



Equipo para inspección de partes mediante líquidos penetrantes tipo II método A lavable con
agua.

Jorge Luis Romero Osma

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Centro Regional Soacha (Cundinamarca)

Programa Tecnología en Automatización Industrial

Noviembre de 2021

Equipo para inspección de partes mediante líquidos penetrantes tipo II método A lavable con
agua.

Jorge Luis Romero Osma

Sistematización presentada como requisito para optar al título de Tecnólogo en automatización
industrial

Asesor(a)

Jhon Jairo Carrasco Henao

Ingeniero mecánico

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Centro Regional Soacha (Cundinamarca)

Programa Tecnología en Automatización Industrial

Noviembre de 2021

Dedicatoria

La gloria y honra sean siempre para Dios, como ser supremo dador de la vida y la sabiduría, para mi esposa y familia quienes siempre han creído en mí y me han brindado su incondicional apoyo en este proceso académico y profesional.

Jorge Luis Romero Osma

Agradecimientos

Primero a Dios, especial agradecimiento al cuerpo docente de la facultad de ingenierías del Centro Regional Soacha, quienes han sido participes activos en el proceso de formación profesional e integral, al personal de la compañía Alkhorayef Zona Franca S.A.S. en la cual soy miembro activo, ellos quienes han apoyado y motivado este proyecto de mejora para la empresa. Agradecimientos a mis compañeros de aula y de trabajo porque han contribuido al fortalecimiento de mis conocimientos y de mi formación integral, en general a todos aquellos que estuvieron presentes durante este proceso e hicieron su valioso aporte, causando que este proyecto fuese posible.

Jorge Luis Romero Osma.

Tabla de Contenido

	Pág.
Lista de figuras	7
Lista de tablas	9
Lista de anexos.....	10
Resumen	11
Capítulo I Metodología de la sistematización.....	14
Objetos (objetivo de sistematización, delimitación del objeto y criterios para elección de objeto)	14
Caracterización del proyecto	14
Preguntas de la sistematización.....	15
Objetivos de la sistematización (General y específicos)	16
Justificación.....	17
Diseño metodológico (Método, instrumentos, análisis de información)	21
Capítulo II Descripción de la experiencia	24
Descripción de la modalidad de prácticas y la sub-línea del programa.....	24
Contexto de la experiencia	24
Antecedentes	26
Descripción del proyecto	32
Descripción del producto.....	32
CAPÍTULO III Recuperación del proceso	66
Revisión teórica.....	66
Análisis institucional	68
Análisis del impacto esperado	69
Aspecto ambiental	69
Aspecto económico.....	69
Aspecto industrial	69
Aspecto social	70
CAPÍTULO IV Análisis y reflexión	71
Resultados de la experiencia	71
Evaluación de impactos	72
Impacto ambiental.....	72
Impacto económico	73

Impacto industrial	73
Impacto social	73
Lecciones aprendidas	73
Recomendaciones	74
Conclusiones	75
Referencias.....	77
Anexos.....	78

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Manguito fracturado</i>	18
Figura 2. <i>Eje de bomba fracturado</i>	18
Figura 3. <i>Manguito de bomba WE 11000</i>	19
Figura 4. <i>Limpieza de piezas inicial</i>	20
Figura 5. <i>Aplicación de líquido penetrante</i>	20
Figura 6. <i>Aplicación de desarrollador en bujes</i>	21
Figura 7. <i>Flujograma del proceso general de inspección por LP</i>	35
Figura 8. <i>Partes de la estructura soporte del equipo, vista derecha</i>	36
Figura 9. <i>Partes de la estructura soporte del equipo, vista izquierda</i>	37
Figura 10. <i>Dimensiones generales estructura soporte de equipo vista frontal</i>	37
Figura 11. <i>Dimensiones generales estructura soporte de equipo vista izquierda</i>	38
Figura 12. <i>Dimensiones generales estructura soporte de equipo vista superior</i>	38
Figura 13. <i>Partes de carrito para desplazamiento longitudinal vista 1</i>	39
Figura 14. <i>Partes de carrito para desplazamiento longitudinal vista 2</i>	39
Figura 15. <i>Diseño general de bandeja de trabajo</i>	40
Figura 16. <i>Partes de tanques de trabajo vista 1</i>	41
Figura 17. <i>Partes de tanques de trabajo vista 2</i>	41
Figura 18. <i>Partes de tanques de trabajo vista 3</i>	42
Figura 19. <i>Dimensiones tanques de trabajo vista frontal</i>	43
Figura 20. <i>Dimensiones tanques de trabajo vista izquierda</i>	43
Figura 21. <i>Dimensiones tanques de trabajo vista superior</i>	44
Figura 22. <i>Tanques de almacenamiento de productos consumibles</i>	44

Figura 23. Partes de tanques de almacenamiento vista 1	45
Figura 24. Partes de tanques de almacenamiento vista 2	45
Figura 25. Dimensiones generales tanques de almacenamiento vista frontal.....	46
Figura 26. Dimensiones generales tanques de almacenamiento vista superior	47
Figura 27. Circuito de mando y control de cilindro neumático	47
Figura 28. Boquilla para aspersión tipo niebla	48
Figura 29. Boquilla para aspersión tipo cono lleno.....	49
Figura 30. <i>PLC Logo de Siemens</i>	50
Figura 31. <i>Programa de control para PLC primera parte</i>	51
Figura 32. Programa de control para PLC Logo de siemens segunda parte	52
Figura 33. Programa de control para PLC Logo de Siemens tercer parte	52
Figura 34. Logo Soft modo simulación.....	53
Figura 35. <i>Motor paso a paso</i>	54
Figura 36. Cilindro neumático.....	55
Figura 37. <i>Electroválvula biestable 5/2 vías</i>	57
Figura 38. Líquido penetrante SKL-WP2	59
Figura 39. Limpiador y removedor SKC-S.....	61
Figura 40. Desarrollador base solvente SKD-S2	63
Figura 41. Equipo de prueba para penetrantes fluorescentes ZA-1633	66
Figura 42. Equipo de prueba para penetrantes fluorescentes ZA-1227	67

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Beneficios del proyecto</i>	22
Tabla 2. <i>Variables del proceso</i>	22
Tabla 3. <i>Costos de operación</i>	23
Tabla 4. <i>Tiempos mínimos de permanencia recomendados</i>	36
Tabla 5. <i>Características del líquido penetrante</i>	61
Tabla 6. <i>Tabla de características de producto desarrollador SKD-S2</i>	65

Lista de anexos

	Pág.
Anexo 1. <i>Limpiador y Removedor para NDT SKC-S</i>	78
Anexo 2. <i>Penetrante Visible Lavable al Agua SKL-WP2</i>	78
Anexo 3. <i>Revelador Base Solvente</i>	78
Anexo 4. <i>Declaración de vida útil del producto</i>	78
Anexo 5. <i>Política Sistema integrado de gestión Alkhorayef Zona Franca S.A.S</i>	79
Anexo 6. <i>Objetivos del sistema integrado de gestión Alkhorayef Zona Franca S.A.S</i>	80
Anexo 7. <i>Procedimiento de ensayos no destructivos por líquidos penetrantes para Alkhorayef Zona Franca S.A.S</i>	81

Resumen

Este proyecto presenta un equipo automatizado para la realización de ensayos no destructivos por medio de líquidos penetrantes visibles de tipo II bajo el método A lavable con agua, diseñado principalmente para trabajar grandes cantidades de piezas en serie.

Fue necesario llevar a cabo una documentación detallada del procedimiento que se realiza en un ensayo por líquidos penetrantes (LP) para así plasmar la idea del prototipo en el software Solid Edge de Siemens.

Se prevé que será un equipo automatizado, el cual comprenderá 6 estaciones de trabajo que permiten obtener como resultado piezas inspeccionadas de acuerdo con las normativas dadas por la ASTM estándar E1418.

Con base a los procesos que se deben llevar a cabo en un ensayo por líquidos penetrantes, entre ellos limpieza, aplicación de producto penetrante y desarrollador o revelador, se establece el diseño del equipo y a su vez las estaciones de trabajo, razón por la cual se conectan y acoplan entre si una serie de dispositivos mecánicos, eléctricos y de control en la fabricación de la máquina.

La energía eléctrica y el aire comprimido suministrado por un compresor son las fuentes de energía que requerirá el equipo; el control estará dirigido por el PLC Logo 230RCE de Siemens, de acuerdo con el programa que se desarrolló para sí en el software Logo Soft Comfort V8.2. Sensores, interruptores, dispositivos de entrada y salida digitales serán quienes emitan las señales eléctricas hacia el PLC para que este se encargue de activar los actuadores de manera sincrónica.

Al final del proceso se obtienen piezas inspeccionadas técnicamente, las cuales garantizan su correcta integridad física y estarán listas para ser usadas en el ensamble de equipos de bombeo electro sumergible (BES).

Palabras clave: *Ensayo no destructivo, líquidos penetrantes visibles, bombeo electro sumergible, banco de pruebas, automatización, control de calidad.*

Abstract

This project presents an automated equipment for non-destructive testing by means of visible liquid penetrant testing type II under the water-washable method A, designed mainly to work large quantities of serial parts.

It was necessary to carry out a detailed documentation of the procedure performed in a liquid penetrant (LP) test to translate the prototype idea into Siemens Solid Edge software.

It is expected to be an automated equipment, which will comprise 6 workstations that allow to obtain as a result inspected parts in accordance with the regulations given by the ASTM standard E1418.

Based on the processes to be carried out in a liquid penetrant test, including cleaning, application of penetrant product and developer or developer, the design of the equipment and in turn the workstations is established, which is why a series of mechanical, electrical and control devices are connected and coupled together in the manufacture of the machine.

The electrical energy and the compressed air supplied by a compressor are the energy sources that the equipment will require; the control will be managed by the Siemens Logo 230RCE PLC, according to the program that was developed for itself in the Logo Soft Comfort V8.2 software. Sensors, switches, digital input, and output devices will emit the electrical signals to the PLC so that it is in charge of activating the actuators in a synchronous way.

At the end of the process, technically inspected parts are obtained, which guarantee their correct physical integrity and will be ready to be used in the assembly of electro submersible pumping equipment (ESP).

Keywords: Non-destructive testing, visible liquid penetrant testing, electro submersible pumping, test bench, automation, quality control.

Introducción

Los ensayos no destructivos y especialmente refiriendo el uso de líquidos penetrantes (LP) sin duda son uno de los tipos más comunes y usados en la industria en general teniendo claro que son ensayos que no alteran permanentemente las propiedades físicas, químicas, mecánicas y dimensionales de las piezas inspeccionadas, el daño a las mismas es imperceptible o simplemente no hay daño alguno.

En el sector de los hidrocarburos como en otras industrias el uso de partes en carburo de tungsteno es muy común, sin embargo, por sus características es primordial garantizar la integridad física de estas y es allí donde los LP se convierten en un ensayo bastante pertinente de implementar, por la simplicidad del proceso como por sus eficientes resultados.

Dadas las características dimensionales y la cantidad de bujes, manguitos y acoplamientos (bushing-sleeve-coupling) que son requeridos para el ensamble de un equipo de bombeo electro sumergible, se dan las condiciones para que este proceso se pueda realizar de manera automática por acción de un equipo especializado que garantice la inspección correcta y eficiente de estas partes.

En este sentido el presente documento argumenta las razones por las cuales un equipo automatizado es una opción válida y viable, a partir del estudio y análisis de la información relacionada específicamente con el proceso de inspección de partes por líquidos penetrantes tipo II método A, el cual se pretende adecuar en el producto objeto de este proyecto para que desarrolle esta labor buscando la optimización de recursos y mejora continua en los procesos de la compañía.

Capítulo I Metodología de la sistematización

Objetos (objetivo de sistematización, delimitación del objeto y criterios para elección de objeto)

La sistematización de las prácticas profesionales que se desarrollaron en Alkhorayef Zona Franca, presenta como objeto la propuesta de implementación de un banco automatizado para realizar ensayos por líquidos penetrantes de tipo II método A lavable con agua teniendo en cuenta que:

1. El ensayo de piezas por líquidos penetrantes se lleva a cabo manualmente haciendo uso de aerosoles base solvente bajo el método C.
2. La cantidad de piezas requeridas para ensamblar equipos BES, y la sumatoria de los mismos solicitados por los clientes semanalmente.
3. La cantidad de horas hombre requeridas para hacer la inspección de todas las piezas necesitadas en el ensamble de equipos BES.
4. La exposición a productos químicos altamente perjudiciales para la salud humana y demás seres vivos, así como las afectaciones a las fuentes hídricas, además de los riesgos físicos asociados al uso de estos.

Caracterización del proyecto

El equipo automatizado para ensayos por líquidos penetrantes de tipo II por el método A lavable con agua, basa su funcionamiento en la norma de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales, ASTM E1418 consta de seis estaciones:

1. Etapa de lavado inicial: las piezas se ubican en una bandeja de trabajo la cual se sumerge en un removedor de base solvente por cierto tiempo hasta lograr la limpieza adecuada.
2. Etapa de secado: la bandeja se ubica en la posición establecida, las boquillas de aire se activan y permiten que el secado de las piezas sea más rápido y eficaz.

3. Etapa de penetración: la bandeja de trabajo con las piezas se sumerge en el penetrante unos segundos y luego se posicionan para facilitar el escurrido mientras pasa el tiempo de penetración por norma.
4. Etapa de remoción del exceso: la bandeja de trabajo se posiciona en el lugar donde se activan aspersores de agua a presión regulada los cuales remueven el exceso del penetrante, luego del tiempo por norma se activan las boquillas de aire que secan las piezas.
5. Etapa de revelado: la bandeja de trabajo se ubica en la posición donde se activan aspersores que suministran el producto revelador de manera uniforme en toda el área de trabajo de la bandeja, sobre la cual están las piezas a inspeccionar, luego se ubica en la posición donde se activa una lámpara de luz blanca intensa que permite la inspección y evaluación de las indicaciones por el técnico.
6. Etapa de lavado final: posterior a la evaluación de los resultados de las indicaciones del ensayo, la bandeja de trabajo se sumerge en removedor base solvente varias veces por un tiempo establecido para lograr la limpieza de las piezas.

El equipo cuenta con una estructura con material antideflagrante, el control se lleva a cabo mediante el PLC Logo de Siemens, los circuitos están aislados del área donde se realizan los procesos con el fin de minimizar riesgos relacionados al manejo de los productos químicos, el área de trabajo del equipo se encuentra ventilada y retirada de otros factores de riesgo relacionados al manejo de estos.

Preguntas de la sistematización

Pregunta eje de sistematización

¿Cuál es el impacto de implementar un equipo automatizado para realizar ensayos de líquidos penetrantes mediante el método A en bujes, manguitos y acoplamientos, con respecto al método C optado y desarrollado manualmente en Alkhorayef Zona Franca S.A.S.?

Preguntas orientadoras

1. ¿Por qué es importante que se supriman las falencias presentadas al hacer el proceso por el método C mediante la implementación de un equipo automatizado para realizar ensayos por líquidos penetrantes bajo el método A lavable con agua?
2. ¿Por qué la implementación de un equipo automatizado para realizar ensayos por líquidos penetrantes está dentro del cumplimiento de las políticas del sistema integrado de gestión (SIG) y los objetivos corporativos de Alkhorayef Zona Franca?
3. ¿Cuáles son los beneficios del proyecto que hacen que la propuesta de un equipo automatizado sea una inversión acertada para la compañía en base al análisis de los diferentes métodos de inspección por líquidos penetrantes?
4. ¿En qué otras sedes de operaciones a nivel nacional e internacional es necesaria la implementación de un equipo automatizado para ensayos por líquidos penetrantes, puesto que la demanda de equipos es generalizada?

Objetivos de la sistematización (General y específicos)

Objetivo general

Diseñar el prototipo de un banco automatizado para realizar ensayos no destructivos en bujes, manguitos y acoplamientos mediante líquidos penetrantes tipo II y método A lavable con agua, que permita optimizar el proceso de inspección de partes en Alkhorayef Zona Franca S.A.S.

Objetivos específicos

- a. Elaborar el análisis del procedimiento que se lleva a cabo en ensayos con líquidos penetrantes tipo II y método A.
- b. Elaborar el diseño mecánico, neumático y de control del equipo en software CAD/CAM
- c. Crear el programa de control para el PLC Logo 230RCE de Siemens.

Justificación

Dada la generosa cantidad de piezas en carburo de tungsteno que se necesitan para el proceso de ensamble de equipos de bombeo electro sumergibles, especialmente bombas, sellos, separadores de gas e Intakes (SGI), que deben ser inspeccionadas una a una por el método C de líquidos penetrantes visibles (adoptado por la compañía), se requiere a su vez un alto volumen de insumos y recursos.

Ya que este proceso se lleva a cabo manualmente por técnicos certificados quienes desarrollan esta actividad a lo largo del día para cumplir los requerimientos de producción y aunque se alcanzan las metas, se generan retrasos en la entrega de partes a las áreas de ensamble correspondientes, lo cual hace necesaria la implementación de un equipo o banco de inspección y pruebas que realice este proceso con una eficiencia en identificación de discontinuidades del 100%, en menor tiempo del que se requiere actualmente, adicionalmente que haga un uso óptimo de los insumos requeridos.

En este sentido, con la implementación de este equipo se pretende lograr la inspección del total de las partes cuando llegan a planta desde el proveedor o como partes recuperadas de la base de Villavicencio.

La idea de automatizar este proceso se basa en ciertas condiciones que permiten que el proceso se pueda realizar mediante un equipo, por ejemplo: las partes son de tamaños y formas que facilitan el proceso en masa, las cantidades requeridas son altas por lo cual es una tarea muy frecuente durante la jornada laboral, la norma detalla labores que se pueden hacer mediante mecanismos, los costos se reducen a la vez que la producción aumenta ya que el equipo optimiza tiempo e insumos en comparación de la inspección manual.

Las siguientes imágenes recopiladas durante el periodo laboral y prácticas profesionales sustentan las razones por las cuales los ensayos por líquidos penetrantes basados en el método C deberían migrar a un sistema automatizado, adicionalmente se relacionan las normas por las cuales se establece el procedimiento para realizar esta labor.

Figura 1. Manguito fracturado



Manguito de bomba WE 1500 H fracturado, [fotografía] imagen propia 2021.

La figura 1 muestra un manguito (sleeve) de una bomba WE 1500 flotante, el cual pudo haber presentado alguna indicación que no se percibió en el examen por líquidos penetrantes, debido a esto cuando el equipo empieza a operar se genera movimiento mecánico y presiones internas a lo largo del mismo lo que contribuyó a la fractura de éste y que desencadenó una reacción de daños en todo el equipo; dada la dureza del carburo de tungsteno y del níquel, los daños en difusores e impulsores fueron bastante considerables.

Figura 2. Eje de bomba fracturado



Eje de bomba WE 1500 H fracturado, [fotografía] imagen propia 2021.

En la figura 2 se presenta la falla de una bomba WE 1500 flotante, la cuál sufrió ruptura del eje a la altura de la base iniciando la primer etapa; daño catastrófico debido a la ruptura inicial de un manguito, lo que provoco daños de otros componentes que se atascan en el área de rotación del eje de la bomba causando así la ruptura del mismo, a partir de este instante el equipo arroja unos valores que se salen de parámetros durante la prueba, además de que la bomba pierde la presión de salida y pasa a ser ineficiente. Este daño se cataloga el más grave en una bomba y en la mayoría de los casos es causado por bujes rotos.

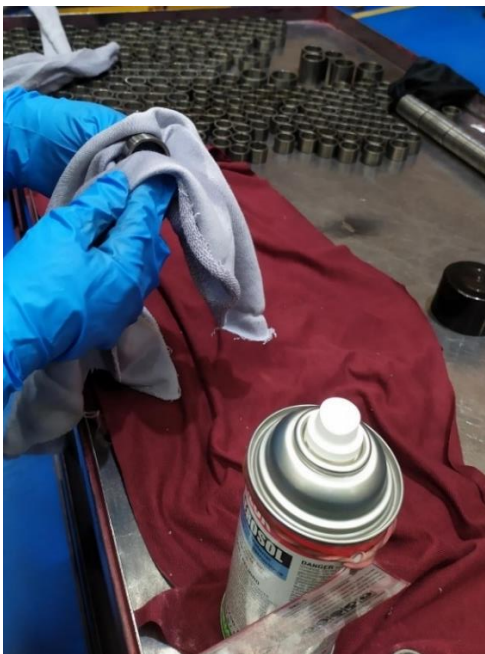
Figura 3. *Manguito de bomba WE 11000*



Manguito de bomba WE 11000 con indicación [fotografía], imagen propia 2021

Durante la inspección de manguitos de una bomba WE11000 se evidencia una indicación superficial, aparentemente un poro como se observa en la figura 3, sin embargo se desconoce la magnitud de la indicación y la composición interna de la pieza por lo cual se rechaza, ya que puede provocar las fallas anteriormente vistas.

Figura 4. Limpieza de piezas inicial



Limpieza inicial de piezas hecha manualmente usando limpiador SKC-S y paños, [fotografía] imagen propia 2021

En la figura 4 se muestra una cantidad considerable de manguitos sobre los cuales es aplicado el limpiador SKC-S, y posteriormente se realiza la limpieza manual usando un paño que no desprenda mota.

Figura 5. Aplicación de líquido penetrante



Aplicación de líquido penetrante SKL-SP2 a manguitos [fotografía], imagen propia 2021

En la figura 5 se muestra el proceso de aplicación del penetrante base solvente a cierta cantidad de bujes por medio de aerosoles, esto previo a una limpieza manual de todas las piezas por técnicos.

Figura 6. *Aplicación de desarrollador en bujes*



Aplicación de desarrollador SKD-S2 a bujes y acoplamientos [fotografía], imagen propia 2021

En la figura 6 se muestra la aplicación de revelador base solvente mediante aerosoles, previo a una remoción del exceso que se lleva a cabo manualmente con paños especiales que luego se humedecen levemente con removedor base solvente, dejando las piezas listas para este proceso.

En relación con las evidencias anteriormente vistas, surgen inconvenientes presentados en el área de control de calidad debido a la cifra elevada de partes a inspeccionar, el alto requerimiento de insumos, personal y tiempo para llevar a cabo el ensayo por líquidos penetrantes, a partir de estas situaciones surge la idea de buscar un método que se pueda realizar mediante un prototipo que realice este proceso con mayor eficiencia optimizando todos los recursos requeridos en la labor.

Diseño metodológico (Método, instrumentos, análisis de información)

El proceso de recolección de datos se lleva a cabo bajo la modalidad de auditorías y posterior sistematización de los datos, mismos que se adicionan en las tablas 1,2 y 3, adicionalmente la indagación

con el personal encargado de realizar las labores de control de calidad en Alkhorayef Zona Franca, son ellos quienes llevan los registros de producción semanal, reportes de material rechazado y control sobre el gasto de insumos requeridos en el proceso de inspección de partes por líquidos penetrantes tipo II y método C, entre otras actividades.

Tabla 1. Beneficios del proyecto

Beneficios del proyecto	
Inversión (COP)	\$ 50.000.000
Tiempo retorno inversión (meses)	7
Valor presente Neto	\$ 327.160.818,52
Tasa interna de retorno (mensual)	15%
Ahorro mensual	\$ 7.506.026
Variación capacidad	50%

Nota: Valores generales de los beneficios del proyecto, recuperado el 23 de agosto de 2021 fuente: Cadavid, J. 2021

En la tabla 1 se muestran los valores derivados de la posible inversión inicial, cifras basadas en el desarrollo propio del proceso.

Tabla 2. Variables del proceso

VARIABLES	
Tasa interés mensual	0,58%
TRM (COP / USD)	\$ 3.800
Costo Horas Hombre (COP)	\$ 15.000
Horas laborales por día	8
Días laborales al mes	24
Capacidad Bujes	168
Horas Actuales inspección 168 bujes	3
Horas Mach inspección 168 bujes	1

Nota: Valores iniciales de referencia del proyecto, recuperado el 23 de agosto de 2021 fuente: Cadavid, J. 2021

En la tabla 2 se muestran algunas de las cifras más relevantes de los ensayos por líquidos penetrantes, las cuales se toman en base al proceso de inspección de 168 bujes que ocupan una cierta área de trabajo tomada en cuenta en las dimensiones del prototipo.

Tabla 3. Costos de operación

	Costo mensual actual	Costo mensual operación máquina
Total	\$ 13.035.000	\$ 5.528.974
Mano de Obra	\$ 5.760.000	\$ 2.880.000
Servicios	\$ ----	\$ 200.000
Mantenimiento	\$ ----	\$ 100.000
Materiales	\$ 7.275.000	\$ 2.348.974
Líquido Penetrante SKL-WP2	\$ 1.380.000	\$ 581.692
Líquido reveladora SKD-S2	\$ 2.300.000	\$ 706.913
Limpiador removedor SKC-S	\$ 3.450.000	\$ 1.060.370
Trapo	\$ 145.000	\$ ----
Ahorro Mensual		\$ 7.506.026
	Capacidad actual	Capacidad máquina
Técnicos	2	1
Horas hombre al mes	384	192
Bujes inspeccionados al mes	21504	32256

Nota: Costos de operación actuales método C vs costos de operación del equipo por método A, recuperado el 23 de agosto de 2021 fuente: Cadavid, J. 2021

En la tabla 3 se pueden apreciar algunas cifras de los costos de producción basado en el método C actual y el paralelo aproximado que podría tener en comparación a la implementación de un equipo automatizado para ensayos por líquidos penetrantes tipo II y método A.

Capítulo II Descripción de la experiencia

Descripción de la modalidad de prácticas y la sub-línea del programa

Práctica profesional: *vínculo laboral con la compañía Alkhorayef Zona Franca S.A.S*

Sistematización de la práctica profesional: *Equipo automatizado para ensayos no destructivos de partes mediante líquidos penetrantes tipo II método A lavable con agua.*

Contexto de la experiencia

Este proyecto se desarrolla en la compañía Alkhorayef Zona Franca S.A.S, el primer día de vinculación empieza un amplio estudio del contexto del sector de los hidrocarburos, desde las características físicas del petróleo, hasta lograr a comprender e identificar con veracidad cada componente de un equipo de bombeo electro sumergible.

Un factor curioso fue observar que estos equipos fueran ensamblados manualmente por técnicos expertos y no por medio de equipos de alta tecnología, sin embargo, se hace indispensable conocer las especificaciones e importancia de cada componente por sencillo que parezca ya que su función dentro de un equipo BES permite el normal proceso de bombeo de crudo hasta la superficie.

Los equipos BES se componen de varios componentes: motores, bombas, GPU, sellos, equipos de admisión (Intakes), separadores de gas, sensores, entre otros, cada uno de estos con un listado de partes requeridas para su correcto ensamble.

Día a día a partir del ejercicio de la observación e indagación de los procesos y características de los componentes mencionados con todo el personal de la compañía, identifiqué ciertas oportunidades, procesos en los cuales la automatización o el control automático de actividades es posible llevarse a cabo.

El incremento en la producción a nivel nacional e internacional son positivas claramente, sin embargo, al requerir más equipos los procesos se hacen prolongados, aumenta la demanda de partes, tiempo, insumos, entre otros factores de la cadena de producción.

Si bien son diversas las actividades que se desarrollan en cada área de producción, el control de calidad despertó gran interés y fue un proceso en específico: los ensayos no destructivos mediante líquidos penetrantes visibles.

Compañías de todos los sectores económicos utilizan los ensayos no destructivos (END) en la inspección de partes, entre ellos partículas magnéticas, ultrasonido, radiografía y líquidos penetrantes. Este último es el más común en la industria, sin embargo, hay varios métodos para llevarlo a cabo y el que más se usa es el método C, que utiliza tintas penetrantes visibles o coloreadas a base solvente y sus presentaciones generalmente son en aerosoles, lo que les permite a los técnicos desarrollar esta labor con gran facilidad: en el desplazamiento de los kits de ensayos, inspección localizada, sencillo de realizar, económico, entre otras ventajas. Hasta este punto aparentemente es el método más ocionado para realizar los ensayos, pero en la compañía se puede evidenciar que probablemente no es el adecuado ni el más eficiente, ¿Por qué?, por varios factores que influyen negativamente en desarrollarlo bajo este método:

1. El ensayo por líquidos penetrantes tipo II método C, requiere productos a base solvente, los cuales se comercializan normalmente en presentación de aerosoles, este método es usado para inspecciones localizadas, a partes o sectores de piezas específicas, en lugares donde el acceso del técnico es crítico, ya que el kit de ensayo es portátil, pero de acuerdo con la norma de la ASTM no es el más recomendado para inspeccionar grandes cantidades de piezas de mínimo tamaño.

2. En la compañía se ejecutan ensayos alrededor de 15.000 piezas por mes, los cuales son hechos manualmente uno a uno.

3. Para grandes cantidades de partes son más eficientes las aplicaciones por inmersión o aspersión, estos métodos optimizan insumos.

4. Se requiere de varios técnicos para lograr realizar los ensayos a todas las piezas en el menor tiempo posible ya que la producción de equipos BES es alta.

5. Al ser productos volátiles, inflamables, dañinos para la salud y estar envasados a presión, al momento de utilizarse generan capas de partículas en el ambiente, creando un riesgo ya que su uso es diario.

6. Los costos de los insumos requeridos para el proceso son altos si se comparan con los requeridos por un equipo automatizado, que utiliza métodos de aplicación controlados y óptimos, generando un ahorro.

Antecedentes

La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) junto con la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), la Asociación Española de Ensayos no Destructivos (AEND) son algunas de las entidades internacionales que han realizado los mayores y más importantes aportes técnicos, tecnológicos y procedimentales a los END, así como la normatividad y especificaciones técnicas de todos los procesos involucrados, establecidos por ellos y aplican de manera estándar y globalizada.

Adicionalmente, uno de los principales responsables de aportar información acerca de los procesos de ensayos no destructivos por líquidos penetrantes son los fabricantes de estos insumos, son ellos quienes han contribuido al desarrollo de esta actividad de acuerdo con pruebas y estudios realizados bajo diferentes condiciones y en diversos materiales. Magnaflux es una de aquellas compañías que han estado realizando estas tareas, caracterizándose por el éxito y reconocimiento de la calidad y garantía de sus productos.

Los ensayos no destructivos por líquidos penetrantes para la industria en general se regulan de acuerdo con el *estándar activo ASTM E165/E165M Desarrollado por el subcomité: E7.03 (ASTM INTERNATIONAL 2021)*, que menciona:

Importancia y uso

5.1 Los métodos de ensayo de penetrantes líquidos indican la presencia, la ubicación y, en una medida limitada, la naturaleza y magnitud de las discontinuidades detectadas.

Cada uno de los diversos métodos de penetración ha sido diseñado para usos específicos, como elementos de servicio críticos, volumen de piezas, portabilidad o áreas de examen localizadas. El método seleccionado dependerá en consecuencia de los requisitos de diseño y servicio de las piezas o materiales que se estén probando.

1. Ámbito de aplicación

1.1 Esta práctica abarca los procedimientos para el examen penetrante de los materiales. La prueba de penetrante es un método de prueba no destructivo para detectar discontinuidades que están abiertas a la superficie, como grietas, costuras, cierres en frío, contracción, laminaciones, a través de fugas o falta de fusión, y es aplicable a los exámenes en proceso, finales y de mantenimiento. Se puede utilizar eficazmente en el examen de materiales metálicos no porosos, metales ferrosos y no ferrosos, y de materiales no metálicos como cerámicas vidriadas no porosas o totalmente densificadas, así como ciertos plásticos no porosos y vidrio.

1.2 Esta práctica también proporciona una referencia:

1.2.1 Mediante el cual se puede revisar un proceso de examen de penetrante líquido recomendado o requerido por organizaciones individuales para determinar su aplicabilidad e integridad.

1.2.2 Para su uso en la preparación de especificaciones de proceso y procedimientos relacionados con la prueba de penetrantes líquidos de piezas y materiales. Se recomienda encarecidamente el acuerdo por parte del cliente que solicita pruebas de penetración y el proveedor con respecto a técnicas específicas.

1.2.3 Para su uso en la organización de instalaciones y personal interesado en pruebas de penetrantes líquidos.

1.3 Esta práctica no indica ni sugiere criterios para la evaluación de las indicaciones obtenidas mediante ensayos con penetrantes. Cabe señalar, sin embargo, que después de que se hayan encontrado las indicaciones, deben interpretarse o clasificarse y luego evaluarse. Para este propósito, debe haber un código separado, un estándar o un acuerdo específico para definir el tipo, el tamaño, la ubicación y la dirección de las indicaciones consideradas aceptables y las consideradas inaceptables.

1.4 Unidades: los valores indicados en unidades SI o unidades pulgada-libra deben considerarse por separado como estándar. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser equivalentes exactos; por lo tanto, cada sistema se utilizará independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en la no conformidad con el estándar.

1.5 Esta norma no pretende abordar todas las preocupaciones de seguridad, si las hubiera, asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad, salud y medio ambiente y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

1.6 Esta norma internacional se elaboró de conformidad con los principios internacionalmente reconocidos sobre normalización establecidos en la decisión sobre principios para la elaboración de normas, guías y recomendaciones internacionales emitida por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio.

2. Documentos referenciados

Estándares SAE

AMS2644 Material de inspección, Penetrante QPL-AMS-2644 Productos calificados de materiales de inspección, Penetrante

Estándares ASTM

E1418 Práctica para pruebas de penetrantes visibles utilizando el proceso lavable con agua

Estándar AIA

Certificación NAS-410 y calificación del personal de pruebas no destructivas

Estándar APHA

429 métodos para el examen del agua y las aguas residuales

Normas ISO

ISO 9712 Calificación y certificación de pruebas no destructivas del personal de NDT, Principios generales

Estándares ASNT

SNT-TC-1A

La norma vigente por la cual se regulan los ensayos no destructivos por líquidos penetrantes de tipo II método A lavable con agua es el *estándar activo ASTM E1418 Desarrollado por subcomité: E07.03*, de acuerdo con la ASTM INTERNATIONAL (2021):

ASTM E1418 - 21

Práctica estándar para pruebas de penetrantes visibles utilizando el proceso lavable con agua

Importancia y uso

Los métodos de examen con penetrantes líquidos indican la presencia, la ubicación y, en una medida limitada, la naturaleza y magnitud de las discontinuidades detectadas. Esta práctica se utiliza normalmente para el examen de la producción de grandes volúmenes de piezas o estructuras, donde se hace hincapié en la productividad. Esta práctica ofrece

una amplia latitud en la aplicabilidad cuando se dispone de condiciones extensas y controladas.

1. Ámbito de aplicación

1.1 Esta práctica describe los procedimientos para el examen de penetrantes líquidos visibles utilizando el proceso lavable con agua. Es una práctica no destructiva para detectar discontinuidades que están abiertas a la superficie como grietas, costuras, cierres en frío, laminaciones, porosidad aislada, a través de fugas o falta de fusión y es aplicable al examen en proceso, final y mantenimiento. Esta práctica se puede utilizar eficazmente en el examen de materiales metálicos no porosos, tanto ferrosos como no ferrosos, y de materiales no metálicos como cerámicas vidriadas o totalmente densificadas, y ciertos plásticos no porosos y vidrio.

1.2 Esta práctica también proporciona las siguientes referencias:

1.2.1 Una referencia mediante la cual se pueden revisar los procedimientos de examen de penetrantes visibles que utilizan el proceso lavable al agua para determinar su aplicabilidad e integridad.

1.2.2 Para su uso en la preparación de especificaciones de proceso relacionadas con el examen penetrante líquido visible y lavable al agua de materiales y piezas. Se recomienda encarecidamente el acuerdo entre el usuario y el proveedor con respecto a técnicas específicas.

1.2.3 Para su uso en la organización de las instalaciones y el personal interesado en el examen de penetrante líquido.

1.3 Esta práctica no indica ni sugiere criterios para la evaluación de las indicaciones obtenidas. Cabe señalar, sin embargo, que después de que se hayan producido las indicaciones, deben interpretarse o clasificarse y luego evaluarse. Para este propósito

debe haber un código separado, especificación o un acuerdo específico para definir el tipo, tamaño, ubicación y orientación de las indicaciones consideradas aceptables y las consideradas inaceptables.

1.3.1 Se anima al usuario a utilizar los materiales y parámetros de procesamiento necesarios para detectar condiciones de un tipo o gravedad que puedan afectar la evaluación del producto.

1.4 Unidades: los valores indicados en unidades pulgada-libra deben considerarse como estándar. Los valores dados entre paréntesis son conversiones matemáticas a unidades SI que se proporcionan solo a título informativo y no se consideran estándar.

1.5 Base de aplicación: hay áreas en esta práctica que pueden requerir un acuerdo entre la organización de ingeniería y el proveedor, o una dirección específica de la organización de ingeniería. Estas áreas se identifican de la siguiente manera:

1.5.1 Tipo, método y sensibilidad del penetrante,

1.5.2 Criterios de aceptación/rechazo,

1.5.3 Requisitos de cualificación del personal,

1.5.4 Granallado,

1.5.5 Grabado,

1.5.6 Tamaño de indicación/discontinuidad,

1.5.7 Tiempo total de procesamiento, y

1.5.8 Marcado de piezas.

1.6 Esta norma no pretende abordar todas las preocupaciones de seguridad, si las hubiera, asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad, salud y medio ambiente y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

1.7 Esta norma internacional se elaboró de conformidad con los principios internacionalmente reconocidos sobre normalización establecidos en la decisión sobre principios para la elaboración de normas, guías y recomendaciones internacionales emitida por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) de la Organización Mundial del Comercio.

Descripción del proyecto

En el área de control de calidad de la compañía Alkhorayef Zona Franca se realizan ensayos no destructivos por líquidos penetrantes mediante el tipo II y método C el cual se lleva cabo con aerosoles a base solventes, sin embargo, el proceso requiere de un tiempo extenso y de personal adicional para lograr las metas de producción y requerimientos de los clientes, este método es muy práctico y usual para inspecciones específicas de partes irregulares y en locaciones especiales. Dado que las piezas que se requieren para el ensamble son pequeñas, de formas regulares y en grandes cantidades, es posible diseñar un equipo que desarrolle el proceso con base a las normas y procedimientos dados por la ASTM, de forma automática, eficiente y confiable, reduciendo así los tiempos de producción, insumos requeridos, personal involucrado y exposición del personal técnico a productos químicos peligrosos entre otros aspectos.

Por lo anterior se plantea la idea de diseñar un equipo automatizado para realizar ensayos no destructivos con líquidos penetrantes de tipo II y método A, dicho equipo permite la inspección controlada y eficiente de piezas optimizando los recursos y consumibles que se requieren para el desarrollo de esta actividad.

Descripción del producto

El equipo automatizado de ensayos no destructivos por líquidos penetrantes de tipo II método A cuenta con una estructura metálica en la cual están soportados los tanques de trabajo, cerrados mientras los procesos se llevan a cabo, un carrito en el cual se encuentra un cilindro neumático

adaptado a una estructura que sostiene la bandeja principal de trabajo, en esta se ubican las partes a inspeccionar; este genera un movimiento lineal de ascenso o descenso al interior de los tanques de trabajo. El desplazamiento del carrito está dado por la rotación del eje de un motor paso a paso, en el cual se instala una polea sincrónica y posteriormente la correa del mismo tipo que hace tracción con poleas del mismo tipo para proporcionar movimientos precisos.

El control del equipo se realiza mediante el PLC Logo de Siemens el cual cuenta con módulos de entradas-salidas digitales y analógicas que permiten hacer el control de los actuadores del equipo. Logo!Soft V8 es el software en el cual se realiza el programa, en él se desarrolla la estructura del código mediante bloques lógicos, sin embargo él permite hacer la conversión equivalente en lenguaje Ladder o escalera para que la secuencia del equipo se lleve de manera ordenada y sincrónica.

El tablero de control estará ubicado aislado de la zona de operación del equipo al igual que las líneas eléctricas para minimizar la exposición al ambiente de trabajo. La alimentación neumática se toma de la salida del compresor, el aire ingresa a una unidad de mantenimiento y posteriormente a la electroválvula de control del cilindro neumático.

Extractores de aire estarán instalados en el área de operación del equipo, los cuales servirán como apoyo para movilizar las pequeñas partículas de consumibles que se puedan quedar suspendidas en el aire durante la operación de la máquina y establecer así un ambiente seguro de trabajo para el técnico y las instalaciones de la compañía.

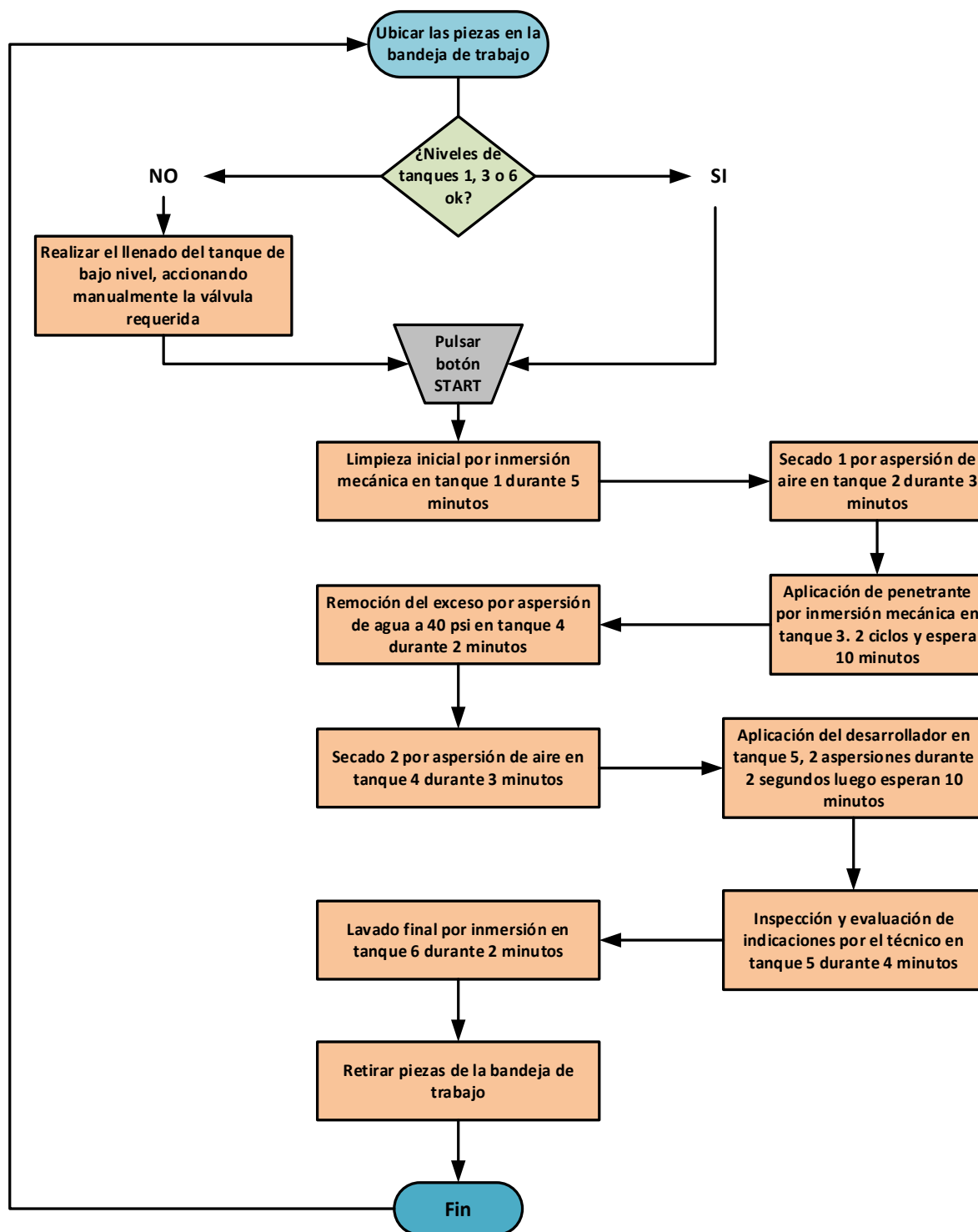
Recomendaciones de seguridad previas a la operación del equipo automatizado para inspección de partes por líquidos penetrantes de tipo II método A lavable con agua.

Antes de operar el equipo lea cuidadosamente las siguientes recomendaciones de seguridad.

1. El personal técnico que esté a cargo de la operación del equipo debe estar certificado en líquidos penetrantes nivel I, II o III.

2. El personal técnico al que se le delegue la operación del equipo debe recibir la capacitación e instrucciones de uso.
3. Lea cuidadosamente las fichas de datos de seguridad de los productos químicos usados en la operación del equipo.
4. Está prohibido el ingreso y manipulación en el área de operación del equipo dispositivos eléctricos o electrónicos.
5. Está prohibido el consumo de alimentos y/o bebidas al interior de la planta de producción.
6. Está prohibido fumar al interior de la planta de producción.
7. Haga uso adecuado de los elementos de protección personal.
 - 7.1 Gafas de seguridad
 - 7.2 Guantes de nitrilo
 - 7.3 Máscara con filtros para partículas P100 con alivio para niveles molestos de vapor orgánico
 - 7.4 Overol de trabajo
 - 7.5 Botas de seguridad
8. Encienda los extractores ubicados en el área de operación del equipo antes de iniciar la labor.
9. Nunca realice labores de mantenimiento o reparación del equipo, dichas actividades solamente se ejecutan por el personal calificado.
10. No abra las tapas de los tanques de trabajo mientras esté en operación el equipo a excepción de la tapa del taque de aplicación de desarrollador cuando el proceso lo requiera.
11. Verifique siempre las condiciones de operación del equipo, no deben existir fugas de líquidos ni vapores excesivos.

Figura 7. Flujograma del proceso general de inspección por LP



Flujograma del proceso general de inspección de partes por líquidos penetrantes de tipo II método A lavable por agua, elaboración propia

El tiempo total estimado que tarda el equipo en realizar el ciclo completo de ensayo no destructivo por líquidos penetrantes de tipo II método A es de 39 minutos aproximadamente. El técnico realizará el alistamiento de las partes a inspeccionar al inicio y final del proceso del equipo, el tiempo contemplado es de 15 minutos aproximadamente.

Tabla 4. Tiempos mínimos de permanencia recomendados

ASTM E 1418

TABLA 1 Tiempos mínimos de permanencia recomendados

Material	Forma	Tipo de discontinuidad	Tiempos de ^{permanencia A} (minutos)	
			Penetrante ^B	Desarrollador ^C
Aluminio, magnesio acero, latón y bronce, titanio y aleaciones de alta temperatura	fundiciones y soldaduras	cierres fríos, porosidad, falta de fusión, grietas (todas las formas)	5	10
	materiales forjados: extrusiones, Forjas plato	vuelatas, grietas (todas las formas)	10	10
Herramientas con punta de carburo	todos los formularios	falta de fusión, porosidad, grietas	5	10
Plástico		Grietas	5	10
Vidrio		Grietas	5	10
Cerámico		grietas, porosidad	5	10

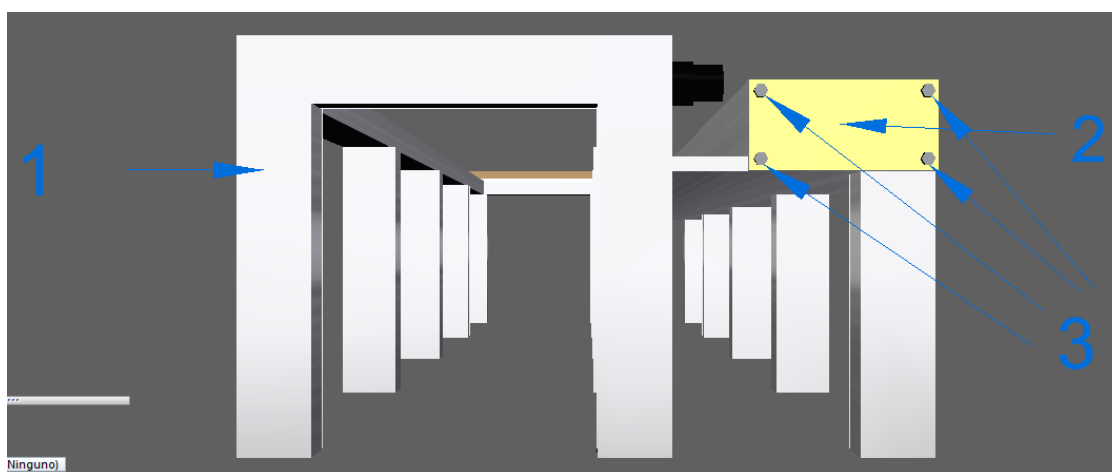
^A Para el rango de temperatura de 40 a 120 ° F (4 a 49 ° C).

^B Tiempo máximo de permanencia penetrante 60 min de acuerdo con 7.1.4.2.

^C El tiempo de desarrollo comienza tan pronto como el recubrimiento de revelador húmedo se haya secado en la superficie de las piezas (mínimo recomendado). Tiempo mínimo de desarrollo de acuerdo con 7.1.7.2.

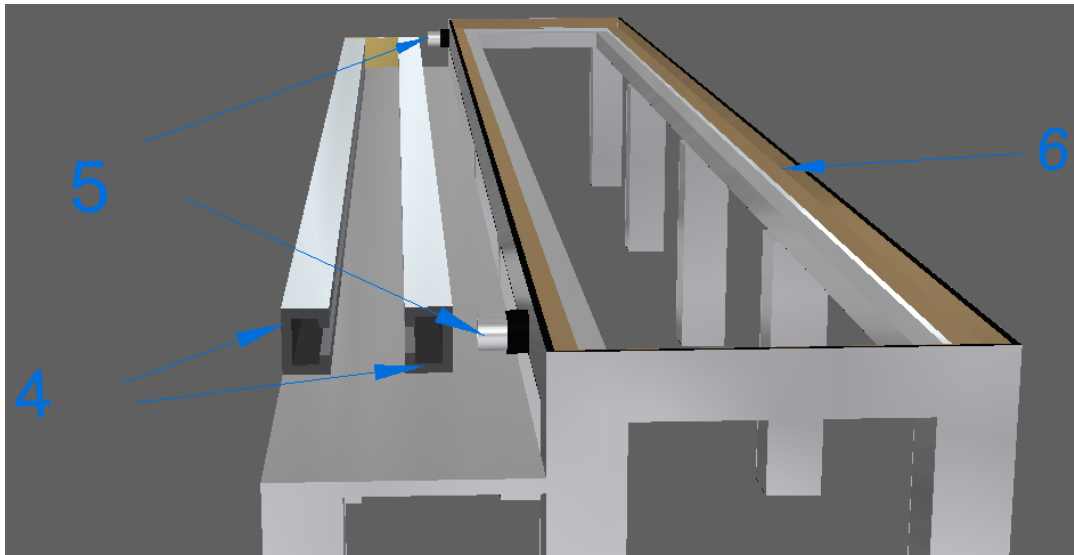
Nota: Tiempos de permanencia del penetrante y revelador en las piezas a inspeccionar de acuerdo con sus materiales de composición y otros factores para tener en cuenta en el momento de realizar un ensayo por líquidos penetrantes bajo en estándar E1418 de la ASTM, recuperado el 12 de octubre de 2021 de: ASTM E1418-21, Práctica estándar para pruebas de penetrantes visibles utilizando el proceso lavable con agua, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021, www.astm.org

Figura 8. Partes de la estructura soporte del equipo, vista derecha



Diseño de la estructura soporte del equipo vista derecha, en software Solid Edge de Siemens, elaboración propia

Figura 9. Partes de la estructura soporte del equipo, vista izquierda

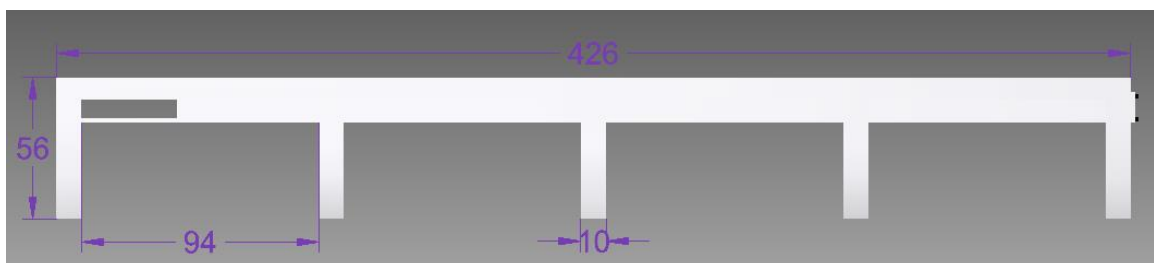


Diseño de la estructura soporte del equipo vista izquierda, en software Solid Edge de Siemens, elaboración propia

Listado de partes general de la estructura soporte del equipo

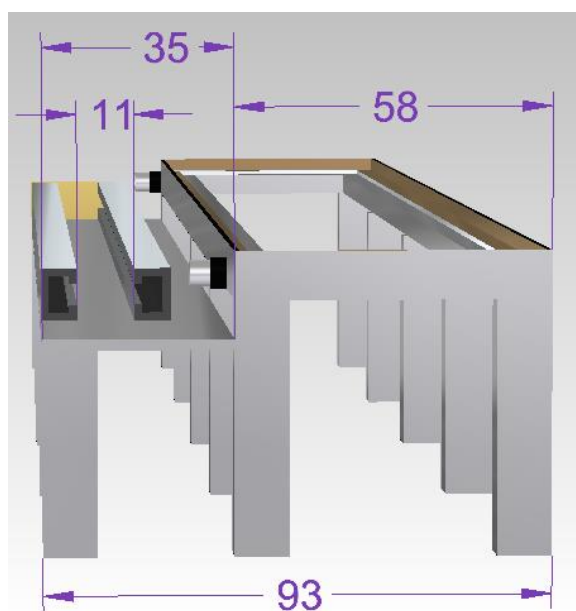
1. Estructura metálica
2. Platina tapa riel
3. Tornillos de sujeción para platina tapa riel
4. Rieles
5. Ejes para instalación de poleas sincrónicas
6. Base para instalación de tanques de trabajo

Figura 10. Dimensiones generales estructura soporte de equipo vista frontal



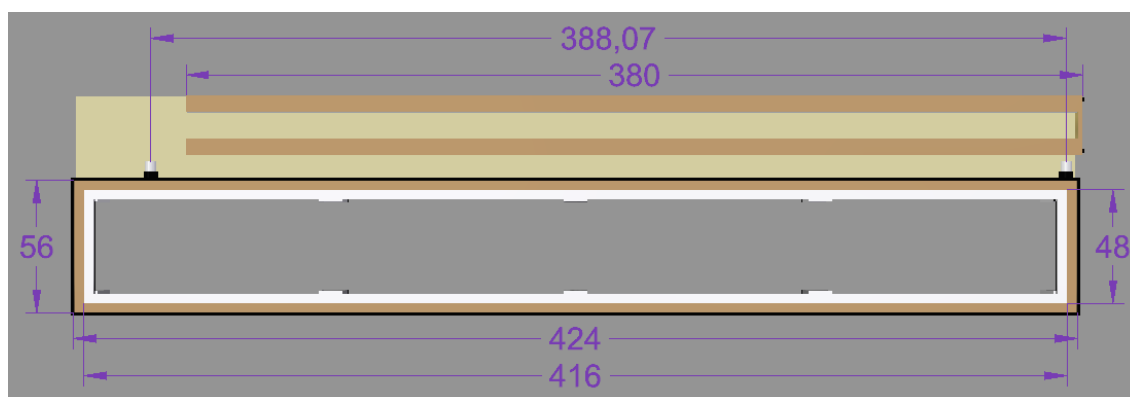
Principales dimensiones de estructura soporte de equipo en vista frontal, medidas expresadas en cms, elaboración propia

Figura 11. Dimensiones generales estructura soporte de equipo vista izquierda



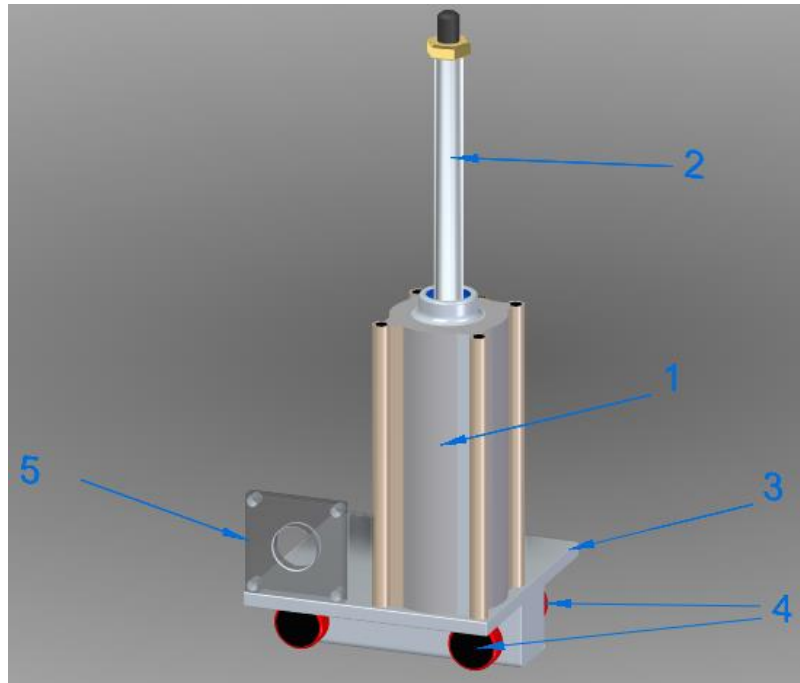
Principales dimensiones de estructura soporte de equipo en vista izquierda, medidas expresadas en cms,
elaboración propia

Figura 12. Dimensiones generales estructura soporte de equipo vista superior



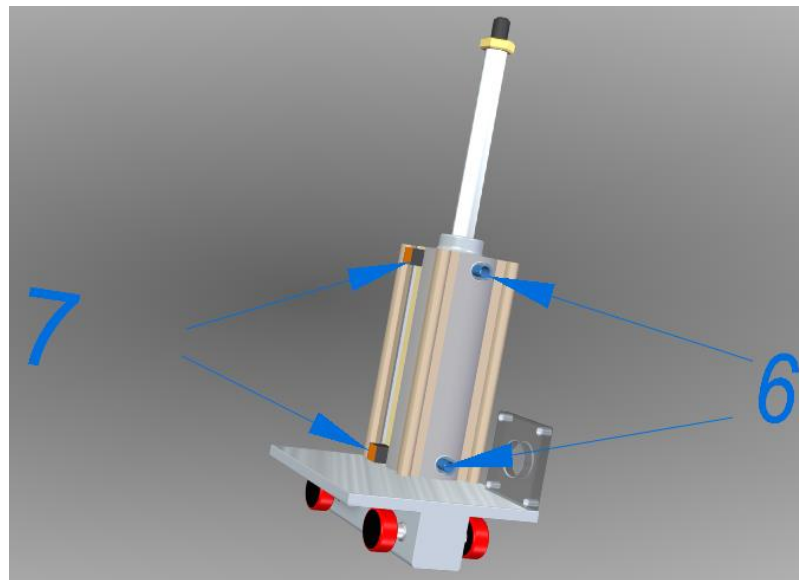
Principales dimensiones de estructura soporte de equipo en vista superior, medidas expresadas en cms,
elaboración propia

Figura 13. Partes de carrito para desplazamiento longitudinal vista 1



Partes principales de carrito de desplazamiento longitudinal vista 1, elaboración propia

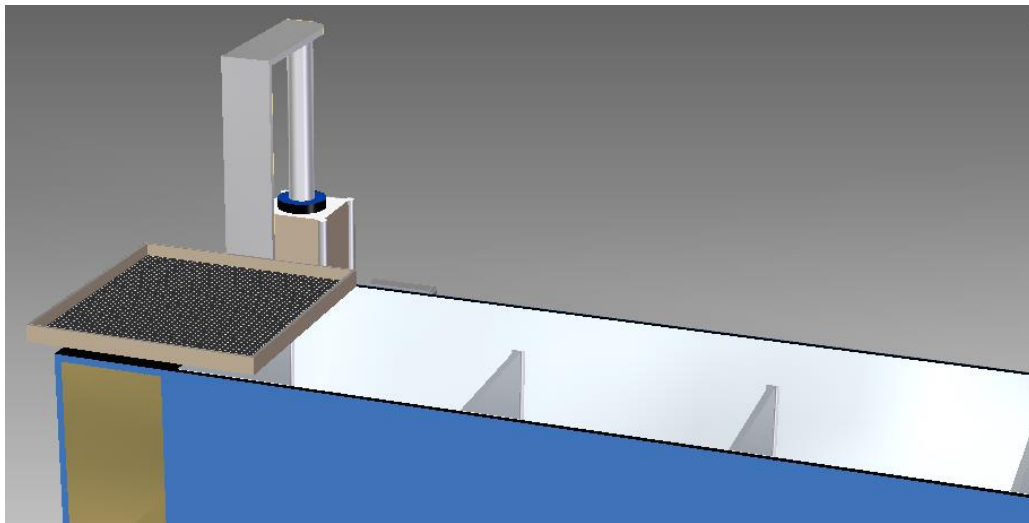
Figura 14. Partes de carrito para desplazamiento longitudinal vista 2



Partes principales de carrito de desplazamiento longitudinal vista 2, elaboración propia

Listado de partes de carrito de desplazamiento longitudinal

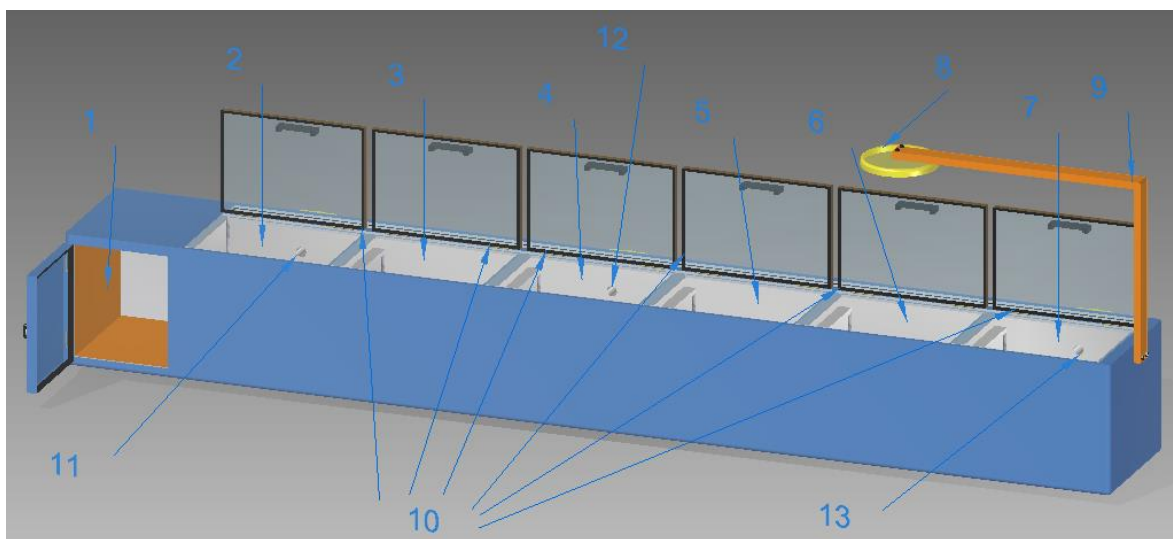
1. Cilindro neumático de doble efecto 35 cm de carrera
2. Vástago de cilindro neumático, 25,4 mm de diámetro
3. Estructura general del carrito
4. Ruedas de desplazamiento
5. Platina para instalación de motor paso a paso
6. Perforación para ingreso de aire a cámaras
7. Finales de carrera inductivos

Figura 15. *Diseño general de bandeja de trabajo*

Diseño de bandeja de trabajo, elaboración propia

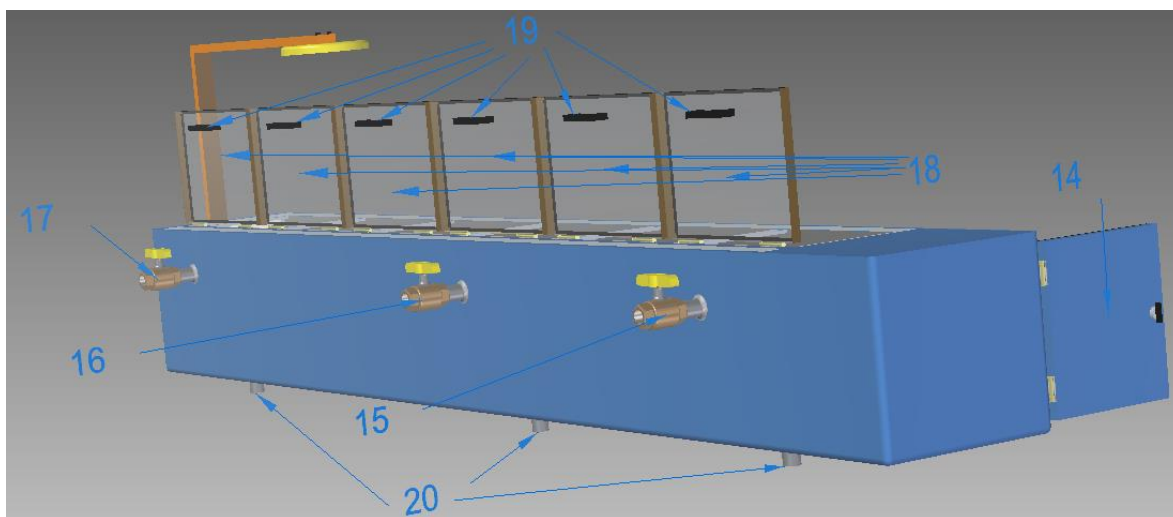
En la figura 15 se observa la estructura de la bandeja de trabajo sobre la cual se ubican las piezas a inspeccionar, es del tipo malla para facilitar el retorno de los líquidos a cada tanque y evitar acumulaciones de productos sobre la superficie de la bandeja que impidan el éxito del ensayo.

Figura 16. Partes de tanques de trabajo vista 1



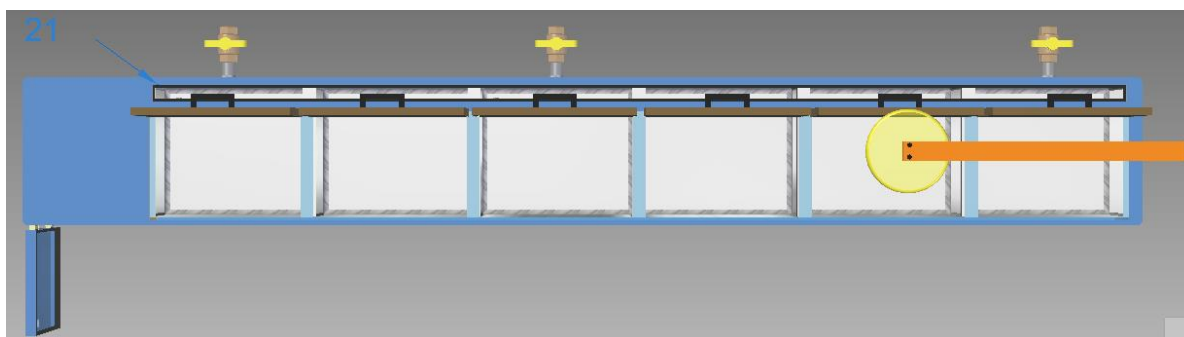
Diseño de tanques de trabajo - partes en vista 1, software Solid Edge de Siemens, elaboración propia

Figura 17. Partes de tanques de trabajo vista 2



Diseño de tanques de trabajo - partes en vista 2, software Solid Edge de Siemens, elaboración propia

Figura 18. Partes de tanques de trabajo vista 3



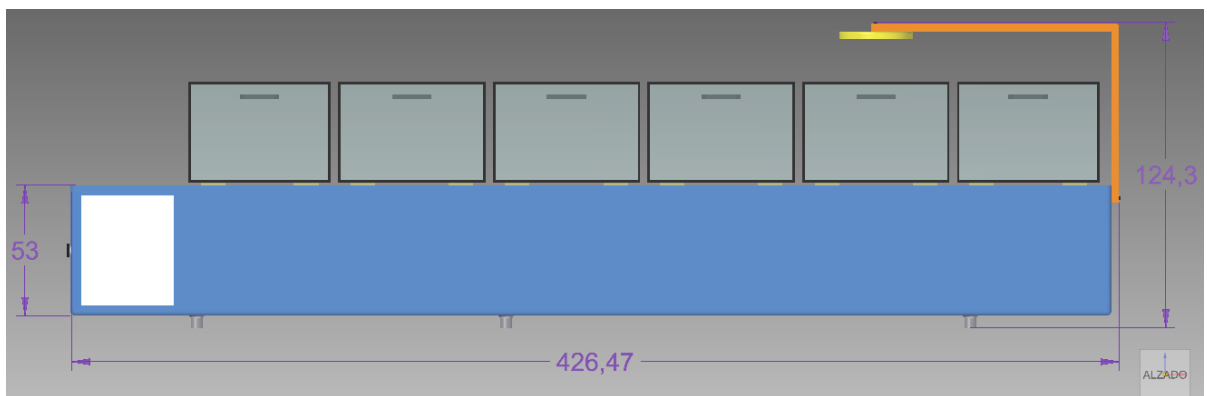
Diseño de tanques de trabajo - partes en vista 3, software Solid Edge de Siemens, elaboración propia

Listado de partes de tanques de trabajo vista 1

1. Área para instalación de tablero de control.
2. Tanque de lavado inicial.
3. Tanque de secado.
4. Tanque de aplicación de penetrante.
5. Tanque de remoción del exceso y secado.
6. Tanque de aplicación de desarrollador y revelado de indicaciones.
7. Tanque de lavado final.
8. Lámpara de luz blanca.
9. Estructura de soporte de lámpara.
10. Empaques de tapas de tanques en aflas.
11. Orificio de ingreso de producto limpiador SKC-S a tanque de lavado inicial.
12. Orificio de ingreso de producto penetrante SKL-WP2.
13. Orificio de ingreso de producto limpiador SKC-S a tanque de lavado final.
14. Puerta de tablero de control.
15. Válvula de bola 1, control de paso de limpiador a tanque de lavado inicial.
16. Válvula de bola 2, control de paso de SKL-WP2 a tanque de aplicación de penetrante.

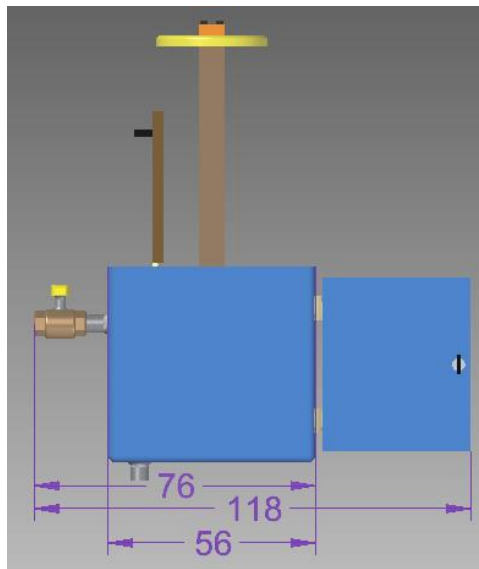
17. Válvula de bola 3, control de paso de limpiador a tanque de lavado final.
18. Tapas de tanques de trabajo.
19. Manijas para abrir/cerrar tapas de tanques de trabajo.
20. Espigas de 1/2" para conexión de mangueras a bombas extractoras de líquidos de los tanques.
21. Ranura para instalación de empaque de retención de vapores, área de desplazamiento de soporte de bandeja de trabajo.

Figura 19. Dimensiones tanques de trabajo vista frontal



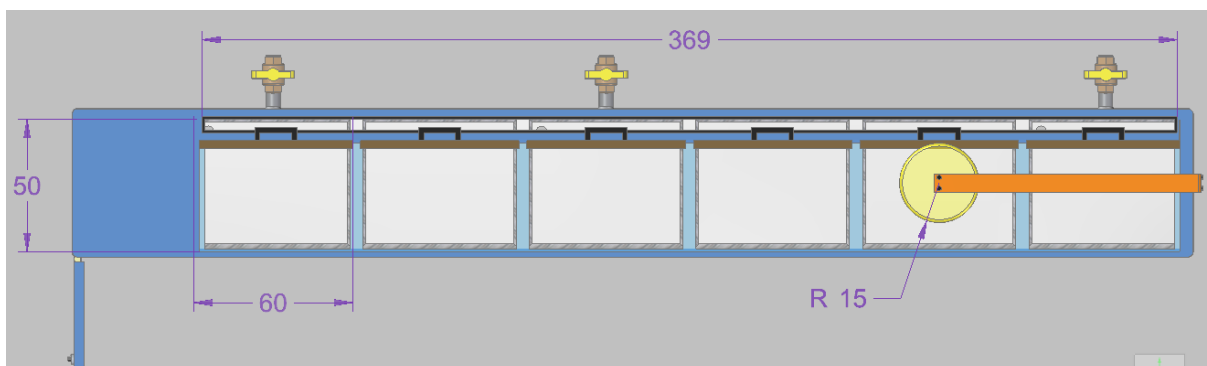
Principales dimensiones de tanques de trabajo en vista frontal, medidas expresadas en cms, elaboración propia

Figura 20. Dimensiones tanques de trabajo vista izquierda



Principales dimensiones de tanques de trabajo en vista izquierda, medidas expresadas en cms, elaboración propia

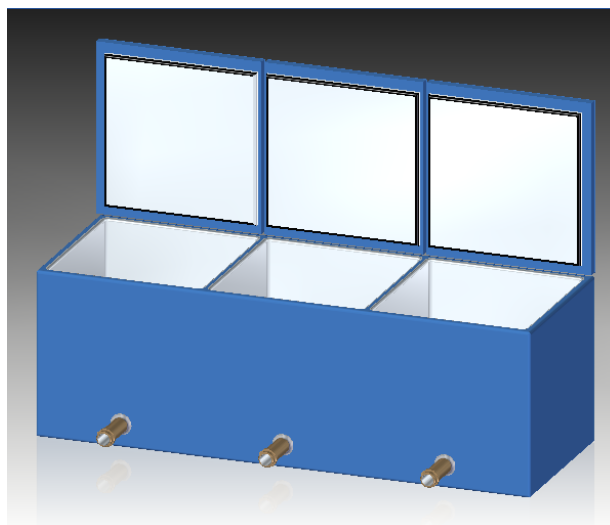
Figura 21. Dimensiones tanques de trabajo vista superior



Principales dimensiones de tanques de trabajo en vista superior, medidas expresadas en cms, elaboración propia

En la figura 21 se visualizan los tanques de trabajo, en su diseño se tiene en cuenta la hermeticidad del proceso para que cumpla con el procedimiento por norma y las condiciones de seguridad y salud en el trabajo. También se observan tres válvulas que permiten el paso de los productos requeridos en los ensayos desde los tanques de almacenamiento.

Figura 22. Tanques de almacenamiento de productos consumibles

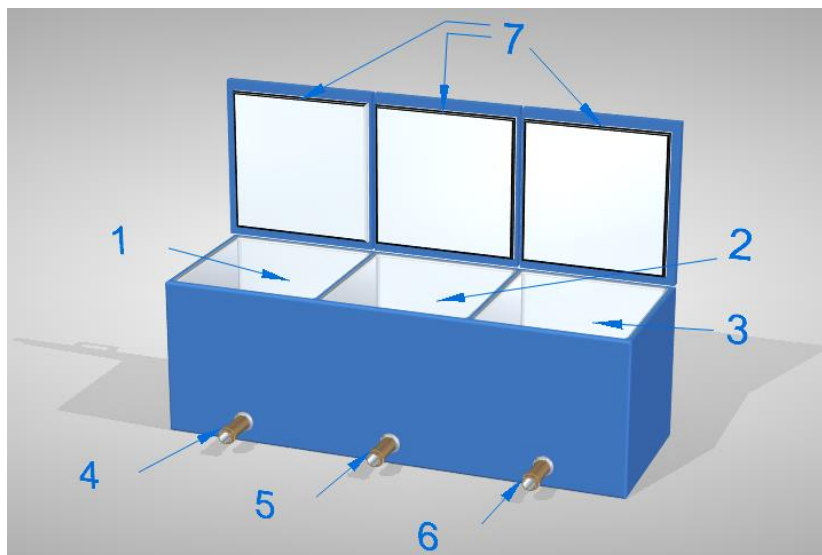


Diseño de tanques de almacenamiento de productos consumibles en software Solid Edge de Siemens, elaboración propia

En la figura 22 se observan los tanques de almacenamiento de removedor, penetrante y desarrollador ya que no es práctico para el proceso disponer de los productos directamente de las

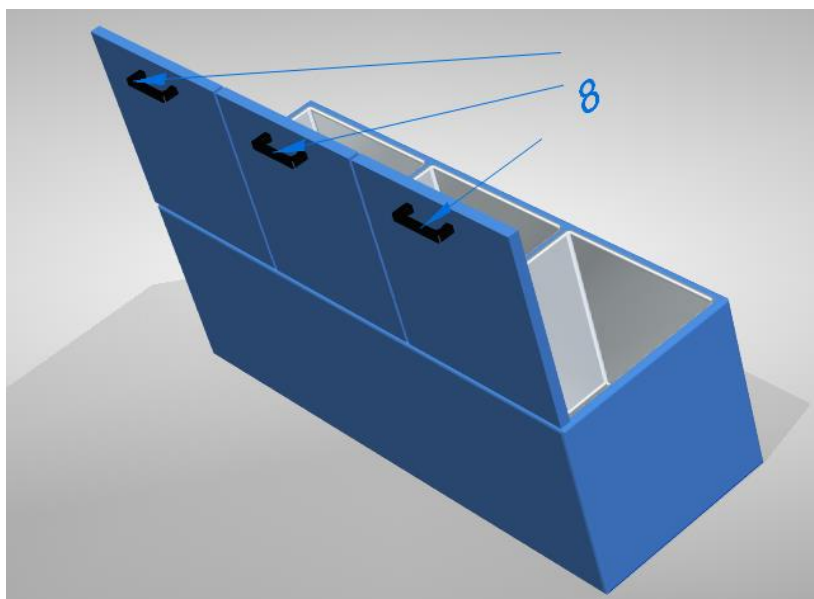
canecas de 55 galones, lo que llevo a diseñar unos recipientes de almacenamiento y suministro a los tanques de trabajo del equipo por medio de mangueras o tuberías conectadas a las válvulas de admisión de cada uno.

Figura 23. Partes de tanques de almacenamiento vista 1



Partes de tanques de almacenamiento de productos químicos consumibles en software Solid Edge de Siemens vista 1, elaboración propia

Figura 24. Partes de tanques de almacenamiento vista 2

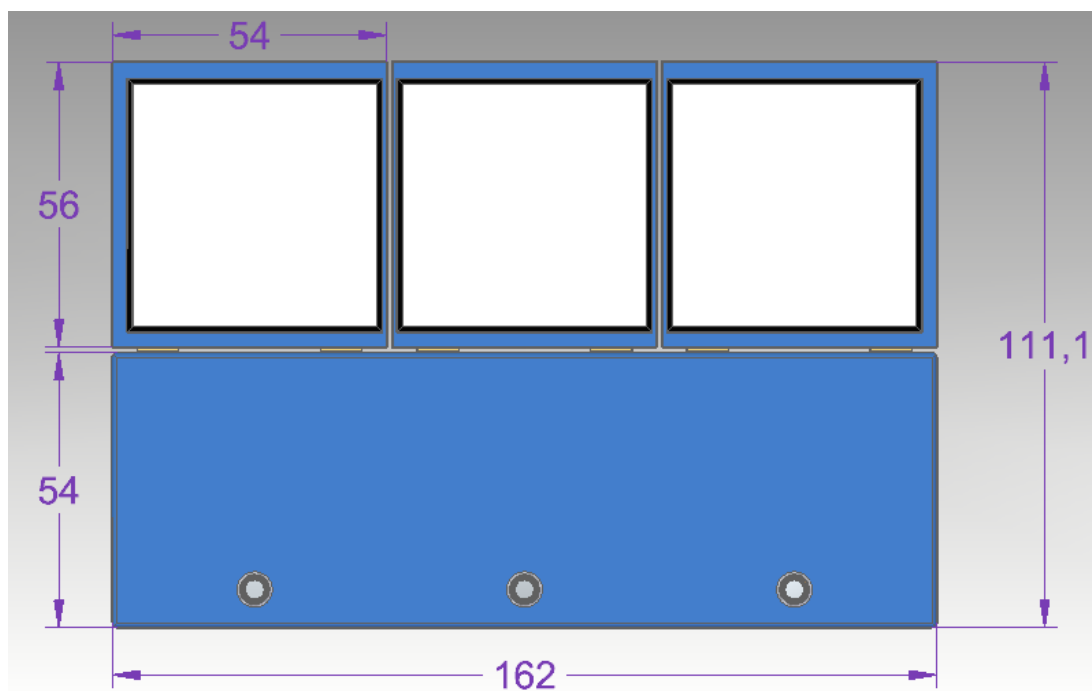


Partes de tanques de almacenamiento de productos químicos consumibles en software Solid Edge de Siemens vista 2, elaboración propia

Lista de partes - tanques de almacenamiento

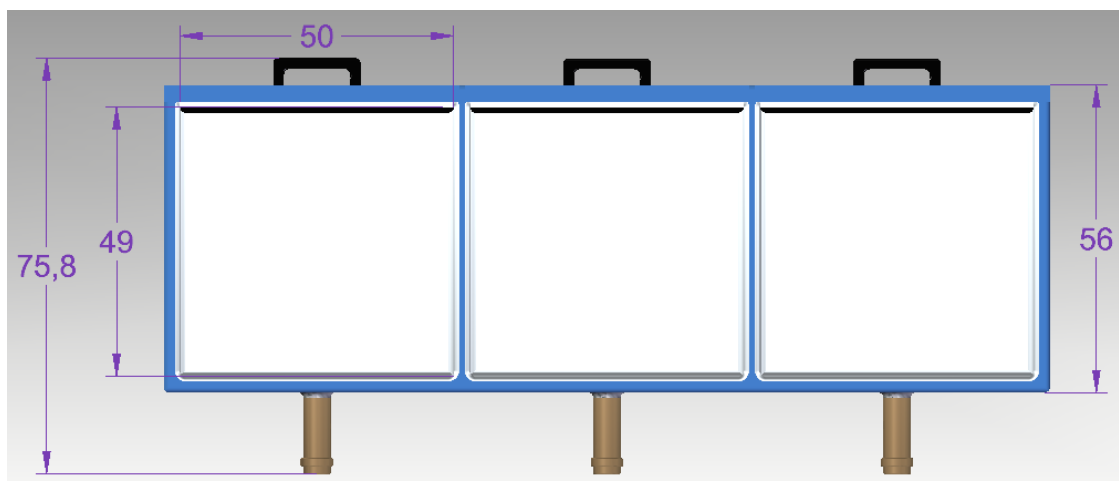
1. Tanque de almacenamiento para producto limpiador y removedor SKC-S
2. Tanque de almacenamiento para producto penetrante SKL-WP2
3. Tanque de almacenamiento para producto desarrollador base solvente SKD-S2.
4. Espiga de conexión para manguera de 1/2", flujo de SKC-S hacia válvulas de bola 2 y 6 de los tanques de lavado 1 y 6.
5. Espiga de conexión para manguera de 1/2", flujo de SKL-WP2 hacia válvula de bola 4 del tanque para aplicación de penetrante.
6. Espiga de conexión para manguera de 1/2", flujo de SKD-S2 hacia electroválvula 7.
7. Empaques en material aflas para garantizar hermeticidad de los tanques y brindar protección ante ataques químicos, térmicos y eléctricos.
8. Manijas para abrir/cerrar las tapas de los tanques.

Figura 25. Dimensiones generales tanques de almacenamiento vista frontal



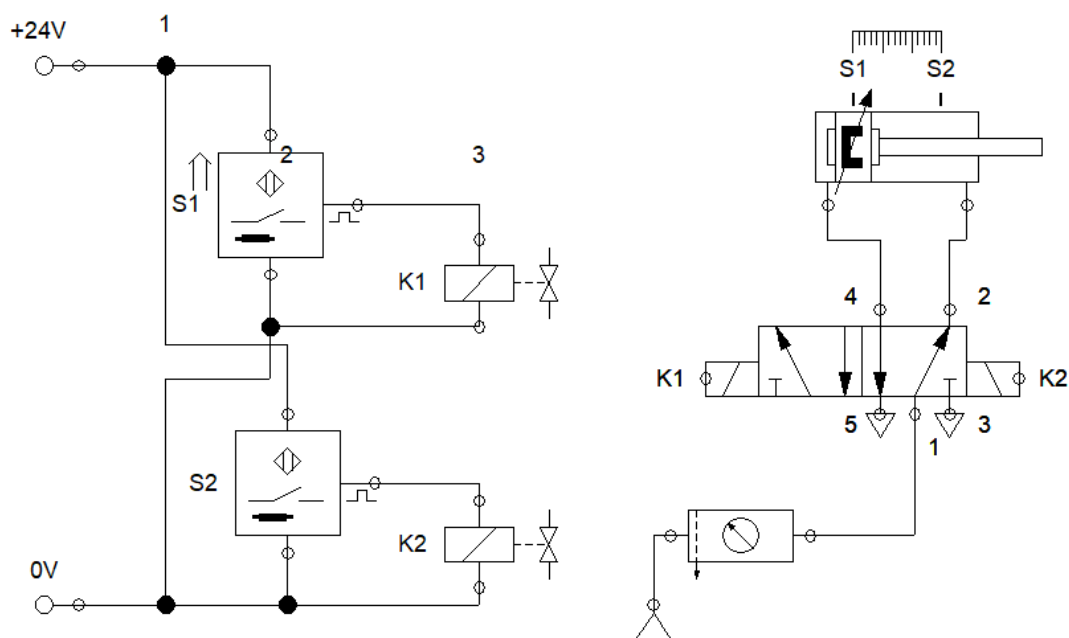
Dimensiones generales de tanques de almacenamiento vista frontal, medidas expresadas en cms, elaboración propia

Figura 26. Dimensiones generales tanques de almacenamiento vista superior



Dimensiones generales de tanques de almacenamiento vista superior, medidas expresadas en cms, elaboración propia

Figura 27. Circuito de mando y control de cilindro neumático



Circuito de mando y control de cilindro neumático en el software Festo FluidSIM, elaboración propia

En la figura 27 se observa el circuito de mando y control del cilindro neumático el cual es el encargado de generar el movimiento descendente y ascendente de la bandeja de trabajo al interior de

cada tanque de trabajo. Las bobinas de las electroválvulas funcionan a 24Vdc y la señal es emitida por el PLC de acuerdo con el programa previamente almacenado en este dispositivo.

Figura 28. *Boquilla para aspersión tipo niebla*



Nota: Boquilla operada con aire comprimido BETE XASR, recuperado el 1 de diciembre de 2021 de:
Boquillas de Aspersión en Colombia - Acodinsa S.A.S.

En la figura 28 se observa el tipo de boquilla que se va a instalar en el tanque de aplicación de desarrollador del equipo, la cual llevará a cabo la aspersión de producto SKD-S2 sobre las piezas a inspeccionar. Cuenta con dos entradas una para la conexión de aire y otra para la conexión del producto químico, en la parte superior tiene una perilla de estrangulamiento la cual regula el paso de los fluidos, la forma y presión del producto final. Esta misma también será usada en el tanque de remoción de exceso de penetrante, por un extremo ingresa el aire y por el otro fluye agua limpia. De acuerdo con el fabricante BETE(2021) se tienen las siguientes características generales:

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

1. El menor caudal disponible
2. Atomización muy fina
3. Ángulo de pulverización estrecho (12°- 22°)
4. Patrón de cono completo
5. Pulverización frontal de corta a moderada proyección

Materiales estándar: Latón niquelado, acero inoxidable 303 y acero inoxidable 316.

El rendimiento del ángulo de pulverización varía con la presión. Póngase en contacto con BETE para obtener datos específicos sobre aplicaciones críticas

Figura 29. *Boquilla para aspersión tipo cono lleno*



Nota: boquilla de aspersión BETE MaxiPass-L, recuperado el 1 de diciembre de 2021 de:
Boquillas de Aspersión en Colombia - Acodinsa S.A.S.

En la figura 29 se aprecia el modelo de boquilla de aspersión de tipo cono lleno, las cuales serán utilizadas para operaciones de secado de las partes y estarán instaladas en los tanques de secado y remoción de exceso. De acuerdo con el fabricante BETE(2021) se tienen las siguientes características:

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

1. Tamaños de conexión de tuberías de 1/8 y 1/4
2. El diseño más resistente a los atascos, con el paso libre más grande disponible en una boquilla axial de cono completo
3. Las exclusivas paletas internas en forma de S permiten el paso libre de partículas
4. Alta eficiencia energética
5. Maneja fácilmente líquidos sucios y contaminados sucios y contaminados
6. Conexiones macho
7. Cuerpo de la boquilla disponible en latón, 303 Acero inoxidable 316

8. Los álabes son de acero inoxidable 316 para una óptima resistencia al desgaste y a la corrosión

CARACTERÍSTICAS DE PULVERIZACIÓN

1. Rendimiento de pulverización de alta fiabilidad en las condiciones más difíciles
2. Distribución uniforme de la pulverización
3. Patrón de pulverización: Cono completo
4. Ángulos de pulverización: Estrecho (N), Medio (M), Ancho (W)
5. Caudales: 0,12 a 2,03 gpm

Figura 30. PLC Logo de Siemens



Nota: PLC Logo! 230RCE de Siemens, recuperado el 5 de noviembre de 2021 de: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:807268f7-00f1-4ce5-baa9-a98b8c8c7fd0/width:3840/quality:high/logo--230rce.png>.

En la figura 30 se observa el controlador lógico programable (PLC) modelo Logo 230RCE el cual será usado para la ejecución del programa que controle el equipo para inspección de partes por líquidos penetrantes mismo que de acuerdo con la compañía Siemens (2021) describe:

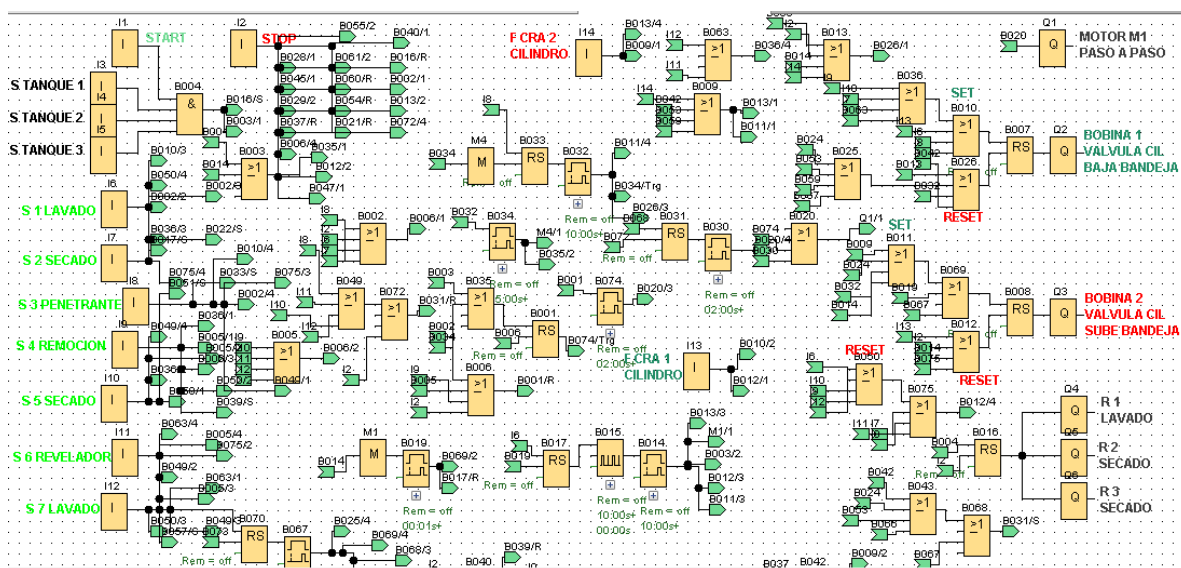
¡LOGOTIPO! 230RCE, módulo lógico, pantalla PS / E / S: 115V / 230V / relé, 8 DI / 4 DQ, memoria 400 bloques, modular expandible, Ethernet, servidor web integrado, registro

de datos, páginas web definidas por el usuario, tarjeta microSD estándar para LOGO!

Soft Comfort V8.3 o superior, proyectos más antiguos conexión ejecutable en la nube en

todo LOGO! 8.3 unidades básicas¹

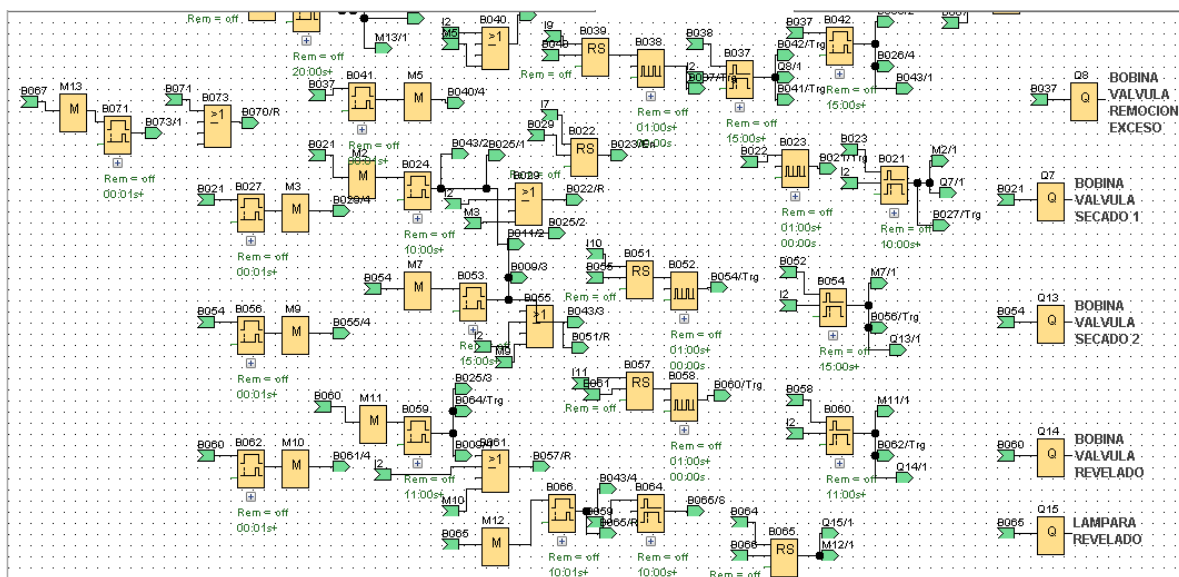
Figura 31. Programa de control para PLC primera parte



Nota: primera parte de programa para control para PLC Logo de Siemens basado en lenguaje de bloques lógicos en software Logo!Soft V8.2, fuente: elaboración propia.

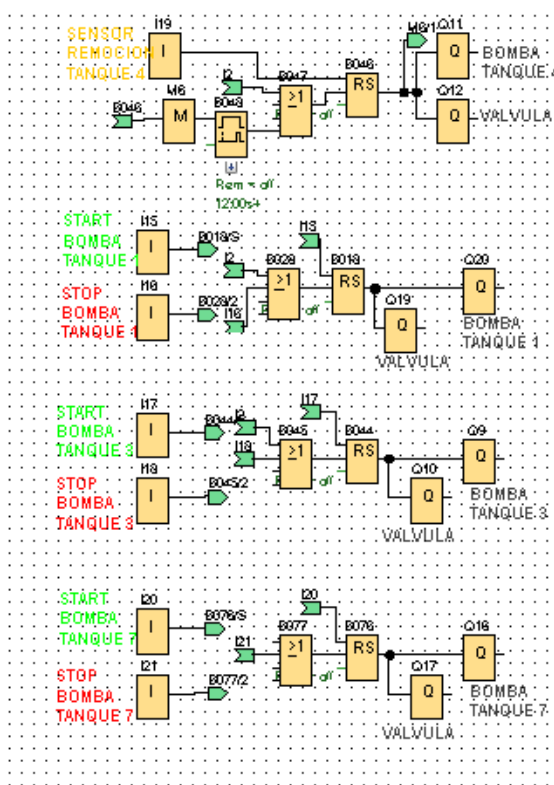
¹ Para encontrar más información técnica acerca de este dispositivo remitirse al datasheet descargable de la página web oficial de SIEMENS bajo el siguiente enlace, [Detalles del producto - Industry Mall - Siemens WW](#)

Figura 32. Programa de control para PLC Logo de Siemens segunda parte



Nota: segunda parte de programa para control para PLC Logo de Siemens basado en lenguaje de bloques lógicos en software Logo!Soft V8.2, fuente: elaboración propia.

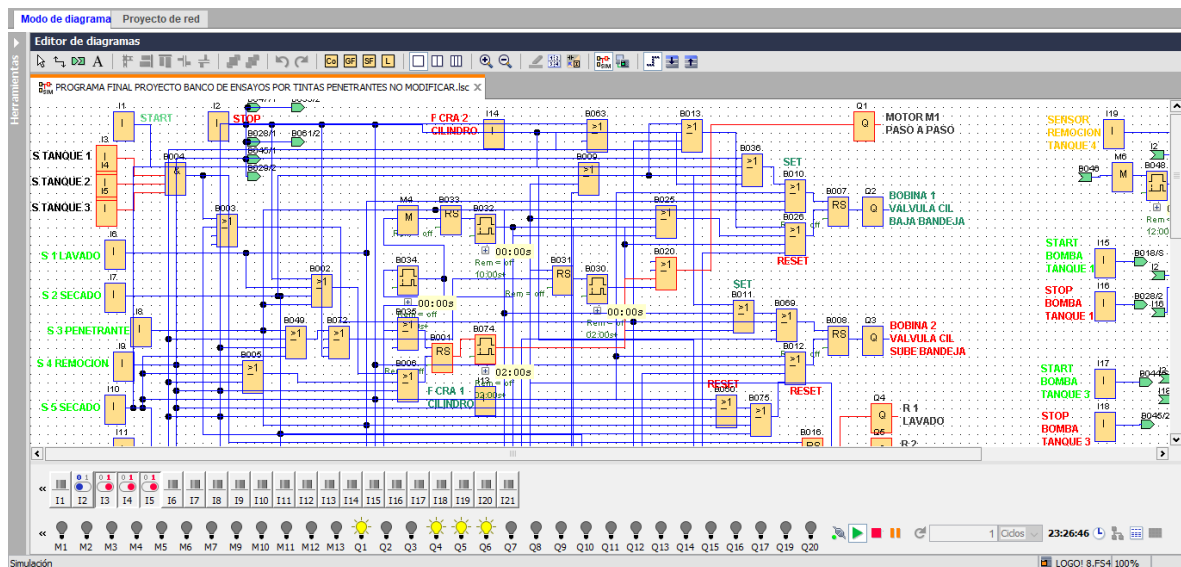
Figura 33. Programa de control para PLC Logo de Siemens tercer parte



Nota: tercera parte de programa para control para PLC Logo de Siemens basado en lenguaje de bloques lógicos en software Logo!Soft V8.2, fuente: elaboración propia.

En las figuras 31, 32 y 33 se puede apreciar el programa de control para el PLC basado en el lenguaje de bloques lógicos, las señales de entrada (I) son detectadas y de acuerdo con la secuencia que deban seguir los actuadores en el equipo son activadas las salidas (Q). En la figura 34 se observa el software en modo simulación, las líneas y los bloques de color rojo están energizados, en la parte inferior se encuentran los dispositivos de entradas y salidas del plc que se iluminan cuando están activados, esta interfaz permite tener interacción con el programa realizado y corroborar que las condiciones requeridas en el equipo automatizado se cumplan.

Figura 34. Logo Soft modo simulación



Nota: el software Logo Soft de Siemens, adiciona una opción de modo simulación, en la cual se verifica el funcionamiento correcto del programa estructurado, elaboración propia.

Figura 35. Motor paso a paso



Nota: Motor paso a paso nema 42 SKU: 42HS59-6004S, recuperado el 30 de noviembre de 2021 de: <https://www.omc-stepperonline.com/image/cache/catalog/stepper-motor/42/nema-42-cnc-stepper-motor-bipolar-30nm-4248ozin-8a-110x201mm-4-wires-152-1000x1000.jpg>

En la figura 35 se muestra el motor paso a paso nema 42, el cual será el encargado de realizar el desplazamiento longitudinal del carrito soporte, de acuerdo con el fabricante Stepperonline(2021) se especifica que:

Este motor paso a paso Nema 42 CNC con tamaño 110x110x150mm. Tiene 4 cables, cada fase dibuja 6A, con un par de retención de 22Nm (3115oz.in).

Conexión

A+	A-	B+	B-
Rojo	Verde	Amarillo	Azul

Especificaciones técnicas motor paso a paso nema 42

Eléctricas

Número de referencia del fabricante	42HS59-6004S
Tipo de motor	Paso a paso bipolar
Ángulo de paso	1.8 deg
Par de retención:	22Nm (3115oz.in)

Corriente nominal / fase	6.0A
Voltaje	4.8V
Resistencia de fase	0.8ohms
Inductancia	14mH \pm 20% (1KHz)
Físicas	
Tamaño del marco	110 x 110 mm
Longitud del cuerpo	150mm
Diámetro del eje	Φ 19mm
Longitud del eje	55.37mm
Longitud de la vía clave	35 mm
Número de clientes potenciales	4
Longitud del plomo	500 mm
Peso	10.9kg

Nota: para más información consulta: Motor paso a paso y conductor de motor paso a paso - STEPPERONLINE (omc-stepperonline.com)

Figura 36. Cilindro neumático



Nota: cilindro neumático de doble efecto DSBC-100-400-PPSA-N3, recuperado el 30 de noviembre de 2021 de: https://www.festo.com/media/pim/784/D15000100137784_1056x1024.jpg

El cilindro neumático de la figura 36, será el encargado de realizar los movimientos de ascenso y descenso de la bandeja de trabajo al interior de los tanques de trabajo, de acuerdo con el fabricante Festo(2021), se tienen las siguientes especificaciones de este componente:

Especificaciones técnicas cilindro neumático DSBC-100-400-PPSA-N3

Carrera	400 mm
Diámetro del émbolo	100 mm
Rosca del vástago	M20x1,5
Amortiguación	Amortiguación neumática autorregulable de fin de recorrido
Posición de montaje	Cualquiera
Conforme a la norma	ISO 15552
Extremo del vástago	Rosca exterior
Forma constructiva	Émbolo – Vástago - Camisa perfilada
Detección de posición	Para sensor de proximidad

Símbolo	992970
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.04 MPa ... 1.2 MPa
Presión de funcionamiento	0.4 bar ... 12 bar
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura ambiente	-20 °C ... 80 °C
Energía de impacto en las posiciones finales	2.5 J
Longitud de amortiguación	31 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retorno	4418 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	4712 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	1000 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	101 g
Peso básico con carrera de 0 mm	3665 g
Aumento masa móvil por 10 mm de carrera	39 g
Tipo de fijación a elegir	Con rosca interior, con accesorios
Conexión neumática	G1/2
Nota sobre el material	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de la tapa	Fundición inyectada de aluminio, recubierta
Material de la junta del émbolo	TPE-U (PU)
Material del émbolo	Aleación de forja de aluminio
Material del vástago	Acero de alta aleación
Material de la junta rascadora del vástago	TPE-U (PU)
Material de la junta de tope	TPE-U (PU)
Material del émbolo de tope	POM
Material de la camisa del cilindro	Aleación forjada de aluminio, superficie pulida y anodizada
Material de las tuercas	Acero, galvanizado
Material del cojinete	POM
Material tornillos con collar	Acero galvanizado

Nota: para más información consulta: Técnica de automatización y soluciones técnicas de formación | Festo MX

Figura 37. *Electroválvula biestable 5/2 vías*



Nota: electroválvula Festo VUVG-L10A-B52-ZT-M3-1P3, recuperado el 30 de noviembre de 2021 de: https://www.festo.com/media/pim/045/D15000100118045_1056x1024.jpg

En la figura 37 se muestra el diseño de la electroválvula requerida para la construcción del equipo, 5 de ellas se usarán para el control de los sistemas electroneumáticos de la máquina, de acuerdo con Festo(2021) se tienen las siguientes especificaciones de este componente:

Especificaciones técnicas electroválvula FESTO VUVG-L10A-B52-ZT-M3-1P3

Función de la válvula:	Biestable de 5/2 vías
Tipo de accionamiento:	Eléctrico
Tamaño de válvula:	10 mm
Caudal nominal normal:	100 l/min
Conexión neumática de utilización:	M3
Tensión de alimentación:	24V DC
Presión de funcionamiento:	-0.09 MPa ... 1 MPa
Presión de funcionamiento:	-0.9 bar ... 10 bar
Forma constructiva:	Corredera del émbolo
Certificación:	RCM - c UL us - Recognized (OL)
Grado de protección:	IP40 - IP65 - Con caja tomacorriente
Diámetro nominal:	2 mm
Función de escape:	Estrangulable
Principio de sellado:	Blando
Posición de montaje:	Cualquiera
Accionamiento manual auxiliar:	Con enclavamiento - Sin enclavamiento - Cubierto
Tipo de control:	Servopilotado
Alimentación del aire de pilotaje:	Externo
Símbolo:	991062
Superposición:	Superposición positiva
Presión de control MPa:	0.15 MPa ... 0.8 MPa

Presión de mando:	1.5 bar ... 8 bar
Aptitud para vacío:	yes
Tiempo de conmutación um:	5 ms
Tiempo de conexión:	100%
Impulso de control positivo máximo con señal 0:	700 µs
Máx. impulso de prueba negativo con señal 1:	900 µs
Valores característicos de las bobinas:	24 V DC: 1,0 W 24 V DC: fase de corriente de baja intensidad 0,3 W, fase de corriente de alta intensidad 1,0 W
Fluctuaciones de tensión admisibles:	+/- 10 %
Medio de funcionamiento:	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando:	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Resistencia a las vibraciones:	Control para el transporte con grado de severidad 2 según FN 942017-4 y EN 60068-2-6
Limitación de la temperatura ambiente y de los medios:	-5-50 °C - Sin reducción de la corriente de reposo
Resistencia a los golpes:	Control de impactos con grado de severidad 2, según FN 942017-5 y EN 60068-2-27
Clase de resistencia a la corrosión CRC:	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura del medio:	-5 °C ... 60 °C
Medio de mando:	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Temperatura ambiente:	-5 °C ... 60 °C
Peso del producto:	49 g
Conexión eléctrica:	Mediante placa base eléctrica
Tipo de fijación:	A elegir sobre perfil distribuidor - Con taladro pasante
Conexión aire de pilotaje 12/14:	M3
Conexión neumática 1:	M3
Conexión neumática 2:	M3
Conexión neumática 3:	M3
Conexión neumática 4:	M3
Conexión neumática 5:	M3
Nota sobre el material:	Conformidad con la Directiva RoHS
Material de las juntas:	HNBR - NBR
Material del cuerpo:	Aleación de aluminio forjado

Nota: para más información consulta: Técnica de automatización y soluciones técnicas de formación
| Festo MX

Figura 38. Líquido penetrante SKL-WP2



Nota: presentaciones de líquidos penetrantes marca Magnaflux, recuperado el 30 de octubre de 2021 de: <https://www.magnaflux.com/Files/Images/LPI-Consumables-2/01-5190-SKL-WP2-Group.jpg>

En la figura 38 y de acuerdo con Magnaflux (2021) se tienen las siguientes características para el penetrante de color visible lavable con agua SKL-WP2:

SKL-WP2

Penetrante de colorante visible lavable con agua

Desarrollado para grandes superficies y superficies rugosas donde el exceso de penetrante es difícil de eliminar con un limpiador o emulsionante extraíble con disolvente, SKL-WP2 es un penetrante de colorante eliminable por agua para pruebas de penetrantes tipo 2 en luz blanca visible.

Este penetrante de color rojo brillante está diseñado para lavar piezas con facilidad, dejando menos fondo para indicaciones más claras, incluso en superficies ásperas. El enjuague rápido reduce el uso de agua en el proceso de inspección para un proceso de NDT confiable con menos costo por pieza.

Este penetrante de contraste de color cumple con todos los detalles de NDT para pruebas de penetrante de tinte y se puede usar en una amplia variedad de metales, incluidos los no ferrosos y ferrosos. Normalmente se utiliza en soldaduras, forjas,

recipientes a presión, piezas fundidas y trabajos metálicos en general, y se presta a un entorno de producción donde muchas piezas se inspeccionan diariamente.

SKL-WP2 figura en la lista de productos calificados QPL SAE AMS 2644².

Beneficios

Confiable y conveniente de usar

1. Fácil de transportar y usar en el campo con las convenientes latas de aerosol que están cuidadosamente diseñadas para una cobertura uniforme y consistente y una cobertura máxima del área de prueba
2. Uso en todas las condiciones sin necesidad de oscuridad o luces UV
3. Cubre rápida y completamente toda la superficie de prueba debido a la alta humectación de la superficie

Detección máxima de indicaciones

1. Produce indicaciones fuertes y vibrantes gracias al color rojo brillante y vibrante, especialmente cuando se usa con el desarrollador a base de solventes SKD-S2.

Amplia versatilidad de aplicación

1. Inspeccione una amplia gama de componentes sin temor a la corrosión o a la no conformidad de las especificaciones.
2. Cumple con AMS 2644 y está aprobado por NDT para aplicaciones industriales profesionales.
3. Reducción del costo de procesamiento por pieza debido a la excelente lavabilidad, que es especialmente útil para piezas grandes y componentes fundidos.
4. Use con diferentes aplicadores, elija el pulverizador que funcione mejor para su aplicación.

² Para más información consultar: [AMS2644H: Material de inspección, penetrante - SAE International](#)

Funciones

Tabla 5. Características del líquido penetrante

<ul style="list-style-type: none"> • Fácil eliminación de lavado con agua • Nivel de sensibilidad ISO 3452 #2 • Se puede utilizar con el método A o el método C • Color rojo vivo y de alto contraste • Resolución de fallos superior • Buena humectación superficial 	<ul style="list-style-type: none"> • Acción capilar optimizada • Funciona en luz visible • Toxicidad muy baja • Bajo olor • Cumple con las especificaciones NDT
---	--

Nota: características del líquido penetrante SKL-WP2, recuperado el 30 de octubre de 2021 de: SKL-WP2 (magnaflux.com)

Figura 39. Limpiador y removedor SKC-S



Nota: presentaciones de limpiador y removedor marca Magnaflux, recuperado el 30 de octubre de 2021 de: <https://www.magnaflux.com/Files/Images/LPI-Consumables-2/01-5750-SKC-S-Group.jpg>

En la figura 39 y de acuerdo con Magnaflux (2021) se tienen las siguientes características para el limpiador y removedor SKC-S:

SKC-S

Limpiador y removedor de NDT

SKC-S es un limpiador/removedor de disolventes aprobado por NDT para la limpieza previa antes de las pruebas no destructivas y para eliminar el exceso de penetrante superficial de un área de inspección antes de aplicar el revelador durante las pruebas de penetrante líquido.

Este removedor de disolventes no halogenado se puede utilizar en una amplia gama de sustratos para eliminar aceites, grasas y otros contaminantes. SKC-S se seca rápidamente sin dejar residuos y cumple con los requisitos de bajo contenido de residuos para ensayos de NDT y penetrantes aeroespaciales.

Beneficios

Maximice la gama de inspecciones

1. Inspeccione una amplia gama de componentes sin preocupaciones
2. Cumple con AMS 2644 Clase 2, ASME BPVC y todos los principales requisitos aeroespaciales

Versatilidad de aplicación

1. Utilice un solo limpiador durante todo el proceso de prueba de penetración
2. Viene en forma de volumen y aerosol, o como parte de un kit para mayor comodidad
3. Use con diferentes aplicadores, elija el pulverizador que funcione mejor para su aplicación

Minimizar el riesgo de perder un defecto

1. Inspeccione de manera confiable limpiando solo la superficie sin eliminar la penetración de las discontinuidades
2. Se seca rápidamente sin dejar residuos para evitar falsas indicaciones

Funciones

REMOVEDOR NO HALOGENADO AMS 2644 Clase 2

1. Secado rápido
2. No deja residuos
3. Adecuado para su uso a bajas temperaturas
4. Compatibilidad con aleaciones
5. Forma a granel o en aerosol
6. No está demasiado limpio³

Figura 40. *Desarrollador base solvente SKD-S2*



Nota: presentación en caneca de 55 galones de producto desarrollador base solvente SKD-S2 marca Magnaflux, recuperado el 30 de octubre de 2021 de: <https://www.magnaflux.com/Files/Images/LPI-Consumables0Copy/01-5352-45-SKD-S21.jpg>

En la figura 40 se observa la presentación del producto por envase de 55 galones y de acuerdo con el fabricante Magnaflux (2021) se tienen las siguientes características para el desarrollador a base solvente SKD-S2:

³ Para más información sobre el producto consultar: <https://www.magnaflux.com/Files/Images/LPI-Consumables-2/01-5750-SKC-S-Group.jpg>

SKD-S2

Desarrollador basado en solventes

SKD-S2, un revelador blanco brillante y no acuoso, crea un fondo blanco opaco para pruebas de penetrantes de alto contraste y extrae rápidamente la penetración para crear indicaciones más fuertes y claras para una mejor confiabilidad y sensibilidad de inspección.

Conocido por su compatibilidad con aleaciones especiales, como acero inoxidable, aluminio, magnesio y titanio, SKD-S2 no es halogenado, se puede utilizar con penetrantes Tipo 1 y Tipo 2. Este desarrollador basado en solventes cumple con los requisitos de la industria aeroespacial y nuclear, y cumple con todas las principales especificaciones de END, incluida la ISO 3452.

SKD-S2 ayuda a acelerar el proceso de inspección al seguir adelante fácilmente, secarse rápidamente, promover una formación de indicaciones más rápida y minimizar la limpieza posterior a la inspección. Es ideal para talleres mecánicos, pruebas de soldadura y aplicaciones de campo.

SKD-S2 figura en la lista de productos calificados QPL SAE AMS 2644 y está aprobado por numerosos Aerospace Primes, incluidos Boeing, GE y Honeywell.

Beneficios

Aumenta la visibilidad de las indicaciones

- 1.** Mejora la detección de indicaciones mediante la creación de una superficie óptima para la formación de indicaciones penetrantes
- 2.** La cobertura opaca de color blanco brillante bloquea todo el color de la superficie subyacente y atrae rápidamente la penetración a la superficie para obtener indicaciones más fuertes y claras.

Versatilidad de aplicación

1. Se puede utilizar con una variedad de penetrantes tipo 2 y tipo 1 en muchas situaciones diferentes sin medir ni diluir
2. Use con varios aplicadores, elija el pulverizador que funcione mejor para su aplicación
3. La conformidad con Iso 3452 permite utilizar SKD-S2 para inspeccionar una amplia gama de piezas

Limpieza más rápida

1. Reduce el tiempo del proceso de inspección al minimizar la limpieza posterior a la inspección
2. La fórmula fácil de aplicar se realiza de manera limpia, se seca rápidamente y promueve una formación de indicaciones más rápida para reducir el tiempo en cada paso del proceso de inspección.

Funciones

Tabla 6. *Tabla de características de producto desarrollador SKD-S2*

<ul style="list-style-type: none"> • Color blanco brillante • Proporciona un buen contraste de fondo • No fluorescente • Mechas penetrantes fuera de las indicaciones • Secado rápido 	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de aplicar • Fórmula conveniente y lista para usar • Toxicidad muy baja • Recubrimiento mate y opaco • Fácil de limpiar
--	---

Nota: características de producto desarrollador a base solvente SKD-S2, recuperado el 1 de noviembre de 2021 de: SKD-S2 (magnaflux.com)

CAPÍTULO III Recuperación del proceso

Revisión teórica

Los modelos observados en las figuras 41 y 42, son equipos diseñados para la inspección de partes por líquidos fluorescentes tipo I, sin embargo tienen una gran similitud con el proceso que se realiza con penetrantes de tipo II, la principal diferencia es la condición de iluminación en la etapa de revelado o desarrollo, en LP fluorescentes se realiza bajo luz ultravioleta en un área oscura, mientras que los LP visibles se puede hacer con la luz normal del día, sin embargo el procedimiento en esencia es el mismo en ambos casos.

Estos modelos de equipos son la principal referencia que se tiene de este proceso, están diseñados para hacer inspecciones aleatorias o sorpresivas a piezas que tienen diferentes tamaños, formas y materiales, lo que difiere del proyecto que se presenta en este proyecto ya que la función principal es inspeccionar grandes cantidades de partes de igual tamaño, forma y material, están son las características en las que se basa la justificación del presente equipo automatizado.

Figura 41. *Equipo de prueba para penetrantes fluorescentes ZA-1633*



Nota: Sistema de equipo de prueba de penetrantes fluorescentes ZA-1633, recuperado el 1 de noviembre de: https://www.magnaflux.com/Files/Images/LPI-Equipment/ZA-1633_Hydrophlic.jpg?Medium

De acuerdo con Magnaflux (2021), el sistema del equipo para prueba con penetrantes fluorescentes ZA-1633 que se observa en la figura 41 consiste en:

Los sistemas ZA-1633 son sistemas de inspección de penetrantes fluorescentes independientes para la inspección de volumen ligero de piezas de tamaño pequeño a mediano, incluidos sujetadores aeroespaciales, piezas automotrices e inspección de implantes quirúrgicos.

Hay tres configuraciones de sistema diferentes disponibles

1. ZA-1633 para el Método A para pruebas penetrantes lavables al agua tiene 6 estaciones
2. ZA-1633 para el Método B post-emulsionables, lipofílico tiene 8 estaciones
3. ZA-1633 para el Método D post-emulsionables, hidrofílico tiene 9 estaciones

Figura 42. *Equipo de prueba para penetrantes fluorescentes ZA-1227*



Nota: Sistema de equipo de prueba de penetrantes fluorescentes ZA-1227, recuperado el 1 de noviembre de: https://www.magnaflux.com/Files/Images/LPI-Equipment/ZA-1227_Hydrophilic.jpg?Medium

De acuerdo con Magnaflux (2021), el sistema del equipo para prueba con penetrantes fluorescentes ZA-1227 el cual se observa en la figura 42 consiste en:

Los sistemas ZA-1227 son sistemas compactos de inspección de penetrantes fluorescentes para la inspección por lotes y de bajo volumen de piezas de tamaño pequeño a mediano, incluidos sujetadores aeroespaciales, piezas automotrices e inspección de implantes quirúrgicos.

Hay tres configuraciones de sistema diferentes disponibles:

1. ZA-1227 para el Método A para pruebas penetrantes lavables al agua tiene 5 estaciones
2. ZA-1227 para el método B post-emulsionables, lipofílico tiene seis estaciones
3. ZA-1227 para el Método D post-emulsionables, hidrófilo tiene siete estaciones

Análisis institucional

La posible implementación de un equipo automatizado para ensayos no destructivos por LP se debe regir bajo los lineamientos de calidad, salud y seguridad en el trabajo dando estricto cumplimiento a las políticas de la compañía, objetivos, procedimientos y disposiciones legales.

La viabilidad del proyecto está sujeta a estudio y verificación de las cifras del proceso actual como de las mismas que se generan a partir de la implementación del equipo. Sin embargo, otro factor importante es el análisis de los factores de riesgo asociados a la operación del equipo y el manejo de los productos químicos requeridos.

Por otro lado, la compañía sin duda le apuesta al mejoramiento continuo de los procesos, esto con el fin de optimizar recursos, garantizar la satisfacción del cliente y ser la sede a nivel mundial que provee equipos BES a toda locación, en consecuencia, el interés está en promover proyectos y métodos que permitan hacer los procesos de producción altamente rentables y eficaces.

Análisis del impacto esperado

Aspecto ambiental

Reducción máxima, exposición casi imperceptible a productos químicos por parte del personal que desarrolla inspección por líquidos penetrantes, puesto que el equipo en su diseño aísla los vapores y partículas de los químicos usados. El consumo energético del equipo es bajo.

El equipo genera residuos líquidos después de un tiempo de trabajo, sin embargo, al ser un proceso controlado y dosificado mediante aspersión, se tiene un mínimo de remanentes, los cuales se dispondrán en envases metálicos de 55 galones que en su momento la compañía especializada en el tratamiento de estos productos hará la respectiva recolección.

Aspecto económico

Ahorro de dinero en costos de insumos, ya que es más económico adquirir los consumibles en presentaciones por canecas de 55 galones, que aerosoles en lata de 10.5 onzas.

Bajo costo de implementación en comparación al costo de otros equipos que utilizan diferentes métodos de END (baja inversión, corto tiempo de retorno de esta).

Bajo consumo de insumos del equipo automatizado durante los ensayos en comparación al método por LP tipo II método C lo que genera ahorro de dinero.

Bajo costo de mantenimiento del equipo, sin embargo se debe contar con una partida en el presupuesto para la disposición de los líquidos resultantes del proceso, ya que este proceso lo realiza una compañía especializada en esta labor.

Aspecto industrial

Disponibilidad inmediata de partes (bujes, manguitos, acoplamientos) para proceso de ensamble de equipos de bombeo electro sumergible.

Inspección temprana de materia prima y partes recuperadas alrededor del 100%

Se puede adelantar el proceso de embujado de bases, cabezas y difusores, al contar con los bujes inspeccionados previamente.

Reducción de la probabilidad de tener fallas relacionadas a ruptura de bujes, a la vez que se agiliza y aumenta la producción de equipos de bombeo electro sumergible.

Optimización de todas las labores realizadas por el departamento de calidad, puesto que el enfoque de las actividades no está centralizado únicamente en los ensayos por líquidos penetrantes.

Por último el equipo tendrá instrucciones de uso y operación básicos e intuitivos, por lo cual cualquier técnico certificado del área de control de calidad está en capacidad de operarlo.

Aspecto social

La implementación de un equipo automatizado que realice ensayos por LP genera la reducción de la carga laboral, lo que da como resultante un mejor ambiente de trabajo para el personal del área de control de calidad debido al afán y estrés por cumplir con la producción.

Disminuye la presión que ejercen sobre el personal de control de calidad las demás áreas de producción y la gerencia de esta área, ya que son numerosos los requerimientos de los clientes en cuanto a equipos por ende la implementación de un equipo automatizado garantiza el cumplimiento de inspección de piezas para los ensambles requeridos.

El personal del área de control de calidad expresa que la labor de ensayos por LP bajo el método C que se está realizando actualmente, genera estrés e indisposición en ellos debido a la gran cantidad de piezas a inspeccionar a diario, ya que son procesos hechos manualmente, la implementación de un equipo automatizado aporta a mejorar el estado de ánimo y desgaste físico del personal.

CAPÍTULO IV Análisis y reflexión

Resultados de la experiencia

Con base a la experiencia adquirida en el transcurso de las prácticas profesionales como técnico de planta, es preciso resaltar los siguientes resultados:

El estudio del proceso de inspección de partes por líquidos penetrantes método C que se lleva a cabo actualmente en Alkhorayef Zona Franca S.A.S, permite relacionar el tipo de partes, sus características, propiedades físicas y el posible método que desarrolle esta actividad con el mayor porcentaje alcanzable de efectividad y optimización de todos los recursos requeridos en estos ensayos.

A partir del diseño del prototipo que se realiza durante el periodo de prácticas, se obtiene en gran parte la viabilidad del proyecto puesto que son diversos factores los que se deben tener en cuenta al hacer el estudio de la implementación del equipo como lo son:

1. El costo general de implementación del equipo, valor de la inversión y tiempo de recuperación de esta.
2. Los requerimientos de tipo HSEQ, que se deben ejecutar para la implementación y operación del equipo.
3. La manera en la cual se garantizará la confiabilidad y efectividad del proceso mediante la operación del equipo.
4. Las modificaciones que se deben realizar a la infraestructura de la planta en la zona donde el equipo posiblemente vaya a funcionar.
5. El análisis de riesgos para la infraestructura y el personal que está involucrado en el proceso.
6. Los recursos energéticos requeridos para la operación del equipo y el costo que generan en un lapso determinado.

La idea de llevar a cabo este proyecto crea la necesidad de indagar, conceptualizar y sintetizar todos los conceptos teóricos y procedimentales de ensayos no destructivos que se desarrollan en la actualidad, sus beneficios y restricciones, optando por el que mejor se adapta a cada parte específica.

Un aspecto para tener en cuenta es la existencia de diversos métodos de ensayos no destructivos y la posibilidad de efectuarlos para las partes que la compañía requiere, sin embargo, es de gran importancia analizar el costo de implementación de cada uno de los tipos de END, el grado de sensibilidad del ensayo y los efectos para la salud humana y el ecosistema natural.

Desde la parte académica es motivante que se presenten este tipo de dificultades en procesos que dan como resultado equipos de alto costo y precisión durante su operación, mismos que generan grandes contribuciones a la economía del país; por otro lado el gran aporte que hace la automatización industrial al mejoramiento de los procesos productivos, a las reducciones en los tiempos de fabricación, la optimización de los insumos requeridos y la minimización de riesgos asociados a la actividad.

Evaluación de impactos

Impacto ambiental

El equipo hace uso de productos químicos inflamables, volátiles, perjudiciales para la salud humana, animal y medioambiental, su disposición final se debe hacer por una entidad especializada en el manejo de dichos residuos, por consiguiente, el diseño del equipo establece un mínimo consumo de agua de la red, por tal motivo la generación de residuos también es muy baja.

Los residuos de los líquidos usados por el equipo durante el proceso son mínimos, ya que los sistemas por aspersión e inmersión son bastante eficientes y optimizan el uso de los insumos.

Dado que el equipo realiza las labores de limpieza se reduce o minimiza el uso de trapos para operaciones de limpieza, lo cual es un factor positivo en cuanto a la generación de residuos contaminados los cuales se disponen por una empresa externa a la compañía, esto se refleja en valores positivos numéricos y medioambientales.

Impacto económico

De acuerdo con las tablas 1,2 y 3 se evidencian los beneficios económicos que trae la implementación de un equipo automatizado para la inspección por LP, sin duda es de gran importancia estudiar la proyección a mediano y largo plazo ya que los números podrían ser aún más favorables para la compañía, y su uso se puede extender a las demás sedes a nivel mundial, el impacto económico sería generalizado y Alkhorayef Zona Franca S.A.S. tendrá una gran reputación frente a la presidencia de la compañía.

Impacto industrial

Es necesario adecuar el área donde el equipo va a operar debe contar con buena ventilación, alejado de fuentes calor, chispas, instalaciones eléctricas, etc. se debe construir con materiales antideflagrantes, sin embargo, el diseño del equipo y los métodos de aplicación de los consumibles, no generan volúmenes considerables de vapores o partículas que puedan generar un alto riesgo de afectaciones tanto al personal que realiza dicha labor o como a las instalaciones de la planta y del mismo equipo como tal.

Impacto social

La implementación de un equipo automatizado para inspección de piezas por LP trae consigo una serie de impactos positivos a nivel social, ya que este proceso es extenso y repetitivo a diario en la compañía, los constantes movimientos de las manos y la gran cantidad de partes generan cierto grado de agotamiento físico, indisposición y desagrado para el personal del área de control de calidad, lo que conlleva a la generación de un ambiente de trabajo hostil, de estrés constante, descontento y baja motivación.

Lecciones aprendidas

Se debe llevar a cabo el estudio de todos los factores que influyen en la realización de un proyecto productivo, este análisis es extenso y los argumentos para desarrollarlo deben estar basados

en números reales, en factores de riesgo controlados y minimizados de esto depende en gran parte el éxito y acierto de ponerlo en marcha.

Mientras se realizaba el diseño del equipo basado en el método C, al realizar la lectura del estándar E1420 de la ASTM, se evidencia que la remoción del exceso no se puede llevar a cabo mediante la aplicación directa del removedor, se debe realizar manualmente con paños especiales para este proceso, por lo cual fue necesario indagar acerca de los demás métodos de ensayos no destructivos, compararlos entre ellos y establecer la viabilidad de cada uno teniendo en cuenta, los costos de inversión, la efectividad del proceso y los riesgos específicos que se generan a partir de la puesta en marcha.

Recomendaciones

Indagar, documentar acerca del mejoramiento de los procesos de sinterización de partes en carburo de tungsteno para evidenciar acciones de mejora.

Realizar la documentación detalla de cada método de ensayo no destructivo, teniendo en cuenta la sensibilidad del líquido penetrante usado, los costos que intervienen en cada uno, así como la eficiencia del proceso, los insumos, recursos requeridos y los riesgos asociados al ejecutarlos.

Indagar acerca de los líquidos penetrantes con menor dificultad de uso y manejo, que cuente con bajos niveles de toxicidad, afectación a la salud humana y del medio ambiente en general, buscar productos que no presenten restricciones relevantes al disponer de ellos.

Es recomendable que este proyecto sea del conocimiento de las compañías que se dedican a la producción de partes en carburo de tungsteno ya que ellos producen dichas piezas de forma generalizada y deben garantizar la integridad de sus productos, por lo cual el equipo presentado en este documento sería una opción válida en cuanto a la eficiencia y garantía de las piezas fabricadas.

Conclusiones

La implementación de un equipo automatizado para inspección de partes por LP tipo II método A genera impactos positivos, en base a las cifras del proceso que se realiza actualmente en paralelo a las que se evidenciarían mediante la operación del equipo, la compañía aumentaría la producción y disminuiría costos de operación por concepto de END, agiliza los procesos de embujado de difusores y por ende el ensamble de bombas y SGI, la disponibilidad de partes sería casi inmediata.

Con la operación del equipo se optimizan las labores en el área de control de calidad, ya que el personal estaría mejor distribuido en todas las labores de la compañía y no únicamente en ensayos por LP, no es necesario asignar varios técnicos durante el trabajo del equipo ya que al ser automatizado requiere de un técnico para el aprovisionamiento de partes a este y la supervisión misma del proceso, el anterior es otro factor positivo ya que la exposición a los productos químicos es mínima y se mitiga mediante el uso de los elementos de protección personal sugeridos por los fabricantes de los líquidos.

Es de vital importancia garantizar que se cumplan todas las condiciones de seguridad del área donde va a operar el equipo, en base a la información de las hojas de datos de seguridad al igual que las hojas de datos de cada producto, de la misma manera el proceso de la máquina debe estar alineado con los estándares normativos del proceso, las condiciones medioambientales y las leyes que aplican al ejecutar esta labor.

No se debe de pasar por alto el riesgo que genera la manipulación de productos químicos con inflamabilidad nivel 3 al igual que riesgo para la salud nivel 2 de acuerdo con la NFPA, las condiciones de almacenamiento y uso seguro se deben garantizar estrictamente.

Los ensayos no destructivos por líquidos penetrantes son inspecciones que se realizan para identificar discontinuidades superficiales en piezas mediante la aplicación de un producto que se adhiere a la parte e ingresa en las irregularidades que tenga esta, luego por acción de un desarrollador

de color blanco (en penetrantes visibles) la tinta penetrante se pigmenta mostrando una indicación, que luego se evalúa por un técnico certificado.

En búsqueda de la mejora continua en los procesos productivos, es de gran importancia evidenciar oportunidades de optimización de recursos, insumos y tiempos, es allí donde la automatización industrial juega un papel fundamental, generando propuestas mediante prototipos que simplifican las tareas.

De acuerdo con el estudio de viabilidad que se realizó a lo largo de este documento es posible llevar a cabo la implementación de este proyecto siempre y cuando las condiciones de calidad y seguridad del proceso se garanticen, así como el cumplimiento de los procedimientos y políticas internas de la compañía Alkhorayef Zona Franca S.A.S, finalmente esta propuesta queda a disposición y estudio de las partes interesadas así mismo como material de apoyo en futuros proyectos.

Referencias

- ACODINSA S.A.S. (2021). *ACODINSA*. <https://www.acodinsa.com/>
- ALKHORAYEF PETROLEUM. (2021). *GEARS HSEQ*. <https://gears-qhse.com/#/dms/document-management/1052?hiddenFiles=1&searchFilter=>
- ANSI. (2021). *American National Standards Institute*. <https://ansi.org/>
- ASTM.ORG. (2021). *ASTM international, West Conshohocken, PA*. www.astm.org
- BETE Fog Nozzle, Inc. (2021). *BETE*. <https://www.bete.com/>
- Cadavid, J. D. (2021). *Tabla de costos de proyecto*. Bogotá, Colombia.
- CANTESCO. (2021). *CANTESCO welding chemical products*. <https://www.cantesco.com/>
- FESTO Inc. (2021). *FESTO*. <https://www.festo.com/mx/es/>
- ICONTEC. (2021). *Instituto Colombiano de Normas Técnicas*. <https://www.icontec.org/>
- MAGNAFLUX. (2021). *MAGNAFLUX*. <https://www.magnaflux.com/Magnaflux/Products/Liquid-Penetrant-Testing.htm>
- OMC CORPORACIÓN LIMITADA. (2021). *STEPPERONLINE*. <https://www.oqc-stepperonline.com/>
- Organización Internacional de Normalización. (2021). *ISO.ORG*.
<https://www.iso.org/standard/57037.html>
- SAE INTERNATIONAL. (2021). *SAE INTERNATIONAL*. <https://www.sae.org/standards/content/ams2644h/>
- SIEMENS. (2021). *SIEMENS*. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ED1052-1FB08-0BA1>

Anexos

En los siguientes enlaces se puede consultar las hojas de datos de los productos y hojas de datos de seguridad usados por el equipo automatizado para el ensayo por LP tipo II método A.

Anexo 1. *Limpiador y Removedor para NDT SKC-S*

- a. Enlace para consultar hoja de datos de seguridad producto, [SKC-S-Liquid Safety-Data-Sheet Espanol.pdf \(magnaflux.mx\)](#)
- b. Enlace para consultar hoja de datos del producto, [SKC-S Product-Data-Sheet Espanol.pdf \(magnaflux.mx\)](#)

Anexo 2. *Penetrante Visible Lavable al Agua SKL-WP2*

- a. Enlace para consultar hoja de datos de seguridad producto, [SKL-WP2-Liquid Safety-Data-Sheet Espanol.pdf \(magnaflux.mx\)](#)
- b. Enlace para consultar hoja de datos del producto, [SKL-WP2 Product-Data-Sheet Espanol.pdf \(magnaflux.mx\)](#)

Anexo 3. *Revelador Base Solvente*

- a. Enlace para consultar hoja de datos de seguridad producto, [SKD-S2-Liquid Safety-Data-Sheet Espanol.pdf \(magnaflux.mx\)](#)
- b. Enlace para consultar hoja de datos del producto, [SKD-S2 Product-Data-Sheet Espanol.pdf \(magnaflux.mx\)](#)

Anexo 4. *Declaración de vida útil del producto*

- a. Para consultar la declaración de vida útil de los productos Magnaflux ingresar a los enlaces, [Magnaflux Shelf-Life-Statement Espanol.pdf](#) - [Magnaflux Shelf-Life-Statement English.pdf](#)

Anexo 5. Política Sistema integrado de gestión Alkhorayef Zona Franca S.A.S



International specialist in
ESP systems and solutions

POLÍTICA DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN

El GRUPO ALKHORAYEF (Alkhorayef Petroleum Colombia y Alkhorayef Zona Franca) dedicado al desensamble, ensamble, mantenimiento, pruebas, instalación, extracción, monitoreo de equipos electrosumergibles y sistemas de control de superficie, está totalmente comprometido a dar cumplimiento a los más altos estándares de salud, Seguridad, Medio Ambiente, Calidad, y responsabilidad social, así como en satisfacer las necesidades de sus clientes a través del

- Suministro de productos y servicios que sean altamente confiables
- Mantenimiento y, de ser posible, mejoramiento de la calidad de vida y promoción de un ambiente laboral seguro para trabajadores, subcontratistas, visitantes, partes interesadas y medio ambiente.

En nuestra constante búsqueda por la excelencia, nos apoyamos en un proceso sistemático de mejora continua que nos permita establecer estrategias enfocadas a abrir nuevos mercados, mejorar la productividad de nuestras operaciones, mejorar nuestro Sistema de Integrado de Gestión y así incentivar una cultura preventiva con los principales objetivos de:

- Asegurar el suministro de productos, servicios de conformidad con los requisitos del cliente.
- Prevenir fatalidades, accidentes de trabajo, enfermedades laborales, contaminación y otros impactos socio-ambientales asociados a nuestros riesgos prioritarios e impactos significativos
- Hacer uso eficiente de los recursos
- Prevenir daños a la propiedad tanto de la compañía como de nuestros grupos de interés

Lo anterior, a través de la implementación de un proceso continuo de identificación de peligros, aspectos ambientales que nos permiten estructurar programas de prevención y asegurando el cumplimiento de la legislación aplicable, los lineamientos corporativos y otros compromisos adquiridos por la organización actuando en interés de las comunidades en las cuales vivimos y trabajamos, convirtiéndonos así en referencia mundial

Para la implementación y mantenimiento de esta política, la Gerencia participa en el proceso de toma de decisiones correspondiente a la gestión HSEQ y Responsabilidad Social Empresarial y garantiza la asignación de los recursos económicos, técnico y humanos necesarios para su cumplimiento así como realiza el proceso de la verificación de su idoneidad, pertinencia e implementación a través de las revisiones gerenciales.

Henry Hernán Bacca
Gerente Regional LA

Anexo 6. *Objetivos del sistema integrado de gestión Alkhorayef Zona Franca S.A.S*



OBJETIVOS DEL SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN


1. Garantizar el cumplimiento de requisitos del cliente, manteniendo y mejorando su satisfacción.
2. Asegurar operaciones confiables en procesos de productos y servicios.
3. Promover mejoramiento continuo de procesos.
4. Mejorar la competencia del personal.
5. Promover y mejorar condiciones en seguridad industrial y salud ocupacional.
6. Asegurar el control de aspectos e impactos ambientales.
7. Promover responsabilidad social en nuestros procesos.






Ing. Henry Balca
GERENTE GENERAL

Anexo 7. Procedimiento de ensayos no destructivos por líquidos penetrantes para Alkhorayef

Zona Franca S.A.S

	Alkhorayef Petroleum	Procedimiento De Aseguramiento y Control de Calidad
	AQC-PR-006 V0	
PROCEDIMIENTO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - LÍQUIDOS PENETRANTES		

PROCEDIMIENTO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - LÍQUIDOS PENETRANTES			
Información autor			
Cargo:	Nombre	Firma	Revisado
Auxiliar de Calidad	Jorge Parra		29-Agosto-2020
Información Documento			
Código y Nombre	AQC-IN-03, PROCEDIMIENTO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS - LÍQUIDOS PENETRANTES		
Guardado ultima vez	29 de Agosto del 2020		
Revisión	Cambios		Fecha
Versión 0	Primera emisión del documento		29 - Agosto - 2020

APROBACIONES	
Nombre - Cargo	Fecha
Juan Serrano – Qa/QC & Reliability Producto	
Liz Cortes – Auxiliar de Calidad	

ALCANCE	Este Instructivo aplica al proceso de Inspección de calidad ejecutado en PLANTA ALKHORAYEF, el cual nos permite una debida Inspección por ensayo no destructivo de líquidos penetrantes.
OBJETIVO	Establecer la metodología para la Inspección de ejes en las instalaciones del GRUPO ALKHORAYEF, con el fin de detectar discontinuidades superficiales en materiales de carburo de tungsteno, que pueden dar lugar a futuras fallas de los mismos.
RESPONSABLE	Responsabilidad del personal de calidad : 1.- Encargado de dirigir las actividades enfocadas con la Inspección con el ensayo por líquidos penetrantes. 2.- Encargado de analizar e Interpretar los resultados de los ensayos por partículas magnéticas.

Si este documento se encuentra Impreso no se garantiza su vigencia, por lo tanto es copia No Controlada. La versión vigente reposará en la carpeta del Sistema Integrado de Gestión de la red.

Nota aclaratoria: Los documentos relacionados en los anexos 5,6 y 7 reposan en la plataforma corporativa de Alkhorayef Petroleum en la carpeta **Colombia HSEQ Management System**, sin embargo el acceso es estricto para los miembros de la compañía por lo cual vincular un enlace no sería asertivo al momento de visualizar el documento, por consiguiente se adjuntan imágenes de estos como material base de consulta. Mediante el siguiente enlace se verifica la ventana de inicio de sesión en la plataforma: [GEARS INTEGRATED QHSE MANAGEMENT SYSTEM \(gears-qhse.com\)](https://gears-qhse.com)