

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**AUTOMATIZACIÓN DE ALINEAMIENTO DE PRODUCTO CON VÁLVULAS DE CONTROL EN
PLANTA DE REFINERÍA DE PETRÓLEO ENAP**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN CONTROL E
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno:

Nicolás Andrés Arancibia Pailaqueo

Profesor Guía:

Mag. Guelis Montenegro Zamora

2025

RESUMEN

KEYWORDS: REFINERÍA DE PETRÓLEO, SOUR WATER STRIPPER, INSTRUMENTACIÓN, DIAGRAMA DE FLUJO, P&ID, CARTA GANTT.

El presente trabajo corresponde al estudio, diseño y planificación de un proyecto para la refinería de petróleo ENAP Aconcagua, en el cual se busca una mejora para una maniobra operativa de emergencia en la planta de tratamiento de aguas ácidas. Aquí se va a contextualizar la problemática presente para evaluar las posibles soluciones, y desarrollar la ingeniería de detalles de la alternativa seleccionada. Esto incluye la selección de instrumentos necesarios, el desarrollo de la lógica de control y la confección del P&ID que represente la solución, así como la confección de una carta Gantt que permita organizar las tareas a realizar. Finalmente, se van a evaluar los costos del proyecto, así como los beneficios que le trae a la empresa la implementación de este proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: SOUR WATER STRIPPER, OBJETIVO Y RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE	2
1. SOUR WATER STRIPPER, OBJETIVO Y RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE	3
1.1. ENAP REFINERÍA ACONCAGUA	3
1.1.1. Historia	4
1.1.2. Comercio Actual	4
1.1.3. Organismos gubernamentales del medioambiente	6
1.2. SOUR WATER STRIPPER	6
1.2.1. Funcionamiento y operación	7
1.2.2. Unidad de Fenoles y su relación con el Medio Ambiente	11
1.2.3. Emergencias en Sour Water Stripper	12
1.3. PROBLEMÁTICA Y SOLUCIONES	15
1.3.1. Alternativas de solución	16
1.3.2. Evaluación de alternativas	16
1.4. OBJETIVOS	18
1.4.1. Objetivo General	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
CAPÍTULO 2: DISEÑO DE PROPUESTA Y SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	19
2. DISEÑO DE PROPUESTA Y SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	20
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	20
2.2. SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN	21
2.2.1. Tipos de válvulas industriales	21
2.2.2. Tipos de Actuadores	25
2.2.3. Monitor de posición	28
2.2.4. Válvula solenoide	30
2.3. DISEÑO DE P&ID	31
2.4. FUNCIÓN Y LÓGICA DE CONTROL	36

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DEL PROYECTO	39
3. EVALUACIÓN DE PROYECTO	40
3.1. DEFINICIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	40
3.1.1. Etapa de Planificación	41
3.1.2. Etapa de Detención	42
3.1.3. Etapa de Ejecución	43
3.1.4. Etapa de Puesta en marcha	46
3.2. GESTIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LAS TAREAS	47
3.3. EVALUACION DE COSTOS	49
3.3.1. Costos de instrumentación	49
3.3.2. Costos Humanos	50
3.4. ANÁLISIS DE BENEFICIOS	52
CONCLUSIÓN	54
BILBIOGRAFÍA	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Logo Empresa Nacional del Petróleo.	3
Figura 1-2. Vista aérea de ENAP refinería Aconcagua.	5
Figura 1-3. Acumulador desgasificador de SWS 1.	8
Figura 1-4. Circuito de torre SWS 1.	10
Figura 1-5. Diagrama de recirculación larga en SWS 1.	14
Figura 1-6. Diagrama de recirculación corta en SWS 1.	15
Figura 2-1. Válvula de compuerta. Corte transversal.	22
Figura 2-2. Válvula de bola. Corte transversal.	23
Figura 2-3. Válvula de mariposa. Corte transversal.	24
Figura 2-4. Actuador eléctrico rotatorio.	26
Figura 2-5. Actuador neumático rotatorio.	27
Figura 2-6. Monitor de posición.	29
Figura 2-7. Diagrama eléctrico monitor de posición.	29
Figura 2-8. Diagrama válvula neumática 3/2 simple efecto accionada por solenoide.	30
Figura 2-9. P&ID actual de salida de efluentes SWS1.	32
Figura 2-10. Símbolo de válvula de bola P&ID.	32
Figura 2-11. Símbolo de actuador neumático rotatorio P&ID.	33
Figura 2-12. Símbolo de válvula solenoide 3 vías P&ID.	33
Figura 2-13. Símbolo de limit switch P&ID.	33
Figura 2-14. Símbolos de señales en P&ID.	34
Figura 2-15. P&ID final de la propuesta de solución.	35
Figura 2-16. Símbolos de diagrama de flujo.	36
Figura 2-17. Diagrama de flujo de la programación.	37
Figura 3-1. Diagrama de bloqueo de líneas de proceso.	44
Figura 3-2. Carta Gantt del proyecto.	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Escala de satisfacción para propuesta	17
Tabla 1-2. Evaluación de propuestas	17
Tabla 2-1. Comparación tipos de válvulas. Ventajas y desventajas.	25
Tabla 2-2. Comparación de actuadores. Ventajas y desventajas.	27
Tabla 2-3. Estado de limit switch del monitor de posición.	30
Tabla 3-1. Costos de Instrumentación.	50
Tabla 3-2. Costos personal de planificación.	51
Tabla 3-3. Costos personal de ejecución.	52

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

A. SIGLA

BD: Blow Down

ENAP: Empresa Nacional del Petróleo

ERA: ENAP Refinería Aconcagua

HDT: Unidad desulfuración de diesel

HDG: Unidad desulfuración de gasolina

HCK: Hidrocracking

LNHT: Light Naphtha Hydrotreating

MHC: Mild Hidrocracking

NHT: Naphtha Hydrotreating

P&ID: Pipping and instrument diagram

PLC: Programmable Logic Controller

RCA: Resolución de Calificación Ambiental

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

SMA: Superintendencia del Medio Ambiente

SWS: Sour Water Stripper

UF: Unidad de Fomento

URA: Unidad Recuperadora de Azufre

B. SIMBOLOGÍA

H₂S: Ácido Sulfhídrico

Kgf/cm²: Kilogramo de fuerza por centímetro cuadrado

m: Metros

m³: Metros cúbicos

m^3/d : Metros cúbicos por día

m^3/h : Metros cúbicos por hora

N_2 : Nitrógeno

pH: Potencial de Hidrógeno

ppm: Partes por millón

PSI: Libra de fuerza por pulgada cuadrada

SO_2 : Dióxido de Azufre

T° : Temperatura

" : Pulgadas

$^\circ$: Grados Angulares

$^\circ\text{C}$: Grados Celsius

%: Porcentaje

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el petróleo es un elemento fundamental para la sociedad, ya que es la materia prima para la producción de la mayoría de los combustibles utilizados en el día a día de las personas, los cuales son fundamentales para la movilidad de estas y para las calefacciones de sus hogares. También, algunos derivados del petróleo se utilizan como ingredientes para producir elementos como plásticos, detergentes, pinturas, productos de aseo personal, e incluso existen fármacos que derivan del petróleo.

Si bien todos estos productos mencionados provienen de la misma materia prima, deben pasar por muchos procesos para llegar al producto final. Siendo las refinerías de petróleo la primera industria por la que pasa el petróleo crudo, el cual contiene una cantidad enorme de impurezas que son retiradas obteniendo productos aptos para la manipulación. Pasada esta etapa los derivados son empleados por otras industrias para sus procesos o directamente a ser utilizado por las personas.

En Chile la industria de combustible se divide en el negocio de compra y venta como también en la producción de combustibles, ya que existen dos refinerías de petróleo ubicadas en la región de Valparaíso y en la región del Bío Bío administradas por ENAP. La Empresa Nacional del Petróleo es la encargada de abastecer al país de los combustibles necesarios para que este funcione. Entre ambas refinerías tienen la capacidad de producir el 80% de los requerimientos de combustibles del país.

Con el pasar de los años han aumentado los controles de emisiones al medio ambiente, por lo que se han creado nuevas plantas de procesos que no se encuentran ligadas directamente a la producción de combustibles, sino más bien a minimizar el impacto medioambiental que produce la industria. Dentro de ese grupo de unidades se encuentran las plantas de tratamiento de aguas ácidas, o con su nombre en inglés “Sour Water Stripper”.

En el presente informe se trabajará con la unidad de SWS 1 de la refinería ENAP Aconcagua en el cual se buscará una mejora en el proceso y se analizará su viabilidad con el fin de minimizar las probabilidades de tener una emergencia medioambiental.

CAPÍTULO 1: SOUR WATER STRIPPER, OBJETIVO Y RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

1. SOUR WATER STRIPPER, OBJETIVO Y RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE

En las refinerías de petróleo existen una variedad de unidades que tienen como función principal minimizar la contaminación al medio ambiente provocadas por los procesos de producción dentro de la industria petroquímica. Estas unidades disminuyen las emisiones de contaminantes gaseosos, líquidos e incluso sólidos en el caso del material particulado. Dentro de estas plantas se encuentran las unidades de tratamiento de aguas ácidas, que tienen como objetivo liberar los contaminantes gaseosos presentes en las aguas ocupadas dentro de refinería. En el presente trabajo se buscará desarrollar una mejora dentro de la planta Sour Water Stripper 1 de la refinería de petróleo ENAP Aconcagua.

1.1. ENAP REFINERÍA ACONCAGUA

Esta refinería se encuentra en la comuna de Concón en la región de Valparaíso, justo en la desembocadura del Río Aconcagua hacia el mar. Esta refinería produce prácticamente el 100% de la gasolina consumida en la Zona Central y cerca del 28% del requerimiento de combustibles en el país. Tiene la capacidad de procesar 102.000 barriles de petróleo crudo al día lo que equivale a unos 16.216 m³. En la empresa se puede destacar la alta inversión en temas de seguridad ocupacional, siendo reconocida a nivel sudamericano debido a su baja tasa de accidentabilidad en relación con sus pares, y por invertir en nuevas tecnologías que ayudan a disminuir la emisión de contaminantes al medio ambiente. Esto último va en aumento ya que la normativa chilena es también cada vez más estricta, lo que hace necesario invertir en estos temas para evitar sanciones.



Fuente: <https://fondosconcursablesenap.vform.cl/>

Figura 1-1. Logo Empresa Nacional del Petróleo.

1.1.1. Historia

La Empresa Nacional del Petróleo (figura 1-1) fue fundada el 19 de junio del año 1950 por la Ley N° 9.618 que la hace responsable de las funciones y derechos que corresponden al Estado respecto a la exploración y explotación de los yacimientos petrolíferos, respecto a la refinación del petróleo y la venta de los productos obtenidos de ellos. Desde un comienzo la empresa buscó intensificar las faenas de extracción de petróleo en Magallanes, yacimiento descubierto cinco años antes de la creación de ENAP. De igual manera, desde sus inicios se planeaba la instalación de una refinería de petróleo en el territorio nacional.

En el mes de octubre de ese mismo año el Directorio de la empresa, luego de conocer los antecedentes técnicos de la proyectada refinería, se tomó la decisión de instalarla en la ribera sur del río Aconcagua en la comuna de Concón debido a su facilidad de desembarque, disponibilidad de agua de refrigeración y abastecimiento de energía eléctrica. Luego, en diciembre se acordó llamar a proponer el diseño de una planta refinadora a distintas firmas de prestigio internacional, siendo la propuesta presentada por “The M. W. Kellogg Co.” la que se tomó para implementar en la quinta región, firmando el contrato el 14 de septiembre de 1951.

La refinería de petróleo de Concón fue fundada el día 12 de noviembre de 1955 por el presidente Carlos Ibáñez del Campo convirtiéndose en la primera del país. Esta recibía el crudo que se descargaba en el terminal de Quintero el cual contaba con 7 estanques de 20.000 m³ cada uno. La refinería estaba diseñada para procesar distintos tipos de crudos, pero se le daba principal importancia al crudo chileno extraído en Magallanes, que para el año 1956 ya era el 50% del crudo procesado en la refinería. La refinería tenía una capacidad de procesar 3.200 m³/d y en un comienzo solo contaba con cuatro unidades de producción: Destilación fraccionada (topping), Cracking térmico, Recuperación de gases y Tratamiento de gasolina, las que le permitían tener como productos finales la gasolina, kerosene, petróleo diesel, petróleo combustible, propano, butano y gas de refinería.

1.1.2. Comercio Actual

Con el pasar de los años la refinería ubicada en Concón fue creciendo en comercio e infraestructura llevándola a ser reconocida a nivel sudamericano. El avanzar en construir más unidades de procesos le permitieron aumentar la calidad de sus productos llegando a ser muy

puros y libres de contaminantes. También le permitió extraer nuevos elementos que pudieran ser comercializados. Dentro de ellos se puede encontrar el carbón coque, el propileno, solventes y bases para asfaltos, entre otros.

Hoy en día la refinería Aconcagua cuenta con una gran cantidad de unidades que trabajan en conjunto para producir combustibles de calidad y cumplir con el alto estándar que se requiere en la actualidad. De todas estas unidades, aproximadamente la mitad de estas cumplen funciones netamente comerciales o productivas, y el resto son plantas complementarias que son necesarias para generar los suministros utilizados en los procesos o para minimizar los impactos en el medio ambiente provocados por esta industria. En la figura 1-2 se puede apreciar las instalaciones de la refinería prácticamente en un 100%.



Fuente: <https://www.enap.cl/files/get/1534>

Figura 1-2. Vista aérea de ENAP refinería Aconcagua.

Recientemente este último grupo ha ido en aumento, ya que lo que se busca actualmente es cumplir con las normas impuestas por los organismos fiscalizadores del medio ambiente, y así poder mantener las operaciones de producción que sostienen el área comercial de la empresa. La última planta construida en refinería es el Wet Gas Scrubber, la cual marcó un gran hito en la industria petroquímica nacional, ya que disminuyó en más de un 85% las emisiones de material particulado y un 48% el SO_2 generado por los procesos de refinería.

1.1.3. Organismos gubernamentales del medioambiente

Existen un grupo de organismos del Estado chileno encargados de generar los lineamientos relacionados a la prevención de contaminación medioambiental y asegurar su cumplimiento. Las principales entidades son:

- **Ministerio del Medio Ambiente:** Ligada directamente al gobierno, es la encargada de definir las políticas, planes y programas ambientales, y también de dictar las normas de calidad y emisión propias del país.
- **Servicio de Evaluación Ambiental (SEA):** Es el organismo público encargado de administrar el sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA), para asegurar una buena gestión ambiental de los proyectos en Chile. Además, debe fomentar la participación de la población en estas evaluaciones. Una vez analizado el proyecto se emite una Resolución de Calificación Ambientales (RCA), rechazando el proyecto o dando las condiciones bajo las cuales se puede realizar el proyecto.
- **Superintendencia del Medio Ambiente (SMA):** Tiene como responsabilidad fiscalizar el cumplimiento de los instrumentos de gestión ambiental, las RCA y la normativa impuesta por el ministerio. Es la organización que se encuentra activa en terreno monitoreando constantemente alguna posible falta a las políticas medioambientales.
- **Tribunal ambiental:** Es el encargado de resolver las controversias ambientales como demandas judiciales que buscar reparar el daño ambiental, reclamaciones en contra de decisiones de la SMA y contra resoluciones de calificación ambiental.

Estas son las principales organizaciones encargadas de prevenir o reparar el daño medioambiental hecho por las industrias. Generalmente la refinería se encuentra mas ligada a la SMA ya que es la que se encuentra fiscalizando en tiempo real las emisiones generadas por la empresa, ya sea en chimeneas hacia la atmosfera o del efluente que va hacia el mar.

1.2. SOUR WATER STRIPPER

Las unidades Sour Water Stripper son extremadamente necesarias en las refinerías de petróleo, ya que sin ellas la contaminación que se generaría sería gigantesca. Actualmente ENAP

refinería Aconcagua cuenta con dos plantas SWS y se encuentra en construcción la tercera, ya que con las dos que están en operación se mantiene muy al límite el inventario de aguas ácidas por lo que se vio necesario la construcción de una tercera que permitiera tener más holgura y no tener que llegar a detener los procesos productivos por no tener capacidad de procesar el agua. Si bien estas unidades cumplen la misma función, en sus distintas versiones las plantas no son iguales, son diseños diferentes para un mismo propósito, y en este proyecto en particular se trabajará en la unidad SWS 1 de la refinería ENAP Aconcagua.

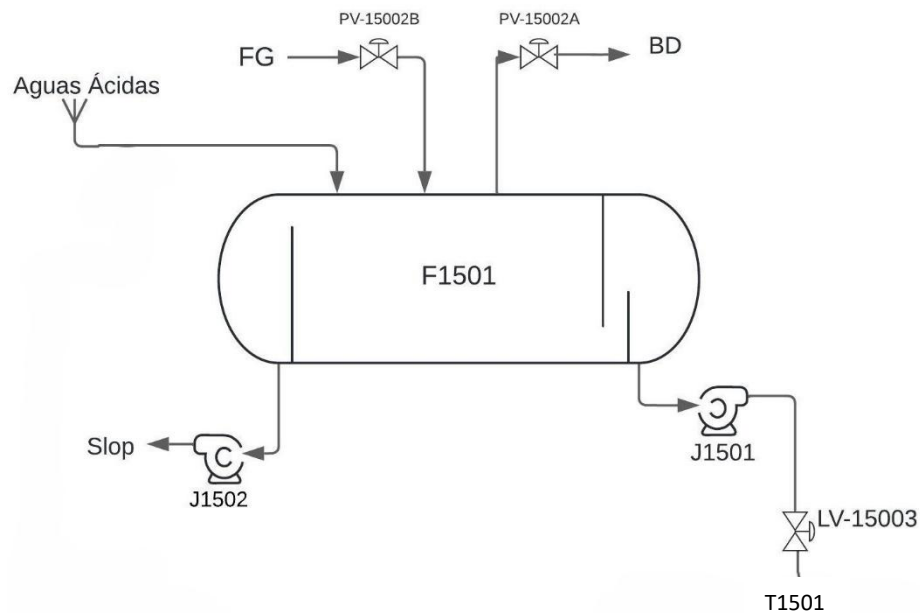
1.2.1. Funcionamiento y operación

Como se mencionó anteriormente, esta unidad tiene como objetivo procesar las aguas ácidas generadas en las áreas productivas, ya sea mediante vapores que se utilizan en los procesos o que se generan en algunas reacciones, pero principalmente por aguas de lavados, las cuales se utilizan para extraer contaminantes de algunos hidrocarburos. La carga a la unidad SWS son estas aguas mencionadas, las cuales contienen un alto porcentaje de amoníaco y ácido sulfhídrico, que deben ser extraídos para obtener una agua limpia y libre de contaminantes.

La SWS1 cuenta con un estanque con una capacidad para almacenar hasta 3000 m³ de aguas ácidas lo que funciona como un pulmón para mantener la estabilidad del proceso. Asimismo, la SWS 2 tiene su propio estanque con la misma capacidad y función, pero aun así los dos estanques no daban abasto con la cantidad de agua generada en la refinería, por lo que se destinaron dos estanques adicionales para almacenar aguas ácidas los cuales tienen una capacidad máxima de 8230 m³. Estos cuatro estanques se pueden comunicar todos entre sí, alineándolos dependiendo de las necesidades que se requieran, pudiendo traer agua a la unidad de cualquiera de ellos o incluso de más de uno al mismo tiempo.

Las aguas ácidas que llegan a la unidad de SWS 1 vienen de las plantas de Cracking Catalítico, Topping 1, Topping 2, Hidrocracking Suave (MHC), Hidrotratamiento de Nafta (NHT), Hidrotratamiento de Nafta Lingera (LNHT). También se pueden alinear las aguas que vienen de Hidrocracking (HCK), Hidrotratamiento de Diesel (HDT) e Hidrotratamiento de Gasolina (HDG), pero estas unidades por lo general se encuentran alineadas hacia la SWS 2 por su alto contenido de ácido sulfhídrico, ya que en esa planta llegan directo a la torre de stripping y no a un estanque atmosférico.

Las aguas ácidas llegan al acumulador F1501 (figura 1-3) que funciona como desgasificador y separador. Este cuenta con tres secciones divididas por baffles y rebosaderos, permitiéndole separar los hidrocarburos líquidos del agua que va a ser procesada. La carga llega a la cámara central del equipo y en esta puede venir una mezcla de agua e hidrocarburos, los cuales se separan por la densidad de estos quedando en la parte superior los aceites y en la parte inferior el agua. Los hidrocarburos al ir acumulándose van a superar el nivel del rebosadero dirigiéndose a la cámara de hidrocarburos y el agua que queda en el fondo va a pasar por la parte inferior de un baffle libre de hidrocarburos y que también deberá pasar por sobre un rebosadero de menor altura para llegar a la cámara de agua libre de contaminantes. Esta agua es tomada por la bomba J1501 que se encarga de enviarla hacia el estanque antes mencionado T1501, mientras que los hidrocarburos líquidos se envían a un estanque de Slop con la bomba J1502.



Fuente: Confección propia en plataforma Lucidchart.com. Basado en equipo de ERA.

Figura 1-3. Acumulador desgasificador de SWS 1.

En el lado de gases del F1501 se cuenta con dos válvulas de control que funcionan en rango dividido y tienen como función mantener una leve presión positiva en el equipo. Esta se controla en los 0,6 Kg/cm², y debe ser muy baja para que los hidrocarburos gaseosos sean liberados del

agua de proceso, pero lo suficientemente alta para que la bomba J1501 no pierda presión de succión. Cuando estos gases son liberados la presión del equipo aumenta por lo que la PV15002-A comienza a abrir y son enviados al sistema de Blow Down o Flare para luego ser quemados en la antorcha A200. En el caso contrario, si la presión del equipo comienza a bajar la PV15002-B comienza a abrir adicionando Fuel Gas al equipo y manteniendo una presión positiva.

Como fue mencionado anteriormente, el agua que llega a este equipo luego de ser desgasificada y libre de hidrocarburos, se envía hacia el estanque T1501 donde es almacenada para luego ser procesada. Desde el estanque las aguas son tomadas por la J1503 que se encarga de enviarlas hacia la torre E1501 donde serán liberadas de los gases contaminantes.

Al llegar a la torre, la carga se encuentra con un intercambiador de calor C1501 en el que es precalentado por el agua del fondo de la torre que viene a mayor temperatura, ahorrando energía y ayudando a la eficiencia de la planta. Luego de esto pasa por un cuadro de control de flujo que es el encargado de controlar la carga que entra a la torre, la que suele encontrarse en unos 48 m³/h. La torre internamente cuenta con 35 platos, la carga llega al plato dos donde comienza inmediatamente el strippeo por medio de los vapores que vienen subiendo en la torre. Estos vapores son generados en el fondo por medio de un reboiler o rehervidor que trabaja con vapor de 150#. En la parte inferior de la torre hay un colector que acumula el agua que será dirigida hacia el intercambiador C1503 pasando por la carcasa e intercambiando energía con el vapor que pasa por los tubos, y que por medio de la convección generada sale por la parte superior del equipo reintegrándose en el fondo de la torre y así manteniendo el fondo con la temperatura necesaria para generar los vapores y el strippeo de gases.

La torre tiene un reflujo de tope el cual le permite enfriar los vapores que vienen subiendo, haciéndolos condensar y dejando pasar prácticamente solo los gases que se buscan liberar. Estos vapores condensados se acumulan en un colector interno de tope y son tomados por la bomba J1504 que luego se enfrían al pasar por unos aero-refrigerantes que buscan mantener una temperatura de 60°C en el agua de reflujo. Esta temperatura debe ser lo suficientemente baja para hacer condensar la mayor parte de los vapores, pero no tan baja como para generar sales, por lo que cuentan con un controlador de temperatura que actúa sobre unos variadores de frecuencia. El reflujo llega sobre un demister, que es un empaque de anillos por el que se esparce

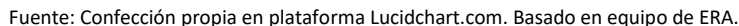


Figura 1-4. Circuito de torre SWS 1.

En el tope la torre tiene un controlador de presión con rango compartido; en condiciones normales, los gases generados salen por la PV-15036A y se dirigen a las Unidades Recuperadoras de Azufre (URA), en las que el amoníaco es convertido en Nitrógeno y vapor de Agua, y el ácido sulfhídrico es recuperado en forma de Azufre elemental. Pero en caso de que exista una sobrepresión va a comenzar a abrir la PV-15036B enviando los gases hacia Blow Down. Debido a

la criticidad de las unidades URAs es por la que se controla la temperatura de tope, ya que si esta es superior a 90°C se estarían enviando muchos vapores de agua que condensarían en los puntos fríos y podrían generar un upset en la URA. Pero tampoco puede ser tan baja porque habría un mal stripping de gases, además que se formarían sales de amonio en el tope, que significa un problema de corrosión y posible obstrucción. Todos los equipos y circuitos asociados a la E1501 se encuentran en la figura 1-4 para mejor comprensión del funcionamiento.

Finalmente, en el fondo se obtendrá un agua limpia, libre de NH_3 y H_2S , la que después de pasar por el precalentador de carga es impulsada por la bomba J1505, pasando por el cuadro FV15025 que funciona en cascada controlando el nivel de fondo de la torre. Luego esta agua pasa por unos aero-refrigerantes C1504 y unos enfriadores con agua de refrigeración C1505 para ser enviadas finalmente a la unidad de Fenoles en la que tendrán un nuevo tratamiento. Sin embargo, se deben cumplir ciertas condiciones para que puedan ser enviadas a esta unidad ya que tiene un proceso muy delicado. Esta agua debe tener $\text{pH} \leq 9$, $T^\circ \leq 70^\circ\text{C}$, Fenol < 200ppm, Sulfuro < 1ppm, Amoníaco < 50 ppm, y sin presencia de hidrocarburos para mantener activo el proceso de la unidad de Fenoles.

1.2.2. Unidad de Fenoles y su relación con el Medio Ambiente

Luego de ser procesada las aguas ácidas en la planta SWS, el agua del efluente llega a la unidad de Fenoles que, valga la redundancia, tiene como objetivo eliminar el Fenol. Este es un compuesto orgánico generado dentro de los procesos de refinería principalmente por vaporizaciones. Este no puede ser eliminado en la SWS como el amoníaco y el sulfhídrico, porque a diferencia de estos gases, el fenol es un sólido que se encuentra en suspensión en el agua y no puede ser strippeado.

Esta corriente llega a un equipo cilíndrico similar a un estanque, pero sin techo y dividido por medio de baffles lo que genera distintas etapas de proceso dentro del mismo equipo. La primera fase de este circuito es un homogeneizador que con los baffles le permiten ir reteniendo cualquier contaminante oleoso que pueda venir en la corriente, dejando pasar solo agua por la parte inferior. Luego el agua es mezclada con un flujo lodoso y se envían hacia el biorreactor, la siguiente sección del estanque. Este lodo biológico que se le adiciona al agua contiene en casi su

totalidad la presencia de un microorganismo que tiene la importante tarea de descomponer el Fenol.

Este es un organismo vivo que se alimenta del contaminante descomponiéndolo y generando ácido carbonilo, provocando que el pH del agua comience a bajar. Por esta razón se cuenta con un pequeño estanque con soda cáustica concentrada al 50% que se está adicionando constantemente al homogeneizador para neutralizar el pH. Ahora bien, ¿por qué si la descomposición del fenol acidifica el agua, desde la SWS no se puede enviar con un pH mayor a 9? Esto es porque con un pH mayor a 9 y menor a 6 comienzan a proliferar otras bacterias no deseadas que se alimentan del microorganismo que se busca mantener activo, ya que este es el motor de la planta. También, cuando el efluente llega con mucha temperatura los microorganismos comienzan a inhibirse.

Luego la mezcla de agua con lodo se envía al centro del estanque (Clarificador) donde se encuentran unas aspas que le permiten al agua separarse de la materia biológica, la cual queda en el fondo del estanque y que por medio de bombas se vuelve a enviar al biorreactor. El agua que sale por rebalse del clarificador se dirige hacia unos filtros de arena que la liberan de cualquier sólido que pudiera haber arrastrado. Finalmente, el agua ya limpia y libre de contaminantes se almacena en un pequeño estanque del cual, por medio de una bomba, el agua se envía constantemente a los desaladores del área de Topping II. Pero cuando este estanque supera el 85% de nivel que es algo bastante usual, el agua se envía hacia el “emisario”, una línea que llega 600 [m] dentro del mar.

Este efluente que viene de Fenoles I, se junta con las aguas de los separadores de aceites y de Fenoles II, y son enviadas al mar por medio de unas bombas pasando antes por unos analizadores de pH, aceite y temperatura. Estos se encuentran enlazados directamente con la SMA, para que en caso de cualquier desbalance en los parámetros permitidos se enteren de manera inmediata.

1.2.3. Emergencias en Sour Water Stripper

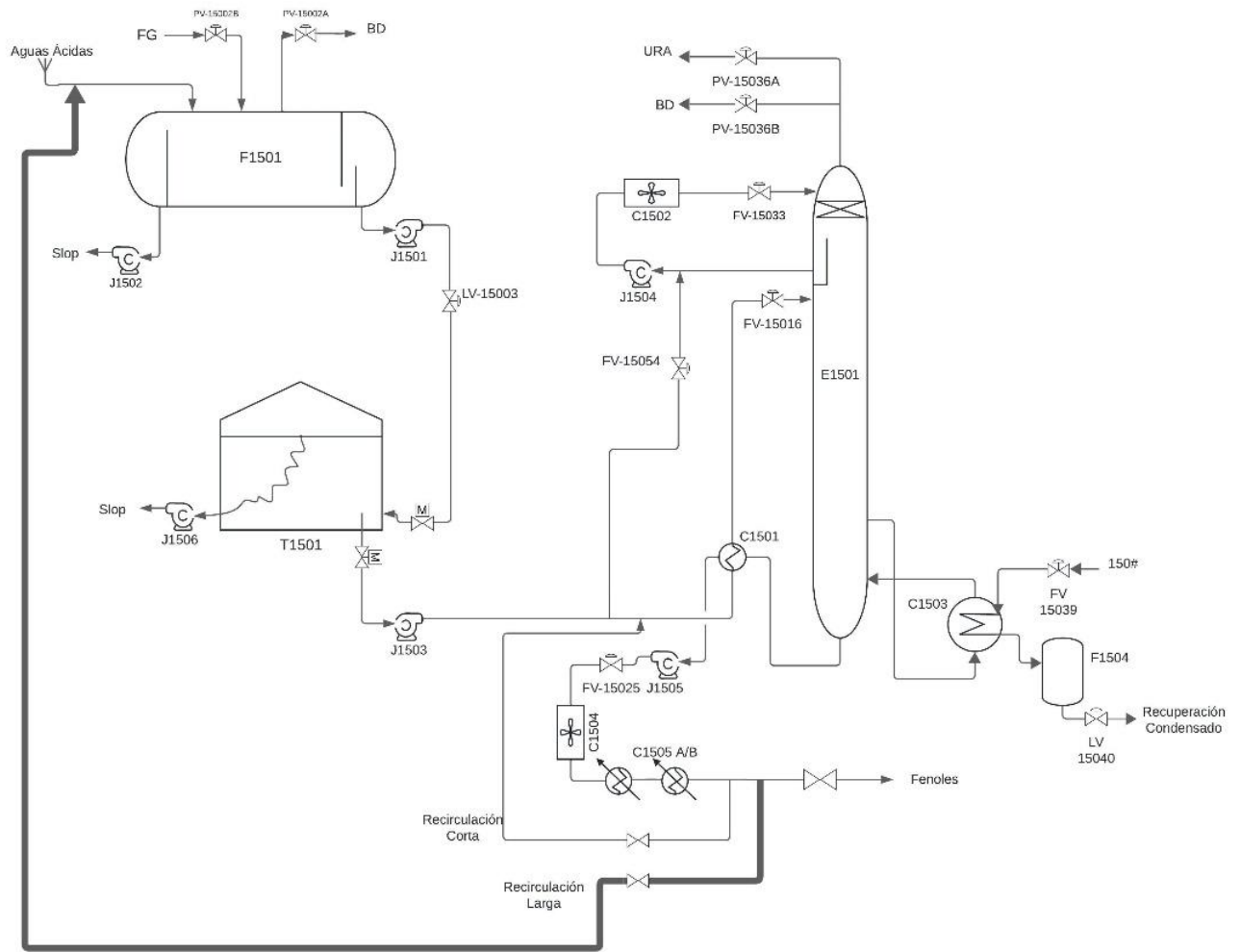
En todo equipo, bomba, instrumentación, por muy actualizado que esté en tecnología, siempre pueden existir fallas que van a provocar desviaciones inesperadas en el proceso, como también pueden ser provocadas a partir de una mala operación. En las unidades de proceso a

estas desviaciones se les llama “emergencias”, ya que al salirse de los parámetros normales de operación se pueden generar daños a las personas, a los equipos, a la productividad o impactos al medio ambiente, por lo que se busca solucionar el problema en el tiempo más corto posible para no generar un problema mayor.

En el caso de la SWS 1 las emergencias están ligadas directamente con el medio ambiente, ya que sus dos productos de salida van a dar a unidades que están en contacto directo con la atmósfera. Los gases que salen por el tope llegan a las URAs, que al final de su proceso tiene un incinerador con una chimenea que da a la atmósfera, y el agua que sale por el fondo de la torre llega a Fenoles, una unidad ligada con los efluentes que van a dar al mar.

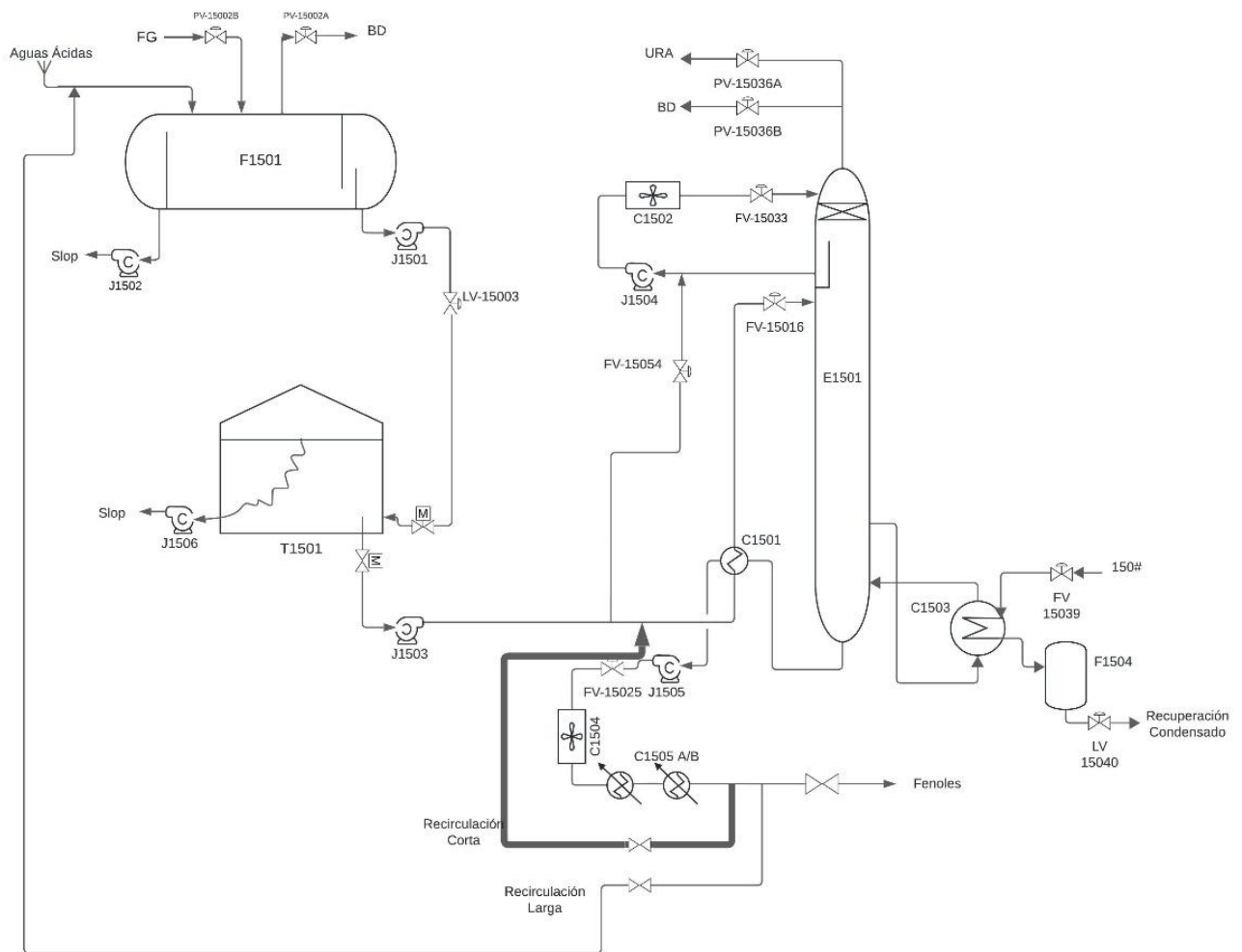
Existen muchas razones por las cuales la unidad puede estar en emergencia, y dentro de las principales se encuentra: caída de bombas de carga, reflujo de tope o salida de fondo, caída de vapor al reboiler, caída de URAs, caída de aero-refrigerantes, fallas en lazos de control. Las consecuencias de estas fallas pueden generar una sobrepresión en la torre liberando los gases hacia la antorcha y provocando un impacto medioambiental, o que se pierda el perfil de la torre aumentando el pH o temperatura en el efluente, que como se explicó anteriormente va a inhibir la reacción biológica en la planta de Fenoles.

En todos estos casos la maniobra a realizar de manera inmediata es una recirculación interna de la planta que tiene dos modalidades: recirculación larga y recirculación corta. En la recirculación larga (figura 1-5) los efluentes que van a fenoles se cortan y se desvían hacia el F1501, que como ya se explicó van hacia el estanque T1501 y luego de vuelta a la torre. En cambio, la recirculación corta (figura 1-6) es dentro de la misma torre, ya que se corta la carga a la torre deteniendo la bomba y los efluentes que se enviaban a fenoles vuelven como carga hacia la misma torre. Esta recirculación por lo general se utiliza cuando hay que detener la unidad ya que el agua queda completamente limpia y deja de generar gases, o a también cuando la causa de la emergencia no pueda ser mejorada a la brevedad. Cabe destacar que en la caída de la bomba de fondo no se puede dejar “recirculando” porque el efluente de la torre no va a salir hacia ningún lado, en ese caso se debe detener la unidad dejando alineada la recirculación corta.



Fuente: Confección propia en plataforma Lucidchart.com. Basado en equipo de ERA.

Figura 1-5. Diagrama de recirculación larga en SWS 1.



Fuente: Confección propia en plataforma Lucidchart.com. Basado en equipo de ERA.

Figura 1-6. Diagrama de recirculación corta en SWS 1.

1.3. PROBLEMÁTICA Y SOLUCIONES

Entendiendo el proceso de la unidad de SWS y de qué manera está ligada a un posible impacto medioambiental se puede sopesar la importancia de esta unidad para mantener en servicio la refinería sin generar pérdidas por multas. Ahora bien, al momento de abordar una emergencia en esta unidad se debe dejar recirculando la planta para evitar involucrar a la unidad de fenoles. Esta maniobra se realiza manualmente por el operador de terreno, quien debe habilitar la recirculación correspondiente y bloquear la salida a fenoles.

Si bien la maniobra no tiene gran complejidad, se busca que sea realizada lo más rápido posible para no generar mayores problemas, y considerando que el operador de terreno de la unidad también está a cargo de otras plantas que por lo general se encuentran en emergencia al mismo tiempo que la SWS 1, podrían cometerse errores generando impactos al medioambiente. Por esto se busca desarrollar una mejora que entregue mayor seguridad en la realización de la maniobra, disminuyendo la probabilidad de error.

1.3.1. Alternativas de solución

Dentro de las opciones que se pueden tomar para abordar el problema se encuentran tres. La primera es mantener las condiciones que se encuentran actualmente, que le ahorraría a la empresa el costo de inversión, pero seguiría existiendo la probabilidad de que existan problemas al realizar la maniobra y puedan multar a la empresa por alguna desviación en las emisiones permitidas por la ley.

La segunda opción sería instalar válvulas de control en la salida de los efluentes a Fenoles y en ambas líneas de recirculación (corta y larga). Estas válvulas de control serían comandadas de manera remota por el operador de pantalla. Él es quien tiene el control de lo que está pasando en las unidades y toma la decisión de recircular corto o largo dependiendo de lo que se requiera, por lo que la maniobra se realizaría en el menor tiempo posible.

La tercera opción es similar a la anterior, instalar tres válvulas de control accionadas de manera remota, pero con la diferencia de que aparte de ser comandadas de manera manual por el operador, también se accionarían de manera automática por medio de un sistema de control de emergencia. Este sistema de control será accionado por medio de un PLC en el cual se encontrará la lógica necesaria para alinear las recirculaciones dependiendo de la emergencia.

1.3.2. Evaluación de alternativas

Para saber que alternativa se desarrollará en este proyecto se deben evaluar todas las opciones de igual manera, bajo los mismos criterios para que la decisión sea lo más neutral posible. Es por eso que se compararán las tres alternativas bajo seis criterios importantes en el proyecto: bajo costo de inversión, bajo tiempo de respuesta, efectividad de la maniobra, flexibilidad de operación, baja carga para operador, bajo riesgo de impacto ambiental, y se valorizará cada criterio en una escala de 1 a 5 como se muestra en la tabla 1-1.

Tabla 1-1. Escala de satisfacción para propuesta

1	2	3	4	5
No cumple	Cumple lo básico	Cumple medianamente	Cumple satisfactoriamente	Cumple a cabalidad

Fuente: Elaboración propia basada en recomendación del profesor

En la siguiente tabla se realizará la evaluación bajo los criterios mencionados.

Tabla 1-2. Evaluación de propuestas

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Bajo costo	5	3	2
Tiempo de respuesta	2	4	5
Efectividad de maniobra	4	5	5
Flexibilidad	5	5	5
Baja carga	2	4	5
Bajo riesgo de impacto ambiental	3	4	5
Total	21	25	27

Fuente: Elaboración propia basada en recomendación del profesor

Como se puede ver en la tabla 1-2, al realizar una evaluación numérica con los mismos criterios para todas las opciones, la opción que deja un mayor puntaje es la tercera que implica comprar las válvulas de control, instalarlas y crear una lógica de programación que permita el accionamiento manual y automático.

Los principales beneficios de tomar esta opción son que el cambio de alineamiento del producto será efectivo y se realizará en el menor tiempo, asegurando que no se envíe el agua fuera de especificación a la unidad de Fenoles. La única desventaja es el costo de inversión, ya que implementar este cambio en una planta ya construida puede llegar a ser bastante alto. Sin embargo, se tomará esta alternativa, porque disminuye las probabilidades de generar un costo mayor por una multa relacionada a una contaminación ambiental.

1.4. OBJETIVOS

En el trabajo que se va a desarrollar se espera alcanzar ciertas metas u objetivos que se evaluarán al final del proyecto. A continuación se mencionan el objetivo general y específicos de la propuesta.

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de control para automatizar la alineación de un producto en planta de refinería de petróleo ENAP.

1.4.2. Objetivos específicos

- Contextualizar la problemática a resolver
- Seleccionar instrumentación acorde al proyecto
- Confeccionar un diagrama P&ID del proyecto.
- Establecer la lógica de control del controlador (diagrama de flujo, programación LADDER/FUP)
- Realizar un estudio de costos del proyecto

CAPÍTULO 2: DISEÑO DE PROPUESTA Y SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

2. DISEÑO DE PROPUESTA Y SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

Luego de haber seleccionado la mejor opción para abordar el problema presente en las recirculaciones de la unidad Sour Water Stripper 1 de ENAP Refinería Aconcagua, se va a desarrollar el diseño de la propuesta realizada. Para eso se va a seleccionar la instrumentación que más se adecúe a las necesidades del proceso, se va a confeccionar un P&ID para visualizar la implementación de la instrumentación, además de un diagrama de flujo que permitirá explicar la lógica de programación del sistema.

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Con la propuesta seleccionada se busca facilitar una maniobra realizada en la unidad SWS1, en la cual el efluente que sale por el fondo de la torre tiene tres vías a donde puede ser dirigido. Hacia donde va en condición normal es a la unidad de Fenoles, y en caso de alguna desviación en el proceso, se debe dejar recirculando dentro de la misma planta, enviándolo hacia el acumulador de carga (recirculación larga) o directamente hacia la entrada de la torre (recirculación corta).

Para realizar este alineamiento se deben manipular tres válvulas distintas, una para cada salida del efluente. En la condición actual estas son válvulas manuales de compuerta de 4". Estas válvulas son manipuladas por el operador de terreno, el cual alinea el producto dependiendo de lo que le pide el operador de pantalla. Debido a la carga que conlleva encontrarse en emergencia en varias unidades al mismo tiempo, el operador podría demorarse en realizar la maniobra o cometer un error. Es por eso que se busca instalar tres válvulas de control que puedan ser accionadas de manera remota por el operador de pantalla quien tiene mayor claridad sobre la emergencia.

El sistema de control tendrá dos modos de operación: "Manual", en el que el operador podrá abrir o cerrar las válvulas de manera independiente, y "Automático", en el que de manera automatizada se va a recircular el efluente. Para esto se seleccionaron 4 casos que suelen ser las emergencias más comunes.

- Cuando el pH del efluente sea mayor a 9 se va a recircular largo.
- Cuando la temperatura del efluente sea mayor a 40°C se va a recircular largo.
- Cuando presión de la torre sea mayor a 1,5 Kg/cm² se va a recircular largo por 30 min. De no lograr bajar la presión se va a recircular corto.
- Por falla de vapor, en el que el flujo sea menor a 1500 Kg/h se va a recircular corto.

Los instrumentos que se encontrarán monitoreando estas variables son el AT001 y TT005 que se encuentra en la llegada del efluente a fenoles, el PT15036 que se encuentra en el tope de la columna, y el FT15039 que es el que mide el vapor al reboiler de la misma.

2.2. SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación que será necesaria en el proyecto consta, principalmente, de las tres válvulas de control con sus respectivos actuadores, además se instalará un sensor de posición que le permitirá saber al operador si la maniobra se realizó de manera correcta. También es necesaria la instalación de válvulas solenoide de tres vías que permita el movimiento de los actuadores

Lo primero y lo más importante es determinar el tipo de válvula que se requerirá para el proceso de la unidad. Se debe tener en consideración que las líneas de proceso en las que se ubicarán las válvulas son las tres de 4" de diámetro y que se encontrarán con una diferencial de presión de 18 Kg/cm² aproximadamente y un caudal promedio de 40 m³/h con variaciones de hasta 2 m³/h.

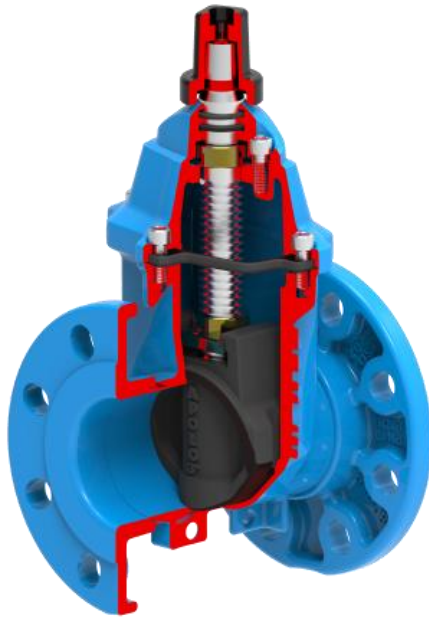
2.2.1. Tipos de válvulas industriales

Existen diversos tipos de válvulas utilizadas en las industrias químicas, las cuales tienen distintas funciones, así como también distintas características físicas y de operación. Uno de los principales aspectos a tener en cuenta al momento de seleccionar el tipo de válvula es si esta va a ser utilizada para controlar flujo o solo para habilitar/cortar el paso del mismo. En este proyecto, al ser un cambio de alineamiento de un producto, las tres válvulas deben ser on/off ya que solo se debe habilitar o cortar el paso dependiendo de hacia dónde se va a desviar el producto.

Se van a analizar las tres principales válvulas que se utilizan para cumplir esta función (compuerta, bola, mariposa) con la finalidad de buscar la mejor opción para el proyecto. A

continuación, se van a describir brevemente las características generales de las válvulas mencionadas.

- **Válvula de Compuerta:** Cuentan con un disco que se desplaza de manera perpendicular al flujo impidiendo el paso de este. Se utilizan para habilitar o detener completamente el paso de un fluido, esto quiere decir que su operación es 100% abierta o completamente cerrada. Su uso es bastante general ya que sirve prácticamente para todos los tipos de fluidos. En la figura 2-1 se puede ver cómo es su estructura interna.

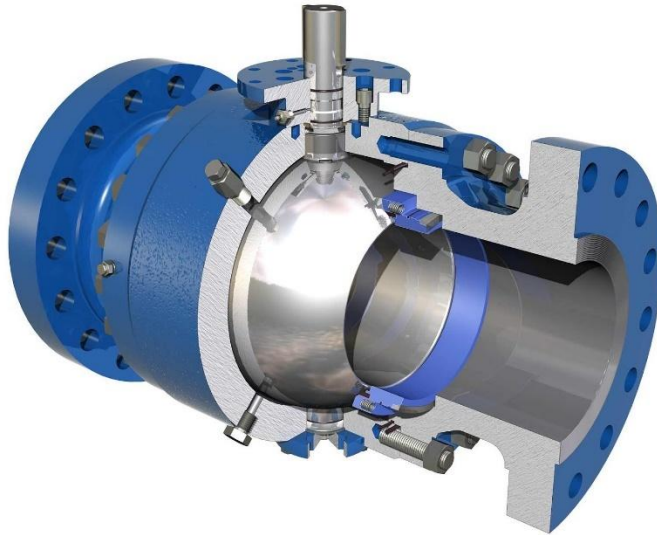


Fuente: <https://apolo.net.co/4744-2/valvulas-de-compuerta-elastica/>

Figura 2-1. Válvula de compuerta. Corte transversal.

- **Válvula de Bola:** Esta válvula contiene una bola perforada transversalmente en el centro por el cual pasa el fluido, y que al girar en 90° sobre un eje perpendicular al flujo la bola corta el paso. Estas válvulas son utilizadas para bloquear los flujos, ya que tienen una muy buena estanqueidad, y gracias a su forma el cierre suele ser bastante rápido y con muy poco esfuerzo físico. Se emplean en distintos productos por su fácil

manipulación y su sellado excelente con la mayoría de los fluidos. En la figura 2-2 se puede ver cómo es su estructura interna.



Fuente: <https://larocamadrehg.blogspot.com/2013/03/valvula-de-bola.html>

Figura 2-2. Válvula de bola. Corte transversal.

- Válvula de mariposa: Su funcionamiento se basa en un disco que se opone al paso del flujo, y que al girar en 90° sobre un eje perpendicular este comienza a dejar pasar el fluido. Suelen utilizarse para aislar un fluido, pero también en muchos casos funciona también como regulador de un caudal. Se suele utilizar en fluidos neutros, lodosos y corrosivos por su baja pérdida de carga y su versatilidad de funciones. En la figura 2-3 se puede ver cómo es su estructura interna.



Fuente: <https://sisteqcontrol.com/product/valvula-de-mariposa/?v=682c0ad28385>

Figura 2-3. Válvula de mariposa. Corte transversal.

Ahora que ya se conocen las opciones de válvulas que se pueden utilizar para este proyecto y sus principales características, en la tabla 2-1 se revisarán sus ventajas y desventajas para escoger la mejor opción que cumpla con los requerimientos.

Tabla 2-1. Comparación tipos de válvulas. Ventajas y desventajas.

Tipo de Válvula	Ventajas	Desventajas
Válvula de Compuerta	• Alta estanqueidad • Alta capacidad • Económico • Baja resistencia a la circulación	• Par elevado • Cierre lento • Produce cavitación con caída de presión
Válvula de Bola	• Bajo coste • Bajo par • Baja pérdida de carga • Sentido bidireccional • Excelente estanqueidad • Lavado fácil • Mantenimiento sencillo • No requiere lubricación • Tamaño compacto	• Riesgo de golpe de ariete y cavitación • Deficiente para regulación
Válvula de Mariposa	• Bajo coste • Buena estanqueidad • Tamaño reducido • Bajo coste • Auto lavable • Alta capacidad	• Poco recomendable para fluidos con sólidos en suspensión • Alto par • Propensa a la cavitación

Fuente: Elaboración propia basada en información de la página www.grm.com.es

Dentro de las características que son relevantes para este proyecto están: buena estanqueidad, bajo par y bajo coste. También es importante pensar en el mantenimiento de estas, ya que a futuro pueden generar gastos indeseables no presupuestados. Viendo estos detalles en la tabla anterior se puede concluir que la mejor opción es la válvula de bola, ya que cuenta con todo lo necesario para los requerimientos del proyecto. Y si se analizan sus desventajas, ninguna de las dos afectaría, ya que solo se utilizarían completamente abiertas o cerradas, y la cavitación se genera al tener una caída de presión brusca cuando esta se usa para regular, que no es el caso.

2.2.2. Tipos de Actuadores

Los actuadores son los dispositivos que mediante una energía suministrada accionan mecánicamente el movimiento de una válvula para cerrar o abrir dependiendo de lo que se requiera. Estos se suelen diferenciar principalmente por el tipo de energía que utilizan, que

pueden ser: mecánica (actuadores manuales), eléctrica, neumática e hidráulica. En el presente proyecto existen dos tipos de energía que no son viables, la mecánica y la hidráulica. La primera claramente no sirve, ya que es como se realiza el cambio de alineamiento actualmente, manualmente en terreno, y lo que se busca es operar las válvulas de manera remota. Y los actuadores hidráulicos se descartarán porque en refinería no existe un suministro hidráulico para el accionamiento de instrumentos.

Los actuadores eléctricos (figura 2-4), valga la redundancia, utilizan energía eléctrica para hacer el movimiento de la válvula. Estos cuentan con un motor eléctrico que al girar, por medio de un sistema de engranajes puede mover el acople que se conecta con el vástago de la válvula para así hacerla girar también. Estos pueden ser con distintos tipos de motores y especificaciones.



Fuente: <https://fitvalv.cl/producto/actuador-electrico-rotatorio-5803-genebre/>

Figura 2-4. Actuador eléctrico rotatorio.

Los actuadores neumáticos (figura 2-5), utilizan gas comprimido para realizar el movimiento de la válvula. Estos actuadores cuentan principalmente con un cilindro y un pistón, los que se encargan de hacer el movimiento mecánico y transferirlo al vástago de la válvula. El gas o aire comprimido entra a una cámara del cilindro que al aumentar la presión de este, mueve el pistón hacia una dirección, y puede ser devuelto por un resorte (actuador simple efecto) o por aire comprimido que entra en la otra cámara (actuador doble efecto).



Fuente: <https://www.hearkenflow.com/quarter-turn-pneumatic-actuator/customized-pneumatic-actuator>

Figura 2-5. Actuador neumático rotatorio.

Ahora bien, quedando las opciones de actuadores eléctricos y neumáticos se compararán en la tabla 2-2 sus ventajas y desventajas para escoger la mejor opción dependiendo de los requerimientos del proyecto.

Tabla 2-2. Comparación de actuadores. Ventajas y desventajas.

Tipo de Actuador	Ventajas	Desventajas
Actuador eléctrico	• Excelente precisión • Alta fuerza de operación • Facilidad de control • Mantenimiento simple	• Alta inversión inicial • Baja velocidad de respuesta • Requiere de energía constante
Actuador neumático	• Bajo costo de inversión • Alta velocidad de operación • Baja complejidad de instalación y mantención	• No tienen tanta fuerza como otros actuadores • Precisión media

Fuente: Elaboración propia basada en información de las páginas www.anythingflows.com y aumaiberia.com

Viendo las ventajas y desventajas de ambos tipos de actuadores, y teniendo en consideración la mejora que busca realizar este proyecto, el actuador neumático es el más

compatible. Esto debido a que se espera que el actuador sea rápido al momento de enviar la señal de apertura o cierre, y también que el costo de inversión sea bajo. Con respecto a las desventajas, no se requiere de precisión ya que es una maniobra de aperturas y cierres de las válvulas, y no se requiere de mucha fuerza para realizar la maniobra debido a que se escogió una válvula que tiene muy bajo par. Con respecto al suministro de aire comprimido, la unidad de SWS 1 cuenta con una matriz de aire de instrumentos con la que se accionan todas las válvulas de control, por lo que esto tampoco sería una dificultad con respecto a este actuador.

Cabe destacar que el actuador debe ser de simple efecto, ya que en caso de que exista una emergencia de aire instrumental, la salida del efluente debe quedar en recirculación corta. Por lo que deberían alinear el producto por si solas en ese caso, y no quedar en la posición que se encontraban, como pasaría con un actuador de doble efecto.

2.2.3. Monitor de posición

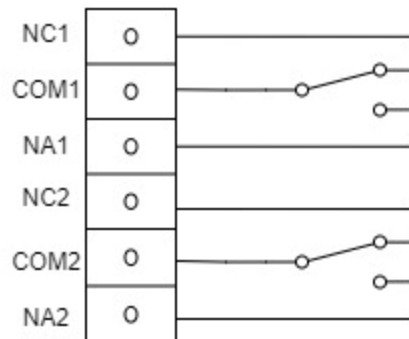
El monitor de posición es un dispositivo que se acopla mecánicamente al actuador rotativo (figura 2-6). Al momento que este realice el giro de la válvula, también lo hará el monitor indicando de manera visual en terreno si la válvula se encuentra abierta o cerrada. Además, internamente cuenta con dos switches de final de carrera que permite también enviar una señal eléctrica al PLC, para que el operador de pantalla tenga la certeza de que las válvulas realizaron su recorrido completo y no ocurra algún problema operativo por un cierre o apertura incompleta. Esto es un sistema de seguridad que funciona como retroalimentación para el operador.



Fuente: <https://itemstecnologia.com/producto/caja-de-senalizacion-de-posicion-srbc-para-actuadores-giratorios/>

Figura 2-6. Monitor de posición.

La figura 2-7 muestra el diagrama eléctrico que tiene este monitor de posición. Básicamente son dos switches mecánicos que se activan al girar el vástago del actuador, y que envían una señal eléctrica al PLC.



Fuente: Elaboración propia en la aplicación draw.io, basado en hojas de datos de los dispositivos

Figura 2-7. Diagrama eléctrico monitor de posición.

Dependiendo de la posición de la válvula, el monitor puede enviar tres señales que el operador interpretará de la siguiente forma, como se muestra en la tabla 2-3.

Tabla 2-3. Estado de limit switch del monitor de posición.

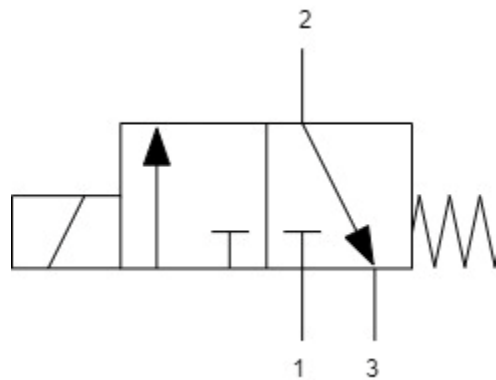
Switch 1	Switch 2	Estado de válvula
ON	OFF	Cerrada
OFF	OFF	Recorrido incompleto
OFF	ON	Abierta

Fuente: Elaboración propia basado en los estados de los switches

Ahora, gracias a esta información proporcionada por el monitor de posición, el operador de pantalla podrá saber si requiere de alguna maniobra extra en terreno para asegurar la correcta alineación.

2.2.4. Válvula solenoide

La válvula solenoide es la encargada de habilitar el paso del aire de instrumentación hacia el actuador. Esta recibe una señal eléctrica que por medio de un electroimán hace que un émbolo interno de el paso del aire. Existen distintos tipos de válvulas solenoides, pero principalmente se diferencian en la cantidad de vías y pasos de actuación. Las vías son los distintos caminos que puede tomar el aire internamente en la válvula, y los pasos son la cantidad de “estados” o posiciones que tiene mecánicamente dejando pasar el aire o desviándolo.



Fuente: Elaboración propia en la aplicación draw.io, basado en válvula neumática 3/2

Figura 2-8. Diagrama válvula neumática 3/2 simple efecto accionada por solenoide.

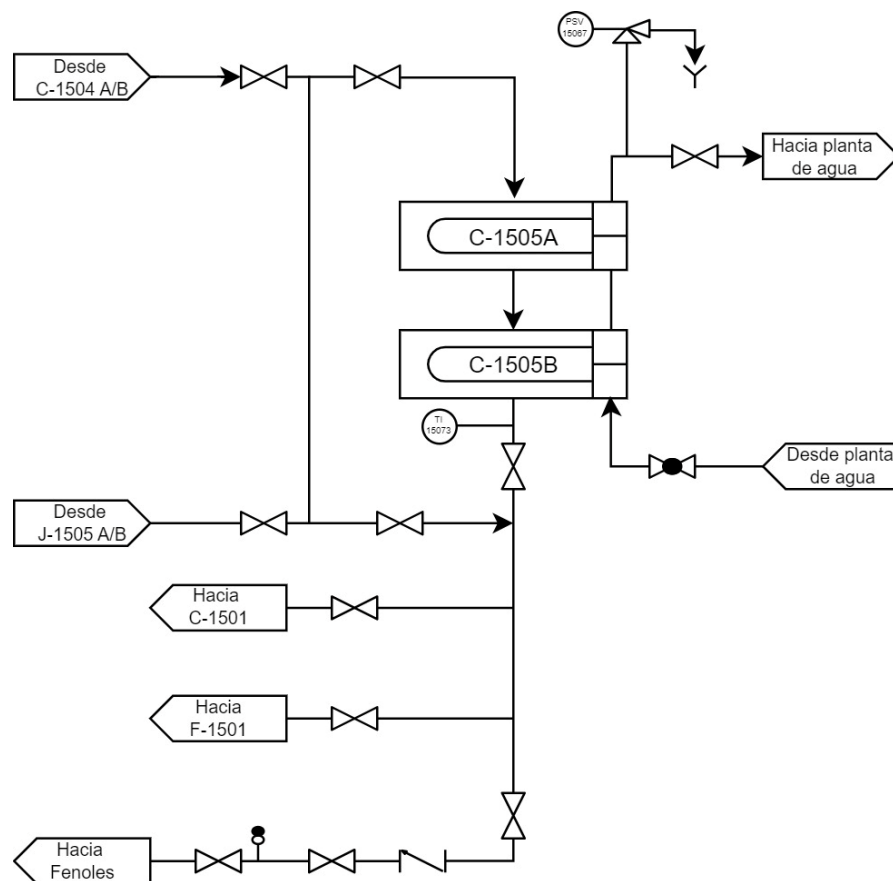
Las principales válvulas solenoides para actuadores neumáticos suelen ser de 3 vías y 2 pasos, o de 5 vías y 2 pasos. La implementación de una o la otra depende del tipo de actuador

que, como se mencionó anteriormente, pueden ser de simple efecto o doble efecto. En el caso de este proyecto se van a implementar actuadores de simple efecto por lo que la válvula solenoide debe ser 3/2 como en la figura 2-8. Esta, al activarse, dejará entrar el aire de instrumentos proveniente del punto “1” hacia el punto “2”, entrando al cilindro y moviendo el pistón del actuador. Y al desactivarse tomará su posición inicial, dejando salir el aire del cilindro y volviendo el pistón a su posición inicial por medio del resorte del actuador.

2.3. DISEÑO DE P&ID

Luego de seleccionar los instrumentos necesarios para realizar este proyecto de mejora, se debe realizar el plano que permite ver gráficamente dónde van ubicados en la unidad, y de qué manera se comunican entre ellos. El plano que se utiliza para esta función se conoce como P&ID (Piping and instrument diagram). Este es un diagrama esquemático que grafica los componentes y equipos de una unidad de proceso. También incluye la instrumentación que tiene la unidad en la que se detalla la comunicación entre estos y algunos detalles lógicos para el control.

En este proyecto en específico, no se desarrollará el diagrama de toda la unidad debido a que la propuesta se va a implementar sólo en el fondo de la torre. Actualmente se tiene el plano del circuito como se muestra en la figura 2-9, donde el flujo normalmente viene por los C-1504, pasa por los enfriadores de agua C-1505 y se dirige hacia la unidad de fenoles.



Fuente: Elaboración propia en la aplicación draw.io, basado en unidad SWS1 de Refinería Aconcagua

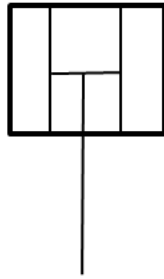
Figura 2-9. P&ID actual de salida de efluentes SWS1.

Para el diseño del P&ID del proyecto se deben incluir las tres válvulas de bola en las líneas que van hacia fenoles, la recirculación larga y corta, todas con sus respectivos actuadores, sus válvulas solenoide y los sensores de posición. A continuación, en las figuras 2-10, 2-11, 2-12, 2-13 se encuentran los símbolos de cada instrumento a utilizar.



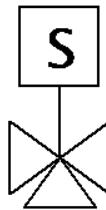
<https://symbols.radicasoftware.com/267/pid-pip-valves/8/ball-valve-no>

Figura 2-10. Símbolo de válvula de bola P&ID.



<https://enggcyclopedia.com/2011/01/pid-symbols-control-valve-assembly-actuators/>

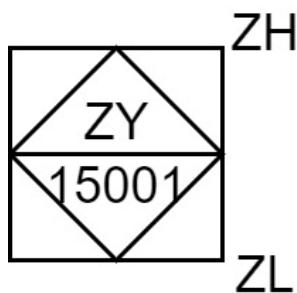
Figura 2-11. Símbolo de actuador neumático rotatorio P&ID.



<https://gallery.proficad.com/symbols/others/p-id/valves/three-way-solenoid-valve.html>

Figura 2-12. Símbolo de válvula solenoide 3 vías P&ID.

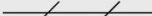
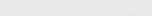
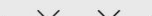
El monitor de posición se indica de la siguiente manera ya que es un instrumento de posición con switches en su interior, el cual envía la señal hacia el PLC. En este también se indica las alarmas que envía, que son de válvula abierta o cerrada.



Fuente: Elaboración propia en la aplicación draw.io

Figura 2-13. Símbolo de limit switch P&ID.

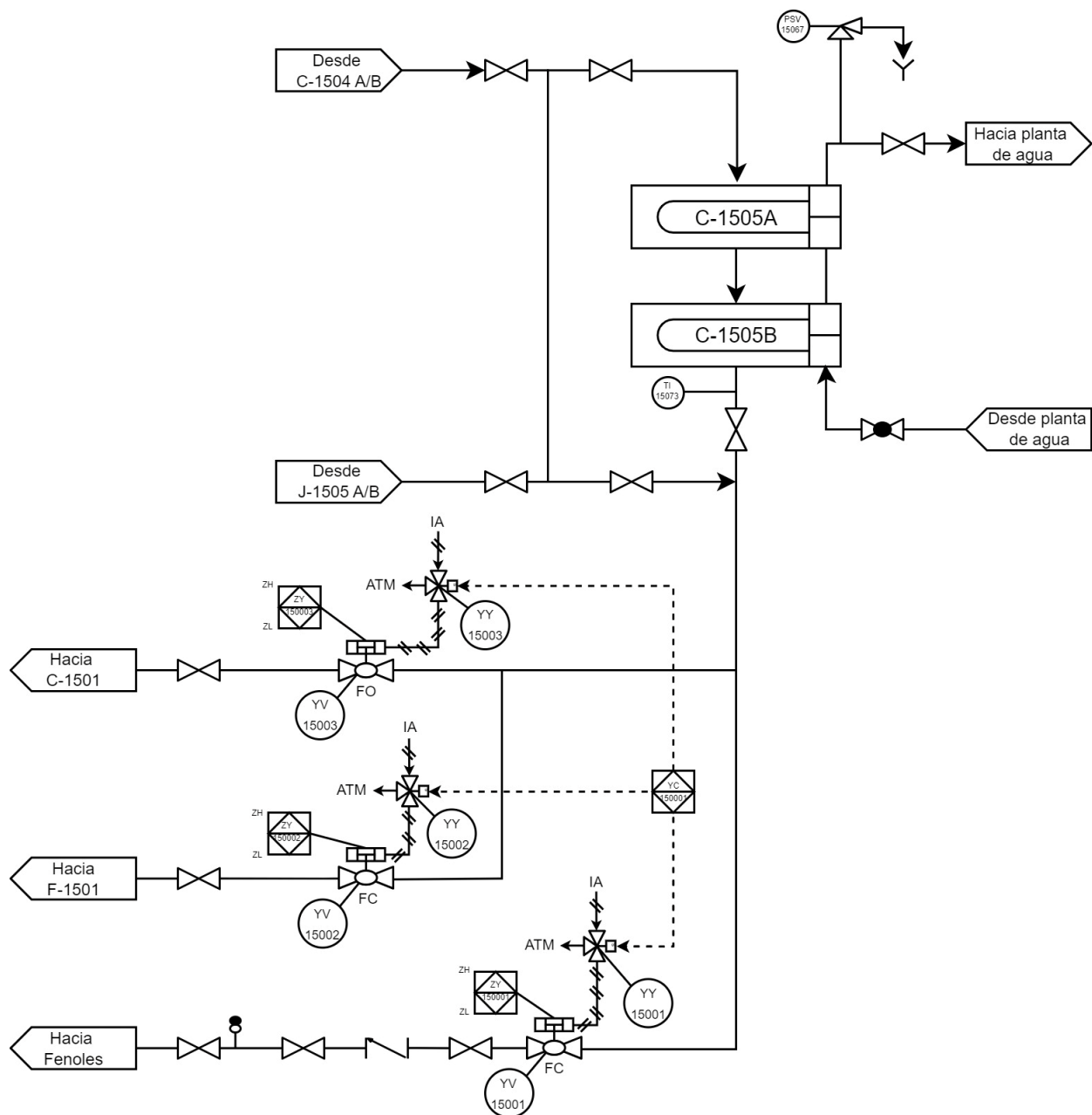
Las líneas que se utilizan para interconectar equipos e instrumentos varían dependiendo de su función. En este caso se utilizarán tres tipos, para representar las líneas del proceso de la planta, la señal eléctrica que envía el controlador hacia la solenoide, y la señal neumática que representa las líneas de aire de instrumentos que accionan el actuador. La figura 2-14 muestra las señales mencionadas.

Piping (Major Process)		
Connection to Process (Minor Process)		- Functional diagram continuously variable signal. - Electrical schematic ladder diagram signal and power rails.
Undefined Signal		Use for Process Flow Diagrams and diagrams where type of signal is not of concern
Pneumatic Signal		- Filled thermal element capillary tube. - Filled sensing line between pressure seal and instrument.
Electric Signal		- Electronic or electrical continuously variable or binary signal. - Functional diagram binary signal.
Hydraulic Signal		Hydraulic Signal
Capillary Tube		- Filled thermal element capillary tube. - Filled sensing line between pressure seal and instrument.
Electromagnetic or Sonic Signal (Guided)		- Guided electromagnetic signal / sonic signal. - Fiber optic cable.
Electromagnetic or Sonic Signal (Not Guided)		- Unguided electromagnetic signals, light, radiation, radio, sound, wireless, etc. - Wireless instrumentation signal / communication link.
Internal System Link (Software or Data Link)		Communication link and system bus, between devices and functions of a shared display, shared control system. (DCS, PLC, or PC communication link and system bus.)
Internal System Link (Software or Data Link)		Communication link or bus connecting two or more independent microprocessor or computer-based systems. (DCS-to-DCS, DCS-to-PLC, PLC-to-PC, DCS-to-Fieldbus, etc.)
Mechanical Link		Mechanical Link

Fuente: <https://kimray.com/training/how-read-oil-and-gas-pid-symbols>

Figura 2-14. Símbolos de señales en P&ID según ISA-5.1-2009.

Finalmente, el diagrama P&ID queda de la siguiente manera.



Fuente: Elaboración propia en la aplicación draw.io

Figura 2-15. P&ID final de la propuesta de solución.

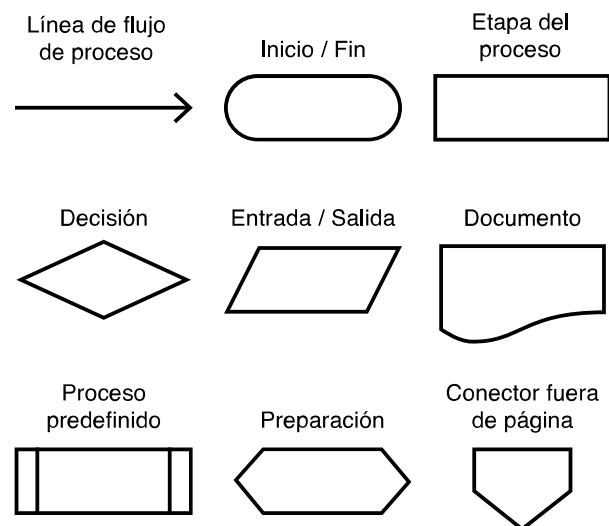
Aquí, en la figura 2-15 se pueden ver las tres válvulas de bola con actuador neumático el cual es accionado por una válvula solenoide de tres vías. Las válvulas se denominaron con la letra "Y" como primera letra ya que están relacionadas a un "evento" o emergencia que ocurra en la unidad. Se utilizaron los números 15001, 15002 y 15003 ya que la unidad SWS1 es el área 1500 y

son las primeras válvulas que se instalan de este tipo, por lo que se usaron los tres primeros números.

2.4. FUNCIÓN Y LÓGICA DE CONTROL

Como ya se mencionó en el punto 2.1. el accionamiento de las válvulas se realizará de forma manual por el operador de pantalla y de manera automática en cuatro casos que se definieron como las emergencias más comunes. Para describir la lógica de control que se encontrará programada en el PLC, se utilizará un diagrama de flujo. Esta es una herramienta que representa gráficamente la lógica de programación y la toma de decisiones dependiendo de las condiciones que se requieran.

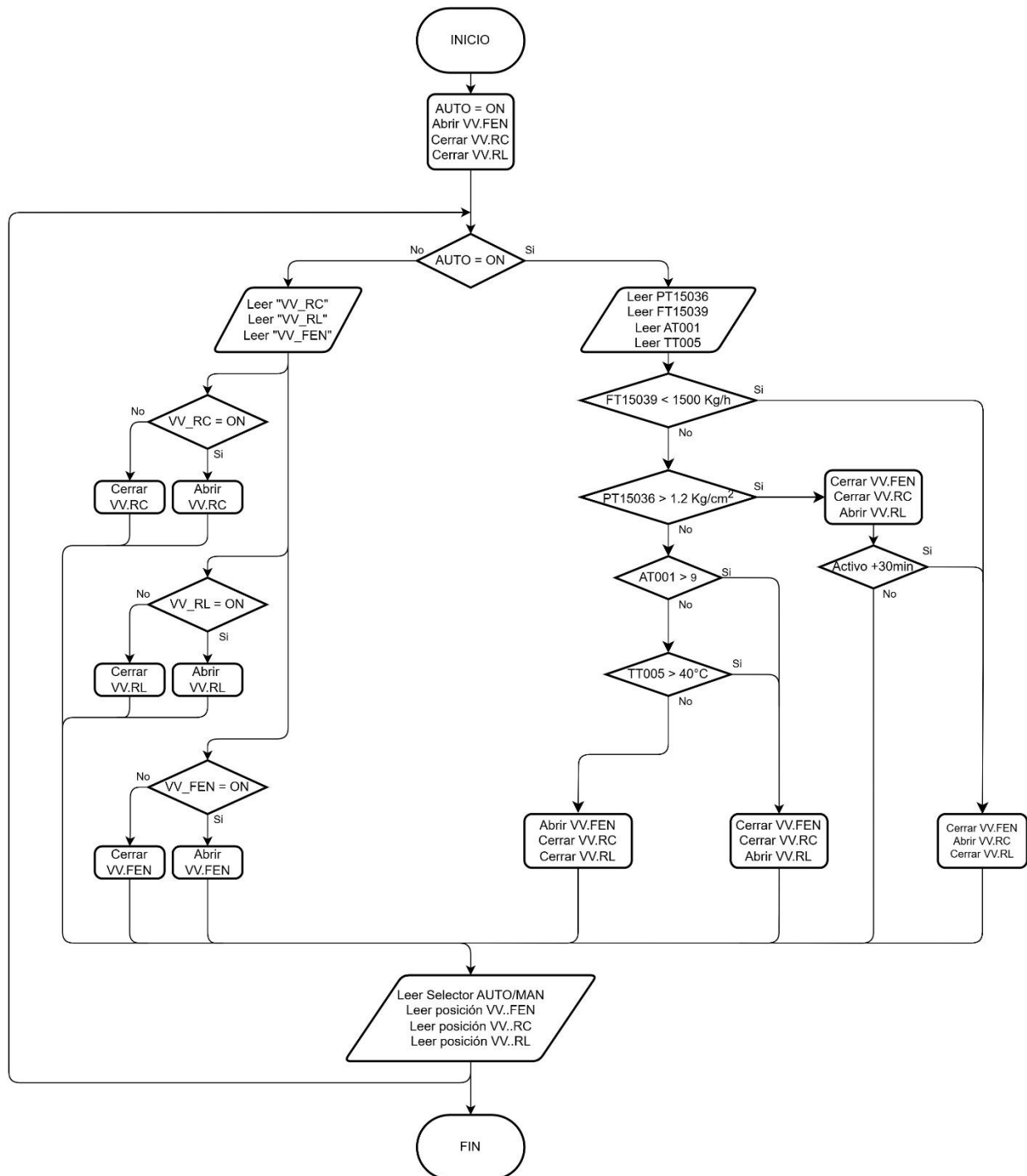
En un diagrama de flujo se utilizan símbolos para representar distintas funciones, en conjunto con flechas que indican el flujo de la programación, indicando como va avanzando el programa y las distintas direcciones que puede tomar. En la figura 2-16 se muestran los símbolos que se utilizan en un diagrama de flujo, de los cuales, se utilizarán los de: Inicio/Fin, Entrada/Salida, Decisión y el de Proceso.



https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/diagrama_de_flujo.html

Figura 2-16. Símbolos de diagrama de flujo.

En la figura 2-17 se encuentra el diagrama de flujo que representa la lógica de programación que se busca implementar en este proyecto.



Fuente: Elaboración propia en la aplicación draw.io

Figura 2-17. Diagrama de flujo de la programación.

En el diagrama de flujo se puede ver que existen dos modos de operación, uno automático y uno manual, en el que el operador podrá accionar las válvulas dependiendo de lo que se requiera. Para esto se definieron las variables digitales que acciona el operador como VV_FEN, VV_RC y VV_RL, estas son las señales que va a recibir el PLC para activar las salidas hacia las respectivas solenoides. Las salidas se definieron dentro del programa como VV.FEN, VV.RC y VV.RL.

Para el modo automático se utilizaron las señales de cuatro instrumentos que se encuentran ya instalados en la unidad de SWS1 y en la unidad de fenoles. También se definieron las 4 condiciones en las que la planta debería recircular largo o corto, accionando las respectivas válvulas. Este es un sistema de control on/off, ya que acciona las válvulas en un 0% o 100% de apertura para desviar el producto.

Para volver a la condición normal de la planta (salida del efluente a fenoles) se considerará un rango de histéresis del 5% de cada variable, es decir, que cuando disminuya el valor que fue excedido deberá ser un 5% menor que el valor que activó la recirculación. De igual manera, es importante considerar que para volver a la condición normal de la unidad el operador deberá hacerlo de forma manual, ya que se debe realizar bajo autorización de la jefatura.

Al final del programa se van a leer las posiciones de las válvulas para retroalimentar al operador con respecto a los movimientos realizados. Además, es aquí también donde el programa lee el selector del operador para saber si sigue en el modo automático o lo pasó a manual.

CAPÍTULO 3: EVALUACIÓN DEL PROYECTO

3. EVALUACIÓN DE PROYECTO

En este proyecto se ha buscado desarrollar una propuesta que permita facilitar la operación de una maniobra en una planta de tratamiento de aguas ácidas de la Refinería ENAP Aconcagua. Esto con el fin de dar mayor confiabilidad al momento de realizar esta maniobra e impedir que exista una posible contaminación ambiental desde la empresa y las multas a las cuales se arriesgaría.

Luego de haber realizado el diseño de la propuesta, en la que se hizo la selección de los materiales, la confección del plano del proyecto y el desarrollo de la lógica de programación, se van a definir las tareas necesarias para la implementación del proyecto, junto con la carta Gantt que permita determinar los tiempos necesarios para la ejecución de este. Estos datos se van a utilizar para definir los costos que implica el proyecto, y también los beneficios que significaría para la empresa.

3.1. DEFINICIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

Para obtener buenos resultados en la ejecución del proyecto con la menor tasa de error, se deben planificar y organizar las tareas a realizar. Para esto se van a definir cuatro etapas del proyecto con sus respectivas tareas, para gestionar de mejor manera la ejecución de este. Estas cuatro etapas se van a definir como: Etapa de planificación, Etapa de detención, Etapa de ejecución y Puesta en marcha.

Cada una de estas etapas son necesarias para asegurar una buena implementación del proyecto, sobre todo las etapas previas a la ejecución. En estas se busca definir roles y funciones del personal, establecer tiempos necesarios, protocolos de seguridad para la prevención de accidentes, junto con definir las acciones que se deben tomar como refinería para la detención de la unidad SWS1. Esto porque para montar las válvulas en las líneas de proceso se debe detener la unidad, ya que no existe forma de aislar las líneas donde van las válvulas de control, lo que podría llegar a afectar a otras plantas.

Durante la ejecución, es cuando se van a realizar todos los trabajos necesarios por parte del personal de mantención para la implementación de estas válvulas. Así también, las tareas relacionadas a la programación del PLC, comunicación de datos e implementación de los instrumentos requeridos en cada válvula. Finalmente, se terminaría el proyecto con la puesta en marcha de la unidad y la evaluación de los resultados obtenidos con la ejecución del proyecto.

3.1.1. Etapas de planificación

La etapa de planificación es la primera que se debe realizar y en la que se debe poner mayor énfasis, ya que aquí es donde se deben considerar todos los factores influyentes en la ejecución del proyecto. Dentro de los factores externos a la ejecución como tal está la repercusión que tendría la detención de la SWS1 en las otras unidades de refinería, ya que, al funcionar como una red de procesos interconectados, la detención de una planta siempre afecta a más unidades. Esto puede significar costos para la empresa, o más bien pérdida de ganancias si es que se debe bajar la producción, pero eso será descrito más adelante.

Esta etapa considera principalmente reuniones entre los equipos de trabajo para realizar los análisis necesarios previos para disminuir la probabilidad de error o de inconvenientes que pudieran suceder. En estas reuniones deben participar trabajadores, principalmente ingenieros o jefes de distintas áreas, para tener una visión más integral de las actividades que se deben realizar. Dentro de los grupos de trabajo que deben participar en estas reuniones se encuentran personal de:

- Proyectos
- Prevención de riesgos
- Medio ambiente
- Mantención Estáticos
- Mantención Instrumentos
- Mantención Electrónicos
- Operaciones
- Comunidades
- Respuesta de emergencias

Aquí es donde se definirán roles y responsabilidades, donde se establecerán los tiempos y objetivos de cada tarea a realizar. En esta etapa también se van a definir los hitos dentro de la ejecución del proyecto, los análisis sistemáticos de riesgos y los planes de respuestas de emergencias, que podrían suceder en la ejecución. Debido a que el proyecto no es muy grande, se estima que el tiempo de duración de esta etapa puede durar de 2 a 3 semanas.

3.1.2. Etapa de detención

Como se dijo anteriormente, la detención de la SWS1, al dejar de procesar aguas ácidas podría influir en el proceso de otras unidades. Pero esto va a depender de la capacidad que se tenga en los estanques de aguas ácidas, ya que como se mencionó en un principio, estos funcionan como un “pulmón” para el proceso de las SWS’s. Entonces, se tienen dos casos posibles, suficiente capacidad para recepción de agua en los estanques y baja capacidad de recepción.

En condiciones normales, los estanques de aguas se reciben diariamente 1900 m^3 de aguas ácidas, 900 m^3 desde la SWS1 y 1000 m^3 desde la SWS2. Y entre todos los estanques se tiene una capacidad de 22460 m^3 , T1501 y T3301 tienen capacidad de 3000 m^3 y los estanques T338 y T339 de 8230 m^3 . Como la SWS2 seguirá operando de manera normal, el agua que se comenzaría a acumular por día serían los 900 m^3 que procesa la SWS1. Ahora bien, en el caso hipotético de que los estanques estuvieran vacíos al momento de la detención se tendrían aproximadamente 25 días para realizar el proyecto. Pero como esto es muy poco probable, para efectos prácticos, se considerarán 13 días para seguir operando de manera normal con el resto de las unidades.

Teniendo esto en cuenta, el tiempo requerido para esta etapa serían aproximadamente 3 días, que es el tiempo que necesita para detener la unidad y entregar a mantención de forma segura. Dentro de las actividades operativas que se deben realizar se encuentran:

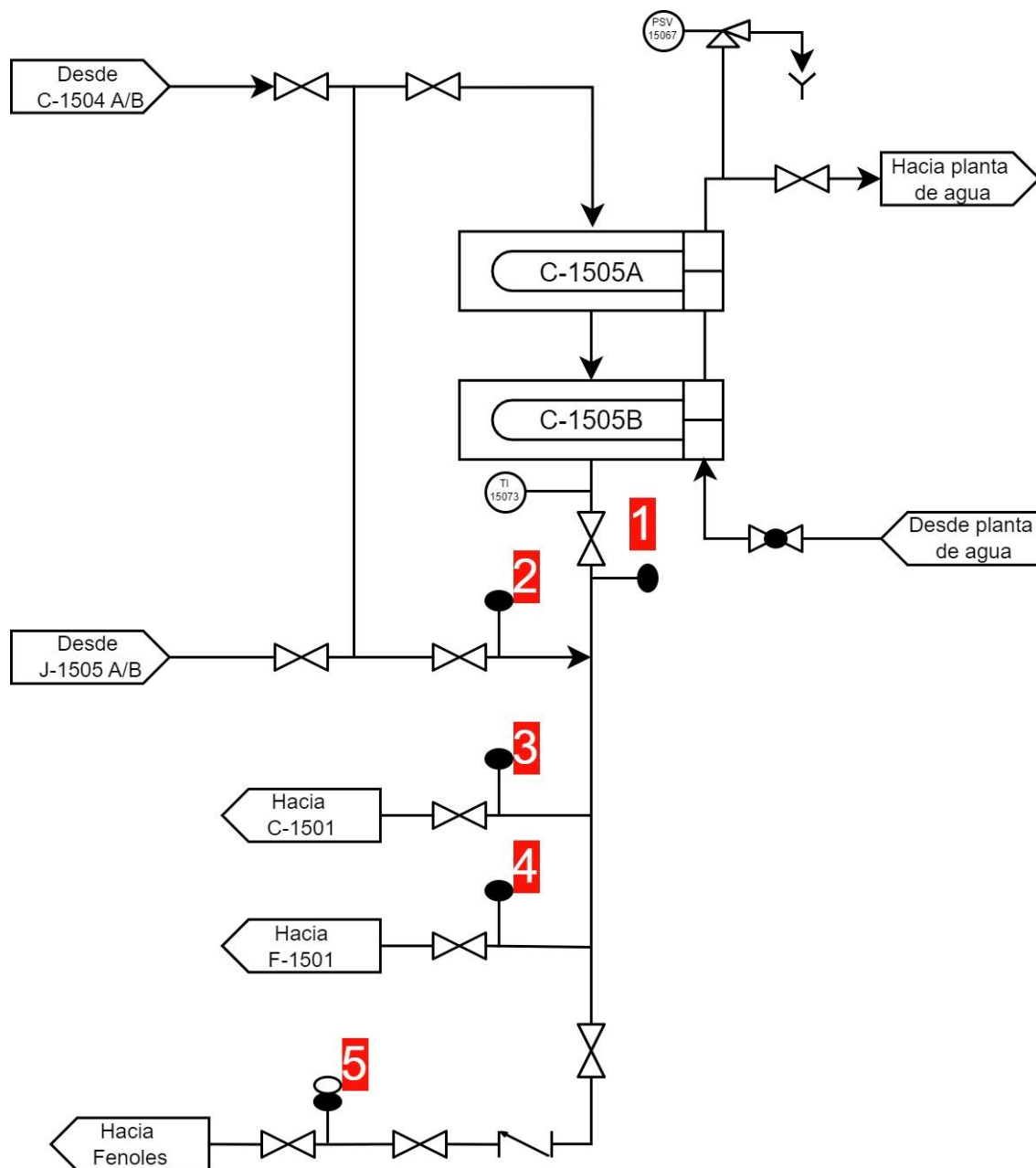
- Bajar de carga hasta llegar a $20\text{ m}^3/\text{d}$ que es la carga mínima
- Dejar la unidad en recirculación corta hasta tener agua limpia en la entrada de la torre
- Cortar gases agrios a las URA’s y controlar presión de la torre hacia BD
- Mantener presión positiva con N_2
- Vaciar nivel de torre hacia F1501 por la línea de recirculación larga

- Hacer nivel con condensado por bomba de recirculación de tope
- Vaciar y hacer nivel 4 veces para asegurar que los circuitos quedan limpios
- Vaciar y dejar presión levemente positiva
- Entregar a mantención

3.1.3. Etapas de ejecución

Una vez la unidad es recibida por el equipo de mantención se deben asegurar las líneas de proceso en las que se van a trabajar, así es que lo primero que se debe hacer es bloquear con barreras físicas estas líneas de proceso. Para esto se requiere que el equipo de mantención estático instale 4 paletas que irán aguas abajo de las válvulas de salida y by pass de los C1505 y aguas arriba de las válvulas de recirculación larga y corta. Además, se debe dar vuelta la figura 8 que se encuentra en la salida a fenoles.

A continuación, en la figura 3-1 se encuentra un diagrama que representa el sistema de bloqueo que debe ser aplicado en el circuito de salida del efluente para aislar las líneas de proceso que van a ser intervenidas. Los símbolos enumerados 1, 2, 3 y 4 son las paletas ciegas que deben ser instaladas en los flanges o bridas de las válvulas correspondientes. El elemento de bloqueo con el número 5 es la “figura 8” que se encuentra en la salida a Fenoles, la que debe ser girada para que quede cerrada y completar el bloqueo.



Fuente: Elaboración propia en la aplicación draw.io, basado en unidad SWS1 de Refinería Aconcagua

Figura 3-1. Diagrama de bloqueo de líneas de proceso.

Este es un trabajo que, por la posible presencia de H_2S se debe realizar con aire en línea, aplicando el procedimiento interno de la refinería PHSEC-18. Este protocolo está escrito para trabajar en espacios con atmósferas peligrosas controladas, en el que se definen controles, criterios y requerimientos básicos para la realización de estos trabajos de manera segura,

reduciendo al mínimo las probabilidades de algún incidente. Para realizar este trabajo se debe contar con un plan de emergencia el cual debió ser aprobado por personal de respuesta de emergencia. Al momento de ejecutar la tarea, los trabajadores contarán con su equipo de aire en línea operado por un tercero con el cual deben tener comunicación constante y efectiva. Además, se debe encontrar el operador del área con un equipo de respiración autónoma montado y sin conectar, observando a una distancia prudente, listo para responder en caso de alguna emergencia.

Mientras se realizan las labores en terreno, paralelamente se deberían estar elaborando las cañerías de 4" con los flanges para instalar las válvulas. También se podría comenzar a intervenir el PLC por el personal de mantención electrónica en el que se encontrará la programación explicada en el capítulo anterior.

Una vez quede instalado el bloqueo se puede continuar con los trabajos en terreno. Se debe proceder a cortar las líneas en los puntos establecidos donde irán las válvulas, y a continuación se deben soldar los tramos prefabricados. Esto será un trabajo que se debe realizar con mucho cuidado debido a la posibilidad de inflamación en las líneas, por eso se debe hacer el trabajo cumpliendo con el PHSEC-24, que define las responsabilidades de los involucrados en los trabajos en caliente que se realizan en la refinería. Así como las condiciones en las que se deben encontrar el área de trabajo y los equipos a intervenir.

Luego se debe comenzar a instalar las líneas de aire que alimentarán las válvulas, y conectarlas a la matriz de aire de instrumentos. Estas líneas se instalarán por el mismo personal de estáticos hasta llegar a la válvula de corte, en la que irá conectada luego el tubing de acero, que será instalado por el personal de mantención instrumental. También se deben montar las bandejas que llevarán los cables desde terreno hacia el PLC. Esto será instalado por el personal de electrónica junto con los respectivos cables.

Teniendo todo lo anterior se deben montar las válvulas de bola, con sus respectivos actuadores, solenoides y monitores de posición. Luego se deben realizar las conexiones eléctricas que van hacia las solenoides y los monitores, y también conectar el aire de instrumento al actuador.

Esta etapa, que si bien contiene hartas tareas, se realizaría en 4 días aproximadamente, debido a que muchas de estas se pueden ir realizando en forma paralela, acortando al mínimo los tiempos de ejecución.

3.1.4. Etapas de puesta en marcha

Una vez terminada la ejecución del proyecto, donde se instalaron las válvulas de control con toda la instrumentación necesaria, en conjunto del sistema de control que permite accionar las válvulas de forma remota, se debe comenzar a poner en servicio la unidad.

Previo a la puesta en servicio como tal, se deben realizar pruebas del sistema implementado, en el que se probará el modo manual accionando las válvulas desde la pantalla y corroborando su posición con el operador de terreno. Y también se deberá probar el modo automático, en el que, con apoyo del personal del área electrónica, se forzarán ciertos valores de medición para comprobar que el sistema de control accione las válvulas como corresponda.

Una vez realizadas estas pruebas descritas se debe comenzar con la puesta en servicio de la unidad. Para esto el personal de operaciones debe realizar una serie de tareas según el procedimiento de partida de la unidad, el cual dice lo siguiente:

- Revisar circuitos y equipos. Que no se encuentren drenajes abiertos, bloqueos activos, ni pernos sueltos
- Lavar líneas y equipos con agua de la red contra incendios
- Comenzar a vaporizar desde el fondo de la torre y ventear por el tope para eliminar el aire.
- Ir normalizando los circuitos por partes para asegurar que se elimine todo el aire que se encuentre en estos.
- Cortar venteo y realizar prueba de presión
- Cortar vapor y mantener presión positiva con N₂
- Llenar líneas y circuitos con condensado
- Hacer nivel de fondo y tope a la torre. Poner a recircular tope y fondo en recirculación corta.
- Comenzar a adicionar vapor al reboiler y establecer temperaturas de fondo y tope.

- Comenzar a recircular largo y habilitar gases a las URA's
- Con pH 7 en el fondo, cortar recirculación larga y habilitar a fenoles

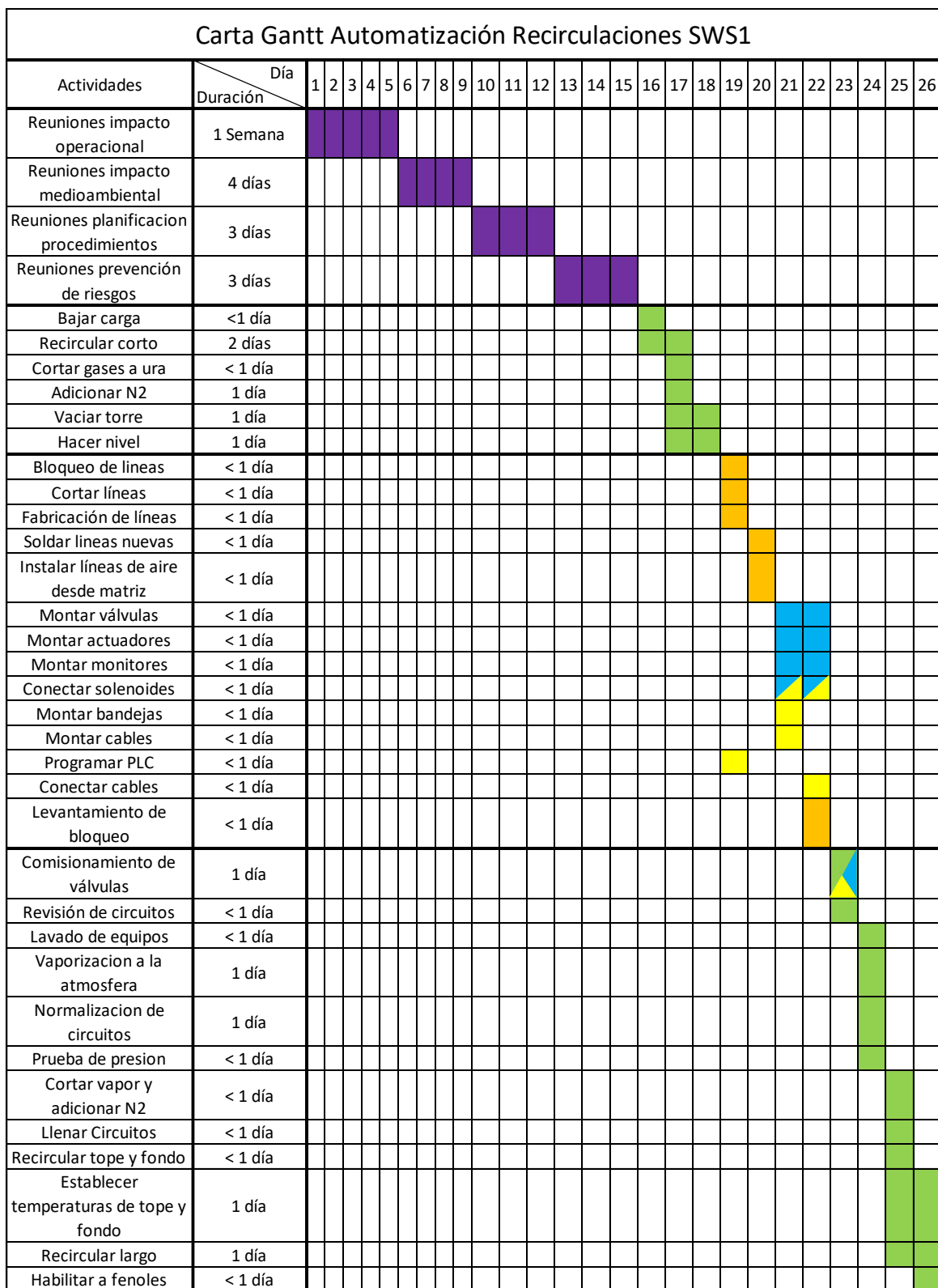
La puesta en servicio de la unidad de forma segura puede tardar aproximadamente 4 días entre todas las tareas que se requieren. Finalmente, con la unidad en servicio y en condiciones normales de operación, se puede dar por terminado el proyecto.

3.2. GESTIÓN Y ORGANIZACIÓN DE LAS TAREAS

Una vez definidas las tareas que se deben realizar antes, durante y después de la ejecución del proyecto, y considerando los tiempos estimados para cada una de estas se deben organizar para poder hacer una buena gestión de los tiempos cuando esta se encuentre en curso. Para eso se va a utilizar una herramienta muy eficiente para ordenar las tareas que se deben cumplir en un proyecto, la carta Gantt.

La carta Gantt es muy utilizada en la gestión de proyectos, ya que permite visualizar de forma gráfica los tiempos de todas las actividades que se deben realizar durante un proyecto. Además, ayudan a entender la relación que existen entre las distintas tareas, lo que facilita a los trabajadores de todas las áreas entender cómo será el desarrollo del proyecto de forma general, viendo de cómo afecta su trabajo con el de los demás. También es una buena herramienta para los encargados del proyecto, ya que le facilitan tomar decisiones al momento de tener retrasos o adelantos de algunos trabajos.

A continuación, en la figura 3-2 se muestra la carta Gantt que se desarrolló para este proyecto en específico. En esta los períodos se separaron en días, ya que las actividades por lo general duran menos de un día. También se pueden apreciar las cuatro etapas con sus respectivas tareas que se describieron en el punto anterior.



Fuente: Elaboración propia en programa Excel, basado en la descripción de tareas del proyecto

Figura 3-2. Carta Gantt del proyecto.

Los colores que se utilizaron para marcar los tiempos que abarca cada tarea identifican las distintas especialidades que trabajan en el proyecto. El color morado representa las distintas disciplinas que realizan las reuniones previas de planificación. El color verde representa al personal de operaciones quienes participan principalmente en la detención y puesta en servicio de la unidad. El color naranja es el personal de mantención de estáticos que están encargados de la apertura e intervención de líneas de proceso. El personal de mantención instrumental es el color celeste, los que se encargan con todo lo relacionado al montaje de las válvulas de control. Y el color amarillo representa al personal de mantención electrónica, quienes son los encargados de intervenir el PLC y la comunicación relacionada entre este y las válvulas de control.

También se pueden ver que existen actividades con más de un color, esto debido a que son tareas que se deben realizar con personal de más de una especialidad. Estas tareas son la conexión de la solenoide, que deben realizar los de electrónica con apoyo de los instrumentistas. Y el comisionamiento de las válvulas de control instaladas, que realizan los operadores antes de partir, con el apoyo de electrónicos instrumentistas en caso de algún problema u observación.

3.3. EVALUACIÓN DE COSTOS

Para hacer una estimación de los costos del proyecto, se deben considerar varios factores influyentes en este, como los equipos que se requieren implementar en el proyecto, la mano de obra y el personal que realiza la gestión y planificación del proyecto. Los factores humanos van a ser un poco más difícil de calcular, ya que el personal que va a trabajar en el proyecto se encuentra contratado por la empresa y no solo para el proyecto en sí. Es por esto que se van a estimar los costos humanos en función del tiempo que van a trabajar en las distintas etapas. Todos los costos asociados al proyecto serán evaluados en UF al valor del día 10 de enero de 2025 el cual corresponde a \$38.436,50.

3.3.1. Costos de instrumentación

La instrumentación que se va a utilizar en el proyecto se buscó en distintos proveedores, y los que se escogieron fue principalmente por los requerimientos del proyecto, ya que no todos tenían lo que se estaba buscando. Por lo que los distintos equipos necesarios para el proyecto

proviene de distintas empresas de venta de instrumentos. La tabla 3-1 que se muestra a continuación detalla el producto, modelo, proveedor, cantidad, valor por unidad y valor total.

Tabla 3-1. Costos de Instrumentación.

Producto	Modelo	Proveedor	Cantidad	Valor unitario en UF	Valor Total en UF
Válvula de bola 4"	Samson BR26d	Provetek	3	29,92	89,76
Actuador neumático rotatorio	Genebre 5800 GNP 513	Fitvalv	3	14,7	44,1
Monitor de posición	Westlock 3500	Westlock	3	5,72	17,16
Válvula solenoide 3/2	Samson 3967	Provetek	3	0,65	1,95

Fuente: Elaboración propia, basado en cotización de instrumentos

Finalmente, el costo de los equipos de instrumentación que se necesitan para implementar el proyecto presentado sería de 152,97 UF.

3.3.2. Costos Humanos

Para hacer la estimación de costos humanos de forma más ordenada, se separarán en dos grupos. Los que planificarán el proyecto previo a la ejecución, y los que ejecutarán las modificaciones.

Las personas que se dedicarán a planificar el proyecto son principalmente ingenieros. Para calcular el costo que estos generan se calculará en función del tiempo en el que estos se dedicarán al proyecto. En la tabla 3-2 que se encuentra a continuación se resume la información requerida.

Tabla 3-2. Costos personal de planificación.

Personal	Sueldo mensual en UF	Tiempo efectivo	Costo para proyecto en UF
Ing. de Proyectos	33,9	15 días	16,95
Ing. en Prevención de riesgos	27,54	15 días	13,77
Ing. de Medio ambiente	31,47	15 días	15,74
Inspector de mantención Estáticos	29,53	15 días	14,77
Inspector de mantención Instrumentos	29,53	15 días	14,77
Inspector de mantención Electrónicos	29,53	15 días	14,77
Supervisor de Operaciones	51,41	15 días	25,71
Coordinador de Comunidades	27,25	15 días	13,63
Jefe Respuesta de emergencias	33,20	15 días	16,60

Fuente: Elaboración propia basado en información de chiletrabajos.cl y cl.computrabajo.com

Finalmente, el costo total generado por el personal de planificación del proyecto es de 146,71 UF.

A continuación se encuentra la tabla 3-3, donde se van a evaluar los costos humanos en la etapa de ejecución.

Tabla 3-3. Costos personal de ejecución.

Personal	Cantidad	Sueldo mensual	Tiempo efectivo	Costo para proyecto
Operador de Terreno	2	29,71	7 días	13,86
Operador de Pantalla	2	37,03	7 días	17,28
Técnico en instrumentación	2	24,31	3 días	4,86
Técnico en electrónica	2	24,93	3 días	4,99
Maestro montajista	2	21,82	1 día	1,45
Soldadores	4	21,03	2 días	5,61
Maestro Estáticos	2	20,66	2 días	2,75
Ayudante Estáticos	2	14,50	2 días	1,93
Inspector Estáticos	1	29,53	2 días	1,97
Inspector Soldadores	1	29,53	2 días	1,97

Fuente: Elaboración propia basado en información de chiletrabajos.cl y cl.computrabajo.com

Considerando los datos presentes en la tabla 3-3, el costo total del personal encargado de ejecutar el proyecto sería de 56,68 UF. Finalmente, teniendo en cuenta el costo de instrumentación y costos humanos, se puede estimar que el costo total del proyecto sería de aproximadamente de 356,36 UF. Esto al valor de la UF del día 10 de enero del año 2025 serían \$13.697.231,14.

3.4. ANÁLISIS DE BENEFICIOS

Ya teniendo en cuenta el costo de inversión que se debe hacer para realizar el proyecto, se puede generar un breve análisis de beneficios que le entregaría este proyecto a la empresa. Desde un principio se dijo que el proyecto buscaba facilitar la ejecución de una maniobra en la planta de SWS1, que está ligada al medio ambiente por los gases y efluente que genera. La maniobra que se busca mejorar es sobre efluente que sale por el fondo de la torre y que normalmente se envía a la unidad de Fenoles, que luego de procesar el efluente, lo envía al mar.

Lo que busca favorecer este proyecto, es disminuir la probabilidad de que se genere una contaminación en los riles enviados al mar. Se pretende disminuir al mínimo la probabilidad de

contaminación automatizando la maniobra con tal de que se realice de forma mucho más rápida y segura. Esto va a generar mayor seguridad y estabilidad dentro de los procesos de refinería ya que al tener el sistema automatizado de recirculaciones, no se deberá responder de manera reactiva para evitar contaminaciones.

Estas contaminaciones generarían sanciones que van desde amonestaciones escritas, multas que dependiendo de la gravedad de la infracción, pueden llegar a ser de miles de millones de pesos o incluso la clausura de la refinería. Estas sanciones son generadas por la SMA, quien se encuentra en constante monitoreo de las emisiones de la refinería y se basa en los parámetros de control que se definen en el Decreto Supremo 90.

Con respecto a las sanciones que conllevan una multa, se dividen dependiendo de la gravedad de la infracción.

- Infracción Leve: No causan daño significativo al medio ambiente o salud de las personas. Las multas van desde 1 UTA hasta 1000 UTA.
- Infracción Grave: Causan un daño significativo al medio ambiente o salud de las personas, pero no comprometen de manera irreparable el equilibrio ecológico. Las multas van desde 1000 UTA hasta 5000 UTA.
- Infracción Gravísima: Comprometen de forma irreparable el equilibrio ecológico o generan un daño irreparable a la salud de las personas. Las multas van desde 5000 UTA hasta 10000 UTA.

Entonces, con el valor de la UTA de enero 2025, que equivale a \$809.148, las multas irían desde los \$809.148 y podrían llegar hasta los \$8.091.480.000. Por lo que el proyecto le estaría evitando a la empresa generar gastos indeseados al pagar semejantes multas.

CONCLUSIÓN

El trabajo de título fue diseñado para una unidad de proceso de la refinería de petróleo ENAP Aconcagua, Sour Water Stripper 1. Esta es una unidad que se encasilla como medioambiental, ya que su función es disminuir los efectos medioambientales generados por la refinería con sus procesos productivos, lo que conlleva que su operación se encuentre ligada al medioambiente.

La mejora que se propuso para la unidad genera mayor confiabilidad al momento de encontrarse en alguna emergencia, disminuyendo las probabilidades de provocar una contaminación medioambiental. Este proyecto no busca generar mayores ganancias ni utilidades para la empresa, pero sí evitar gastos innecesarios provocados por multas. Y así poder mantener en condiciones normales la operación de la refinería sin tener que disminuir la producción.

Al hacer un análisis de costo/beneficio se puede percatar la diferencia entre lo que se va a invertir en el proyecto versus lo que se podría llegar a pagar si es que multan a la empresa por una contaminación. Esto quiere decir que el proyecto, visto desde el punto económico es completamente factible y conveniente para la empresa.

Si bien el proyecto está bien diseñado y desarrollado, se recomienda hacer una mejora al momento de implementarlo. Esto es hacer una mejor cotización de la instrumentación que se necesita para el proyecto, ya que al realizarlo la empresa podría abaratar costos al traer los equipos del extranjero. E incluso tendrían una mayor variedad de opciones para escoger, con equipos de mejor calidad que los que se seleccionaron en este proyecto. Esto debido a que en Chile existen pocos proveedores de instrumentación industrial como la que se necesita.

Con respecto a los objetivos propuestos en el capítulo uno, se completaron todos. Se contextualizó la problemática, y se propuso una solución en base a la ingeniería. Se logró realizar el diseño de la automatización de la maniobra en cuestión, realizando el diseño del plano y programación, y seleccionando la instrumentación adecuada para implementar el proyecto en la unidad. Junto con esto se hizo un análisis de costos en los que se consideró los costos materiales como los costos humanos. Realizando así el diseño completo del proyecto propuesto como solución para la problemática presentada.

BILBIOGRAFÍA

ANYTHING FLOWS. La diferencia entre un actuador neumático y un actuador eléctrico. [en línea]. 24 de junio de 2020. <<https://www.anythingflows.com/es/la-diferencia-entre-un-actuador-neumatico-y-un-actuador-electrico/>>.

AUMA IBERIA. Comparativa entre actuadores eléctricos, neumáticos e hidráulicos. [en línea]. 10 de mayo de 2024. <<https://aumaiberia.com/comparativa-actuadores-electricos/>>.

DATA VISUALISATION CATALOGUE. Diagrama de Flujo. [en línea]. [s.a.]. <https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/diagrama_de_flujo.html>.

EMPRESA NACIONAL DEL PETRÓLEO. Refinería de Concón, inauguración 1955. [en línea]. Editorial Zig-Zag. <<https://obtienearchivo.bcn.cl/obtieneimagen?id=documentos/10221.1/73469/2/190294.pdf>>.

ENAP REFINERÍAS. Unidad Sour Water Stripper N°1 (SWS N°1). [en línea]. Concón: Unidad de SWS N°1. 2014.

ENAP REFINERÍA ACONCAGUA. Procedimiento de Trabajo en Caliente, P-HSEC 24. [en línea]. Concón: ENAP Refinería Aconcagua. 2024.

ENAP REFINERÍA ACONCAGUA. Procedimiento de Trabajo en Presencia de Gases Peligrosos, P-HSEC 18. [en línea]. Concón: ENAP Refinería Aconcagua. 2024.

ENGGCYCLOPEDIA. Control valve assembly and actuator P&ID symbols. [en línea]. [s.a.]. <<https://enggcyclopedia.com/2011/01/pid-symbols-control-valve-assmbly-actuators/>>.

ENVIRO MODELING. SMA y multas por incumplimientos ambientales. [en línea]. 2 de septiembre de 2024. <<https://enviromodeling.cl/multas-por-incumplimientos-ambientales-en-chile/>>.

GRM. ¿Cuándo debería usar una válvula de bola?. [en línea]. [s.a.]. <<https://www.grm.com.es/es/project/cuando-deberia-usar-una-valvula-de-bola/>>.

JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN. Historia del Petróleo. [en línea]. [s.a.]. <<https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/historia-petroleo.html#:~:text=El%20primer%20pozo%20de%20petr%C3%B3leo,de%2021%20metros%20de%20profundidad>>.

LABORATORIUM DISCOUNTER. Fenol. [en línea]. [s.a.]. <<https://www.laboratoriumdiscounter.nl/es/quimicos/a-z/f/fenol/>>.

PROCEM CONSULTORES. Gestión del cronograma del proyecto|Metodología PMI. [video en línea]. Youtube. 6 de septiembre de 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=Cufjsbpygpg&list=PL_RS5WAsPHCaD8igD9OE2bTasRth_ex9O&index=4>.

SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE. Guía metodológica para la caracterización de residuos líquidos industriales (RILES). [en línea]. 2021. <<https://portal.sma.gob.cl/riles/Guia%20RILES%200542021.pdf>>.