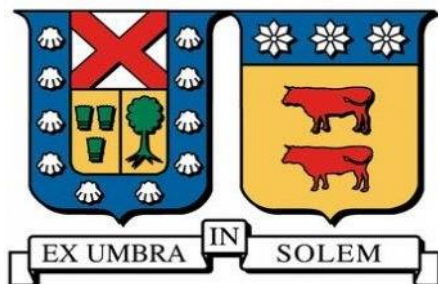


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



“DESARROLLO DE PROPUESTA DE
AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE CARGA
DE GLP EN CAMIONES CISTERNA Y GRANEL”

ÁLVARO ANTONIO CARRASCO MONTERO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA: DR MARIO TOLEDO
PROFESOR CORREFERENTE: ANDRES BREGANTE

SEPTIEMBRE - 2021

Agradecimientos

El título de mi carrera universitaria no tendría el mismo significado sin todos quienes me ayudaron a llegar hasta aquí. En este punto no tengo más que palabras de agradecimientos por todos quienes se preocuparon por mí a lo largo de vida como estudiante, quienes confiaron en mí y me apoyaron a seguir adelante.

En primer lugar, a mi familia, mi padre Percy Carrasco y a mi mamá Raquel Montero, nunca dudaron de mis capacidades, me brindaron todo el apoyo en todo el apoyo que necesitaba, su confianza fue clave para entregarme las herramientas para formarse primero como persona y luego como estudiante. Sin dejar de lado a mi hermano Lucas Carrasco, sujeto complicado con quien siempre pude conversar de ñoñerías, clave en la convivencia.

En la universidad conocí muchas personas tremendamente valiosas, su presencia siempre me hizo sentir cómodo y sentirme participe de la comunidad universitaria. Debo agradecerle principalmente a mi amigo Raúl Torres, un hombre de pocas palabras, pero precisas, recorrimos todo el proceso sin excepciones, sin duda un gran compañero, amigo y persona.

AS Humo, como equipo de fútbol fuimos un gran grupo de amigos, los resultados futbolísticos pasan a segundo plano con todas las anécdotas que podemos contar de nuestra vida universitaria. Las tardes de estudio donde el Roco serán eternas en nuestra memoria.

Agradecer a Club Deportivo Villa Berlín, la comunidad es super importante en mi día a día. El club me permitió coincidir caminos con mi amigo Cristian Cuadra Urbina, Ingeniero Civil Mecánico Sansano que siempre estuvo al pendiente de mi proceso de formación como ingeniero. Cristian me ayudó a encontrar mi primera práctica en Lipigas, lo que inicio como una simple práctica hoy finaliza con el desarrollo de mi memoria de titulación.

Finalmente agradecer a mi entorno más cercano, Rafael y su familia por siempre acogerme en su casa como un nieto más, Alois por ser buen amigo y estar siempre dispuesto a ayudar, Catalina por su preocupación y acompañamiento clave en este último tramo, y finalmente a Matias, por siempre estar ahí, absolutamente en todas.

Índice

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes generales del GLP	4
3.	Metodología de trabajo	8
5.	Proceso de carga de GLP en planta Concón	17
6.	Bases para la programación en PLC	43
7.	Evaluación económica de la propuesta desarrollada para la isla de carga.....	68
8.	Conclusiones	83
9.	Referencia	85
10.	Anexos	¡Error! Marcador no definido.

Glosario

GLP: Gas Licuado de Petróleo

PLC: Controlador Lógico Programable

DMAIC: Define Measure Analyse Improve Control

KPI: Indicadores clave de desempeño

DMAMC: Definir Medir Analizar Mejorar Controlar

DMADV: Definir Medir Analizar Diseñar Validar

DIN: Instituto Alemán de la Normalización

PDCA: Planifique Haga Verifique actúe

SEC: Superintendencia de Electricidad y Combustibles

CNE: Comisión Nacional de Energía

DS: Decreto Supremo

NFPA: Asociación Nacional de Protección contra el Fuego

GN: Gas Natural

GNL: Gas Natural Licuado

GNC: Gas Natural Comprimido

WLPGA: Asociación Mundial de GLP

S.A.: Sociedad Anónima

SAP: Systems, Applications, Products in Data Processing

SFT: Arranque de Fusión

ATEX: Atmosfera Explosiva

API: Instituto Americano de petróleo

VDC: Control de Estabilidad de los vehículos

CSA: Cumplimiento Seguridad Responsabilidad

UL: Underwriters Laboratories

RPTFE: Poliéster Reforzado TetraFluoroEtyleno

IDC: Isla De Carga

HMI: Interfaz Hombre Maquina

SCADA: Supervisión Control y Adquisición de Datos

TPM: Mantenimiento Productivo Total.

Resumen

El presente trabajo consiste en diseñar una propuesta de automatización para la isla de carga en las plantas Concón y Maipú de Empresas Lipigas en Chile. Se describe la metodología de solución de problemas denominada *Define Measure Analyse Improve Control* (DMAIC), la cual será clave para identificar el origen de la problemática que aqueja a la isla de carga.

Para el diseño de la propuesta, se reconoció el procedimiento actual de la carga de camiones en las plantas más importantes de Empresas Lipigas y el uso de instrumentos de automatización en la industria del traslado de gas licuado de petróleo (GLP).

Luego se determinaron los equipos claves para el desarrollo de la propuesta junto con los requerimientos que debe cumplir la lógica y control del sistema o programa a instalar.

La propuesta es validada por el equipo de proyectos del Departamento de Logística y Operaciones de la empresa.

Luego se desarrolla una licitación, para la futura ejecución del proyecto. Con la recepción de las propuestas de la licitación se procede a realizar un análisis económico del proyecto, considerando el potencial ahorro de la liberación de GLP al ambiente en el procedimiento de carga de camiones.

Finalmente se califican las propuestas recibidas por las empresas licitantes, considerando los alcances y la profundidad de estas. Se finaliza el trabajo ejecutando un flujo de caja del proyecto con tal de analizar su factibilidad económica.

Abstract

The present work consists of designing an automation proposal for the loading island in the Concón and Maipú plants of Empresas Lipigas in Chile. The problem solving methodology called Define Measure Analyze Improve Control (DMAIC) is described, which will be key to identifying the origin of the problem that afflicts the cargo island.

For the design of the proposal, the current procedure for loading trucks in the most important plants of Empresas Lipigas and the use of automation instruments in the liquefied petroleum gas (LPG) transfer industry was recognized.

Then the key equipment for the development of the proposal was determined along with the requirements that the logic and control of the system or program to install must meet.

The proposal is validated by the project team of the company's Logistics and Operations Department.

Then a tender is developed for the future execution of the project. Upon receipt of the tender proposals, an economic analysis of the project is carried out, considering the potential savings from the release of LPG to the environment in the truck loading procedure.

Finally, the proposals received by the bidding companies are qualified, considering their scope and depth. The work is completed by executing a cash flow of the project in order to analyze its economic feasibility.

1. Introducción

Empresas Lipigas es una empresa nacional líder en la distribución y comercialización de energías limpias. Actualmente se encuentra radicada en tres países en Latinoamérica, con el nombre de Limagas en territorio peruano, Lídergas Chilco en Colombia y Lipigas en Chile, en donde concentra su mayor porcentaje de ventas.

La empresa está dedicada a entregar soluciones energéticas integrales a sus clientes: Gas licuado de petróleo (GLP). Gas natural por red (GN), Gas natural licuado (GNL), Gas natural comprimido (NC), y Energía Eléctrica.

La empresa, en su búsqueda de generar mayores ingresos y en reducir desperdicios operacionales, se ha concentrado en generar proyectos rentables y de retorno de inversión a corto plazo. Esta búsqueda de proyectos va de la mano con la digitalización de la empresa, lo que en su conjunto se autodenomina Lipigas 3.0.

En la línea de esta postura de la empresa, surge la posibilidad de modernizar uno de los canales críticos de venta, que corresponde a la carga y descarga de camiones graneleros y cisterna. El proceso se realiza en las plantas más importantes de la empresa, estando estas ubicadas en Concón, Maipú y Lengua.

1.1. Planteamiento del problema

Empresas Lipigas cuenta con 14 plantas de envasado a lo largo de todo el país, en todas ellas se inyecta gas licuado de petróleo (GLP). En todas las plantas se realizan cargas a cilindros de gas (balón de gas), pero solo en las más grandes se efectúa la carga de camiones granel y cisterna.

Las plantas con mayor capacidad de almacenamiento se encuentran ubicadas en Concón, Maipú y Lenga respectivamente. En ellas se encuentra determinada una zona exclusiva para la carga y descarga de producto en camiones cisterna y graneles, la cual es denominada como “Isla de Carga”.

El problema radica en el procedimiento de carguío de camiones que se desarrolla en las islas de carga, en donde para poder controlar el nivel del tanque que portan los camiones se debe utilizar un instrumento denominado “rotogage”, el cual libera producto (GLP) al ambiente durante su utilización.

Este desperdicio operacional es el problema en cuestión, el GLP que sale del camión no se recupera, generando pérdidas de producto en cada proceso de carga.

Bajo este contexto se define los objetivos del presente trabajo titulación.

1.2. Objetivos

El objetivo general del presente trabajo busca la automatización del proceso de carga de gas licuado de petróleo (GLP) de la isla en la planta Concón, de manera de optimizar los recursos globales evitando las pérdidas que deja el actual proceso.

Se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Establecer el estado del arte en la aplicación de instrumentos para el manejo de GLP en la industria.
- Definir el equipamiento técnico e instrumentación requeridos para el proceso de automatización (Válvulas, Controladores de flujo, PLC)
- Orientar y proporcionar las bases para la programación en PLC
- Evaluar técnica y económicamente la propuesta desarrollada para la isla de carga.
- Analizar el proceso de carga propuesto para su instalación en la planta Maipú

2. Antecedentes generales del GLP

2.1. Gas licuado de petróleo

El gas licuado de petróleo (GLP) es un tipo de combustible gaseoso, cuyos principales componentes son el propano y butano. Es un producto secundario, pues se obtiene como un subproducto de otros procesos, mayoritariamente de la extracción de gas natural y de la refinación de petróleo crudo. En condiciones normales de temperatura se encuentra en estado gaseoso y cuando se somete a presiones moderadas o se enfría, pasa a un estado líquido, reduciendo su volumen en más de 270 veces [19]. Esto facilita su transporte y almacenaje en distintos tipos de contenedores, como cilindros y tanques.

El GLP es un energético limpio y eficiente. En su combustión emite menor cantidad de residuos al ambiente, que otros combustibles como la leña, carbón, la parafina o el Diésel. Posee un elevado poder calorífico y un alto rendimiento, además, es una energía siempre disponible, permitiendo un suministro continuo hasta en los rincones más apartados del país. Gracias a su portabilidad, puede ser transportado vía terrestre, marítima o ferroviaria a cualquier lugar del planeta sin requerir de grandes inversiones en infraestructura de transporte para llevarlo al usuario final.

Se trata de una de las energías más polivalentes del mundo, con usos muy diversos en distintos sectores, atributo que posiciona al GLP como una fuente de energía clave en la construcción de una sociedad menos intensiva en carbono. Según, estadísticas de la Asociación Mundial de GLP (WLPGA) el sector residencial representa del orden del 44% del consumo mundial, en tanto al resto se utiliza en aplicaciones industriales, de transportes y agrícolas, así como en refinerías y procesos químicos, entre otras. [20]

Según la misma entidad, el gas licuado “es una energía excepcional utilizada por más de 1.000 millones de hogares en todo el mundo”, y su consumo permite ir sustituyendo otras energías más contaminantes, mejorando así la calidad del aire, la salud y el bienestar de las personas. [20]

Estados Unidos es el principal exportador mundial de GLP y Asia lidera el consumo global.

Adicionalmente, en el marco de la pandemia COVID-19, la WLPGA ratificó que, desde el comienzo de la pandemia, el GLP fue reconocido como esencial en casi todos los países del mundo, destacando la flexibilidad y fiabilidad de la cadena de suministro y del propio energético. [20]

2.2. Formato de comercialización GLP

2.2.1. Envasado de cilindros

Es la principal forma de distribución. Los “balones de gas” varían en tamaño dependiendo de las necesidades del cliente y pueden ser entregados en forma directa al usuario. En su mayoría, los cilindros que se venden en Latinoamérica son de acero, pero también circulan fabricados con poliestireno. Además de ser más liviano, este envase es translucido y permite ver cuanto producto queda en su interior.

2.2.2. Gas a medidor

Este formato está diseñado para suministrar GLP vía tuberías a múltiples puntos de consumo independientes desde una central de tanques en común (Ubicada en edificios, condominios, conjuntos habitacionales o pequeñas poblaciones), la que también es reabastecida de forma regular por camiones inyectoros. El medidor registra el caudal del gas que consume cada cliente y se efectúa una lectura mensual para su facturación.

2.3. Usos del gas licuado de petróleo

Los combustibles gaseosos, GLP y gas natural, constituyen una fuente de energía que puede ser utilizada para múltiples propósitos y en diversos sectores.

2.3.1. Domiciliario

El sector residencial es el mercado más grande en términos de consumo. Si bien los usos principales del gas en hogares son la cocción de alimentos, el calentamiento de agua sanitaria y la calefacción, también se está utilizando en artefactos que convencionalmente emplean otras fuentes de energía, como equipos de aire acondicionado y secadoras de ropa, entre otros.

2.3.2. Comercial

Se usa para el funcionamiento de calderas, hornos y equipos de calefacción en comercios de distinto tamaño, así como también, restaurantes, hoteles, establecimientos educacionales y de salud que puede abastecerse a través de redes, gas a granel o envasado en cilindros.

2.3.3. Industrial

En este sector el gas se utiliza para la producción de vapor, en tratamientos térmicos, generación aislada o cogeneración eléctrica y como combustible para motores, entre otras múltiples aplicaciones. Es una fuente de energía muy eficaz para las industrias que requieren potenciar su productividad y reducir su huella de carbono.

2.3.4. Transporte

El transporte es una de las principales fuentes de emisiones generadas por el hombre, afectando la calidad del aire y, en consecuencia, la salud para las personas. En este contexto, las energías alternativas de bajas emisiones, como el gas, están ganando cada vez más terreno en el mundo, ya que constituyen una opción eficaz para avanzar hacia la movilidad sostenible, generando beneficios ambientales y sociales a la población. Además de emitir menos partículas contaminantes y generar reducidas emisiones de dióxido de carbono (CO₂), el gas destaca por su relación costo-efectividad: Puede ser hasta 5 veces más eficiente que otros combustibles tradicionales.

2.4. Marco Regulatorio

En Chile, la superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) es la principal agenda pública responsable de supervigilar el mercado de la energía, y velar por el cumplimiento de las disposiciones generales legales, reglamentarias y normas técnicas.

En el caso del GLP y operaciones asociadas, la actividad se rige por el Decreto Supremo 108, relativo a la seguridad para las instalaciones de almacenamiento, el cual fue actualizado en 2013.

Por su parte, el marco regulatorio para la industria de gas por red está consagrado en la Ley de Servicios de Gas (Ley N° 20.999), publicada en febrero del 2017, que amplió su ámbito a la distribución de gas licuado a granel (tanques individuales). Mantiene la libertad tarifaria de los precios del gas y servicios afines que correspondan y contempla un proceso de fijación tarifaria para redes concesionadas en el evento de que una empresa exceda la tasa de rentabilidad máxima permitida, la cual fue fijada en 9% en general y en 11% para los primeros 15 años desde la construcción de las redes. La comisión nacional de energía (CNE) es el organismo público encargado de efectuar anualmente un chequeo de rentabilidad a las empresas concesionarias para determinar si exceder o no dicho límite. [18]

Adicionalmente, la Ley 20.999 introdujo mejores condiciones de competencia entre empresas distribuidoras de gas de red, concesionadas y no concesionadas, viabilizando el cambio de proveedor de los consumidores de gas (Natural y GLP) abastecidos con tanques en edificios, condominios y viviendas particulares, servicios que es, a su vez, regulado por el Decreto Supremo 67.

2.4.1. Normas aplicables

El marco normativo que encapsula el uso y distribución de gas licuado de petróleo se rige de la siguientes normativas locales y extranjeras vigentes en nuestro país.

- Decreto Supremo, DS 108 Of 2014, Ministerio de Energía. Reglamento de Seguridad para las instalaciones de Almacenamiento, Transporte y Distribución de Gas licuado y Operaciones Asociadas.
- Norma de EE. UU. de NA, NFPA 58 versión 2004, National Fire Protection Association, Código del Gas Licuado de Petróleo.
- Norma de EE. UU. de NA, NFPA 59 Utility LP-GAS Plant Code versión 2004.
- Norma de EE. UU. de NA, NFPA 70 versión 2011, National Fire Protección Association, Código Eléctrico Nacional de EE. UU.

3. Metodología de trabajo

Kaizen y kaikaku son conceptos que provienen de la filosofía de producción japonesa. Ambos tienen su origen en el sistema de desarrollo Toyota. El término kaikaku se aplica a todos aquellos cambios que traen consigo una innovación y kaizen, por el contrario, a los cambios menores, mejoras, que se dan continuamente.

3.1.1. Kaizen para la mejora y resolución de problemas

El proceso que se lleva a cabo de manera ininterrumpida se utiliza para mejorar un proceso empresarial. La palabra podría traducirse como “mejora continua”, aplicada de una forma gradual y ordenada que implique a toda la plantilla. Se trata de una herramienta muy eficaz a la hora de mejorar un proceso sin que sea necesario realizar grandes inversiones de capital. [13]

Las actuaciones kaizen son muy rápidas y efectivas en aquellos procesos de mejora. Tienen un principio y final claros, así como un equipo entregado y decidido a mejorar un rendimiento deficiente o solucionar un problema que aparece de forma reiterada.

Se recomienda, durante la actuación kaizen, utilizar el método DMAMC:

- **Definir** el problema o la situación que cabe mejorar.
- **Medir** la situación mediante la obtención de datos para comprender mejor el proceso.
- **Analizar** la causa raíz, así como las principales limitaciones.
- **Mejorar** la situación mediante actividades que permitan atenuar o resolver el problema.
- **Controlar** la situación desarrollando medidas con las que mantener los resultados.

3.1.1.1. Beneficios de las actuaciones Kaizen

- Promueven el crecimiento personal de la plantilla y de la empresa en su conjunto.
- Mejoran la calidad, la seguridad, la estructura de costos, la entrega, el entorno, el rendimiento, el servicio y la satisfacción del cliente.
- Orientan a las personas y sirven como un barómetro para el liderazgo.

- Reducen el tiempo de respuesta a los clientes.
- Mejoran la distribución del espacio.
- Mejoran el rendimiento de los equipos.
- Mejoran la comunicación.
- Aumentan la capacidad de atención al cliente.
- Mejoran la seguridad y la ergonomía del trabajo.
- Rompen paradigmas.

3.1.2. *Kaikaku* para la innovación

La palabra japonesa *kaikaku* podría traducirse como “cambio innovador en el sistema”. A menudo, el *kaikaku* se lleva a cabo a iniciativa de la administración de la empresa, ya que el cambio y el resultado posterior tendrán un impacto comercial significativo. Se trata de introducir una nueva estrategia, un nuevo enfoque, unas técnicas de producción o unos equipos nuevos. Su origen puede hallarse en factores externos o bien después de que se llegue a la conclusión de que el método *kaizen* ha dejado de funcionar. [14]

En función del grado de innovación, pueden distinguirse diversos tipos de proyecto *kaikaku*:

- **Innovación baja:** Se implementan métodos o tecnologías ya conocidos en el mercado o en el mundo de los negocios, aunque no en la empresa. El costo es bajo y las ganancias altas.
- **Innovación alta:** Se desarrolla una nueva tecnología o un método en el seno de la empresa que, hasta el momento, son desconocidos en el mercado.

Con el método *kaikaku*, suelen realizarse varios proyectos en paralelo, ya que el impacto de los cambios afecta a toda organización. Con todo, conviene saber que los resultados no se apreciarán de inmediato. Tal situación es muy distinta de las actuaciones *kaizen*, en las que, tras ejecutarse un proyecto, se observa una mejora inmediata.

Asimismo, hay que disponer en todo momento de una serie de indicadores que se habrán acordado previamente con los que discernir el progreso del proyecto y las mejoras implementadas.

3.1.2.1. *Kaikaku*: El método DMADV

- **Definir:** Se establece el problema o solución que debe mejorarse.
- **Medir:** Se obtienen datos y se entiende el proceso.
- **Analizar:** Se identifica la causa raíz, así como las limitaciones principales.
- **Diseñar:** Se diseña o se rediseña el producto, el servicio o los componentes.
- **Validar:** Se comprueba si el diseño cumple con las especificaciones.

3.1.2.2. Tipos de eventos de *kaikau*

- Diseño de nuevos productos.
- Diseño de nuevos servicios.
- Diseños de nuevas plantas.
- Rediseño de productos actuales.
- Puesta en común de los puntos más importantes a la hora de analizar competidores.
- Diseño para la fabricación de productos y piezas.
- Test de productos en el mercado.
- Desarrollo de nuevos conceptos para nuevos modelos de negocios.
- Rediseño de un proceso completo de principio a fin.

3.1.3. Ciclo PDCA / DMAIC

Dentro de las técnicas de calidad se considera que el análisis mediante el ciclo PDCA, conocido como círculo de Deming, es una de las técnicas fundamentales a la hora de identificar y corregir los defectos. El ciclo planificar-ejecutar-verificar-actuar debe guiar todo el proceso de mejora continua, tanto en mejoras drásticas o radicales como en las pequeñas mejoras: P (plan), diagnosticar los problemas, definir los objetivos y la estrategia para

abordarlos; D (do), llevar a cabo el plan, C (control), analizar resultados; y A(act), ajustar aprender de la experiencia, sacar conclusiones y realizar una nueva P o pasar la S, al estándar, si se han cubierto los objetivos. []

La metodología de aplicación del ciclo PDCA puede resumirse en los siguientes pasos:

- **Analizar la situación inicial:** La herramienta a aplicar en el análisis inicial puede ser un cuestionario de satisfacción del operario y una visita al lugar de trabajo, tomando fotografías con la finalidad de mejorar el control visual.
- **Planificar y estudiar la viabilidad:** Una vez finalizado el análisis se analizan los resultados obtenidos, se detectan los puntos de mejora y técnica a utilizar. En esta fase se crean los indicadores y se definen los objetivos.
- **Seleccionar línea/área piloto:** Se elige una línea o área piloto para la mejora, valorando la viabilidad económica y técnica, así como el cumplimiento de los estándares de calidad. En caso de que las mejoras no sean viables se buscarán otras posibilidades.
- **Implantación inicial en línea piloto:** Después de seleccionar una línea se implantan todas las mejoras más adecuadas para cada situación particular.
- **Formar al personal:** Una vez implementadas las mejoras se realiza la planificación de la formación de todo el personal con el fin de incrementar su capacitación y motivación.
- **Verificar la efectividad de las mejoras:** Se vuelven a utilizar las técnicas definidas para evaluación inicial con el fin de volver a obtener nuevos valores de los indicadores y, de esa manera, ver si se han logrado los objetivos propuestos. De no ser así se investigarán las causas y se volverán a realizar nuevas propuestas.
- **Planificar el trabajo en el resto de las líneas o áreas de producción:** Las mejoras estandarizadas en la línea piloto se implementarán en el resto de la línea de empresa.

3.1.4. Cinco preguntas

Esta metodología consta de cinco preguntas que deben realizarse para identificar algún factor o cualquier condición que provoque un problema de los procesos productivos. Se les llama 5 W porque son preguntas que se realizan en idioma inglés y es la letra inicial de cada una de estas preguntas [17]:

- (What) ¿Qué problema o síntoma ocurre?
- (Where) ¿Dónde sucedió?
- (Who) ¿Quién estuvo involucrado y posee más información?
- (When) ¿Cuándo sucedió?
- (Which) ¿Cuál es la tendencia o patrones evidentes?

4. Procesos de carga de GLP en la industria

Empresas Lipigas desarrolla su negocio en un mercado altamente competitivo en los tres países en los que opera. En específico, para la venta y distribución de GLP en Chile, Lipigas compite con grandes empresas, como lo son Abastible S.A. (filial de Empresas Copec) y Gasco GLP S.A. (filial de empresas Gasco), todas cuentan con una cobertura a nivel nacional.

En cuanto a la adquisición de la materia prima, Lipigas se abastece principalmente de GLP importando vía marítima, que para el año 2020 significó un 68% de las 480.819 toneladas compradas en el ejercicio. El resto fue adquisición terrestre (8,8%) y compras locales, tanto terrestre (20%) como marítimas (2,6%). [21] Una de las empresas proveedoras de la competencia es GASMAR, la cual compra gas licuado de petróleo desde el extranjero, principalmente EE. UU., para abastecer a Gasco y Abastible, con un 63,75% y 36,35% de lo almacenado anualmente respectivamente. [22]

Lipigas concentra un 35,5% de participación de mercado en Chile con sus 480 mil toneladas vendidas al año. Este grueso volumen de ventas se concentra en un 63% en la distribución de GLP envasado en “balones de gas”. Las 14 plantas de envasado y almacenamiento deben inyectar 302 mil toneladas del producto en el año, siendo las más grandes, tanto en inyección como en almacenamiento, las plantas de Maipú, Concón y Lenga [21]. Estas 3 son las más grandes dada a la concentración demográfica de la región Metropolitana región de Valparaíso y región de Biobío. En específico la Planta Concón en la segunda en mayor cantidad de inyección, pero la primera en almacenamiento, contando con 15 tanques con capacidad de 400 [m³], 12 tanques de 100 [m³]y 4 estanques de 160 [m³] especiales para gas catalítico.

Dado el volumen de “balones de gas” que se deben inyectar diariamente, y con tal de abastecer a las centrales de distribución, se instalaron equipos e instrumentos que permitieron en el año 1998 automatizar el proceso de carga de los cilindros de 5 y de 15 kilos en las plantas Maipú y Concón.

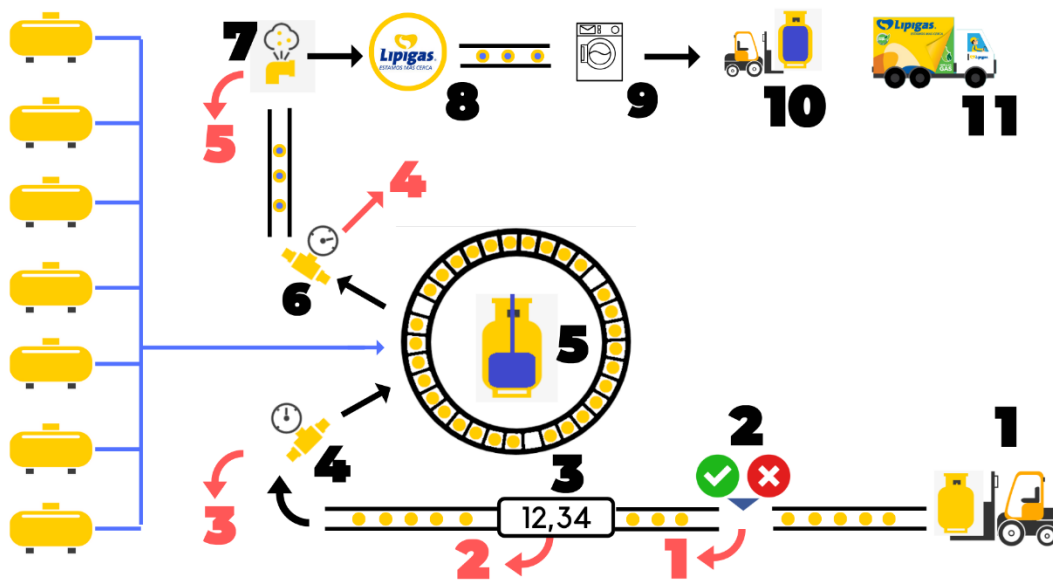


Figura 4.1. Plataforma de envasado Planta Concón, Elaboración Propia . Diagrama Planta de Envasado; 1. Ingreso de cilindro en pallets 2. Detectora de Ovalidad 3 Ingreso de Tara 4. Control de peso. 5. Inyección de GLP 6. Control de Peso 7. Detectora de fuga 8. Colocadora de sellos 9. Lavado de Cilindros 10. Retiro de cilindros 11. Distribución. Flechas rojas representan salidas del sistema.

Automatizar este proceso requirió crear una lógica, que le permitiera a un controlador lógico programable manejar la operación de manera eficiente y segura. El procedimiento que se instaló en ese tiempo fue adaptado según modelos que ya se estaban utilizando en otras partes del mundo. Sin ir más lejos, una empresa internacional especializada en el manejo e inyección, como lo es SIRAGA, fue la encargada de elaborar la ingeniería y llevar a cabo la instalación de los equipos más críticos.

Dado a que el producto que se inyecta y traslada es gas licuado de petróleo, toda la zona de inyección es considerada de riesgo de explosión, por lo que todos los equipos deben cumplir con las normas internacionales y nacionales para su uso en zonas de este tipo. Cada uno de ellos se puede denominar hermético, los cuales no desarrollarán ninguna chispa que

podiera implicar algún posible foco de ignición. Todos los cilindros y brazos hidráulicos no trabajan con actuadores eléctricos, esto con el fin de evitar cualquier tipo de accidente. Todos los equipos hidráulicos son activados por actuadores neumáticos.

El sistema en sí mismo consta de pallet, que tienen la capacidad de movilizar 36 cilindros de 15 kilos, los que son llevados por una grúa horquilla hasta la paletizadora. De ahí en adelante un brazo hidráulico desplaza los cilindros hasta la línea de trabajo. Una vez allí el PLC controla el paso de los cilindros en cada una de las estaciones, siendo las más significativa de estas el carrusel de inyección (posición #5 en la Figura 4.1)

El pasar de la carga manual en romanas de inyección, a un sistema automatizado de carga le permitió a la empresa tener un mejor control de la productividad, además, el actualizar los equipos implicó el bajar la cantidad de accidentes por fugas de GLP. Estas mejoras permitieron a la empresa el poder competir en igualdad de condiciones con sus competidores más cercanos, los cuales hoy en día cuentan con el mismo proceso de carga de “balones de gas”.

Por el lado del segundo modelo de ventas de la empresa, la inyección y distribución de GLP a través de camiones a granel concentra el 37% de las ventas de la empresa en los que a GLP refiere. El modelo consta de inyectar el producto a camiones graneleros y cisternas en una zona específica de la empresa, a la cual se le denomina “isla de carga”. Luego de la inyección los camiones se dirigen a abastecer plantas más pequeñas o a recargar tanques particulares. Estos tanques hoy en día se rigen por la Ley N° 20.999.

Para desarrollar el negocio de venta a granel, la compañía operó 91 camiones graneleros a lo largo de todo el país en el año 2020 [20]. En lo que a la inyección se refiere, esta se desarrolla en la isla de carga que cada planta. En particular en planta Concón, donde se desarrolla la presente propuesta de automatización, no cuenta con instrumentos de control que le permitan conocer el flujo de carga del producto en cuestión. El proceso en pocas palabras (el proceso será detallado más adelante en el documento) consiste en la llegada de un camión que desea cargar en la isla, a este se le registra su peso inicial, el cual es medido por una romana de pesaje en la isla. Luego este da paso a un andén en específico en donde se acoplará a mangueras que le permitirán cargar. Finalizada la carga se registra el peso final,

y la diferencia con el inicial arrojará la cantidad de kilogramos que serán vendidos o registrados por la empresa.

Este proceso no se encuentra actualmente automatizado en ninguna de las plantas de la competencia nacional (Gasco y Abastible). Las tres empresas utilizan el mismo método para la carga de camiones.

Dentro del mercado nacional si hay una empresa que ejecuta un proceso automatizado de carga de camiones con GLP. GASMAR S.A. es una empresa que se dedica al traslado de gas licuado de petróleo. Su isla de carga se encuentra automatizada desde el año 1998, lo cual fue posible en gran medida gracias a que manejan camiones del modelo y capacidad de almacenamiento, a diferencia de Lipigas y la competencia, las cuales manejan camiones con múltiples capacidades.

Dentro de la planta Concón, en empresas Lipigas, hay operadores que trabajaron antes en GASMAR S.A. , detallaron su experiencia en reuniones que se llevaron a cabo junto a ellos.

5. Proceso de carga de GLP en planta Concón

5.1. Condición actual

Con el objetivo de determinar los equipos e instrumentos que serán necesarios para la automatización del proceso de carga de GLP, se procede a conocer en profundidad el procedimiento actual. La carga y descarga de camiones cisterna y granel se realiza en todas las plantas de abastecimientos de la empresa. Para una mejor comprensión es necesario precisar la diferencia entre ambos tipos de camiones:

- Camión Cisterna: Camión que cuenta con un tanque de almacenamiento destinado al transporte de GLP, sean estos camiones remolques, semirremolques o combinación de ellos. Su capacidad de almacenamiento es superior a 23 [m³].
- Camión Granel (Granelero): Camión que cuenta con un tanque de almacenamiento destinado al transporte de GLP, son camiones rígidos. Su capacidad máxima de almacenamiento es de 23 [m³]

En cada planta se cuenta con dos tipos de operadores distintos que permiten de manera coordinada la ejecución de los procedimientos de carga. Estos son los operadores de la isla de carga, quienes son los encargados de realizar las tareas de acoplamiento de manera directa con el camión. Lo sigue el operador de la zona de tanques, quien tiene como labor el controlar los flujos de entrada y salida de los tanques de la empresa.

En la Figura 5.1 se presenta una imagen satelital de la planta Concón de Lipigas.



Figura 5.1. Mapa planta Concón, zona roja: Isla de carga; zona amarilla: Plataforma de envasado; zona Blanca: Zona de tanques. Elaboración Propia en Base a Imagen Satelital Google Maps

Cabe destacar que existe un protocolo de carga y descarga de camiones graneleros y cisterna que debe ser ejecutado por todas las plantas de la empresa. En específico para la planta Concón y Maipú, dado su mayor circulación de camiones diarios, cuentan con una romana de pesaje ubicada antes de ingresar a las islas de carga. Esta romana facilita el procedimiento, el cual será detallado a continuación.

5.2. Procedimiento actual en isla de carga

Dentro de la empresa, el proceso de carga y descarga de GLP en camiones graneleros y cisterna es considerado crítico, esto dado a que involucra aspectos de riesgo que deben ser controlados antes, durante y después de la operación, con tal de mantener un ambiente seguro y controlado en todo momento. El procedimiento consta de tres fases esencialmente; revisión de entrada; carga o descarga de GLP y revisión de salida. En la Figura 5.2 se presenta un diagrama con el procedimiento de carga.

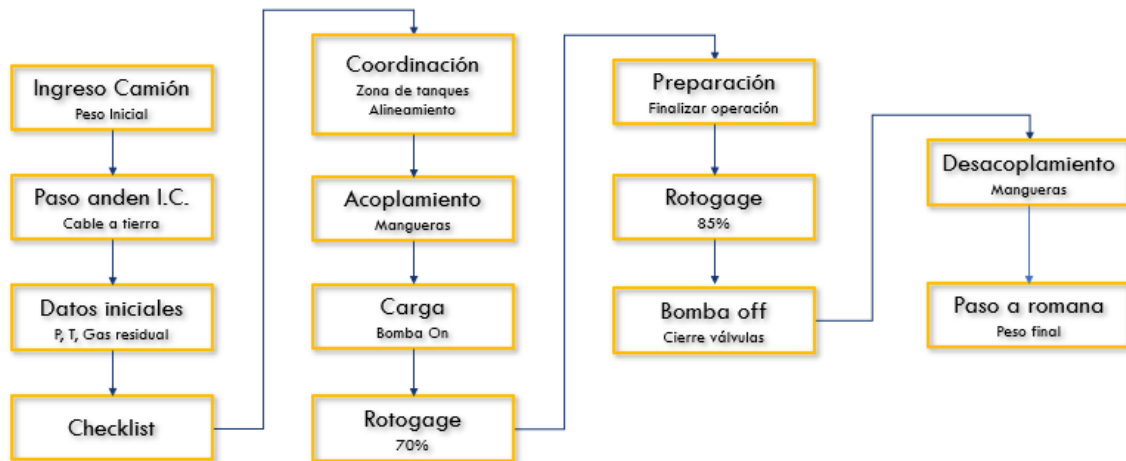


Figura 5.2. Diagrama procedimiento actual isla de carga, Elaboración propia

5.2.1. Componentes involucrados en la operación

Antes de continuar con la descripción de los pasos a seguir en el proceso de carga, es necesario especificar los elementos que son primordiales para el desarrollo del proceso.

5.2.1.1. Isla de carga

Lugar definido por la empresa para realizar la carga y descarga de GLP. Este se compone por andenes, los cuales son espacios físicos delimitados. Cada andén debe contar con un atril para mangueras, el cual funciona como apoyo para evitar el deterioro en las mismas. Esta área cuenta con las protecciones físicas para evitar daños ante posibles colisiones de camiones con elementos de trabajo.

5.2.1.2. Mangueras

Cada uno de los andenes está provisto de tres mangueras, dos de ellas son para el paso de líquido y una para el paso de vapor, con sus respectivas válvulas correspondientes. Además, en planta Concón cuentan con un retorno de líquido y vapor para el producto encapsulado en las mangueras luego de la carga.

5.2.1.3. Válvulas

Dentro de la isla de carga y dependiendo de cada planta en particular se pueden encontrar dos tipos de válvulas de apertura y cierre. Estas pueden ser válvulas de globo o válvulas de bola.

5.2.1.4. Válvula de emergencia Pull-Away

Este tipo de válvula fue diseñada para brindar seguridad en las operaciones de suministro de líquido, en este caso GLP. Consta de dos cuerpos, a los cuales se le puede nombrar cuerpo macho y cuerpo hembra. En medio de ellos se encuentra un anillo de cierre y los pistones, que es el que empuja las bolas de acero inoxidable que traban la unión. Estas válvulas ofrecen la posibilidad de desconexión automática entre el contenedor o surtidor y la boca de carga cuando se produce un aumento de tensión en la línea de abastecimiento. La parte macho de la válvula se separa de la parte hembra, impidiendo fugas de producto y potenciales daños a la instalación.

5.2.1.5. Descarga a tierra

En términos eléctricos, es un conductor de protección sobre la tensión (ver Figura 5.3. En términos más prácticos, es el cable por donde salen las descargas eléctricas. Cada vez que llega un camión al andén se debe conectar el cable al camión, a fin de liberar la electricidad estática que pueda estar contenida en el tracto.



Figura 4.3. Foto cable a tierra en isla de carga, fotografía tomada día 19 de noviembre 2020.

5.2.1.6. Compresor

El compresor este encargado de aumentar la presión de algún fluido comprensible, como lo son los gases y vapores. Este compresor puede succionar o comprimir según el tipo de operación que se esté efectuando, la cual estará definida por la válvula de 4 vías presente en el compresor.

5.2.1.7. Bomba

Máquina que absorbe energía mecánica proveniente de un motor eléctrico o térmico, y que transforma en energía que transfiere a un fluido desplazándolo según los requerimientos del proceso. Este cuenta con un retorno que redirecciona el fluido a través de un by pass automático, el cual se activa ante cualquier sobrepresión anómala a la operación.

5.2.2. Revisión de entrada

- Todo operador de la isla de carga y conductor de camiones deberán usar los elementos de protección personal correspondientes; zapatos de seguridad; guantes de seguridad; ropa de trabajo; careta facial; chaleco reflectante; protección auditiva; casco.
- Los camiones deben tararse al ingreso de la instalación en la romana de pesaje.
- El conductor de camión granel o cisterna que ingresa a la isla debe estacionarse en el andén señalado por el operador de la isla. Luego el conductor debe permanecer en las cercanías del camión o dentro del mismo si así lo estima.
- Una vez estacionado el camión con las indicaciones previas del operador de la isla, el conductor debe detener el motor, accionar el freno a mano, cortar la corriente del camión y bajar un extintor. El operador de isla debe colocar las cuñas en el eje trasero, conectar las tenazas de cable a tierra y tener a la mano un extintor de la empresa.
- Para camiones graneleros: Chequear la patente del camión en el listado de camiones para revisión mensual o quincenal de mantenimiento. Si al momento de hacer la revisión, el camión no se encuentra con su última mantención quincenal al día, no se prosigue con el procedimiento hasta que el camión haya aprobado su mantención correspondiente.

- Cuando un camión, ya sea granelero o cisterna, haga ingreso a la isla debe pasar por el registro diario de ingreso, que al completarlo debe ser firmado por el operador de la isla y el conductor del camión.
- Finalizados los seis pasos anteriores, se procede a iniciar la carga o descarga, pero para efectos de este documento solo se describirá el proceso de carga de camiones.

5.2.3. Carga de GLP

Antes de iniciar la carga de GLP en un camión granelero o cisterna, se debe haber aprobado el registro de revisión diaria de seguridad de camiones graneleros y/o cisterna. Luego se deben continuar los siguientes pasos:

- Definir el tanque de almacenamiento desde donde se desplazará GLP para cargar el camión.
- Verificar el porcentaje de llenado inicial del camión. La medición del nivel de llenado debe realizarse a través de los rotogage instalados en los camiones.
- Registrar los datos de porcentaje de llenado, temperatura, presión y densidad iniciales.
- Para camiones graneleros, cerrar la válvula de retorno manual y quitar la tapa de conexión a líquido, además quitar la tapa de solo una manguera de líquido.
- Para camiones cisterna, quitar cuidadosamente las tapas de conexión a líquido y vapor, además quitar las tapas de líquido y vapor en las mangueras correspondientes.
- Acoplar las mangueras correspondientes, solo una de líquido en camiones graneleros, dos de líquido y una de vapor para camiones cisterna. Ambas verificando el estado del hilo y goma de ajuste.
- Efectuar la apertura de válvulas, desde el camión hacia la bomba a utilizar para la carga. Es importante para este proceso el asegurar que ambos retornos de bomba (manual y automático) estén funcionando de manera correcta, y que el líquido hacia el tanque se encuentre alineado.
- Colocar manilla del rotogage en posición 5% por debajo del porcentaje final de carga (Este porcentaje nunca debe superar el 85%). Se debe abrir el spitch, el cual

permitirá la salida de gas o líquido, este servirá de guía para alertar al operador cuando el tanque del camión este alcanzando el porcentaje final de llenado

- Activar la bomba para iniciar carga de GLP. El operador debe permanecer atento a cualquier tipo de fuga. En caso de detectar alguna se debe suspender el bombeo y verificar los acoples o válvula donde se origina. Si persiste la bomba el operador debe dirigirse a informar a su jefe directo o encargado de mantención.
- El operador debe mantenerse atento al proceso de carga de GLP, en ningún momento podrá abandonar la isla de carga. Durante el proceso verificará constantemente la presión interna del tanque del camión mediante la lectura del manómetro, con la finalidad de detectar algún aumento de presión anómalo. Ante presiones mayores o iguales a 200 psi la operación se debe detener de inmediato.
- Cuando el porcentaje de llenado llegue a la posición de 5% por debajo del porcentaje final de carga, comenzará a salir GLP en estado líquido por el spitch del rotogage. En ese momento el operador debe cerrar el spitch, luego ubicar la manilla en el porcentaje final de carga y volver a abrir el spitch.
- Cuando se haya alcanzado el porcentaje final de carga, máximo 85% para camiones graneleros y porcentaje máximo calculado en caso de camiones cisterna, comenzará a salir GLP en estado líquido del spitch del rotogage. El operador deberá estar atento a este suceso para cerrar el spitch de manera rápida.
- Cerrar la válvula de la manguera de carga de GLP. Inmediatamente el flujo de GLP comenzará a retornar al tanque de almacenamiento a través del retorno de líquido.
- Verificar que el porcentaje de carga fue alcanzado, en caso negativo, volver a calibrar el rotogage en el porcentaje final deseado. En caso positivo, cerrar spitch y dar aviso para apagado de bomba.
- Cerrar las válvulas: Carga del camión, piping hacia la bomba y bomba hacia tanque, incluyendo los retornos.
- Recuperar GLP que haya quedado en el tramo existente entre la válvula de carga del camión y la válvula de la manguera.

- Desacoplar las mangueras del camión. Lentamente para verificar que todo el GLP fue recuperado durante el paso anterior. Luego se ubican en el atril correspondiente al andén.
- Colocar las tapas de seguridad de conexión de carga de camión y en las mangueras desacopladas

5.2.4. Revisión final de salida.

- Verificar ausencias de fugas de GLP en la caja de válvulas y bomba del camión con solución jabonosa. En el caso de detectar una fuga con el camión ya cargado se debe notificar inmediatamente al supervisor, el camión no podrá salir si tiene alguna fuga.
- Registrar los datos de porcentaje de nivel, temperatura, y presiones finales. Cerrar las puertas de la caja de válvulas.
- En caso de salida de camiones cisterna, se debe colocar el sello en las puertas de las válvulas.
- Quitar la conexión de cable a tierra.
- Quitar las cuñas.
- Conductor debe guardar el extintor.
- Informar al conductor que está habilitado para salir. Éste se dirigirá hacia la romana de pesaje.

5.2.5. Consideraciones en despacho de GLP

Actualmente en empresas Lipigas en Chile se tienen dos vías para efectuar administrativamente el despacho de un camión granelero y/o cisterna, la elección de una u otra dependerá de cómo se encuentre configurada la planta. Existen dos métodos, romana de pesaje o Medisap.

Se definen los siguientes términos para un mejor entendimiento del proceso:

- Sistema tara fija: Registro de tara que aplica para camiones que trabajen en circuito cerrado, siendo la referencia el camión con 40 psig con media carga de combustible y solo un tripulante. Este registro debe ser actualizado cada 6 meses.

- Diferencia de recepción interna: Es la diferencia entre los kilos que figuran en la guía del camión cisterna que se recepciona y los kilos realmente recibidos, está calculada por la diferencia en el peso de entrada y salida de la romana posterior a la carga. Los kilos realmente recibidos deben quedar registrados en la plataforma SAP.
- Sistema Romana: Este sistema requiere que el camión sea pesado a su llegada y al salir.
- Sistema Medisap: Este sistema requiere que sean tomados los parámetros iniciales y finales del camión.

Para efectos prácticos, las plantas en donde se evaluará la propuesta de automatización cuentan ambas con romana de pesaje. Sin embargo, en plata Maipú cuentan con el sistema de tara fija para camiones graneleros de circuito cerrado. En tanto para planta Concón se cuenta con el sistema de pesaje en romana (ver Figura 5,4), el cual se puede resumir en grandes rasgos de la siguiente manera:



Figura 5.4 Romana de pesaje y sala de supervisión, Fotografía captada 19 noviembre 2020.

Recepción vía Romana:

- Pesar el camión
- Camión: Tomar datos como son porcentaje de gas residual, presión, temperatura del camión.

- Tanque: Tomas densidad observada + temperatura observada del GLP del tanque de origen.
- Cargar GLP
- Reposar camión granelero 5 minutos (10 minutos para camión cisterna)
- Tomar datos de porcentaje de gas residual, presión y temperatura.
- Pesar el camión
- Emitir guía de despacho.

5.3. Definición de la problemática en la carga de GLP

Una vez ya en conocimiento del procedimiento que se realiza diariamente en las islas de carga, es posible definir la problemática. Se define como un problema sistémico causado por sistema, procedimientos o equipamiento inadecuado.

Adicionalmente, los problemas pueden dividirse en problemas esporádicos y en problemas crónicos. Los primeros tienen una causa simple o múltiples de ellas, en el caso crónico tiene una combinación compleja de causas.

Finalmente se define la fuga de gas por la utilización de los rotogage como un problema sistémico y crónico. Para desarrollar y encontrar el origen del problema se utilizará el método 5W, el cual consiste básicamente en responder cinco preguntas que permitirán encausar la solución. Luego se desarrollará la metodología 5 porqué para encontrar el origen del problema

5.3.1. Método 5W

5.3.1.1. ¿Qué problema o síntoma ocurre?

Se libera el producto (GLP) que comercializa la empresa durante el proceso de carga de camiones. Esta liberación es de treinta o cuarenta cinco minutos dependiendo si el camión cargado es granelero o cisterna.

5.3.1.2. ¿Dónde sucedió?

En los andenes de la isla de carga de las plantas Concón y Maipú

5.3.1.3. ¿Quién estuvo involucrado y posee más información?

Los operadores de la isla de carga, y el supervisor de la isla es quien posee mayor cantidad de información

5.3.1.4. ¿Cuándo sucedió?

Sucede todos los días en que se encuentra en operación la isla de carga. Actualmente se cuenta con un flujo diario de 13 camiones graneleros y 7 cisternas.

5.3.1.5. ¿Cuál es la tendencia o patrones evidentes?

No existe tendencia o patrón dado a que la fuga del producto esta dictada por el procedimiento de carga de camiones.

5.3.2. 5 ¿Por qué?

Este método consiste en encontrar el origen del problema mediante la repetición del porqué del problema durante 5 ocasiones.

5.3.2.1. ¿Por qué se libera producto durante la carga de camiones graneleros y cisterna?

Se libera parte del producto inyectado durante el proceso de carga, debido a que se utiliza un instrumento denominado rotogage, el cual se encuentra presente en todos los camiones graneleros y cisternas que ingresan a la isla de carga.

5.3.2.2. ¿Por qué el rotogage libera producto?

El instrumento es calibrado de manera manual. La calibración permite bajar o subir un tubo presente dentro del tanque, representando la altura de este tubo el nivel de líquido que se señala. El instrumento cuenta con un seguro, el cual bloquea el paso del producto mientras este se encuentre cerrado. Al abrir el despiche, el rotogage empezará a liberar al exterior el producto del nivel señalado, ya sea este se encuentre en fase líquida o gaseosa. Como la utilización de este instrumento se realiza durante la carga, el producto en estado líquido ira subiendo gradualmente su nivel dentro del tanque de almacenamiento. Cuando el líquido se

aproxime al nivel calibrado por el rotogage, el gas liberado empezara a cambiar su sonido de despiche gradualmente, hasta que eventualmente el líquido alcance tal nivel, y por lo tanto el despiche en vez de liberar gas empieza a liberar líquido.

5.3.2.3. ¿Por qué es necesario el uso del rotogage?

El uso del rotogage es necesario para controlar el nivel de líquido de los camiones, ya sea previa o durante la carga del producto. El nivel de líquido es crítico en el proceso, dado que en primer lugar corresponde a la meta de carga por camión. En el proceso siempre se desea cargar un porcentaje del almacenamiento máximo, y esto está indicado por el nivel de líquido cargado. Segundo, para evitar un sobrellenado del camión, ya sea superar la meta, el 85% máximo o un sobrellenado completo del tanque de almacenamiento.

5.3.2.4. ¿Por qué actualmente no existe otro método de control para la carga de camiones?

Dado que durante todo el proceso de carga no se tienen datos de cuanta masa está entrando ni su velocidad. Desde que el producto es liberado desde los tanques de almacenamiento, hasta que ingresa finalmente al camión, no se tiene un dato concreto más que la bomba que impulsa al producto. Esta condición de incertidumbre vuelve indispensable la utilización del rotogage con tal de controlar la carga que viene entrando al camión.

5.3.2.5. ¿Por qué no se instalan más quipos o instrumentos que permitan el control del producto?

Hasta la fecha no se tenía estaba pensado incorporar instrumentos que permitan el control del flujo. Anteriormente no se habían calculado las pérdidas operacionales ni considerado las oportunidades de instalar tales equipos.

Gracias a la metodología de preguntas utilizada previamente, se establece como objetivo el dejar de liberar producto al ambiente durante la operación manual de carga (ver uso de rotogage en Figura 4.5) de camiones cisterna y granelero en las islas de carga de la empresa.



Figura 4.5. Detalle rotogage [31]

5.4. Medición de indicadores del proceso de carga.

Continuando con el análisis con la metodología DMAIC, luego de definir el problema se procede a medir y a cuantificar los impactos que se generan por efecto de la problemática.

La visualización de los KPI de cualquier proceso u operación permite el análisis de objetivos y metas de producción. Estos son fundamentales para el trabajo de la mejora continua de los procesos. Lamentablemente, en la isla de carga de empresas Lipigas no se cuenta con indicadores propios del proceso de carga. Esto limita el análisis del proceso en sí mismo, dejando solo como indicador u objetivo el cargar todos los camiones que llegan diariamente a la isla, sin enfocarse necesariamente en los tiempos y en la eficiencia de la carga.

Los datos que son importantes en la línea de producción, los cuales fueron analizados luego de la observación del procedimiento de carga y en vista del flujo de proceso, se presentan a continuación

5.4.1. Peso del camión

Este peso corresponde a cuanto masa el camión cuando no contiene ningún producto en su tanque de almacenamiento. A este peso lo podemos definir como “peso de tara”, similar al formato utilizado en los “balones de gas”. Este dato no es nuevo para la empresa, en planta Maipú ya se cuenta con el peso de tara de los camiones. Sin embargo, este peso no siempre resulta ser del todo exacto, el combustible utilizado para el funcionamiento del motor del camión influye en el peso del vehículo, por ende, en el peso de tara. Para solucionar esta variación de peso se determinó masar los camiones cuando estos estuvieran con el estanque de combustible a la mitad de su capacidad, dejando esta variación en un punto medio.

5.4.2. Peso inicial del camión al ingresar a la isla de carga

Este peso es cuantificado en la actualidad por la romana de pesaje ubicada en frente a las islas de carga. Como ya se detalló en el procedimiento, esta romana permite determinar cuánto producto se cargó desde los tanques de almacenamiento, lo que permite hacer un control de existencias. Si se cuenta con el peso de tara del camión, es posible determinar la cantidad de kilogramos correspondientes al gas residual. Este es un cálculo sencillo de gran utilidad para la operación, ya que gracias a él es posible calcular cuánto producto debe ingresar al tanque de almacenamiento del camión en cuestión.

5.4.3. Tiempo de carga

El tiempo que se emplea para completar una operación de carga de camiones no se encuentra cuantificada en el proceso. Este tiempo no se controla ni se encuentra dentro de observación para la producción. El optimizarlo es clave para aumentar la cantidad de carga de camiones durante el día. Con tal de estimar las pérdidas por concepto de deshecho operacional se debió determinar el tiempo en que demoran en completar una carga. Dada la falta de datos, y a la variabilidad en los tiempos de carga, ya que cada camión tiene una capacidad de tiempo particular, y por ende distinto tiempo de llenado, se decidió establecer los tiempos de carga mediante la experiencia de los operadores y supervisores, quienes establecieron como tiempo promedio de carga 30 minutos para camiones graneleros y 45 para camiones cisterna, solo considerado desde el momento en que se enciende hasta que se

apaga la bomba. El tiempo que se toma desde que el camión ingresa al andén hasta que se marcha será considerado en la propuesta, mas no se utiliza actualmente dentro del proceso.

5.4.4. Rotación de camiones

Para la Gerencia de Logística y Operaciones de la empresa es fundamental estar en conocimiento de la cantidad de camiones que llegarán diariamente a las islas de carga. Este dato es manejado actualmente por el Departamento de Transportes, el cual habilita o imposibilita el acceso de algún camión para completar el procedimiento de carga o descarga según corresponda. Esta gestión y logística organiza los tiempos de llegada de camiones, con tal de evitar mayores cuellos de botella durante el día. Actualmente, y para efectos de los cálculos realizados en el presente documento se estableció, que en promedio a la isla de carga de Maipú llegan a cargar 25 camiones graneleros y 5 cisternas. En cambio, en planta Concón, diariamente llegan a cargar 13 camiones graneleros y 7 cisternas. Lo anterior es en temporada baja, sin embargo, cuando se llega a la temporada alta, la rotación de graneleros se duplica en todas las plantas del país, sin embargo, el movimiento de camiones cisterna no se ve alterado.

5.4.5. Caudal

Se define como la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal) por unidad de tiempo [23]. Esta cantidad de líquido puede ser cuantificada en masa (Caudal másico) o en volumen (Caudal volumétrico). Actualmente en las instalaciones de la isla de carga no se cuenta con ningún instrumento que permita cuantificar la cantidad gas licuado de petróleo que se encuentra circulando en tiempo real. Es posible determinar el caudal a partir del trabajo de las bombas ubicadas en la zona de tanques, sin embargo, el trayecto que inicia desde la salida de la bomba hasta la salida de líquido por las mangueras tiene múltiples entradas y salidas de otras líneas de cañería. Determinar el caudal, ya sea másico o volumétrico en tiempo real es determinante al momento de elaborar una propuesta.

5.4.6. Densidad

Se define como la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. En este caso el cuerpo es el producto para comercializar, gas licuado de petróleo. La densidad puede variar su valor por múltiples factores, pero en el caso particular de la empresa esta se puede ver afectada por las condiciones ambientales, por la mezcla del producto con alguno de distinta densidad o por un producto con distinta composición (se comercializan múltiples tipos de gas licuado de petróleo, todos con distinta composición y densidad). El contar con la densidad real instantánea del producto a ingresar al camión es clave para el cálculo de la cantidad de kilogramos a inyectar.

5.4.7. Caudal de despiche por rotogage

El gas liberado por el despiche, proveniente de la utilización del rotogage, es el principal problema por abordar en este trabajo. Este desperdicio operacional se genera cada vez que se realiza alguna carga. Dada esta condición es fundamental determinar cuanta merma se produce por carga. Este dato permitirá calcular un posible ahorro al momento de instalar un sistema que se dedique a controlar la carga sin la necesidad de liberar gas al ambiente. La empresa, a través del Departamento de Logística y Operaciones, ya estaba en la búsqueda de cuantificar la pérdida que se genera por cada proceso de carga. En el proceso obtuvieron el caudal de despiche, el cual quedó cuantificado en 7,88 [g/s]. Tal demostración del cálculo se encuentra en los Anexos. La medición experimental de este caudal no pudo realizarse por múltiples motivos, siendo uno de los más preponderantes los cambios de fase en el plan paso a paso debido a la pandemia durante el periodo en el cual se estuvo realizando este trabajo.

5.5. Análisis

El tercer paso de la metodología DMAIC corresponde al análisis de las causas y sus efectos, con tal de encontrar la causa raíz del problema. En los pasos anteriores, sobre todo en la definición de la problemática, se desarrollaron preguntas en la búsqueda del por qué se libera producto cada vez que se realiza una carga. Para complementarla se desarrolló un

diagrama de Ishikawa, el cual, a través de cinco grandes áreas, como lo son el material, mano de obra, medición, método y maquinaria, se busca encontrar la raíz del problema en cuestión.

5.5.1. Diagrama de Ishikawa

5.5.1.1. Material

La primera espina del pescado del diagrama de Ishikawa corresponde a la búsqueda de las causas proveniente del uso del material en la producción. En el caso de empresas Lipigas este material corresponde a su producto a transportar, gas licuado de petróleo. Finalmente, del producto se señalan dos posibles causas de la problemática:

- **Densidad:** La densidad en sí misma no es la causa del problema, pero el cambio de densidad ya sea por tener productos distintos, o por un cambio en las condiciones ambientales, no permite estandarizar un tiempo de carga con condiciones similares.
- **Gas licuado:** En condiciones ambientales el GLP pasa a estado gaseoso al salir del tanque. Este proceso se realiza en condiciones seguras para el operador, pero no deja de ser una situación peligrosa conociendo sus propiedades. El GLP es un combustible que en determinados porcentajes con el aire forma una mezcla explosiva, presentando un Límite de Inflamabilidad para el propano entre 2,15 y 9,0% de gas en aire, y para el butano, entre 1,55 y 8,6% de gas en aire [24]. Dada las condiciones en las cuales se genera la pérdida de producto, nunca se van a generar tales condiciones de inflamabilidad, lo cual propicio el hecho de que el procedimiento permitiera la fuga de gas y que además esta no fuera de urgencia al momento de pensar en mejoras operacionales.

5.5.1.2. Mano de obra

Las causales provenientes de la mano de obra suelen ser las más probables de encontrar, esto dado a que el operador es un humano, y por ende esta siempre sujeto a cometer algún tipo de error. Para el análisis de causales por mano de obra solo se presentan dos posibles eventos, que en general son esporádicos.

- **Tiempo de despiche abierto:** Como ya se detalló con anterioridad, la utilización del rotogage permite controlar el flujo de carga mediante la liberación continua de GLP. Los

operadores son los encargados de llevar a cabo este proceso, por lo cual a ellos les corresponde calibrar los rotogage y abrir los despiches respectivos. Dada la experiencia adquirida por algunos operadores que llevan años al mando de la isla de carga, algunos de los trabajadores no abren el despiche al inicio del proceso, sino más bien cuando ya han pasado unos cuantos minutos desde el inicio de la carga. Este tiempo sin el despiche abierto no se encuentra como una posibilidad dentro del protocolo de carga de camiones. Sin embargo, esta acción es bastante útil para dejar de desperdiciar grandes cantidades de producto diariamente. El operador que realiza esta maniobra está en conocimiento de cuanto en promedio debería tomar de tiempo el cargar un camión granelero, por ende, abre el despiche cuando ya sabe que se está acercando a la primera calibración de rotogage (70%).

- **Sobrellenados en el pasado:** Según la información proporcionada por los mismos trabajadores de la isla de carga, tanto aquellos que se desempeñan en planta Concón como en Maipú, cuentan y registran un evento único dentro de las operaciones en empresas Lipigas. En el verano del año 2016, en la isla de carga de planta Maipú sucedió el primer sobrellenado de un camión, el cual estaba siendo cargado en un andén de la isla de carga. El producto superó el nivel máximo de líquido permitido (85%), y luego siguió subiendo hasta activar las válvulas de alivio hidrostático presentes en el tanque de almacenamiento del camión. Este evento es sumamente grave para la integridad de los operadores y chofer, dada a la gran cantidad de GLP que es liberada al ambiente. El hecho tiene como origen el descuido operacional, al no abrir el despiche, en la búsqueda de no liberar producto durante toda la carga. Los trabajadores de turnos olvidaron el abrir el despiche al dejar pasar los minutos, ocasionado el accidente que terminó sin víctimas fatales ni lesionados, pero que, si dejó un precedente en las operaciones de carga, que desde aquel momento dejaron de utilizar tal maniobra para ahorrar un porcentaje extra de gas despichado.

5.5.1.3. Medición

El proceso de carga de camiones cuenta con distintos tipos de mediciones, como el peso del camión al entrar y al salir de isla, la temperatura y presiones iniciales antes de iniciar la carga, y la medición del nivel de líquido del tanque del camión a través de los rotogage.

- **Rotogage:** En este punto del documento ya se identifica este instrumento como el principal responsable de la liberación del producto al ambiente. La necesidad de utilizar los

rotogage viene dado por la falta de control sobre el producto inyectado, en palabras más simples no se sabe cuánto producto está ingresado, y por efecto tampoco se está en conocimiento en cuanto tiempo se estará completando la carga. Finalmente, la utilización de estos instrumentos son una consecuencia de no tener mediciones de caudal y densidad a tiempo real durante la carga.

- **Medición caudal de despiche:** Actualmente, no se está en pleno conocimiento de cuanto producto se desperdicia por operación. Esta condición no se conoce dado a que nunca se ha realizado una medición del caudal de despiche en los rotogage. Sin este dato no es posible dimensionar las pérdidas que genera el proceso y tampoco permite proyectar los beneficios que se generarían por el concepto de dejar de utilizar los rotogage. Sin embargo, a través de un cálculo proveniente de las ecuaciones de conservación de la energía y la ley de gases ideales se llegó a un valor estimado de caudal de despiche de 7,88 g/s. **Este caudal implica una pérdida de 73 millones de pesos anuales para la empresa, el cálculo de la evaluación económica de ahorro en GLP por**

5.5.1.4. Condiciones de carga de GLP

El procedimiento aplicado para la carga de camiones graneleros y cisternas se encuentra condicionado por los siguientes eventos:

- **Aceptar fugas en la operación:** Al inicio de este ítem se detalló el procedimiento de carga y descarga de camiones cisterna y granel, en donde la liberación de gas al ambiente se encuentra validada de por la Gerencia de Logística y Operaciones de la empresa. Esta condición ratifica que el problema en cuestión es sistémico y crónico, dado a que desde su concepción ya se acepta para ser parte del procedimiento.

- **Múltiples entradas de producto:** Detallando en profundidad la planta de envasado Concón, cuenta en su zona de tanques con 31 tanques de almacenamiento de producto, en ellos se almacenan distintos tipos de producto, como butano, propano, propano especial y mezcla. Desde esta zona, la cual se encuentra en los niveles 3 y 4 de las instalaciones, se traslada el producto que será cargado en la isla de carga (nivel 1). Por la cantidad de posibilidades de origen del tanque a utilizar para cargar un camión existen distintas líneas por cada producto, y por ello una bomba en particular para cada una. En concreto, los andenes

de la isla de carga pueden abastecerse de 3 líneas, teniendo para ellos múltiples líneas de cañerías y válvulas de paso correspondientes para no juntar los productos. Además, por concepto de uso de las bombas y tiempo, no se permite ocupar la misma línea y bomba para cargar dos camiones en simultaneo. Tanto en planta Concón como en planta Maipú se cuenta con 6 andenes en cada isla, y cada uno de ellos puede inyectar el producto proveniente de cualquier tanque de almacenamiento, sin embargo, esto no implica que sean independientes el uno del otro. Por ejemplo, en planta Concón, el andén #1 es un anexo del andén número dos, por lo cual ambos no pueden trabajar en paralelo. Todas las condiciones detalladas anteriormente dificultan la posibilidad de controlar el producto a inyectar dada la posibilidad de combinaciones que se generan en el día a día de la operación.



Figura 5.5. Cañerías en isla de carga planta Concón, Fotografía captada 19 de noviembre 2020.

5.5.1.5. Maquinaria y capacidad de almacenaje

Este ítem no aplica en cabalidad al contexto del problema, el proceso en sí no requiere del uso de una máquina en particular. La maquinaria utilizada corresponde más bien al uso del camión como elemento de transporte y la activación de las bombas y válvulas para movilizar el producto.

- Camiones con distinta capacidad de almacenaje: Tal vez, la causa más preponderante al momento de cuestionar el por qué este proceso no ha sido actualizado mucho antes, radica en la diversidad de capacidad de almacenaje de los camiones que llegan a cargar a la isla. No solo en la distinción entre camiones graneleros y cisternas se encuentra una diferencia de capacidad de almacenamiento, además cada uno de ellos en su tipo tienen distintas flotas de camiones. Por ejemplo, en planta Concón reciben 40 tipos de camiones graneleros, y cada uno de ellos presenta una capacidad distinta de almacenamiento. Así mismo ocurre con los camiones cisterna, en este caso no se encuentra determinada la diversidad de capacidades dado a que no todos los camiones de este tipo son propiedad de la empresa. Esta condición no permite la estandarización del proceso, como si ocurre en el envasado de cilindros, por ejemplo, en donde cada cilindro presenta un peso y capacidad de almacenamiento muy similares entre sí.

5.6. Equipos e instrumentos necesarios para el proceso de automatización

En vista de las causales y efectos expuestos anteriormente, el análisis debe concluir con la elección del equipamiento e instrumentación necesaria para otorgar una solución viable al problema en cuestión.

Se identifica como el origen de la problemática, la falta de información sobre el flujo de GLP que ingresa a los camiones. Se requiere que los equipos e instrumentos a instalar sean capaces de cuantificar el caudal del flujo en tiempo real. Este dato permitirá calcular el tiempo de carga a partir de los datos iniciales del camión. La lectura del caudal no lo es todo, dado que las lecturas de densidad real del producto también son esenciales para cuantificar la

inyección en masa o en volumen, lo cual es de utilidad al momento de elaborar una propuesta de solución.

5.6.1. Caudalímetro Coriolis

Los medidores de flujo másico Coriolis miden la masa a través de la inercia. El gas denso o líquido fluye a través de un tubo que hace vibrar un pequeño actuador. Esta aceleración produce una fuerza de torsión medible en el tubo que es proporcional a la masa. La tasa de flujo de masa indica sin necesidad de conocer el fluido que fluye en el interior. Los más sofisticados caudalímetros de Coriolis emplean tubos dobles curvados para ofrecer una mayor sensibilidad una menor caída de presión. [25].

Los caudalímetros se dividen en dos partes, en los sensores Coriolis y los transmisores de flujo, algunas marcas y modelos incorporan ambos juntos. Debido a la normativa vigente estadounidense respectiva al código de gas licuado de petróleo, NFPA 58, los flujómetros masicos Coriolis no pueden utilizar los datos de temperatura y presión obtenidos de sus propios sensores. Dada esta condición es necesario incorporar ambos sensores aparte de los que ya se encuentran instalados en los flujómetros.

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas de tres distintos tipos de flujómetros Coriolis que cumplen con las condiciones para trabajar con GLP, además todos son de diámetro 3", el cual es el correspondiente para ser instalado en ambas plantas.

a) Sensor Coriolis M2020

- Sensor con tubos de DN3" de acero inoxidable A316L en ejecución omega.
- Carcasa de acero inoxidable A304.
- Diseño intrínsecamente seguro para clasificación de área riesgosa.
- Precisión en lectura de masa +/- 0.10% del rango.
- Repetibilidad de masa +/- 0.10% del rango.
- Rango de densidad 0,4 – 2,0 g/cm³.
- Precisión de densidad 0,001 g/cm³.
- Repetibilidad de densidad +/- 0,0005 g/cm³
- Precisión temperatura 0,56 °C (+/- 1 °F)

- Flujo máximo: 1.450 kg/min
- Sensor de temperatura de tipo resistivo 100 ohms inserto
- Temperatura máxima: 204 °C
- Temperatura mínima: -45°C
- Presión operación máxima: 68 bar y según limitación clase bridas
- Data Sheet TS 605(I)

- Transmisor de flujo Nexgen SFT 100
- Carcasa aluminio IP66, NEMA 4X, 7 y 8
- Certificaciones para área peligrosa CSA/US, LCIE, ATEX
- Rango de temperatura -40 a 60°C
- Alimentación 115 VAC (+/- 15%), 50/60 Hz (+/- 5%)
- Longitud máxima cable señal 300 m
- Dos salidas 4-20 mA, aislada de 0-1000 ohm
- Una de pulsos para masa o volumen total (0-10kHz)
- Unidades de flujo másico configurables en gr, kg, ton, onzas, y libras por hora
- Unidades masa total configurable en gr, ton, onzas y libras
- Unidades de densidad configurables en gr/cm³, lb/pie³, kg/m³ y API
- Unidades de temperatura configurables en °C y °F.
- Unidades de flujo en volumen configurables en Lts, m³, galones USA y barriles por hora

b) Transmisor de flujo Nexgen

- Micro Motion Coriolis F-Series sensor; 3- inch, 316L stainless Steel.
- Process Connections: 3- inch CL150 ASME B16.5 F316/F316L Weld neck flange Raised face.
- Case option: compact case.
- Electronics interface: For integral mount 1700/2700 transmitter.
- Approvals: Micro Motion Standard (no approval)
- Language: English
- Future Option 1: Reserved for future use.

- Calibration Options: 0,2% mass flow and 0.002 g/cc density calibration (+/- 0,28% Volume Flow)
- Transmisior Model: Micro Motion Coriolis MVD multivariable Flow and density transmitter.
- Mounting: Integral mount transmitter (polyurethane-painted aluminum housing)
- Power: 18 to 100 VDC and 85 to 265 VAC; self-switching
- Display: Backlit dual line display for CSA, UL, and IIB + H2 ATEX, IECEx and NEPSI ratings.
- Output: HART, 4 a 20 Ma
- Conduit Connections: ½- inch NPT -no gland
- Approvals: Micro Motion Standard (no approval, with CE/EAC mark)
- Language: English installation manual and English configuration manual.
- Software Options 1: Flow and density variables (standard)

c) Sensor Coriolis ALTImass Type U

- Modelo: CA080-L2SA1-440-111G1B-0
- Procedencia: Japón
- 3” ASME 150 RF Flange Connection
- Flange/Tube Material: SUS316L
- Integral Type Transmitter
- Power: 20-30 VDC
- 4-20 mA Analog Outputs 1: Volume Flow (True Density)
- 4-20 mA Analog Outputs 2: Density
- Open Drain Pulse Output 1: Volume Flow (True Density)
- Open Drain Pulse Output 2: Mass Flow
- HART Communication
- Transmitter: CSA Class 1, Zone1, Ex d ib IIC Gb
- Sensor: CSA Class1, Zone 1, Ex ib IIC T4 Gb
- IngressProtection: Ip66

5.6.2. Válvula de control neumático

La isla de carga ubicada en la planta Concón cuenta con 6 andenes para la carga y descarga. Para lograr direccionar los productos al andén correcto es necesario bloquear el paso en ciertas ubicaciones claves, sobre todo en las uniones de cañerías. Actualmente se encuentran instaladas múltiples válvulas de bola que se encargan de bloquear el paso del GLP según corresponda. Se requiere que las válvulas de bola más cercanas a la conexión con las válvulas pull away sean de control por activación neumática. Esta condición va a permitir elaborar una propuesta que incluya el cierre del paso del flujo de manera automática, de esta manera se podrá precisar la cantidad de kilogramos inyectados cortando el caudal en el momento adecuado.

A continuación, se presentan tres tipos de válvulas de accionamiento neumático que cumplen con las normas vigentes correspondientes.

a) Válvula de Control ON/OFF

- Válvula de bola
- Modelo 515
- Procedencia: España
- 3" ASME 150 RF Flange Connection
- Cuerpo: A216WCB
- Ball: 316
- Seat RPTFE
- Packing: Graphite
- Certification: EN 10204/3.1 (Body, connector, ball, stem)
- Design: API 6D / ISO 17292
- Test: API 598 /API 6D / EN 12266-1
- TPI: Without TPI, it should be agreed and paid by customer.
- NACE: MR0175
- Fire safe: ISO 10497 / API 607
- Actuador: Neumático, Rack and pinion, 0-90°, NC, modelo NKS190-11 -NUTORK.

- Manual Override: MO70 - NUTORK
- Enlace mecánico entre válvua - Manual Override
- Limit Switch, NKS10 - NUTORK
- Electroválvula 3/2, Montaje NAMUR, FESTO.

b) Válvula de Control topo globo, series Mark One

- Fabricante: Valtek – Flowserve.
- Origen: USA
- Model / Type / Design / Valve: Mark One / Globe
- Size / Pressure Rating: 3 in / 150#
- Shut of Class: Class IV & V
- Flow Direction: Flow Under
- Body Matl / Bonnet Matl: Carbon Steel WCB 216
- End Conn Type / Face to Face: ANSI B16.5 Form RF / ISA \$75.08.01
- Bonnet Type: Standard
- Plug Matl / Facing: 316 SS/
- Seat Ring Matl / Facing: 316 SS/
- Packing Matl / Style : PTFE VRing / Single /
- Packing – Live- Loaded: Live Loaded
- Gaskets: Graphite
- Actuador Type: FlowAct
- Fail/ Air-To: Close / Open
- Model: Logix 500
- Connection: ¼” G air, M20 X 1,5 electrical.
- Signal: HART, 4-20 ma
- Display: No

6. Bases para la programación en PLC

6.1. Metodología *Kaikaku*

Continuando con la utilización de la metodología DMAIC, para la resolución de problemas, y luego de desarrollar los procesos de definición, medición y análisis, se prosigue a proponer el diseño de una lógica que permita controlar el flujo de inyección de GLP en base a los instrumentos y equipos detallados en el ítem anterior, sumado a los requerimientos determinados durante el periodo de trabajado en la empresa.

En este punto, a la metodología DMAIC solo le faltan dos pasos por desarrollar, los cuales corresponden a la mejora y al control. El paso de “*mejora*” incluye la instalación de la solución en la empresa, considerando desarrollo de una propuesta, validación y montaje de esta. Este paso en particular no es posible de desarrollar en este trabajo, dado a que tal proceso no se consideró dentro de los objetivos trazados con la empresa. Así mismo con el “*control*”, el cual está sujeto a la instalación y a la puesta en marcha de la solución, la cual no es posible de desarrollar en este documento. Bajo estas condiciones es necesario intervenir en la metodología DMAIC.

Siguiendo con la premisa de mejora enfocada, bajo la perspectiva de la mejora continua de los procesos, se utiliza la metodología “*Kaikaku*”, palabra y metodología japonesa que se puede traducir como “Cambio innovador en el sistema”. Existen dos tipos de innovaciones según la metodología *kaikaku*, se separan en innovaciones bajas o altas. En el caso de la solución del problema que se presenta en este caso, según la metodología *kaikaku* se trata de una innovación baja, dado a que cumple con la siguiente descripción “Se implementan métodos o tecnologías ya conocidos en el mercado o en el mundo de los negocios, aunque no en la empresa, el costo es bajo y las ganancias altas”. Las innovaciones altas son soluciones pioneras en su área, se describe como “Se desarrolla una nueva tecnología o un método en el seno de la empresa que, hasta el momento, son desconocidos en el mercado”.

Al utilizar la metodología *kakikau*, DMAIC cambia en sus últimos dos pasos, pasando de “*mejora*” y “*control*” a “*diseñar* y “*validar*”. Finalmente, esta metodología proveniente del círculo de Deming queda abreviada de la siguiente manera “DMADV”.

La elaboración del diseño de la lógica de control en la inyección es la solución propuesta en este documento, para su elaboración se tomó en cuenta la información proporcionada por los operadores de la isla de carga y sus respectivos supervisores. Esta interacción se hizo efectiva durante el mes de diciembre de 2020, y los meses de enero y febrero de 2021. En donde una vez por semana se daba autorización para realizar paseos “*Gemba*” por la isla de carga de planta Concón. También se contó con dos visitas a la planta de envasado Maipú, en donde se desarrollaron paseos “*Gemba*” en toda la planta.

Esta información obtenida en terrero permitió la recopilación de los requerimientos que debe cumplir el sistema para poder operar en las islas de carga de ambas plantas. Gracias a estos requerimientos se sientan las bases del diseño de la lógica del sistema.

6.2. Requerimientos

En conocimiento del funcionamiento actual de las islas de carga en las plantas Maipú y Concón, ya habiendo desarrollado el origen del problema operacional que se presentan en ambas plantas, y en conocimiento del camino a seguir para encontrar una solución es posible armar una propuesta, que contemple los requisitos necesarios para la implementación de un sistema lógico programable.

Los requisitos presentados a continuación fueron recopilados en múltiples visitas y paseos “*Gemba*” en planta Concón y en específico dos visitas en planta Maipú. Cada planta presenta alguna particularidad en relación con la ejecución del proceso de carga, pero, en líneas generales funcionan de la misma forma.

6.2.1. Operadores en isla

El primer requerimiento que se pudo definir en terreno es la necesidad de mantener a los operadores en la isla de carga. Estos trabajadores de la empresa son imprescindibles en el proceso de carga por los siguientes motivos:

- Acoplamiento mangueras – camión: Dada la heterogeneidad de la gama de camiones que carga en la isla, los acoplamientos de mangueras de líquido y vapor son particulares por cada camión. Esta condición descarta la posibilidad de invertir en un brazo hidráulico que se encargue de realizar la maniobra de acople de mangueras con el camión.

- **Introducción de datos:** Mediante diversas reuniones en conjunto a los operadores de la isla de carga y a los ingenieros de logística y operaciones de la empresa, se determinó que serán los mismos operadores de la isla quienes se encargarán de ingresar cualquier tipo de dato en el sistema. Esto con el fin de concentrar la información y tareas de carga en una sola área. En la isla de carga, especialmente en temporada alta, trabajan dos o más operadores por turno, logrando reducir la posibilidad de algún error al momento de realizar la operación.
- **Manejo en uso de tablets:** Actualmente los operadores de IDC cuentan con tablets herméticas especiales para su uso en zonas explosivas. En ellas realizan algunas operaciones en particular, como toma de fotos o videos para registros de procedimientos. Dado a que los operadores ya cuentan y conocen el funcionamiento de las tablets se prioriza que el mecanismo de ingreso de datos sea a través de estos instrumentos.

El implementar cualquier tipo de upgrade al sistema de carga de camiones implicará el realizar capacitaciones para los operadores de la isla, con tal de que estén informados de cómo se realizaran los procedimientos en conjunto al sistema incorporado. Si en su defecto los operadores no están capacitados para manejar tal sistema, la gerencia de logística y operaciones de la empresa considera el contratar el personal técnico apropiado para el manejo del sistema.

6.2.2. Programador lógico controlable

Dada las características de la operación que se desea automatiza, un programador lógico controlable (PLC) es una opción intuitiva para poder dar una solución al problema. Los controladores lógicos pueden recibir información de diferentes puntos y trabajarla según este configurado. Existen múltiples softwares que puede desarrollar las mismas tareas que un PLC, pero dado a que para los efectos de este trabajo se busca optimizar los recursos económicos, se utilizará como supuesto que un PLC será encargado de recibir y trabajar la información. Para efectos de este documento, se referirá a “sistema” o “programa” al aparato electrónico encargado de manejar la información.

6.2.3. Acoplamiento a SAP

“Systems, Applications, Products in Data Processing” (SAP) es un sistema informático que hace que las empresas puedan administrar correctamente sus recursos humanos,

productivos y logísticos. SAP o funcionan prácticamente en todos los ámbitos de la administración empresarial. [26]

Este software es uno de los pilares en la organización de existencias de la empresa, siendo utilizado en todos los niveles de distribución de producto. Actualmente, dentro del proceso de carga y descarga de camiones se utiliza MediSAP, que corresponde a una de las aplicaciones del software. En ella los operadores y trabajadores de manejo de existencias deben ingresar la cantidad de kilogramos que salieron o entraron a una planta, además de los datos iniciales del producto, como la densidad, presión y temperatura.

En la propuesta que da solución a la problemática, es inamovible el ingresar datos de manera manual para el funcionamiento del sistema. Dada esta condición, es posible que algunos datos en particular deban ser ingresados dos veces por el operador, ya sea en SAP con en el nuevo sistema a incorporar. Con tal de evitar ingresos de datos en procesos paralelos, los operadores de existencias solicitaron mediante reuniones la posibilidad de acoplar el nuevo sistema a la plataforma SAP. De esta manera solo será necesario ingresar los datos en un solo software, facilitando la operación y el flujo de información.

6.2.4. Base de datos

Uno de los grandes problemas que no permitieron instalar un sistema similar mucho antes en la empresa es la diversidad de camiones que llegan a cargar a la IDC. GASMAR, empresa dedicada a la distribución de GLP, ya cuenta con un sistema automatizado de carga de camiones desde hace más de 20 años. Esto fue posible dado a que cuentan con el mismo tipo de camión en todas sus flotas de transporte, de esta forma lograron estandarizar los procesos de carga gracias a que todos los camiones tiene la misma capacidad de almacenamiento.

Para el cálculo de la inyección de GLP es esencial conocer la capacidad de almacenaje del camión. En un inicio, durante el diseño del sistema, se estableció que el operador debía ingresar de manera manual el volumen de almacenaje del camión. Este ingreso manual solucionaba el problema de la diversidad de camiones, sin embargo, agregaba otro problema, el ingreso de datos por parte del operador este sujeto a un error en el ingreso de datos, situación que puede terminar en un sobrellenado.

Finalmente, la solución escogida para enfrentar la diversidad de camiones es crear una base de datos que contenga la información más relevante para la inyección de GLP. Los datos claves que debe contener la base de datos se describen a continuación:

6.2.4.1. Peso de tara del camión

Corresponde al peso del camión, sin contener ninguna clase de líquido en su tanque de almacenamiento. Esta medición del peso del camión se realiza con el estanque de combustible lleno a su mitad de capacidad. Dado este último punto, el peso de tara del camión no es un valor exacto, pero si lo suficiente para realizar los cálculos posteriores. Actualmente este proceso ya se realiza en planta Maipú sin ningún tipo de problema.

6.2.4.2. Capacidad de almacenamiento del tanque

Este dato es clave para el cálculo de cuanto producto se debe inyectar. El valor debe estar en metros cúbicos, el cual es proporcionado por el fabricante del tanque. En todos los camiones se encuentra presente una placa que describe las dimensiones y limitaciones del tanque, de donde se obtiene el valor de capacidad del tanque de almacenamiento.

6.2.4.3. Capacidad de almacenamiento del tanque cubicado

Corresponde al mismo dato del ítem anterior, solo que esta vez la capacidad de almacenamiento se determina mediante un procedimiento de cubicación del tanque. La cubicación consiste en calcular la cantidad de metros cúbicos de algún objeto o estructura en particular [27]. Para este caso el proceso consiste en vaciar el tanque a medir y llenarlo con agua en condiciones ambientales. La cantidad de agua es cuantificada en metros cúbicos, la cual corresponde a la capacidad real de almacenamiento del tanque es cuestión.

Este dato no es esencial para el cálculo de la inyección, su presencia solo agrega más precisión al sistema. Si un camión granelero o cisterna no ha realizado el proceso de cubicación no presenta un problema dado a que se cuenta con el valor de placa. Es por esto por lo que la presencia de este dato no es una obligación.

6.2.4.4. Patente del camión (Tracto)

La patente del vehículo que transporta el tanque de almacenamiento debe quedar registrada en la base de datos del sistema. Es importante señalar que los tanques de

almacenamiento pueden eventualmente cambiar de tracto, esto ocurre principalmente en los camiones cisterna que son externos a la empresa. De ocurrir tal cambio de tracto, la empresa transportista debe informar previamente cual es el nuevo camión asociado al tanque, con tal de mantener constantemente los datos actualizados.

6.2.4.5. Patente tanque

Todos los tanques, ya sean graneleros o cisterna, poseen un patente que los identifica dentro o fuera de la empresa. La cantidad de dígitos varía dependiendo de la empresa transportista y si el camión es granel o cisterna.

6.2.4.6. Empresa

En la base de datos debe quedar registrada la empresa dueña o responsable de traslado del camión.

6.2.4.7. Última carga

Al finalizar la carga, el sistema debe actualizar este ítem y guardarlo en la base de datos del camión correspondiente. Esto con el objetivo de poder hacerles seguimientos a los camiones tanto de la empresa como externos. Los datos por guardar de la carga se detallarán más adelante en el documento, pero en términos generales corresponde al producto cargado, su densidad, cantidad de kilogramos inyectados, fecha y hora.

6.2.5. Romana de pesaje

Este requerimiento en específico no es indispensable en el funcionamiento de la propuesta. Este consiste en acoplar la romana de pesaje con la plataforma SAP y con el sistema a instalar, con tal de que el operador no deba ingresar el peso de ingreso y salida del camión de manera manual, tanto en SAP como en el sistema a instalar en la IDC.

6.2.6. Conexión cable a tierra

La conexión de cable a tierra del camión es parte del procedimiento actual para cargar GLP. Esta conexión elimina la presencia de energía estática, evitando cualquier tipo de ignición proveniente de esta fuente. Se presenta como requerimiento que, la conexión cable a tierra, sea detectada por un sensor que este comunicado con el sistema a instalar. Esto con el objetivo de poder utilizar este procedimiento como una entrada de información, con la cual se puede asegurar que el camión a cargar ya se encuentra estacionado.

6.2.7. Ingreso de datos iniciales

Dentro del actual procedimiento para la carga de camiones, se incluye la lectura de los datos iniciales del gas residual que se encuentra dentro del tanque de almacenamiento. Estos valores deben ser ingresados al sistema dado a que son de utilidad para el cálculo de inyección de GLP. Los datos iniciales corresponden al porcentaje de gas residual, a su presión, temperatura y a la densidad del producto.

6.2.8. Límites de inyección

La carga de camiones tiene dos límites en lo que a cantidad de kilogramos inyectables refiere. El primero, el cual es más una limitante para camiones cisterna, esta dictaminado por el Decreto 158 por parte del Ministerio de Obras Públicas, el cual fija el peso máximo de los vehículos que pueden circular por caminos públicos. En donde la combinación de un camión con uno o varios remolques no puede superar las 45 toneladas, cualquiera sea la diferencia entre centros de ruedas extremas [28].

El segundo límite lo dictamina el Decreto 29 emitido por el Ministerio de Economía en enero de 1986, reglamento de seguridad para el almacenamiento, transporte y expendio de gas licuado. Este decreto establece la capacidad máxima de estanques horizontales [29]. En 2014 tal decreto fue actualizado por el Decreto Supremo 108, ambos conservan la misma especificación para la capacidad máxima de los tanques.

Dado a que en la flota de camiones que carga y descarga en la IDC, todos superan los 4 metros cúbicos en capacidad de almacenamiento, estos deben ser cargados, como máximo a al 85%.

6.2.9. Calidad del producto

Dada la múltiple cantidad de productos que maneja la empresa en términos de transporte de GLP, existe la posibilidad de que se cargue un camión que contenga un porcentaje de gas residual distinto al producto que se desea cargar. Esta situación implica una mezcla de producto, lo cual afecta directamente en la calidad de este.

Desde el área de control de existencia se solicita el requerimiento para que el sistema implementado pueda calcular la calidad del producto, y saber antes si esta cumple con los parámetros establecidos.

Sin embargo, dentro del procedimiento interno de la empresa, este cálculo solo se realiza si es que el gas residual es mayor al 10%. Siendo esta condición un evento que no ocurre con frecuencia en la carga de GLP, en donde en la mayoría de los casos los camiones que llegan a la IDC poseen como máximo un 3% de líquido en sus tanques.

Los casos de camiones que superan el 10% de gas residual se consideran inusuales, dado a que no son parte del día a día del proceso. Este caso solo ocurre con los camiones de empresas externas.

Finalmente, este requerimiento será instalado en el sistema, pero solo dará aviso cuando el porcentaje de gas residual sea superior a 10%. Dejando el cálculo de la calidad del producto al área de control de existencias.

6.2.10. Pantalla HMI – SCADA

Los sistemas de PLC tienen la capacidad de ilustrar los datos que se están recolectando en tiempo real. Esto lo pueden realizar a través de pantallas HMI, las cuales se pueden encontrar en diferentes tipos de tamaño según se necesite.

Esta pantalla HMI debe ser instalada en la sala de control, la cual se encuentra ubicada en la zona de tanques en planta Concón. Esta determinación se decidió en reuniones con el supervisor de la IDC, en donde se concluyó que la mejor ubicación, para una pantalla que muestre los datos en tiempo real, es la sala de control. Esto gracias a que ahí ya se encuentra instalado un sistema SCADA, el cual visualiza las acciones que se generan en la zona de tanques.

La zona de tanques y la IDC se encuentran en contacto durante toda la jornada. Esta comunicación es necesaria para alinear los tanques de almacenamiento correspondientes al producto que se desea cargar. Si la pantalla se ubica en la sala de control, el operador de zona de tanques tendrá acceso a más información del proceso de carga. De esta forma podrá tomar decisiones más ágiles.

6.3. Lógica y control

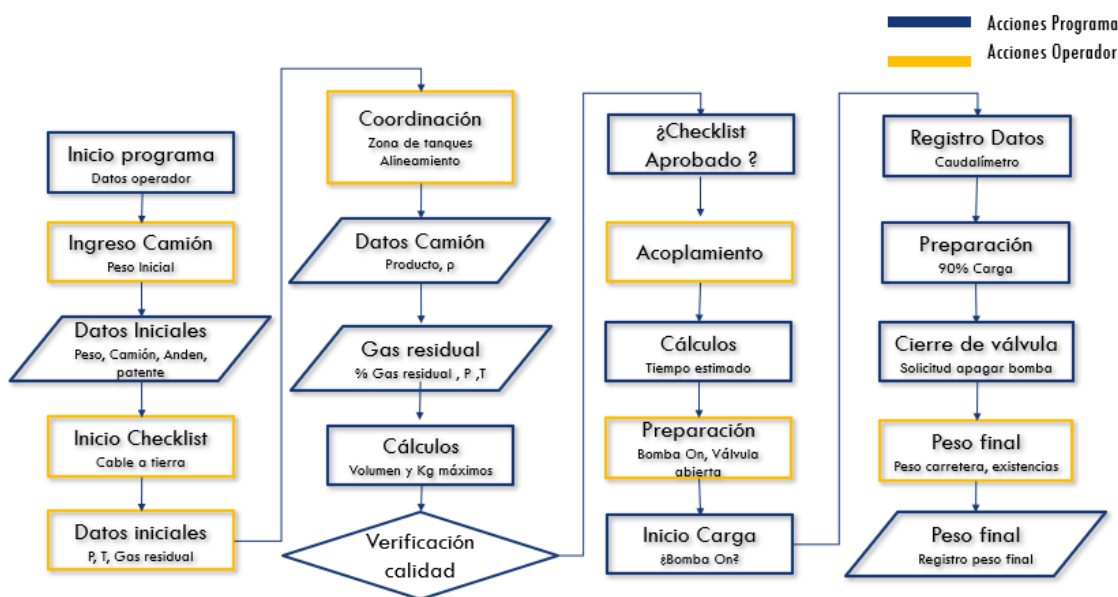


Figura 6.1. Diagrama flujo de valor futuro, Elaboración propia.

De igual forma que en la elaboración de los requerimientos, el diseño de la lógica y control que debe seguir el sistema fue elaborada en múltiples reuniones en conjunto a los operadores y supervisores de la IDC (ver Figura 6.1).

La lógica y control del sistema manejarán el proceso, y la programación le permitirá tomar decisiones de acorde a los datos que se le sea ingresados durante el procedimiento, esto con tal de inyectar la cantidad adecuada de GLP en los camiones que llegan a la IDC.

A continuación, se detallan los datos como unidades que manejará el sistema, que se incluye en la base de datos

6.3.1. Manejo de datos

Se definen las unidades correspondientes a las entradas y salidas de datos que pasarán por el sistema:

- **Peso (kg):** Durante el proceso, la romana de pesaje cuantifica la masa de los camiones, tanto en su entrada como en la salida de la IDC. El control de la masa siempre será manejado en kilogramos dentro de la empresa.
- **Presión (PSI):** La presión se registra solo una vez en el proceso, más en específico cuando se realiza la lectura de datos iniciales del camión. Este dato deberá ser ingresado en PSI, esto ya que actualmente en el procedimiento se realiza la medición en esas unidades.
- **Temperatura (°C):** Se realizan lecturas de presión en dos ocasiones durante el proceso, primero en la toma de datos iniciales del camión y luego durante el paso del fluido por el controlador masico. Ambas lecturas son de importancia para el cálculo de variación de densidad. Todas las temperaturas serán cuantificadas en grados Celsius (°C)
- **Densidad (kg/m³):** Durante todo el proceso se registran los valores de densidad, tanto del producto a inyectar, como el del residual presente al interior del camión. La densidad será manejada en kilogramos sobre metros cúbicos.

6.3.2. Memoria del sistema - Base de datos

El sistema debe contar con una memoria de almacenamiento que le permita guardar información clave sobre la carga de camiones. Esta información debe estar en constante actualización, esto implica que el sistema debe tener la capacidad de conectarse con otros softwares (SAP). El mismo sistema debe ingresar nuevos valores en su base de datos durante el día a día de la operación. Dado esto la memoria de almacenamiento de datos debe ser lo suficientemente amplia para no sufrir problemas en un futuro.

En concreto, los datos que debe almacenar el sistema se dividen en 3:

6.3.2.1. Tabla de densidades

El GLP corresponde a una mezcla de hidrocarburos, como lo son el propano y el butano. Ambos productos pueden ir cambiando su densidad dependiendo del origen de su extracción y el procesamiento de cual provienen. Esta variabilidad no permite manejar siempre el mismo

valor de densidad. Desde el Departamento de Control de Existencias de la empresa levantaron la tabla de valores (ver Tabla N°1):

Tabla N°6.1

N°	Fluido	Densidad[kg/m ³]
1	EE	0,325022
2	Ethane	0,355994
3	EP(65/35)	0,429277
4	EP(35/65)	0,470381
5	Propane	0,507025
6	i-Butane	0,562827
7	n-Butane	0,584127
8	i-Pentane	0,624285
9	n-Pentane	0,631054
10	i-Hexane	0,657167
11	n-Hexane	0,664064
12	n-Heptane	0,688039

6.3.2.2. Valores de presión y caudal promedio

Como medida de seguridad operacional, se decidió guardar en la memoria del sistema los valores de caudal y presión promedios entregados por la bomba. Ambos son siempre cuantificados por el caudalímetro másico Coriolis, pero, ante la eventualidad de presentar una falla en la comunicación de estos datos, sea el motivo que sea, se utilizarán los datos promedios.

6.3.2.3. Base de datos

Como ya se había desarrollado en los requerimientos del sistema, el uso e implementación de una base de datos es clave para la automatización del proceso y la agilización de datos claves del camión. Esta base de datos debe estar en constante actualización, por lo cual, es clave el poder integrar el sistema a la plataforma SAP.

En consultas al Departamento de Informática de la empresa, se nos manifestó que no hay inconvenientes en subir un nuevo procedimiento a la plataforma SAP. Esta incorporación a la plataforma es responsabilidad integral de la empresa, no interviniendo ningún tipo de contratista en esta conexión.

Los detalles de que datos debe incorporar la base ya se detallaron en los requerimientos, a continuación, se presentan los valores más relevantes para el cálculo de inyección, además de mostrar en tabla los datos de un camión granelero presentado como ejemplo.

- A. Peso de tara del camión (P_T)
- B. Capacidad de almacenamiento del tanque (V_N)
- C. Capacidad de almacenamiento cubicado (V)
- D. Densidad de ultima carga (ρ_r)

Tabla 5.2. Composición base de datos de camión tipo granelero, Elaboración propia.

Camión granelero	
Peso de Tara [P_T]	14.000 [kg]
Capacidad de almacenamiento [V_n]	23,2[m ³]
Capacidad cubicada [V_c]	23,198 [m ³]
Patente camión	HYGB71
Patente tanque	B042
Ultimo producto	Propano
Densidad ultimo producto	0,502 [kg/m ³]
Ultima Carga (Planta)	Concón
Fecha y hora ultima carga	7/4/21 17:28
Empresa	Lipigas S.A.

Tabla 5.3. Composición base de datos de camión tipo Cisterna, Elaboración propia.

Camión Cisterna	
Peso tracto	10.000 [kg]
Peso tanque de almacenamiento	4.000 [kg]
Peso de Tara [P_T]	14.000 [kg]
Capacidad de almacenamiento [V_N]	30.000 [m ³]
Capacidad cubicada [V_C]	-
Problema de ejes	Trasero
Patente camión	JH3915
Patente tanque	B042
Último producto [ρ_R]	Propano especial
Densidad último producto	0,573
Última Carga (Planta)	Concón
Fecha y hora ultima carga	5/4/21 10:28
Empresa	Lipigas S.A.

En el caso específico de los camiones cisterna, aquellos que no son propiedad de la empresa están sujetos a un posible cambio entre el tracto y el estanque de almacenamiento que transportan. Para este caso el peso de tara del camión (P_T) completo resulta ser la sumatoria simple entres el peso de tara del tracto y el peso del estanque.

En la tabla de datos de los camiones cisterna se agrega una fila extra, la cual entrega información respecto a la alineación de los ejes del camión. Estos ejes se encargan de ajustar el peso del camión, con tal de distribuirlo de la manera más uniforme, y de esta manera evitar que el peso en la romana de pesaje supere las 45 toneladas. Esta alineación es importante para el proceso, si el camión supera el peso máximo debe pasar por un proceso de descarga, lo cual genera una pérdida de tiempo y oportunidad de carga para otro camión.

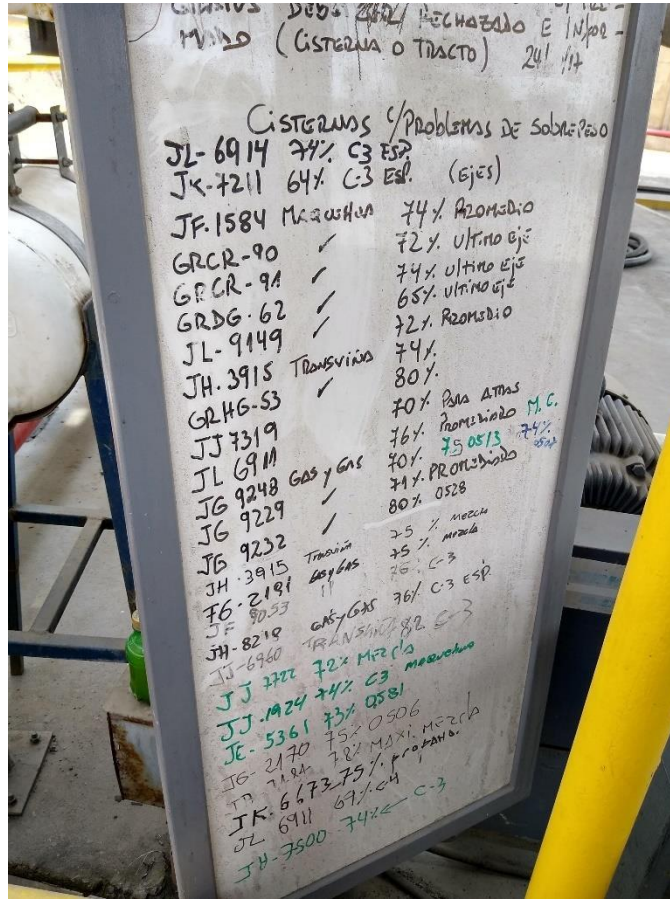


Figura 5.2. Pizarra de camiones con problemas en planta Concón, Fotografía captada 19 de noviembre 2020.

En la figura 5.2. se puede observar una pizarra la cual se encuentra ubicada en la IDC en planta Concón. Esta pizarra fue completada por los operadores de la isla, su objetivo es tener un registro de los camiones que presentan problemas de sobrepeso. Se puede identificar el porcentaje máximo de llenado, el cual no alcanza a ser el máximo permitido por la norma, además, algunos camiones presentan problemas en algunos de sus ejes.

6.3.3. Visualización HMI

En la sala de control, la cual se encuentra ubicada en la zona de tanques de la planta Concón, debe quedar instalada una pantalla que muestre en tiempo real las acciones que ocurren en la IDC. En la proyección deben poder observarse cada uno de los andenes en tiempo real, en donde se puedan visualizar los siguientes datos:

- Cantidad de kilogramos a inyectar
- Cantidad de kilogramos inyectados en tiempo real
- Porcentaje de llenado del tanque en tiempo real
- Producto inyectado
- Tiempo estimado de la carga
- Tiempo transcurrido desde el inicio de la carga
- Conexiones cable a tierra

Estos mismos valores deben poder observarse en el interfaz de la Tablet que utilizara el operador de la isla, esto con el objetivo que el trabajador este constantemente en conocimiento de cómo transcurre el proceso de carga.

6.4. Funcionamiento del sistema

A continuación, se detallará la estructura y lógica que debe seguir el sistema en el proceso de carga. Se incluye desde el inicio de la jornada del operador hasta la finalización de un proceso de carga.

6.4.1. Inicio del programa

El sistema solicitará una contraseña única para hacer ingreso. Esta solo puede ser modificada por el programador en el caso que llegara ser necesario. El operador del primer turno, quien da inicio al programa debe ingresar su nombre. Luego de ingreso de clave y datos del operador, el sistema queda en pausa en su interfaz de menú principal.

El menú principal deberá tener las siguientes opciones:

- A. Iniciar carga: Al momento de que el operador presione la opción de iniciar carga, una ventana de ingreso de datos se abrirá en la pantalla, la cual solicitará los datos

iniciales del camión (patente, tipo de camión, producto). Luego el operador debe designar el andén en cual se efectuará la carga. Posteriormente la ventana de ingreso de datos se cerrará, para dar paso a la ventana de carga de camiones, la cual entregará los datos de carga del camión y andén correspondientes.

- B. Cambio de estado de un andén.: Al seleccionar esta opción se puede cambiar la situación de un andén. El cual puede estar disponible, fuera de servicio o en mantención. De esta forma, si el andén no se encuentra disponible el sistema no lo tomara en cuenta.
- C. Cambio de turno: Como su nombre refiere, esta opción habilita al operador a cambiar de turno en su jornada laboral, permitiendo ingresar el nombre del operador entrante.
- D. Carga de mantención: Esta opción permite la inyección de una carga controlada. Esta se utilizará principalmente para la mantención de camiones graneleros, los cuales deben pasar por mantención cada 15 días por protocolos internos de la empresa. Esta opción abrirá una pestaña de la misma forma que para una carga normal, solo que en esta se puede ingresar la cantidad de kilogramos o volumen a inyectar, el cual no debe superar el 5% del nivel de almacenamiento.
- E. Fin de jornada: Al presionar esta opción el sistema guardará en su memoria la cantidad de inyecciones en su base de datos. Luego de esto se suspenderá en funciones hasta que al otro día se vuelva a iniciar.

Como medida de seguridad, si un operador u otra persona ajena a la operación, ingresa la contraseña de ingreso al sistema en 3 ocasiones, el sistema deberá registrar el evento con su hora y fecha correspondiente. Si llega a ocurrir un cuarto ingreso erróneo, el sistema se bloqueará solicitando una contraseña de administrador, la cual solo será entregada al supervisor.

6.4.2. Ingreso de datos iniciales

La romana de pesaje es la primera estación por la cual debe pasar el camión al momento de querer hacer ingreso a la IDC. En la ubicación de la romana de pesaje deberá ir incluido

un lector de patentes, con el cual el sistema irá guardando el peso inicial $[P_i]$ del camión al pasar por la romana de la manera que se presenta en la Tabla 5.4:

Tabla 6.4. Base de datos camiones pesados al ingreso a isla de carga, Elaboración propia.

Fecha	Hora	Patente	Peso $[P_i]$ [kg]
7/4/21	10:30	JTGB16	5.789
7/4/21	11:21	GRCR91	12.653
7/4/21	12:01	FRHJ88	7.562
7/4/21	13:58	JL6811	10.928
7/4/21	17:32	DRRS87	7.652

Estos datos irán siendo registrados en una memoria interna del programa de manera separada. La idea es agilizar la toma de datos iniciales, sobre todo pensado en temporada alta, en donde por lo general los 6 andenes se encuentran cubiertos y hay una cantidad de camiones que se encuentra a un costado de la IDC esperando su turno para cargar.

Como se puede observar en la **Tabla 6.4**, el sistema irá registrando el peso del camión a medida que estos hagan ingreso a la romana de pesaje. Luego, los camiones se dirigirán a la IDC, ubicándose en el andén que el operador de la isla determine, o en su defecto estacionándose a un costado esperando su turno de carga.

La ubicación de los camiones en los andenes no es azarosa, dada la configuración de piping, hay algunos andenes que cargan preferentemente un producto en particular más que otro. Por ejemplo, los andenes 3 y 5 de la IDC en planta Concón cargan principalmente camiones graneleros, gracias a que tienen una línea directa para el gas catalítico.

Una vez al camión se le haya designado un andén en la IDC y ya se encuentre estacionado en él, el operador debe seguir el protocolo para la carga de camiones, el cual inicia con la instalación de cuñas y la conexión cable a tierra. Pasado este punto, el operado debe iniciar la carga desde su Tablet.

El sistema solicitará la patente del camión, el andén en donde se encuentra ubicado y el tipo de camión. El programa verifica que la patente ingresada por el operador efectivamente corresponda a un camión que haya hecho ingreso a la romana de pesaje. De no ser así, vuelve a solicitar la patente en caso de que el operador no haya digitado de manera correcta la patente del vehículo. El peso inicial asociado a la patente será guardado como peso inicial (P_I).

Luego, el sistema busca la patente en su base de datos, desde donde utilizará la información del camión para realizar los cálculos de inyección de producto. Siguiendo con el ejemplo, el camión a cargar corresponde a uno cisterna, con la patente HYGB-71:

- $P_T = 14.000$ (kg)
- $V_c = 23,198$ (m³) *Se utiliza el volumen cubicado cuando este se encuentre disponible.
- $P_I = 14.091$ (kg)

6.4.3. Registro del gas residual

Los siguientes datos para ingresar por parte del operador corresponden a los necesarios para la estimación del gas residual. Con los datos de peso inicial y peso de tara ya es posible realizar un cálculo de producto residual. El cálculo del gas residual mediante la utilización del rotogage se seguirá utilizando principalmente para evitar deterioro de los instrumentos por falta de uso.

El porcentaje de gas residual, temperatura y presión serán registrados en el sistema como G_R , T_I , P_I respectivamente. Adicionalmente se debe ingresar el producto y su densidad correspondiente. En este ítem el sistema entrega las opciones de producto de la siguiente forma que se ve en la Tabla 6.5

Tabla 5.5. Producto por seleccionar, Elaboración propia.

	Producto
1	Propano
2	Propano especial
3	Mezcla
4	Catalítico
5	Butano

Luego, el sistema solicitará la introducción de la densidad real del producto, este será guardado como ρ_1 . De esta forma, y para los cálculos posteriores se presentan como ejemplos los siguientes valores de gas residual, presión, temperatura y densidad:

- $G_R = 1\%$
- $T_1 = 24$ (°C)
- $P_1 = 18$ (PSI)
- $\rho_1 = 0,572$ (kg/m³)

Luego del ingreso de datos, la ventana de carga se encontrará en estado de pausa, esperando que el operador finalice el checklist. En la ventana se abrirá una pregunta “¿El camión aprobó la lista de comprobación?”, presentado dos posibles respuestas, “Si” o “No”. En el primer caso se continua con el proceso de carga. De lo contrario el sistema vuelve a preguntar la misma pregunta, y si vuelve a ser negativa se borrarán todos los datos de la carga actual, esto dado a que no se puede realizar una carga con el checklist rechazado.

6.4.4. Cálculos

El sistema debe estar diseñado para realizar la máxima inyección, esto dependiendo de todos los factores que afectan en la carga, como lo son capacidad de almacenaje, producto a cargar, cantidad de gas residual y límites de inyección.

En reuniones con el Jefe de Planta de Concón y el Subgerente de Logística y Operaciones, se estableció que el sistema debe ser quien establezca la cantidad de producto a inyectar. En inicio el sistema se había proyectado como una estación de servicio, en donde el “bombero” establece la cantidad de combustible a inyectar. El sistema finalmente calculará la cantidad de producto a inyectar, esto con el fin de evitar errores de tipeo. Este tipo de soluciones se le denomina “Poka-yoke”, las cuales no dejan margen de error proveniente del operador en algún proceso en particular.

La instalación del sistema permitirá maximizar y controlar la inyección de GLP, solucionando la inexactitud que genera el procedimiento actual. Los cálculos que debe realizar el programa se presentan a continuación.

6.4.4.1. Masa residual

Este cálculo se realiza en dos ocasiones, pero con métodos diferentes, el primero consta restar el peso inicial (P_I) con el peso de tara (P_T), siendo el resultado la masa residual (M_R).

$$M_{R1} = P_I - P_T \quad (6.1)$$

El segundo método se calcula con el porcentaje de gas residual, multiplicándola con la densidad del producto residual y el volumen de almacenamiento del estanque:

$$M_{R2} = G_R * V_C * \rho_R \quad (6.2)$$

Se realizan los cálculos de masa residual con los datos del camión cisterna utilizado como ejemplo.

$$M_{R1} = 14.091[kg] - 14.000 = 91 [kg]$$

$$M_{R2} = \frac{1}{100} * 23.192[m^3] * 0,572 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 132,7 [kg]$$

Como se puede apreciar, el cálculo de la masa residual es mayor con el segundo método, siendo este el que es utilizado hoy en día por el protocolo de carga de camiones. De ambos resultados siempre se utiliza el que arroja menor cantidad de kilogramos, con tal de maximizar la carga.

6.4.4.2. Carga máxima por inyectar según capacidad de almacenamiento

Para maximizar la carga hay que tener en consideración las limitantes, las que corresponden al peso máximo en carretera y al almacenamiento máximo dentro de un estanque horizontal. Primero se calcula la capacidad máxima de almacenamiento, el cual por normativa no puede superar el 85% del almacenamiento, para efectos del cálculo, y con tal de mantener un margen de seguridad el cálculo de realizara con 84,5%.

$$C_{Max} = \frac{84,5}{100} * V_C * \rho_1 \quad (6.3)$$

6.4.4.3. Carga inyectable

El valor de la carga inyectable corresponde a la cantidad de kilogramos que deben ser ingresados al estanque de almacenamiento del camión. Se calcula la carga inyectable (C_{INY}) mediante la resta entre los valores de carga máxima (C_{Max}) y masa residual (M_R):

$$C_{Iny} = C_{Max} - M_R \quad (6.4)$$

6.4.4.4. Peso teórico en carretera

La limitante más frecuente a la hora de cargar un camión se le atribuye al peso máximo en carretera. Se estima teóricamente el valor final de la carga sumando la carga inyectable (C_{Iny}) más el peso de tara del camión (P_T). A este valor se le denomina peso teórico final (P_{TF})

$$P_{TF} = C_{Iny} + P_T \quad (6.5)$$

Sin embargo, el peso teórico final debe cumplir un requerimiento, el cual es no superar las 45 toneladas en carretera. Para cumplir tal especificación el sistema debe corroborar que el peso teórico final no sea superior a los 44.500 (kg). De ser así, la carga inyectable debe ser corregida.

6.4.4.5. Carga inyectable corregida

En el caso que el peso teórico final supere los 44.500 (kg), el sistema debe corregir la carga inyectable. Esto lo hará borrando la información anterior, referente al cálculo de la carga inyectable, actualizando su valor mediante la resta de 44.500 (kg) con el peso inicial del camión (P_I).

$$C_{Iny} = 44.500 (kg) - P_I \quad (6.6)$$

El cálculo se realiza con un tope de 44.500 kilogramos para mantener el peso del camión dentro de un rango de seguridad, el cual permita no sobrepasar las 45 toneladas en ningún caso.

6.4.4.6. Tiempo estimado de carga

Con el fin de poder organizar los tiempos de carga de camiones, el sistema debe calcular la estimación de tiempo teórico que el camión tardará en cargar. Esto se realizará en función al caudal promedio, densidad del producto y cantidad de kilogramos a inyectar. El caudal promedio será obtenido durante el día a día de la operación.

$$T_E = \frac{C_{Iny} * \rho_1}{Q_{Prom}} \quad (6.7)$$

6.4.5. Inicio de carga

Todos los procesos que fueron detallados anteriormente son pasos que tanto el sistema, como el operador pueden realizar de manera paralela a otras actividades. El programa debe ir guardando la información del camión y de la carga en la pestaña del andén en donde se efectuará la inyección, por lo cual se puede realizar el mismo proceso en los 6 andenes.

Existen dos criterios para designar el orden en el cual los camiones irán siendo inyectados. El primero depende de la disponibilidad de las bombas. Estas se encuentran ubicadas en la zona de tanques, la responsabilidad de encender y apagarlas recae en el operador de aquella zona. Son 3 bombas las que se encargan de trasladar el producto desde los tanques de almacenamiento por 3 líneas de cañerías, todas de distinto diámetro (3", 4", 6"). La línea de 3" traslada preferentemente producto "catalítico", el cual es administrado a los camiones graneleros, en cambio, las dos líneas restantes abastecen con propano, propano especial, butano y mezcla al resto de camiones.

Dada estas condiciones, el sistema debe esperar que el operador de la orden para iniciar la carga en el andén indicado. Para dar inicio, en la pantalla del andén elegido el sistema preguntará si ya se encuentra en condiciones para empezar la inyección. Se da ok en el caso que ya se encuentre aprobado el checklist, se encuentre alineado el producto desde zona de tanques y el operador este posicionado para encender la bomba. Cuando el caudalímetro Coriolis haya detectado el paso del caudal se dará por iniciada la carga, tomando el tiempo desde aquel instante.

Al iniciar la carga, el sistema proyectará en el HMI la cantidad de kilogramos que se deben cargar (C_{Iny}) y la cantidad inyectada en tiempo real (C_{TR}). Gracias a los sensores de presión y temperatura, el caudalímetro másico puede ir actualizando el valor de la densidad del producto que entra al camión.

Cuando la carga inyectada en tiempo real alcance a completar un 90% de la carga a inyectar, el sistema dará aviso al operador a través de la Tablet, esto con el objetivo de poder coordinar con el operador de zona de tanques para el apagado de la bomba.

Ya al momento de llegar al 100% de la carga, el sistema bloqueará el paso del producto cerrando las válvulas de control neumáticas. Esto provocará que el producto empiece a retornar a la salida de la bomba al no poder seguir avanzando a la IDC.

Idealmente las bombas deberían ser encendidas y apagadas por el sistema, sin embargo, este requerimiento fue descartado por los supervisores de la IDC.

Una vez terminada la carga, el operador debe seguir con el protocolo de la isla, desacoplando las mangueras del camión y recuperando el producto que quedó almacenado

en las mangueras. Luego debe retirar las cuñas y desconectar el cable a tierra. Este último paso le permite al sistema saber si el camión ya se encuentra disponible para desplazarse.

6.4.6. Peso final

El proceso finaliza con la medición del peso final del camión. Esta se realiza en dos ocasiones, la primera es con el chofer dentro del camión. Este es registrado en la base de datos del sistema como peso en carretera (P_C). El segundo peso por comprobar es el peso del camión sin el chofer en su interior, a este peso se le denominara peso final (P_F).

El peso final se utiliza para calcular la cantidad de kilogramos que efectivamente fueron inyectados en el proceso. El cálculo lo debe realizar el Área de Control de Existencias, esto a través de la plataforma SAP.

Dentro del sistema, la operación no termina hasta la lectura del peso en carretera y el peso final. Gracias a que la romana de pesaje puede entregar información sobre el peso del camión, y a que el lector de patente puede identificar el tracto es posible designar estos pesos de manera automática.

De esta forma el programa captará ambos pesos en la base de datos, permitiendo calcular la cantidad real inyectada, y con este valor determinar la precisión del procedimiento:

- Carga real: Corresponde a la cantidad neta de producto inyectado, este valor es el que finalmente se utiliza para el cálculo de existencias de la empresa y se calcula de la siguiente forma. La carga real inyectada (C_{Real}) es la resta entre el peso final (P_F) y el peso inicial (P_I)

$$C_{Real} = P_F - P_I \quad (6.8)$$

- Error porcentual de carga: Se calcula el error de la carga de la siguiente forma:

$$Error = \frac{C_{Real} - C_{Iny}}{C_{Iny}} * 100\% \quad (6.9)$$

Estos valores son registrados en la base de datos del sistema para su posterior análisis del proceso de carga. Si el porcentaje de error es negativo significa que se están inyectado menos

kilogramos de los calculados, de la misma forma, si el valor es positivo se está inyectado más producto de lo presupuestado.

6.5. Indicadores de rendimiento operacional

Actualmente los procesos generados en la isla de carga no son cuantificados bajo algún indicador que permita analizar y comparar los rendimientos diarios, ya sea por planta o a nivel empresa.

La propuesta de automatización no consideraba inicialmente la elaboración de indicadores de rendimiento operacional, pero en vista de la cantidad de datos que puede generar el sistema resulta interesante el poder generar tales indicadores. A continuación, se detalla cada indicador propuesto.

- Capacidad / Tiempo de carga: Al finalizar la carga el sistema puede relacionar la capacidad de almacenamiento del camión con el tiempo efectivo de carga. Este indicador permite comparar el rendimiento del proceso en distintos camiones. A valores más altos mejor rendimiento en la carga.
- Tiempo carga / Tiempo estacionado: Los camiones pueden estar estacionados sin la necesidad de estar cargando. Esto gracias a que pueden estar esperando su turno o se encuentran en proceso de chequeo. A valores más grandes mejor rotación en la ocupación de espacios en la carga de camiones.
- Cantidad de camiones sobrellenados: Este valor indica las fallas del sistema en los que a inyección refiere. Tal indicador debería permanecer siempre en 0, si empiezan a ocurrir eventos implica una reconfiguración.
- Cantidad de camiones con 5% de producto residual: Actualmente se está en conocimiento de que existen camiones que circulan con un porcentaje de gas residual mayor a 5%, sin embargo no se está en conocimiento cuantos son. El poder cuantificarlos permite tomar medias al respecto, logrando realizar seguimientos.

7. Evaluación económica de la propuesta desarrollada para la isla de carga.

La carga de camiones cisterna y graneles es uno de los puntos críticos para la cadena de valor de la empresa. La venta de GLP a granel cubrió el 37% del volumen de ventas de la empresa en Chile durante el año 2020[20]. Son alrededor de 230 mil los clientes que se abastecen mediante la venta a granel corresponden a condominios, residenciales, sectores industriales y restaurantes.

Como ya se detalló en el documento, el principal problema que presenta el proceso es la liberación de GLP al ambiente. La propuesta ya presentada técnicamente logra resolver dos problemas que provienen de la liberación del producto.

La primera de ellas es el hecho de la liberación al ambiente que está controlada por el Ministerio del Medio Ambiente. En el año 2015, a través del Decreto 10, el Ministerio del Medio Ambiente declara zona saturada por material particulado fino respirable $MP_{2,5}$, como concentración anual y latente como concentración diaria y zona latente por material particulado respirable MP_{10} , como concentración anual, a las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví [30]. A pesar de que la liberación de GLP en sí misma no implica un aumento significativo en el material particulado en el aire, la Seremi de Medio Ambiente de la región solicita lecturas de la calidad del aire en la IDC, zona en donde se libera GLP diariamente. Los controles a la isla son diarios, se envían reportes durante el turno de la mañana, los cual están a cargo del supervisor. El dejar de liberar GLP al ambiente le permitirá a la planta Concón dejar tener como preocupación algún problema medioambiental en el futuro, eso dado a que las medidas en relación con la calidad del aire cada vez son más estrictas.

El segundo problema es la pérdida monetaria que implica desperdiciar el producto liberándolo al ambiente. El Departamento de Control de Existencias puede cuantificar la cantidad de kilogramos que se pierden por conceptos de operación, los cuales se le pueden atribuir a fugas en la plataforma de envasado de cilindros o a la liberación de GLP en la IDC. Sin embargo, a pesar de conocer el valor no pueden determinar qué porcentaje representa la liberación en el proceso de carga de camiones.

7.1. Datos

De esta manera, para poder cuantificar las pérdidas monetarias que implica realizar el procedimiento de carga de camiones es necesario establecer supuestos, los cuales permitan aproximar de manera cuantitativa las pérdidas. Los datos que serán presentados a continuación fueron presentados por los supervisores de la IDC de las plantas Concón y Maipú. Para efectos de este ítem se realizará la evaluación económica para ambas plantas.

7.1.1. Cantidad de camiones

Las IDC reciben en promedio, la misma cantidad de camiones cisterna y graneles diariamente. El número de camiones fue revisado por los supervisores de la isla y son los siguientes:

- Planta Concón:

Camiones cisterna: 7

Camiones graneleros: 13

- Planta Maipú:

Camiones cisterna: 5

Camiones graneleros: 25

7.1.2. Tiempo de llenado

El valor más inexacto en esta estimación corresponde al tiempo de llenado. Este varia notoriamente dependiendo de la capacidad de almacenaje del camión. Sin embargo, para efectos de los cálculos se les solicitó a los operadores estimar el tiempo de carga de los camiones granel y cisterna:

- Camión cisterna: 45 [minutos / proceso]
- Camión granelero: 30 [minutos / proceso]

7.1.3. Emanación por proceso

. El desarrollo y estimaciones realizadas se encuentra en el **anexo #**. Lamentablemente no se pudo realizar una lectura mediante un método experimental para comprobar el caudal. Esto gracias a que por efectos del plan paso a paso en la comuna de Concón, la empresa no se encontraba en condiciones de recibir cualquier tipo de externo. El caudal se trabajará en gramos por minutos para facilitar los cálculos posteriores, dejando una magnitud de 472,8 (g/minuto)

7.1.4. Rotación de camiones por temporada

La venta de GLP se puede dividir en dos temporadas, marcadas por las estaciones del año. La temporada alta, correspondiente al mayor volumen de ventas se registra principalmente durante el invierno, en donde se consume una mayor cantidad de producto para calefacción. Así mismo, la temporada baja se encuentra en la estación del año en donde las temperaturas son más altas. Dado esto, los camiones graneleros y cisternas deben rotar de manera más ágil con tal de cubrir la demanda.

- Temporada baja:

Camiones cisterna: 1

Camiones graneleros: 1

- Temporada alta:

Camiones cisterna: 2

Camiones graneleros: 1

7.1.5. Días de operación por temporada

La distribución de GLP se realiza de lunes a sábado en ambas plantas. El cálculo se realiza con 30 días de operación por mes durante 6 meses, lo que establece un total de 180 días de operación por temporada.

7.1.6. Precio de compra GLP

Empresas Lipigas se encarga de distribuir gas licuado de petróleo a lo largo del país. Dada la cantidad de producto que debe abastecer, el precio por el cual compra el kilo de GLP se aproxima a \$470. Se puede leer también como 0,47(M\$/Ton)

7.2. Cálculos

Se realizará el procedimiento utilizando los datos de planta Concón, al final de los cálculos se presentarán las pérdidas por concepto de liberación de GLP de ambas plantas. El cálculo en sí mismo consiste en determinar la cantidad de emisiones realizadas durante la temporada (ver Tabla 7.1 y 7.2). Al ser determinadas, estas se sumarán para cuantificar las pérdidas anuales.

Tabla 7.1. Toneladas de GLP liberados en temporada baja, Elaboración propia.

	Graneleros	Cisternas	Unidades
Caudal de despiche	472,8	472,8	g/min
Procesos carga baja	13	7	Procesos/Dia
Tiempo estimado carga	30	45	Min/proceso
Emanaciones temporada baja	184.392	148.932	[g/día]

Días por temporada	180	180	Día/Temporada
Emanaciones temporada baja	33	27	[Ton/Temporada]
Sub total	60		Toneladas

Tabla 7.2. Toneladas de GLP liberados en temporada alta, Elaboración propia.

	Graneleros	Cisternas	Unidades
Caudal de despiche	472,8	472,8	g/min
Procesos carga baja	26	7	Procesos/Día
Tiempo estimado carga	30	45	Min/proceso
Emanaciones temporada baja	368.784	148.932	[g/día]
Días por temporada	180	180	Día/Temporada
Emanaciones temporada baja	66	27	[Ton/Temporada]
Sub total	93		Toneladas

7.3. Análisis

La sumatoria de las emisiones liberadas durante ambas temporadas, alcanzan un total de 153 toneladas de producto desperdiciadas efecto del proceso de carga de camiones. Realizando el mismo procedimiento para planta Maipú, se determinó que la cantidad de toneladas en su caso llega a las 230 en el año.

Tabla 7.3. Resumen anual toneladas de GLP liberadas al ambiente, Elaboración propia.

Planta	Emisiones anuales [Ton]
Concón	152
Maipú	230

No es sorprendente que las emisiones en planta Maipú sean un 15% mayores que en planta Concón, esto sabiendo que la región metropolitana concentra una mayor cantidad de clientes dada la densidad de la población.

Considerando el precio de compra del producto en \$470 por kilogramo (0,47 [M\$/Ton]), las pérdidas anuales por emisiones en el proceso de carga de camiones se cuantifican en la siguiente tabla:

Tabla 7.4. Pérdidas monetarias por desperdicio operacional, Elaboración propia.

Planta	Pérdidas anuales por emisiones
Concón	\$73.000.000
Maipú	\$108.000.000

Estas cifras que, en este momento, significan una pérdida por desperdicio en el proceso de carga, son la oportunidad de mejora para la operación. Lo que hoy es pérdida en el futuro se convertirá en ahorro, el cual financiará el proyecto en cuestión.

7.4. Proceso de licitación

Luego del desarrollo de la propuesta de automatización, la empresa a través del Departamento de Lógica y Operación empezó la licitación del proyecto “Automatización de la isla de carga”. El proceso se inició subiendo la propuesta a Wherex, plataforma web para licitaciones de proyectos de ingeniería.

Se realizan múltiples reuniones con empresas externas interesadas en la ejecución del proyecto, en cada una de ellas se expuso en detalle la propuesta formulada. Finalmente, en el mes de mayo de 2021, tres empresas presentaron su proyecto de ingeniería para adjudicarse la licitación.

A las empresas se les solicitó detallaran su propuesta en término de ingeniería básica y de detalle, programación, instrumentos y equipos, planimetría, montaje, documentación, capacitación y puesta en marcha.

7.5. Empresas licitantes

- Sociedad De Ventas, Servicios, Instrumentación Ltda (VSI), ya ejecutó proyectos dentro de las instalaciones de planta Concón. Estuvieron a cargo de instalar un sistema SCADA para el control de la zona de tanques.
- Instruvalve es una empresa nacional con 16 años de experiencia en el mercado nacional e internacional. Esta empresa ya se había presentado para licitaciones de proyectos anteriores, hasta la fecha no ha ejecutado ningún proyecto en planta Concón.
- H & T Ltda, empresa de servicios de ingeniería y construcción. Ejecutó proyectos en planta Maipú, y en centrales alrededor del país.

7.6. Evaluación de propuestas de empresas licitantes

7.6.1. Económica

Uno de los requerimientos solicitados a las empresas licitantes, fue realizar un desglose del trabajo a realizar en múltiples ítem. Esto con el objetivo de comprar sus propuestas y así realizar un análisis al respecto.

Se puede apreciar más adelante, en las tablas de comparación, que no todas las empresas realizaron un detalle completo en cada ítem. La empresa con mayor costo de ejecución es H & T limitada, con un precio de proyecto de \$364 millones de pesos. Lo sigue Instruvalve con \$329 millones de pesos. La propuesta más economía fue por parte de VSI, quienes presentaron su proyecto en \$178 millones de pesos.

A continuación, se presenta el detalle económico por ítem de cada empresa, se puede apreciar en las tablas 7.5 y 7.6 que no todas las empresas presentaron el mismo nivel de detalle.

Tabla 6.5. Detalle propuestas de licitación planta Concón, Elaboración propia

Concón			
ITEM	VSI	Instruvalve	H & T
Ing. básica y de detalle	\$ 2.187.000	\$ 59.670.000	\$ 20.381.868
Programación	\$ 2.187.000	\$ 35.100.000	\$ -
Instrumentación y equipos	\$ 134.179.759	\$ 182.520.000	\$ 162.934.200
Planimetría	\$ 1.093.000		\$ -
Montaje	\$ 37.462.230	\$ 52.650.000	\$ 164.837.322
Documentación	\$ 510.300		\$ -
Capacitación	\$ 1.164.375		\$ 15.866.604
Totales	\$ 178.783.664	\$ 329.940.000	\$ 364.019.994
Promedio	\$	290.914.553	

Tabla 7.6. Detalle propuestas de licitación planta Maipú, Elaboración propia

Maipú			
ITEM	VSI	Instruvalve	H & T
Ing. básica y de detalle	\$ 2.187.000	\$ 59.670.000	\$ 19.123.884
Programación	\$ 2.187.000	\$ 35.100.000	\$ -
Instrumentación y equipos	\$ 137.810.683	\$ 182.520.000	\$ 162.934.200
Planimetría	\$ 1.093.000	\$ -	\$ -
Montaje	\$ 39.425.130	\$ 52.650.000	\$ 164.837.322
Documentación	\$ 510.300	\$ -	\$ -
Capacitación	\$ 1.164.375	\$ -	\$ 15.866.604
Totales	\$ 184.377.488	\$ 329.940.000	\$ 362.762.010
Promedio	\$ 292.359.833		

7.6.2. Calidad y detalle

Las propuestas que llegaron a manos de la empresa, a través de la plataforma Wherex, fueron revisadas en detalle, esto con el objetivo de analizar si las empresas licitantes captaron de manera correcta la problemática, además de corroborar si su propuesta de solución va en línea con la elaborada en esta memoria.

Cabe destacar que las propuestas enviadas, por las empresas licitantes, están sujetas a modificaciones, siendo estas preliminares hasta la fecha de entrega de este documento.

El análisis y calificación de las propuestas, fue realizado con el objetivo de determinar cuál empresa se ajusta más a los requerimientos solicitados. Dado a que las propuestas están sujetas a modificaciones, no se puede realizar una conclusión definitiva respecto a cuál de ellas será finalmente la que se adjudicará el proyecto.

Con el fin de analizar y comparar las propuestas se calificó el desempeño de cada una, en 14 ítem esenciales más dos alcances extras.

En primera instancia, se evaluó si las propuestas contemplaban todos los alcances presentados en la propuesta (ver Tablas 7.7), los cuales fueron calificados de la siguiente manera:

- Cumple
- No cumple
- No Ejecutable

Tabla 7.7. Alcances de propuestas de empresas licitantes, Elaboración propia

Alcance Propuesta	VSI	Instru.	H & T
Automatizar el proceso de carga	✓	✓	✓
Instalar instrumentos de medición de flujo másico, controladores lógico-programables	✓	✓	x
Controlar flujo de carga	✓	✓	✓
Reducir emanaciones de GLP al ambiente	✓	✓	✓
Ingeniería básica y de detalle	✓	✓	✓
Estimación tiempo de llenado	x	x	x
Automatización de encendido de bombas	✓	x	x

Validación de peso	✓	×	✓
Acceso al sistema (tablet)	✓	✓	✓
Visualizador sala de control	✓	✓	✓
Visualizador Isla	×	✓	×
Inicio de programa	×	×	✓
Autonomía de sistema (continuidad de operación)	×	×	✓
Otros Alcances			
Acoplar sistema SAP	⊖	⊖	⊖
Cálculo de la calidad del producto	×	×	×

Luego, se analizó y calificó la calidad de propuesta de cada alcance, esto con el objetivo de determinar, de manera cuantitativa, que empresa se encuentra como mejor opción. Se debe considerar que solo se trata de una propuesta inicial.

Se evaluó utilizando las siguientes notas (ver Tabla 7.8):

- 0 / No ofrece
- 0,5 / Medianamente logrado
- 1 / Logrado
- 1,5 / Logrado + Agregado

Tabla 7.8. Calificación de propuestas de empresas licitantes, Elaboración propia

		VSI	Instru.	H & T
Calidad de Propuesta				
Automatizar el proceso de carga		1	0,5	1
Instalar instrumentos de medición de flujo másico, controladores lógico-programables		1	1	0
Controlar flujo de carga		1	1	1
Reducir emanaciones de GLP al ambiente		1	1	1
Ingeniería básica y de detalle		1	0,5	1,5
Estimación tiempo de llenado		0	0	0
Automatización de encendido de bombas		1	0	0
Validación de peso		1	0	1
Acceso al sistema (tablet)		1	1	1
Visualizador sala de control		1	1	1
Visualizador Isla		0	0,5	0
Inicio de programa		0	0	0,5
Autonomía de sistema (continuidad de operación)		0	0	1
Otros Alcances				
Acoplar sistema SAP		Es viable tiene responsabilidad LIPIGAS		
Cálculo de la calidad del producto		0	0	0

La sumatoria de cada propuesta será la nota, por la cual se califique cada empresa licitante. Para el alcance de acoplamiento al sistema SAP, todas las empresas manifestaron que tal labor no les corresponde, esto dado a que debe ser desarrollado por Lipigas. Solo se manifestó una calificación con nota 1,5 , esta fue para los alcances en ingeniera básica y detalle de H& T, su propuesta contemplaba más factores que le otorgaban más control al sistema.

Tabla 6.9. Resumen de calificaciones a empresas licitantes, Elaboración propia

Puntaje		
VSI	Instru.	H & T
9	6,5	9

La propuesta entregada por VSI resulta ser la más atractiva al momento de realizar una comparación. Primero, empata como mejor calificación junto a otra empresa (ver Tabla 7.9), segundo, resulta ser cual entrega un valor de ejecución mucho menor. Además, VSI también estuvo a cargo de la instalación del sistema SCADA en la zona de tanques, pudiendo ellos unir ambos flujos de información con tal de entregarle una mayor capacidad de control al sistema.

7.7. Flujo de caja

La evaluación económica finaliza con el desarrollo de un flujo de caja. Este permite cuantificar los ingresos y egresos que genera el proyecto a lo largo de un tiempo específico. Desde la génesis de esta propuesta, se está en conocimiento que el proyecto de automatización de la isla de carga postula a una iniciativa “Lipigas 3.0”. Esto significa que la propuesta debe generar retorno de inversión a lo menos en 3 años, respetando la premisa de proyectos de alto redito con baja inversión.

Para la elaboración de este flujo se utilizaron los siguientes supuestos

Egresos: Aumento de costos de mantenimiento asociados a la instalación de nuevos equipos. Incluyendo repuestos, estimados en un 5% de la inversión inicial (ver Tabla 7.10).

Tabla 7.10. Egresos flujo de caja, Elaboración propia

Egresos	MM\$
Aumento costo mantenimiento	3
Repuestos	15
Total egresos	18

- Ingresos: En la práctica la instalación del proyecto no genera nuevos ingresos. Dado esto se considera como ingreso el ahorro generado al dejar de despichar GLP al ambiente. En planta Concón se cuantifica en \$73.000.000. Se considera que este ahorro aumenta un 10% año a año, considerando un alza en las ventas a granel.
- Inversión: Con tal de realizar solo un flujo de caja, el cual permita analizar la propuesta en cuestión, se utiliza el costo promedio de las propuestas licitantes, quedando cuantificado en \$300.000.000.
- Depreciación: Se utilizará depreciación acelerada para efectos del cálculo del flujo de caja. Cuantificando en un 15% el valor residual de la inversión, el valor de la depreciación se valora en \$86.000.000.
- Tasa de inversión: 12%
- Impuesto a la renta: 27%

Tabla 7.11. Fujo de caja proyecto automatización de isla de carga, Elaboración propia.

Flujo De Caja MM\$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ahorro GLP		73	80	88	97	107	118	129	142	156	172
Ahorros Total		73	80	88	97	107	118	129	142	156	172
Egresos Total		-18	-19	-19	-20	-20	-20	-21	-21	-22	-22
Depreciación Total Equipos		-86	-86	-86							
Utilidad Equipo Sin Impuesto		-31	-24	-16	77	87	97	108	121	135	150
Impuesto A La Renta		0	0	0	-21	-23	-26	-29	-33	-36	-40
Utilidad Equipo después Impuesto		-31	-24	-16	57	63	71	79	88	98	109
Depreciación Equipos		86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
Inversión Total	300										
Flujo De Caja Neto (MM\$)	-300	55	61	69	142	149	156	165	174	184	195
Flujo De Fondos Descontados		49	49	49	90	84	79	74	70	66	63
		-245	-184	-115	28	176	333	497	671	855	1050

Tabla 7.12. Indicadores flujo de caja, Elaboración propia.

Valor Actual Neto (VAN)	375	MM\$
Tasa Interna Retorno (TIR)	31%	%
Payback	4	Años

8. Conclusiones

Se desarrolló una propuesta de automatización de carga de gas licuado de petróleo (GLP) de la isla de carga Concón, de manera de optimizar los recursos globales evitando las pérdidas que deja el actual proceso de la empresa Lipigas. La metodología de resolución de problemas utilizada es DMADV.

La etapa de validación de la propuesta fue realizada en conjunto al jefe de proyectos de Planta Concón, el ingeniero Marco Nocetti Madariaga. La propuesta fue correctamente validada, gracias a este paso el proyecto pudo ser subido a las plataformas de licitación.

El uso de estas metodologías permitió determinar el origen del problema, y a partir de la definición de este encontrar la mejor solución que se ajuste a la necesidades y posibilidades de la empresa. En concreto, una empresa tan grande como lo es Empresas Lipigas S.A. no se puede dar el lujo de desperdiciar producto en cada operación de carga de camiones, considerado además que la planta Concón se encuentra dentro de una zona crítica en términos medioambientales.

La modernización de la isla de carga no solo trae consigo una carga controlada de GLP sin necesidad de liberar producto, sino también la posibilidad de cuantificar los datos claves del proceso. La propuesta técnica que considera el uso de flujómetros másicos Coriolis, válvulas de control neumático y un PLC. La propuesta fue correctamente validada, gracias a este paso el proyecto pudo ser subido a las plataformas de licitación

La empresa, dentro de su iniciativa “Lipigas 3.0” busca el desarrollo de iniciativas y proyectos que logren actualizar los procesos de valor con un retorno de inversión en el corto plazo. La propuesta de automatización de la isla de carga calza con el concepto de actualización de procesos, agregando la posibilidad de ahorro de producto en cada operación. Sin embargo, el retorno de inversión del proyecto en planta Concón se estima en 4 años, siendo mayor al solicitado por la empresa, cual establece los retornos se deben generar en un tiempo máximo de 3 años. Considerando lo anterior existe la posibilidad que el proyecto no obtenga los recursos solicitados para su ejecución.

El proyecto puede ser instalado en las plantas Concón y Maipú sin la necesidad de generar alguna distinción en su programación o proceso. Los alcances entre ambas plantas solo son de dimensiones entre las ubicaciones de zona de tanques y romana específicamente.

En lo que a prioridad refiere, es claro que la planta Maipú desperdicia mayor cantidad de producto, lo que implica una mayor cantidad de ahorro operacional en términos de reducir los de precios a 0. Sin embargo, la planta Concón debe ser intervenida en primera instancia, no solo considerando el ahorro en términos monetarios, sino también el evitar tener mayores problemas en un futuro dado los avances en términos de restricciones medioambientales en la zona.

A pesar de lo antes mencionado, el proyecto será considerado por Empresas Lipigas en el presupuesto de inversiones para el año 2022, con lo cual se le da termino al desarrollo del proyecto de ingeniería con la próxima ejecución de este para el primer semestre del próximo año. Además, agregar que actualmente me encuentro desempeñando labores en el área de proyectos de ingeniería de la empresa.

En conclusión, la empresa debería generar los recursos necesarios para la ejecución del proyecto de automatización de la isla de carga en planta Concón. La actualización del proceso genera ahorros monetarios en considerando los flujos de información obtenidos producto de la modernización.

9. Referencia

- [1] SCIELO, Mejora Continua <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-28742015000400014> [consulta 13 Junio 2021]
- [2] BSG INSTITUTE, TPM 8 pilares <<https://bsginstitute.com/bs-campus/blog/los-8-pilares-del-tpm-1134>> [consulta 10 Julio 2021]
- [3] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019. 150 p
- [4] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019. 31 p
- [5] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019. 33 p
- [6] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019. 41 p
- [7] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019. 44 p
- [8] CLAVEI, Indicadores clave de rendimiento <<https://www.clavei.es/blog/kpi-indicador-clave-de-rendimiento-que-es/>> [consulta 10 Julio 2021]
- [9] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019. 84 p
- [10] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019. 89 p
- [11] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019. 99 p

[12] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019.
101 p

[13] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019.
114 p

[14] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019.
117 p

[15] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019.
126 p

[16] Socconini, Reato, Lean Six Sigma, Sistema de gestión para liderar empresas, 2019.
130 p

[17] ALBORNOZ H, Anaraya, APPVISER, Metodo 5W [en línea]
<<https://www.appvizer.es/revista/organizacion-planificacion/gestion-proyectos/5w-definicion-ejemplos-concretos-y-ventajas-metodo-5-w>> [consulta 30 mayo 2021]

[18] Ley N° 20.999, Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 1 de Enero de 2017

[19] OSINERGMIN, Propiedades del “GLP”,
<<http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1430.htm#:~:text=El%20GLP%20es%20un%20combustible,t%C3%B3xico%2C%20pero%20puede%20provocar%20asfixia.&text=El%20GLP%20es%20un%20combustible%20que%20en%20determinados%20porcentajes%20con,8.60%25%20de%20gas%20en%20aire.>> [consulta 19 abril 2021]

[20] WORLD LPG ASSOCIATION ANNUAL REPORT, Revista Annual WLPGA, Enero 2021

[21] MEMORIA ANUAL 2020, Revista Anual Empresas Lipigas, Abril 2021

[22] MEMORIA ANNUAL 2020, Revista Anual Gasmar, Marzo 2021

[23] RAE, Caudal <<https://dpej.rae.es/lema/caudal>> [consulta 17 junio 2021]

[24] OSINERGMIN, Propiedades del “GLP”,
<<http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1430.htm>> [consulta 23 mayo 2021]

[25] <https://es.omega.com/technical-learning/seleccionando-un-medidor-de-flujo-masico-para-su-aplicacion.html>. [consulta 23 mayo 2021]

[26] OMEGA, Criterio de selección de un caudalímetro masico <<https://www.iebschool.com/blog/que-es-para-que-sirve-sap-management/>> [consulta 17 abril 2021]

[27] LIFEDER, Cubicación <<https://www.lifeder.com/cubicacion/#:~:text=La%20cubicaci%C3%B3n%20es%20la%20estimaci%C3%B3n,es%20decir%2C%20el%20metro%20c%C3%BAbico.>> [consulta 14 Julio 2021]

[28] Decreto 158, FIJA EL PESO MÁXIMO DE LOS VEHICULOS QUE PUEDEN CIRCULAR POR CAMINOS PUBLICOS, Ministerio de Obras Públicas, Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 29 de Enero de 1980

[29] Decreto 29, APRUEBA REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y EXTENDIO DE GAS LICUADO, Ministerio de Economía, Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 21 de Enero de 1986

[30] Decreto 10, DECLARA ZONA SATURADA POR MATERIAL PARTICULADO FINO RESPIRABLE 2,5 , COMO LA CONCENTRACIÓN ANUAL Y LATENTE COMO CONCENTRACIÓN DIARIA MP10, COMO CONCENTRACION ANUAL, A LAS COMUNAS DE CONCÓN, QUINTERO Y PUCHUNCAVÍ, Ministerio del Medio Ambiente, Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, 9 de Junio de 2015

[31] GASNEIVA, Seguridad y garantía, <<http://gasneiva.com/component/spsimpleportfolio/item/2-free-joomla-template.html>> [consulta 14 Julio 2021]

[32] VSI Chile, Logo VSI < <https://www.vsi.cl>> [consultado 15 julio 2021]

[33] INSTRUVALVE, Logo Instruvalve < <https://www.instruvalve.cl>> [consultado 15 julio 2021]

