de la ingeniería básica de proceso ya se deben incluir informaciones relacionadas con el automatismo del sistema, cómo por ejemplo: señales de posición de válvulas, funcionamiento de bombas (Figura 2.15), control de velocidad de motores, paro o arranque de equipos por lecturas de nivel, protección de motores (principalmente de 200 HP y mayores), tableros locales, etc.

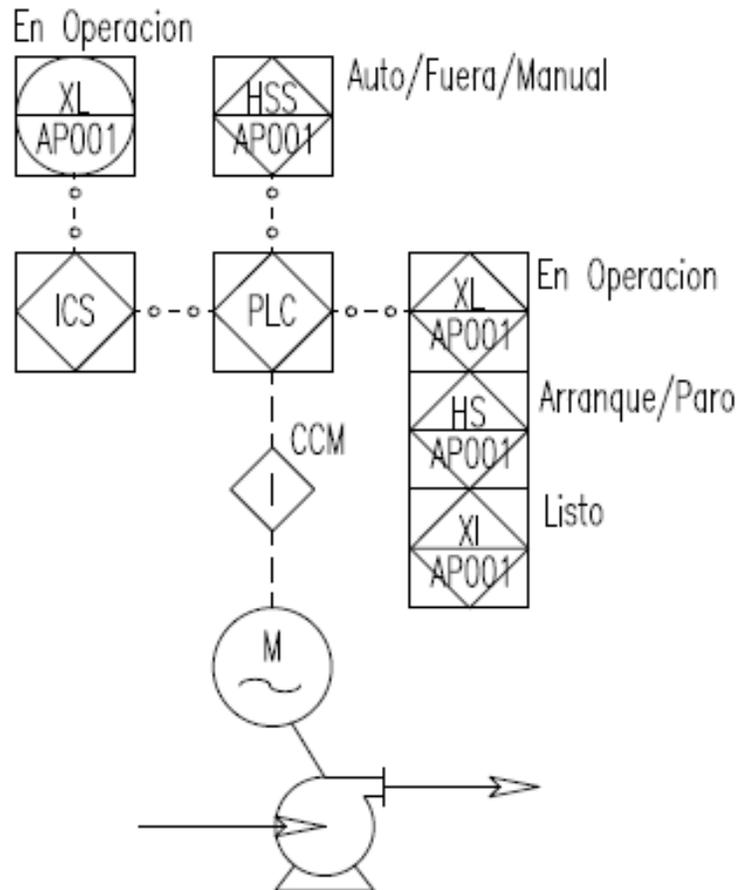


Figura 2.15 Control de una bomba centrífuga representado en Diagrama de Tuberías e Instrumentación (D.T.I.)

Fuente: Planta desaladora "CC Altamira V", Tamaulipas.

En relación a las válvulas automáticas de funcionamiento “abierto o cerrado”, también conocidas como “ON-OFF”, es importante indicar en Diagrama de Tuberías e Instrumentación (D.T.I.) si se requieren indicadores de posición conectados al sistema de control, porque esto impacta en la cantidad de señales que el automatismo deberá gestionar. La Figura 2.16 muestra la forma en que se representan las válvulas automáticas de apertura – cierre indicando si existen avisos de la posición de la válvula en pantalla de operación.

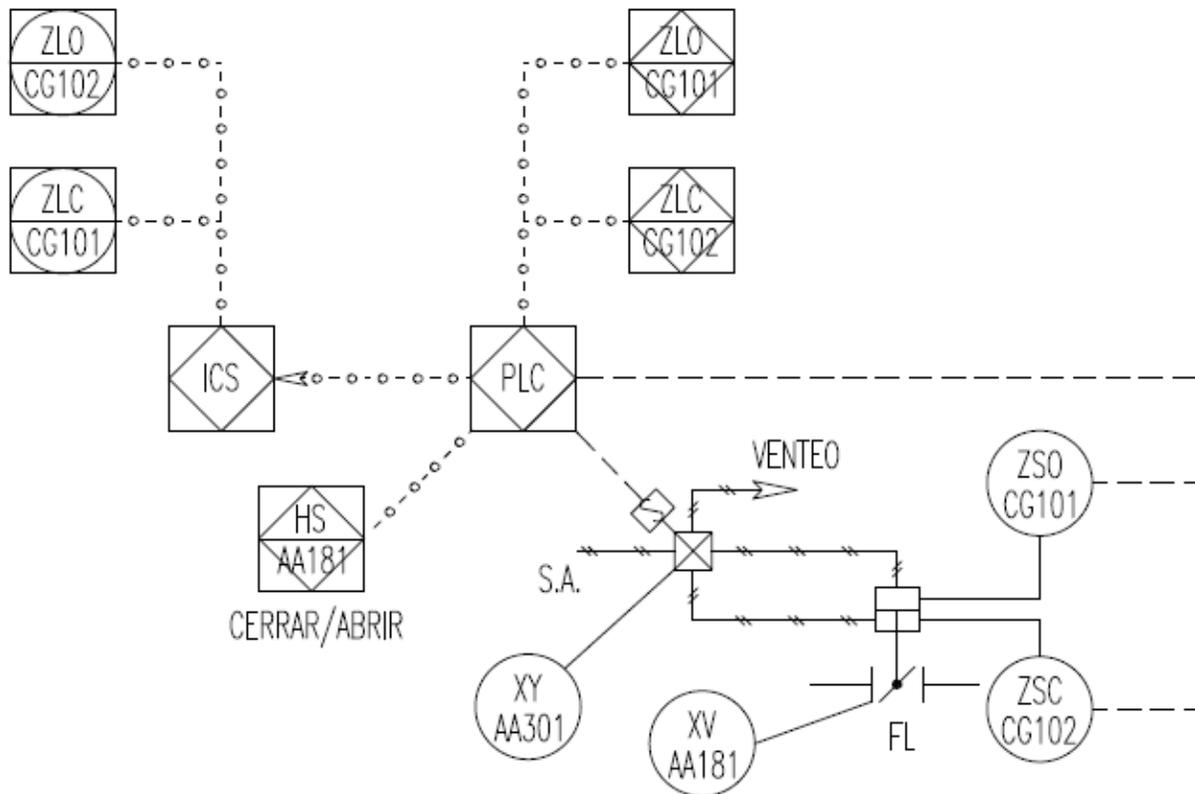


Figura 2.16 Automatización de válvula en D.T.I.

Fuente: Central Ciclo Combinado “Tamazunchale I”, San Luis Potosí.

Todas estas representaciones en los diagramas de tubería e instrumentación proporcionan datos importantes asociados con la filosofía de control, para indicar las informaciones que se tendrán en la estación de control conocida como HMI (Human Machine Interface) por sus siglas en inglés, o sea Interface Hombre Máquina, que no es sino la computadora y pantalla - monitor que junto con el mouse otorgan al operador el acceso directo al monitoreo de las variables, funcionamiento de equipos y control de los componentes. En la Figura 2.17 se muestra un ejemplo de pantalla de operación donde es posible controlar el funcionamiento de motores y válvulas, mediante la ayuda de un ratón (mouse). Para esto, el ratón se posiciona en la válvula o motor y haciendo doble clic aparece una casilla con las opciones de abrir/cerrar o arrancar/ parar según corresponda.



Figura 2.17 Pantalla en estación de control.

Fuente: Sistema de Control o PLC, P.T.A.R. Valle de Juárez, Chihuahua.

Como en el resto de las disciplinas, la ingeniería de instrumentación y control permite realizar las compras de materiales, fabricar los equipos (en este caso tableros) y hacer montaje de los componentes, pero en este caso también permite entender la lógica del funcionamiento de la planta (lo cual es muy importante para los operadores que estarán a cargo de la misma). A partir de los documentos que son creados es posible identificar fallas durante la explotación de la planta como falsos contactos en los conexionados, fusibles dañados que requieran ser reemplazados, etc. lo cual permite asegurar que ésta se mantenga funcionando adecuadamente sin contratiempos importantes. En caso de requerirse modificaciones a la lógica de control durante la explotación, la documentación producida en la ingeniería servirá como base sólida para hacer las adecuaciones que puedan ser necesarias. Inclusive en algunas ocasiones es necesario incorporar nuevos instrumentos o válvulas automáticas por algún ajuste al proceso, lo cual puede realizarse gracias a las reservas que usualmente se dejan en el sistema de control, tanto a nivel de tarjetas de entradas o salidas como a nivel de cables o tuberías eléctricas.

Principalmente se producen los siguientes documentos como parte de la disciplina de instrumentación y control:

- Bases de diseño;
- Especificación de sistema de control;
- Lista de entradas y salidas;
- Arquitectura de control;
- Lista de instrumentos;
- Lazos de control;
- Hojas de datos de instrumentos;
- Cedula de cables;
- Rutas de cables de control;
- Típicos de instalación de instrumentos;
- Diagramas lógicos de control;
- Distribución de tubing para aire comprimido.

La automatización se basa principalmente en la intervención de controladores lógicos programables o PLC (Programmable Logic Controller). En algunos otros casos se utilizan sistemas de control distribuido o DCS por sus siglas en inglés, pero en esencia ambos utilizan hardware especializado y herramientas informáticas de programación (software) para automatizar. Esta combinación de hardware (fuentes de poder, tarjetas de señales, monitor, etc.) y software (programas para automatizar, gráficos dinámicos, etc.) permiten al sistema actuar válvulas, controlar motores, etc. así como recibir señales de instrumentos de campo, para gestionar acciones de acuerdo a los parámetros que se reciben.

Todo este conjunto de componentes en la automatización de una planta se indica en el documento llamado arquitectura del sistema de control, Figura 2.18. En él es posible identificar la esencia del control y entender los componentes principales (como racks de señales), que intervienen en la automatización de una planta.

La ingeniería de control e instrumentos para tratamiento de agua se apoya en cierta medida en los códigos o normas siguientes:

- Instrument Society of America, (ISA);
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, (IEEE);
- National Electrical Manufacturers Association, (NEMA);
- Underwriters Laboratories, (UL);
- International Electrotechnical Commission, (IEC);
- Normas Oficiales Mexicanas, (NOM);
- American National Standards Institute, (ANSI).

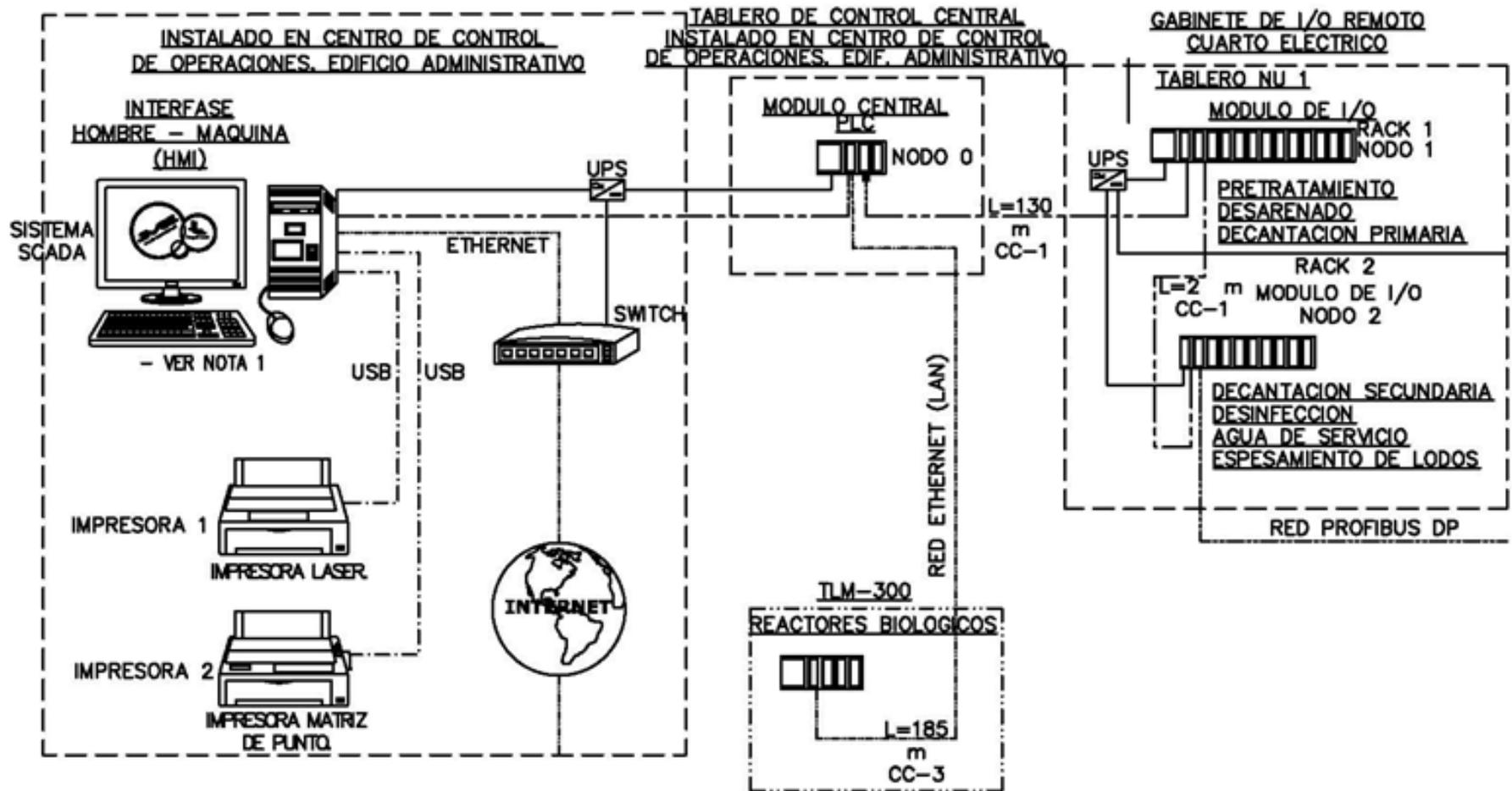


Figura 2.18 Extracto de una arquitectura de control.

Fuente: P.T.A.R. Valle de Juárez, Chihuahua.

CAPITULO II. CONCEPTOS DE INGENIERÍA EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Instrumentación

Cualquiera que sea el tipo de instrumentación (flujo, presión, nivel, temperatura, análisis, válvulas de control, válvulas on-off) de una planta, éste se define a partir de las hojas de datos, que son documentos donde se indican entre otras cosas: la información de la variable a medir, todas las características en cuanto a materiales del instrumento, calibración, alimentación eléctrica, código de identificación, rango del instrumento y datos de fabricante. A partir de una hoja de datos, Figura 2.19, es posible solicitar cotización de diversos proveedores para obtener la mejor propuesta que se adapte a las necesidades. Posteriormente, la hoja de datos sirve para acompañar la inspección en fábrica de los instrumentos comprados, así como su llegada a obra y su instalación final.

ANALIZADORES DE OXIGENO DISUELTO (O2)					
GENERAL	1	NO. DE TAG DEL ELECTRODO DE MEDICIÓN	AE-322 A	AE-322 B	
	2	NO. DE TAG DEL TRANSMISOR	AIT-322 A	AIT-322 B	
	3	SERVICIO	Medición O2 Reactor Biologico	Medición O2 Reactor Biologico	
ELECTRODO DE MEDICIÓN	4	PRINCIPIO DE MEDICIÓN	Luminescente	Luminescente	
	5	ELECTRODO	Optico	Optico	
	6	TOMA DE MEDICIÓN	Inmersion	Inmersion	
	7	CONEXIÓN A PROCESO	Inmersion	Inmersion	
	8	BARRA DE INMERSIÓN	Si	Si	
	9	ELECTRODO DE REFERENCIA	No Requerida	No Requerida	
	10	COMPENSADOR DE TEMPERATURA	Incluido	Incluido	
	11	MATRLS. DE CONST. (PARTES NO HÚMEDAS)	PVC	PVC	
	12	MATRLS. DE CONST. (PARTES HÚMEDAS)	316	316	
	13	PREAMPLIFICADOR	Incluido	Incluido	
	14	CABLE DE EXTENSIÓN	10 mt.	10 mt.	
	15	TIEMPO DE RESPUESTA	Continuo	Continuo	
	INDICADOR TRANSMISOR	16	INDICADOR DIGITAL	Incluido	Incluido
		17	ESCALA	O2 (Configurable)	O2 (Configurable)
		18	RESOLUCIÓN	0.01 Unidades de ppm	0.01 Unidades de ppm
19		RANGO DE MEDICION	0 - 20 ppm	0 - 20 ppm	
20		PUNTO DECIMAL	Automático	Automático	
21		NO. DE CANALES DE ENTRADA	1	1	
22		SALIDA ANALÓGICA	4 - 20 mA - HART	4 - 20 mA - HART	
23		AUTODIAGNOSTICABLE	SI	SI	
24		SALIDAS DE ALARMA	TIPO		
25		SUMINISTRO ELÉCTRICO	24 VCD	24 VCD	
26		MONTAJE	En tubo de 2"	En tubo de 2"	
27		ENCAPSULADO	NEMA 4X	NEMA 4X	
CONDICIONES DE OPERACIÓN		28	PUNTO DE OPERACIÓN	3 ppm	3 ppm
	29	CONDUCTIVIDAD (Microsiemens / cm)	N/A	N/A	
	30	SODIO TOTAL (mg / lt)	Altos	Altos	
	31	TEMPERATURA °C	36 °C	36 °C	
	32	TURBIDEZ (NTU)	N/A	N/A	
	33	CLORUROS (mg / lt)	Bajos	Bajos	
	34	SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (mg / lt)	2%	2%	
	35	ÁCIDO SULFÚDRICO (mg / lt)	N/A	N/A	
	36	PRESIÓN (kg / cm2)	Atmosferica	Atmosferica	
ACCESORIOS	37	HERRAJES DE MONTAJE EN YUGO	Incluidos	Incluidos	
	38	PATRONES DE CALIBRACIÓN	N/A	N/A	
MARCA Y MODELO	39	MARCA	Endress Hauser	Endress Hauser	
	40	MODELO			
	41	MODELO DEL ELECTRODO DE MEDICIÓN	COS61D-AAA1A4+Z1	COS61D-AAA1A4+Z1	

Figura 2.19 Hoja de datos para instrumento de oxígeno disuelto

Fuente: Hoja de Datos de fabricante de instrumentos ENDRESS + HAUSER.

Posterior a su compra, los instrumentos se deben instalar conforme instrucciones de los fabricantes para evitar lecturas erróneas o funcionamiento inadecuado. En ocasiones se piensa que todos los instrumentos de un tipo se instalan de la misma manera pero éstos van evolucionando aun siendo de la misma marca, por lo cual siempre se deben revisar las instrucciones del proveedor (inclusive desde que se están cotizando los instrumentos). En la Figura 2.20 se muestra un esquema para instalación de instrumento, que el fabricante del mismo indica en su manual de instalación.

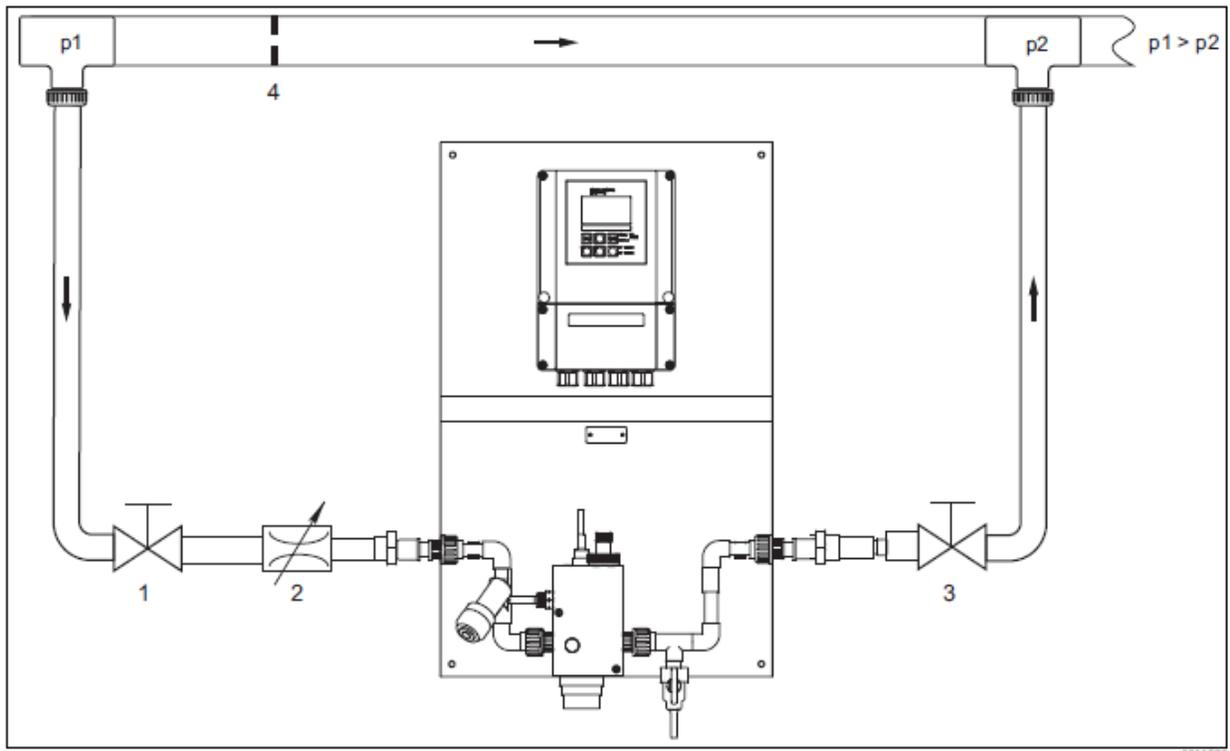


Figura 2.20 Típico de instalación para analizador de cloro residual

Fuente: Catálogo técnico de ENDRESS + HAUSER para adaptador FLOWFIT

- 1) Válvula de corte o aislamiento
- 2) Reductor de presión (si la presión "p1" > 4 bar)
- 3) Válvula de corte o aislamiento
- 4) Orificio de restricción en la tubería principal

La definición de los instrumentos y, por consecuencia sus requerimientos de instalación, en algunos casos impacta otras disciplinas de la ingeniería y viceversa, el resto de las disciplinas pueden impactar en la definición de un instrumento. Como por ejemplo, supongamos la necesidad de colocar un medidor de nivel tipo ultrasónico en la losa de tapa para un tanque de agua; será necesario considerar un hueco en los planos civiles correspondientes o de lo contrario no podrá instalarse. En este ejemplo si la ingeniería civil avanzó hasta iniciar la construcción del tanque sin considerar el hueco, en algún momento posterior se necesitará instalar el instrumento con la consecuencia de tener que romper y adaptar sobre la losa de concreto.

Pruebas de automatización

Cuando la ingeniería de control e instrumentos prácticamente ha finalizado y cuando a su vez el sistema de control está comprado e integrado, es posible realizar pruebas en taller o fabrica del integrador o de la empresa responsable, las cuales son conocidas como pruebas FAT por sus siglas en inglés: Factory Approval Test; las cuales tienen como objetivo simular la lógica de control, verificando la integración de las señales y el automatismo que fue especificado. Para realizar estas pruebas, es conveniente considerar tableros de prueba que simulen el accionamiento de válvulas o equipos, porque de lo contrario todo es manipulado por software y pueden tenerse errores o problemas que no son identificables sino hasta la puesta en marcha real en el lugar de la obra.

2.2 Organización de la ingeniería

La estructura organizacional que se requiere para gestionar y producir una ingeniería integral puede variar en tamaño de recurso humano y funciones, no obstante existe una estructura patrón básica que funciona adecuadamente para cualquier ingeniería enfocada al tratamiento de agua. En dicha organización, Figura 2.21, se mantiene la división de áreas por disciplina técnica (proceso, civil, mecánica, eléctrica y control e instrumentos), gestionándose cada una de manera independiente mediante un jefe especialista técnico en la materia. Cada especialidad interactúa con el resto las disciplinas de forma dinámica y el responsable de la ingeniería asegura que la comunicación sea constante y eficiente entre las áreas.

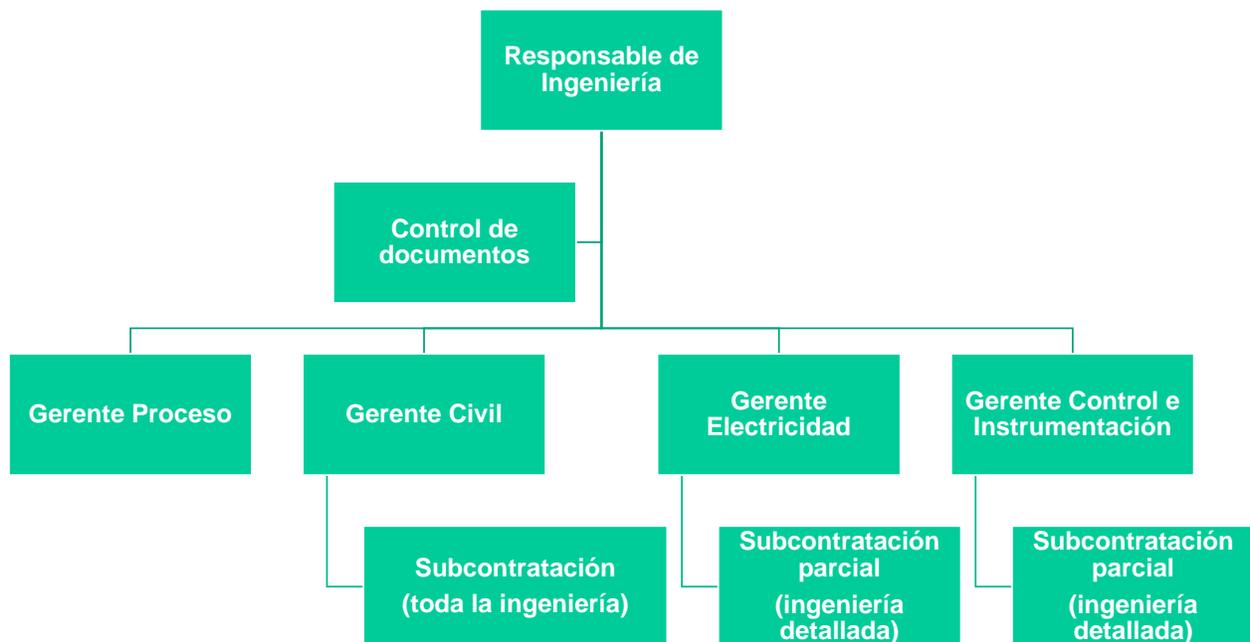


Figura 2.21 Organigrama de ingeniería para diseño de una planta de tratamiento de agua residual

Dentro de cada disciplina existen documentos básicos conceptuales, como la arquitectura de control, el diagrama de flujo de proceso, la especificación de tuberías, etc. que dan origen a muchos otros documentos considerados “de detalle”, los cuales implican una gran inversión de horas hombre. Los documentos básicos son muy importantes para evitar errores graves que tendrían un impacto notable en el proyecto, por lo que es recomendable producirlos internamente con el equipo de gerentes de cada disciplina. Por esta razón, la ingeniería de Proceso suele desarrollarse de forma interna, con recursos confiables y que dominan el *expertise* en la materia.

Por otra parte, debido a que la calidad en los planos y documentos de detalle impacta en menor grado al proyecto, éstos se pueden subcontratar y desarrollar fuera, en otra empresa o con otro grupo de ingenieros y diseñadores para disminución de los costos. Suponiendo deficiencias o mala calidad (errores) en el contenido de la información detallada, el impacto en la ejecución o construcción sería menor y éste se podría controlar o resolver mediante gestión técnica local (ingeniero supervisor en la obra).

Por ejemplo, un diagrama unifilar eléctrico es preferible desarrollarlo internamente, porque es la base para la distribución de energía a los equipos, el cual al comienzo de la ingeniería está en constante evolución. Por su parte, los planos de distribución de cables (desde el CCM hasta los equipos) requieren de mucho más detalles y por tanto horas hombre, que implican recurso humano, equipos de cómputo, espacio, etc. directamente relacionado al costo de una empresa.

Por otro lado, es importante contar con una persona o área específica para el control de documentación, que consiste en identificar las revisiones de los documentos, el seguimiento de cuando éstos son emitidos al cliente, el archivo electrónico y físico de los mismos, etc. Este control de documentos ayuda a difundir a todos los involucrados en la ingeniería, compras y construcción cual es la última revisión de la información, para evitar trabajar con diseños o informaciones obsoletas. Así mismo el control documental permite cuantificar avances para orientar al proyecto en general sobre la situación en la ingeniería.

2.3 Seguridad en la ingeniería

La seguridad de las instalaciones y principalmente el bienestar del personal son cada vez más una prioridad para las empresas transnacionales, que se preocupan por la salud e integridad de los empleados; reconociendo además que la seguridad es un valor agregado puesto que ningún cliente desea accidentes graves o fatales en sus proyectos.

Usualmente se piensa que la seguridad de una planta en operación depende únicamente de los supervisores, de la capacitación de los empleados, de los procedimientos, etc. pero es importante identificar si la planta fue diseñada tomando en consideración los aspectos relativos a la seguridad y ergonomía; lo cual puede ser decisivo para evitar que suceda algún accidente relevante en las instalaciones.

Dentro de los aspectos de seguridad a considerar en la ingeniería se encuentran: ruido, espacios confinados, incendio, temperatura, gases tóxicos y ergonomía.

Ruido

Existen máquinas como los compresores de biogás, que por su naturaleza generan altos niveles de ruido, el cual resulta perjudicial a largo plazo para los operadores.

En relación al ruido, la norma oficial mexicana NOM-011-STPS-2001 “Condiciones de seguridad en los centros de trabajo donde se genere ruido” establece las recomendaciones a nivel nacional. Tomando esto en consideración, algunos clientes limitan la generación de ruido en los equipos a 85 dB medidos a 1 metro de distancia de la fuente. En este sentido, muchos equipos ya consideran en su diseño niveles de ruido aceptables y en algunos casos éstos requieren de cabinas acústicas o insonorizantes.

Espacios confinados

En las instalaciones para tratamiento de agua residual es importante evitar que los cárcamos o fosas sean espacios confinados, considerando áreas adecuadas para ventilación y entrada / salida de las personas. Es necesario anticipar las necesidades de iluminación, ventilación, equipos de izaje, etc. que serán requeridas cuando la planta se encuentre en funcionamiento y requiera algún mantenimiento. Ya han sucedido accidentes mortales por el ingreso de personas en espacios con presencia de gas sulfhídrico, el cual es altamente tóxico e incluso letal a partir de ciertas concentraciones.

Ergonomía

Siempre se debe cuidar la ergonomía para operar válvulas: que éstas no queden en espacios poco accesibles o que pongan en riesgo al operador. Además, es importante conservar los espacios libres para maniobras, los dispositivos (polipasto, grúa) para izaje de equipos y en general los aspectos relacionados con el esfuerzo físico humano.

Gases tóxicos e instrumentación

Para la zona de cilindros de almacenamiento de gas cloro es importante considerar sensores de fuga, que detectan concentraciones tan bajas como 0.5 ppm y que pueden alertar a los operadores para tomar las acciones pertinentes en caso de emergencia.

Para las salas donde se tienen equipos (compresores, sopladores, calderas) que manejan biogás en instalaciones para digestión anaerobia, usualmente se colocan detectores de metano y de ácido sulfhídrico para alertar a los operadores de eventuales fugas de gases tóxicos o inflamables.

Temperatura

Algunos equipos generan calor y en el caso de las tuberías que transportan aire comprimido, éstas se calientan debido a la fricción del aire, por lo cual es importante considerar la identificación visual de riesgo.

Las tuberías que transporten gases inflamables como el biogás, deben identificarse conforme la norma NOM-026-STPS-2008 “Colores y señales de seguridad e Higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías”.

2.4 Documentación como fue construido

Posterior al término de la ingeniería de detalle la importancia de reflejar en planos y documentos las modificaciones o cambios en la planta, una vez que ésta fue construida, es muy importante para el personal a cargo de su explotación; porque a partir de esta información es posible hacer reemplazo de equipos, válvulas, instrumentos, etc. que sean compatibles con la instalación original. Además, que en estos documentos y planos se indican las instrucciones para la solución de problemas, atención de anomalías y eventualmente hasta el mantenimiento requerido para los componentes.

Por ejemplo, un documento utilizado por el usuario final de la planta es el manual de operación y mantenimiento, el cual describe los parámetros a controlar, variables a monitorear, los posibles problemas y sus soluciones, el mantenimiento requerido, etc. Si este documento no refleja todos los aspectos que se tomaron en cuenta cuando la planta fue concebida, se corre el riesgo de tener una explotación difícil, ineficiente y costosa.

Considérese una planta de tratamiento de agua de pozo por ósmosis inversa, que fue diseñada para un valor determinado de sílice, la cual se encuentra en fase de puesta en marcha. Durante las pruebas se analizó el agua cruda y se descubrió que el sílice fue mayor al esperado pero en el límite máximo previsto en el diseño. Si no se indicó en el manual de operación que se debía vigilar periódicamente el valor de sílice en el agua del pozo se corre el riesgo de dañar las membranas de ósmosis inversa y perder eventualmente la capacidad de tratamiento. En este ejemplo, si el usuario final está consciente del riesgo puede buscar alguna solución especializada para mitigar el problema si el sílice rebasa los límites permitidos en el agua de pozo, mediante la dosificación de un producto químico conocido como anti incrustante o modificando la recuperación del sistema (porcentaje de agua producida en la ósmosis inversa respecto de la cantidad de agua alimentada).

Es importante documentar cada una de las modificaciones que se realicen a las instalaciones, pues de esta forma se tendrá un registro para las personas nuevas en la planta. Es incorrecto pensar que el mismo equipo de ingenieros y técnicos estará siempre en la organización para alertar sobre los cambios que puedan ocurrir en la planta.

III.- ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS

La administración de los proyectos de tratamiento de aguas implica una buena gestión de los recursos, de la planificación, de los riesgos y las oportunidades que existen en el entorno, tomando en cuenta a todos los interesados o afectados por el proyecto. Los proyectos para desarrollar plantas de tratamiento de agua se conforman de diferentes etapas, con distintos obstáculos, variables, incógnitas e imprevistos que requieren de una constante atención y seguimiento, para mantener la visión global y no perder de vista la estrategia planteada.

Más de la mitad de los proyectos industriales de construcción a gran escala, tales como plataformas petroleras, complejos químicos y presas nunca logran sus objetivos (con incumplimientos en plazos por ejemplo), resultando en pérdidas millonarias por costos imprevistos. Peor aún, algunos proyectos reportan niveles decepcionantes de funcionamiento una vez que la planta se ha concluido y se encuentra en operación, con incertidumbre sobre la seguridad misma de la instalación. Los proyectos para tratamiento de aguas en muchas ocasiones presentan el mismo comportamiento, especialmente los que están relacionados con el mercado industrial (complejos químicos, la industria petrolera, la generación de energía eléctrica, la industria del papel, etc.).

La gestión de los proyectos para tratamiento de aguas no difiere de la de otros proyectos y por tanto en la actualidad es muy común que siga los principios del Project Management Institute (PMI). Esta organización a nivel mundial, es actualmente el referente más importante en relación a la formación y certificación de profesionales para la administración de los proyectos. Básicamente, el gerente de proyecto o también llamado Project Manager es la figura más alta en la organización y es quién tiene la responsabilidad de dar seguimiento a los plazos, costos y cumplimiento de los objetivos, controlando los riesgos durante el desarrollo del contrato.

En la organización de una empresa especializada en tratamiento de aguas existen diferentes departamentos: ingeniería, compras, contabilidad, recursos humanos, construcción, jurídico, etc. cada uno de ellos con estructura y recursos propios que deberán estar alineados con la estrategia, los objetivos y necesidades específicas de cada proyecto. Cuando esto no sucede el Project Manager debe tomar acciones en conjunto con los departamentos relacionados. Cada una de las áreas mencionadas estará involucrada con la estrategia, planeación, monitoreo y control del proyecto, de tal forma que se garantice una buena comunicación y ejecución de las actividades, tomando acciones correctivas cuando sea necesario.

Aunque existen diversas áreas que dan servicio a un proyecto las que tienen más relación e importancia para éste son: ingeniería, compras y la dirección o gerencia misma. Por esta razón se requiere una interacción constante que derive en acuerdos, informes, reuniones, minutas, etc. para que se logren los objetivos en tiempo y forma.

3.1 Desarrollo de un proyecto para tratamiento de aguas

Cuando se ha conseguido la adjudicación de un contrato o proyecto para una nueva planta de tratamiento de agua, ésta tiene como antecedente una plataforma de trabajo muy completa, mediante la cual fue posible presentar una propuesta técnica y comercial asumiendo los requerimientos del cliente, la inversión y la ganancia esperada. Todo este trabajo base fue desarrollado antes de ganar el proyecto, estableciendo entre otras cosas una organización, riesgos, presupuesto y cronograma; de tal forma que se pudiera presentar una oferta o propuesta detallada al cliente. Este compendio de informaciones, que es la base a seguir, se debe transferir adecuadamente para el Project Manager y su equipo de trabajo, siendo esta la fase inicial en la ejecución del proyecto mismo.

En la Figura 3.1 se muestran las etapas del proyecto en forma separada, con la finalidad de identificarlas. Éstas no suceden estrictamente cuando la anterior ha terminado, sino que pueden interactuar entre ellas y estar aconteciendo en paralelo. De hecho es necesario que durante un determinado tiempo las etapas de ingeniería y suministros se desarrollen al mismo tiempo.

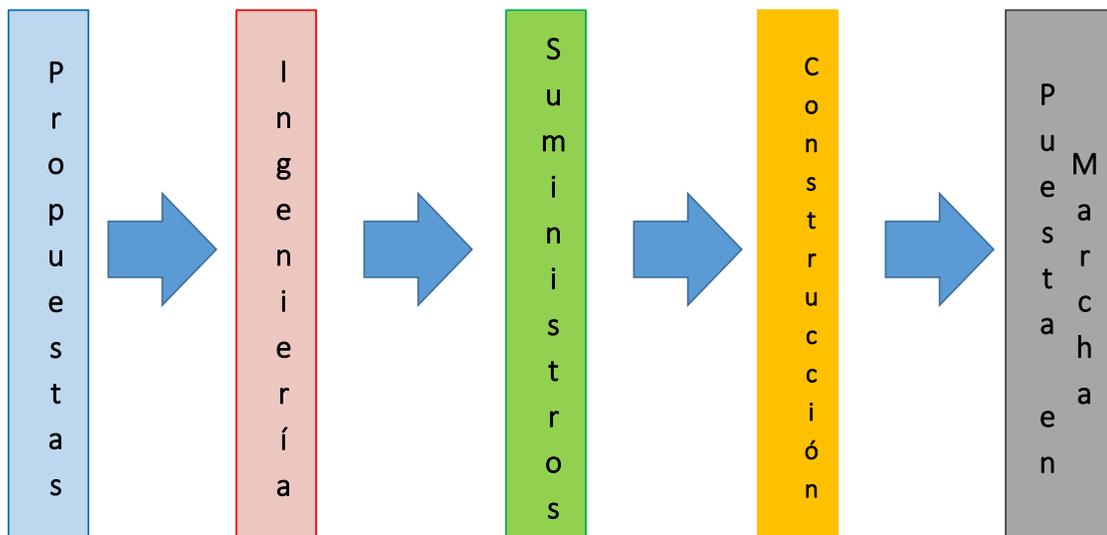


Figura 3.1 Etapas convencionales de un proyecto

3.1.1 Propuestas

El departamento de propuestas se encarga de transferir adecuadamente todas las informaciones “base” relacionadas al nuevo contrato: antecedentes, alcances, presupuestos, cronograma, especificaciones o requerimientos técnicos, riesgos y oportunidades. Es conveniente hacer una reunión de inicio o de transferencia de la información del proyecto donde se expongan los aspectos más relevantes, haciendo énfasis en los riesgos pero también en las oportunidades para incrementar el margen de venta o la utilidad neta del contrato.

3.1.2 Ingeniería

La ingeniería parte del tren de tratamiento presentado o vendido al cliente por el departamento de propuestas, tomando en cuenta las especificaciones del proyecto para desarrollar los planos y documentos que permiten hacer las compras, prefabricar en taller, realizar la construcción en sitio y finalmente poner en funcionamiento la planta.

3.1.3 Suministros

El área de compras o suministros participa desde el inicio del proyecto para conocer los equipos críticos, la estrategia, el presupuesto, los objetivos, etc. En la revisión con las otras áreas se identifican los equipos críticos, así como los plazos relacionados con los mismos ya que en algunos contratos existen penalizaciones o hitos de pago ligados a la llegada a obra de equipos principales. En la Figura 3.2 se muestran las actividades principales que gestiona el departamento de compras o suministros.

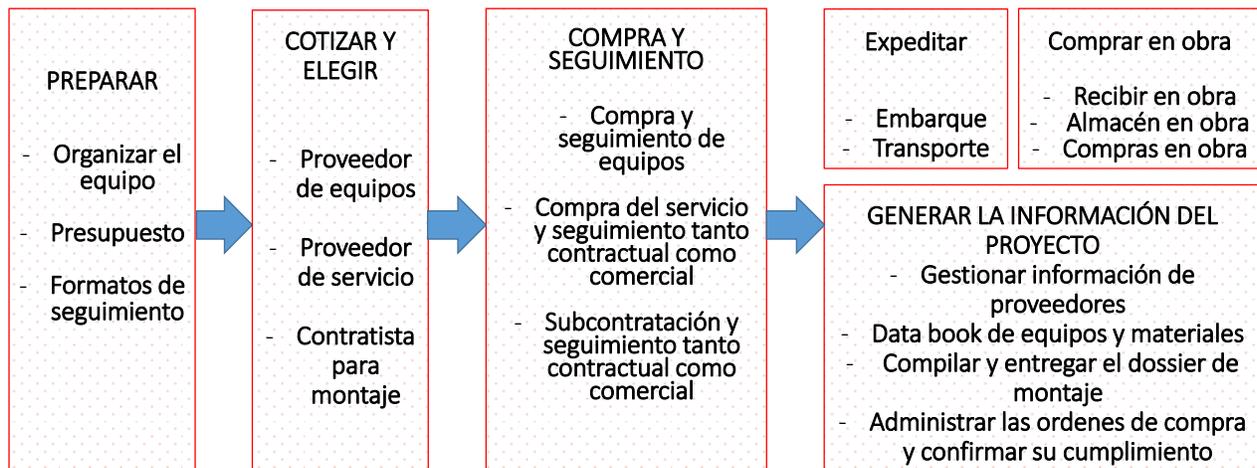


Figura 3.2 Actividades que realiza y gestiona el departamento de suministros y logística

Dentro de las responsabilidades del departamento de compras está la del seguimiento a las órdenes de compra y a los contratos de servicios o de montaje. Estas actividades requieren una estructura organizacional amplia, con experiencia en el ramo y que tenga autoridad sobre los proveedores cuando éstos incumplen sus obligaciones.

3.1.4 Construcción

Actualmente la organización para la construcción usualmente considera la subcontratación de las actividades, para únicamente supervisar, monitorear y controlar los trabajos asignados a terceros.

3.1.5 Puesta en marcha

Esta es la fase final del proyecto en la cual se busca obtener la liberación del cliente sobre las obligaciones contractuales, principalmente relacionadas con la calidad y cantidad de agua especificados.

3.2 Organización del proyecto

Al inicio del proyecto se deben establecer los responsables de las diferentes áreas y definir la interacción que éstos tendrán durante el desarrollo del mismo. Así, se supone que una única estructura organizacional conocerá desde sus orígenes los aspectos principales relacionados al proyecto. En caso contrario se pueden perder los antecedentes del proyecto y olvidarse parcialmente los riesgos, objetivos, etc.

Continuamente se deberán realizar reuniones de seguimiento y toma de decisiones, donde cada área planteará sus problemas o preocupaciones comunes, así como sus necesidades principales al resto de los involucrados. Cada área necesita de informaciones o datos de las otras áreas y entonces la buena comunicación se vuelve un factor fundamental en la ejecución de las actividades.

La elección de los recursos humanos que participarán en el proyecto es clave para conseguir los objetivos deseados. Es conveniente estar seguros de las capacidades de cada persona y de su experiencia en el rol que estará desempeñando. Por esto, una de las grandes dificultades a las que se enfrentan las compañías es la de mantener una estructura base, capaz de afrontar los retos de un nuevo proyecto.

3.3 Seguimiento de los costos

Dentro de la administración de contratos se establecen cronogramas sobre los gastos que se tendrán a lo largo del tiempo hasta la conclusión del proyecto en cuestión, con lo cual es posible seguir mes a mes la previsión del resultado final en cuanto al margen de ganancia. Es decir, al inicio de todo proyecto es posible establecer un objetivo de ganancia económica con base en el análisis del mismo, previa conciliación con el área de propuestas y bajo orientación de la dirección de la empresa. Este margen objetivo podrá variar a medida que el proyecto avanza, debido a diferentes variables o imponderables que se descubren con el paso del tiempo: errores de ingeniería, incumplimiento de proveedores, mala calidad de suministros, problemas con subcontratistas, retrasos en obra civil por mal clima (lluvia principalmente), entre otros.

Como se indica en la Figura 3.3 este seguimiento de los costos se puede llevar acabo clasificándolos de acuerdo a los rubros que tienen en los proyectos de agua, es decir: finanzas (seguros, pólizas, etc.), ingeniería, compras (equipos, materiales, cables, válvulas, etc.), transportación de los suministros, construcción civil, montaje (mecánico y eléctrico), puesta en marcha, gastos de obra y gastos imprevistos para garantizar las obligaciones contractuales.

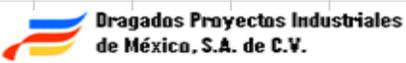
		No. DE REGISTRO: AI-03-07							
		FECHA: 18 de abril de 2011							
		PROYECTO: CC San Lorenzo, Cuautlancingo PUEBLA							
		RESPONSABLE: RAUL YAÑEZ RODRIGUEZ							
TAREAS - DIVISIÓN DE COSTOS		mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09	oct-09
T 00 - VENTAS Y MARKETING	1,554,677								
T 01 - FINANZAS	201,208	71,735	-71,735						9,326
T 02 - INGENIERIA	3,008,961	1,638	15,194	32,800	19,996	13,510	28,516	14,712	7,310
T 03 - EQUIPAMIENTO	16,193,129	229,420	-13,819	13,997	153,878	-57,861	-27,690	47,085	50,149
T 04 - TRANSPORTACIÓN	19,911								
T 05 - OBRA CIVIL									
T 06 - MONTAJE	4,678,965	288,753	348,907	309,433	10,700	142,091	1,144	6,429	21,856
T 07 - PUESTA EN MARCHA	1,672,239	140,341	211,035	124,620	85,800	143,831	200,017	83,884	1,598
T 08 - COSTOS DE OBRA	734,343	161,180	83,585	-9,472	44,139	-7,311	1,415	37,887	13,889
T 09 - GARANTÍA / CAPACITACIÓN	283,218								
T10 SUBSIDIARIAS ESPECIALIZADAS									
T11 SUBSIDIARIAS LOCALES									
COSTO TOTAL PESOS (MXN)	28,346,651	893,067	573,167	471,377	314,513	234,260	203,402	189,996	104,128
		24,979,522	25,552,688	26,024,065	26,338,578	26,572,838	26,776,240	26,966,236	27,070,364
PRECIO DE VENTA	33,200,250			0					
MARGEN \$	4,853,599								
MARGEN %	14.62%								

Figura 3.3 Clasificación y seguimiento mensual de costos.

Fuente: Planta desmineralizadora de agua “San Lorenzo”, Puebla.

Esta clasificación de los costos permite no solamente controlar y visualizar el desarrollo financiero del proyecto, sino que también sirve de referencia o base para la estimación de futuros proyectos dentro de la misma organización, identificando rubros que requieran optimizarse o aspectos que se deben incluir en el presupuesto de proyectos similares. Por ejemplo, si la obra civil resultó más costosa de lo que fue prevista al vender la planta al cliente, las causas de este sobrecosto podrán identificarse, analizarse y anticiparse para futuros proyectos similares.

Por otro lado, también se puede establecer una programación de los ingresos económicos que se tendrán por los pagos del cliente: en principio por el pago del anticipo y por los pagos debidos al avance de las actividades establecidas en el contrato. Esto con la finalidad de que la empresa y en específico el área de administración y finanzas pueda hacer su previsión económica global del año. En la Tabla 3.1 se muestran algunos casos sobre la distribución de pagos negociados con algunos clientes para proyectos tipo industrial.

Los porcentajes que se asignan a estas etapas pueden depender de la negociación o relación comercial con el cliente y no siempre es posible modificarlos. Obviamente el anticipo es un porcentaje que siempre se busca cuidar, ya que un cliente pone en riesgo su dinero mientras un proveedor requiere de recursos económicos para la realización de las actividades y cumplimiento de sus obligaciones contractuales. Para el caso de proyectos municipales los esquemas de pago están relacionados principalmente al avance de las actividades en lugar de hitos específicos, a diferencia de los proyectos tipo industrial.

Tabla 3.1 Términos de pago de algunos proyectos industriales

	Petroquímica Morelos (cliente: CARSO) * Año: 2007	San Lorenzo (cliente: DRAGADOS) * Año: 2008	Papelera en URUGUAY (cliente: MONTES DEL PLATA) ** Año: 2011
Monto de contrato	\$2,896,733 USD	\$3,000,000 USD	\$180,000,000 USD
Anticipo	35%	20%	20%
Ingeniería aprobada	10%	15%	15%
Compra, fabricación y prueba de equipos principales	15%	35%	N/A
Equipos principales en obra	15%	20%	57%
Finalización del Montaje	10%	5%	3%
Finalización de la Puesta en Marcha	10%	5%	3%
Recepción provisional	10%	N/A	2%

* Función desempeñada: Gerente de proyecto (Project Manager)

** Función desempeñada: Coordinador de ingeniería (Engineering Manager)

El objetivo de otorgar anticipo para un proyecto es proveer del recurso necesario para iniciar las adquisiciones y gastos iniciales por compra de materiales principalmente, puesto que los equipos en ocasiones son muy costosos para ser financiados por la empresa subcontratista. El pago del anticipo normalmente está condicionado a la presentación de fianzas según sea establecido en el contrato, las cuales pueden ser por el anticipo mismo y por el buen cumplimiento de las obligaciones contractuales. Por otra parte, una vez pagado el dinero del anticipo acordado, éste usualmente se debe amortizar en las subsecuentes estimaciones o hitos de pago. Todo esto se debe indicar claramente en el contrato correspondiente.

Como indicado en la Figura 3.4, una vez establecida la programación de los costos y los ingresos, es posible establecer una tendencia para el flujo de dinero por el proyecto en cuestión, lo cual es importante para el departamento de administración y finanzas de la empresa. Esto permitirá identificar periodos en los cuales se requerirá de algún financiamiento o de utilizar las reservas económicas de la empresa. Sucede en ocasiones que al tener dos o más proyectos en desarrollo, las empresas pueden tomar los recursos excedentes de un proyecto para utilizarlos en otro.



Figura 3.4 Curva de gastos, cobros y flujo de caja para planta desmineralizadora de agua

Fuente: Central eléctrica Ciclo Combinado “San Lorenzo”, Puebla

En muchas ocasiones los proyectos se manejan en dólares porque involucran equipos y materiales de importación, que constantemente están sujetos a cambios en sus costos de fabricación por las materias primas involucradas (como el acero). En estos casos, es posible hacer la contratación de coberturas bancarias que permitan establecer un valor fijo del dólar en relación a su valor en pesos u otra moneda, de tal forma que se asegura la compra y venta de dólares conforme el flujo de caja previsto a lo largo del proyecto.

3.4 Planeación

La planificación del proyecto es esencial para poder alcanzar los objetivos y mantener el control del mismo. Nos permite mantener la visión del rumbo que lleva el contrato y tomar acciones en caso de tener alguna desviación. No obstante, se requiere que la programación se lleve a cabo de forma realista y con la participación de los responsables de ingeniería, compras, construcción y dirección misma del proyecto.

Actualmente las actividades en un cronograma se desglosan siguiente un concepto llamado WBS por sus siglas en inglés (Work Breakdown Structure), que consiste en la descomposición jerárquica orientada al entregable, del trabajo a ser ejecutado por el equipo de proyecto, para cumplir con los objetivos de éste y proporcionar los resultados requeridos.

La obtención de la ruta crítica del proyecto es clave para orientar los esfuerzos de todo el equipo sobre las actividades que permitirán conseguir los resultados deseados. La problemática principal de la ruta crítica en la planificación de las tareas es que ésta no se identifica adecuadamente, siendo confundida en muchas ocasiones por actividades que si bien es importante realizarlas, éstas no se traducen en el éxito y logro de las metas previstas. Por lo tanto, la ruta crítica debe ser elaborada cuidadosamente por los involucrados (ingeniería, compras, dirección, construcción) y eventualmente con el apoyo de un responsable del departamento de finanzas y recursos humanos.

3.5 Avance del proyecto

Se requiere de indicadores que permitan medir el grado de cumplimiento de los hitos y objetivos planteados al inicio del proyecto; de tal forma que se establecen mediciones internas y/o con el cliente a lo largo del desarrollo del mismo.

La medición de los avances de la ingeniería se realiza usualmente por medio del número de documentos emitidos, con porcentajes según la emisión, por ejemplo: 60% primera emisión, 35% emisión aprobada para construcción y 5% as built (como construido), como se muestra en la Tabla 3.2. En otros casos, el grado de medición del avance es por el número de documentos aprobados o firmados por el cliente.

Tabla 3.2 Estructuración de avance en ingeniería

 AVANCE DE INGENIERIA PLANTA SUR - SUR					
CLIENTE:	JMAS/JCAS		CORTE:	27 de julio de 2010	
Nº PROY.:	AN-01/09		LOCALIZACION:	CD. JUAREZ CHIHUAHUA	
DESCRIP.:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CD. JUAREZ CHIHUAHUA.				
ITEM	DISCIPLINA	PESO PONDERADO %	AVANCE REAL %	AVANCE PONDERADO %	COMENTARIOS
1	INGENIERIA DE PROCESO	5.63	78.59	4.42	
2	BASICOS CIVILES	4.53	81.45	3.69	
3	INGENIERIA MECANICA	41.78	31.12	13.00	
4	INGENIERIA DETALLE CIVIL	32.82	27.39	8.99	
5	INGENIERIA ELECTRICA	15.24	13.43	2.05	
	TOTAL	100		32.2	

Fuente: P.T.A.R. Valle de Juárez, Chihuahua.

El avance de cada disciplina puede ponderarse en función del número de horas – hombre de cada documento, por lo cual dependiendo del tipo de documento y de la cantidad en cada disciplina se establece un peso ponderado. Este tipo de ponderación permite una medición más efectiva del avance, puesto que existen documentos que requieren una gran cantidad de horas hombre, como diagramas de lazos de control o isométricos de tubería, respecto de otros documentos como el listado de equipos.

El avance en la construcción de una planta se puede medir en función de los equipos, tuberías, instrumentos y componentes montados en el lugar de la obra; de tal forma que se establecen diversos criterios dependiendo del tipo de montaje o construcción realizada.

Para las tuberías, el avance se establece en gran medida por el número de pulgadas diametrales que se requieren para soldar tubos metálicos. Para el avance en la construcción de estructuras de concreto, se utiliza la volumetría de cada obra y por tanto mientras más grande la estructura y volumen de concreto, más grande el peso que representa sobre la totalidad de las obras civiles a construir. En relación al avance en el montaje eléctrico, se puede utilizar la longitud de tubería y cables eléctricos, así como la cantidad de los tableros o paneles eléctricos.

Cada uno de los tipos de medición mencionados, no son exclusivos y pueden variar de acuerdo a los requerimientos del cliente o supervisión. Además, pueden estar sujetos a porcentajes que van en función de actividades intermedias, de entrega de reportes y más comúnmente de la aprobación de los trabajos por el cliente.

3.6 Auditorías

Dentro de los sistemas de gestión de calidad en las empresas, las auditorías son una herramienta que permite asegurar el cumplimiento de los procedimientos o lineamientos establecidos. Estos lineamientos que usualmente consisten en procedimientos, políticas, instructivos, etc. buscan estandarizar las actividades así como orientar las mismas para que cualquier individuo entienda y desarrolle sus tareas en forma efectiva y eficiente. Las auditorías pueden ser específicamente por área (como por ejemplo de ingeniería, compras o construcción) o bien para el proyecto como un todo, buscando siempre medir el grado de cumplimiento de los estatutos en general.

Es conveniente que las auditorías se lleven a cabo por personas con noción o capacidad técnica que pueda entender el desarrollo del proyecto. De lo contrario, los resultados de la auditoría serán sobre aspectos de poca relevancia o impacto debido al desconocimiento de los aspectos clave del proyecto. Además, es importante que estas personas o auditores tengan formación en aspectos relacionados a la calidad y desarrollo de auditorías

IV.- EJECUCIÓN DEL PROYECTO

4.1 Arranque del proyecto

Como mencionado anteriormente, la propuesta interna y/o la propuesta entregada al cliente es la plataforma de inicio para el desarrollo del contrato. Toda esta información es recibida por el equipo de trabajo de ejecución; principalmente por las áreas de ingeniería, compras y por supuesto la gerencia o dirección. En esta primera fase la obligación de las áreas mencionadas es la de analizar las informaciones y hacer una comparación entre los alcances y requerimientos del contrato contra lo vendido al cliente, porque eventualmente puede haber omisiones por parte del equipo de propuestas sobre algún alcance o requerimiento específico. Este análisis permitirá eventualmente solventar alguna o la totalidad de las omisiones mediante negociaciones con el cliente, presentando las desviaciones y documentando cambios respecto de los requerimientos al inicio del contrato.

Esta fase del proyecto es muy importante para entender los alcances, obligaciones y requerimientos, así como para detectar diferencias respecto de lo que fue vendido al cliente contra lo presupuestado internamente. Este análisis involucra plazo y recursos determinados pero es necesario realizarlo para entender el proyecto mismo y detectar las desviaciones a tiempo. De esta forma se podrán evaluar los riesgos inmediatamente y así mismo se podrá elaborar algún plan para mitigarlos. Normalmente ocurre que los plazos tan cortos y objetivos inmediatos desvían la atención del equipo de trabajo, dejando de lado el análisis sobre la propuesta presentada al cliente contra sus requerimientos de acuerdo al contrato.

Principalmente el área de ingeniería tiene al inicio una carga importante de trabajo que debe saber manejar, porque así como debe entender y analizar la propuesta vendida al cliente, ya en paralelo debe estar desarrollando trabajos o diseños, debido a los plazos tan restringidos que se tienen en los proyectos. Es importante que el responsable de la ingeniería alerte sobre el tiempo requerido para analizar el contrato y las informaciones técnicas básicas, para que se tome en cuenta en el cronograma de ejecución.

En el caso de la propuesta para la planta desmineralizadora de agua UDA-2 de Complejo de Gas Nuevo PEMEX, fue establecido en la licitación del proyecto que se debían considerar skids o “patines” para algunos sistemas, como por ejemplo el sistema de lechos mixtos, Figura 4.1, los cuales debían estar fabricados en un corto plazo. Este requerimiento se volvía muy difícil de conseguir por los plazos de diseño, procura de materiales (válvulas, tubería, instrumentos, etc.) y fabricación. Aunado a que técnicamente no se tenía una justificación de incluir todo en una sola base metálica para después transportar y colocar en el sitio de la obra. Todo esto sería más costoso en el global y por lo tanto, se estableció una estrategia con base en las informaciones de la propuesta, definiéndose con el cliente que el alcance del skid o “patín” cubriera solamente las tuberías, en tanto que el recipiente a presión y su plataforma con escalera quedarían fuera; facilitando así los diseños, la fabricación y transportación.



Figura 4.1 Skids o patines para lechos mixtos presentados en propuesta

Fuente: Catálogo de equipos Degrémont Technologies⁶.

4.2 Suministros o compras

La ejecución del proyecto depende en mucho de la interacción entre las áreas de ingeniería y compras de la empresa, de tal forma que se permita proveer de los elementos necesarios para la construcción y montaje de la planta. Ambas necesitan una de la otra pero es la ingeniería la que debe cobrar mayor importancia orientando sobre las prioridades, alertando sobre los riesgos y buscando generar ahorros en el presupuesto.

Por su parte, el departamento de compras y logística se encarga de administrar la adquisición de bienes y servicios, de tal forma que la ingeniería reciba los datos específicos de los equipos y materiales (válvulas, instrumentos, etc.) propios de cada tipo de fabricante. Es decir, cuando la ingeniería solicita a compras cotizar un determinado equipo como por ejemplo una bomba centrífuga, una vez definida la marca – modelo, hasta que se compra el equipo es posible conocer: las dimensiones exactas, tamaño de las boquillas, tipo de anclaje, etc. para poder plasmar en los planos de obra civil y de tuberías. El área de compras debe ser capaz de reaccionar rápidamente a las solicitudes, problemas y necesidades del proyecto y de proporcionar la información de forma confiable y en el debido tiempo.

Por lo anterior, el área de compras debe mantener una constante interacción y exigencia a los proveedores externos, solicitando propuestas técnicas claras, completas y en el menor tiempo posible. Esta sinergia entre compras y los proveedores requiere de una estructura organizacional suficiente que permita: asegurar ofertas técnicas en tiempo y forma, negociar plazos, establecer penalizaciones, identificar retrasos, formalizar acuerdos y tomar acciones en caso de incumplimientos.

En México, es posible considerar que existen dos tipos de proveedores: los que son representantes de las marcas y los que son fabricantes directos. Ambos pueden ser “buenos” o “malos” proveedores pero la mayoría de las veces siempre arrastran al menos una deficiencia que interfiere con la dinámica del proyecto. Estas carencias (retrasos, mala calidad o indefiniciones) originan “vacíos” en el desarrollo de la ingeniería y ejecución del proyecto, retrasando su desarrollo en mayor o menor grado; por lo cual es evidente que el departamento de compras de la empresa debe ser estricto o eficiente en las tareas y funciones que desempeña.

Debido a todo lo anterior, es conveniente la formación de bases de datos de proveedores confiables, para poder mantener una relación comercial con aquellos que otorgan equipos o suministros de buena calidad, en plazos razonables y que históricamente cumplen con los acuerdos y compromisos que son establecidos. Inclusive, a nivel corporativo, las empresas buscan establecer acuerdos “marco” para asegurar determinados volúmenes de ventas por un lado y por el otro lado precios preferenciales que ningún otro competidor podría otorgar comúnmente. Un acuerdo “marco” (frame agreement) se da entre empresas transnacionales a nivel mundial.

Aprobación de dibujos de proveedor

Una vez que se ha generado la orden de compra a un proveedor, éste tiene la obligación de entregar información de sus suministros: dibujos dimensionales, esquemas eléctricos, hojas de datos, arreglos, etc. según el tipo de equipo o material. Por su parte el equipo de ingeniería de la empresa debe revisar los documentos técnicos que se reciben del proveedor, que requieran de aprobación antes de que se inicie la fabricación del equipo o material en cuestión. Es importante que en la orden de compra sean señalados todos los requerimientos documentales que el proveedor debe entregar como parte de los alcances contratados.

En la figura 4.2 se ilustran las actividades y flujo de información típicas entre los proveedores y las áreas de compras – ingeniería de la empresa, para asegurar que los planos y documentos a construir contengan los datos verídicos de los equipos y materiales que serán instalados en la planta. El seguimiento en esta dinámica de recepción – envío de información a proveedores externos es importante para que se obtengan los documentos finales aprobados y se permita el inicio de la fabricación de los suministros en el menor tiempo posible, evitando así demoras en los plazos establecidos. Es conveniente aclarar a los proveedores o fabricantes sobre el tiempo necesario para revisión por ingeniería, pues ocurre habitualmente que sus retrasos o demoras los justifican por esta situación.

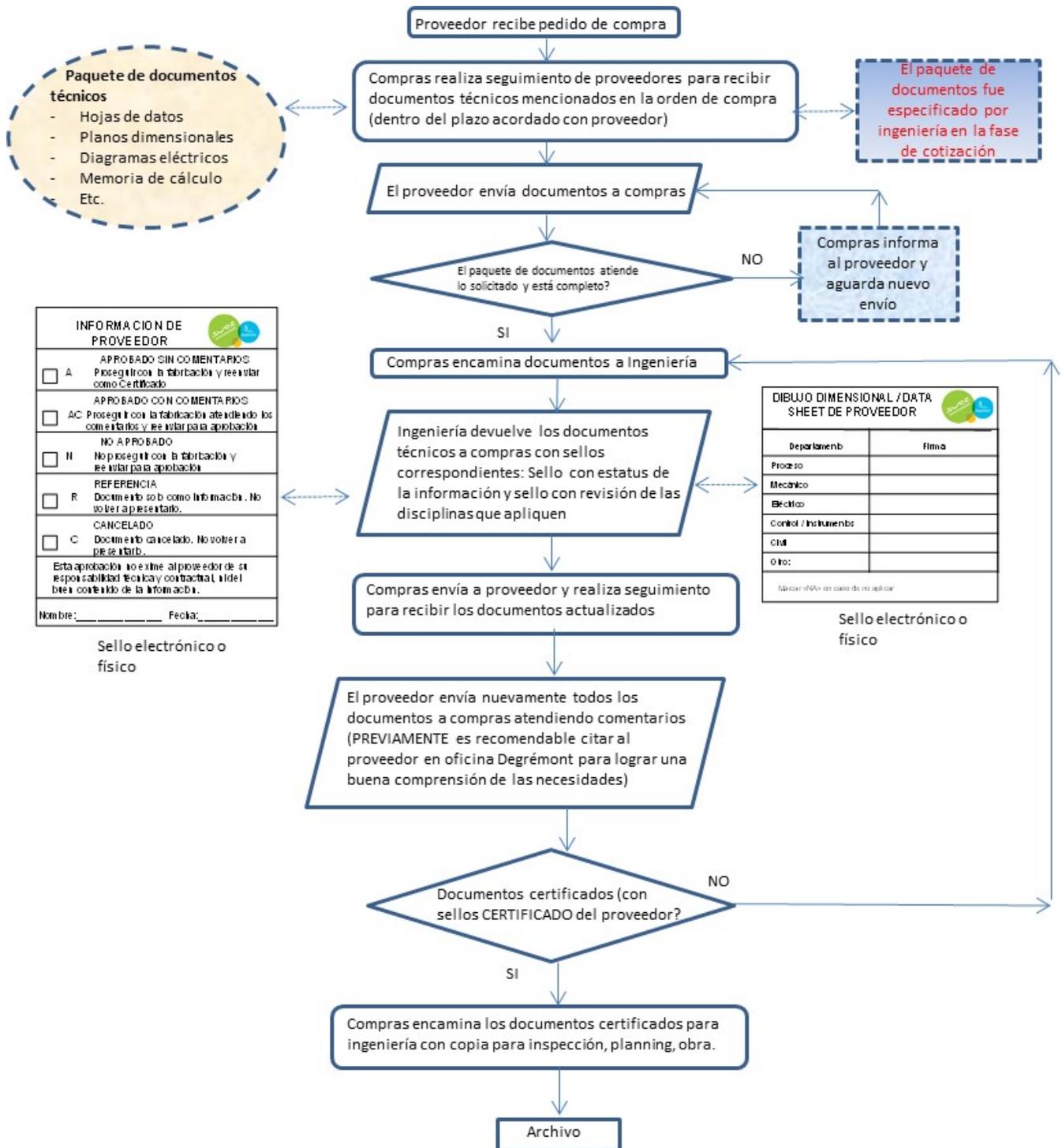


Figura 4.2 Diagrama de flujo para la revisión de información de proveedores

Fuente: Procedimiento para administrar documentos de proveedores.

Los fabricantes y proveedores tienen dibujos dimensionales provenientes de catálogo para muchos equipos, que comparten como parte de sus propuestas técnicas y comerciales, por lo que el personal que desarrolla ingeniería los utiliza usualmente en sus diseños o planos. No obstante, solo hasta después de existir una orden de compra o pedido oficial entre empresas, es que el proveedor entrega dibujos (Figura 4.3) y esquemas específicos para el proyecto en cuestión, que en ocasiones son diferentes de lo indicado en la información preliminar proveniente de los catálogos. El utilizar los dibujos de manuales o catálogos estándar de los equipos o componentes representa un gran riesgo puesto que esta información podrá estar desactualizada.

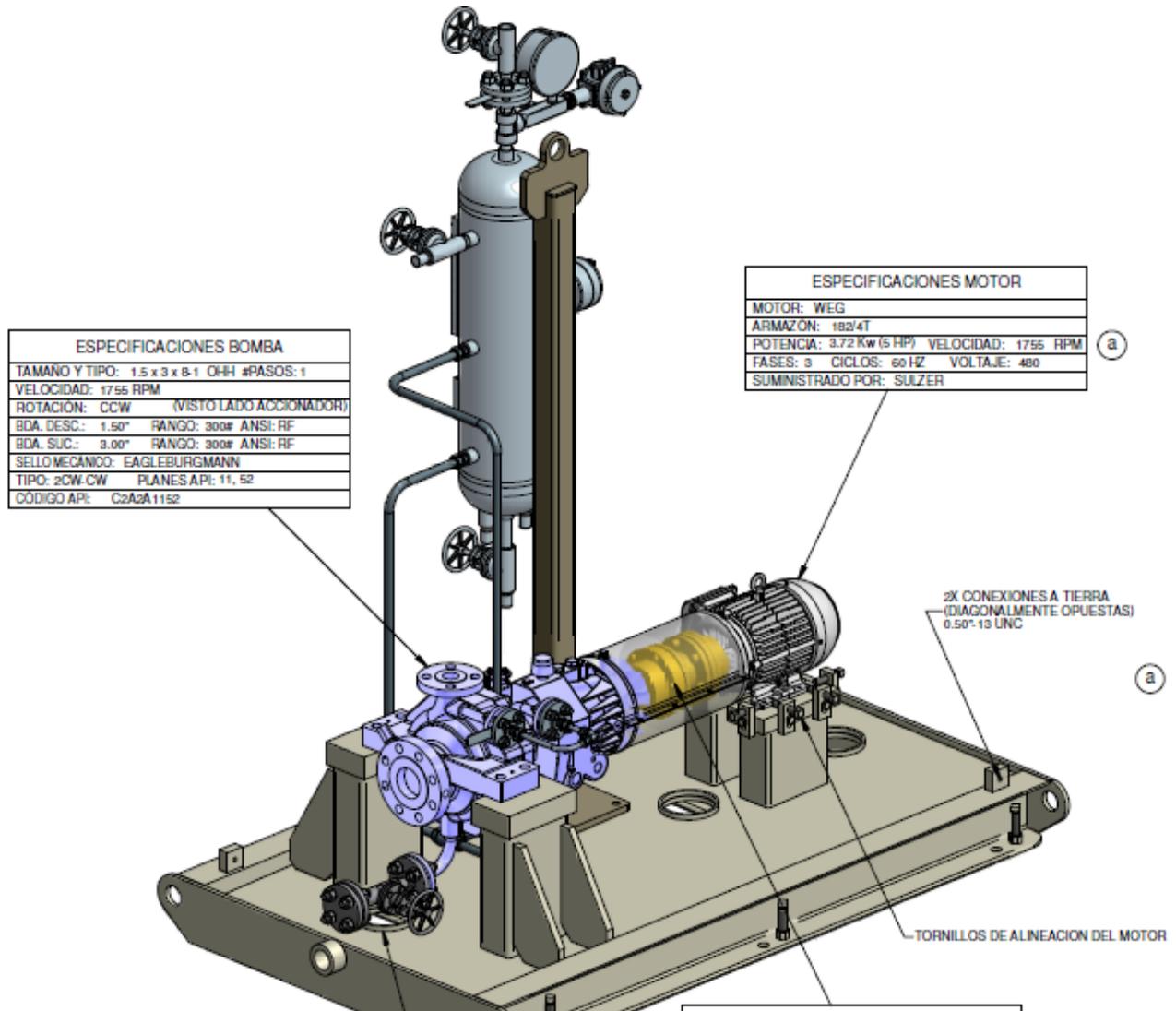


Figura 4.3 Ejemplo de dibujo de proveedor aprobado por ingeniería
 Fuente: Bombas Centrifugas SULZER México.

Inspección

Algunos equipos y suministros llevan un proceso de fabricación que puede estar sujeto a verificaciones por parte de especialistas, de tal forma que se garantice un producto final que atienda las especificaciones o normas correspondientes. Estas verificaciones implican un costo adicional por concepto de: los inspectores, los fabricantes (adicional por atestiguar pruebas), viajes, reportes y receso en la fabricación para realizar las pruebas o inspección. Por todas estas razones, solamente algunos equipos o materiales importantes se inspeccionan, como los tanques metálicos o tableros eléctricos, cuya manufactura es específica según características y requerimientos propios del proyecto. En cambio, materiales cuya fabricación se realiza “de línea” en forma constante como válvulas, tuberías o instrumentos pueden no inspeccionarse, dado que existe menor probabilidad de tener defectos en el producto final. La necesidad de inspeccionar o no los materiales, usualmente es establecida por los clientes industriales, quienes establecen ciertos requerimientos de calidad e inspección, asociados en algunas ocasiones a normas específicas. En algunos proyectos la fabricación de recipientes a presión que son utilizados por ejemplo para intercambio iónico o como filtros, se debe realizar bajo código ASME con las siguientes verificaciones atestiguadas:

- a) Verificación de ingeniería;
- b) Inspección de rolado de placas;
- c) Inspección de aplicación de soldaduras;
- d) Prueba hidrostática;
- e) Prueba dieléctrica al aislamiento (en caso de recubrimiento con hule);
- f) Pruebas de recubrimiento anticorrosivo exterior.

Es importante considerar que las inspecciones se deben realizar con información validada por ingeniería y/o aprobada por el cliente, porque los inspectores usualmente no tienen todo el antecedente y la herramienta para comparar lo físicamente construido contra lo que debía fabricarse es un documento o plano aprobado.

Cuando se trata de equipos paquete o skid conformados por diversos componentes se vuelve más necesaria la inspección para asegurar que todo el sistema sea conforme los documentos establecidos. Por ejemplo, un patín o skid para compresión de aire que además de compresores estándar requiera de tubería, instrumentos y paneles eléctricos específicos, es más susceptible a presentar desviaciones puesto que se trata de un paquete a la medida, cuyo ensamble está previsto solamente para el proyecto en cuestión y por lo tanto sale de la rutina de fabricación del proveedor.

Como se muestra en la Figura 4.4, la inspección de un tanque o recipiente metálico se realiza en sus diversos componentes, verificando dimensiones y espesores antes de seguir con las actividades de soldadura. En este ejemplo la fabricación del recipiente se debía realizar bajo código ASME y por esta razón el inspector debía estar avalado o certificado por ASME.

CAPITULO IV. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

JOB No P07-4285	ORDEN DE COMPRAS PURCHASE ORDER No. PG-107/08	No. DE REPORTE REPORT No. 8689
CLIENTE CUSTOMER PAIL-GUAM	PROVEEDOR SUPPLIER	TIPO DE CABEZA HEAD TYPE TORIESFERICA
FABRICACION FABRICATION	MAQUILA FORMING SERVICE XXXXXXXX	TAPA No. HEAD No. 1
PROCESO FORMADO FORMING PROCESS	ESPECIFICACION DE MATERIAL MATERIAL SPECIFICATION SA-285-C	LOTE No. LOT No. 10
FRIO COLD <input checked="" type="checkbox"/>	CALIENTE HOT <input type="checkbox"/>	TIPO DE FORMADO FORMING TYPE
IDENTIFICACION DE PLACA PLATE IDENTIFIER	COLADA HEAT No.	CEJADO ROLLING <input checked="" type="checkbox"/>
		SEGMENTADO SEGMENTED <input type="checkbox"/>
		TROQUELADO DIE FORMED <input type="checkbox"/>
		R. X. XRAY SI YES <input type="checkbox"/>
		NO NOT <input checked="" type="checkbox"/>
		UTS SI YES <input type="checkbox"/>
		SPOT SI YES <input checked="" type="checkbox"/>
		NO NOT <input type="checkbox"/>

DIMENSIONES SOLICITADAS REQUIRED DIMENSIONS	
DE = DIAMETRO EXTERIOR OUTPUT DIAMETER	47.71" REQ.
DI = DIAMETRO INTERIOR INPUT DIAMETER	46.96"
RA = RADIO DE ABOMBADO DISRED RADIUS	47.32"
RE = RADIO DE ESQUINA INPUT CORNER RADIUS	4.02"
PR = PARTE RECTA STRAIGHT FLANGED	1.50"
En = ESPESOR NOMINAL MAX THICKNESS	0.375"
Em = ESPESOR MINIMO MIN THICKNESS	0.170"
HI = ALTURA DE LA TAPA INPUT HEIGHT	H.T. 10.51"
P = DESARROLLO PERIMETER	149.88"

DIMENSIONES REALES REAL DIMENSIONS				
	D1	D2	D3	D4
DE	47.75"	47.71"	47.71"	47.71"
DI	-----	-----	-----	-----
PR	1.5"	1.5"	1.5"	1.5"
RA	RE	HI	HT	P
47"	4 1/2"	-----	10.53"	150.03"

INSPECCION ULTRASONICA DE ESPESORES THICKNESS ULTRASONIC INSPECTION			
1-3	2-6	3-7	4-8
0.394"	0.393"	0.394"	0.393"
0.384"	0.387"	0.382"	0.386"
0.352"	0.355"	0.359"	0.353"
0.342"	0.338"	0.343"	0.347"

ACEPTADO: ACCEPTED	RECHAZADO: REJECTED
INSPECCIONADO POR: INSPECTED BY EDUARDO ENCISO	APROBADO POR: APPROVED BY EDUARDO ROSALES
FECHA: DATE 5/JUNIO/2008	FECHA: DATE 06-JUNIO-2008

Figura 4.4 Reporte de inspección sobre formado de tapas para un intercambiador catiónico, planta San Lorenzo, Puebla

Fuente: Dossier de fabricante PAIL GUAM para tanques, equipos y recipientes

Pruebas en taller

Los ensayos y pruebas que se realizan a los equipos varían en función de su naturaleza, de los requerimientos específicos por parte del usuario final o de los lineamientos de una norma / especificación que deba cumplirse.

Para el caso de fabricaciones metálicas es común que se efectúen pruebas de pintura para garantizar que el tratamiento de la superficie (usualmente sand-blast) y aplicación del recubrimiento anticorrosivo (pintura) se hayan realizado adecuadamente. En estos casos es posible aplicar la prueba de adherencia y/o prueba de espesor. Para

la primera se utilizan navaja y cinta adhesiva, de tal forma que se pueda hacer una marca en la superficie pintada, que luego se adhiere con cinta y posteriormente se jala, de tal forma que si no hay desprendimiento se considera una correcta aplicación del recubrimiento (Figura 4.5). Para la segunda, se utiliza un dispositivo electrónico portátil, que mide el espesor en micras del recubrimiento anticorrosivo. Ambas pruebas están reguladas por normas o métodos que establecen los pasos y herramientas adecuadas para llevarlas a cabo.

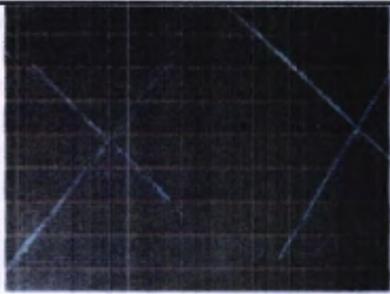
OC:		4500913070	
Datos de la superficie:			
Condiciones:		ASTM D3359 Método A	
			
Equipo de Medicion:		Punta Metalica	
Punto	Localizacion	Grado de desprendimiento	Observaciones
1	Placa base	5A	OK
2			
3			
4			
5			
Criterios de Aceptacion:		D3359 9 7.7.	
Observaciones:			
Fecha:		07-may-16	
Inspecciono:		René Reyes Pérez	

Figura 4.5 Reporte de prueba de adherencia de pintura en placa metálica de base para una bomba centrífuga

Fuente: Planta desmineralizadora UDA-2, Complejo Nuevo PEMEX, Tabasco.

Para el caso de bombas centrífugas se suelen hacer las siguientes pruebas en la fabricación de las mismas: prueba hidrostática y prueba de funcionamiento (Viejo, Álvarez, 2205). Las pruebas hidrostáticas se realizan una vez que se ha terminado la fabricación metálica de la carcasa para la bomba, con la finalidad de verificar que no existan fugas en la misma. Posteriormente, cuando la bomba se encuentra ensamblada ésta se pone en funcionamiento simulando las condiciones de operación para las que fue diseñada, monitoreando principalmente los siguientes parámetros: caudal, presión de descarga, corriente eléctrica, velocidad de motor, ruido, voltaje, temperatura y vibración de los rodamientos.

CAPITULO IV. EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Los resultados se registran en formatos particulares de cada fabricante (como ejemplo ver la Figura 4.6), posteriormente se firman y se integran en el dossier de calidad para cada uno de los equipos.

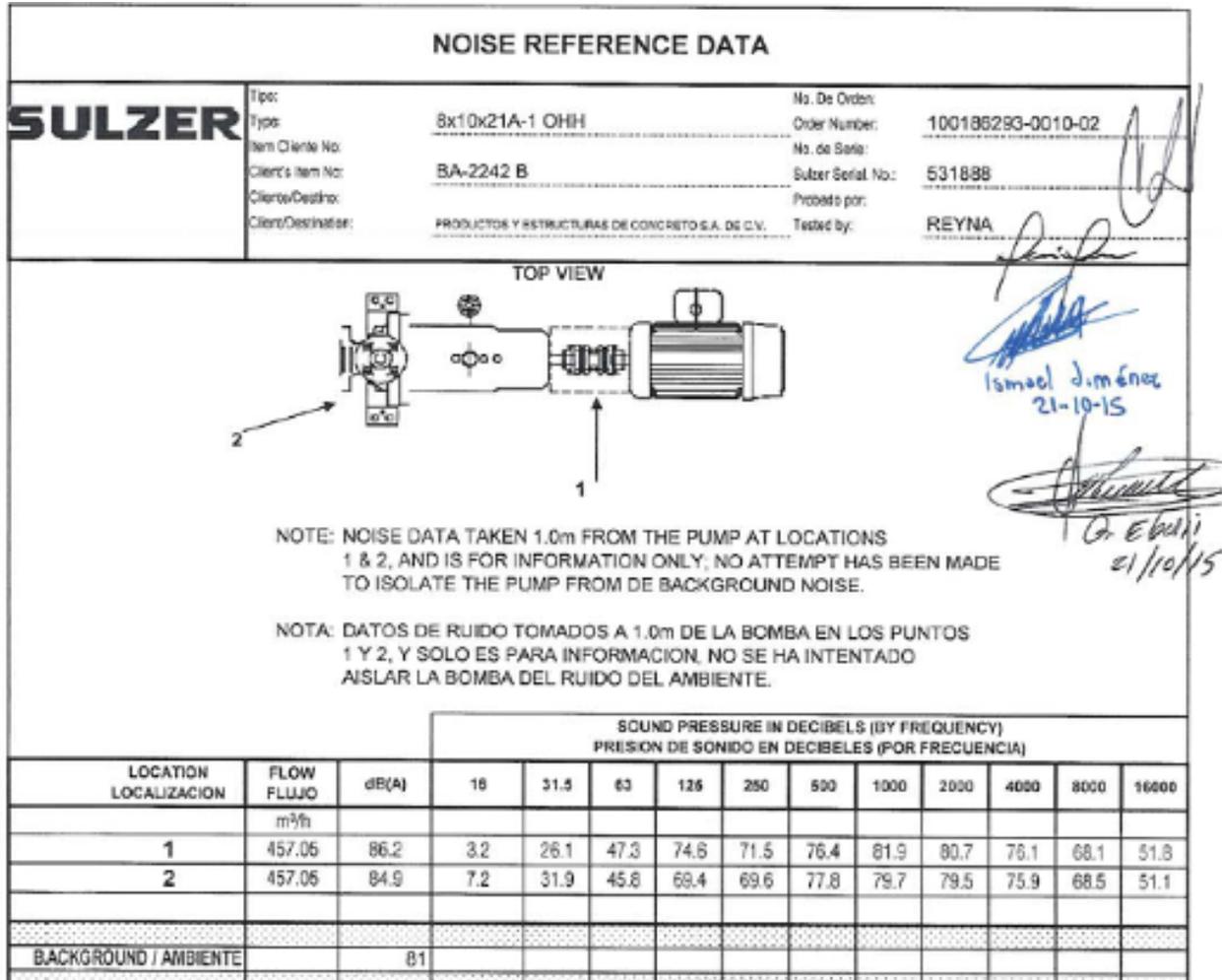


Figura 4.6 Prueba de funcionamiento de bomba centrífuga. Reporte de ruido.

Fuente: Dossier de fabricante SULZER para bombas centrífugas.

Para el caso de otros equipos dinámicos tales como sopladores de aire o agitadores, las pruebas y mediciones son similares, verificando el comportamiento del motor y del equipo conducido, registrando los valores a diferentes puntos o condiciones de funcionamiento.

Para las válvulas manuales y automáticas, las pruebas son del tipo hidrostáticas para verificar el sello o grado de fuga permisible. Las válvulas están especificadas o reguladas por normas, tanto para su diseño como para su verificación o prueba. Si se trata de válvulas automáticas se verifica el funcionamiento del actuador, a partir del suministro de aire o de electricidad según corresponda al tipo neumático o eléctrico.

Cuando se trata de un panel eléctrico como un Centro de Control de Motores o un tablero de distribución de potencia, como parte de la verificación en taller se realizan pruebas de resistencia de aislamiento o “megger”, pruebas de accionamiento de las protecciones e inyección de corriente.

Los sistemas de control por su parte se prueban verificando cada entrada y salida, accionando los relevadores que se requieran, midiendo el voltaje de la fuente de potencia, realizando pruebas de resistencia de aislamiento y simulando la lógica de control. A todo este conjunto de pruebas y de simulación de la lógica de control se le conoce como pruebas FAT (Factory Acceptance Testing). En la Figura 4.7 se visualiza una pantalla de reporte de pruebas FAT, que se toma para documentar los valores medidos o las actividades realizadas.

La lógica de control se verifica siguiendo lo indicado en el documento de proceso llamado Filosofía de Control o Filosofía de Operación, la cual debe indicar los interlocks que intervienen en el funcionamiento de la planta. Por ejemplo, si se detecta una señal de bajo nivel en un tanque que abastece a una bomba centrífuga, inmediatamente que se alcanza el nivel establecido como bajo, el interlock de la lógica debe ordenar el paro de la bomba, puesto que la protege de trabajar “en seco”.

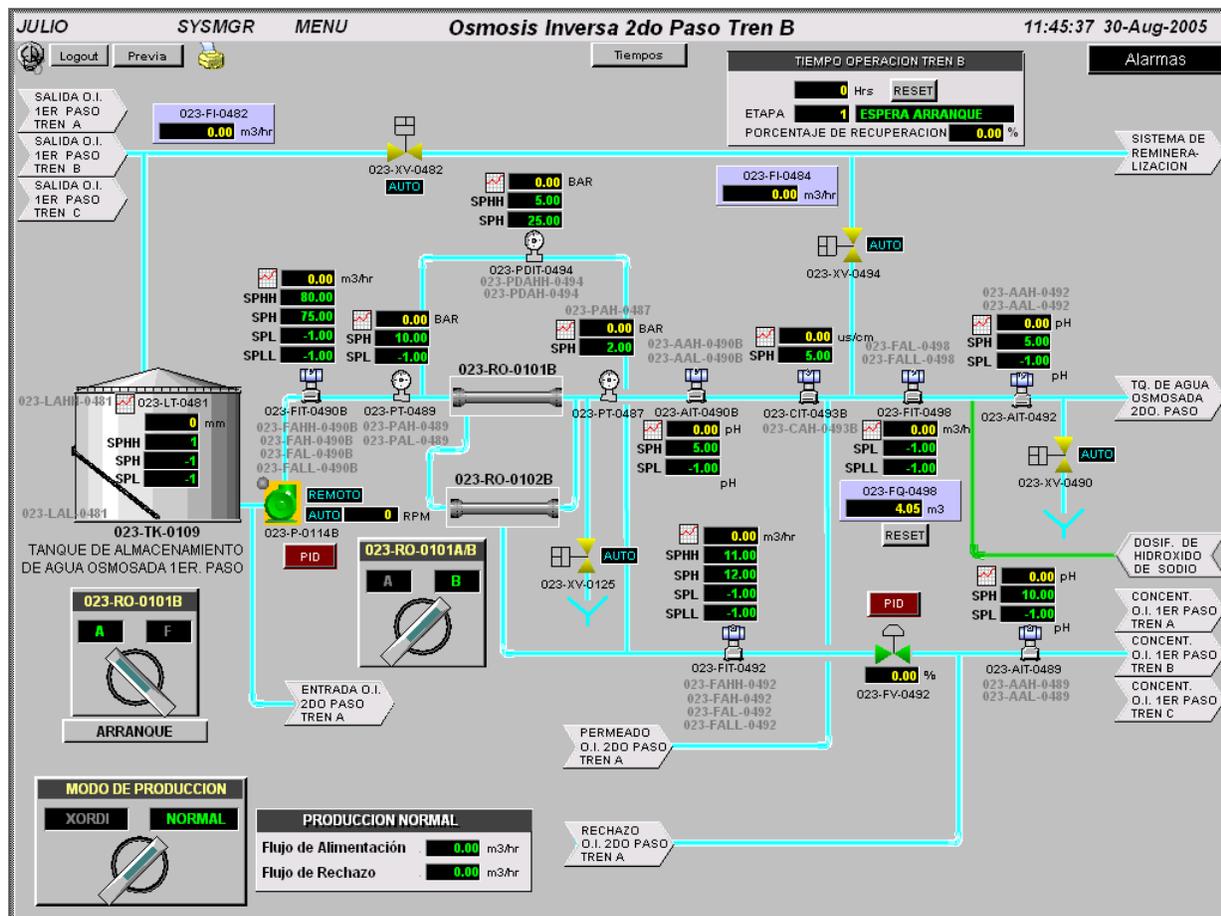


Figura 4.7. Pantalla de operación en estación de trabajo durante pruebas FAT
Fuente: Sistema de Control o PLC, Planta Altamira V.

Es difícil verificar todas las variables y condiciones de funcionamiento cuando el sistema de control se encuentra en taller, porque las válvulas no están instaladas ni tampoco con los instrumentos de medición, mucho menos los equipos como bombas o agitadores; no obstante, existen tableros con relevadores y luces indicadoras que ayudan en la simulación de la planta. Por otro lado, los paquetes de programación o software como ALLEN BRADLEY, INVENSYS, SIEMENS, etc. permiten hacer la simulación de las secuencias programadas, por lo cual es posible visualizar en pantalla de la computadora el accionamiento de los componentes.

Dossier de Calidad

Prácticamente todos los suministros deben considerar la entrega de un conjunto de documentos que usualmente es conocido como Dossier de Calidad o Data Book, el cual contiene toda la información necesaria para conocer las características de fabricación, operación, mantenimiento, certificación y garantía del equipo, material o producto en cuestión. Solamente algunos materiales a granel como tuberías metálicas, cables eléctricos, tornillería, empaques, perfiles estructurales de acero, componentes eléctricos, etc. no involucran un dossier de calidad o data book como tal, sino que solamente certificados de calidad del lote al que pertenece y la garantía del proveedor que los suministra.

El contenido del dossier de calidad o data book en algunas ocasiones es definido por el cliente, como en el caso de proyectos industriales, donde las empresas paraestatales como PEMEX ya tienen establecido el tipo de documentación requerida; así como la estructura que deben llevar. En la Figura 4.8 se indica un extracto de la especificación de Petróleos Mexicanos, PEMEX, relacionada con información de calidad de los suministros.

De manera general, el contenido del dossier de calidad o data book para cualquier equipo o suministro debe incluir la siguiente documentación mínima, que se indica a continuación a manera de índice de contenido:

- a) Especificación u hoja de datos;
- b) Dibujos dimensionales;
- c) Diagramas eléctricos y/o de control;
- d) Certificados de calidad de los materiales que conforman el equipo (acero por ejemplo);
- e) Reportes de verificación o inspección (dimensional, color, acabado, pintura);
- f) Reportes de prueba efectuados (hidrostática, comportamiento de motor, funcionamiento del conjunto, etc.);
- g) Calificación de soldadores (si fuera aplicable);
- h) Procedimientos de soldadura (si fuera aplicable);
- i) Certificados de calidad de pintura;
- j) Manual de operación y mantenimiento;
- k) Carta de garantía.

	Anexo 16 Documentos Técnicos	Rev. 0
		Agosto, 2014
		"MODERNIZACIÓN DE LAS PLANTAS DE PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO DE AGUAS"

- e) Especificación técnica de los servicios proporcionados.
- f) Procedimientos de pruebas.
- g) Planos de ubicación y distribución de gabinetes.
- h) Configuración del equipamiento.
- i) Diagramas de cableado y de interconexión.
- j) Diagrama del distribuidor telefónico, indicando posiciones de los servicios del conmutador telefónico.
- k) Diagramas unifilares de cableado.
- l) Diagramas de conexión a los equipos de valor agregado.
- m) Testigos de la programación del conmutador telefónico, y su interconexión con los servicios de mensajería unificada y de los sistemas periféricos
- n) Lista de partes.
- o) Resultados del Protocolo de Pruebas de Aceptación.

3.2 INFORMACIÓN DE CALIDAD DE EQUIPOS Y MATERIALES

En los Libros de Documentos Finales de Procura y Construcción se incluirán los dossiers de calidad de los equipos y materiales de instalación permanente suministrados, considerando como mínimo la documentación que se indica a continuación sin ser limitativos.

- Tuberías, válvulas, conexiones y accesorios.
 - a) Certificados de materiales principales.
 - b) Procedimientos y calificación de soldadura (WPS, PQR).
 - c) Fabricación y armado, de acuerdo a las especificaciones del contrato
 - d) Reportes y registros de pruebas e inspección (pruebas no destructivas, hidrostáticas, etc.)
 - e) Registros y/o curvas de tratamientos térmicos (en su caso).

Rev. 0 Agosto 2014

12 de 16

Figura 4.8 Lineamientos de PEMEX sobre la documentación de calidad
 Fuente: Gas y Petroquímica Básica. Licitación para la Modernización de las Plantas de Pretratamiento y Tratamiento de Agua.

4.3 Construcción o montaje

La construcción constituye una etapa más en la concepción de una nueva planta, que por sí misma involucra riesgos, estrategias y dificultades propias de cada situación. Algunas obras se deben desarrollar bajo climas extremos, con pobre desarrollo urbano, alta inseguridad o sindicatos influyentes que tienen un impacto muy importante en el comportamiento y resultado del proyecto; por lo cual se vuelve muy importante la comunicación, integración y eficiencia del equipo de trabajo de la mano de un buen liderazgo, que posea experiencia en el tipo de obra en cuestión.

Normalmente el montaje de una planta puede ser muy diferente cuando es para un proyecto municipal que cuando se trata de un proyecto industrial, siendo este último con mayor grado de complejidad e inclusive mayor costo si se compara en iguales condiciones. En los proyectos industriales y más aún en los de energía (del tipo oil & gas), los requerimientos de calidad son altos, los aspectos de seguridad son vigilados constantemente y la supervisión del cliente se incrementa, con lo cual los trabajos de construcción resultan más lentos, con necesidad de mayor recurso humano especializado y de empresas subcontratistas con experiencia en el tipo de obra a realizar.

Por ejemplo, para el montaje de la planta desmineralizadora CC San Lorenzo en el año 2009, se consideró subcontratar los trabajos de obra mecánica y eléctrica a dos empresas que aparentemente habían desarrollado este tipo de actividad anteriormente. No obstante, durante la ejecución de los trabajos fue necesario reemplazarlos a ambos debido a que no tuvieron la experiencia necesaria para cumplir sus obligaciones en tiempo y forma, resultando en atrasos frente al cliente y sobrecostos para el proyecto. En el caso del subcontratista mecánico, fue necesario suspenderle los pagos porque sus estimaciones (cobro de dinero) no representaban el avance físico correspondiente, lo cual derivó en la ruptura de la relación contractual y el inicio de las negociaciones para finiquitar (el subcontratista tenía a resguardo materiales comprados que no estaba dispuesto a entregar sin alguna compensación económica). El contratista condicionó la entrega de tuberías con recubrimiento interno de hule que habían sido fabricadas por otra empresa, las cuales se requerían para transportar químicos corrosivos (H_2SO_4 y NaOH diluidos) empleados en la regeneración de las resinas de intercambio iónico.

El caso del contratista eléctrico tuvo las mismas diferencias en cuanto al avance físico respecto de sus estimaciones para cobro, solo que el cierre fue más fácil porque éste no tenía a su resguardo materiales comprados, sino que en su alcance estaba incluido el suministro de materiales (charola eléctrica, cables, tubería conduit, etc.).

La ruptura contractual con un subcontratista en cualquier caso, conlleva atrasos frente al cliente y riesgos de penalización, así como pérdida económica en mayor o menor grado porque la conciliación debe ser rápida sin derivar en pleitos legales que son mucho más lentos y costosos. Así, los subcontratistas buscan cualquier elemento que este a su favor para negociar, como la retención de materiales y/o equipos a su resguardo. De hecho, este tipo de situación también se presentó años más tarde (2016)

en el montaje de la planta desmineralizadora UDA-2, en Complejo Procesador de Gas “Nuevo PEMEX”, cuando el subcontratista paró las actividades argumentando la necesidad de renegociar el contrato por alcances no considerados, reteniendo la totalidad de tuberías y accesorios (codos, reducciones, bridas, etc.) comprados, que le habían sido entregados en su taller para prefabricarlos y posteriormente montarlos en el lugar de la obra.

Los ejemplos anteriores reflejan la necesidad de identificar subcontratistas confiables, con capacidad financiera, de experiencia en el tipo de obra en cuestión y también de cuidar el entendimiento de los alcances y requerimientos que se indican en los planos y documentos generados por la ingeniería de detalle. Es decir, si una empresa subcontratista cotiza suministro de materiales y/o actividades para montaje sin pleno conocimiento de los requerimientos y restricciones de la obra en cuestión, existirá una gran probabilidad que este subcontratista tome consciencia de sus errores u omisiones demasiado tarde y decida abandonar el proyecto.

4.3.1 Organización de la construcción

La estructura de recurso humano para hacer frente a los problemas e imponderables propios de cada montaje depende del tipo de proyecto, toda vez que los del tipo industrial (petróleo, gas, energía eléctrica) comúnmente son mucho más rigurosos o exigentes que el resto, como los llamados municipales (plantas de aguas residuales o potabilizadoras).

Por otro lado, algunos clientes de la industria privada tienen exigencias igual de rigurosas que los clientes “oil & gas”, como por ejemplo la industria de papel y celulosa. Sin embargo existen algunos clientes municipales que contratan empresas para supervisar sus obras, lo cual convierte a un proyecto municipal de relativamente baja exigencia a uno con requerimientos y especificaciones rigurosas, iguales a las de un cliente industrial.

Independientemente del tipo de proyecto es posible establecer que las obras mantienen una estructura básica, involucrando un ingeniero “de campo” para cada una de las especialidades (civil, mecánico, eléctrico, instrumentista); que sea capaz de dirigir y supervisar que la construcción bajo su cargo se realice siguiendo la ingeniería del proyecto, con buena calidad y en cumplimiento de las normas o estándares aplicables.

A pesar de existir la documentación y planos de ingeniería señalando prácticamente toda la información necesaria para construir la planta, siempre se presentan situaciones en la obra que los ingenieros de campo deben solventar: inconsistencias entre documentos, interferencias con otras disciplinas, contratistas deficientes, cambios no previstos, etc. Estos supervisores aplican las buenas prácticas de montaje y criterios de construcción que les ha dado la experiencia y que no se indican en los planos o documentos de ingeniería.

En la Figura 4.9 se presenta un organigrama para la ejecución de una planta de tratamiento de aguas residuales, considerando no solamente la ingeniería y compras sino también los supervisores de construcción.

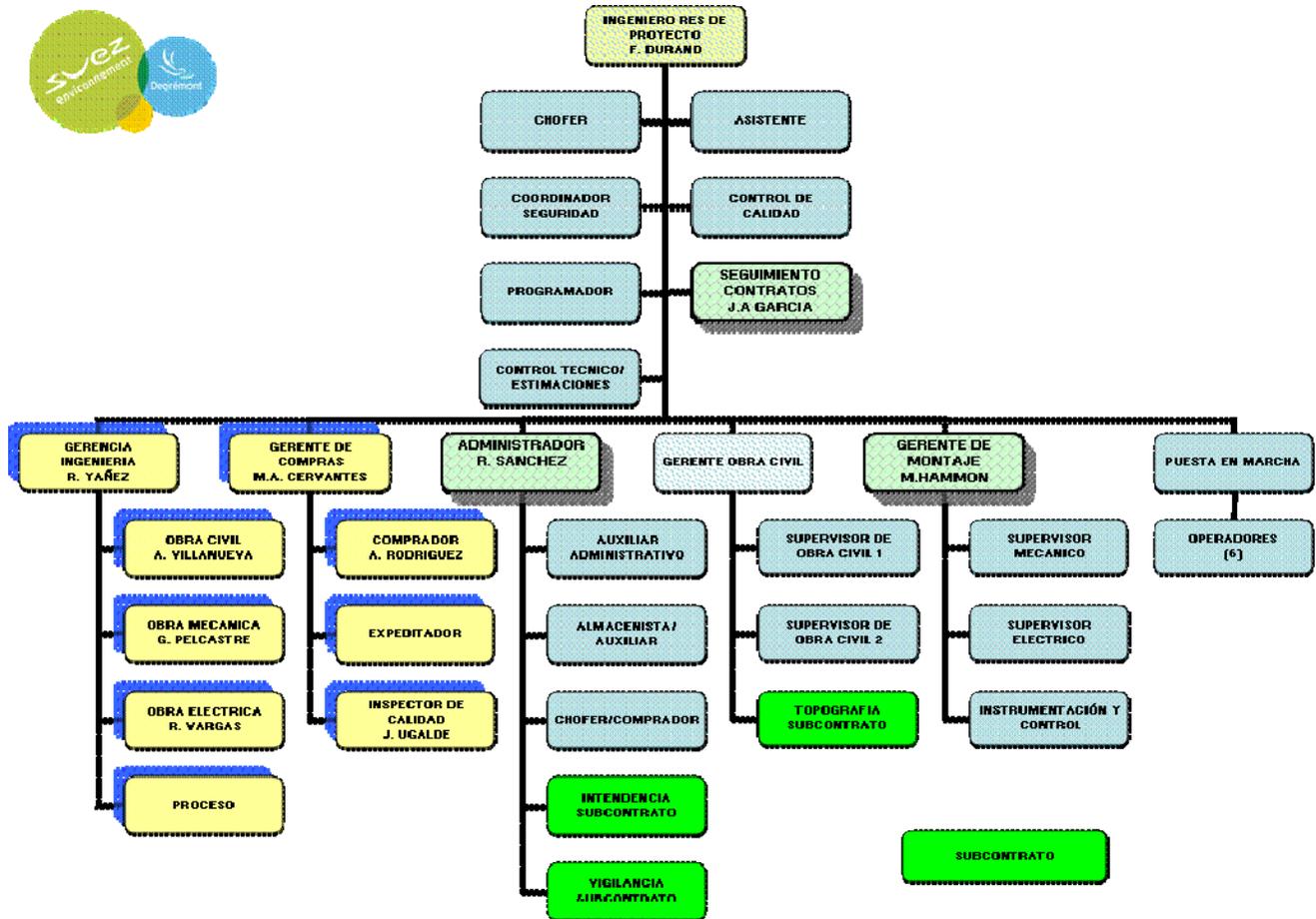


Figura 4.9 Organigrama del proyecto P.T.A.R. Valle de Juárez, 500 Lps.

El papel del gerente de montaje o residente de obra es el de vigilar el cumplimiento del programa de construcción, siendo el líder del equipo de ingenieros y a su vez la interface con el cliente, para negociar acuerdos y conciliar soluciones a los conflictos.

Siempre ha sido muy importante la asistencia o soporte del área de ingeniería hacia el equipo que supervisa o realiza la construcción en obra; debido al conocimiento sobre los orígenes y aspectos particulares del proyecto. Este apoyo o soporte lo puede dar principalmente el coordinador o responsable de la ingeniería, ya que él conoce entre otras cosas: las diversas disciplinas, el entorno en el cual se generó la documentación, la calidad de los diseños, la estrategia general y los requerimientos del cliente.

También se debe considerar la gestión adecuada de la información en obra; es decir, personal asignado a manejarla y distribuirla adecuadamente. Este control documental en el sitio de la construcción debe asegurar que se cuente y trabaje con la última versión de los planos o documentos. Y es que en muchas ocasiones cuando ya se

están realizando trabajos de montaje en la obra, todavía se continúan generando documentos y planos en oficina de ingeniería. Este control parecería ser muy evidente, sin embargo, la distancia entre los grupos de trabajo de los que hacen la ingeniería y los que construyen la obra, así como la división de responsabilidades, hace que comúnmente existan deficiencias en la comunicación, lo cual da lugar a que se realicen actividades con versiones obsoletas de planos o documentos.

Por otro lado, es muy recomendable la participación de una persona o ingeniero que cubra la función de Claim Manager, para dar seguimiento y documentar los cambios o solicitudes que se originan en el lugar de la obra. Es muy común que los clientes y usuarios finales supervisen los trabajos de construcción y más aún que los aprueben para poder considerarlos “liberados”. Durante las actividades en obra los clientes generan solicitudes de cambios o trabajos adicionales que impactan en el presupuesto del proyecto, por lo cual deben ser reclamables en algún momento (lo ideal sería tenerlos aprobados por el cliente antes de ser ejecutados). Pudiera pensarse que esta función la puede realizar alguno de los supervisores de obra, sin embargo, es más conveniente tener una persona dedicada solamente para este fin. De esta forma, el Claim Manager estará alejado de los problemas rutinarios de construcción, así como de la presión por avanzar, disponiendo además del tiempo para leer e interpretar las cláusulas o informaciones del(os) contrato(s).

Finalmente, la administración local de obra también juega un papel importante en el desarrollo del proyecto; puesto que las actividades y compra de bienes o servicios depende de los pagos y flujo de dinero: mientras más se demora el pago a subcontratistas, proveedores, etc. más se demoran las actividades y por tanto el avance de la construcción. Esto ha sucedido en algunos proyectos, principalmente para los del tipo industrial (oil & gas). La problemática sobre la administración radica en que existe un cierto grado de “centralización” de las cosas, comúnmente en oficina matriz de la empresa, lejos de la obra, con procedimientos y estatutos que deben seguirse para facturar, contabilizar, pagar, etc. Todo esto dificulta la comunicación entre obra – oficina, entorpeciendo los objetivos del proyecto y polarizando en ocasiones a los equipos de trabajo: oficinas – obra. En la medida que exista mayor libertad para la administración local de la obra, la cual es provisional, se podrá tener un mejor control y manejo de los pagos y adquisición de bienes o servicios; sin embargo, también aumenta el riesgo de malos manejos, desvío de dinero y corrupción.

4.3.2 Subcontratación de los trabajos

La subcontratación a través de empresas constructoras de obra civil, mecánica o eléctrica para ejecutar los alcances de un contrato, involucra riesgos y beneficios que se deben evaluar detenidamente. Por una parte, los costos por depreciación de maquinarias, herramienta, oficinas, etc. se transfieren cuando se subcontratan los trabajos, evitando también la necesidad de administrar al personal obrero y de campo en cada obra; sin embargo, por otro lado se pierde el control directo para manejar al

personal, lo cual afecta la fuerza de trabajo y por ende al cumplimiento del plazo y calidad de las actividades.

La subcontratación también incrementa el costo de los trabajos porque existe un intermediario: el contratista, quién también busca un beneficio o utilidad por las actividades a desarrollar en el proyecto. Por todo esto se debe evaluar bien a los subcontratistas, estimando sus capacidades en función de la información que proporcionan.

En muchos casos los trabajos que son subcontratados resultan pobres o deficientes en calidad, siendo muy común encontrar los siguientes casos: soldaduras en tubería metálica que no cumplen los lineamientos normativos, recubrimiento anticorrosivo (pintura) con mala aplicación y que se desprende con facilidad, grietas o fisuras en tanques de concreto, conexiones eléctricas erróneas, etc.

Cualquiera que sea la actividad a ser subcontratada (mecánica, civil o eléctrica) es importante que la empresa cuente con procedimientos, organización, personal calificado, maquinaria calibrada, herramientas, etc. para asegurar que los trabajos se realicen en conformidad con los lineamientos de calidad aplicables. Para los trabajos de soldadura, es necesario que las máquinas para soldar se encuentren calibradas y que los electrodos se encuentren almacenados adecuadamente (sin humedad). Figura 4.10



Figura 4.10 Horno estacionario para electrodos de soldadura
Fuente: Termoeléctrica “Tamazunchale I”, San Luis Potosí

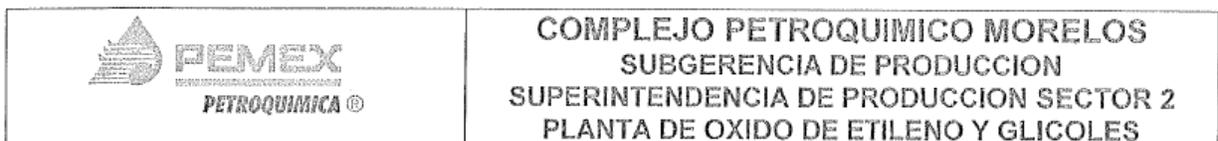
4.3.3 Registro de los cambios

Durante los trabajos de construcción y montaje siempre acontecen cambios, desviaciones o ajustes a las informaciones contenidas en la ingeniería del proyecto, lo cual debe ser gestionado y reflejado en la versión final, comúnmente llamada “as-built” o “como construido”, la cual es muy importante principalmente para el usuario final de la planta (pero también para la empresa que la diseñó y construyó). Esta actividad parecería de poca importancia y en muchas ocasiones no se realiza correctamente, reflejando parcialmente los cambios en la versión final de los documentos.

V.- PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA

La fase de puesta en marcha también llamada “commissioning” consiste en hacer las verificaciones, pruebas, ensayos y puesta en funcionamiento de los componentes de la planta, hasta lograr su comportamiento estable en condiciones a las que fueron diseñados. Esta es la etapa final del proyecto y por desgracia en ella se pueden descubrir errores o problemas que no fueron identificados durante el diseño de la planta. Lamentablemente cuando esto sucede, el impacto es ya con un costo más elevado para el proyecto, toda vez que el plazo y recursos restantes son mínimos, debido a que para ese entonces ha ocurrido ya una desmovilización de la organización en obra (por ser la última etapa del proyecto).

Como ejemplo de lo anterior se menciona el proyecto “Unidad desmineralizadora de agua U-552 N”, dentro del Complejo Petroquímico Morelos, PEMEX, en Coatzacoalcos VERACRUZ, en el cual al término de la puesta en marcha no se conseguía el control de nivel en la torre desgasificadora de CO₂, según se indica en la Figura 5.1. En este caso fue necesario cambiar de posición una válvula de control de flujo cuando la planta ya se encontraba construida y produciendo agua tratada en la calidad y cantidad especificadas por contrato; impidiendo su entrega formal al cliente o usuario final.



Minuta de la reunión celebrada el día 26 de Enero del 2010, a las 12:00 p.m. en la Sala de Juntas de la Gerencia, para atender los asuntos referentes a la problemática operativa en las UDAS U-552N de la planta de oxido de etileno y glicoles.

1.- INESTABILIDAD EN EL CONTROL DE FLUJO Y NIVEL EN TORRE DESGASIFICADORA UD-552N.

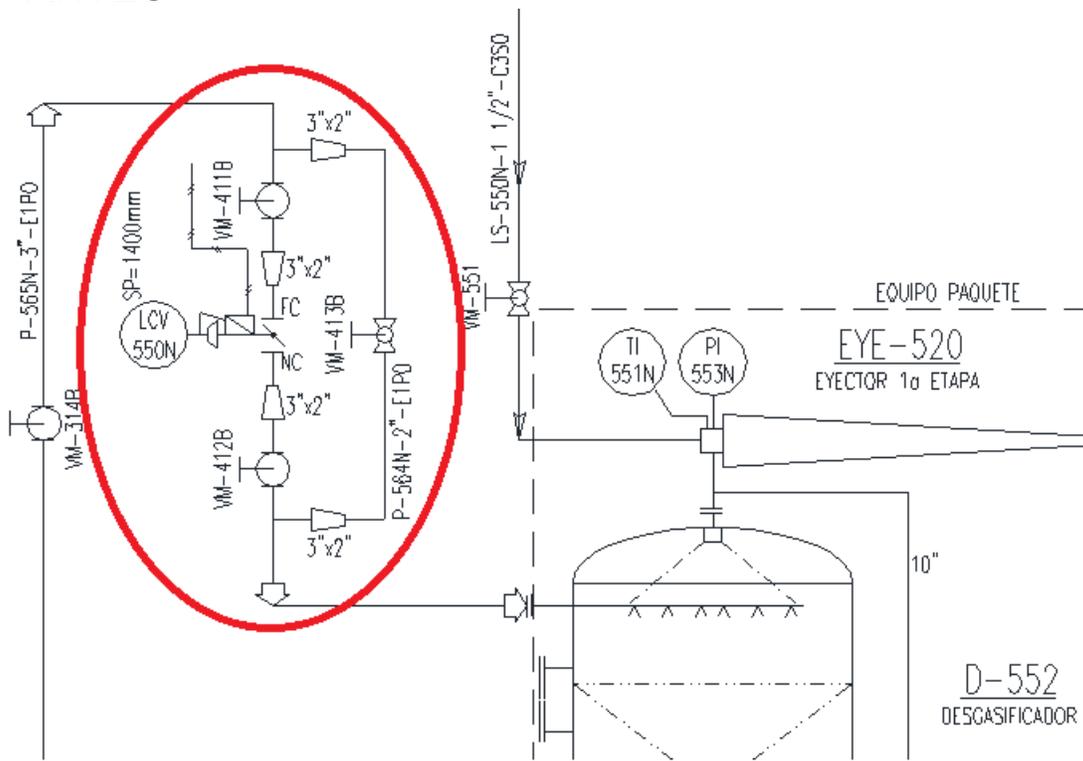
Se toman los siguientes acuerdos:

- Reubicación de la válvula de control LCV-550N del punto actual a la línea posterior a la torre desgasificadora en descarga de las bombas GM-560 AN/BN. Únicamente se tendrá el control de flujo FCV-3001 en la línea de alimentación a las UDAS.
- Reemplazo del transmisor de nivel tipo diafragma por un transmisor de medición diferencial de presión.

Figura 5.1 Minuta de reunión con PEMEX

Una de las modificaciones realizadas se muestra de forma comparativa en la Figura 5.2, ilustrando el tipo de adecuaciones y de imprevistos que se pueden tener al término de un proyecto, cuando se piensa que no habrá más costos importantes. Por esta razón, es conveniente evaluar bien los riesgos y dejar alguna provisión en el presupuesto para hacer frente a los imponderables que se puedan presentar.

ANTES



DESPUÉS

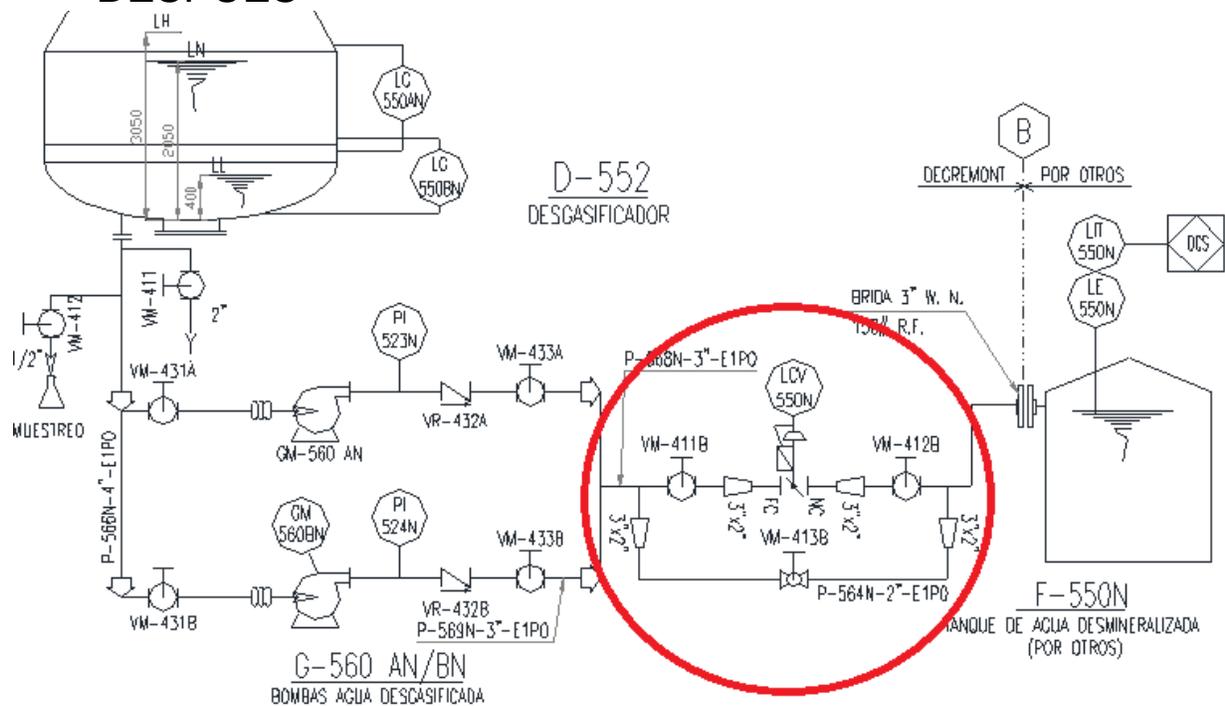


Figura 5.2 Cambio de posición de válvula.

Fuente: Ingeniería Proyecto "Unidad desmineralizadora de agua U-552 N".

La puesta en marcha en ocasiones se ve obligada a realizarse en muy corto plazo, con gran presión para avanzar buscando que se puedan absorber los retrasos de las etapas anteriores del proyecto: ingeniería, compras o construcción. No obstante, esto es muy riesgoso porque se pueden cometer errores importantes, se pueden dañar los equipos, poner en riesgo la seguridad del personal, etc. La puesta en marcha se debe realizar con el debido tiempo, bajo la metodología adecuada que permita entregar una planta confiable, segura, estable y atendiendo los requerimientos del proyecto.

5.1 Pruebas de fin de montaje o pre-arranque

Como su nombre lo indica estos ensayos se realizan al término de los trabajos de construcción y en algunas ocasiones se pueden considerar como parte del montaje. Se dividen básicamente en pruebas para verificar montaje mecánico y pruebas para verificar montaje eléctrico o de control.

5.1.1.- Pruebas hidrostáticas de tubería

Dentro de los ensayos del tipo mecánico, se tienen las pruebas hidrostáticas de tubería, las cuales consisten en verificar la hermeticidad de los circuitos y uniones de tubería que ya están montados e interconectados con equipos, válvulas e instrumentos. El desarrollo general de estas pruebas se describe a continuación de manera general:

- a) Se identifica el circuito de tubería a probar, identificando el punto de origen y el punto de finalización;
- b) El punto de origen será una conexión (bridada por ejemplo) donde se carga o inyecta la tubería con agua;
- c) El otro extremo del circuito, se tapa por medios provisionales, con placas metálicas ciegas que coloquialmente se llaman "comales". Se coloca un manómetro en algún punto del circuito;
- d) Las válvulas intermedias, en caso de existir, se deben mantener abiertas y los instrumentos bloqueados mediante sus válvulas de aislamiento;
- e) Posteriormente, cuando el circuito de tubería se encuentra completamente lleno o empacado con agua, se procede a inyectar más fluido gradualmente, con lo cual la presión aumenta hasta un punto que sea establecido previamente en los protocolos de prueba. Usualmente, la presión de esta prueba para cada circuito de tubería es 1.5 veces el valor de la presión de diseño;
- f) Se verifica que la presión se mantenga constante, sin disminuir, durante el tiempo que sea estipulado en los protocolos de prueba. Usualmente una hora es tiempo suficiente para considerar que la prueba es aceptable;
- g) Finalmente, se vuelven a establecer las condiciones originales del circuito de tubería, sustituyendo los empaques de las uniones bridadas y llenando los formatos para formalizar la prueba.

5.1.2.- Pruebas de resistencia de aislamiento

En cuanto a las pruebas del tipo eléctrico, se tienen las pruebas de resistencia de aislamiento, también conocidas como pruebas de “megger”, las cuales consisten en verificar que los motores y cables instalados no presentan algún daño en su aislamiento, mediante la aplicación de voltaje directo (para medir la resistencia en Megaohms del circuito en cuestión).

El desarrollo general de estas pruebas se describe a continuación de manera general

- a) Se identifica el circuito eléctrico o motor a ser verificado
- b) Se aplica corriente eléctrica mediante el uso de un dispositivo especializado llamado “megometro”, Figura 5.3, el cual suministra voltajes de 0 a 5000 Volts
- c) Se lee la lectura en el dispositivo para obtener valores de resistencia en el orden de los Megaohms. Valores en kilohms son demasiado bajos para la no conducción de la electricidad y por tanto se considera no aceptable el conductor, circuito o motor que haya arrojado estos valores
- d) En caso de ser aceptable se reestablece la conexión eléctrica y se realiza el registro del circuito o motor verificado



Figura 5.3 Medición de resistencia de aislamiento en GigaOhm.

Fuente: Planta desmineralizadora CC San Lorenzo, Puebla

5.1.3.- Pruebas de punto a punto

Estas verificaciones se realizan después del tendido de cables para realizar el conexionado e identificación de los mismos. Consisten en comprobar que las puntas distantes de un conductor corresponden al mismo cable, mediante la continuidad eléctrica del mismo. Se realizan no solamente para cables de potencia sino también para cables de control e instrumentación.

5.2 Pruebas de puesta en marcha o arranque

Estas actividades corresponden a los trabajos propios de puesta en marcha, relacionadas con la limpieza de equipos y tuberías, calibración de los instrumentos, verificación de los lazos de control, pruebas de motores, prueba de equipos con carga, arranque y estabilización de los procesos; así como la prueba y ajuste del automatismo. Para la realización de estos trabajos es necesario haber realizado previamente las pruebas de fin de montaje o pre arranque, para evitar problemas, retrasos o inclusive accidentes.

La planificación de las actividades de puesta en marcha es necesaria para: establecer prioridades en la finalización de las tareas de construcción, alertar sobre los trabajos (estableciendo medidas de seguridad), así como para dar seguimiento a los avances y objetivos respecto del plazo requerido. De esta forma, se pueden establecer actividades en paralelo que permiten compactar los tiempos de pruebas y puesta en marcha.

5.2.1.- Limpieza de tuberías y equipos

Durante los trabajos de montaje es común que se introduzca basura, arena, rebaba metálica, etc. dentro de las tuberías y equipos, por lo cual es indispensable hacer una limpieza o barrido para expulsar estos desechos; de lo contrario se producirán bloqueos, taponamientos y daños en equipos e instalaciones. Es común encontrar todo tipo de basura como trapos, pedazos de cinta adhesiva, latas o inclusive rocas en las boquillas de equipos, tanques o tuberías que se están limpiando. En la Figura 5.4 es posible apreciar la diferencia del agua que se obtiene al inicio de hacer un barrido para lavado de la tubería y al finalizar el mismo (después de algunos segundos de haber dejado transcurrir el abundante flujo de agua).

Para la limpieza o barrido usualmente se utiliza la misma agua de proceso disponible, que usualmente es agua de río, agua de pozo, agua de mar, etc. Inclusive, cuando se trata de agua residual, es posible utilizarla para hacer limpiezas con las debidas precauciones sanitarias y de higiene. No existe una determinada metodología ni lineamientos para hacer estos trabajos, solamente es necesario provocar el paso de agua con la mayor velocidad posible, a través de un circuito de tuberías y/o equipo de tal forma que el caudal de agua sea expulsado a la atmósfera y así pueda remover todas las impurezas contenidas dentro.

Algunos elementos de instalación provisional que ayudan en la limpieza de tuberías son filtros, mallas, “sombreros de bruja” (mallas en forma de cono), etc. los cuales retienen sólidos de gran tamaño evitando así que se queden atrapados en equipos o válvulas.

Para las tuberías de acero inoxidable es importante recordar que el agua deberá estar “libre de cloruros” (concentración menor a 50 ppm), porque éstos pueden causar corrosión en los acero inoxidable más comunes: tipo 304, 316 o 316 L. También se debe utilizar agua libre de cloruros para las pruebas hidrostáticas de tuberías.



Figura 5.4 Limpieza de tubería y equipo mediante barrido con agua.

Fuente: Complejo Petroquímico Morelos, Coatzacoalcos, Ver.

5.2.2.- Calibración de instrumentos

Los instrumentos comerciales de nivel, presión, flujo, temperatura y análisis son calibrados por los fabricantes en sus talleres, antes de ser vendidos, para lo cual se genera un certificado de verificación y prueba. No obstante, algunos clientes o usuarios finales requieren dentro de sus especificaciones la calibración *in-situ*, para corroborar que no hubo daño durante la transportación de los instrumentos a la obra y así asegurar que las mediciones serán confiables.

Existen empresas subcontratistas con experiencia y capaces de realizar los trabajos de verificación o calibración de instrumentos, las cuales cuentan con los dispositivos adecuados para tal fin. También existen organismos certificados ante la EMA, Entidad Mexicana de Acreditación, que pueden verificar y/o calibrar los dispositivos o instrumentos (de presión, temperatura y corriente eléctrica principalmente) que sirven como patrón o referencia para los trabajos de calibración. En la Figura 5.5 se aprecian actividades de calibración para manómetros, utilizando un dispositivo especializado.



Figura 5.5 Calibración de manómetros en sitio.

Fuente: Complejo Procesador de Gas, Nuevo PEMEX, Tabasco.

Las calibraciones *in-situ* representan costos adicionales que deben ser considerados en el presupuesto del proyecto o eventualmente reclamados al cliente si no fueron solicitados desde el origen del mismo. Este tipo de requerimiento es más común en proyectos del tipo industrial (oil & gas y energía) y más bien difícil de ser establecido en los proyectos del tipo municipal (agua potable y agua residual). Estas calibraciones tienen como objetivo asegurar que los instrumentos se encuentran en buen estado después de su traslado al lugar de la obra, después de haber sido transportados.

Cabe mencionar que los instrumentos del tipo analítico como medidores de pH, cloro residual, conductividad, turbidez, sílice o dureza, cuentan con soluciones específicas de los mismos fabricantes que permiten hacer un ajuste o calibración *in-situ*, de tal forma que sea posible asegurar que las mediciones son adecuadas. Solamente es necesario verificar la caducidad de estas soluciones y comprarlas en el debido tiempo, porque en ocasiones se compran con demasiada antelación y son enviadas al sitio de la obra desde el comienzo de la construcción, ocasionando que al momento de utilizarlas éstas ya no estén vigentes. Para evitar que esto suceda, es posible solicitar a los proveedores de instrumentación que envíen a la obra las soluciones patrón solamente hasta que reciban la indicación; lo cual deberá quedar acordado desde que se realiza la negociación de compra.

5.2.3.- Prueba de motores y equipos con carga

Se llama prueba de equipo con carga a la verificación del comportamiento electromecánico del mismo, en las condiciones normales de operación a la que fue diseñado; lo cual se puede realizar con el mismo fluido de proceso (comúnmente agua o aire). Por ejemplo, para una bomba centrífuga se verifica el comportamiento del conjunto motor-bomba durante su funcionamiento en el punto de operación al que fue diseñada (flujo y presión de descarga definidos); tomando mediciones de parámetros que permiten identificar anomalías para garantizar el buen comportamiento del equipo a largo plazo. Estos parámetros son principalmente: corriente eléctrica, voltaje, velocidad, vibración, temperatura y ruido; los cuales se miden en intervalos de tiempo (por ejemplo cada quince minutos) por espacio de una o dos horas continuas. De esta forma se registran las mediciones para establecer el comportamiento en el primer arranque del equipo ya instalado en la planta. En la Figura 5.6 se aprecia una medición que puede aplicarse a motores de bombas, sopladores, agitadores y ventiladores.



Figura 5.6 Medición de vibración a un motor acoplado de un ventilador.

Fuente: Planta desmineralizadora CC San Lorenzo, Puebla

Es importante que previo al inicio de las pruebas se consulte la información de los fabricantes, como el manual de operación y mantenimiento, para conocer los límites o valores aceptables que se pueden tener en los parámetros a ser verificados. Si estos

parámetros no son indicados en los manuales de operación entonces se puede hacer la consulta directa a los respectivos fabricantes.

De encontrarse algún parámetro por encima de los valores permitidos, como alta temperatura en los rodamientos, es necesario contactar al proveedor o un representante del mismo, para determinar si es factible intervenir el equipo dentro de la planta o fuera de ella en taller de fabricación.

5.2.4.- Verificación de lazos de control

Se considera como lazo de control al circuito eléctrico que por un lado tiene su origen o destino en el PLC y por el otro lado un instrumento, relevador, contacto o dispositivo en campo. Por lo anterior, el lazo puede ser:

- una entrada digital (por ejemplo la posición abierta o cerrada de una válvula);
- una salida digital (por ejemplo orden de arranque o paro de motor al CCM);
- una entrada analógica (señal 4-20 mA por ejemplo de medición de flujo, nivel, presión, etc.);
- una salida analógica (señal 4-20 mA hacia una válvula de control o modulante).

La verificación o prueba del lazo que puede visualizarse en la Figura 5.7 consiste en a) enviar la señal desde el PLC para verificar el accionamiento en campo de un dispositivo, como un motor por ejemplo, o b) enviar la señal desde campo (instrumento) hacia el PLC para conseguir una lectura en pantalla de la computadora.



Figura 5.7 Pruebas de lazo en tablero de control o PLC.

Por ejemplo, para probar una determinada señal digital, el ingeniero programador del PLC envía una señal desde el cuarto de control hacia el dispositivo de campo, que puede ser una válvula automática ON-OFF, para verificar físicamente que ésta abre o cierra. Cabe mencionar que para la prueba de entradas analógicas, algunos instrumentos electrónicos pueden simular su medición provocando la salida de 4-20 mA al sistema de control PLC sin necesidad de desconectar cables.

5.2.5.- Arranque y estabilización de los procesos

Los procesos para transformación o depuración del agua mantienen cierta independencia entre ellos, lo cual permite que se puedan arrancar de manera individual de alguna manera, siendo lógico que se siga la secuencia del tren de tratamiento que conforma la planta. Es decir, primeramente se prueban los sistemas que reciben y procesan el agua cruda para permitir que se puedan probar el resto de las etapas de tratamiento.

En la Figura 5.8 se muestran dos celdas (tanques) de aereación independientes entre sí, en las cuales se ha iniciado el suministro de aire para oxigenar el agua cruda y generar la formación de biomasa. Uno de las celdas se encuentra en etapa de verificación de difusores (izquierda) mientras la otra está incrementando su concentración de sólidos suspendidos volátiles (biomasa).



Figura 5.8 Puesta en marcha de reactores biológicos

Fuente: PTAR Ciudad Juárez "SUR", Chihuahua

La prueba de difusores consiste en verificar que no existan fugas de aire por las uniones de tubería o por las uniones con los difusores mismos (roscado inadecuado, empaque dañado o mal colocado, etc.); lo cual se puede detectar visualmente al observar burbujeos grandes y con mucha turbulencia, los cuales sobresalen entre el burbujeo fino homogéneo.

Las primeras pruebas de una planta se desarrollan en principio sin o con poca intervención del automatismo, para enfocarse solamente en lograr un proceso estable y controlado. Por tanto, todas estas actividades que carecen del monitoreo o la protección que da el sistema de control, deben realizarse cuidadosamente y solo deben efectuarse el tiempo mínimo necesario, porque durante este periodo los equipos e instalaciones dependen de los cuidados que brinden los ingenieros o especialistas. Por esta razón es conveniente integrar el automatismo gradualmente, para evitar fallas o errores que puedan causar daños en los componentes de la planta.

Los ensayos y pruebas que se realizan en esta fase de la puesta en marcha deben tener la finalidad de realizar la depuración o procesamiento del agua, midiendo la eficiencia del tratamiento mediante análisis o monitoreo de variables tales como la conductividad, el pH, turbidez, potencial redox, sólidos suspendidos, etc. Por ejemplo, para un tratamiento biológico por aereación; la finalidad de las pruebas en forma manual son las de crear biomasa a partir del suministro de aire, que eventualmente degradará la materia orgánica soluble. La formación de esta biomasa es posible medirla a partir del llamado "Índice de Lodos" o IL, Figura 5.9, que consiste en tomar una muestra del licor de mezcla en un cilindro o probeta graduada de un litro de capacidad, dejando transcurrir 30 minutos para determinar el volumen de lodos que logró sedimentarse.

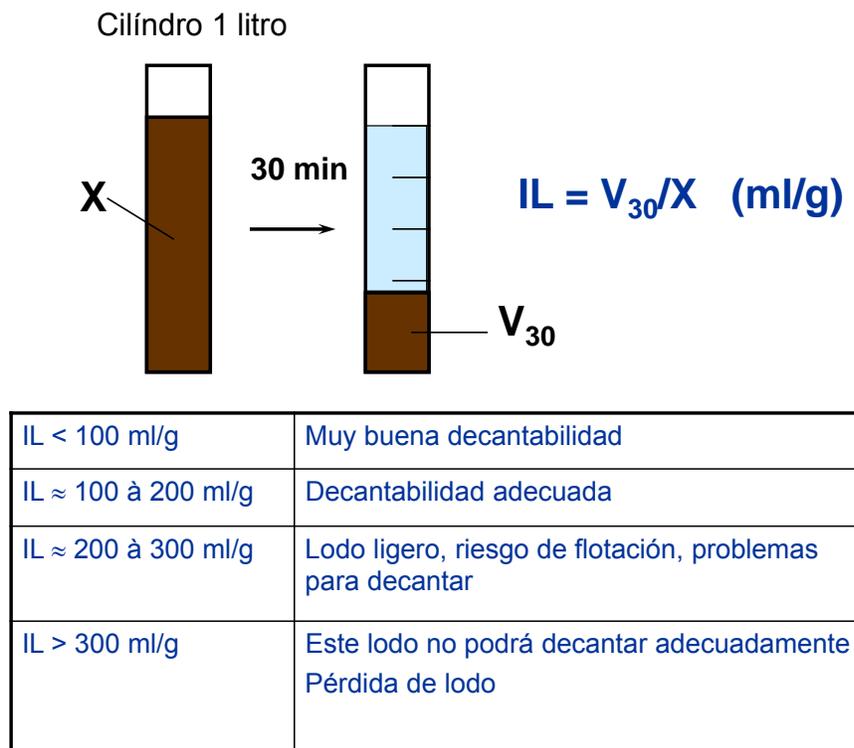


Figura 5.9 Índice de lodos y su interpretación práctica

Fuente: Water Treatment Handbook, Degrémont.

En este ejemplo además del índice de lodos también es posible medir periódicamente la concentración de sólidos suspendidos volátiles, para comprobar el incremento gradual de biomasa en el licor de mezcla.

Otro ejemplo a mencionar es el arranque de un proceso por ósmosis inversa, el cual se pone en marcha por primera vez para: comprobar que no existan fugas entre los elementos, verificar su comportamiento inicial y ajustar el caudal de las corrientes involucradas.

En la fotografía de la Figura 5.10 es posible apreciar la carga de una membrana de ósmosis inversa dentro del housing o tubo de presión (pressure vessel); mientras que a la derecha en imagen se aprecia el conector (interconector), que une a las membranas permitiendo el paso del permeado entre cada una de ellas.

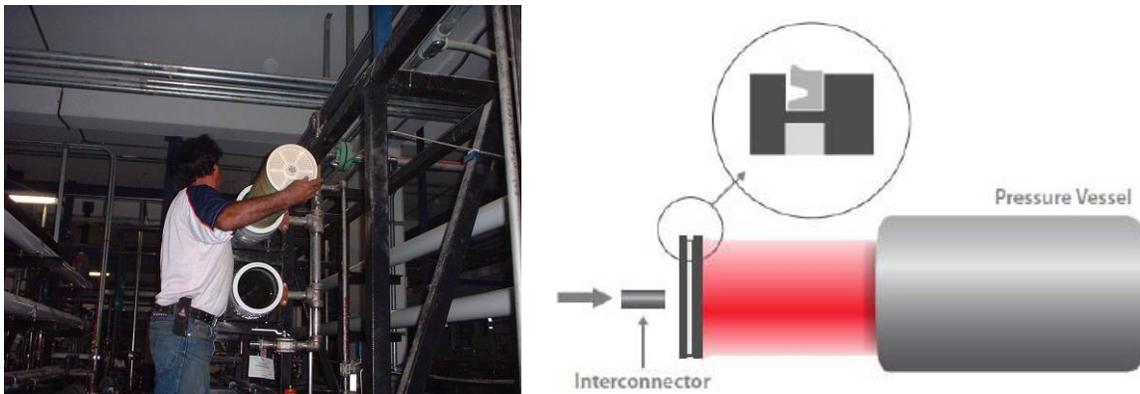


Figura 5.10 Carga de elementos (membranas) de ósmosis inversa.

Fuente: Boletín técnico LANXESS⁷.

Una vez terminada la instalación de las membranas se procede a cerrar los tubos de presión, interconectando los puertos correspondientes con las tuberías para conducir las siguientes corrientes: alimentación, rechazo y permeado (producto). Comúnmente se presentan algunas situaciones que ocasionan el mal funcionamiento del conjunto cuando se pone en marcha por primera vez, principalmente: a) empaques (O'Ring) dañados o mal instalados en los conectores y b) holgura o "juego" entre las membranas y el tubo de presión; lo cual provoca la contaminación del permeado al incrementar su salinidad. Esto se puede detectar fácilmente al tomar las primeras mediciones de conductividad en el permeado y compararlas con la "proyección" teórica que arrojan los software de diseño de los proveedores. Esta proyección señala principalmente los parámetros de flujo, presión y salinidad del sistema.

En la Figura 5.11 es posible apreciar las características de comportamiento esperadas por el software de un proveedor de membranas, en la condición "cero años" de funcionamiento, que es comparable al primer arranque del sistema. Como puede observarse, la conductividad esperada del producto o permeado es de $5.04 \mu\text{S}/\text{cm}$ y este parámetro es fácilmente medible en la realidad mediante un instrumento portátil.

Una conductividad muy por encima de este valor en el primer arranque es sinónimo de las fallas o alteraciones mencionadas en los interiores de los tubos de presión: empaques (O'Rings) dañados / mal colocados o juego entre las membranas y el tubo de presión.

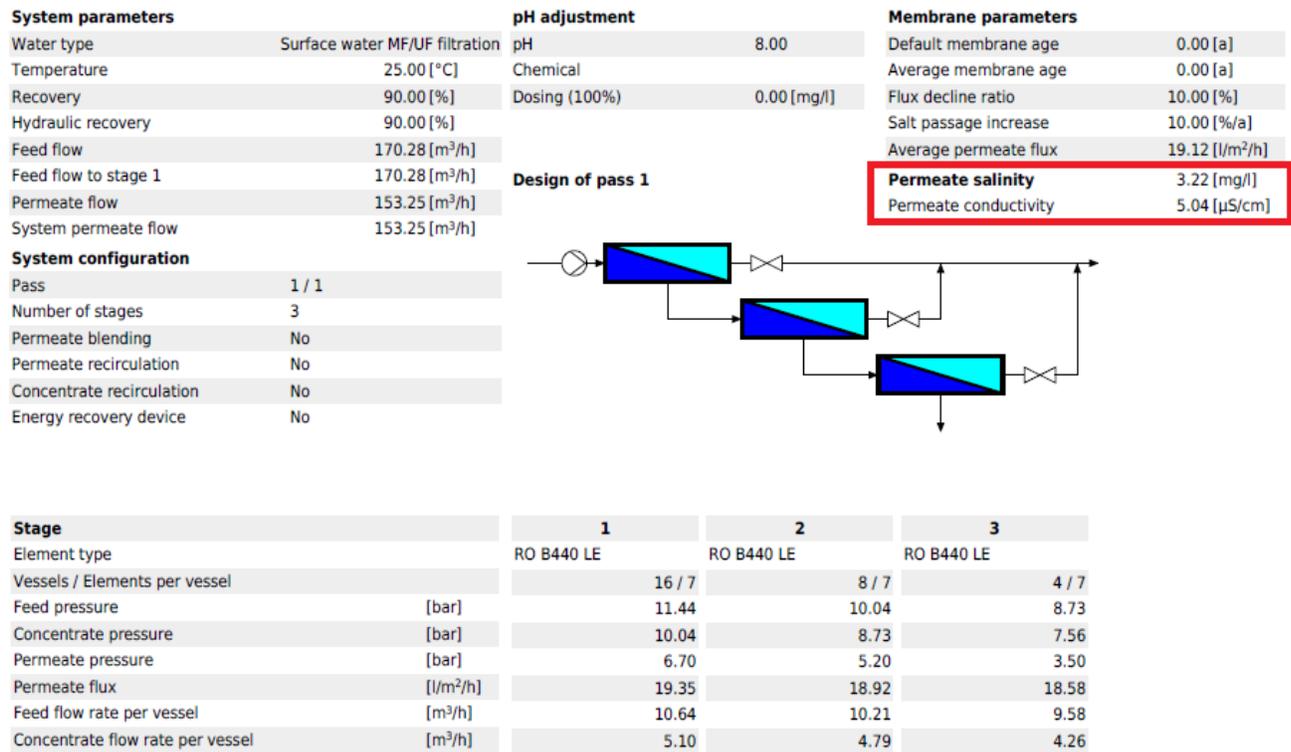


Figura 5.11 Proyección de ósmosis inversa a cero años de funcionamiento. Planta UDA-2, Complejo Procesador de Gas Nuevo PEMEX, Tabasco.
Fuente: Proyección del software LEWAPLUS DESIGN (Compañía LANXESS).

5.2.6.- Automatización

En la actualidad las plantas de tratamiento de agua consideran un cierto grado de automatismo que depende del tipo de proceso y tecnología involucrada, para permitir una operación confiable y segura. En la puesta en marcha se busca comprobar el automatismo establecido principalmente en la filosofía de control, para confirmar el monitoreo de los procesos, el accionamiento de válvulas, el arranque y paro de equipos, así como los acontecimientos anormales que se puedan suscitar durante la operación. En la Figura 5.12 se muestra la pantalla de un sistema de control durante pruebas del automatismo, con equipos funcionando en color rojo.

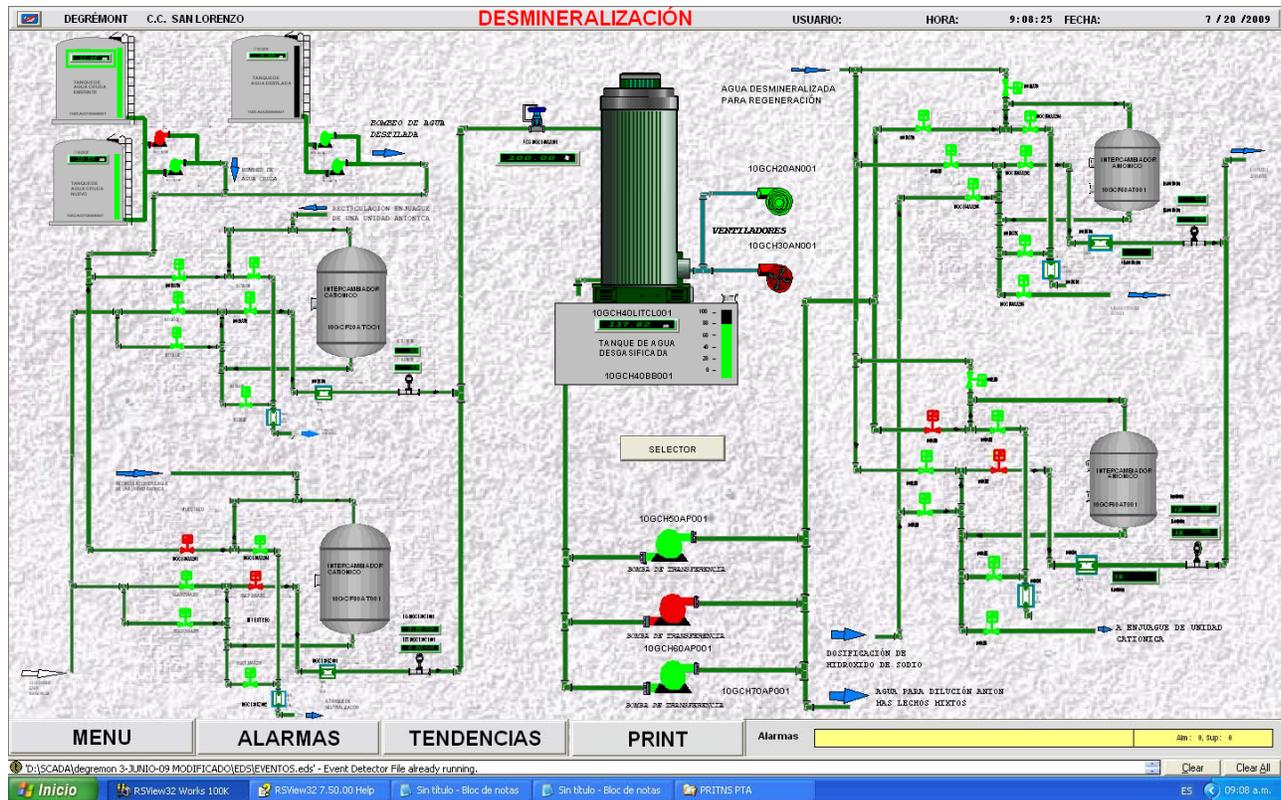


Figura 5.12 Prueba de lógica de control.

Fuente: Sistema de Control o PLC, Planta CC San Lorenzo.

Durante la puesta en marcha en ocasiones es necesario incluir protecciones adicionales mediante programación del PLC, de tal forma que éstas permitan cubrir situaciones eventuales a futuro, que podrían ocasionar fallas o accidentes. En el peor de los casos en lugar de modificaciones a la lógica de control serán necesarios componentes adicionales. Es decir, en ocasiones se deberán incluir válvulas automáticas o instrumentos adicionales para garantizar la seguridad de las instalaciones y del personal involucrado. A pesar de que esto puede representar un gran problema por la extemporaneidad de la situación, es posible utilizar los cables de reserva que usualmente están considerados en los diseños y construcción de las plantas. En el diseño de las instalaciones inclusive se consideran reservas en los sistemas de potencia (transformador, CCM, etc.) para incluir algún equipo dinámico que pueda requerirse a futuro.

Para realizar las pruebas al automatismo es necesario considerar la participación de un ingeniero capaz de hacer modificaciones a la programación del sistema, que usualmente es la misma persona que hizo los trabajos previos de programación en taller. Esta programación, usualmente se realiza partiendo del documento llamado filosofía de control, sin embargo, también existe otra información o planos que se conocen como lógicos de control, los cuales manejan cierta simbología para representar las acciones o movimientos que el PLC debe realizar. Por ejemplo, cuando

se presenta la señal de alta presión en una tubería puede ser requerido el paro de algún equipo y al mismo tiempo la apertura de alguna válvula, lo cual se indica en estos esquemas o lógicos de control. En la Figura 5.13 se muestra un ejemplo de lógico de control para instrumento de análisis (turbidez).

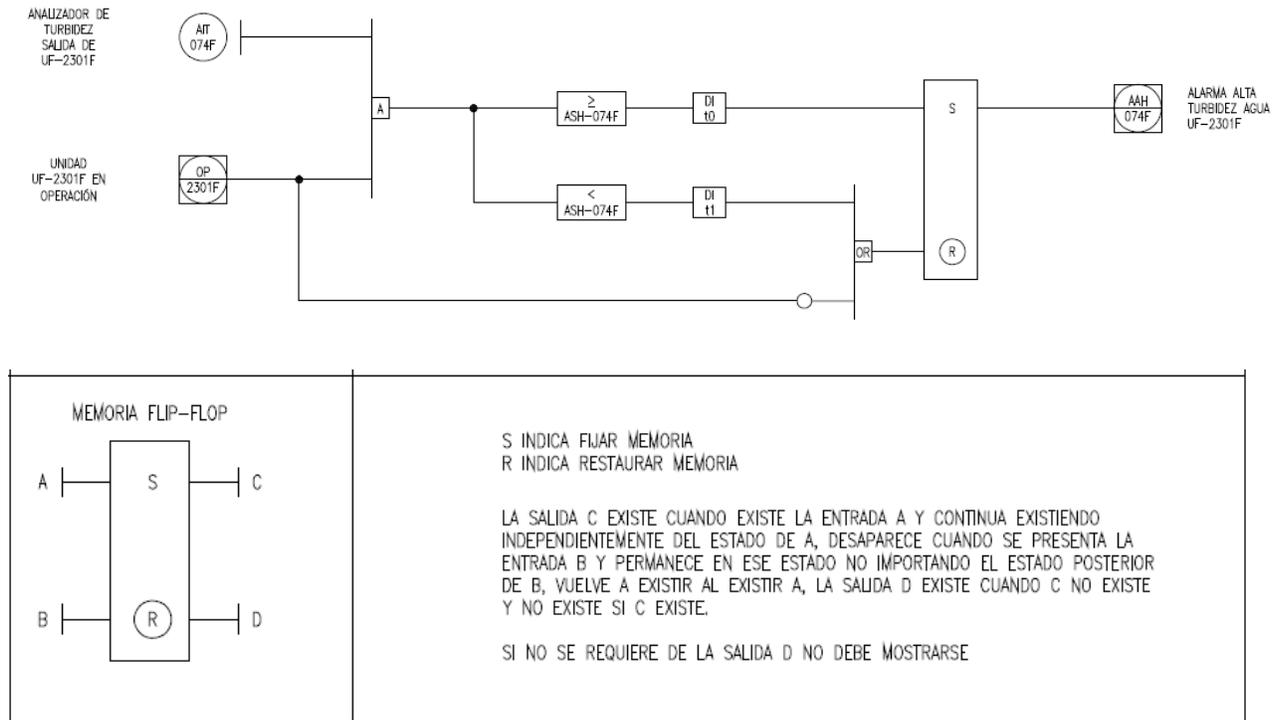


Figura 5.13 Lógico de control para analizador de turbidez
Fuente: Sistema de Control Planta Termoeléctrica CC Altamira V.

Estos lógicos de control representan una gran inversión de horas hombre de ingeniería y por tanto de costo para su elaboración, por lo cual no siempre se desarrollan. La mayoría de las veces se requieren en proyectos del tipo industrial (oil & gas, energy) o de la industria privada (papel y celulosa), que consideran altos estándares de ingeniería y construcción.

5.3 Pruebas de funcionamiento

La fase final de la puesta en marcha considera demostrar ante el cliente o usuario final que la planta se comporta conforme lo estipulado en los documentos de ingeniería y especificaciones del proyecto, entregando la cantidad y calidad de agua que fue establecida contractualmente. Esto se conoce como pruebas de funcionamiento y consiste en que la planta se ponga en operación de forma constante e ininterrumpida por unos días (promedio de 2 a 3 días) para demostrar que: a) se produce el agua en

cantidad y calidad conforme a contrato, b) la planta es autosuficiente y c) que la lógica mantiene el arranque o paro de equipos, así como la apertura o cierre de válvulas con la mínima intervención del operador. La duración de estas pruebas, el número de paros permitidos, las secuencias que se requieren verificar, etc. pueden ser estipuladas por el cliente o pueden proponerse mediante los protocolos correspondientes. En estas pruebas, es común la toma de muestras de agua, para analizar la calidad de las corrientes más importantes en el tren de tratamiento, siendo indispensables las muestras de agua cruda y de agua tratada producida por la planta.

Dependiendo el tipo de cliente, en algunos casos los requerimientos contractuales de “performance” (comportamiento) incluyen un consumo límite máximo de energía o de reactivos químicos, que puede ser requerido verificar durante las pruebas de funcionamiento. Esto se puede realizar con los dispositivos propios del CCM para el caso de la energía y mediante aforo de los químicos que se dosifican, a partir de la columna de calibración (Figura 5.14) correspondiente.

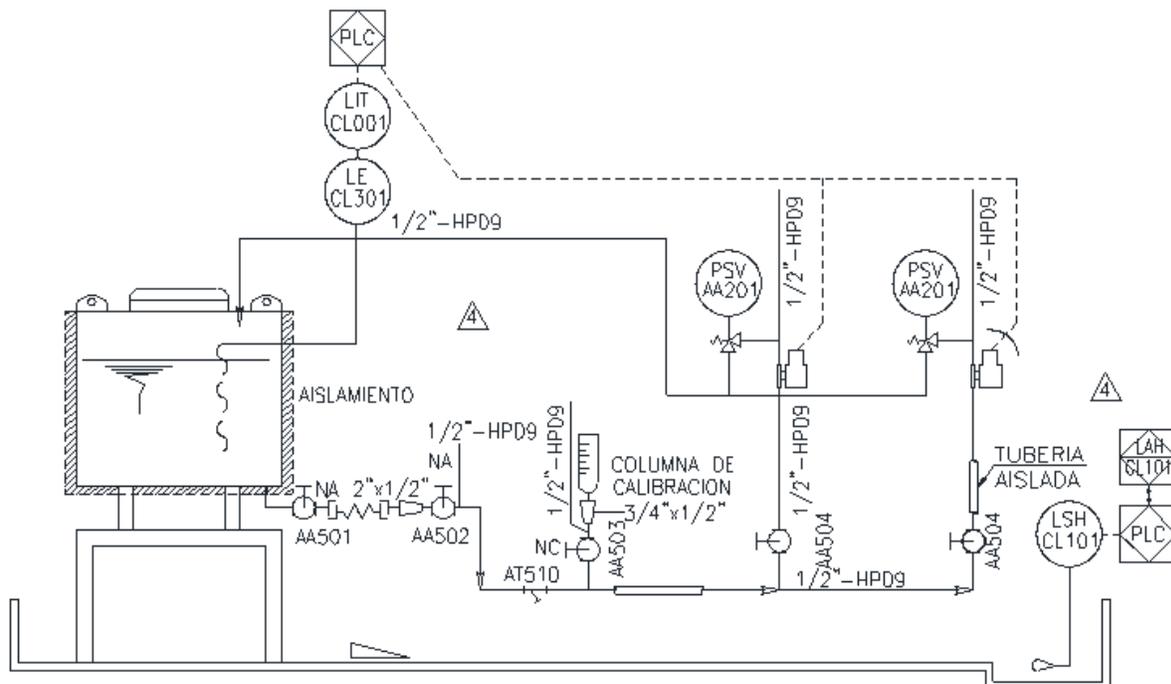


Figura 5.14 Columna de calibración para dosificación de bisulfito de sodio

Fuente: Diagrama de Tuberías e Instrumentación, Planta Tamazunchale I.

Finalmente, la recepción provisional de la planta es un acuerdo y/o documento entre las partes, para establecer que la planta ya es funcional, que atiende los requerimientos de contrato y que puede ser transferida hacia el cliente para su explotación continua. Cuando aún existen pendientes menores (detalles de construcción, entrega de documentos, etc.) éstos no impiden normalmente la recepción provisional.

VI.- RETORNO DE EXPERIENCIA Y MEJORA CONTINUA

La mejora continua a través de las experiencias, sean éstas buenas o malas, es un eje importante en la rentabilidad y crecimiento de las empresas porque reduce entre otras cosas: costos, riesgos y fracasos que pueden resultar en pérdidas cuantiosas o inclusive catastróficas en algunos casos. Es tan importante aprender de los errores cometidos que el retorno de experiencia y mejora continua son parte de los lineamientos para la gestión de calidad bajo estándares internacionales como la norma ISO 9000.

6.1 Retorno de experiencia

La retroalimentación sobre los errores o aciertos importantes en los proyectos se debe de considerar, registrar, canalizar y evaluar para que realmente exista un progreso en el desempeño de la empresa. Porque si la experiencia solamente se registra y no se difunde o no se canaliza adecuadamente, resulta imposible que ésta se transforme en beneficio de la organización, quedando así desaprovechada.

Es conveniente mencionar una buena práctica relacionada con la revisión de un borrador de contrato, el cual se tenía para un proyecto nuevo asignado por un cliente. Este contrato preliminar se pudo revisar internamente por parte de las siguientes áreas: ingeniería, ejecución, comercial, propuestas y jurídico en conjunto. Entre todos estos departamentos de la empresa fue posible discutir los términos, condiciones, lineamientos o cláusulas del contrato, antes de proceder a firmarlo con el cliente. El área de ingeniería pudo alertar sobre la necesidad de establecer un tiempo de revisión por el cliente, para acotarlo o reducirlo, de tal forma que se pudo cumplir con el plazo de emisión de los documentos (el cual estaba sujeto a multas por incumplimiento o retrasos).

Lo anterior permitió la modificación o negociación de ciertos aspectos que representaban riesgos en la ejecución del proyecto. Es decir, a partir de la revisión interna al borrador de un contrato nuevo, el interlocutor (director comercial) podrá buscar negociar y adecuar el contenido del mismo antes de firmarlo en forma definitiva con el cliente.

6.2 Estandarización

Es recomendable considerar patrones, modelos y bases de datos en los diseños / procesos de tratamiento de aguas, porque se aprovechan los trabajos y experiencias desarrolladas, además de que al mismo tiempo el riesgo de cometer algún error técnico prácticamente queda anulado.

Una buena estrategia para vender proyectos es partiendo de la estandarización de procesos de tratamiento, equipamientos o sistemas, de tal forma que éstos se puedan

adaptar a los requerimientos del mercado o de clientes específicos. Por ejemplo, existen “paquetes” estándar de ósmosis inversa para tratamiento de agua de mar, destinados al mercado de la desalación, los cuales permiten ofertar a los clientes plantas potabilizadoras confiables de diversas capacidades. Inclusive estos paquetes o módulos se pueden sumar según se desee, para tener los trenes que sean necesarios dependiendo del caudal de agua requerido. Esto no significa de ninguna manera que se eliminen los trabajos en su totalidad, pero sí que se reduzcan de manera significativa. Más allá de eso, los paquetes estándar ya integran un grado de “investigación” y/o experiencia, que prácticamente reduce los riesgos técnicos a cero. En la Figura 6.1 se muestra un esquema considerando diseños estándar para desalación de agua de mar por ósmosis inversa, utilizando cuatro módulos independientes con capacidad de producción de 20,000 m³/día cada uno. El número de módulos puede incrementarse según las necesidades de agua desalada.

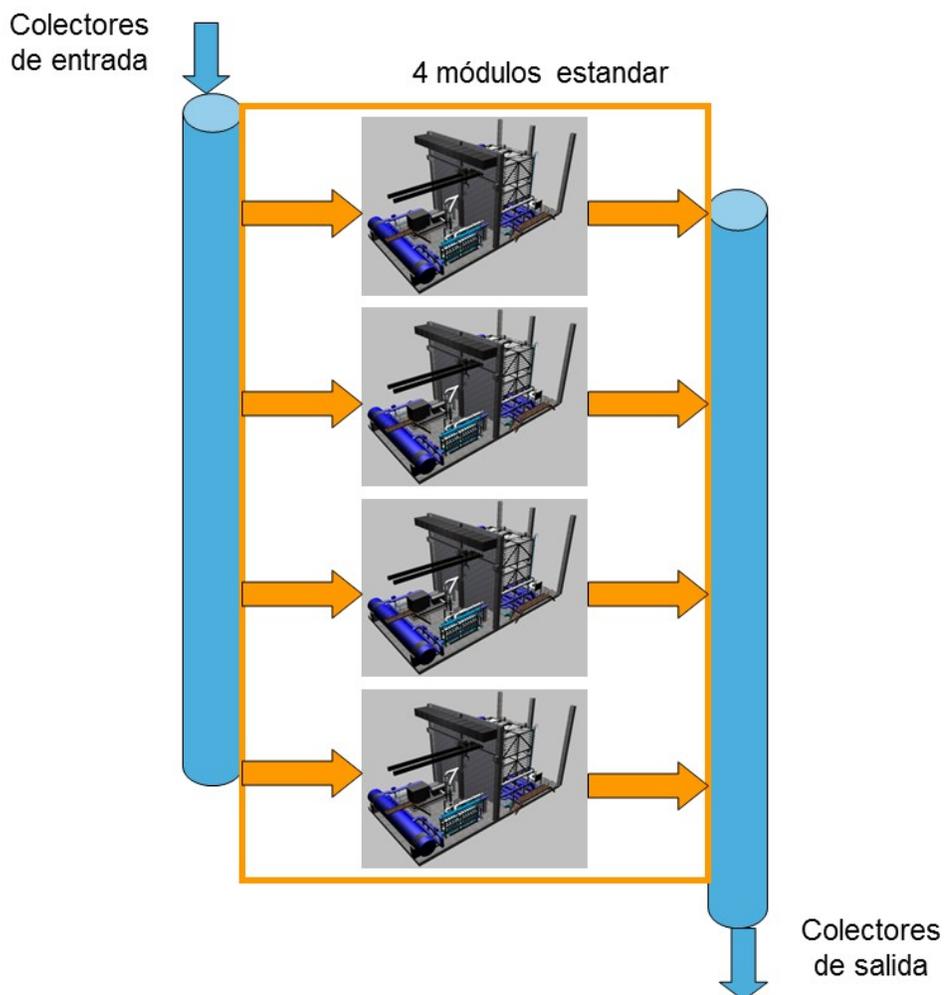


Figura 6.1 Módulos estandarizados de ósmosis inversa

Fuente: Ficha Técnica Interna, SUEZ Medio Ambiente México.

En la figura anterior los módulos fueron diseñados como un estándar, de tal forma que ya se consideran disponibles los planos, cálculos, listas de materiales y demás información detallada. Solamente los colectores de alimentación y salida deberán diseñarse dependiendo de las rutas y espacios disponibles. De esta forma se reduce el trabajo por realizar y el riesgo de cometer errores.

No obstante los beneficios de estandarizar es muy común que los clientes soliciten procesos de tratamiento, capacidades o incluso calidad de agua específica o particular; lo cual obliga a generar ofertas de “proyectos a la medida”, muy elaborados y que requieren de gran cantidad de trabajo, con muchos riesgos y que necesariamente están asociados con plazos muy largos. Por lo tanto, en la medida de que sea posible estandarizar tecnología propia para una empresa será más fácil ganar y ejecutar un proyecto determinado.

Es importante que se evalúe la conveniencia de ofertar o no ciertos proyectos cuando no se tiene un estándar de procesos, sistemas o planta en general; principalmente cuando son industriales, donde el margen de ganancia puede ser bajo al mismo tiempo que el grado de complejidad es alto. Es conveniente proponer a los clientes procesos o sistemas que ya se tengan como estándar, que permitan ofrecer plantas confiables a un costo competitivo.

6.3 Estructura y organización

Una gran parte de los problemas y sobrecostos en los proyectos se debe a la rotación de personal, así como a la falta de una estructura básica de profesionales que permita mantener la experiencia, el “know how”, etc. dentro de la misma empresa. Con base en mi experiencia profesional recomiendo mantener una “columna vertebral” dentro de la organización que permita hacer frente a los desafíos con base en la experiencia adquirida.

Cuando los proyectos son intermitentes mantener toda una plantilla fija de técnicos y profesionales puede representar costos insostenibles, por la falta de ingresos económicos mientras la nómina de personal continúa sin cambio. Peor aun cuando se presenta una temporada con escasos de proyectos, la medida más usual o común es la del recorte de personal a diferentes niveles. A pesar de esto, en muchas ocasiones es posible buscar alternativas para relocalizar al personal, de tal forma que éste pueda seguir produciendo para la empresa. Así, una persona que pertenezca al departamento de ingeniería por ejemplo podría desplazarse a la construcción o puesta en marcha de un proyecto existente, mientras se lograra la entrada de un contrato nuevo.

La organización de la empresa debiera orientar al desarrollo y crecimiento de sus profesionistas clave, de tal forma que exista un equipo mínimo estable con capacidad suficiente de adaptación y eventualmente de crecimiento.

6.4 Errores más comunes

Subestimar al cliente. Pensar que es posible dar menos al proyecto buscando reducir alcance, suministro o servicios es contraproducente. Eventualmente un cliente se puede sentir engañado, subestimado o inclusive robado; lo cual se traduce en la eventual pérdida de confianza y credibilidad para la empresa. Algunos ejemplos que puedo mencionar son: suministrar materiales de menor calidad o de marcas no reconocidas; reducir la cantidad de instrumentos o válvulas (involucrando la necesidad de mayor intervención humana para operar la planta).

Subcontratación de los trabajos. El transferir para un subcontratista los alcances, trabajos y obligaciones que se tienen ante un cliente tiene implícito un riesgo, que muy comúnmente se transforma en algún tipo de problema o pérdida económica para la empresa. Dentro de las prácticas más habituales que erróneamente se cometen buscando algún tipo de ahorro económico se mencionan:

- a) castigar a los subcontratistas en la contratación. Usualmente los contratistas ofertan o cotizan en muy poco tiempo y bajo presión, por lo cual en ocasiones no entienden el alcance completo de lo que representa el proyecto, asumiendo premisas o expectativas falsas que nunca se cumplen. Siempre es mejor exponer al contratista todo el contexto, alcance y riesgos a los cuales se podrá enfrentar
- b) contratar sin evaluar bien al subcontratista en su capacidad, estructura, experiencia y fortaleza económica. Cuando se elige a un determinado subcontratista de entre varios otros en ocasiones se hace basándose únicamente en el tema económico. No obstante, éste puede carecer de capacidad técnica, administrativa o económica que al no ser detectada en su momento se convierte en un problema.

En ambos ejemplos el resultado es un subcontratista fallido, que suele ser reemplazado por otro después de disputas que pueden inclusive derivar en el ámbito legal, porque usualmente éste reclama costos adicionales que no se le pueden pagar, debido a que ha incumplido con sus obligaciones contractuales de avanzar en tiempo y forma.

Planificación de los trabajos. Desde hace algunos años ha venido incrementándose la necesidad de contar con una programación de las actividades y etapas del proyecto para poder controlarlo, conforme a las directrices del Project Management Institute. Así el desglose de las tareas, la asignación de un tiempo para cada una, la interdependencia entre actividades, etc. se ha vuelto parte de los programas o cronogramas que son desarrollados por los especialistas en la materia. Estos programas trazan de manera ideal el posible desarrollo del proyecto y sus actividades, para alcanzar los objetivos dentro de un plazo acorde a las necesidades del cliente final. Para este fin se han desarrollado softwares o paquetes informáticos específicos como Primavera o Project, que requieren de una capacitación y

conocimiento específico, que no es parte de la formación tradicional de los ingenieros. En la Figura 6.2 se muestra un ejemplo de programación para un proyecto.

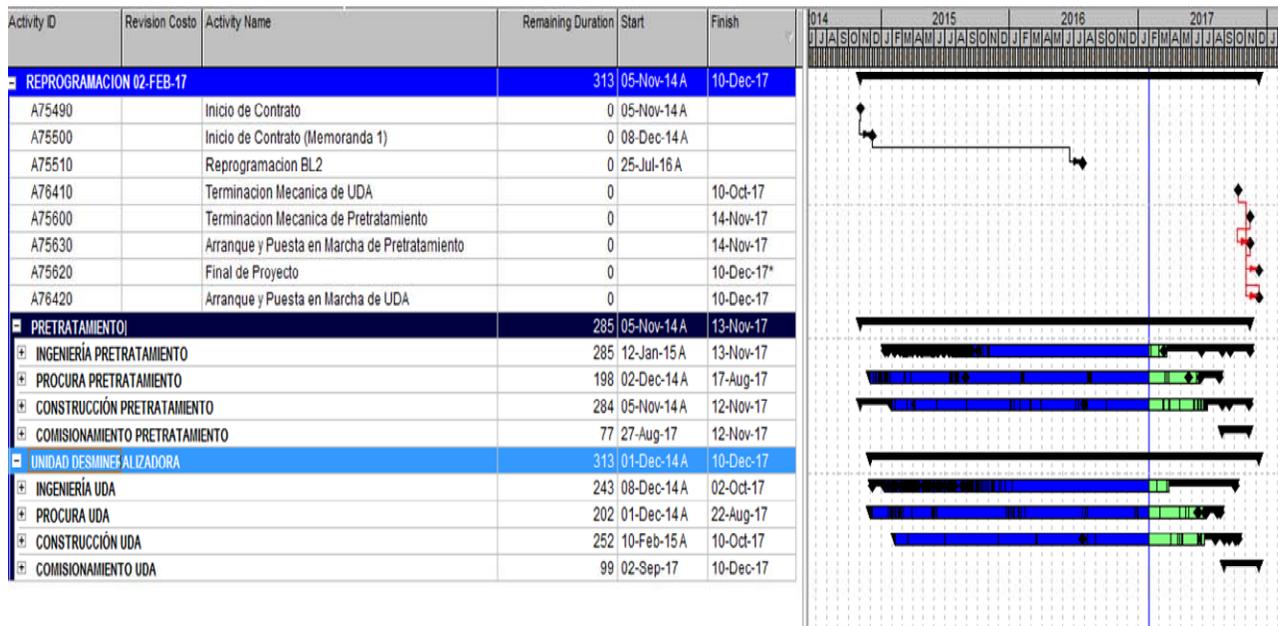


Figura 6.2 Planificación de proyecto en software específico. Se muestran únicamente las actividades principales

Los programadores o personal responsable de la planeación suelen ser contratados por sus habilidades en los paquetes informáticos específicos de planificación (Project, Primavera, etc.) más que por su experiencia o conocimiento en relación a las actividades que buscan controlar. Usualmente dominan los paquetes informáticos y han desarrollado amplias habilidades a nivel de informática, sin embargo, carecen de experiencia en relación al desarrollo real de las actividades de ingeniería, compras o construcción de una planta, sin lograr entender como las tareas o actividades dependen una de otra. Estas personas suelen establecer objetivos imposibles de alcanzar en cuestión de plazos y por tanto la realidad de un proyecto queda definida por tiempos o premisas irreales. Así, un cronograma con suposiciones erróneas, con plazos inalcanzables o con rutas críticas equivocadas puede parecer el camino apropiado a seguir, cuando en realidad conducirá al fracaso.

Además de la problemática mencionada también existe un patrón que comúnmente se presenta en la mala planificación de los proyectos: las áreas, de departamentos o responsables no participan en la generación del cronograma y ni en la definición de sus duraciones. Por consiguiente, las actividades se orientan a seguir hitos o metas que parecieran aportar al éxito del proyecto, pero que en realidad resultan ser falsos indicadores de progreso. Por ejemplo, usualmente se desea terminar la ingeniería de un proyecto en corto tiempo, ya sea por requerimiento del cliente o por creencia que es necesario tener todos los diseños terminados para iniciar la construcción. La realidad es que las actividades de construcción se pueden contratar e iniciar mientras se termina el

resto de las actividades de ingeniería, que usualmente son las correspondientes a la electricidad y control e instrumentación (por lo que no hay ninguna afectación al proyecto).

Es muy difícil que los gerentes de proyecto, responsables de compras, programadores o responsables de la planificación comprendan los tiempos y dependencias de la ingeniería de una planta, a menos que hayan formado parte alguna vez del equipo de ingeniería en algún otro proyecto.

Recordemos que las actividades de ingeniería llevan una secuencia que podría considerarse para fines didácticos como sigue: se comienza con la ingeniería básica de proceso, luego la ingeniería civil y se continúa con la ingeniería mecánica, para desarrollar posteriormente los diseños de tuberías y finalmente de los de electricidad, instrumentación y control. Esta secuencia involucra en realidad traslapes entre las disciplinas mencionadas, así como interdependencia entre las mismas, más que etapas separadas una de otra. Así, en un proyecto convencional, los trabajos en obra que se ejecutan al final son principalmente relacionados con montaje eléctrico y/o de control e instrumentos. Por tanto, los cables, conectores, tubería, charola o bandeja eléctrica, etc. deberían ser de los últimos materiales a comprar en un proyecto, lo cual en ocasiones no sucede. En algunos proyectos se busca comprar estos materiales con relativa urgencia, ejerciendo una presión injustificada en las actividades de ingeniería. El resultado de todo esto son entre otras cosas: compras de materiales en cantidades equivocadas, pérdida de materiales que llegan a obra y no se requieren sino hasta después de varios meses, cambio en especificación de algún material comprado, etc.

Cronología de las actividades. La importancia de hacer un expediente de los acontecimientos en el proyecto es tal que puede definir el fracaso o éxito del mismo. En cualquiera de las fases o etapas (ingeniería, compras, construcción o puesta en marcha) en los proyectos de tratamiento de agua existen cambios, premisas, acuerdos, problemáticas, etc. que se presentan y que se deben registrar “oficialmente” en beneficio de los interesados, para discutir, negociar o justificar cualquier asunto en el futuro.

Es decir, el uso, manejo y seguimiento de bitácoras, oficios o minutas se debe llevar principalmente con el cliente, pero también con proveedores, subcontratistas y hasta de manera interna entre áreas o departamentos de la empresa. Para implementar lo anterior sin duda es necesaria la inversión de recurso humano y herramientas. No obstante, el tener documentado el proyecto para garantizar su rentabilidad compensa el esfuerzo y dinero invertidos.

Contar con la estructura para registrar cambios del cliente, emitir oficios sobre afectaciones al proyecto, oficializar acuerdos y hasta informar avances o retrasos es sin duda vital para actuar de manera legal en caso de ser necesario. Ya que en ocasiones existe riesgo de penalización por parte del cliente debido a incumplimiento relacionado con plazo, lo cual puede ser justificable si se tiene la evidencia necesaria. En otros casos, a partir de todos estos registros es posible hacer reclamaciones a los clientes,

para recuperar los gastos o costos absorbidos y obtener así un beneficio por materiales, equipos, servicios o alcances no incluidos en el contrato establecido entre las partes.

En la actualidad existe un medio para formalizar los acuerdos en relación a contratos de obra pública, a través de la llamada bitácora electrónica, la cual es una herramienta informática que permite registrar eventos o sucesos importantes en el desarrollo de dichos contratos. Se muestra en la Figura 6.3 como está estructurada la organización pública para gestionar esta herramienta.

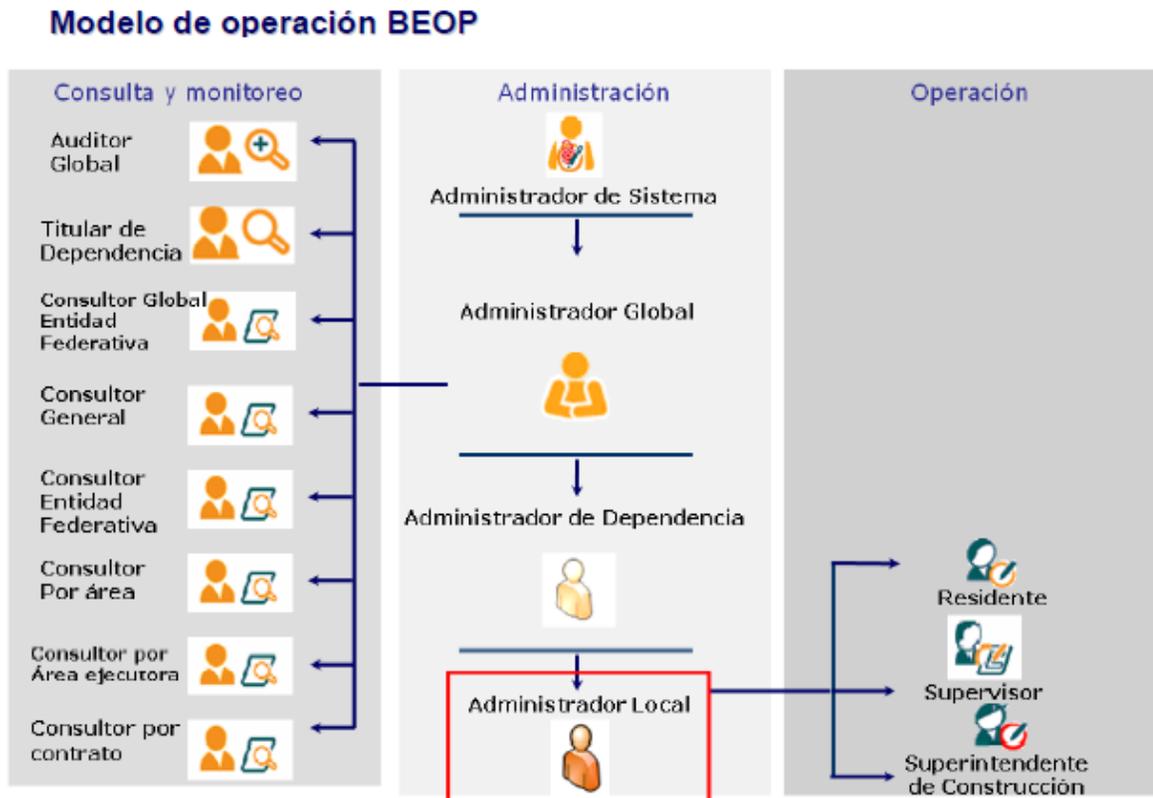


Figura 6.3 Bitácora Electrónica de Obra Pública. Modelo de funcionamiento.
Fuente: Secretaría de la Función Pública⁸.

Las ventajas que permiten este tipo de bitácora electrónica son entre otras:

- Información en tiempo real de lo que sucede en obra;
- Seguridad en el manejo de la información;
- Implementación de firma electrónica avanzada para garantizar la autenticidad de la información;
- Información veraz, oportuna y clasificada;
- Las dependencias o entidades pueden respaldar su información de manera digital e impresa.

Además, es importante hacer notar que las plantas de tratamiento de agua son construidas en todo tipo de lugares, en ocasiones con difícil acceso o pobre desarrollo urbano, bajo todo tipo de condiciones climatológicas adversas (climas desérticos, lluviosos, fríos, húmedos, etc.) que pueden ser elementos útiles a la hora de justificar atrasos en la construcción y montaje de dichas plantas.

La imagen de la Figura 6.4 es un ejemplo de cómo incorporar los factores de clima en los reportes de avance, para hacer notar cuando las actividades de construcción o pruebas sean afectadas por estos imponderables.

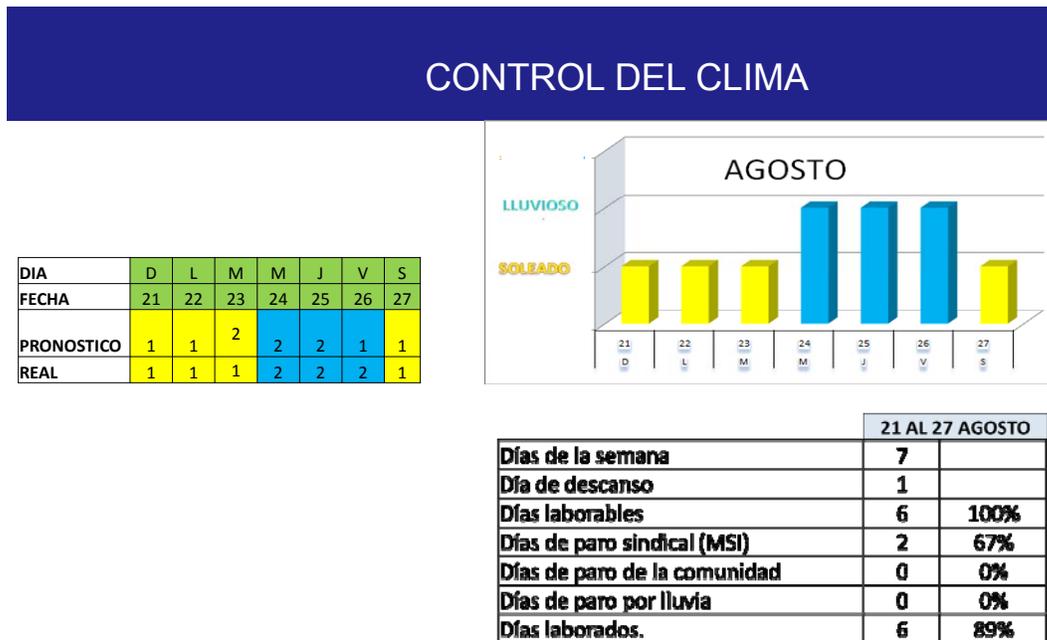


Figura 6.4 Control de clima en proyecto Nuevo PEMEX, para modernización de las plantas de pretratamiento y tratamiento de agua

6.5 Sistema de gestión de calidad

Los sistemas para gestión de la calidad en las empresas como el ISO 9000, fueron creados con la finalidad de garantizar que los procesos internos de las empresas funcionen en forma consistente, con cierto orden y organización, eficientemente y buscando la mejora para lograr un bien o servicio con un nivel de calidad dentro de los parámetros que sean definidos. Por tanto, muchas empresas han adoptado estos sistemas adquiriendo la certificación a través entes u organismos especializados como Bureau Veritas, con la esperanza de ser más rentables, más eficientes y contar con reconocimiento en el mercado.

No obstante, a pesar de la implementación de los sistemas de calidad como ISO 9000, el funcionamiento de algunas empresas continua siendo deficiente, con pérdidas económicas y generando productos o servicios de calidad que podría ser mucho mejor

o a menor costo. Esto debido a que los procedimientos, formatos, lineamientos o auditorias no garantizan la buena gestión de las actividades ni tampoco ni que las mismas se desarrollen de forma eficiente. Más allá de fortalecer a la empresa y de generar su mejora continua a veces las estructuras se vuelven pesadas, con demasiados procedimientos y personal necesario para llenar formatos, atender múltiples reuniones, documentar las mismas y generar sin fin de reportes o indicadores que deberían corregir desviaciones y permitir alcanzar los objetivos.

Las obras y los proyectos actualmente se contratan con plazos muy restringidos que obligan a desarrollar actividades de forma coordinada, eficiente y solamente una vez.

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se derivan del presente proyecto se describen a continuación:

1.- Los proyectos de tratamiento de agua en México son necesarios para: a) saneamiento de aguas negras evitando tanto enfermedades en la población como la contaminación de los ecosistemas; b) abastecer de agua potable a toda la población del país; c) mantener la producción de energía eléctrica y d) satisfacer las necesidades de la industria privada farmacéutica, de alimentos, petroquímica, automotriz, etc.

2.- Para definir el tren de tratamiento que garantice una planta confiable y, por consecuencia un proyecto exitoso, es necesario caracterizar el agua cruda en laboratorios acreditados conforme a la normatividad vigente, identificando sus componentes adecuadamente en forma histórica a través del tiempo y no de manera puntual.

3.- Tomando en cuenta los proyectos para tratamiento de agua residual que se mencionaron en este proyecto, puedo establecer que los siguientes procesos son los más utilizados actualmente en México: desbaste, decantación a gravedad, lodos activados, clarificación secundaria, digestión, espesamiento de lodos y desinfección.

4.- Una adecuada ingeniería de detalle permite obtener una planta de tratamiento confiable, que garantice la eficiencia durante su vida útil. De lo contrario, las carencias en la ingeniería pueden originar una planta inestable, con muchos gastos operativos e incluso riesgosa para la seguridad de los operadores.

5.- Durante la ingeniería de detalle es posible generar ahorros en la ejecución de los proyectos, buscando alternativas de construcción y optimizando los componentes necesarios para funcionamiento de la planta. Así mismo, en esta etapa del proyecto es posible hacer un balance entre los costes operativos y los de inversión, para establecer los beneficios de: utilizar equipos más eficientes, incrementar el grado de automatización o reducir el consumo de químicos.

6.- El área de compras y logística es muy importante para abastecer las necesidades de la ingeniería en tiempo y forma: entregando información de productos, coordinando la adquisición de bienes y exigiendo a los proveedores el cumplimiento de sus obligaciones en la entrega de información técnica.

7.- Los proyectos de tratamiento de agua se llevan a cabo en las siguientes etapas: propuesta, ingeniería, suministros, construcción y puesta en marcha, acompañados por el control de proyecto (planificación). Siendo el gerente o director de proyecto la figura más alta en la organización, quién debe saber orientar al equipo y tomar las acciones pertinentes para controlar el mismo.

8.- La estructura organizacional de una empresa es clave para conseguir el éxito en los proyectos y mantenerse competitiva en el mercado. Es indispensable mantener el personal mínimo con experiencia que permita afrontar los retos existentes y orientar los recursos propios de la empresa.

RECOMENDACIONES

1.- Es conveniente que la ingeniería básica de una planta se desarrolle mediante los especialistas técnicos propios de la empresa, mientras que la ingeniería de detalle se subcontrate parcial o totalmente con la debida supervisión y control de la calidad en los documentos. Esto con la finalidad de hacer ingeniería confiable dentro de un presupuesto razonable.

2.- Es recomendable realizar un control en la calidad de los productos, a través de inspección en talleres de fabricación, pruebas, certificados de calidad, etc., de tal forma que se genere un expediente o data book de los suministros relevantes, que finalmente quede a disposición de los usuarios finales de la planta.

3.- Las pruebas y puesta en marcha de las plantas comúnmente se deben llevar a cabo en tiempos muy reducidos, por los atrasos que se han tenido en las etapas previas del proyecto. No obstante, es conveniente mantener la secuencia normal de etapas: pruebas fin de montaje, pruebas con carga, estabilización de los procesos y automatización del sistema.

4.- Se sugiere la revisión del contrato por parte de las diversas áreas de la empresa desde la fase de licitación o propuesta (antes de la firma del mismo), cuando la relación comercial todavía puede modificar algún aspecto o cláusula, con el propósito de reducir riesgos y obtener un mejor beneficio del proyecto.

5.- Es recomendable estandarizar los procesos de tratamiento, generar procedimientos e instructivos para reducir los errores en la ejecución, así como hacer más eficiente las actividades dentro de la empresa; lo cual se reflejará en la reducción de costos y mejor beneficio en cada uno de los proyectos.

BIBLIOGRAFIA

- 1) COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. **Estadísticas de Agua en México** Edición 2016.
- 2) Degrémont. **Water Treatment Handbook**, 7th edition. France, 2007.
- 3) Logsdon, G.; Hess, A. and Chipps M; Rachwal, A. **Filter Maintenance and Operations Guidance Manual**. AWWA Research Foundation and American Water Works Association, 2002.
- 4) Tchobanoglus, G.; Burton, F.; Stensel, D.). **Wastewater Engineering - Treatment and Reuse**, 4th edition. Metcalf & Eddy, Inc. 2003.
- 5) NIPPON JOGESUIDO SEKKEI/BLACK AND VEATCH INTERNATIONAL. **Diseño conceptual Plantas Potabilizadoras para Mexicali B.C.N.** 2002.
- 6) Droste, R. **“Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment”**, 1st edition. Wiley and Sons Ltd., 1996.
- 7) Moles, J. **“Eaux de distribution- Désinfection”**. 2007.
- 8) Nayyar, M. **“Piping Handbook”**, 7th edition. Mc Graw Hill, 2000.
- 9) Viejo, M.; Álvarez, J. (2005). **“Bombas: Teoría, Diseño y Aplicaciones”**, 3a edición. Editado Limusa, Noriega Editores.
- 10) COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. **Diseño de Plantas Potabilizadoras Tipo de Tecnología Simplificada**. Edición 2015.
- 11) Appels, L.; Baeyens, J.; Degève, J. and Dewil R. **Article: Principles and potencial of the anaerobic digestion of waste-activated sludge**. ScienceDirect, ELSEVIER, 2008.
- 12) Clarifier Design Task Force of the Water Environment Federation. **Clarifier Design, WEF Manual of Practice No. FD-8**, 2nd Edition, Mc Graw Hill, 2005.
- 13) Nemerow, N.; Agardy, F.; Sullivan, P.; Salvato, J. **Environmental Engineering**, 6th edition. Jhon Wiley & Sons, Inc. 2009.
- 14) Cheremisinoff, N. P. (2002). **“Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies”**, 1a edición. Editado por Butterworth – Heinemann.

REFERENCIAS. CITAS ELECTRÓNICAS.

1. Página oficial de CONAGUA. Publicaciones.
<http://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM2016.pdf>
2. Página del Diario La Jornada Baja California.
<http://jornadabc.mx/tijuana/15-06-2016/construira-consorcio-internacional-desalinizadora-de-agua-en-rosarito>
3. Página del fabricante de membranas General Electric Water.
<http://www.gewater.com/products/membrane-bioreactor-mbr.html>
4. Video de la planta Potabilizadora “Ciudad del Agua”.
<https://www.youtube.com/watch?v=76YZ7FxJh40>
5. Página oficial de CONAGUA. Publicaciones.
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/11DisenoDePlantasPotabilizadorasTipoDeTecnologiaSimplificada.pdf>
6. Sitio de equipos y soluciones de “Degremont Technologies”.
http://www.degremont-technologies.com/~degremon/cms_medias/pdf/AWPT-BrineIX-US.pdf
7. Página de la compañía LANXESS. Boletín Técnico membranas Lewabrane.
http://lpt.lanxess.com/fileadmin/user_upload/Lewabrane_Manual_Element_Installation_ENG.pdf
8. Sitio para guía de la Bitácora Electrónica de Obra Pública .
<https://www.uv.mx/contraloria/files/2013/02/18.Manual-de-Usuario-para-el-Administrador-de-Dependencia-y-entidad-Federativa.pdf>
9. Sitio de la empresa EMO, fabricante de rejillas de desbaste.
<http://www.emo-france.com/produits/degrillage/degrilleur-cable/>
10. Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Portal de Revistas académicas.
<http://www.revistas.uchile.cl/index.php/IG/article/view/32915>
11. Tratamiento de Aguas Residuales en México. BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO.
<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/5931/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20en%20M%C3%A9xico.pdf?sequence=4>
12. Water Treatment Manuals – Coagulation, Flocculation & Clarification. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.
https://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/EPA_water_treatment_mgt_coag_flocc_clar2.pdf

ANEXO I

PROYECTO DRAGADOS Agua Industrial 17 m³/hr

Planta desmineralizadora de agua San Lorenzo, Puebla. (2008-2009)

DATOS GENERALES

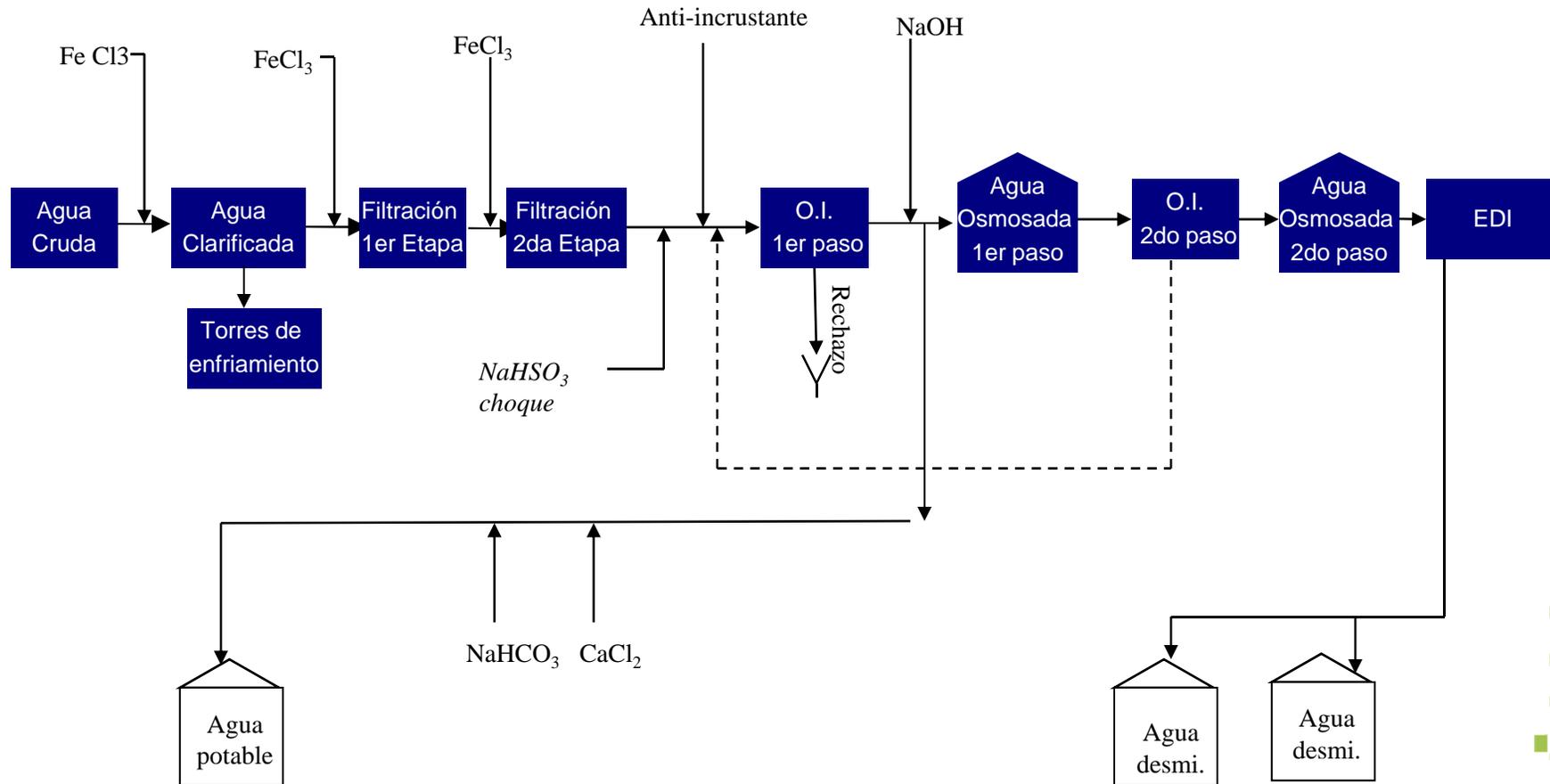
- OBRA CIVIL POR PARTE DEL CLIENTE.
- USUARIO FINAL: COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD (CFE).
- GARANTIA SOBRE CONDUCTIVIDAD Y SILICE.
- DESMINERALIZACION UFD .
- TAMAÑO MUY REDUCIDO DEL SITIO (14 x 20 Mts).
- ESTRUCTAS NORMAS DE CALIDAD Y SEGURIDAD .

CONCLUSIONES:

- APLICACIÓN RIGUROSA DE ESPECIFICACIONES A NIVEL DE PLANTA TERMoeLECTRICA.
- ESTRUCTA SUPERVISION DE CALIDAD A LOS SUMINISTROS Y MONTAJE, POR PARTE DEL CLIENTE Y USUARIO FINAL.
- CERO ACCIDENTES.



Proceso de tratamiento de agua de río, CC Tamazunchale I



ANEXO III

PROYECTO SWECOMEX Agua Industrial 33 m³/hr

Veracruz, MEXICO. (2008-2009)



DATOS GENERALES

- OBRA CIVIL POR PARTE DEL CLIENTE.
- USUARIO FINAL: PETROLEOS MEXICANOS (PEMEX).
- GARANTIA SOBRE LA ELIMINACION DE CO₂.
- DESGASIFICADOR A VACIO POR MEDIO DE VAPOR .
- TAMAÑO MUY REDUCIDO DEL SITIO (17 x 9 Mts).
- TRABAJOS RIESGOSOS EN UN COMPLEJO PETROQUIMICO CON ESTRICTO APEGO A LA SEGURIDAD .

CONCLUSIONES:

- APLICACIÓN RIGUROSA DE ESPECIFICACIONES A NIVEL DE PLANTA PETROQUIMICA.
- ESTRICTA SUPERVISION DE CALIDAD A LOS SUMINISTROS Y MONTAJE, POR PARTE DEL CLIENTE Y USUARIO FINAL.
- CERO ACCIDENTES.



Unidad desmineralizadora de agua U-552 N

