



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TESIS

**IMPORTANCIA DE LA EJECUCIÓN DE ALGUNAS
PRUEBAS EN LAS DISCIPLINAS QUE PARTICIPAN EN LA
CONSTRUCCIÓN Y ARRANQUE EN UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA QUÍMICA

PRESENTAN:

CAMPOS AGUILAR CYNTHIA DENISSE
FIGUEROA ORTIZ DULCE AYLEEN



Ciudad Universitaria, CD. MX.

AÑO 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: José Antonio Ortiz Ramírez
VOCAL: Profesor: Juan Mario Morales Cabrera
SECRETARIO: Profesor: José Fernando Barragán Aroche
1er. SUPLENTE: Profesor: Elsa Elvira Guinea Correas
2° SUPLENTE: Profesor: José Arturo Moreno Xochicale

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ASESOR DEL TEMA:

Juan Mario Morales Cabrera

SUSTENTANTE (S):

Cynthia Denisse Campos Aguilar

Dulce Ayleen Figueroa Ortiz

Índice

ÍNDICE.....	3
ÍNDICE DE TABLAS, GRÁFICOS Y LISTAS	6
INTRODUCCIÓN	9
REFERENTES TEÓRICOS	12
PROYECTO DE INGENIERÍA	12
1. Fase de Ingeniería.....	13
2. Fase de procuración	17
3. Fase de construcción	20
4. Fase de arranque	22
PRUEBAS REALIZADAS EN EL DESARROLLO DE UN PROYECTO	25
FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	29
DISCIPLINAS QUE PARTICIPAN EN UN PROYECTO DE UNA PTAR.	32
1. Ingeniería Civil	33
2. Ingeniería de Procesos.....	34
3. Ingeniería Mecánica	35
4. Ingeniería Eléctrica	36
5. Instrumentación	37
6. Tuberías	37
OBJETIVOS	39
OBJETIVO PARTICULAR	39
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	39
RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	40
GUIÓN DE ENTREVISTA	40

RESULTADOS	42
ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
I) PRUEBAS CIVILES	53
Prueba de Compactación	53
Prueba de Colado.....	56
Prueba de Revenimiento.....	60
Prueba de corazones de concreto.....	64
Prueba en geomembranas no-destructivas.....	66
Prueba en geomembranas destructivas	68
II) PRUEBAS ELÉCTRICAS	69
A tierra.....	69
De continuidad	72
Aislamiento.....	74
Voltaje	78
Amperaje.....	81
III) PRUEBAS EN TUBERÍAS.....	83
Soldadura	83
Hermeticidad (cambio de presión)	86
Fugas (hidrostática)	88
IV) PRUEBAS MECÁNICAS	90
Alineación.....	90
Vibración	95
V) PRUEBAS DE PROCESOS	97
Pruebas de equipos.....	97
VI) PRUEBAS DE INSTRUMENTACIÓN	100
Instalación.....	100
Verificación	108
Calibración.....	108

CONCLUSIONES	110
MAPEO DE PRUEBAS	112
REFERENCIAS	113
GLOSARIO	118
ANEXOS	121
ANEXO A. SIMBOLOGÍA DE INSTRUMENTACIÓN.	121
ANEXO B. TÍPICO DE INSTRUMENTACIÓN.	123
ANEXO C. EJEMPLO DE HOJA PARA VERIFICAR EL AISLAMIENTO.	124
ANEXO D. EJEMPLO DE HOJA DE VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN.	125
ANEXO E. EJEMPLO DE HOJA DE PRUEBAS EN TUBERÍAS.	126
ANEXO F. EJEMPLO DE HOJA DE PRUEBAS MECÁNICAS.	127
ANEXO G. EJEMPLO DE DTI.	128
ANEXO H. MAPEO DE PRUEBAS	129

Índice de tablas, gráficos y listas

Figura 1. <i>Ejemplo de las Actividades Desarrolladas en la Fase de Ingeniería</i>	17
Figura 2. <i>Ejemplo de actividades desarrolladas en la fase de procuración</i> ..	19
Figura 3. <i>Actividades realizadas en la Fase de Procuración</i>	20
Figura 4. <i>Ejemplo de actividades desarrolladas en la Fase de Construcción</i>	21
Figura 5. <i>Actividades realizadas en la Fase de Construcción</i>	22
Figura 6. <i>Ejemplo de actividades desarrolladas en la Fase de Arranque</i>	24
Figura 7. <i>Proceso del Tratamiento general del Agua Residual</i>	29
Figura 8. <i>Proceso de Tratamiento General de Lodos</i>	30
Figura 9. <i>Mala Compactación del Concreto</i>	55
Figura 10. <i>Sangrado del Concreto</i>	56
Figura 11. <i>Panal de abeja en Concreto</i>	57
Figura 12. <i>Huecos superficiales en Concreto</i>	58
Figura 13. <i>Color No Uniforme del Concreto</i>	58
Figura 14. <i>Descarga de Colado</i>	59
Figura 15. <i>Aplicación del Colado</i>	59
Figura 16. <i>Mezcla de Concreto</i>	61
Figura 17. <i>Segregación del Concreto</i>	62
Figura 18. <i>Prueba de Revenimiento</i>	63
Figura 19. <i>Ejemplo del Efecto de la Adición de Agua sobre el Asentamiento y la Resistencia del Concreto</i>	63
Figura 20. <i>Consecuencia de una mala resistividad</i>	64
Figura 21. <i>Prueba de Corazón de Concreto</i>	65
Figura 22. <i>Soldadura por Extrusión</i>	67
Figura 23. <i>Colocación de una Geomembrana</i>	68
Figura 24. <i>Medición de Conexión a Tierra</i>	72

Figura 25. <i>Prueba de Continuidad</i>	74
Figura 26. <i>Aislamiento del Cableado</i>	77
Figura 27. <i>Aislamiento en Columna</i>	78
Figura 28. <i>Caída de Voltaje</i>	79
Figura 29. <i>Incremento del Voltaje</i>	80
Figura 30. <i>Pico de Voltaje</i>	80
Figura 31. <i>Desbalanceo del Voltaje</i>	81
Figura 32. <i>Medición del Amperaje</i>	82
Figura 33. <i>Esquema Básico de Soldadura</i>	85
Figura 34. <i>Tubería Soldada. Ejemplo 1</i>	85
Figura 35. <i>Tubería soldada. Ejemplo 2</i>	86
Figura 36. <i>Tubería Hermética</i>	88
Figura 37. <i>Pruebas Hidrostáticas</i>	89
Figura 38. <i>Tubería Próxima a Enterrarse</i>	90
Figura 39. <i>Máquina Rotatoria fuera de la Tolerancia</i>	92
Figura 40. <i>Máquina Rotatoria dentro de la Tolerancia</i>	92
Figura 41. <i>Prueba de Alineación (Máquina Rotatoria Alineada)</i>	94
Figura 42. <i>Prueba de Alineación 2 (Máquina Rotatoria Alineada)</i>	95
Figura 43. <i>Medición de la Vibración</i>	96
Figura 44. <i>Bomba modelo 3700</i>	97
Figura 45. <i>Pantalla de Cuarto de Control</i>	101
Figura 46. <i>Medidor de Flujo de Entrada</i>	102
Figura 47. <i>Medidor de Flujo de Salida</i>	102
Figura 48. <i>Conexiones a Tableros de Instrumentos</i>	104
Figura 49. <i>Sistemas de Control</i>	105
Figura 50. <i>Ejemplo de Diagrama de Proceso</i>	106
Figura 51. <i>Edificio de Control</i>	107
Figura 52. <i>Cuarto de Control</i>	107

Tabla 1 <i>Pruebas seleccionadas desarrolladas en el presente trabajo</i>	26
Lista 1 <i>Elementos típicos en la ingeniería básica</i>	15
Lista 2 <i>Elementos típicos de la ingeniería de detalle</i>	16
Lista 3 Elementos básicos de relaciones humanas en un proyecto	23

Introducción

Este trabajo tiene el propósito de unificar conocimientos dispersos de la bibliografía y del conocimiento empírico por medio de un análisis metódico y la recopilación de información para lograr tener una ruta de seguimiento de forma efectiva con la perspectiva de un ingeniero de proyectos y una descripción general de las pruebas que se tienen que llevar a cabo en las fases de construcción y arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los objetivos aquí planteados.

Debido a que es un trabajo que requiere de una profunda investigación y análisis, ejecutado de manera correcta, la propuesta final podría no solo usarse en una PTAR si no también puede extrapolarse considerando cambios particulares a otro tipo de planta que quiera asegurarse de tener un arranque seguro, efectivo y eficiente, cuidando la seguridad de los trabajadores, el funcionamiento de la planta y su mantenimiento, minimizando los riesgos posibles.

Como se sabe, el agua es de los principales recursos que se necesitan, y como lo menciona SEMARNAT (2006): "En los últimos 100 años, el crecimiento mundial de la demanda de agua dulce, así como el aumento de los problemas de contaminación y deterioro de la calidad del agua, debido al escaso e inadecuado tratamiento de las aguas servidas y de los depósitos de basura, fuera de sitios de disposición final bien establecidos, han reducido notablemente la disponibilidad de este líquido en el planeta"

Por lo tanto, verificar una planta de tratamiento de agua residual es de gran importancia y de gran impacto para la sociedad actual.

Las plantas modernas son cada vez más grandes y complejas que las anteriores, tanto en su proceso, tecnología, instrumentación, control, siendo, además, intensivas en capital.

En el trabajo de Del Rio (s.f) menciona que las estadísticas sobre las causas de retraso en arranques en plantas son:

- 61% debido a deficiencias en equipo
- 10 % por diseño inadecuado
- 16% por defectos de construcción
- 13% por fallas de operación (error humano)

Para ello, las pruebas que se realizan son fundamentales para alcanzar un buen objetivo. Las pruebas en un proyecto pueden ser generales y particulares, además de que se realizan en cada fase del proyecto: ingeniería, construcción y arranque.

Para fines de este trabajo se limitará a una PTAR debido a que se cuenta con la información necesaria para su estudio y para fines prácticos se seleccionaron las etapas de construcción y arranque debido a que son donde se llevan a cabo las pruebas en sitio (campo), y en donde diferentes disciplinas participan en el proyecto.

Al hacer referencia a una PTAR existen dos formas de realizar las pruebas, en primer lugar, pruebas particulares por áreas: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario y tratamiento de lodo, en segundo lugar, por disciplinas: eléctrico, mecánico, civil, proceso, instrumentación y de tuberías. En este trabajo estaremos haciendo el análisis tomando en cuenta el segundo escenario; por disciplinas.

La finalidad de esta investigación es ser un complemento para conocer parte del proceso que se realiza en la construcción y el arranque de una planta para verificar el funcionamiento correcto de esta, también logra otros objetivos de forma indirecta, como lo es el concientizar a las personas que se enfocan en ingeniería de proyectos de la gran responsabilidad que tienen. Como lo menciona la OCC (2019), las actividades que realiza un ingeniero de proyectos son:

- Suministrar la información que permita diseñar y ejecutar proyectos a su cargo.
- Participar en el diseño de detalle de los proyectos.

La entrega de una planta diseñada con condiciones óptimas de funcionamiento hace que sea más duradera y eficiente, logrando ser más segura para el proceso, el medio ambiente, con los trabajadores y la población cercana a esta.

Referentes teóricos

Es importante conocer las fases que se ejecutan en un proyecto de ingeniería a fin de entender las actividades que se llevan a cabo, como se mencionó anteriormente, este trabajo se centrará en las fases de construcción y arranque, así mismo también se planteará el funcionamiento general de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Proyecto de Ingeniería

Un proyecto, es una idea en la cual se sigue una secuencia de actividades interrelacionadas con objetivos comunes, todo proyecto de ingeniería debe cumplir con cuatro aspectos muy importantes: tiempo, costo, alcance y calidad, los cuales tienen que estar en equilibrio para lograr la funcionalidad de la planta.

Rodríguez (comunicación personal, 2018) señala que en los proyectos existe un método lógico de ejecución, donde se incluyen los siguientes pasos (los cuales se discutirán más adelante con mayor detalle en este trabajo):

- Completar el diseño de la ingeniería básica suministrada por el cliente o el tecnólogo.
- Desarrollar la ingeniería de detalle (consiste en especificar todos los elementos físicos y materiales que formarán la nueva planta).
- Realizar la procuración de equipos y materiales.
- Realizar la construcción, hasta completar el comisionamiento y arranque de la planta.

Este proceso hecho de forma secuencial es muy largo y costoso, por lo que se ha generado el modelo de contrato IPC; en el cual el contratista asume la responsabilidad total por la ejecución del proyecto completo, en un plazo récord.

Para cumplir con el proyecto, el contratista requiere realizar en forma simultánea las operaciones de ingeniería, procuración y construcción y así mismo, asignar desde el inicio personal al comisionamiento y arranque para identificar los requerimientos en el diseño de partes de repuesto y elementos para un arranque efectivo de la planta.

Cualquier retraso es penalizado por el cliente al contratista con montos de dinero significativos, con el propósito de asegurar el cumplimiento del contrato.

Todo este proceso requiere de una dirección, supervisión y seguimiento del avance y lograr la finalización exitosa del proyecto.

Dentro de la etapa de ingeniería encontramos lo siguiente:

1. Fase de Ingeniería

□ Ingeniería conceptual:

En esta etapa se genera la idea y se determina la tecnología que se utilizará, así como la capacidad que tendrá la planta, la localización de ésta y finalmente se estima la factibilidad del proyecto.

En el trabajo presentado por Rangel (2003) se establece que en esta etapa se permite revisar y confirmar con mayor precisión aspectos técnicos y económicos. Se evalúan las soluciones a las posibles opciones que no se consideraron durante la selección de la tecnología y se toman decisiones que pueden modificar el alcance original del proyecto, por ejemplo, la cancelación de algunos sistemas.

Se inicia la identificación y preparación inicial de la documentación y las actividades que darán apoyo al proyecto. Los elementos más importantes en esta actividad son: elaboración de las bases de diseño, definición de la

capacidad de instalación de la planta y la definición de los códigos y normas aplicados en el proyecto.

□ Ingeniería básica:

Se elaboran y reúnen un conjunto de documentos que contienen información elemental relacionada con el proceso que permite diseñar, operar y controlar la planta con seguridad y sustentabilidad, algunos ejemplos de documentos entregables son:

- Arreglo general
- Descripción del proceso
- Bases de diseño
- Criterios de diseño
- Diagrama de flujo de procesos (DFP)
- Diagrama de tubería e instrumentación (DTI)
- Diagrama de servicios auxiliares
- Lista de equipo
- Hojas de datos de equipos preliminares
- Plano de localización de equipo
- Documentos de seguridad y manejo de efluentes; entre otros.

Rodríguez (comunicación personal, 2018) señala que en estos documentos se incluye el diseño, cálculo y especificación de todos los elementos y materiales de la planta, con condiciones de diseño y operación.

Rangel, (2003) considera que, en esta etapa, la información desarrollada por la disciplina de proceso define en forma clara el sistema y el proceso de la planta. Esta información se usa en las otras disciplinas y para la siguiente etapa de ingeniería.

En la lista 1 se refiere a las actividades genéricas que se ejecutan en esta etapa.

Lista 1

Elementos típicos en la ingeniería básica

- Diagramas de flujo de proceso.
- Cálculos y hojas de datos preliminares del equipo de la planta.
- Elaboración del índice preliminar.
- Plano de cimentaciones.
- Lista de equipo.
- Definición de los principales proveedores de equipos y materiales.
- Requisición y orden de compra de los materiales críticos del proyecto.
- Especificaciones del equipo.
- Elaboración del índice y las hojas de datos preliminares de instrumentos.
- Definición del plan de coordinación de materiales y programa de actividades.
- Estimado de inversión.
- Desarrollo de especificaciones eléctricas.
- Lista preliminar de motores y requerimientos de carga.
- Diagrama unifilar preliminar.

Nota. Tomada de Rangel, 2003.

□ Ingeniería de detalle:

Permite preparar la documentación mencionada anteriormente para la ejecución y construcción de la planta, es aquí donde inicia el procedimiento de “chequeo cruzado” (squad check) donde todas las disciplinas que participan en el proyecto convergen, comparan y comparten sus documentos para verificar que los criterios de diseño coincidan con el fin de evitar interferencias que puedan llegar a presentarse.

Rodríguez (comunicación personal, 2018) se refiere a que dentro de los resultados de la ingeniería de detalle se encuentran los planos arquitectónicos, civiles, eléctricos, mecánicos, de tubería, de instrumentación, los planos de la distribución de equipos con las dimensiones físicas de todos los elementos y la lista de materiales. Es común que en esta etapa se realicen modelos en 3D.

En el trabajo presentado por Rangel (2003) se indica que esta fase se inicia cuando se ha especificado en definitiva el diseño del proceso, por lo que los cambios que se realicen solo se harán en caso de que los equipos del proceso no operen en forma correcta para obtener el producto deseado, o que el equipo no garantice una operación segura y sea necesario reemplazarlo. También, se puede realizar un cambio substancial cuando se hayan identificado una reducción en el costo de la planta y en la duración de ejecución del proyecto.

Aquí se desarrollan en forma precisa los conceptos definidos en las fases previas de ingeniería, de tal manera que la información generada se utilizará en las fases de procuración y construcción. La lista 2 muestra los elementos típicos de la ingeniería de detalle y la figura 1 muestra las actividades que se realizan de manera secuencial en esta etapa.

Lista 2

Elementos típicos de la ingeniería de detalle

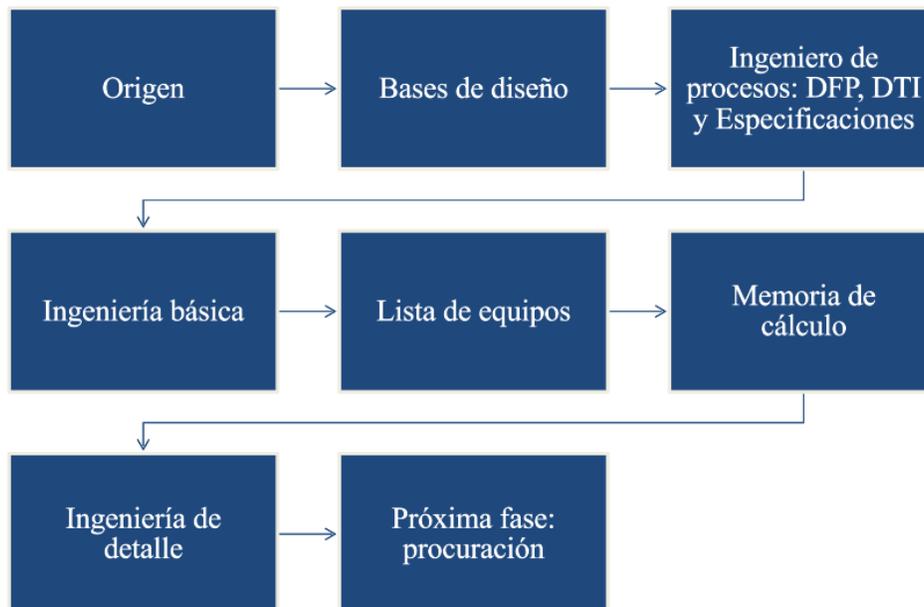
- Adición en los DTI's de los números de líneas y válvulas.
- Adición de datos de bombas, equipo y líneas en los diagramas de tubería e instrumentación (DTI's)
- Requisiciones, análisis de proveedores, recomendaciones de ingeniería para los subcontratos.
- Aprobación de los documentos del proceso.
- Identificación de las áreas peligrosas.
- Desarrollo de la configuración del sistema eléctrico.
- Revisión final de los sistemas de seguridad.
- Completar los DTI's de proceso y de los servicios auxiliares.
- Dibujos y especificaciones para construcción de las disciplinas de proceso, mecánico, instrumentación, tuberías y civil.
- Revisión con cliente de la información generada por las disciplinas.
- Revisión y aprobación de los dibujos del proveedor.

- Revisión de los diseños de ingeniería para aplicar buenas prácticas de construcción y mantenimiento.
- Conclusión de las especificaciones y dibujos para la construcción.
- Revisión del diseño de tuberías.
- Completar los manuales de operación y de datos técnicos.
- Revisión final de la operabilidad del proyecto.

Nota. Tomada de Rangel, 2003.

Figura 1.

Ejemplo de las actividades desarrolladas en la fase de ingeniería



2. Fase de procuración

Morales menciona que en esta etapa se planifican las compras de materiales y equipos; se comienza con la búsqueda (solicitud de cotizaciones con evaluación técnica y económica) así mismo con la selección de proveedores.

En el momento en que se selecciona a los proveedores, se procede a realizar un primer pago, considerándose como el anticipo por el material o equipo, en caso de que el equipo se tenga que construir, este anticipo se utiliza para que el proveedor adquiera el material y con ello comience la construcción de este.

Se procede con un segundo pago para asegurar que el equipo se encuentre en óptimas condiciones, se realizan pruebas en taller, es decir, en el lugar donde se construyó el equipo, con el fin de verificar que el equipo funcione.

El tercer pago se efectúa al momento de que el proveedor realiza la entrega en físico del equipo en el lugar correspondiente y finalmente el último pago (cuarto) se ejecuta cuando el equipo está instalado, se inspecciona la calidad de materiales, se procede a realizar algunas pruebas a diferentes condiciones de operación para verificar el correcto funcionamiento; como se puede observar en la figura 2. (comunicación personal, 2018)

Rodríguez (comunicación personal, 2018) establece que en la fase de procuración es en donde se realiza la adquisición, expedición, inspección, tráfico y logística de todos los equipos y materiales necesarios para construir la planta, logrando la obtención de todos los materiales y elementos físicos del proceso.

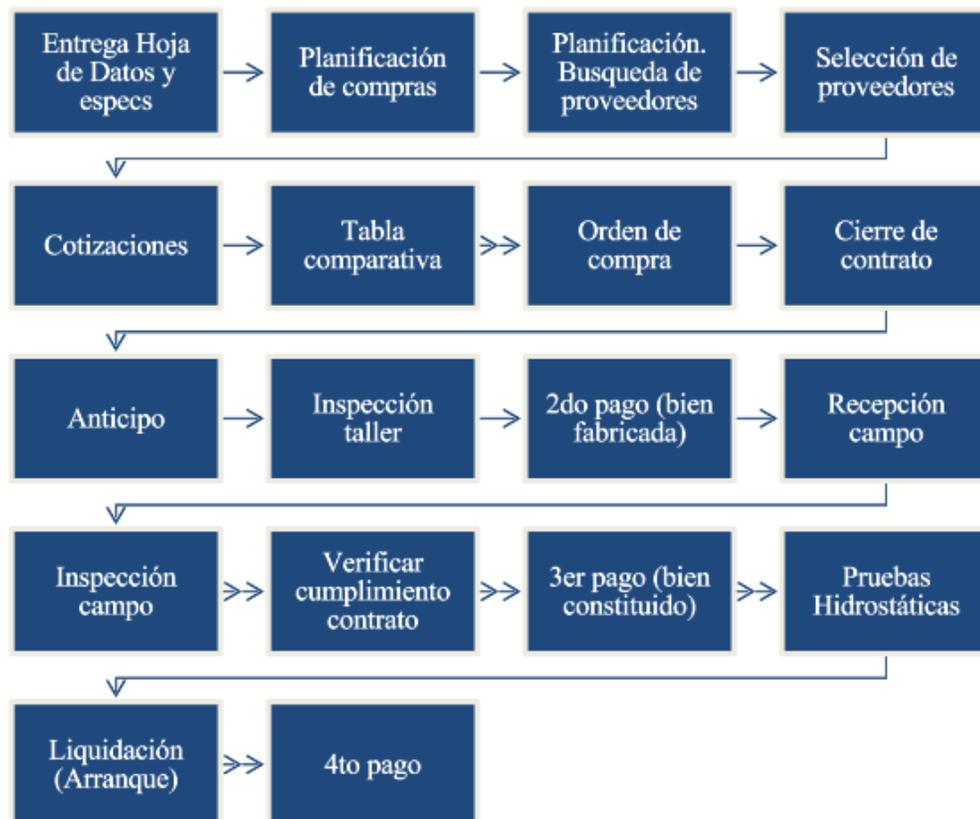
Con frecuencia la adquisición de los equipos se realiza en el extranjero, por lo tanto, en muchas ocasiones se requiere que las personas que realizan estas actividades sean especializadas en temas de importaciones y el proceso que se realiza en aduanas, los porcentajes de aranceles entre otros conceptos propios del ramo.

Rangel (2003) establece que en esta fase es en la que se adquieren los bienes o servicios precisos que previamente se seleccionaron en la fase

de ingeniería y que serán usados en el sitio donde se localiza el proyecto. Los bienes o equipos tales como recipientes, equipos rotatorios, transformadores eléctricos, etcétera, serán aquellos que se instalarán permanentemente en la planta. Se incluyen los materiales de instalación permanente tales como alambres, conductores, conectores, etcétera. Los servicios generalmente se subcontratan por un tercero cuando no tiene la experiencia o conocimientos técnicos precisos (know-how), o por convenir así a sus intereses económicos. Si el tiempo es un factor clave, también se subcontrata a un tercero.

Figura 2.

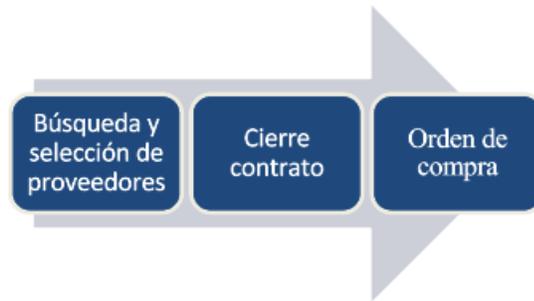
Ejemplo de actividades desarrolladas en la fase de procuración



La figura 3 nos indica el proceso para realizar la compra de los equipos, iniciando por la búsqueda y selección de proveedores.

Figura 3.

Actividades realizadas en la fase de procuración



3. Fase de construcción

Consiste en la contratación de maquinaria pesada y mano de obra para comenzar la excavación, definir las bases de cimentación y finalmente la construcción de la planta; es en esta etapa cuando se comienzan con las pruebas civiles, mecánicas y eléctricas.

Según Rodríguez (comunicación personal, 2018) en esta fase se realiza la preparación del sitio, la construcción civil y estructura, el montaje del equipo mecánico y eléctrico, instalaciones de tuberías, eléctricas, sistemas de control y de telecomunicaciones y las pruebas correspondientes.

Con base en el trabajo de Rangel (2003) la etapa o fase de construcción es aquella en la que se hace realidad la actividad de ingeniería, a partir de las especificaciones, normas y regulaciones estatales o federales que controlen o regulen las actividades específicas. En esta fase se deben detectar errores u omisiones de ingeniería en la fase inicial de

construcción a fin de evitar, incurrir en demoras de tiempos de construcción o costos fuera del presupuesto.

La figura 4 indica las actividades que se realizan en la fase construcción y en la figura 5 se muestran los pasos ejecutados al momento de hacer la recepción de equipos y materiales en campo.

Figura 4.

Ejemplo de actividades desarrolladas en la fase de construcción

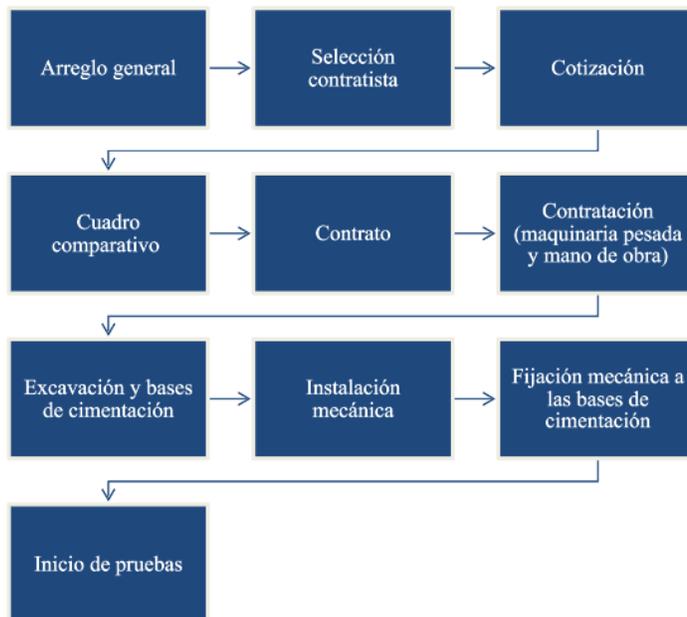


Figura 5.

Actividades realizadas en la fase de construcción



4. Fase de arranque

Es la última etapa antes de que la planta entre en operación, es donde continúan las pruebas eléctricas, mecánicas y de tuberías, estas últimas se realizan en seco y con fluido, todas las pruebas deben realizarse lo más cuidadosamente posible y exactas, ya que cualquier resultado erróneo puede ser muy costoso.

El arranque de la planta suele realizarse por áreas hasta llegar a un régimen permanente, ejemplo de ellas son: pre-tratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario para el caso específico de una PTAR.

De acuerdo con Rodríguez (comunicación personal, 2018) en la etapa de arranque se realizan distintas pruebas para asegurar el objetivo final de la planta; como pruebas de sistemas en frío, en caliente, se realiza la capacitación de operadores, la calibración de instrumentos, pruebas de desempeño para lograr el arranque correcto de la planta y que cumpla con el contrato correspondiente para la entrega al cliente.

Rangel (2003) establece en su trabajo, que en esta fase se deben asignar el soporte técnico y económico para el logro de los objetivos trazados originalmente, sean nuevos productos o bienes de consumo.

Por la cantidad, diversidad y complejidad de los equipos de proceso, eléctricos, de instrumentos y sistemas de control; incluidos en el alcance de la obra, se deberá enfatizar la elaboración de manuales técnicos, utilizando la documentación técnica entregada por los proveedores.

También aquí se realizan los ensayos y pruebas finales de la planta, hasta la satisfacción del cliente, o el inicio de producción u operación. Por tal motivo, al cliente se le debe hacer entrega de una evaluación del comportamiento o garantía de producción neta, parcial o total del objeto del contrato de la planta, en los aspectos técnicos, económicos y ambientales. Adicional a ello se realizan pruebas de verificación, donde se analiza el efluente por medio de un laboratorio certificado que cumpla con la normatividad del contrato. Ejemplo de pruebas de verificación en una PTAR: análisis del efluente mediante un laboratorio certificado cumpliendo con la normatividad de contrato.

Por último, se deberá proporcionar al cliente final, la capacitación en la operación y mantenimiento de la planta productiva. Además de una actitud positiva y constructiva, basada en una sólida preparación técnica, en la lista 3 se sugieren algunos puntos para reforzar el trabajo de equipo en un proyecto.

Lista 3

Elementos básicos de relaciones humanas en un proyecto

- Dar libertad a las personas para que sean ellas mismas.
- Convertir el lugar de trabajo en una comunidad de aprendizaje.
- Compartir los progresos técnicos y experiencias.

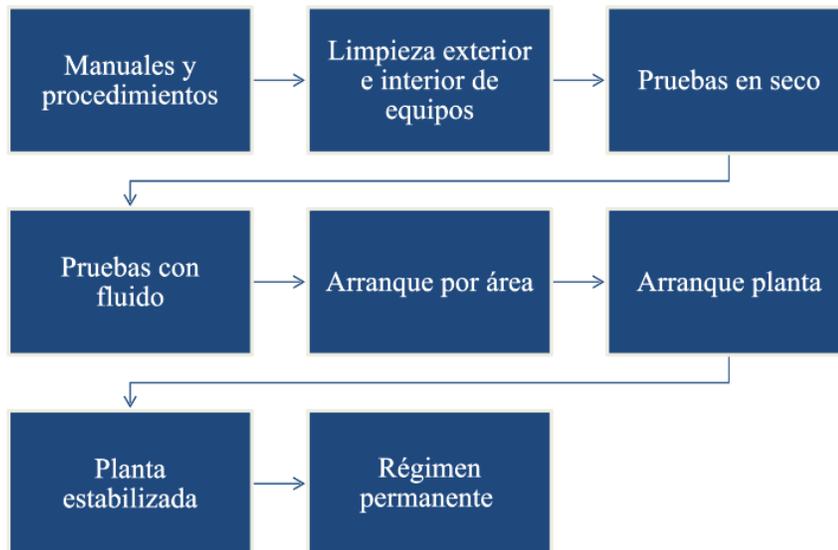
- Hacer lo pertinente en vez de hacer bien las cosas.
- Transformar a la empresa en el mejor lugar para trabajar.
- Manifiestar la importancia de la labor de cada trabajador.
- Aprender lo que motiva al personal.
- Practicar lo que se predica.
- Escuchar a los empleados.
- Contratar a la persona adecuada.

Nota. Tomada de Rangel, 2003.

En la figura 6 se puede observar las actividades que se ejecutan en la última fase de un proyecto, hasta lograr el correcto funcionamiento de la planta.

Figura 6.

Ejemplo de actividades desarrolladas en la fase de arranque



Como ya se mencionó anteriormente, en la gran mayoría de los proyectos participan diversas disciplinas, tales como: civil, mecánico, eléctrico, de procesos, tubería e instrumentación; sin embargo, en todo proyecto participa un ingeniero de proyectos quien regularmente tiene un perfil de ingeniero químico o área equivalente con conocimientos técnicos.

Puntualizando nuevamente actividades del ingeniero de proyectos, es el encargado de definir las bases del proyecto, es el responsable de que se cumplan los objetivos y de todo lo que concierne el proyecto, las actividades que realiza son:

- Planeación de actividades
- Organización de la distribución de los recursos
- Gestión del personal de acuerdo con sus aptitudes y capacidades
- Control del proyecto de acuerdo con indicadores y se encarga de la toma de decisiones, por lo que debe conocer todo lo que involucra el proyecto, no necesariamente a detalle, de igual manera analiza los posibles riesgos que puedan llegar a surgir durante todas las etapas e identificar la solución adecuada.
(Morales, comunicación personal, 2018)

Pruebas realizadas en el desarrollo de un proyecto

Como se pudo observar en las actividades que se realizan en cada fase del proyecto, en cada una se realizan distintas pruebas para asegurar su funcionalidad, eficacia y rendimiento para lograr un buen resultado manteniendo la seguridad de los trabajadores y el entorno.

Desde la perspectiva de un Ingeniero de Proyectos tener conocimiento de estas pruebas es de gran importancia para un pleno desempeño de su rol y salvaguardar la seguridad tanto del proyecto como la personal.

En este trabajo se mencionan las pruebas que se realizan y que son indispensables para el avance en la fase de la construcción y arranque de una planta de tratamiento de aguas residuales, conociendo su fundamento teórico y el motivo de su ejecución.

Las pruebas que fueron seleccionadas para la investigación y el análisis en el presente trabajo son presentadas en la tabla 1, pertenecientes a la disciplina civil; pruebas de compactación, colado, revenimiento, corazones de concreto, geomembranas, eléctrica; prueba a tierra, continuidad, aislamiento, voltaje y amperaje, de tuberías; soldadura, hermeticidad y fugas, mecánicas; alineación y vibración, de procesos; en equipos e instrumentación; instalación, verificación y calibración.

Es importante considerar que estas no son las únicas pruebas que se realizan en la fase de construcción y arranque de una PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) si no que existen otras que, por fines de objetividad de este trabajo no se mencionarán.

Tabla 1

Pruebas seleccionadas desarrolladas en el presente trabajo

Pruebas Civiles	Pruebas Eléctricas	Pruebas de Tuberías	Pruebas Mecánicas	Pruebas de Procesos	Pruebas de Instrumentación
Compactación	A tierra	Soldadura	Alineación	Equipos	Instalación
Colado	Continuidad	Hermeticidad	Vibración		Verificación
Revenimiento	Aislamiento	Fugas			Calibración
Corazones de Concreto	Voltaje				
Geomembranas	Amperaje				

Según la Secretaría Central de ISO (Norma Internacional ISO 9000, 2015) las pruebas en un proyecto pueden clasificarse de acuerdo a su finalidad:

De revisión, mismas que se ejecutan en las fases de ingeniería y procuración.

La revisión es la determinación de la conveniencia, adecuación o eficacia de un objeto para lograr unos objetivos establecidos.

De verificación, estas se comprueban en la fase de construcción.

Es la confirmación, mediante la aportación de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos especificados. La evidencia objetiva necesaria para una verificación puede ser el resultado de una inspección o de otras formas de determinación, tales como realizar cálculos alternativos o revisar los documentos. Las actividades llevadas a cabo para la verificación a veces se denominan proceso de calificación.

Validación, perteneciente a la fase de arranque

La validación es la confirmación, mediante la aportación de evidencia objetiva, de que se han cumplido los requisitos para una utilización o aplicación específica prevista. La evidencia objetiva necesaria para una validación es el resultado de un ensayo u otra forma de determinación, tal como realizar cálculos alternativos o revisar los documentos. Las condiciones de utilización para la validación pueden ser reales o simuladas.

En otras palabras, en la fase de revisión se realizan las pruebas pertinentes para asegurar de que los objetivos del proyecto se alcanzarán. Esta fase estaría representada por el desarrollo de la Ingeniería y la Procuración. Tomando en consideración las bases de diseño se realizarán: memorias de cálculo, hojas de datos de equipo, especificaciones de equipo y

materiales, diagramas o planos y catálogos de conceptos. Las pruebas (evidencias) a las cuales se sujetaría esta fase serían los Chequeos Cruzados, pues con ellos se estaría asegurando que todas las disciplinas de Ingeniería (Civil, Mecánica, Eléctrica, Instrumentación, Tuberías y Proceso) estarían enfocadas al mismo objetivo.

En la fase de verificación se realizan las pruebas (evidencias) de que lo que se esté desarrollando (Construcción) en base a la Ingeniería está orientado a lograr los propósitos del proyecto, para ello se tienen que realizar pruebas para asegurar su funcionamiento. Dichas pruebas tienen propósitos específicos, muy particulares e individuales de cada disciplina, pero viéndolas de forma integrada su propósito es el buen funcionamiento de todos los elementos que constituyen el proyecto, equipo, motores, cuerpos civiles, tuberías, accesorios, instrumentos, caleados, etc. Entre otras puede mencionarse, pruebas de hermeticidad, de soldadura, de continuidad, de revenimiento, etc.

Por último, en la fase de validación, las pruebas (evidencias) serán aquellas destinadas a cumplir el propósito del proyecto. En el caso de una Planta de Tratamiento de Agua Residual, el propósito será el cumplimiento cabal de los volúmenes y concentraciones de salida de DBO, DQO, sólidos suspendidos, sólidos totales, etc. entre otras características.

Para ello es indispensable que la prueba la realice un tercero (laboratorio especializado) que certifique de manera indudable que los componentes de salida están en los rangos acordados por el contrato del proyecto.

Las pruebas o evidencias (motivo del presente trabajo) comprenden la segunda fase: verificación. Por lo que las pruebas que se realizan en cada fase son imprescindibles para la continuidad del proyecto y cumplir con las normas correspondientes.

Antes de comenzar el desarrollo de las pruebas, es importante comprender y conocer el proceso de manera general el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales y con ello entender por qué se seleccionaron las pruebas mencionadas anteriormente.

Funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Una planta de tratamiento de aguas residuales se basa en una serie de operaciones unitarias y de un proceso biológico de lodos activados para lograr la eliminación de contaminantes orgánicos generados por la población más cercana.

El sistema de tratamiento engloba lo que se percibe en la figura 7 y 8:

Figura 7.

Proceso del Tratamiento general del agua residual



Figura 8.*Proceso de tratamiento general de lodos*

Se lleva a cabo el siguiente proceso en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

El agua residual o mejor conocido como afluente que proviene de diferentes actividades de los habitantes de la población más cercana se conduce por gravedad hasta ingresar en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

En la entrada suelen encontrarse dispositivos de control de flujo que facilitan el paso de la corriente de entrada a la PTAR, una vez entrando a la planta, pasa a la etapa de pretratamiento compuesta por cribas gruesas cuya función es separar los componentes de gran tamaño de las aguas residuales ya que estos componentes podrían ocasionar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los procesos, sistemas y operaciones.

Una vez que son separados, se llevan por medio de un transportador a un contenedor para su almacenamiento y luego de ser compactado, el agua drenada regresa nuevamente al canal de cribado.

Luego del cribado, el agua pasa debido a gravedad a los equipos desarenadores para separar los sólidos inorgánicos o arenas que se agregan al agua residual. Estas arenas pasan nuevamente utilizando la gravedad a un lavador y clasificador de arenas en donde se termina la separación del agua contenida en las arenas para llevarlas a un contenedor de almacenamiento, el agua retorna al canal de alimentación.

Las arenas junto con la basura son llevadas a lugares específicos para su tratamiento o al relleno sanitario.

Luego, las aguas pasan a otra etapa en donde son separadas las grasas que se encuentran emulsionadas con el fin de poder ser extraídas. Una vez separadas las grasas, la corriente o el flujo pasa por un cribado fino (tratamiento primario) en donde los compuestos mayores al tamaño deseado son retenidos y con la ayuda de un transportador son llevados a un tratamiento para su disposición final.

El agua residual una vez que ha pasado por el cribado fino pasa a la primera etapa del proceso biológico, los bioselectores (tratamiento secundario); durante esta etapa de ausencia de oxígeno se favorece el crecimiento selectivo de organismos formadores de flóculos en la primera fase del proceso biológico al asegurar un nivel elevado de la relación disponible alimento/microorganismo. Lorenzo (2006) define un flóculo como: partículas que se aglutinan en pequeñas masas y que tienen un peso específico superior al del agua. La presencia de una gran cantidad disponible de alimento o substrato permite la rápida adsorción de la materia orgánica soluble por parte de los organismos formadores de flóculos. La rápida eliminación o adsorción de la materia orgánica, impide que los organismos filamentosos tengan substrato disponible, ya que estos se desarrollan en muy bajas concentraciones de materia orgánica.

El efluente que proviene de los bioselectores pasa a los reactores de lodos activados a un tiempo y características establecidas, con el fin de que los microorganismos tomen como sustrato la materia orgánica de las aguas residuales, la metabolicen y transformen en productos completamente oxidados, estables de bajo peso molecular (bióxido de carbono, nitratos, ortofosfatos, sulfatos); una parte del sustrato es utilizada por los microorganismos para síntesis celular o reproducción de más microorganismos.

Tan pronto los lodos alcanzan las características deseadas, el "licor mezcla" que es la mezcla de las bacterias en suspensión y aguas residuales, pasan a una etapa de clarificación o separación (depuración final) en donde los flóculos de lodo activado se asientan o sedimentan por gravedad en el fondo, formando una doble interfase lodo-agua tratada y luego separarse.

Una vez separada el agua tratada pasa a una etapa de desinfección en donde regularmente se utiliza cloro para así asegurar la inactivación de bacterias de tipo patógeno y los sólidos eliminados son enviados a una estación de estabilización química para su disposición al lugar correspondiente de almacenamiento.

Disciplinas que participan en un proyecto de PTAR.

Es necesario entender que durante la construcción y arranque de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se involucran diferentes disciplinas ingenieriles, las cuales se mencionaran a continuación. De forma general las actividades que realizan cada una son:

1. Ingeniería Civil

La ingeniería civil es una de las disciplinas que participa en proyectos en la etapa de la construcción.

Brenzini y Martínez (2012) mencionan que el ingeniero civil tiene la capacidad de organizar, coordinar, administrar, planificar y supervisar las obras civiles. Es la encargada de colaborar en cinco funciones:

1. El residente de obra es el responsable de la construcción, se encarga de supervisar, regular y controlar los trabajos que se realizan para su correcta ejecución y administra los recursos financieros y materiales del proyecto.
2. En la fase de construcción, el ingeniero civil se dedica a planear y esquematizar las actividades necesarias a realizar.
3. Inspecciona la obra, cotejando los planos y especificaciones del proyecto con lo que se va a construir, análogamente con las normas de construcción.
4. Los ingenieros civiles participan en empresas llamadas Design Build, que se encargan de integrar el diseño y la construcción, para proporcionarlo como un servicio.
5. Plantea y programa el mantenimiento de obras civiles, vigila su funcionamiento, participa en la ampliación, el mejoramiento y la restauración de obras ya existentes.

2. Ingeniería de Procesos

INFAIMON (2018) considera que hay funciones principales que ejecutan las personas que se especializan en la ingeniería de procesos:

1. El ingeniero de procesos se encarga de obtener los resultados más convenientes, del mismo modo perfecciona los procesos hasta que sean lo más eficaces posible.
2. Plantea las soluciones para los retos que se presentan en cada una de las fases del proyecto, con la ayuda del conocimiento profundo del proceso y el actuar inmediatamente.
3. Gestiona los suministros para satisfacer las necesidades con los recursos adecuados para cada fase del proyecto, de igual forma, se encarga de negociar con proveedores y distribuidores para que estos recursos tengan buena calidad.
4. Asegura que se cumplan los estándares de calidad y vigila el rendimiento para la obtención de los resultados.

Su actividad se aumenta después que se ha completado la ingeniería de proceso, pero en muchas ocasiones tiene que participar en las primeras etapas de la planeación del trabajo. Puede ayudar a la gerencia en la localización del sitio donde se construirá la planta y ordenará toda la información preliminar que se tenga. Sin embargo, su trabajo más intenso será durante el periodo del diseño detallado de ingeniería y en la elaboración de planos, éste trabajo culmina en la selección de equipo y producción de planos para usarse en la construcción, terminando por la supervisión de que la construcción y el arranque de la planta se lleve a cabo de manera ideal sin retrasos y de manera efectiva.

3. Ingeniería Mecánica

Krick (1996) establece que “La ingeniería mecánica es aquella actividad profesional que se ocupa del diseño, construcción y operación de sistemas mediante los cuales se convierte la energía en formas mecánicas útiles como son las máquinas de vapor, motores de combustión interna, etc.; y los mecanismos necesarios para convertir la energía de salida de esas máquinas a la forma deseada”.

Deina, Granados y Sardella (2018) mencionan las actividades para las cuales está habilitado el ingeniero mecánico:

1. Diseña sistemas mecánicos tales como: maquinaria térmica, sistemas de ventilación, maquinaria hidráulica, entre otras.
2. Repara equipos e instalaciones, de igual forma controla el mantenimiento de los equipos.
3. Instala, pone en funcionamiento y opera sistemas mecánicos y térmicos.
4. Desarrolla tecnologías y procesos nuevos, así como fuentes de potencia (motores)
5. Planificar y gestionar proyectos, dentro de esta actividad, realizan muchas otras como:
 - a. Hacer estimaciones de materiales, costos y tiempos de ejecución necesarios, además de realizar planos, informes, requerimientos del diseño, desarrollar manuales, especificaciones técnicas y propuestas a clientes.
 - b. Elaborar contratos y estimados de la construcción y mantenimiento industrial.
 - c. Reunirse con el cliente, autoridades competentes, contratistas y demás profesionales.

- d. Realizar la evaluación y revisión de un terreno y preparar informes para dejar por sentado las condiciones de construcción que sean nuevas y existentes.
- e. Desarrollar estándares de mantenimiento, cronogramas y programas, además de suministrar orientación y asesoría al personal de mantenimiento industrial.
- f. Hacer seguimiento y controlar la progresión del proyecto y los costos que no estén enmarcados ni en el cronograma ni en el presupuesto establecido.

4. Ingeniería Eléctrica

Deiana, Granados y Sardella, (2018) establecen en su trabajo que la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica es responsabilidad del ingeniero eléctrico. El funcionamiento eficaz de las plantas de generación de energía y el cambio de tensión entre los elementos de grandes redes de transmisión está supervisado por ingenieros eléctricos.

El profesional relacionado con esta rama de la ingeniería puede desempeñarse en todos los campos vinculados con la producción, transporte y comercialización de la energía eléctrica, en la industria de fabricación de componentes e instalaciones eléctricas y en la planificación y operación de sistemas de suministro de energía eléctrica.

Estos ingenieros están capacitados para realizar las siguientes tareas:

1. Diseño y construcción de máquinas y equipos eléctricos.
2. Estudio, proyecto, dirección, explotación y mantenimiento de sistemas e instalaciones para la generación, transporte, distribución y utilización de la energía eléctrica.
3. Estudio, proyecto, dirección, explotación y mantenimiento de sistemas de instalaciones de iluminación y fuerza motriz e instalaciones eléctricas

complementarias, sistemas e instalaciones electrotérmicos y electroquímicas.

5. Instrumentación

De acuerdo con Gutiérrez e Iturralde (2017) la instrumentación “Es el conjunto de ciencias y tecnologías mediante las cuales se miden cantidades físicas o químicas con el objetivo de obtener información para su archivo, evaluación o actuación sobre los sistemas de control automáticos”.

La Instrumentación y Control, como especialidad de Ingeniería, es aquella parte de la Ingeniería que es responsable de definir el nivel de automatización de cualquier planta de proceso e instalación industrial, la instrumentación de campo y el sistema de control para un buen funcionamiento del proceso, dentro de la seguridad para los equipos y personas, de acuerdo con la planificación dentro de los costos establecidos manteniendo la calidad. (Chávez, 2013)

6. Tuberías

Es la ingeniería que se encarga del diseño de conductos industriales, se desarrolla principalmente como una rama de la construcción, no se toma en cuenta como una carrera en el ámbito profesional, sino que es un “Oficio para profesionistas”.

En México no existe escuela que haya desarrollado un programa de estudios dirigido a la preparación del personal calificado para ejercer estas actividades y trabajo de ingeniería, además que toda la documentación existente se encuentra en idiomas diferentes al español. Las normas aplicables al diseño y arreglo de plantas industriales mexicanas son obsoletas, por lo tanto, no son

competentes en un mercado global como el que se ha generado en la década de los 80 's.

En el campo laboral la capacitación que se imparte para el desarrollo de la disciplina se logra instruyendo a Ingenieros Químicos o Mecánicos en el conocimiento y aplicación de las normas y códigos internacionales como ASME/ANSI, API, DIN, JAP, entre otras. (Islas, 2009).

Debido a que no existe una escuela con programas para poder especializarse en esta disciplina, es de suma importancia que la persona que lo practique tenga la experiencia necesaria.

Objetivos

Objetivo particular

- Explicar la importancia, el por qué y para qué de las pruebas en la fase de construcción y arranque en una PTAR correspondientes a las disciplinas: civil (compactación, colado, revenimiento, corazones de concreto así como en geomembranas), eléctrica (a tierra, continuidad, aislamiento, voltaje, amperaje), tuberías (de soldadura, hermeticidad, fugas), mecánica (alineación, vibración), área de procesos (equipos) e instrumentación (instalación, verificación, calibración), utilizando información empírica y bibliográfica para asegurar la realización de las pruebas, con el fin de verificar que el proyecto va de acuerdo a lo planeado.

Objetivos específicos

- Elaboración de una ruta de seguimiento de las pruebas mencionadas con la perspectiva de un ingeniero de proyectos. (Mapeo)
- Investigar las actividades que se realizan en la fase de construcción y arranque en una PTAR.
- Conocer el proceso general que se realiza en una PTAR.
- Conocer las actividades realizadas por los ingenieros eléctricos, mecánicos, civiles e instrumentistas, tuberos, procesos y su integración e importancia de trabajo en equipo.

Recopilación de la información

Para el cumplimiento de nuestros objetivos, se decidió utilizar la entrevista como recurso de investigación para posteriormente realizar el análisis correspondiente entre la información recopilada de manera empírica y la bibliográfica.

Por lo que se realizó el presente guion para las entrevistas con los ingenieros.

Guion de entrevista

1. ¿Cuál es su nombre?
2. ¿Cuál es su nivel de estudios?
3. ¿Cuáles / Cuántos son los proyectos en los que ha participado como Ingeniero de Proyectos? ¿Puede mencionarlos?
4. ¿En qué fases de un proyecto se realizan las pruebas?
5. ¿Las pruebas se realizan para todas las disciplinas?
6. ¿Cuáles son las pruebas en la disciplina civil que considera más importantes / necesarias?
7. ¿Cuáles son las pruebas en la disciplina eléctrica que considera más importantes / necesarias?
8. ¿Cuáles son las pruebas en la disciplina de tuberías que considera más importantes / necesarias?
9. ¿Cuáles son las pruebas en la disciplina mecánica que considera más importantes / necesarias?
10. ¿Cuáles son las pruebas en la disciplina de procesos que considera más importantes / necesarias?
11. ¿Cuáles son las pruebas en la disciplina de instrumentación que considera más importantes / necesarias?
12. ¿Por qué considera que las pruebas son importantes?

13. ¿Cuáles son las repercusiones que podría llegar a surgir en un proyecto si no se realizan dichas pruebas? (Especificar por cada prueba)
14. ¿Considera que puede haber un paro total de la planta en caso de no hacerlas?
15. ¿Cómo Ingeniero de Proyectos que tanto considera indispensable que se debe tener el conocimiento de las pruebas?
16. Como estudiante de Ingeniería Química ¿Considera importante conocer dichas pruebas?
17. En nuestro plan de estudios ya no se incluyen materias como en planes de estudio anteriores (Bases de mecánica, civil y eléctrica) ¿Considera que es importante que un ingeniero químico tenga bases de dichas disciplinas?

Resultados

Se realizaron cuatro entrevistas con Gerentes de Proyecto, dos a Ingenieros de Proyectos y dos a Ingenieros especialistas en el área de Instrumentación y Eléctrico.

De acuerdo con las preguntas del guion de entrevista presentado anteriormente, se presentan las respuestas a continuación:

Nombre de las entrevistadoras:

Campos Aguilar Cynthia Denisse

Figueroa Ortiz Dulce Ayleen

Lugar: Videoconferencias/ Llamadas/ Reuniones. Recursos audiovisuales e iconográficos.

Temática: Pruebas que se realizan en la construcción y arranque de una PTAR de las disciplinas civiles, eléctrico, tuberías, instrumentación, procesos y mecánica.

Los Ingenieros, de manera general cuentan con una experiencia de más de 40 años, con Maestría en el área de Administración y han participado en proyectos públicos como privados, algunos por mencionar son:

- Proyectos en Fertilizantes Mexicanos (sulfato de amonio, urea, fosfato de amonio y fórmulas compleja).
- Proyectos de sistemas contra incendio, ampliación de la planta en la cuarta línea de producción y optimización de gases de combustión en Industrias Negromex.

- Plantas de Tratamiento de Agua en empresas privadas: Coca Cola, Grupo Modelo y Fibras Químicas.
- Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales municipales (Morelia, Celaya, Cuernavaca, Tampico, Uruapan
- Diseño de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales en: Costa Rica, San Petersburgo (Rusia) y Tailandia.

Mencionan que en el desarrollo de un proyecto se tienen como fases principales: ingeniería, procuración, construcción y arranque; en cada fase se realizan distintas pruebas para asegurar un correcto funcionamiento de la planta, para fines de este trabajo nos enfocaremos en la fase de construcción y arranque.

Se realizan distintas pruebas en diversas áreas, comúnmente las pruebas se van realizando conforme avanza la construcción de la planta, la cual suele hacerse por áreas. (Área de llegada y generación de lodos, de estabilización y tratamiento final).

En este trabajo se separarán por disciplinas para mayor facilidad para el análisis de la información.

Concuerdan con que las pruebas por disciplinas son demasiadas y suficientes para asegurar el trabajo óptimo y puntualizan que las pruebas que más comúnmente se realizan dentro de la PTAR son las de compactación, colado, revenimiento, corazones de concreto, pruebas en geomembranas, pruebas a tierra, de continuidad, aislamiento, voltaje, amperaje, pruebas en tuberías de soldaduras, de hermeticidad, fugas, alienación, vibración, pruebas en los equipos en el área de procesos, pruebas de instalación, verificación y calibración de equipo; para fines de este trabajo solo nos enfocaremos en las pruebas mencionadas previamente.

“Se toman decisiones de acuerdo a los datos que nos proporcionen” alude el Ingeniero (Anónimo, 2020) y recalca que cada experto del área nos da las herramientas para la revisión en donde nosotros como ingenieros de proyectos debemos de interpretarla, entenderla y tomar decisiones.

Además, es importante señalar que toda la información proporcionada por los entrevistadores será comparada con la información bibliográfica, con el fin de identificar de manera esencial las consecuencias que surgen a raíz de no realizar las pruebas, así como no cumplir con los estándares previstos.

Se resume a continuación la información que los entrevistadores nos compartieron con respecto a las pruebas de las cuales, nos enfocaremos en este trabajo:

I. Pruebas Civiles

a. Compactación.

El termino compactación se usa para la reducción de vacíos, más o menos rápida producida por medios mecánicos durante el proceso de construcción; el resultado de una compactación apropiada incrementa la densidad del concreto por lo que es más resistente.

Esta prueba se realiza con el motivo de que el suelo sea resistente y la construcción tenga buenas bases, además si la tierra no está compactada adecuadamente y se coloca un equipo que tenga un peso considerablemente grande, la probabilidad que tanto la tierra como el equipo se hunda es alta.

b. Colado

La prueba de colado es la primera prueba que realiza la disciplina civil, consiste en identificar que la mezcla de agua y arena sea la correcta, es decir, que la mezcla este homogenizada, si la proporción no

es adecuada provoca que el concreto este "cacarizo" (agujeros), si no hay problema, se puede recubrir para que la columna quede uniforme. Esta prueba se realiza en todos los casos, desde que se está colocando una loza hasta un cuerpo de concreto con geomembrana; para este último caso si la mezcla contiene un exceso de grava causará agujeros que implican fugas.

c. Revenimiento

La prueba se realiza en el momento que llega la pipa con el concreto, es una prueba donde se identifica que tan plástico es la muestra, si es muy plástico significa que la mezcla está muy aguada y el concreto se quedará asentado hacia abajo, ya que, las piedras y arena por gravedad quedaran en la parte inferior. También identifica si la mezcla tiene insuficiencia o exceso de agua, los ingenieros civiles se encargan de solucionar esta situación.

El revenimiento cambia durante el trayecto, debido a que la mezcla pierde agua. Esta prueba esta estandarizada. La consecuencia de un mal revenimiento del concreto será que la losa tendrá fisuras y en una columna, provocará disminución de la resistencia.

d. Corazones de concreto

Esta prueba no se realiza a todos los equipos civiles, solamente a los más importantes o los más críticos, ya que los corazones de concreto se envían a los institutos correspondientes para ejecutar la prueba.

e. En geomembranas

Antes de colocar una geomembrana, la tierra se tiene que compactar para recubrirse con la misma.

Las geomembranas son polímeros impermeables, son como "cortinas" que se extienden y se soldán para que queden unidas una con la otra, se realizan las pruebas para comprobar que este térmicamente unido,

son pruebas de colocación de la geomembrana, después se realizan las pruebas para identificar si existe algún tipo de filtración del agua hacia la tierra para evitar la existencia de fugas.

Al ejecutar las pruebas en las geomembranas se deben conocer ciertas condiciones climatológicas como la temperatura de la zona, ya que se tiene cierto porcentaje de evaporación que se refleja en el volumen de la laguna, se colocan regletas que miden el nivel de agua, si este nivel baja más de lo establecido implica que existe una fuga y debe de solucionarse.

II. Pruebas Eléctricas

Suele utilizarse un multímetro para realizar las mediciones en equipos de bajos voltajes debido a su intervalo de medición ya que la baja potencia no servirá para altos voltajes.

a. A tierra

La toma de tierra es indispensable en una instalación eléctrica para garantizar la seguridad y evitar consecuencias graves a personas y equipos. Una correcta conexión a tierra física proporciona a las corrientes una ruta segura y evita que esas corrientes encuentren rutas no deseadas que pudieran provocar daños a los equipos o al personal, igualmente el desgaste de los equipos sería más rápido de lo usual.

b. Continuidad.

Se puede utilizar un meggeio y revisar si se está mandando corriente entre un punto a otro, si la señal que se está mandando se está recibiendo (llega al punto final), quiere decir que el equipo no tiene problema, sin embargo, si esto no funciona puede ser debido a que no se encuentra conectado a tierra o el cable está roto.

c. Aislamiento.

Los cables usualmente son enterrados (esto se define de acuerdo a la solicitud del contratista) y pueden sufrir deterioro en su manejo en el transporte, la descarga o instalación, suelen ser cables muy largos y a veces difíciles de maniobrar, por lo tanto, las personas involucradas en estas actividades pueden darles un mal manejo, ya sea realizando un arrastre en un terreno pedroso, por caídas, desgarres, etc. Por este motivo se deben de revisar antes de la instalación, durante y después de esta de forma visual y/o con distintas pruebas.

d. Voltaje

Se utilizan voltímetros para revisar, chequear y/o localizar la falla de algún artefacto eléctrico, que a simple vista es imposible de palpar y que puede provocar daños a los equipos o sistemas eléctricos reduciendo su tiempo de vida.

e. Amperaje

Se utilizan amperímetros. La medición se realiza porque es importante identificar y prever un gran número de fallas o determinar si existe un problema en un equipo o circuito. Es necesario saber cuánto es el consumo de amperaje, para luego comparar con el consumo máximo que el equipo debe tener y determinar si existe o no una falla.

Cuando el cableado se encuentra enterrado en alguna columna o piso, es necesario que las mediciones se realicen durante la instalación y después del arranque, inclusive más de dos veces.

En la situación de que un equipo este fallando y se llegue a la conclusión que este fallo se le atribuye a un cable enterrado, se cambia todo el cable, no se busca la parte dañada.

III. Pruebas de Tuberías

a. Soldadura.

Es importante realizar una buena soldadura para tener un sistema de alta calidad, resistente, duradero, y lograr una eficiencia de la planta.

b. Hermeticidad.

Es importante asegurar que no haya fugas en el sistema, ya que si hay fugas presentes primero se deben de corregir y posteriormente proceder con el arranque del equipo, esto para confirmar que no exista algún traspaso del flujo, la prueba de hermeticidad suele ser más estricta ya que se trabaja con flujos de otras presiones y corrosivos, usualmente de altas presiones.

c. Fugas.

Esta prueba se realiza para identificar que no se presenten goteos, en caso de que se tenga una fuga, puede taparse con silicón o cinta (materiales de bajo presupuesto) debido a que tenemos flujos de baja presión y no corrosivos.

IV. Pruebas Mecánicas

a. Alineación

El objetivo de la prueba es checar una correcta alineación, hay diversos métodos que se utilizan, sin embargo, el instrumento con el cual se realiza la medición de alineación está en función de que tan importante sea el equipo en cuestión, es decir, la alineación de una bomba de riego no será lo mismo que un equipo que sea muy crítico que se encuentre dentro del proceso.

b. Vibración

El fin de realizarla es verificar la calidad y confiabilidad de los equipos, igualmente para asegurar que el equipo no corra riesgos y que su tiempo de vida sea óptimo.

V. Pruebas de procesos

a. Equipos.

Para realizar las pruebas de equipos se debe usar el manual del equipo que entrega el proveedor para asegurar su correcta instalación y operación.

Se revisa por equipo;

Ej. Bomba. Si la bomba gira, está bien instalada, está de acuerdo con el manual y a la información.

Si como ingeniero de procesos no se realiza la revisión adecuada, uno deberá de realizar las acciones correctivas. Se debe de exigir a los ingenieros correspondientes que sus partes estén verificadas.

Como ingeniero de proceso es esencial revisar el funcionamiento correcto de acuerdo con los rangos establecidos.

Si algo no sucede debidamente se le pide al personal que vuelva a revisarlo correctamente (eléctrico y mecánico). No se puede arrancar un equipo sin las pruebas correspondientes y la revisión minuciosa de este.

Una vez que ya está probado el equipo, se realiza el arranque por partes o áreas, todo debe de estar secuenciado para asegurarse que se están siguiendo los pasos adecuados.

El procedimiento debe ser secuenciado y perfectamente respetado. Se debe revisar que esté bien conectado, alineado y

empezar poco a poco dependiendo de los fluidos y validar que el área de recepción se encuentre correctamente.

El arranque inicia con la inspección y revisión de los equipos, luego con las pruebas y revisiones previas, al final con el propio arranque y pruebas posteriores.

Una vez que se realiza el arranque se debe de verificar la eficiencia con la que se está trabajando.

Desde la instalación se revisa todos los equipos y se comprueba si ya fueron instalados. Una vez probado se realiza el arranque con el fluido correspondiente, donde regularmente se utiliza agua.

Primero se verifican y luego se ejecutan las pruebas, se solicita una constancia de que la persona correspondiente ya lo instaló y si fue correcto, se procede con la segunda revisión, "cada quien necesita hacer su trabajo". No se puede arrancar un equipo si no está revisado por los responsables.

Una vez realizado el arranque, se verifica el régimen permanente y estabilización de la planta.

Si no se hace la revisión y el protocolo adecuado los riesgos se elevan impresionantemente, teniendo consecuencias del lado legal con demandas, reputación o con la vida de otras personas.

VI. Pruebas de Instrumentación

a. Instalación

La prueba consiste en que todos los instrumentos de los DTI's se encuentren instalados debidamente en toda la planta.

b. Verificación

Verificar los instrumentos consiste en examinar que la instalación sea la adecuada, por ejemplo, al revisar si se encuentra algún instrumento en la planta colocado con cinta adhesiva encontraríamos que eso es incorrecto debido que faltaría rigidez y soporte, provocando una posible caída de este. Se realizan las revisiones con la ayuda de un típico de instalación, en el que se indica cómo se debe instalar, por ejemplo, un manómetro; como debe estar instalado y conectado apropiadamente.

c. Calibración

La prueba consiste en que el equipo de instrumentación esté midiendo lo que tiene que medir, es importante mencionar que este parámetro depende de cada instrumento, cada fabricante proporciona recomendaciones acerca de cómo deben calibrarse los instrumentos, por ejemplo, la calibración de un medidor de flujo se realiza cuando la planta inicie el arranque.

“Debemos de sensibilizar y concientizar a las futuras generaciones las buenas prácticas y el uso de pruebas para minimizar los riesgos y poder asegurar un régimen permanente óptimo en el arranque de una planta, así como la importancia de otras disciplinas en su construcción.” (Morales, comunicación personal, 2021).

Hay que considerar que la seguridad del personal es tan importante como su capacitación durante la ejecución de las pruebas para así, tener un plan de acción en caso de alguna situación imprevista.

Es importante definir que un manual de arranque es orientado al proceso y menciona la secuencia de arranque por pasos, también incluyen procedimientos de paro del proceso, sin embargo, este documento no explica la razón por la cual se deben de realizar las pruebas ya que mucha de esta información es obtenida por medio de la experiencia de cada especialista. También hay manuales de instalación y de mantenimiento, pero tampoco se detalla la explicación de realizar las pruebas y qué sucedería en caso de que estas no se realicen.

Las pruebas mencionadas anteriormente son las que se deben de realizar obligatoriamente en una PTAR para tener un arranque exitoso, si hay algún retraso en el arranque de la planta por error en la conexión o funcionamiento de un equipo pueden presentarse demandas y multas por grandes montos.

Análisis de Resultados

El análisis está compuesto por una síntesis entre la información planteada por los ingenieros y la información bibliográfica para así cumplir con el objetivo planteado.

I) Pruebas Civiles

Prueba de Compactación

En la terminología de la mecánica de suelos, la reducción de los vacíos de un suelo recibe varios nombres: consolidación, compactación, densificación, etc., existen ligeras diferencias en el significado de los dos primeros. Consolidación, se usa para la reducción de vacíos, relativamente lenta, debida a la aplicación de una carga estática, usualmente acompañada de expulsión de agua del suelo, por ejemplo, la reducción de vacíos en el suelo bajo un edificio. (Favela, s.f)

El término compactación se usa para la reducción de vacíos, más o menos rápida producida por medios mecánicos durante el proceso de construcción; el resultado de una compactación apropiada incrementa la densidad del concreto por lo que es más resistente.

Al reducirse los vacíos del suelo hay un incremento del peso volumétrico del material, de donde se puede dar la siguiente definición:

“Es el aumento artificial por medios mecánicos, del peso volumétrico de un suelo, esto se logra a costa con la reducción de los vacíos del mismo al conseguir un mejor acomodo de las partículas que los forman mediante la expulsión de aire y/o agua del material.” (Ignacio Mamani, s.f.)

El suelo se compacta hasta alcanzar el grado indicado en el proyecto o el aprobado por las normas correspondientes.

El procedimiento consiste en aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y, en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades. Su objetivo es el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo.

Hay diferentes métodos para realizar la compactación, como lo son la compactación por estática o por presión, por impacto, por vibración o amasado y también hay diferentes métodos para medir este tipo de resistencia.

Algunas consecuencias del suelo debido a una mala compactación son:

- Asentamientos: Movimiento vertical del suelo inferior debido al peso del relleno.
- Subsistencia: Movimiento vertical dentro de un relleno debido a su propio peso.

Y mejora ciertas características del suelo como lo son:

- Aumenta la capacidad de soporte del suelo (mejora la resistencia mecánica).
- Reduce los asentamientos del terreno.
- Reduce la permeabilidad, es decir, disminuye la capacidad que posee el suelo al ser atravesado por un fluido, el escurrimiento y la penetración del suelo; el agua fluye y el drenaje puede regularse.
- Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo.
- Impide daños en las heladas, puesto que el agua se expande y aumenta de volumen al congelarse.

Como consecuencia de una mala compactación se encuentra el astillamiento en el concreto, siendo un defecto que aparece como depresiones en la superficie que pueden ser circulares u ovaladas siendo un defecto profundo. En la figura 9 se muestra como una mala compactación en la columna genera vacíos.

Figura 9.

Mala compactación del concreto



Nota. Tomado de Manual del usuario de concreto profesional [Fotografía], por CEMEX, s.f., CEMEX (285de141-23e7-47d6-b531-26815d1857fe (cemex.com)).

Prueba de Colado

En el trabajo presentado por González (2004) se establece que la prueba de colado asegura que no se presenten "lágrimas", es decir, fugas en el concreto para que éste quede compacto y uniforme, asegura que la mezcla de arena, grava y agua debe ser la adecuada, ya que cantidades en exceso o falta de cualquiera de estos componentes puede provocar que el concreto sea menos durable.

Conocer la relación entre el agua y el cemento ayudará a identificar la resistencia del concreto, mientras menor sea esa relación mayor será la resistencia.

Los defectos que puede presentar el colado son:

- Sangrado: la superficie tiene una capa de agua y se presenta al momento de decantar sólidos en el concreto fresco, produce fisuras que causan pérdida de permeabilidad y resistencia, de igual manera, retrasa el acabado porque la superficie debe estar completamente seco, se debe evitar el exceso de agua, como se puede observar en la figura 10.

Figura 10.

Sangrado del concreto



Nota: Tomado de: Manual del usuario de concreto profesional MR, [Fotografía] CEMEX,

(<https://www.cemexmexico.com/documents/27057941/45587277/aplicaciones-manual-usuario-concreto-profesional.pdf/285de141-23e7-47d6-b531-26815d1857fe>)

- Panales de abeja: se presentan cuando las cantidades de las mezclas son irregulares, con insuficiente arena y se generan fugas de la pasta a través de los orificios, como se muestra en la figura 11.

Figura 11.

Panal de abeja en concreto

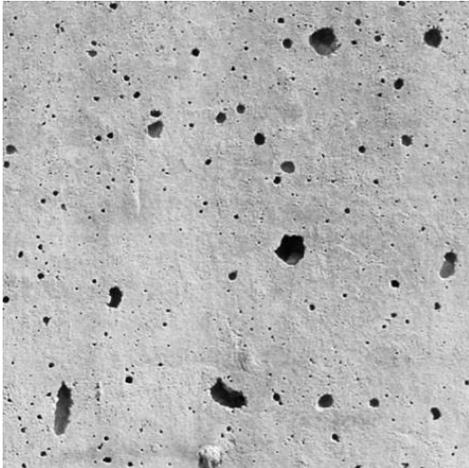


Nota: Tomado de: Manual del usuario de concreto profesional MR, [Fotografía] CEMEX,(<https://www.cemexmexico.com/documents/27057941/45587277/aplicaciones-manual-usuario-concreto-profesional.pdf/285de141-23e7-47d6-b531-26815d1857fe>)

- Huecos superficiales: En la figura 12 se puede notar los huecos superficiales que surgen como consecuencia del exceso de arena creando revolturas que son pastosas.

Figura 12.

Huecos superficiales en concreto



Nota. Tomado de Burbujas de aire en la superficie del hormigón: Causas y cómo evitarlas [Fotografía], por Duran, 2018, Albañiles (<https://www.albaniles.org/albanileria/burbujas-de-aire-en-la-superficie-del-hormigon-causas-y-como-evitarlas/>).

- Color del concreto no uniforme: resultado de una mala relación de agua y cemento, se puede observar este efecto en la figura 13.

Figura 13.

Color no uniforme del concreto



Nota: Tomado de: Manual del usuario de concreto profesional MR, [Fotografía] CEMEX, (<https://www.cemexmexico.com/documents/27057941/45587277/aplicaciones-manual-usuario-concreto-profesional.pdf/285de141-23e7-47d6-b531-26815d1857fe>)

En la figura 14 y figura 15 se puede observar cómo se realiza la descarga y aplicación del colado.

Figura 14.

Descarga de colado



Figura 15.

Aplicación del colado



Nota. Tomado de Real Estate Market & Life Style, [Fotografía], <https://realestatemarket.com.mx/noticias/infraestructura-y-construccion/20650-crean-material-mas-fuerte-que-el-concreto>

Prueba de Revenimiento

La prueba de revenimiento se hace para asegurar que la mezcla de concreto sea trabajable. La muestra para la prueba debe de estar dentro de un rango establecido o tolerancia del revenimiento pretendido. (Fernández, 2004)

La prueba de revenimiento muestra la trabajabilidad del concreto. La trabajabilidad es una medición para conocer el grado de facilidad que resulta el manejar, colocar, compactar y dar el acabado al concreto.

La trabajabilidad se define como una propiedad física del concreto, depende de varios factores, tales como: las características físicas de los materiales a mezclar, las proporciones y el equipo que se utiliza para hacer la mezcla y colocarla en el lugar de trabajo. Es fundamental que el concreto tenga una apariencia uniforme, para ello los materiales se deben mezclar para lograr esa calidad uniforme y satisfactoria, para su fácil colocación, la trabajabilidad debe ser apropiada para la fácil colocación de la mezcla de concreto. (Neville, 1989)

El revenimiento es inversamente proporcional a la resistencia del concreto, ya que, aumenta proporcionalmente con el contenido de agua en la mezcla de concreto. (Huerta, P. 2009)

En la figura 16, podemos observar el vertimiento del concreto y su consistencia.

Figura 16.

Mezcla de concreto



Nota. Tomado de Trabajabilidad Concreto Normal [Fotografía], s.f, CEMEX (<http://cemexparaindustriales.com/trabajabilidad-concreto-normal/>).

La consecuencia de una mala trabajabilidad en el concreto es la segregación del mismo (figura 17), con la prueba de revenimiento se logra identificar que el concreto no se encuentre demasiado húmedo o seco, como resultado se tendrá un concreto:

- Débil
- Menos duradero
- Con un pobre acabado de la superficie

Figura 17.*Segregación del concreto*

Nota. Tomado de Segregación del hormigón [Fotografía], IDC, s.f., IDC (▷ Segregación del hormigón (ingeniero-de-caminos.com))

Generalmente, la prueba de revenimiento consiste en llenar un cono estándar de revenimiento con la muestra, éste llenado se realiza por cada tercio del cono, durante el llenado, es importante que la muestra se compacte hasta el derrame de la muestra. Una vez lleno, se retira el cono y se coloca a lado de la muestra volteado, de acuerdo a la tolerancia establecida se mide la distancia entre la parte superior de la muestra y la varilla y se determina si el revenimiento es muy alto o bajo, en caso de que la prueba falle, esta debe ser rechazada. El revenimiento hace referencia a la diferencia de altura entre la parte superior de la mezcla y la parte superior del molde.

En la figura 18 se puede observar la manera de realizar la prueba de revenimiento, mientras que en la figura 19 notamos la relación que existe entre el concreto y la adición de agua.

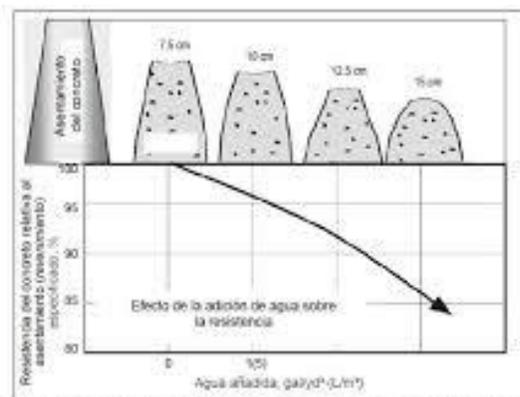
Figura 18.

Prueba de revenimiento



Figura 19.

Ejemplo del efecto de la adición de agua sobre el asentamiento y la resistencia del concreto



Nota. Tomado de Civil Geeks, Ingeniería y Construcción [Fotografía], s.f, (<https://civilgeeks.com/2011/03/20/adicion-de-agua-al-concreto-en-obra/>)

Prueba de corazones de concreto

Una de las características mecánicas del concreto es la resistencia a la compresión, esta resistencia indica la capacidad para soportar una carga por unidad de área. La prueba de resistencia se utiliza principalmente para evaluar la resistencia del concreto en las estructuras, en ocasiones se emplea para fines de control de calidad y determinar si el concreto es aceptado; es importante que los cilindros cumplan con los requerimientos de la resistencia especificada. (2019, CEMEX)

En la figura 20 es visible el terminado y las consecuencias de una mala resistividad del concreto en una columna.

Figura 20.

Consecuencia de una mala resistividad



Nota: Recuperada de Column buckling: Types and Causes of Buckling, [Fotografía], s.f., (<https://civilrack.com/structure/column-buckling/>).

Un corazón de concreto es un cilindro de concreto, que se obtiene al realizar una perforación en la pared que se someterá a la prueba; esta pieza

se somete a una prueba para determinar la resistencia a la compresión del concreto, con el fin de determinar si la construcción debe demolerse o no.

Para realizar la extracción del corazón de concreto, es necesario que hayan pasado al menos catorce días para su extracción y deben ser usadas aquellas muestras que no presenten daños. (figura 21)

Figura 21.

Prueba de corazón de concreto



Nota. Tomado de Resistencia, Pruebas y Resultados [Fotografía], s.f, CEMEX (<http://cemexparaindustriales.com/resistencia-pruebas-y-resultados-2/>).

De acuerdo con la relación establecida entre altura/diámetro deben ser extraídos los corazones de concreto y de un espacio grande para evitar que las muestras no presenten defectos, tales como: fisuras o grietas, internas o externas.

El corazón de concreto debe permanecer siete días para que se encuentre seco, una vez pasado este tiempo, el espécimen se sumerge en agua con cal y se procede a realizar el cabeceo de las bases, la prueba se considera satisfactoria cuando la resistencia de los corazones de concretos cumple con los criterios establecidos. (Hernández, 2009)

Prueba en geomembranas no-destructivas

Como lo menciona SEICSA PROYECTOS AMBIENTALES SA DE CV, las plantas de tratamiento de agua residual son grandes sistemas de ingeniería en donde llegan las aguas negras o aguas residuales. Aquí son captadas para iniciar una serie de procesos cuya finalidad es limpiarlas de todo o casi todo contaminante. Para lograrlo, existen diferentes tipos de sistemas de limpieza que incluyen operaciones físicas, químicas y/o biológicas. Una vez limpias las aguas pueden ser mandadas de vuelta al arroyo o pueden reutilizarse para otros usos; ya que nunca volverán a ser potables.

En México se tiene aproximadamente un 60% de cobertura de drenaje y de tratamiento del agua. Es importante que se genere una conciencia de lo indispensable que es contar con un buen sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que así se evitarían grandes daños al medio ambiente y a los recursos.

Una parte muy importante de las plantas es cuando se utilizan contenedores para los lodos activados en donde la mejor opción es la utilización de geomembranas por su característica impermeable. (figura 23)

La finalidad de las pruebas en geomembranas no-destructivas consiste en demostrar la resistencia de las soldaduras, con el fin de identificar las posibles fugas, repararlas y evitar el escurrimiento del agua.

Algunos ejemplos de pruebas que se realizan en geomembranas son;

- Prueba de vacío

Se realizan en soldaduras por extrusión (figura 22), la prueba se realiza mojando una parte de la soldadura con solución jabonosa y se aplica el vacío con una campana, la prueba falla si a través de la ventana de la campana de

vacío se observan burbujas, lo que indica que existe una fuga y se procederá a la reparación del área.

- Prueba de presión de aire

La prueba consiste en presurizar las tuberías de aire, es indispensable medir y anotar la presión una vez estabilizada y rectificar pasado un tiempo, la prueba finaliza cuando, al dejar escapar el aire del extremo opuesto de donde se ingresó el aire inicialmente se verifica que el canal no esté bloqueado (Las mediciones del punto inicial al final deben ser iguales). Para que la prueba se pueda llevar a cabo es necesario que exista un canal intermedio de la soldadura.

En caso de fallas, existen varios procedimientos para la reparación tales como: parchar los orificios para las rasgaduras profundas, soldadura por puntos para la reparación de detalles menores o la colocación de tapetes para las soldaduras defectuosas.

Todas las reparaciones que se le realicen a la geomembrana deben de ser probadas nuevamente con pruebas exclusivamente no-destructivas para evitar romper la geomembrana y evitar gastos fuera de lo previsto. (s.f. 2006)

Figura 22.

Soldadura por extrusión



Nota. Tomado de Soldar geomembrana por extrusión [Fotografía], Aristegui Maquinaria, s.f., Aristegui (<https://www.aristegui.info/soldar-geomembrana-por-extrusion/>).

Figura 23.

Colocación de una geomembrana



Prueba en geomembranas destructivas

El objetivo de estas pruebas es evaluar la resistencia de la unión de la soldadura, la prueba se realiza en campo y consiste en realizar cortes sobre la geomembrana y después colocar parches en donde se verifica que las soldaduras estén totalmente integradas entre sí para evaluar la resistencia de las juntas. Deben efectuarse a medida que el trabajo de soldadura progresa, no al final del trabajo de soldadura de campo. Verifica la continuidad de las juntas, pero no proporciona información sobre la resistencia de las mismas.

La prueba consiste en tomar un corte de la geomembrana y probarse en resistencia en el tensiómetro de geomembrana, si las muestras pasan se procede a realizar las reparaciones (2006).

De acuerdo con Merey (2017), el objetivo de la realización de pruebas destructivas es comprobar la resistencia de las uniones entre los paneles. Estas pruebas requieren la toma de muestras y la consecuente reparación con

un parche. Por consiguiente, la realización de pruebas destructivas se restringirá en la medida de lo posible, a fin de reducir el número de reparaciones a efectuar en la geomembrana.

II) Pruebas Eléctricas

A tierra

El Artículo 100 del NEC, Código Eléctrico Nacional, define una puesta a tierra como: "una conexión conductora, ya sea intencional o accidental, entre un circuito eléctrico o equipo y la tierra, o a algún cuerpo conductor que sirve en lugar de la tierra". Cuando se habla de puesta a tierra, en realidad se refiere a dos temas: la puesta a tierra y la puesta a tierra del equipo. La puesta a tierra es una conexión intencional desde un conductor del circuito, por lo general, el neutro, a un electrodo de puesta a tierra colocado en la tierra. La puesta a tierra del equipo asegura que el equipo operativo dentro de una estructura esté correctamente conectado a tierra física. Estos dos sistemas de puesta a tierra deben mantenerse separados, salvo en el caso de una conexión entre ambos sistemas.

Esto impide diferencias en el potencial de tensión proveniente de un relámpago y proporciona un camino seguro para la disipación de corrientes de falla, caídas de rayos, descargas estáticas, señales EMI y RFI, e interferencia, además de proteger a las personas, las plantas y los equipos.

Fluke (2017) indica que una puesta a tierra deficiente no solo contribuye al aumento de los tiempos de inactividad innecesarios, sino que su inexistencia es, además, peligrosa y aumenta el riesgo de fallas en el equipo. Sin un sistema de puesta a tierra eficaz, podríamos vernos expuestos a riesgos de descargas eléctricas, además de errores de instrumentación, problemas de

distorsión de armónicos, problemas de factores de potencia y un sinnúmero de dilemas intermitentes. Si las corrientes de falla no cuentan con un sistema de puesta a tierra con el diseño adecuado y mantenido de manera acorde, encontrarán caminos no intencionados que podrían incluir a personas.

Sin embargo, una buena puesta a tierra no solo sirve para la seguridad, sino que también se utiliza para evitar daños a plantas y equipos industriales. Un buen sistema de puesta a tierra mejorará la confiabilidad del equipo y reducirá la probabilidad de sufrir daños debidos a rayos o corrientes de fallas. Se pierden miles de millones de dólares cada año en el lugar de trabajo como consecuencia de incendios eléctricos y esta cifra ni siquiera incluye los costos relacionados de litigios, y la pérdida de la productividad personal y corporativa.

Es importante comprobar los sistemas de puesta a tierra debido a que con el correr del tiempo, los terrenos corrosivos con un alto contenido de humedad, un alto contenido de sal y altas temperaturas pueden degradar las varillas de puesta a tierra y sus conexiones. De modo que, aunque el sistema de puesta a tierra cuando fue instalado inicialmente tenía valores bajos de resistencia de puesta a tierra, la resistencia del sistema de puesta a tierra puede aumentar si se corroen las varillas.

Uno de los métodos utilizados para medir la capacidad de un sistema de puesta a tierra es la comprobación de la caída de potencial clásica, en donde su proceso se describe de manera general a continuación.

Para iniciar, el electrodo de puesta a tierra de interés se desconecta de su conexión al sitio. Luego, se conecta el comprobador al electrodo de puesta a tierra y para realizar la comprobación de caída de potencial de 3 polos, se colocan dos picas de puesta a tierra en el terreno, en línea recta, alejadas del

electrodo de puesta a tierra, normalmente con una separación de aproximadamente 20 metros. Al usar un comprobador de puesta a tierra para generar una corriente entre dos picas externas (la pica auxiliar de conexión a tierra y el electrodo de tierra), la caída de potencial de tensión se mide entre las dos picas internas de la puesta a tierra y con la ley de Ohm ($V=IR$, donde V es el potencial eléctrico en voltios, I es la corriente en amperios y R es la resistencia en ohmios), el equipo calcula automáticamente la resistencia de tierra.

La corporación ALSTOM (s.f) indica que las instalaciones eléctricas deben de contar con medios efectivos para conectar a tierra todas aquellas partes metálicas de los equipos para evitar que electrice a otros elementos que normalmente no conducen corriente y puedan estar expuestos a energizarse si ocurre un deterioro en el aislamiento. También tiene como objeto limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas y fenómenos transitorios en el propio circuito, así como limitar la tensión a tierra del circuito durante su operación normal.

Una conexión solida a tierra facilita también la operación de dispositivos de protección, como la protección de sobre corriente en caso de fallas a tierra. Las canalizaciones y cubiertas metálicas de conductores o equipos son conectadas a tierra con el objeto de evitar que estas tengan un potencial mayor y presenten riesgos al personal.

Una tierra es un conductor de metal enterrado en el suelo y es utilizado para mantener un potencial a tierra sobre los conductores conectados a esta y para disipar cualquier corriente.

La tierra proporciona:

- Conducción de las corrientes de corto circuito

- Prevención de daños a líneas de potencia
- Mantiene un potencial de referencia para instrumentos de seguridad
- Proporciona seguridad al personal.

En la figura 24 se muestra un ejemplo de la medición que se realiza a la conexión a tierra.

Figura 24.

Medición de conexión a tierra



Nota. Tomado de Verificaciones rápidas de puesta a tierra de los equipos eléctricos con los nuevos comprobadores Serie 1620 de Fluke [Fotografía], Redacción Interempresas, 2014, Interempresas
(<https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/119683-Verificaciones-rapidas-puesta-tierra-equipos-electricos-comprobadores-Serie-1620-Fluke.html>).

De continuidad

Fluke (2014) señala que la comprobación de la continuidad de los conductores suele realizarse con un instrumento capaz de generar una tensión sin carga en un intervalo establecido con una corriente mínima (figura 25). La prueba de continuidad más común es la medida de la resistencia de

conductores de protección, que implica confirmar, en primer lugar, la continuidad de todos los conductores de protección de la instalación y, después, comprobar los conductores de conexión equipotencial (conectar las partes metálicas a la toma de tierra) principales y secundarios. También se comprueban todos los conductores del circuito final, puesto que una prueba de continuidad mide resistencias muy bajas, debe compensarse la resistencia de los cables de prueba.

De acuerdo con EPP (2014), cuando hay una total interrupción del suministro eléctrico desde unos cuantos milisegundos hasta uno o dos segundos, puede ser principalmente debido a la apertura del cierre automático de dispositivos de protección para dismantelar una sección defectuosa de la red o a un mal aislamiento y a un cortocircuito.

Dentro de las consecuencias más comunes se encuentran la caída de los dispositivos de protección, pérdida de información y falla en los equipos de procesamiento de datos, paro de equipamientos importantes, como PLCs, PCs y ASDs si no están preparados para lidiar con una situación como esta.

“Cuando se presenta una total interrupción del suministro eléctrico por una duración de más de dos segundos, son debido a fallas en el equipo en la red del sistema de energía, tormentas y objetos impactando en los cables de alta tensión, incendios, errores humanos, mala coordinación o falla en los dispositivos de protección y dentro de sus consecuencias se encuentran el paro total de las operaciones en todos los equipos.” (EPP, 2014).

Figura 25.*Prueba de continuidad*

Nota. Tomada de pruebas de continuidad eléctrica [Fotografía], BTO, s.f., GRUPO BTO (<https://grupobto.com.mx/bto-pc/3-protocolo-de-pruebas1-2/>).

Aislamiento

CHAUVIN ARNOUX (2010) indica que el conjunto de instalaciones y equipos eléctricos respeta unas características de aislamiento para permitir su funcionamiento con toda seguridad. Ya sea a nivel de los cables de conexión, de los dispositivos de seccionamiento y de protección o a nivel de los motores y generadores. El aislamiento de los conductores eléctricos se lleva a cabo mediante materiales que presentan una fuerte resistencia eléctrica para limitar al máximo la circulación de corrientes fuera de los conductores. La

calidad de estos aislamientos se ve alterada al cabo de los años por las exigencias a las que se someten los equipos. Esta alteración provoca una reducción de la resistividad eléctrica de los aislantes que a su vez da lugar a un aumento de las corrientes de fuga que pueden provocar incidentes cuya gravedad puede tener consecuencias serias tanto para la seguridad de personas y bienes como en los costes por paradas de producción en la industria. Aparte de las mediciones tomadas durante la puesta en funcionamiento de elementos nuevos o renovados, el control periódico del aislamiento de las instalaciones y equipos eléctricos permite evitar dichos accidentes mediante el mantenimiento preventivo. Éste permite detectar el envejecimiento y la degradación prematura de las características de aislamiento antes de que alcancen un nivel suficiente para provocar los incidentes mencionados anteriormente.

La medición del aislamiento mediante un megóhmetro es parte de una política de mantenimiento preventivo y es necesario comprender las diferentes causas posibles de degradación del rendimiento del aislamiento, para poder llevar a cabo la implantación de medidas para corregir la degradación.

Estas causas de fallo del aislamiento se pueden clasificar en cinco grupos, siempre teniendo en cuenta que estas distintas causas se suman entre ellas en ausencia de medidas correctivas para dar lugar a los incidentes anteriormente citados:

- La fatiga de origen eléctrico: Relacionada principalmente con fenómenos de sobretensión y caídas de tensión.
- La fatiga de origen mecánico: Los ciclos de puesta en marcha y paro, sobre todo si son frecuentes, los defectos de equilibrado de máquinas rotativas y todos los golpes directos contra los cables y, de forma más general, contra las instalaciones.

- La fatiga de origen químico: La proximidad de productos químicos, de aceites, de vapores corrosivos y de modo general, el polvo, afectan el rendimiento del aislamiento de los materiales. La fatiga relacionada con los cambios de temperatura: en combinación con la fatiga mecánica provocada por los ciclos de puesta en marcha y parada de los equipos, las exigencias de la dilatación o contracción afectan las características de los materiales aislantes. El funcionamiento a temperaturas extremas también es un factor de envejecimiento de los materiales.
- La contaminación ambiente: La aparición de moho y la acumulación de partículas en entornos húmedos y calurosos provocan también la degradación de las características de aislamiento de las instalaciones.

Según Fluke (2014), la integridad del aislamiento es fundamental para prevenir descargas eléctricas. En general, se mide entre conductores bajo tensión y entre cada conductor bajo tensión y tierra. Para medir la resistencia de aislamiento entre conductores bajo tensión y tierra, es necesario desconectar toda la instalación, extraer todas las lámparas y desconectar todo el equipo. Deben dejarse todos los fusibles, cerrar los disyuntores y los interruptores de circuito final. Las medidas se realizan con corriente directa empleando un instrumento capaz de suministrar una tensión de prueba en función de la tensión nominal del circuito. Antes de la prueba, es necesario desconectar el equipo y tomar medidas para impedir que la tensión de prueba dañe dispositivos sensibles a la tensión como, por ejemplo, interruptores atenuadores, temporizadores de retardo y arrancadores electrónicos para iluminación fluorescente.

ALSTOM (s.f.) señala que la prueba de resistencia de aislamiento determina en forma aproximada el estado que se encuentran los aislamientos.

Es la resistencia en mega ohmios que presenta un aislamiento al aplicarse un voltaje de C.D. durante un tiempo determinado.

A la corriente que resulta de la aplicación del voltaje de C.D. se conoce como corriente de aislamiento.

La resistencia de aislamiento varia con el espesor del aislamiento e inversamente al área del mismo, cuando repentinamente se aplica un voltaje de corriente directa a un aislamiento, la resistencia se inicia con un valor bajo y gradualmente va aumentando con el tiempo hasta estabilizarse.

En la figura 26 se observa un ejemplo en donde se hay cables aislados para reducir los riesgos e incidentes anteriormente mencionados y en la figura 27 podemos observar el aislamiento de cableado pasando por una columna dentro de un muro.

Figura 26.

Aislamiento del cableado



Nota. Tomada de El Buscador de Arquitectura, [Fotografía], s.f., (<https://noticias.arq.com.mx/Detalles/15702.html>).

Figura 27.

Aislamiento en columna



Voltaje

Las causas de un descenso del nivel normal de voltaje normalmente son: fallas en la red de transmisión y distribución (la mayoría de las veces en alimentadores paralelos), fallas en las instalaciones del consumidor, conexiones con cargas pesadas y el encendido de grandes motores.

La medición del voltaje se puede realizar con un multímetro cuando el rango de medición está dentro de su alcance, para mediciones específicas y con rangos mayores se utiliza el voltímetro específico para estas tomas de medidas siguiendo su manual de operación.

Dentro de las consecuencias de un descenso del rango normal se encuentran:

- Mal funcionamiento del equipo de información tecnológica, como los sistemas de control con microprocesadores, que tienen como consecuencia el paro de operaciones.
- Fallas en relés electromecánicos y en contactos.

- Pérdida y desconexión de eficiencia en las máquinas rotatorias eléctricas.

En la figura 28 se presenta de forma gráfica el comportamiento de la caída del voltaje vs tiempo, cuando el rango es fuera de lo normal se presentan las consecuencias mencionadas anteriormente.

Figura 28.

Caída de voltaje



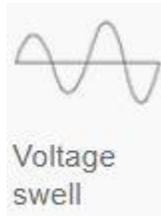
Nota. Tomada de Lecture Notes, [Fotografía], s.f., (https://www.iare.ac.in/sites/default/files/IARE_RPCM_LN.pdf).

Los transformadores mal regulados, el inicio o pausa de cargas pesadas y las fuentes de energía dimensionadas incorrectamente provocan un incremento del voltaje, fuera de la tolerancia normal.

Como resultado:

- Daños a equipos sensibles
- Pérdida de información
- Pantallas y luces intermitentes

En la figura 29 se muestra gráficamente el comportamiento de un incremento de voltaje vs tiempo.

Figura 29.*Incremento del voltaje*

Nota. Tomada de Lecture Notes, [Fotografía], s.f., (https://www.iare.ac.in/sites/default/files/IARE_RPCM_LN.pdf).

Los picos o variaciones del voltaje muy rápidos son causadas por desconexiones de cargas pesadas, cambios de líneas o rayos, que traen como efectos:

- Destrucción de los materiales aislantes
- Destrucción de componentes electrónicos
- Interferencias electromagnéticas
- Pérdida de información

En la figura 30 se muestra el comportamiento que tiene un poico de voltaje vs tiempo.

Figura 30.*Pico de voltaje*

Nota. Tomada de Lecture Notes, [Fotografía], s.f., (https://www.iare.ac.in/sites/default/files/IARE_RPCM_LN.pdf).

Una variación en el voltaje en un sistema trifásico en el que las magnitudes entre ellas no son iguales es provocada por grandes cargas de una sola fase, distribución incorrecta de cada una de las cargas de una sola fase por las tres del sistema.

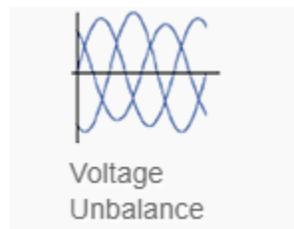
Dentro de las consecuencias se encuentran:

- Sistemas desequilibrados implican la existencia de una secuencia negativa que es dañina para las cargas de las tres fases, las más afectadas son las máquinas de inducción de tres fases.

En la figura 31 se puede observar el comportamiento de forma gráfica que tiene el desbalanceo de voltaje vs tiempo.

Figura 31.

Desbalanceo del voltaje



Nota. Tomada de Lecture Notes, [Fotografía], s.f., (https://www.iare.ac.in/sites/default/files/IARE_RPCM_LN.pdf).

Amperaje

La intensidad de corriente eléctrica (amperaje) es una de las mediciones que se tiene que controlar y realizar antes y después de enterrar los cables de los equipos, es decir, en la instalación de los equipos; además esta medición también se ejecuta previo al arranque del equipo, es decir, antes y después del conectado del equipo, con la finalidad de obtener una mayor certeza.

La medición del amperaje, al igual que el voltaje se puede realizar con un multímetro (figura 32), pero como se mencionó previamente, solo en casos cuando el rango de medición es pequeño, para mediciones específicas y con rangos mayores se utiliza un amperímetro siguiendo los pasos en su manual.

Figura 32.

Medición del amperaje



Nota. Tomada de SH-CHEN Pinza multímetro, [Fotografía], s.f., (<https://www.amazon.com.mx/SH-CHEN-Pinza-mult%C3%ADmetro-abrazadera-resistencia/dp/B089QSFQML>).

III) Pruebas en tuberías

Antes de que comience la instalación del sistema de tuberías, un paso inicial importante es una inspección de recepción de los productos que llegan. Los costos de construcción se pueden minimizar y se pueden mantener los cronogramas verificando los productos entrantes, para asegurarse de que las piezas recibidas sean las que se pidieron y que llegaron en buenas condiciones y listas para la instalación.

Antes y durante la descarga, se debe inspeccionar la carga para detectar daños que puedan ocurrir cada vez que se manipulan los productos. Los daños evidentes como cortes, abrasiones, raspaduras, hendiduras, desgarros y perforaciones deben inspeccionarse cuidadosamente. Se debe consultar a los fabricantes para conocer las pautas de evaluación de daños. Los productos con daños que podrían comprometer el rendimiento deben separarse y discutirse una resolución con el fabricante.

Una unión inadecuada o hecha incorrectamente puede causar:

- Demoras en la instalación
- Deshabilitar o perjudicar las operaciones del sistema
- Crear condiciones peligrosas.

El daño puede afectar la integridad o el sellado de la junta, o puede comprometer el rendimiento de la tubería.

El daño excesivo generalmente requiere quitar la sección dañada o el refuerzo con una abrazadera de reparación de cerco completo.

Soldadura

(IPN, sf) La soldadura en general, como proceso de fabricación, implica la fusión de un material metálico y su posterior solidificación, estos cambios de estado se desarrollan en un lapso muy breve lo que implica transformaciones metalúrgicas y cambios dimensionales que afectan las

propiedades físicas, mecánicas, químicas y dimensionales de los materiales en la zona en que se realiza la unión soldada.

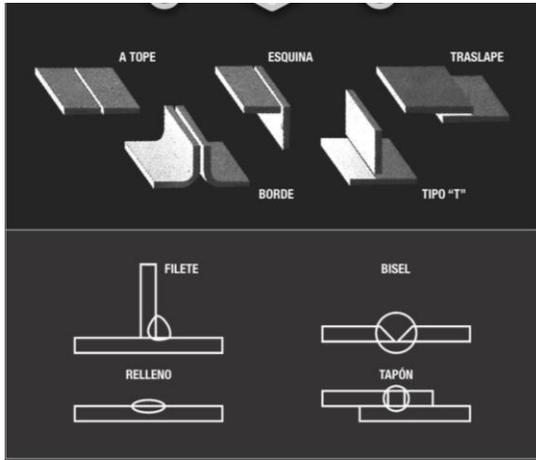
Dentro de los propósitos para la inspección de soldaduras es el determinar que las uniones soldadas ("weldments") satisfacen los requisitos de calidad y de integridad mecánica establecidos en el diseño original y que puede estar basado en las condiciones de servicio definidos por un código una norma o especificación aplicable.

La inspección de pruebas durante la fabricación y montaje deben de ser realizadas por parte del fabricante o contratista, antes del ensamble, durante el ensamble, durante la soldadura y después de realizar la unión soldada, para asegurar que los materiales, de los procesos de soldadura y la mano de obra cumplen los requisitos de los documentos contractuales.

En la figura 33 se muestra el esquema básico de soldadura ya que existen cinco tipos de uniones básicas (las mostradas en la imagen): la unión a tope, en ángulo, en T, en solape, en ángulo y de borde. En soldadura, la manera de cómo están colocadas las piezas a unir se denomina tipos de juntas de unión o juntas de soldadura posibles. Cada tipo de junta tiene una serie de ventajas e inconvenientes que debe conocer el diseñador, ya que la calidad final de la obra soldada dependerá no sólo de la técnica y habilidad para realizar la soldadura sino también del tipo de junta.

Figura 33.

Esquema básico de soldadura



Nota. Recuperado de Soldaduras aplicada a estructuras metálicas para edificaciones, [Fotografía], s.f., (<http://soldadura-construccion.blogspot.com/2015/03/>).

En la figura 34 y 35, podremos observar otros ejemplos de soldaduras en tuberías, como se puede notar, dependiendo el tipo de soldadura y la técnica afectará el acabado o terminado final.

Figura 34.

Tubería soldada. Ejemplo 1

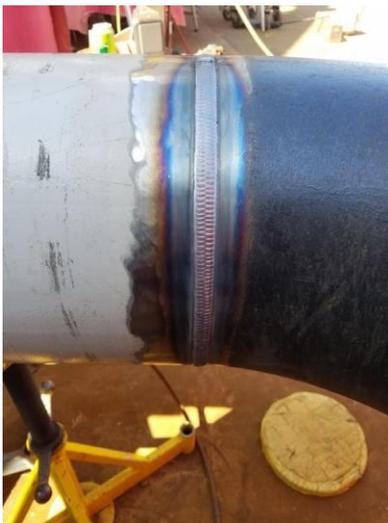


Figura 35.

Tubería soldada. Ejemplo 2

***Hermeticidad (cambio de presión)***

De acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (2018) el 80% del abastecimiento de agua potable del país proviene de pozos profundos, por lo que el sistema de alcantarillado sanitario no debe ser fuente de contaminación de los acuíferos. Cuando las tuberías de las redes de alcantarillado se unen y se presentan asentamientos diferenciales en el terreno, se generan fallas originadas por uniones deficientes o por agrietamientos debido a la rigidez de la unión. Las fallas en las juntas de una red de alcantarillado presentan algunas de las siguientes situaciones, consideradas como nocivas:

- Las aguas residuales fluyen hacia el exterior de la tubería, contaminando acuíferos y suelos.
- Con un nivel freático localizado por encima de las tuberías, se presenta en éstas una infiltración que drena parcialmente el acuífero, ocasionando una disminución en la capacidad hidráulica del sistema de

alcantarillado y permitiendo la recepción de azolves, además de incrementar el caudal a la planta de tratamiento, provocando la disminución de su eficiencia y el incremento de costos de operación.

- Incorporaciones de elementos extraños al sistema de alcantarillado sanitario.

Con el objeto de evitar lo antes mencionado, uno de los principales requisitos que debe considerarse en el proyecto e instalación del sistema de alcantarillado sanitario, es que sea hermético.

La hermeticidad de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (2018) se define como la característica de una red de conductos que no permiten el paso del agua a través de sus juntas.

La prueba de hermeticidad asegura que la estructura se encuentre completamente sellada, con el motivo de prevenir fugas; estas pruebas (hermeticidad y fugas) deben comenzar con una exhaustiva inspección visual, además de la instalación a las uniones soldadas (figura 36).

Esta prueba consiste en introducir un gas a presión, este gas inclusive puede ser aire; se introduce el aire por un extremo y se realiza la medición con un manómetro por el otro extremo. El gas se contiene en la tubería por un tiempo, se verifica la medición y si existe una disminución en la lectura se prosigue a identificar la fuga con una prueba diferente, ya que en un entorno cerrado la presión no se libera, sino que se acumula.

Figura 36.*Tubería hermética*

Nota. Recuperada de Ingeniería civil: tubos de alcantarillado [Fotografía], s.f., (https://es.123rf.com/photo_73031762_ingenier%C3%ADa-civil-tubos-de-alcantarillado.html).

Fugas (hidrostática)

La prueba de fugas avala que las tuberías se encuentren en óptimas condiciones de operación, asegurando la hermeticidad de las tuberías.

La prueba consiste en llenar la tubería con agua limpia, se comienza con la presurización de la línea hasta llegar a la presión de prueba, es en ese momento es cuando se comienza a realizar la inspección de las válvulas y de accesorios, para detectar las posibles fugas. (Caza, 2011). La intención de esta prueba es encontrar fugas en juntas inaceptables en sistemas de tuberías a presión o sin presión. Si existe alguna alteración, puede manifestarse por fugas o rupturas. Las pruebas de fugas de los sistemas de

presión generalmente implican llenar el sistema o una sección del sistema con un fluido líquido o gaseoso y aplicar presión interna para determinar la resistencia a las fugas (figura 37).

Figura 37.

Pruebas hidrostáticas



Nota. Tomado de PRUEBAS DE PRESIÓN [Fotografía], EMGESA, 2019, EMGESA montajes (<https://emgesamontajes.com/cherry-services/pruebas-de-presion/>).

En la figura 38 se muestra una tubería que esta lista para ser enterrada y previo a esto último, se debe realizar la prueba correspondiente, en este caso la prueba de fugas.

Figura 38.

Tubería próxima para enterrarse



Nota. Tomado de Hometalk, Rain always brings a few drainage calls-some past solutions, [Fotografía], s.f., (<https://www.hometalk.com/diy/rain-always-brings-a-few-drainage-calls-some-past-solutions-105827?device=large&device=large>).

IV) Pruebas Mecánicas

Alineación

(González, 2005) Un problema en las máquinas rotodinámicas causante de una gran cantidad de daños en ellas, es el desalineamiento y desbalanceo mecánico, generadores de la vibración, que a su vez produce problemas en las maquinas como sobrecalentamiento de partes, desgaste y ruptura de piezas, perdida de eficiencia en el motor, ruido industrial y daños colaterales, entre otros.

Las máquinas giratorias son susceptibles de sufrir desalineación. Unas máquinas bien alineadas en la fase de puesta en marcha y sometidas a un mantenimiento periódico a partir de ese momento, ayudarán a reducir los costes de mantenimiento y de operación de la planta a largo plazo

Una alineación precisa garantiza:

- Consumo de energía reducido
- Reducción de fallos en el rodamiento, junta, eje y acoplamiento
- Temperaturas más bajas en rodamientos y acoplamientos
- Reducción de las vibraciones
- Ausencia de agrietamiento (o rotura) de los ejes
- Pernos de anclaje bien sujetos

Una alineación precisa de los ejes contribuye de distintas maneras a reducir gastos y a conseguir un medio ambiente más limpio.

El efecto de una mayor carga sobre el acoplamiento debido a la desalineación puede observarse fácilmente mediante el uso de la termografía por rayos infrarrojos.

Escenario 1. En este caso, el elemento de acoplamiento flexible se calienta. La máquina alcanza temperaturas elevadas, especialmente alrededor de las carcasas de los rodamientos (figura 39).

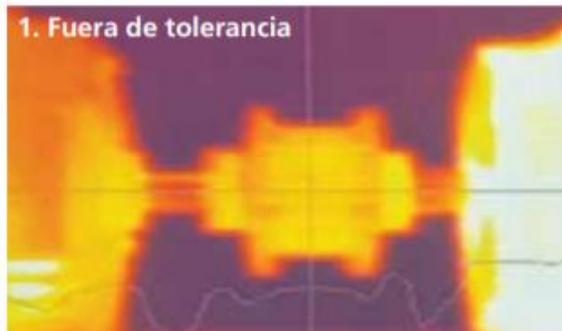
Escenario 2. La alineación precisa reduce drásticamente los factores que pueden causar una avería en las máquinas (figura 40).

Una alineación adecuada de la bomba y el conductor es importante para garantizar que no se presenten problemas en la operación mecánica. Una operación ruidosa y con vibración, reduce la vida útil. Las fallas de acoplamiento, de flecha y la energía desperdiciada pueden ser el resultado de una alineación defectuosa.

Antes de proceder, debes conocer las estimaciones del aumento térmico de su equipo. Es importante referirse a la bomba y los controladores manuales de éstas estimados.

Figura 39.

Máquina rotatoria fuera de la tolerancia



Nota. Recuperada de Innovación y precisión al servicio del progreso industrial. [Fotografía], s.f., (<https://pruftechnik.wordpress.com/2011/01/17/innovacion-y-precision-al-servicio-del-progreso-industrial/>).

Figura 40.

Máquina rotatoria dentro de la tolerancia



Nota. Recuperada de Innovación y precisión al servicio del progreso industrial. [Fotografía], s.f., (<https://pruftechnik.wordpress.com/2011/01/17/innovacion-y-precision-al-servicio-del-progreso-industrial/>).

Se tomará como ejemplo la alineación de la bomba modelo 3700 para evitar fallas, hay dos tipos de comprobación de la alineación: frío y caliente,

en frío se refiere cuando la bomba se encuentra a temperatura ambiente y en caliente a la temperatura de operación.

Comprobación de la alineación en frío:

Se realizan las comprobaciones antes de colocar el grout en la placa base para asegurar una correcta alineación; después de colocar el grout en la placa base para asegurar que no se hayan presentado cambios durante la colocación y finalmente después de conectar la tubería, ya que, también pueden modificar la alineación de la bomba.

Comprobación de la alineación final:

La comprobación de la alineación se realiza cuando comienza el arranque de la bomba y está se encuentra a la temperatura de operación para identificar que no existan cambios en la alineación. Finalmente se realizan comprobaciones periódicas, de acuerdo a lo establecido en los procedimientos de operación.

Es importante verificar la alineación de la bomba cuando está haya sido reparada, cuando la temperatura del proceso y la tubería hayan cambiado, para evitar fallas en la bomba.

En la figura 41 se observa una máquina rotatoria alineada, resultado de la prueba de alineación.

Figura 41.

Prueba de alineación (máquina rotatoria alineada)



Nota. Tomada de Installation, operation and maintenance manual (2010), Goulds Pumps, [Fotografía].

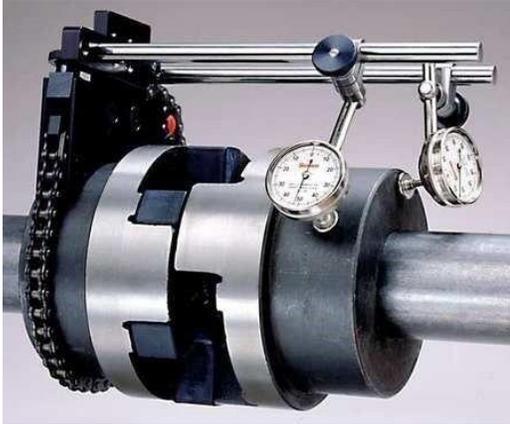
Implicaciones de una mala alineación:

- Menos vida útil de la máquina
- Fallos de acoplamientos
- Incremento del desgaste de las piezas
- Mayor consumo de energía
- Mayor costo de mantenimiento
- Incremento de las vibraciones

En la figura 42, se muestra un segundo ejemplo de una máquina rotaria ya alineada.

Figura 42.

Prueba de alineación 2 (máquina rotatoria alineada)



Nota. Tomada de Installation, operation and maintenance manual (2010), Goulds Pumps, [Fotografía].

Vibración

(AMAQ S.A., 2005). En términos muy simples una vibración es un movimiento oscilatorio de pequeña amplitud. Todos los cuerpos presentan una señal de vibración en la cual plasman cada una de sus características. De acuerdo a esto, las máquinas presentan su propia señal de vibración y en ella se encuentra la información de cada uno de sus componentes. Por tanto, una señal de vibración capturada de una máquina significa la suma vectorial de la vibración de cada uno de sus componentes.

(Fluke, 2013) Dentro de los beneficios de la comprobación prematura de las vibraciones se incluyen:

Previsibilidad: Da tiempo al personal de mantenimiento para planificar las reparaciones necesarias y para adquirir las piezas adecuadas.

Seguridad: Se puede retirar el equipo defectuoso antes de que ocurra una falla peligrosa.

Rentabilidad: Ocasiona que se incurra en menos fallas inesperadas y graves, lo que evita interrupciones en la producción que afectan los resultados finales.

Intervalos de mantenimiento más largos: Extiende la vida útil del equipo y planifica los mantenimientos a medida que se necesiten.

Confiabilidad: Incurre en menos fallas inesperadas o catastróficas, ya que las zonas problemáticas se pueden anticipar antes de que fallen.

Tranquilidad: Genera confianza en las planificaciones de mantenimiento, la planificación del presupuesto y las estimaciones de productividad.

En la figura 43 se puede observar un ejemplo acerca de cómo se realiza la medición de la vibración del equipo.

Figura 43.

Medición de la vibración



Consecuencias de las vibraciones:

- Mayor consumo de energía
- Aumento del nivel de desgaste
- Reducir la vida útil de los rodamientos
- Daños en el equipo
- Degradan las condiciones de trabajo al producir ruidos (Molina 2012)

V) Pruebas de Procesos

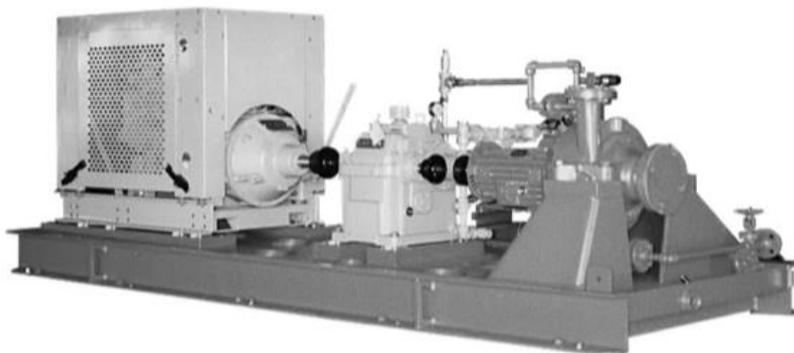
Pruebas de equipos

Si estas pruebas son omitidas habrá problemas en el arranque de la planta sin el conocimiento de las causas y con gran dificultad de identificación, creando un gran riesgo para los trabajadores, influyendo directamente en la entrega de la planta y costo de esta.

Se tomará como ejemplo un manual de una bomba modelo 3700 (figura 44), la cual se encuentra diseñada para soportar altas presiones y temperaturas.

Figura 44.

Bomba modelo 3700



Nota. Tomada de Installation, operation and maintenance manual (2010), Goulds Pumps,[Fotografía].

1. Pre instalación:

Es necesaria la conexión a tierra del equipo y verificar que la conexión sea la correcta.

2. Instalación:

Se coloca una cimentación adecuada que sea un soporte rígido y además absorba todas las vibraciones causadas; para comenzar con el montaje de la bomba de acuerdo al manual.

Se comienza con la colocación de la placa para el montaje, con ayuda de tornillos niveladores, una vez instala la placa base, se monta y se fija la bomba.

Se procede a la nivelación del eje, en donde se pueden utilizar diferentes métodos de alineación: indicador de carátula o por medio de láser, la alineación se realiza para lograr correcciones verticales y horizontales.

Es necesario realizar la verificación general de las tuberías, la tubería no debe ejercer fuerza en las conexiones de brida de la bomba, porque puede provocar una desalineación entre la bomba y el motor además que la tubería puede deformarse y afectar el funcionamiento del equipo provocando daños.

La única válvula reguladora que se puede variar es la de la línea de descarga, nunca la de succión o puede provocar daños al equipo debido a una generación de calor y eso conlleva a una disminución del rendimiento; realizar una verificación de la tubería de succión y descarga; en caso del requerimiento de un bypass deberá de colocarse del lado de la descarga a la succión.

Verificar las tuberías auxiliares: el sistema de enfriamiento debe funcionar correctamente para evitar fallas debido a la generación excesiva de calor y chispas. Realizar la verificación manual de los sistemas de sellado para que no falle el sello por exceso de calor.

Finalmente, verificar que la tensión de la tubería no haya causado un desalineamiento en la bomba.

Antes de comenzar la puesta en marcha de la bomba se tiene que verificar lo siguiente:

- La bomba no se encuentre vacía ni por debajo del flujo nominal mínimo.
- Las válvulas de succión y descarga se encuentren cerradas, esto puede provocar fallas de la bomba y lesiones físicas debido a la vaporización del fluido y crear una explosión.

- El líquido bombeado esté libre de objetos antes y durante de la operación, porque pueden bloquear el flujo y generar calor.
- El sistema debe estar sellado correctamente para evitar un entorno explosivo.
- La bomba debe tener el acoplamiento correcto.
- La rotación de la bomba se encuentre en la dirección correcta para evitar la generación de calor.
- Asegurar que los cojinetes se encuentren lubricados con aceite para evitar fallas prematuras.

3. Puesta en marcha de la bomba:

Verificar en los manómetros que la presión de descarga llegue al valor requerido, si esto no ocurre, detener la bomba y reiniciarla.

Identificar que los niveles de vibración y temperatura de los cojinetes sean normales, si no es así resolver el problema identificado.

La bomba debe de operar en las condiciones nominales establecidas, para evitar daños en el equipo por cavitación.

4. Mantenimiento

Para realizar el mantenimiento, es recomendable realizarlo en tres etapas:

- i. Inspección de rutina
- ii. Inspección de tres meses
- iii. Inspección anual

En la inspección de rutina, se realizan diferentes actividades como: comprobar el nivel de aceite, identificar fugas en la bomba, tuberías y en el sello, se analiza la vibración, se inspecciona la temperatura y la presión de descarga.

Para la inspección de tres meses, se realizan cambios de aceite en la bomba, se comprueba la alineación de la bomba y si es necesario se vuelve a realizar la alineación.

Las inspecciones anuales consisten en verificar la capacidad, presión y potencia de la bomba; si ha disminuido su rendimiento, se requiere que la bomba se desarme de acuerdo con el manual y en caso de que hay piezas desgastadas se deben reemplazar. (2010)

VI) Pruebas de Instrumentación

Instalación

Instrumento: Es un aparato o dispositivo cuyo objetivo es la medición, detección, transmisión registro, indicación. Procesamiento y/o control de variables.

Se entiende que un instrumento es un dispositivo cuyo objetivo es la detección, medición, transmisión, registro, indicación, procesamiento y/o control de las variables utilizadas en el proceso.

Todos los instrumentos y dispositivos de protección de control pertenecientes a un proyecto deben mostrarse en los Diagramas de Tuberías e Instrumentación (DTI`S) La numeración de los instrumentos se debe hacer de preferencia siguiendo la secuencia lógica del proceso. Por lo anterior es muy importante contar con los DTI`S (Ver Anexo A) pues a partir de estos se genera la información de Instrumentación, tal como índice de instrumentos, hojas de datos, típicos de instalación, lazos de control, etc. Con la información anterior se elabora un índice de instrumentos, donde se indica la información del instrumento, protecciones, alarmas, marca, orden de compra, no típico, no loop, etc.

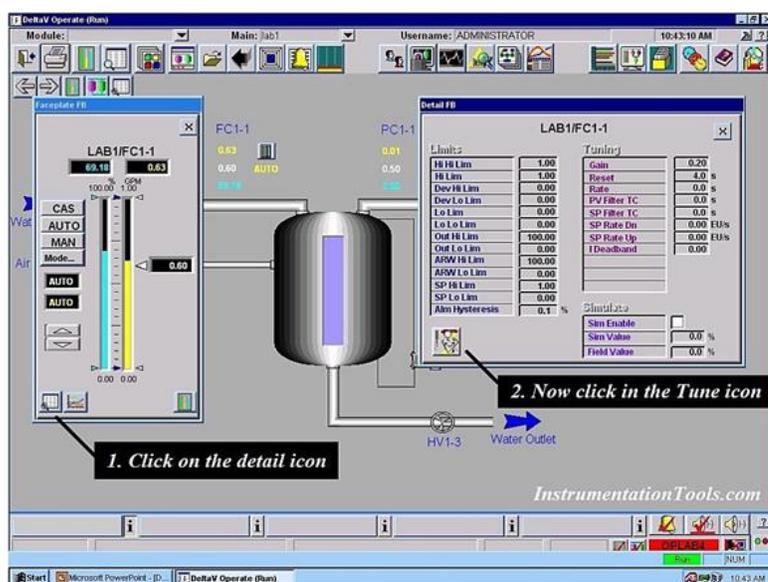
Para la especificación de instrumentos se utilizan los datos de proceso, los cuales son proporcionados por el coordinador del proyecto o el ingeniero de proceso en un formato llamado datos de proceso para instrumentación, el cual

contiene los datos necesarios para especificar los diferentes instrumentos para la planta de tratamiento.

Los valores de los instrumentos y dispositivos se pueden monitorear de manera inmediata en un cuarto de control, en la figura 45 vemos un ejemplo de su pantalla.

Figura 45.

Pantalla de cuarto de control



Dentro de los equipos de instrumentación se encuentran instrumentación electrónica, instrumentos de flujo tipo magnético, instrumentos de tipo dispersión termina, instrumentos de nivel, instrumentos de temperatura, válvulas de control, instrumentos de presión, instrumentos de medición de flujo (equipos de las figuras 46 y 47).

Figura 46.

Medidor de flujo de entrada



Figura 47.

Medidor de flujo de salida



Para la instalación de los diferentes instrumentos, estos deben instalarse en lugares accesibles y seguros. Se elaboran sus típicos de instalación (Ver anexo B) donde se indica el ensamble del instrumento en su soporte y su lista de materia.

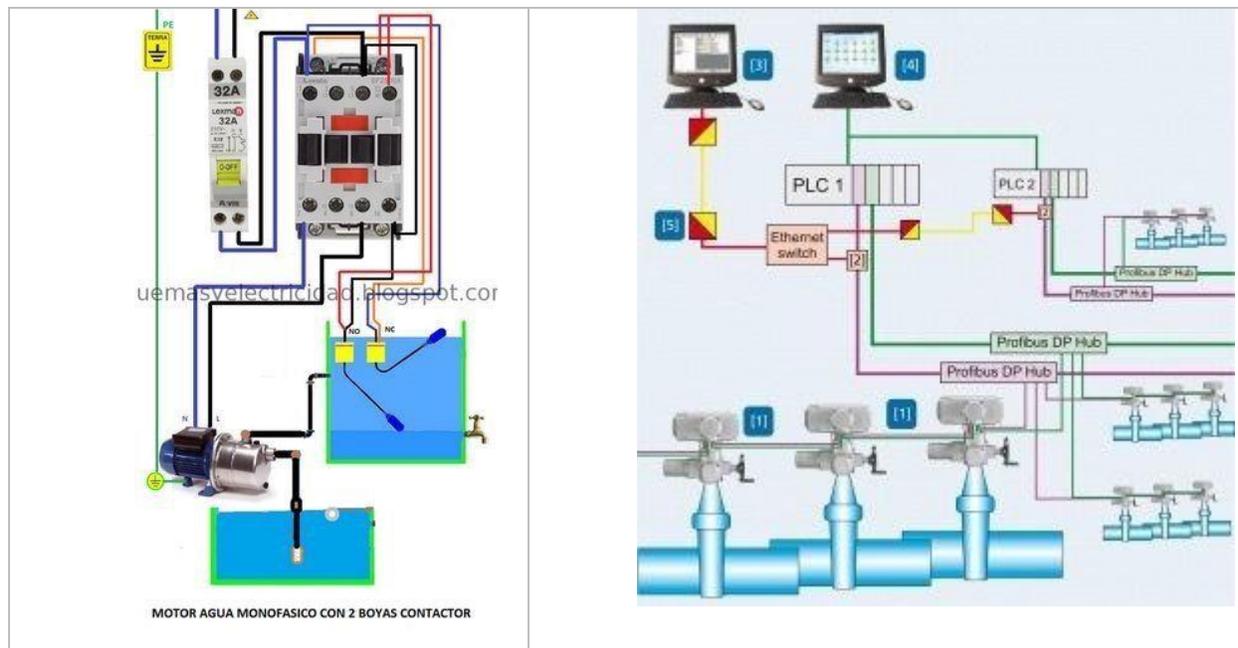
La medición de las variables que afectan directamente la estabilidad o la eficiencia del proceso de una planta de tratamiento de aguas residuales deben ser centralizadas en un tablero de control (En la figura 48 se muestran ejemplos de estos y en la figura 49 los diagramas de dos sistemas de control). En cada proyecto se deben unificar criterios para determinar el grado de automatización, esto se define por el grado de dificultad de su manejo y tipo de proyecto. El dispositivo de control utilizado será un controlador lógico programable PLC (por sus siglas en Ingles) con sus respectivos accesorios, tales como módulos de señales E/S digitales y analógicas, así como periféricos. Este PLC ira montado en un gabinete, el cual tendrá dispositivos de señalización y control y en algunos casos una HMI (interfase hombre-máquina), cuando es requerida. Se elabora también la especificación del tablero de control para indicar conexiones de instrumentos a tablero de control y equipos, tales como CCM (centro de control de motores), tableros locales de equipos periféricos y los loops de control (circuito de control) por proyecto.

Figura

48.

Conexiones a tableros de instrumentos



Figura 49.*Sistemas de control*

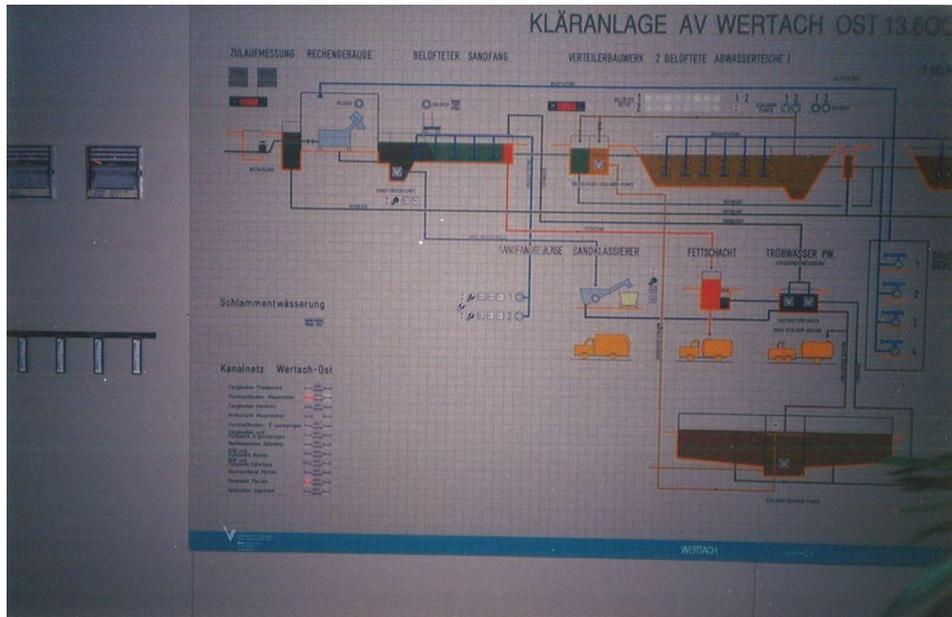
De acuerdo con los Diagramas de Tubería e Instrumentación, los Diagramas de Proceso (se muestra un ejemplo en la figura 50) y los arreglos de tuberías: Se evalúan teóricamente las capacidades y necesidades de cada uno de los diferentes instrumentos.

Los instrumentos se estructuran de acuerdo con el servicio y al sistema de referencia, considerando que es típicamente del tratamiento de aguas residuales.

Se desarrollará una lógica de operación y control de proceso en conformidad a lo indicado en la filosofía de operación para el control de la calidad del agua y automatización de estos con intervención del operador en los puntos que así lo indique.

Figura 50.

Ejemplo de diagrama de proceso



Como se mencionó anteriormente, los cuartos de control son espacios en donde los operadores pueden monitorear valores de los instrumentos y dispositivos de control. En la Figura 51 se muestra un ejemplo que corresponde a un edificio de control (vista externa) de una PTAR (Plata de tratamiento de aguas residuales) y en la Figura 52 se presenta una imagen de la vista interna de uno de los cuartos de control.

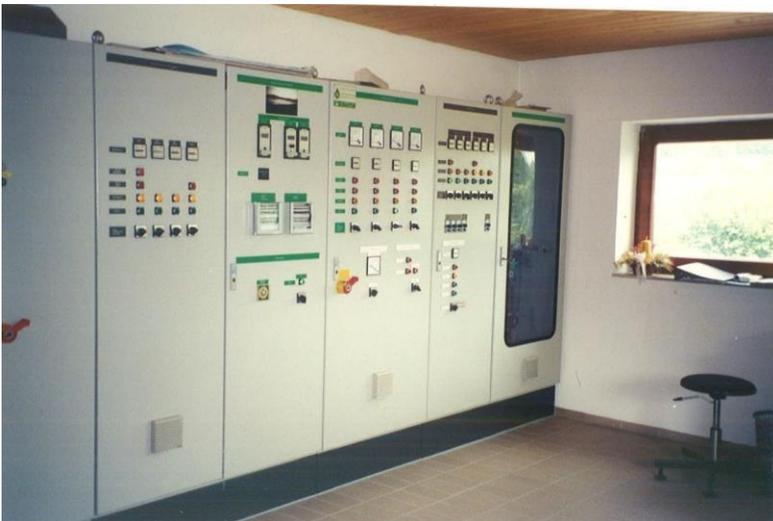
Figura 51.

Edificio de control



Figura 52.

Cuarto de control



Verificación

(TCM, 2018) "Comparar las medidas proporcionadas por el instrumento con las de un equipo calibrado y de calidad metrológica igual o superior al equipo a verificar, con el fin de confirmar que el equipo mide con un error menor al especificado por el fabricante o menor del requerido para la realización de un determinado trabajo".

(Rodríguez, 1996). Un programa organizado de mantenimiento y pruebas minimiza accidentes, reduce paros de empresas, y prolonga el tiempo de falla en los equipos eléctricos.

Las ventajas pueden ordenarse en directas e indirectas:

- Las ventajas directas son los beneficios efectivos de los equipos y el aprovechamiento mejor del personal de seguridad y propiedades de las empresas.
- Las ventajas indirectas están relacionadas con los empleados, incremento en la habilidad, en la fabricación y productividad. La detección de las deficiencias en el sistema original causadas por cambios en las cargas hechas en el sistema.

Calibración

(TCM, 2018) Partiendo de la definición de calibración: "Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación" es notable que divide la calibración en dos etapas:

En la primera etapa se realizan las operaciones pertinentes para obtener el error de indicación del equipo o sistema calibrado. Pero la calibración no termina ahí, tenemos además una segunda etapa en la que “se utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación”.

Esta parte final de la definición de calibración nos remarca que la calibración no termina una vez conocemos el error de indicación. Es necesario que, una vez conocido el error, tomemos las acciones pertinentes para asegurar que, al utilizar el equipo o sistema recién calibrado, los resultados obtenidos tengan trazabilidad. Debemos revisar los resultados de la calibración y tomar las acciones pertinentes para asegurar que los resultados de las medidas realizadas con el equipo calibrado tengan la exactitud adecuada.

Se realiza la calibración de los equipos de medida y ensayo periódicamente, para tener la seguridad de que los instrumentos están midiendo de manera correcta, así mantenemos y verificamos el correcto funcionamiento de los equipos, respondiendo a los requisitos determinados por las normas de calidad y así garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas.

(TCM, 2018) Por lo tanto la calibración compara los valores de un instrumento de medida, con la medida de un patrón de referencia establecido previamente, mientras que en la verificación se compara el instrumento, con otro instrumento, que haya sido calibrado previamente.

Conclusiones

En virtud de lo estudiado, se evidencia que existen diferentes fundamentos para llevar a cabo pruebas en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de las disciplinas revisadas en este trabajo en las fases de construcción y arranque, tales como:

- Minimizar riesgos de operación.
- Asegurar un régimen permanente óptimo.
- Salvaguardar la seguridad del personal.
- Mantener el tiempo de vida ideal de los equipos y la planta.
- Evitar tener gastos imprevistos por mal funcionamiento no contemplados en el presupuesto.
- Obtener evidencias objetivas para asegurar la continuidad del proyecto.

En síntesis, se ha podido establecer una relación entre las pruebas analizadas en las fases antes mencionadas presentado en el Anexo E. El cual nos ayuda a conocer la simultaneidad de la ejecución de algunas pruebas como la de amperaje y voltaje dentro de la disciplina eléctrica facilitando la interpretación en la secuencia de las pruebas para el Ingeniero de Proyectos.

Con respecto a las actividades que se realizan en las fases analizadas, se enlistan las siguientes;

Fase de construcción:

- Preparación del sitio.
- Contratación de maquinaria pesada y mano de obra para comenzar la excavación y las bases de cimentación para la construcción civil y su estructura.
- Instalaciones de tuberías, eléctricas, sistemas de control y de telecomunicaciones.

- Montaje del equipo mecánico y eléctrico.
- Comienzo de las pruebas civiles, mecánicas y eléctricas.

Fase de arranque:

- Continuación de las pruebas eléctricas, mecánicas, de procesos, de tuberías, éstas última en seco y con fluido y en frío y en caliente.
- Calibración y pruebas de instrumentos.
- Elaboración de manuales técnicos, utilizando la documentación técnica entregada por los proveedores.
- Realización de pruebas finales de la planta, hasta la satisfacción del cliente o al inicio de producción u operación.
- Entrega de una evaluación del comportamiento o garantía de producción neta parcial o total del objeto del contrato de la planta, en los aspectos técnicos, económicos y ambientales.
- Capacitación en la operación y mantenimiento de la planta productiva.

En breve, el proceso que se lleva a cabo en una PTAR se presenta a continuación:

Se tiene un flujo inicial a tratar llamado efluente que pasa a una sección de pre tratamiento para separar los componentes de gran tamaño, el efluente pasa a un tratamiento primario a fin de separar componentes de menor tamaño, posteriormente al tratamiento secundario con el objeto de la eliminación o adsorción de la materia orgánica presente y así llegar a la depuración final, en donde se sedimentan los lodos activados y se realiza la separación del agua tratada, por último el efluente se desinfecta y está listo para su disposición final.

En relación con las actividades desempeñadas por los ingenieros eléctricos, mecánicos, civiles, instrumentistas, de tuberías y procesos. Estos ingenieros están capacitados para realizar las siguientes tareas:

Diseño, planeación, organización, administración, coordinación, supervisión, mantenimiento y operación.

A fin de trabajar en conjunto para asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

En definitiva, este trabajo ha contribuido a la unificación del conocimiento empírico y teórico de las pruebas más representativas realizadas en una PTAR, así como el motivo de su ejecución, que es capaz de extrapolarse a cualquier tipo de proyecto, ya que las disciplinas aquí mencionadas son las que participan en el avance del mismo, por lo tanto, el presente trabajo cumple con los objetivos planteados, recalando la importancia del cumplimiento de las pruebas, a fin de enriquecer esta investigación podemos sugerir la realización de las pruebas en campo y el análisis de los resultados obtenidos, así como la elaboración de un manual general donde se visualicen la relación con las normativas vigentes.

Mapeo de pruebas

Para ver el mapeo de las pruebas presentadas en este trabajo consultar el **Anexo H** en el cual se detalla el orden de la ejecución de las pruebas y en qué fase del proyecto se desarrollan.

Referencias

1. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. (2018). *Reporte de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado de <https://sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/RPTAR%202015%20OP%202.pdf>
2. Del Rio. (s.f). *PREPARATIVOS Y PUESTA EN OPERACIÓN DE PLANTAS QUÍMICAS Y DE PROCESO*. Recuperado de <https://vdocuments.mx/arranque-de-plantas-de-proceso.html>
3. Lorenzo. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
4. Brenzini y Martínez. (2012). *Perfil del ingeniero civil: una visión desde sus competencias genéricas y específicas*. Revista Científica Ciencias Humanas, 7(8), 30-31. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/709/70923776002.pdf>
5. Suñé, Gil, Arcusa (2004). *Manual práctico de diseño de sistemas productivos*. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?id=AkR_hCGsTIUC&pg=PA79&dq=ingenieria+de+procesos&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjV04vKv__pAhVDKKwKHW0eBYwQ6AEIMTAB#v=onepage&q=ingenieria%20de%20procesos&f=false
6. INFAIMON (14 marzo 2018). *Ingeniería de procesos: maximización de los recursos disponibles*. [R]evolución artificial. Recuperado de <https://blog.infaimon.com/ingenieria-de-procesos-maximizacion-recursos/>

7. Krick, E. (1996). *Introducción a la ingeniería y al diseño en ingeniería*. Editorial Limusa, México.
8. Deiana, Granados y Sardella (2018). *Ramas y funciones de la ingeniería. Introducción a la ingeniería*. (pp. 5). Departamento de Ingeniería Química. Recuperado de <http://www.fi.unsj.edu.ar/asignaturas/introing/RamasDeLaIngenieria.pdf>
9. Gutiérrez e Iturralde. (2017). *Fundamentos básicos de instrumentación y control*. Recuperado de <http://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%C3%A1sico+de+instrumentaci%C3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>
10. Chávez. (2013). *LA ADMINISTRACIÓN ENERGÉTICA Y LA IMPORTANCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS*. Recuperado de: https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/iq/tesis/tesis_chavez_rojas.pdf
11. Islas. (2009). *Conceptos para el desarrollo básico de arreglos de tuberías en plantas industriales bajo la norma ASME/ANSI*. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/4594/1/CONCEPTOSD ESARR.pdf>
12. Juan Mario Morales Cabrera
13. Ramírez Leticia
14. Fernández, H. (2004). *Pruebas de concreto*. IMCYC. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/cyt/agosto04/CONCEPTOS.pdf>
15. Neville A. (1989). *Tecnología del concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

16. Hernández, F. (2009). *Obtención y prueba de corazones y vigas extraídos de concreto endurecido*. Imcyc. <http://www.imcyc.com/ct2009/abr09/PROBLEMAS.pdf>
17. Favela (s.f.). *Movimiento de tierras*. Recuperado de: [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14268/APUNTES%20DE%20MOVIMIENTO%20DE%20TIERRA S.pdf?sequence=1](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14268/APUNTES%20DE%20MOVIMIENTO%20DE%20TIERRA%20S.pdf?sequence=1)
18. Fluke (2007). *Resistencia de puesta a tierra*. Recuperado de: https://dam-assets.fluke.com.cn/s3fs-public/9902802_ENG_A_W.PDF
19. ALSTOM (s.f.). *Pruebas eléctricas de campo a equipos en instalaciones eléctricas industriales*. Recuperado de <https://www.fluke.com/es-mx/informacion/mejores-practicas/aspectos-basicos-de-las-mediciones/electricidad/que-es-la-continuidad>.
20. Fluke (2014). *Comprobaciones básicas de instalaciones eléctricas*. Recuperado de https://static3.voltimum.com/sites/www.voltimum.es/files/pdflibrary/20145122_fluke_appnotes_basic_electrical_install_testing-es.pdf
21. (CHAUVIN ARNOUX, 2010). *Guía de la medición de aislamiento*. Recuperado de https://www.chauvinarnoux.com/sites/default/files/documents/cat_guia_de_medicion_de_aislamiento.pdf.
22. González, F. (2004). *Manual de supervisión de obras de concreto*. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?id=d_ufCPVAYtIC&pg=PA85&dq=prueba+de+corazon+de+concreto&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwio29OGprzqAhVSR60KHWeFC0IQ6AEwAHoECAQQA#v=onepage&q=prueba%20de%20corazon%20de%20concreto&f=false
23. IPN, (s.f.). *Inspección y control de calidad, en la aplicación de soldadura de elementos estructurales*. Recuperado de:

- <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3756/INSPECCIONYCONTROL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
24. (González, 2005). *DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS DE DESALINEAMIENTO Y DESBALANCEO MECANICO*. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4834373.pdf>.
 25. (2018) *Sepa como instalar*. [Blog] Recuperado de: <https://sepacomoinstalar.com.ar/prueba-de-hermeticidad-como-realizarla-de-forma-correcta/>
 26. Caza, G. (2011) *Desarrollo del manual de seguridad para pruebas hidrostáticas en tanques y tuberías de transporte de petróleo o de sus derivados en el año 2011*. (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.
 27. (AMAQ S.A., 2005). *TUTORIAL DE VIBRACIONES PARA MANTENIMIENTO MECÁNICO*. Recuperado de: http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PRE%20DICTIVO_archivos/CURSO%20A%20MAQ.COM.pdf
 28. (EPP, 2014). *9 Most Common Power Quality Problems*. Recuperado de: <https://electrical-engineering-portal.com/9-most-common-power-quality-problems>
 29. (Fluke, 2013). *Descripción de los beneficios del monitoreo y el análisis de las vibraciones*. Recuperado de: <https://www.fluke.com/es-mx/informacion/blog/vibracion/descripcion-de-los-beneficios-del-monitoreo-y-el-analisis-de-las-vibraciones>.
 30. (Fluke, 2013). *Understanding the benefits of vibration monitoring and analysis*. Recuperado de: http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/4332316_6003_ENG_A_W.PDF
 31. TCM (2018). *LA IMPORTANCIA DE LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDIDA Y ENSAYO*. Recuperado de:

- <https://www.tcmetrologia.com/blog/la-importancia-de-la-calibracion-de-equipos-de-medida-y-ensayo/>.
32. Rodríguez (1996). *Fundamentos de operación, mantenimiento y pruebas de equipos eléctricos en la industria*. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/7698/1/1020118277.PDF>
33. TCM (2018). *¿CONOCES LA DIFERENCIA ENTRE CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN?* Recuperado de: <https://www.tcmetrologia.com/blog/conoces-la-diferencia-entre-calibracion-y-verificacion/>
34. (2006) *Manual de operaciones*.
35. <http://www.imcyc.com/cyt/julio04/CONCEPTOS.pdf>
36. (2010) *Installation, operation and maintenance manual*
37. (Rangel, 2003). *Administración de Proyectos*. Recuperado de <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2020/03/04/administracion-de-proyectos-de-ingenieria-procura-y-construccion/>
38. Huerta, P. (2009). Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1037/Tesis.pdf?sequence=1>
39. (2019) CEMEX <https://www.cemex.com.pe/-/-por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->
40. Molina, G. (2012) *Revista electro industria, abril 2012. Revista ElectroIndustria - Por qué es importante analizar las vibraciones en sus equipos (emb.cl)*
41. Secretaría Central de ISO. (2015). *NORMA INTERNACIONAL ISO 9000*.

Glosario

C

Cabeceo

Es el procedimiento empleado para preparar las bases de los especímenes cilíndricos de concreto con los materiales adecuados.64

Caudal

Cantidad de agua que mana o corre.86

Cojinete

Pieza o conjunto de piezas que soportan el giro del eje de una máquina, permite el movimiento del eje en su interior.97

Corriente Directa

Se le llama corriente directa a la intensidad (cantidad) de corriente que circula por un circuito eléctrico sin variaciones de polaridad, magnitud y dirección, es decir que desde el instante mismo que es producida por la fuente se

mantiene constante en todos sus vectores..... 75, 76

E

Extrusión

Se utiliza para la reparación de detalles especiales y parches. La máquina utilizada para la soldadura registra y controla la temperatura.....65

G

Grout

Es un material muy fluido, autonivelante que se utiliza para rellenar bases, anclajes y pequeños espacios.....91

M

Maquinas rotodinámicas

Son máquinas cinéticas en las cuales la energía se transmite continuamente al fluido por medio de un elemento rotativo que puede ser un impulsor o rodete, una propela o un rotor.89

N**Nivel freático**

Es el lugar geométrico de los puntos donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica.....85

P**Permeabilidad**

Es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviesa sin alterar su estructura interna.56

PLC

Un PLC es un Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller) es un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de

entrada/salida digitales o analógicos, varios tipos de máquinas o procesos..... 101

R**Relés electromecánicos**

Los relés son interruptores que abren y cierran circuitos electromecánicos o electrónicos. El principal funcionamiento de un relé es el de activar, poner en marcha o encender algo mediante una señal eléctrica con una intensidad mucho menor que la intensidad que va a consumir el aparato o receptor que queremos encender o poner en marcha..... 77

RFI

La interferencia de radiofrecuencias (RFI, radio frequency interference) proviene de transmisores de radio y otros dispositivos que transmiten en la misma frecuencia..... 68

S**Señales EMI**

La interferencia electromagnética
(EMI, electromagnetic

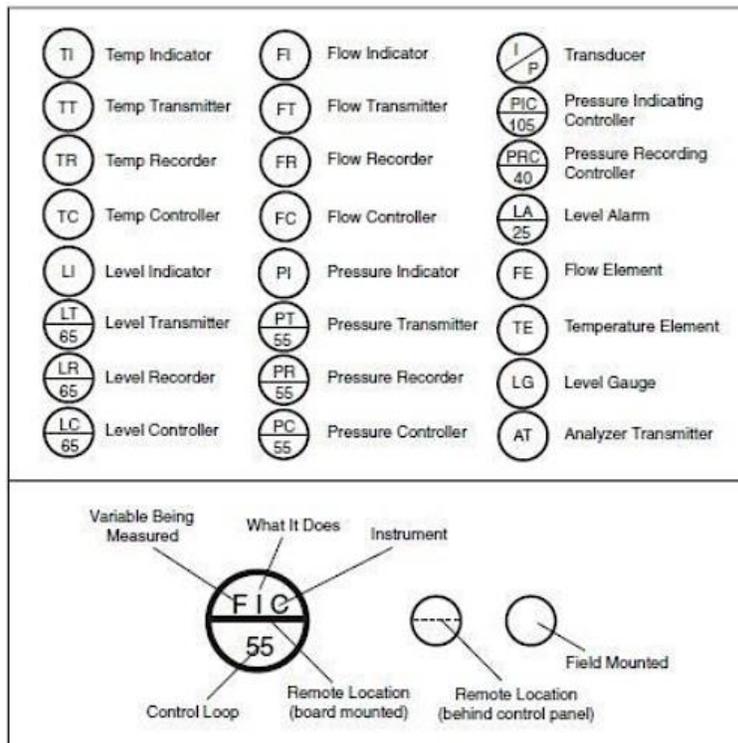
interference) es la intrusión de
señales electromagnéticas
externas en un medio de
transmisión, como el cableado
de cobre. 68

Anexos

Anexo A. Simbología de instrumentación.

EJEMPLO	P&ID	POSICIONADORES Y OTROS ACCESORIOS
		VOLANTE MANUAL
		ACTUADOR DIAFRAGMA
		ACTUADOR VALVULAS ALIVIO Y SEGURIDAD
		POSICIONADOR
		ACTUADOR DE PISTÓN
		ACTUADOR MOTORIZADO
		VÁLVULA DE SOLENOIDE

EJEMPLO	P&ID	INDICADORES LOCALES
		INDICADOR DE TEMPERATURA
		INDICADOR DE PRESIÓN
		INDICADOR DE CAUDAL
		INDICADOR DE NIVEL



VALVE SYMBOLS	EQUIPMENT CONT.	LINE SYMBOLS																														
<p> Globe Valve, Gate Valve, Ball Valve, Plug Valve, Butterfly Valve, Check Valve, Safety Valve (Open), Safety Valve (Closed), Check Valve, Stop Check, Air Valve, Drain Valve, Purge Valve, Blowdown Valve, Three-Way Valve, Four-Way Valve </p>	<p> INDUCED DRAFT Crossflow NATURAL DRAFT Countercurrent </p>	<p> Future Equipment: - - - - - Major Process: ———— Minor Process: ———— Pneumatic: ———— Hydraulic: ———— Capillary Tubing: ———— Mechanical Link: ———— Electromagnetic, Sonic, Optical, Nuclear: ———— Electric: - - - - - Connecting Line: ———— Non-Connecting Line: ———— Non-Connecting Line: ———— Jacketed or Double Containment: ———— Software or Data Link: ———— </p>																														
<h3 data-bbox="261 594 602 625">EQUIPMENT SYMBOLS</h3> <p> Horizontal Pump, Vertical Pump, Sump Pump, Centrifugal Pump, Gear Pump, Positive Displacement Pump, Reciprocating Pump, Screw Pump, Progressive Cavity </p>	<p> FURNACE ROTARY SCREW COMPRESSOR </p>	<h3 data-bbox="1052 741 1409 772">INSTRUMENT SYMBOLS</h3> <table border="0"> <tr> <td>TI Temp Indicator</td> <td>FI Flow Indicator</td> </tr> <tr> <td>TT Temp Transmitter</td> <td>FT Flow Transmitter</td> </tr> <tr> <td>TD Temp Recorder</td> <td>FD Flow Recorder</td> </tr> <tr> <td>TC Temp Controller</td> <td>FC Flow Controller</td> </tr> <tr> <td>LI Level Indicator</td> <td>PI Pressure Indicator</td> </tr> <tr> <td>LT Level Transmitter</td> <td>PT Pressure Transmitter</td> </tr> <tr> <td>LD Level Recorder</td> <td>PD Pressure Recorder</td> </tr> <tr> <td>LC Level Controller</td> <td>PC Pressure Controller</td> </tr> <tr> <td>FL Flow Indicator</td> <td>TR Transducer</td> </tr> <tr> <td>FT Flow Transmitter</td> <td>PTC Pressure Indicating Controller</td> </tr> <tr> <td>FD Flow Recorder</td> <td>PTC Pressure Recording Controller</td> </tr> <tr> <td>FC Flow Controller</td> <td>LA Level Alarm</td> </tr> <tr> <td>TI Temperature Indicator</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LT Level Gauge</td> <td></td> </tr> <tr> <td>AT Analytic Transmitter</td> <td></td> </tr> </table>	TI Temp Indicator	FI Flow Indicator	TT Temp Transmitter	FT Flow Transmitter	TD Temp Recorder	FD Flow Recorder	TC Temp Controller	FC Flow Controller	LI Level Indicator	PI Pressure Indicator	LT Level Transmitter	PT Pressure Transmitter	LD Level Recorder	PD Pressure Recorder	LC Level Controller	PC Pressure Controller	FL Flow Indicator	TR Transducer	FT Flow Transmitter	PTC Pressure Indicating Controller	FD Flow Recorder	PTC Pressure Recording Controller	FC Flow Controller	LA Level Alarm	TI Temperature Indicator		LT Level Gauge		AT Analytic Transmitter	
TI Temp Indicator	FI Flow Indicator																															
TT Temp Transmitter	FT Flow Transmitter																															
TD Temp Recorder	FD Flow Recorder																															
TC Temp Controller	FC Flow Controller																															
LI Level Indicator	PI Pressure Indicator																															
LT Level Transmitter	PT Pressure Transmitter																															
LD Level Recorder	PD Pressure Recorder																															
LC Level Controller	PC Pressure Controller																															
FL Flow Indicator	TR Transducer																															
FT Flow Transmitter	PTC Pressure Indicating Controller																															
FD Flow Recorder	PTC Pressure Recording Controller																															
FC Flow Controller	LA Level Alarm																															
TI Temperature Indicator																																
LT Level Gauge																																
AT Analytic Transmitter																																
<p> Double Pipe Heat Exchanger, Spiral Heat Exchanger, Plate and Frame Heat Exchanger, Air-Cooled Exchanger (Covers Optional), Condenser, Reboiler </p>	<p> Drum, Dome Roof Tank, Cone Roof Tank, Sphere, Internal Floating Roof Tank </p>	<p> APPROVED <i>C. Thomas</i> DATE 10-6-99 </p> <p> GENERAL LEGEND DISTILLATION UNIT </p> <p> DRAWING NUMBER 006543 </p> <p> REVISION 1 PAGE 1 OF 30 </p>																														
<h3 data-bbox="248 1665 402 1696">PREFIXES</h3> <p> CW- cooling water MU- makeup FW- feed water RX- reactor UT- utilities CA- chemical addition </p>	<h3 data-bbox="857 1665 1101 1696">ABBREVIATIONS</h3> <p> D- drum C- column CT- cooling tower TK- tank F- furnace EX- exchanger P- pump V- valve </p>																															

Anexo B. Típico de instrumentación.

	CLIENTE PLANTA PROY. No.	FECHA ELABORO REVISO DISEÑO
TÍPICO DE INSTALACION		

TRANSMISOR DE PRESION

TAG No.	LOCALIZACIÓN
PT-P1101	100-AGL-P40-1102; BOMBA P-1101
PT-P1102	100-AGL-P40-1102; BOMBA P-1102

NOTAS :

- 1.- POR DEPARTAMENTO DE TUBERIAS.
- 2.- LA CANTIDAD DE MATERIAL MOSTRADA ES UNITARIA.
- 3.- CONECTOR DE SEÑAL POR DEPTO. ELECTRICO

Nº.	CANT.	DESCRIPCION DE MATERIAL
22	1	VALVULA DE BOLA EN PVC CLASE 12454-BL, EXTREMOS ROSCADOS, C/CONECTORES 150#, ASIENTO REDUCIDO DE PTFE, ANILLO DE DIFUSION MANERAL DE POLIPROPILENO AUTO IMPACTO DE 1" DE DIAMETRO.
23	2	NIPLE DE PVC CLASE 12454-BL, AGTM D-1785, EXTREMOS ROSCADOS DE 1" DE DIAMETRO x 3" DE LONGITUD
24	1	BREA DE PVC, CEE-8L, DE 1"-150#
25	4	ESPIRADO EN ACERO INOXIDABLE DE 1/2" DE DIAMETRO x 3-1/4" DE LONGITUD

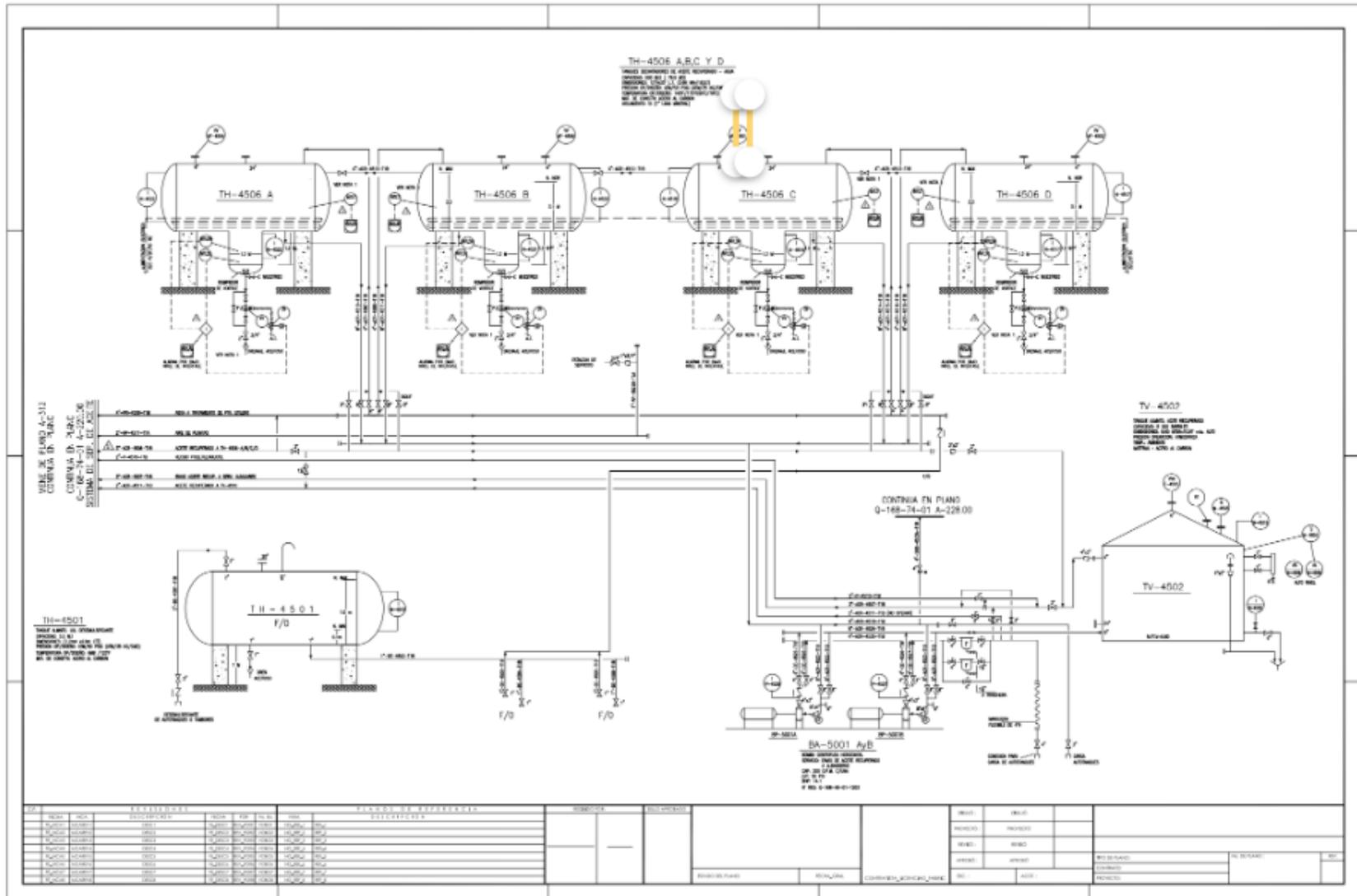
REVISION POR FECHA	A	B	O	1			
--------------------	---	---	---	---	--	--	--

\\qa007108-G4-Lemas\Instrumentación\Tipicos de Instrumentación\11-2007\100-087-12048

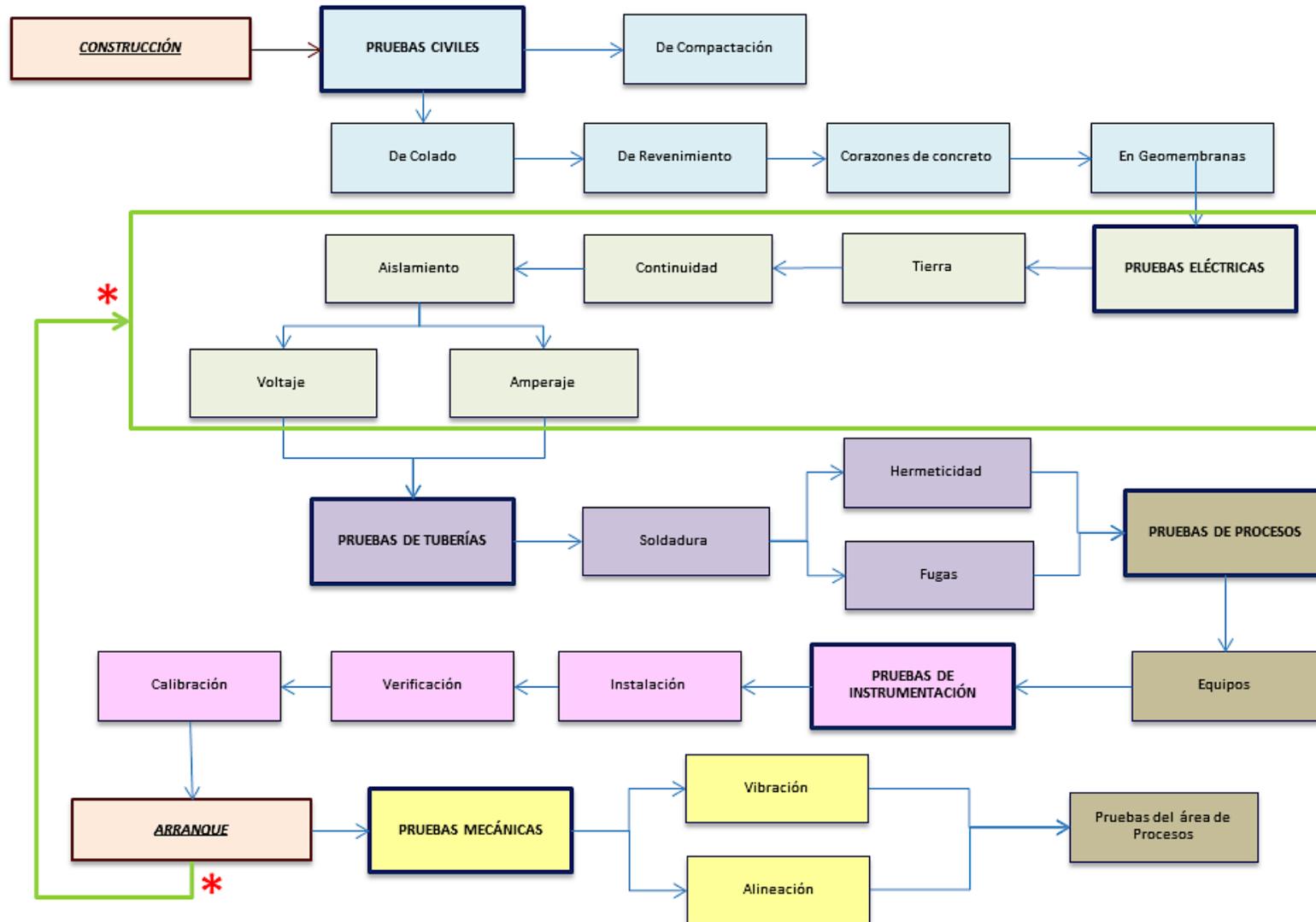
Anexo C. Ejemplo de hoja para verificar el aislamiento.

PRUEBAS DE AISLAMIENTO-CONDUCTORES		LOGOTIPO CLIENTE				
Control y Desarrollo del Diseño del Proyecto		REG. 67443				
Obra/Planta: _____		Proyecto N° (en caso de que aplique): _____				
Contratista : _____		Área: _____				
De acuerdo al plano N°: : _____		Revisión: _____ Fecha: _____				
Tramo o localización del alimentador: _____						
DATOS DEL EQUIPO CON EL QUE SE REALIZA LA PRUEBA						
MARCA: _____		MODELO: _____				
OBSERVACIONES: _____						
PRUEBAS DE AISLAMIENTO DE CABLES ALIMENTADORES						
TIPO Y CALIBRE DEL CABLE ALIMENTADOR	FASE	VOLTAJE DE PRUEBA	TIEMPO (seg.)	LECTURA (OHMS)	ACEPTADO	
					SÍ	NO
	F1		15 s			
			30 s			
			60 s			
	F2		15 s			
			30 s			
			60 s			
	F3		15 s			
			30 s			
			60 s			
	NEUTRO O TIERRA		15 s			
			30 s			
			60 s			
Observaciones: _____						
Aprobó		Aprobó		Vo.Bo.		
Residente Eléctrico		Superintendente de Obra		Supervisor Cliente		

Anexo G. Ejemplo de DTI.



Anexo H. Mapeo de pruebas



* Las pruebas eléctricas se realizan antes y después del arranque.