



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño, instalación y
arranque de sistemas para la
producción y empaque de
lavatrastes líquido**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Alejandro César Macías Hernández

ASESOR DE INFORME

M.A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DISEÑO, INSTALACION Y ARRANQUE DE SISTEMAS PARA LA PRODUCCION Y EMPAQUE DE LAVATRASTES LIQUIDO que presenté para obtener el título de INGENIERO MECATRÓNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

ALEJANDRO CESAR MACIAS HERNANDEZ

Número de cuenta: 306511844

Índice

1.- Introducción y objetivos.....	5
2.- Descripción de la empresa	7
2.1.- Breve historia	7
2.2.- Organización	8
2.3.- Presencia e Impacto en México y Latinoamérica.....	12
3. Descripción del puesto de trabajo	14
3.1 El rol de Ingeniería Regional en P&G.....	14
3.1.1 Influencia del Ingeniero en resultados de negocio	15
3.2 Habilidades y Actividades Clave	15
4. Antecedentes	17
4.1 Sistemas de Producción de Lavatrastes Líquido	17
4.1.1 Tanques y tuberías	17
4.1.2 Bombas.....	19
4.1.3 Instrumentación y Control	20
4.2 Sistemas de empaque de lavatrastes líquido.....	24
4.2.1 Manejo de botella vacía	25
4.2.2 Llenado y taponado.....	27
4.2.3 Etiquetado	28
4.2.4 Empacado.....	29
4.2.5 Manejo de caja llena	30
4.3 Análisis de Ingenierías de Detalle.....	31
5. Metodología Utilizada en Ingeniería Regional	32
5.1 Fase de Factibilidad	32
5.2 Fase de Conceptualización	33
5.3 Fase de Definición	33
5.4 Fase de Diseño y Construcción.....	34
5.5 Fase de Arranque	35
6. Desarrollo sobre el Proyecto de reducción de tiempo de <i>batch</i>	36
6.1 Planteamiento del Problema	36
6.2 Aportaciones Personales y resultados por cada fase de ingeniería.....	36
6.2.1 Factibilidad	36

6.2.2 Conceptual	37
6.2.3 Definición	37
6.2.4 Diseño y Construcción	39
6.2.5 Arranque.....	40
7. Desarrollo sobre el proyecto de nueva línea de empaque de alta velocidad.....	42
7.1 Planteamiento del problema	42
7.2 Aportaciones Personales y Resultados por cada Fase de Ingeniería	42
7.2.1 Factibilidad	42
7.2.2 Conceptual	43
7.2.3 Definición	45
7.2.4 Diseño y Construcción.....	47
7.2.5 Arranque.....	48
8. Conclusiones.....	54

1.- Introducción y objetivos

Son los conceptos e ideas de la Revolución Industrial del siglo XVIII los que dieron pie a la estructura que hoy conocemos como sistema de producción. A lo largo de los últimos años, el desarrollo tecnológico aunado a metodologías industriales (como las desarrolladas en Japón ej. Kanban, Kaizen) ha creado nuevos modelos de negocio cuyo enfoque es la producción masiva de bienes de consumo. Este modelo ha sido liderado por empresas internacionales que han desarrollado sistemas de producción más eficientes a través de investigación, desarrollo e inversión.

La estructura de una empresa de manufactura y sus fábricas se puede entender al definir un sistema de producción cuyos elementos se reúnen e interactúan entre sí para transformar materias primas y dotarlas de un valor adicional que las convierte en bienes para los consumidores. [1]

Se puede así considerar que los sistemas de producción son el núcleo de los negocios dedicados a la manufactura y es por ello que el correcto diseño de ingeniería y su funcionamiento son de gran importancia para aumentar valor, disminuir costos y proveer mayor valor a los accionistas de dichas empresas.

Es así como la ingeniería juega un rol estratégico y de suma importancia en los modelos actuales que soportan gran parte de la economía, que generan empleos y que producen los bienes que mejoran y simplifican la vida de los seres humanos.

El objetivo del presente reporte es describir el rol que un gerente de departamento de ingeniería de líquidos tiene dentro del diseño, instalación y arranque de distintos sistemas de producción dentro de una planta de manufactura moderna así como su impacto en los resultados de negocio a nivel global.

Teniendo en mente el objetivo anterior se incluirá la siguiente información para lograrlo:

- Se darán a conocer las distintas áreas y responsabilidades que cubren su posición dentro de la empresa Procter & Gamble.
- Se presentarán algunos conceptos y estándares industriales que son parte de sus actividades diarias y de los sistemas que interviene.
 - Dichos conceptos se presentarán de forma general para después entrar a detalle en el proceso de elección y dimensionamiento de equipos para resolver distintos problemas.
- Se mencionará brevemente la metodología de ingeniería que se utiliza como guía para la correcta ejecución de proyectos de capital y sus diferentes fases.
- Y, finalmente, se describirán dos proyectos dentro de la producción de lavatrastes líquido; el primero será enfocado en la producción del líquido y el segundo se centrará en la instalación de una nueva línea de empaque de alta velocidad, desde su concepción hasta su arranque.

Ambos proyectos se realizaron en planta Vallejo, México durante el periodo de Enero de 2017 hasta Diciembre de 2018 donde fungí como líder de ingeniería del proyecto y cuyos resultados son de gran impacto para el negocio de Salvo en México y Latinoamérica.

Como parte de la descripción de los proyectos, se mencionarán los principales retos y se describirán los resultados utilizando las fases de la metodología de ingeniería haciendo especial énfasis en mis contribuciones personales y profesionales para la resolución de problemas técnicos y la ejecución exitosa de iniciativas. Son estas contribuciones las que, de una u otra forma, hacen uso de mis conocimientos adquiridos durante mi formación académica y de mi continua formación profesional como ingeniero en la industria.

2.- Descripción de la empresa

Procter & Gamble es una empresa transnacional de origen estadounidense con 181 años de antigüedad. Está dedicada a la producción de bienes de consumo y fue fundada en 1837 por William Procter y James Gamble en Cincinnati, Ohio. Se especializa principalmente en una amplia gama de agentes de limpieza, cuidado personal y productos para la higiene en general. Hoy en día, P&G comercia 65 marcas consolidadas bajo su nombre entre las cuales destacan Ariel, Salvo, Pantene, Crest, entre otras y tiene presencia en más de 80 países.

2.1.- Breve historia

El año de 1837 fue un año complicado para comenzar un negocio en Estados Unidos. Aunque Cincinnati representaba un mercado muy activo, en el público en general dominaba un sentido de pánico financiero. Cientos de bancos estaban cerrando a lo largo y ancho del país, por lo que existía una preocupación de que el gobierno de los Estados Unidos estuviera en bancarrota. A pesar de ello, a finales del mismo año, William Procter y James Gamble, productores de velas y jabón, respectivamente, unieron sus negocios personales para formar Procter & Gamble.

Hacia 1890, P&G estaba vendiendo más de treinta diferentes tipos de jabón, incluyendo el jabón en barra *Ivory* que flotaba en el agua. Impulsada por una serie de anuncios a color impresos en revistas nacionales, la demanda del consumidor promedio por los jabones de P&G continuaba creciendo.



Figura 1. Jabón Ivory de Procter & Gamble

Para ponerse a la par con dicha demanda, la compañía expandió sus operaciones hacia afuera de Cincinnati, fundando así una planta en Kansas City, Kansas. Durante los próximos cincuenta años, los laboratorios de investigación de la compañía estuvieron tan ocupados como las plantas mismas: para mantenerse competitivos no sólo existía una urgencia por la expansión geográfica, sino también por la expansión del portafolio de productos que ofrecían. Como resultado de esto, nacieron *Ivory Flakes*, un jabón en forma de hojuelas para lavar ropa y platos; *Chips*, el primer jabón diseñado para ser utilizado en una lavadora; *Dreft*, el primer detergente sintético para el cuidado de la casa; y *Crisco*, uno de los primeros aceites vegetales para el consumo general.

En 1946, P&G introdujo al mercado su marca de jabón *Tide*, su producto más importante desde el lanzamiento de *Ivory*. Dada la superioridad que éste tenía contra otros productos disponibles en el mercado en esa época, *Tide* rápidamente se convirtió en el motor principal del crecimiento de la

compañía. En los años subsiguientes a la introducción de este producto, P&G continuó su expansión hacia mercados diferentes al del jabón. Así pues, nacieron *Crest*, la primera pasta de fluoruro de mercado, y *Pampers*, el primer pañal desechable de la historia. La compañía continuó expandiéndose a través de la compra de compañías de diferentes rubros de la industria de los bienes de consumo, por ejemplo, con la compra de la compañía de café *Folger* en 1963, y a través del fortalecimiento de sus negocios existentes, por ejemplo, con el lanzamiento de *Downy*, su primer suavizante líquido. [2]

En los años siguientes, el enfoque de P&G por expandir sus negocios internacionales creció de tal modo que, hacia finales de la década de los 80's, había establecido negocios locales en veintitrés países del mundo, además de una red de investigación y desarrollo global, con centros de actividad en Estados Unidos, Europa, Japón y Latinoamérica. Hacia el año de 2005, con la adquisición de *Gillette*, el portafolio de marcas de P&G estaba por encima de ciento cincuenta; esta compra convirtió a P&G en la empresa más grande de bienes de consumo por encima de Unilever. Sin embargo, después de una reestructuración en 2014, la compañía vendió alrededor de cien de ellas, tras identificar y quedarse con las sesenta y cinco que producían en su conjunto el 95% de sus ganancias netas.

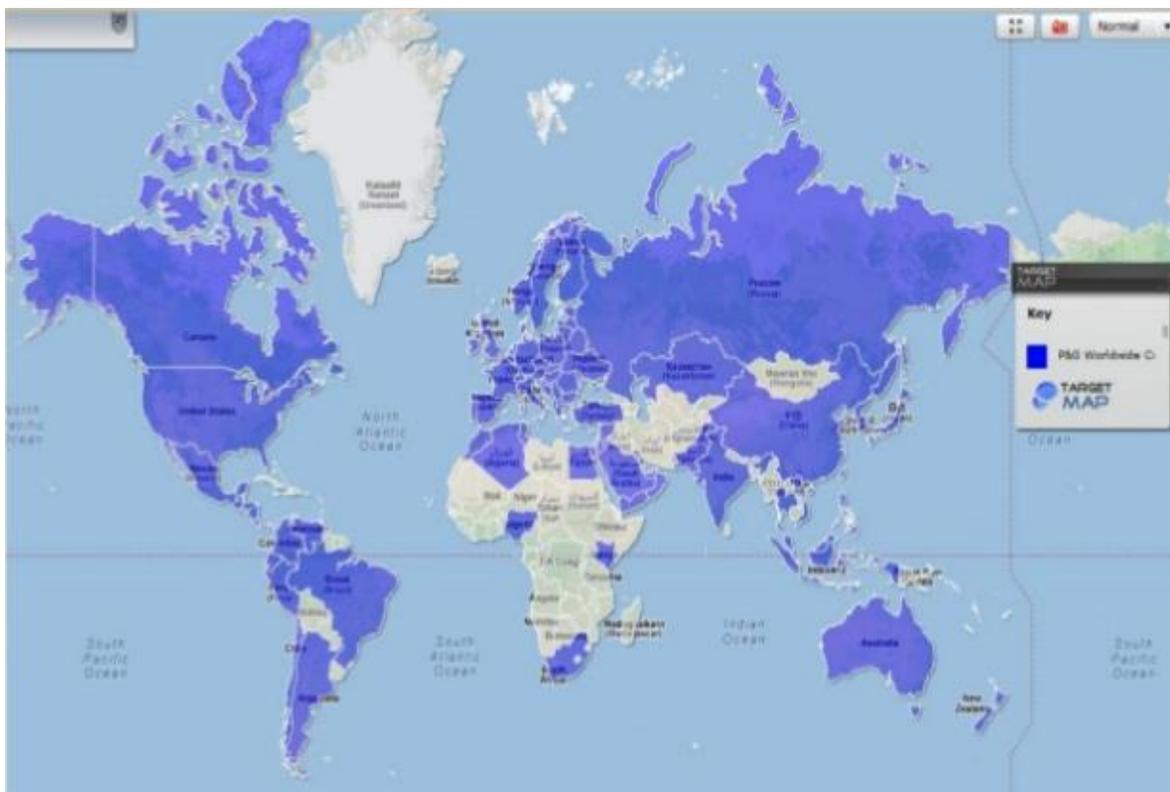


Figura 2. Presencia de P&G en el mundo [3]

2.2.- Organización

Corporativamente hablando, la estructura organizacional global de P&G se compone de *Unidades de Negocio Globales (GBU)*, *Operaciones de Venta y Mercado (SMO)*, *Servicios Globales de Negocio*

(GBS) y *Funciones Corporativas (CP)*. Cada una de las anteriores cumple una función específica, pero todas interactúan entre sí. A continuación, se describen las funciones de cada una de ellas.

Las *GBUs* representan a los distintos portafolios de marcas de P&G. Son responsables de desarrollar la estrategia de crecimiento de cada una de sus marcas, de desarrollar mejoras e innovaciones dentro de ellas, y de realizar sus planes de *marketing* asociados. [4] Existen diez de ellas, y son:

- *Fabric Care*: Productos para el cuidado de telas y prendas de vestir (ej. *Ariel, Ace* y *Downy*).
- *Home Care*: Productos para el cuidado del hogar (ej. *Salvo*).
- *Hair Care*: Productos para el cuidado del cabello (ej. *Pantene, Head & Shoulders*).
- *Personal Care*: Productos de higiene personal (ej. *Old Spice*).
- *Grooming*: Productos para rasurar (ej. *Gillete*).
- *Oral Care*: Productos para el cuidado de los dientes (ej. *Crest, Oral B*).
- *Baby Care*: Productos para el cuidado de bebés (ej. *Pampers*).
- *Fem Care*: Productos para higiene femenina (ej. *Always, Naturella*).
- *Family Care*: Productos de consumo en el hogar (ej. *Charmin*).
- *Health Care*: Productos para la salud (ej. *Pepto Bismol, Vicks*).

Las *SMOs* son responsables del desarrollo de la estrategia de venta de producto, tomando como en cuenta las necesidades específicas de los diferentes mercados en el mundo y la propuesta de valor de cada producto. Para ello, P&G divide sus operaciones en seis regiones:

- Norteamérica
- Latinoamérica
- Europa
- Asia
- China
- India, Medio Oriente, y África

GBS se encarga de la tecnología, procesos y herramientas relacionadas a la manipulación de los datos recabados a lo largo de todas las capas operativas de P&G y el manejo de *Tecnologías de la Información (IT)* con el fin de simplificar el procesamiento de la información disponible en todos los niveles y roles dentro de P&G. *CP*, por su parte, provee de servicios generales a la compañía relacionados con el análisis de portafolio, contaduría, manejo de impuestos, recursos humanos y asuntos legales.

Dentro de cada *GBU* existen las siguientes funciones que conforman la columna vertebral de cada unidad de negocio y que juntos son responsables de los resultados que agregan valor a la compañía. Estos son los roles que diferentes empleados de P&G desempeñan día a día:

- Conocimiento del Mercado y del Consumidor (*CMK*)
- Desarrollo del Negocio con el Consumidor (*CBD*)
- Contaduría y Finanzas (*F&A*)

- Soluciones de Información y Decisión (*I&DS*)
- Recursos Humanos (*HR*)
- Marketing
- Suministro del Producto (*PS*)
- Operación de la Cadena de Suministro (*SNO*)
- Comunicaciones

Dentro de todas estas áreas, el rol del ingeniero tiene particular relevancia dentro del área de *Suministro del Producto*, o *PS*, por sus siglas en inglés. *PS* engloba a todas las funciones relacionadas con el desarrollo, la investigación, la ejecución y el mantenimiento de las tecnologías relevantes para la manufactura de los distintos productos dentro del portafolio de P&G. Las funciones de *PS* se pueden subdividir en los siguientes roles:

Roles de Negocio

Representan a las funciones que lideran la parte del negocio y que toman decisiones relacionadas al suministro de los productos, capacidad de las plantas y traducen las necesidades comerciales en iniciativas técnicas dentro de la planta. Entre estos roles destacan:

- Líder PS (*PS Leader*): Encabeza el grupo de PS de una región o categoría y define las estrategias de suministro del producto para ganar en el mercado. Es responsable de las diferentes plantas dentro de la región y decide sobre el uso de capital en proyectos técnicos.
- Líder de Iniciativas (*IL*): Administra las iniciativas y comunica los requerimientos comerciales hacia los equipos técnicos. Consolida la información de todas las funciones de PS dentro de una iniciativa y es responsable de los tiempos generales de ejecución de un proyecto con impacto comercial.
- Líder de Planeación de Negocio (*Business Planning*): Es responsable del suministro de materias primas y materiales de empaque para la producción de los productos. De igual forma es responsable del suministro/producción del producto terminado y de la capacidad de la planta. Entre sus responsabilidades se encuentran el análisis correcto de capacidad contra demanda y la disponibilidad de los sistemas de producción.

Roles Técnicos

Representan a las funciones que fungen como líderes de grupos multidisciplinarios, y sobre quienes recae la toma de decisiones generales con respecto al diseño de tecnologías, ejecución de proyectos y operación de procesos del día a día. Se dividen en:

- Ingenieros Técnicos (*TE*): son los responsables del diseño/desarrollo de nuevos sistemas, procedimientos y estándares para la operación y manufactura efectiva del producto. Adicionalmente son responsables de definir los proyectos de ingeniería con las soluciones técnicas correctas y de estimar el capital necesario para ello.
- Administradores de Proyectos (*PM*): son los responsables de la construcción e implementación de nuevos sistemas y procedimientos a través de la ejecución de proyectos.

Utilizan como base la información desarrollada por los *TEs* y la llevan a la práctica en la planta.

- Ingenieros de Proceso (*PE*): son los responsables del mantenimiento, mejoramiento, eliminación de pérdidas y la operación correcta de las tecnologías de manufactura del producto en el día a día. [5]

Roles de soporte

Representan a los *dueños* de tecnologías y estándares específicos, y su función es la de llevar a la práctica dichas tecnologías y estándares al dar a los *TE*, *PM* y *PE* la información necesaria para que ello ocurra a la hora de tomar decisiones sobre un proyecto. Se dividen en:

- Desarrollo de Empaque y Materiales (*MPD*)
- Investigación y Desarrollo (*R&D*)
- Aseguramiento de Calidad (*QA*)
- Ambiente, Seguridad e Higiene (*HS&E*)
- Potencia, Control y Sistemas de Información (*PC&IS*)

Típicamente, un departamento de ingeniería dentro de P&G está conformado por personas de todas estas funciones mencionadas (*TE*, *PM*, *PE*, *MPD*, *R&D*, *QA*, *HS&E* y *PC&IS*). La función específica de un departamento de ingeniería está determinada por el alcance geográfico del mismo. Así pues, un departamento de ingeniería puede ser:

- Global: se encuentran localizados en centros estratégicos, y su función es la de crear nuevas tecnologías y estándares a través de la innovación. Históricamente esto ha sido la gran fortaleza de la compañía para tener productos superiores con alta ventaja competitiva.
- Regional: se encargan de evaluar y aplicar las tecnologías y estándares generados por los departamentos globales de ingeniería y adaptarlos a las necesidades locales de cada planta dentro de una misma región.
- Local: se encargan de la ejecución de proyectos diseñados con la ayuda de su departamento regional de ingeniería, y del mantenimiento y mejoramiento de los procesos existentes dentro de la planta a la que correspondan.

El rol que yo he desempeñado durante mi tiempo en P&G es el de *Ingeniero Técnico (TE)* del departamento regional (Latinoamérica) de ingeniería del *GBU* de *Home Care*. Dicho esto, soy parte del grupo de *PS* de Latinoamérica y estoy encargado del diseño y desarrollo de nuevos sistemas para la implementación de iniciativas, proyectos de capacidad y de ahorros que cubren necesidades específicas del negocio de lavatrastes Salvo en México y Argentina.

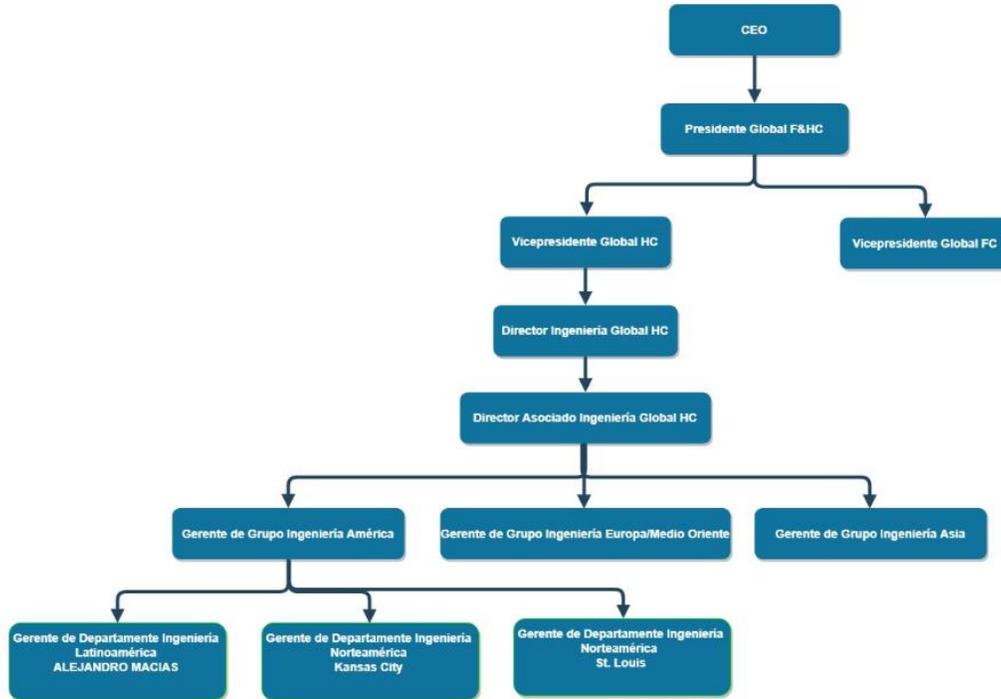


Figura 3. Organigrama Ingeniería Home Care

2.3.- Presencia e Impacto en México y Latinoamérica

En 1948 se iniciaron las operaciones en México como resultado de la creación de una División Internacional para el manejo de la demanda de productos de P&G en todo el mundo. Poco después, en 1950 se abrieron oficinas en Venezuela como parte del plan de expansión en América Latina. Seis años después continuó la expansión hacia el cono sur con la introducción del detergente Ace en Perú. No fue hasta 1991 cuando la adquisición de *Shulton Ltd* permitió la entrada a Argentina con la producción de desodorantes, pañales y toallas higiénicas. [6]

Hoy en día, P&G cuenta con 6 plantas en México localizadas en Vallejo (CDMX), Mariscal (Querétaro), Milenio (Guanajuato), Naucalpan (Edo. De México), Alce Blanco (Edo de México) y Tepeji (Hidalgo) en las cuales se producen todos los productos para consumo en México de detergentes, shampoos, rastrillos, cuidado oral y cuidado femenino. Estas plantas han dado empleo a más de 4000 personas en México de forma directa y a más del doble de forma indirecta (contratistas, proveedores, prestadores de servicios) por los últimos 70 años.

Comparado con su historia en Norteamérica, la presencia de P&G en el resto de Latinoamérica ha sido considerablemente reciente pero en los últimos 40 años ha consolidado operaciones en México, Brasil, Argentina, Colombia, Venezuela, Perú, Chile y Guatemala donde compete con marcas locales y ha tenido que adaptar su modelo de negocio al de países en vías de desarrollo donde la calidad y el precio son de gran importancia para ganar.

Adicionalmente, P&G es una empresa socialmente responsable y tiene un gran compromiso con la sustentabilidad en los países mencionados. En los últimos años ha logrado un gran avance a través

de la certificación de más de 80% de sus plantas como “Cero Residuos al Relleno Sanitario” y recientemente anunció sus objetivos para el 2030 en sustentabilidad que incluyen 100% de utilización de energías renovables en 50% de sus plantas y un incremento del 35% en eficiencia del uso de agua. [7]



Figura 4. Relaciones y Compromisos de P&G en México y Latinoamérica

3. Descripción del puesto de trabajo

Como se mencionó anteriormente, he ocupado el puesto de Ingeniero Técnico para *Home Care* por los últimos 6 años. En 2012 comencé a trabajar en *Procter & Gamble* como becario en el área de Ingeniería Regional para *Fabric & Home Care*; desde ese entonces mi mayor enfoque ha sido para la categoría de lavatrastes líquidos (Salvo y Magistral) donde he dado servicio a plantas en Argentina y México. Mi periodo como becario me permitió entender a fondo el Proceso de Trabajo de Ingeniería, del que hablaré más adelante, y a conocer a detalle la tecnología utilizada para la producción y empaque de Salvo.

Fue en 2014 que fui contratado como Supervisor de Ingeniería para la misma categoría y que asumí responsabilidades adicionales en el manejo de proyectos de capital. Durante ese periodo fui Líder de Ingeniería para proyectos de proceso que dieron ahorros por más de 1.4 MM de dólares por año y que incluyeron el diseño de un nuevo sistema de descarga para materias primas y un sistema de almacenamiento con dos tanques de 150 toneladas. Así mismo fui responsable de la expansión de la línea de Salvo con la inclusión de nuevas versiones y tamaños en líneas de empaque de alta velocidad.

En 2016 asumí el rol de Gerente de Departamento para Ingeniería de Líquidos donde he ejecutado proyectos claves para el negocio de Salvo en Latinoamérica hasta la fecha. Las responsabilidades ampliadas incluyen el diseño de sistemas de producción para iniciativas, administración de proyectos de capital, aseguramiento de estándares globales y resolución de problemas de manufactura; todo esto a través de la maestría técnica en ingeniería. Los proyectos que destacan durante este periodo son el diseño e instalación de una nueva línea de producción para empaques flexibles para Ariel y Ace, el incremento de capacidad de proceso a través de la reducción de tiempo de ciclo de producción y el incremento de capacidad de empaque a través de la instalación de una línea estándar de alta velocidad.

3.1 El rol de Ingeniería Regional en P&G

El rol del Ingeniero Técnico dentro del grupo regional es clave para la correcta ejecución de proyectos dentro de las plantas de manufactura en P&G. Sus responsabilidades son las de diseñar los sistemas de producción con el alcance técnico correcto que cumplan con las necesidades de negocio y al mismo tiempo aseguren la calidad más alta de forma segura para los empleados, la comunidad y el medio ambiente.

A diferencia de los Ingenieros de Proceso encargados de eliminación de pérdidas crónicas y los Ingenieros de Planta encargados de la ejecución en sitio de los proyectos; el Ingeniero Regional responde directamente al área de negocio de *PS* y da servicio al área de manufactura en los diferentes países de la región a la que corresponde (Latinoamérica en mi caso). Es por esto que sus responsabilidades van más allá de las de la planta y sus conocimientos técnicos deben abarcar desde el desarrollo de tecnologías en los grupos globales hasta el uso diario de las mismas en las plantas; es sólo así que puede trasladar de forma correcta las soluciones estándar de ingeniería dentro de P&G y adaptarlas para que cumplan los requerimientos específicos de la región.

3.1.1 Influencia del Ingeniero en resultados de negocio

Durante mi carrera en P&G he llegado a la conclusión de que ser ingeniero no significa estar alejado del lado del negocio o no entender las métricas financieras del negocio. Creo que es parte de la responsabilidad del ingeniero el no sólo dar una solución técnica sino entender por completo los antecedentes y las necesidades detrás de cada requerimiento; es con esta información que se puede dar la mejor solución posible.

La combinación de conocimientos de negocios y una fuerte maestría técnica dan como resultado un ingeniero completo que puede proponer soluciones y muchas alternativas que pueden ser de menor costo, más sencillas o cubrir necesidades más amplias.

Como ingeniero se tiene una influencia directa en todas las métricas financieras como Total de Ventas (NOS), Margen de Ganancia (GM), Valor Presente Neto (NPV) y Flujo de Efectivo (Cashflow) y todo esto a su vez se ve reflejado en el precio de la acción en la bolsa de valores de Estados Unidos.

Más a detalle, el trabajo del Ingeniero en Procter & Gamble impacta sobre el Margen de Ganancia y el Valor Presente Neto a través la ejecución de proyectos e iniciativas a un bajo costo de capital, la utilización eficiente de activos de la compañía y en el menor tiempo posible para estar presentes en el mercado y competir. Son soluciones inteligentes las que maximizan la inversión de capital, que permiten la ejecución de iniciativas que tienen un NPV positivo y que a su vez dan como resultado el incremento en los resultados trimestrales de NOS.

Al identificar las influencias directas que como ingenieros tenemos en los resultados de negocios es posible darse que cuenta que, más allá de ser una herramienta para el negocio, la disciplina de Ingeniería es capaz de liderar los resultados que hacen grande a una empresa como P&G.

3.2 Habilidades y Actividades Clave

El rol del ingeniero técnico requiere de varias habilidades que se dividen de la siguiente forma [8]:

- Habilidades Básicas de Ingeniería:
 - Ingeniería Mecánica
 - Ingeniería Eléctrica
 - Ingeniería de Automatización y Control
- Tecnologías de Empaque
 - Empaques rígidos (botellas, etc)
 - Empaques flexibles (pouches, sachets, etc)
- Tecnologías de Proceso
 - Sistemas de producción discretos (Batch)
 - Sistemas de producción continuos
- Administración de Capital
 - Ingeniería de Costos
 - Administración de Construcción
 - Administración de Proyectos

- Modelado y Simulación
 - Mecánica Estructural
 - Modelado de Fluidos
 - Ingeniería de Confiabilidad
 - Modelos de Capacidad
- Especialidades en Ingeniería
 - Ingeniería de Materiales
 - Soldadura
 - Contenedores a presión
- Salud, Seguridad y Ambiente
 - Salud y Seguridad en la Industria
 - Protección contra Incendios
 - Ingeniería Ambiental
 - Seguridad de Procesos
 - Sustentabilidad
- Calidad y Microbiología
 - Validaciones
 - Diseño Limpio
- Mejora Continua
 - Eliminación de Pérdidas
 - Mantenimiento Planeado
 - Mantenimiento Autónomo
- Diseño y Ejecución de Iniciativas
 - Administración de Plataformas Globales
 - Propiedad Intelectual
 - Administración de Iniciativas
 - Diseño de Cadena de Suministro
- Diseño de Materiales
 - Desarrollo de Materiales de Empaque
 - Desarrollo de Materiales de Proceso
 - Desarrollo de Procesos

4. Antecedentes

Se incluye como antecedentes una breve descripción de los sistemas con los que se trabaja con mayor frecuencia en el diseño y construcción de sistemas para lavatrastes líquido.

4.1 Sistemas de Producción de Lavatrastes Líquido

Como se describió en la introducción, se consideran sistemas de producción de lavatrastes líquido al conjunto de elementos mecánicos y eléctricos que manejan y transforman las materias primas en el líquido cuya fórmula química permite la limpieza de trastes en el hogar.

4.1.1 Tanques y tuberías

Son la base de cualquier sistema de producción y sirven para el transporte, manejo y almacenamiento de líquidos. Sus características pueden variar dependiendo del líquido que contienen y los parámetros de proceso (presión, flujo, temperatura, etc) que el sistema requiera.

Tanques

Son estructuras de diversos materiales cuya función es almacenar fluidos (líquidos o gases) y que pueden ser atmosféricos, si su presión interior es igual a la de la atmósfera, o presurizados (si su presión es mayor o menor a la de la atmósfera). [9]

Para la producción de lavatrastes líquidos se utilizan con mayor frecuencia los tanques de acero inoxidable 304 o 316L por los beneficios de estos metales ante corrosión y oxidación.

Su geometría es en general cilíndrica pero la tapa y la parte inferior puede variar y ser cónica, torisférica, plana según el uso que tenga. Dependiendo el diámetro y la altura se puede instalar en interiores o en exteriores sobre patas o directo sobre una galleta de concreto.

El diseño del tanque depende de su función (almacenamiento largo plazo, buffer entre sistemas de proceso y de empaque, preparación de fórmula, etc).

Se pueden añadir accesorios a los tanques tales como sensores de nivel, de temperatura, agitadores, jets de limpieza, trazas eléctricas para calentar, inyecciones de vapor, aislamiento externo, etc.

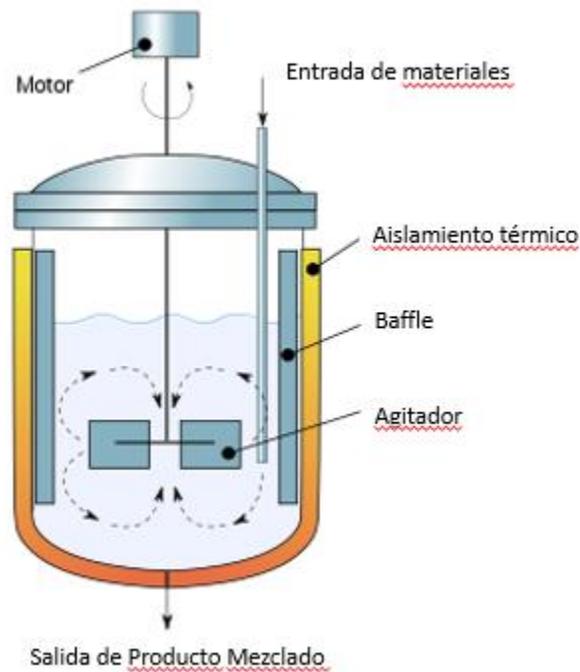


Figura 5. Diagrama de Tanque con Accesorios

Finalmente, como buena práctica de ingeniería, los tanques incluyen dispositivos de seguridad como válvulas de presión-vacío y venteos para asegurar que el tanque no explota o implota ante una condición anormal de presión en su interior.

Tuberías

Son conductos de sección circular para el transporte de líquidos en una planta de producción.

El material de fabricación, el diámetro y la distancia dependen del líquido que se va a utilizar y las condiciones de proceso que se requieren, principalmente el flujo del líquido y la presión.

Al igual que los tanques, en P&G se encuentran con mayor frecuencia las tuberías de acero inoxidable 316L en un rango de ½ " a 6 ".

En la industria hay muchos instrumentos que se pueden acoplar a una tubería tales como válvulas, indicadores de presión y temperatura, flujómetros, bombas, etc. Estos instrumentos tienen diversas formas de conexión pero en P&G, debido al diseño limpio que se requiere, se acostumbran las conexión con clamp sanitario y las conexiones soldadas. No se recomienda en lo absoluto el uso de conexiones roscadas o bridas por el riesgo de acumulación de microorganismos en zonas de difícil limpieza. [10]

Adicionalmente, como parte del diseño limpio, se pide que a las tuberías nuevas o con soldaduras recientes se les haga un proceso químico conocido como pasivación o pickling donde el metal es tratado con ácido cítrico y se genera una capa en la superficie que protege al metal de la corrosión.

4.1.2 Bombas

Si bien es claro que los líquidos viajan a través de tuberías muchas veces es necesaria una fuerza externa para mover el líquido a través de ellas, especialmente cuando la fuerza de la gravedad no es suficiente para entregar el flujo y la presión que se requiere.

Las bombas son dispositivos que transforman una forma de energía externa en energía dinámica para mover el fluido. Las hay de varios tipos según su funcionamiento:

- Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo: Son las que su principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado.
 - Dentro de esta categoría las puede haber lineales (bombas de pistón) o rotativas (bombas de lóbulos y engranes). [11]

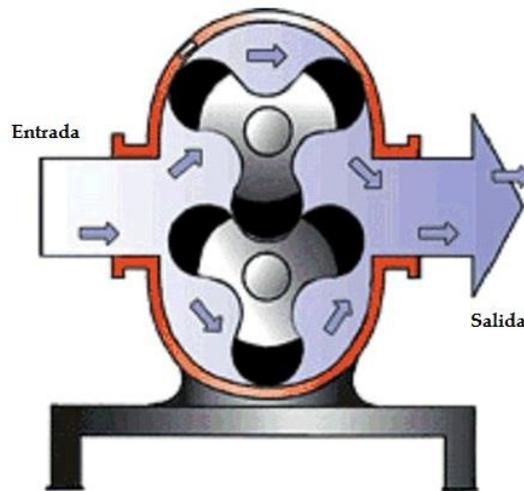


Figura 6. Bomba de Desplazamiento Positivo (Lóbulos)

- Bombas rotodinámicas: En las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodets con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas turbomáquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:
 - Radiales o centrífugas, cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.
 - Axiales, cuando el fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro. [12]

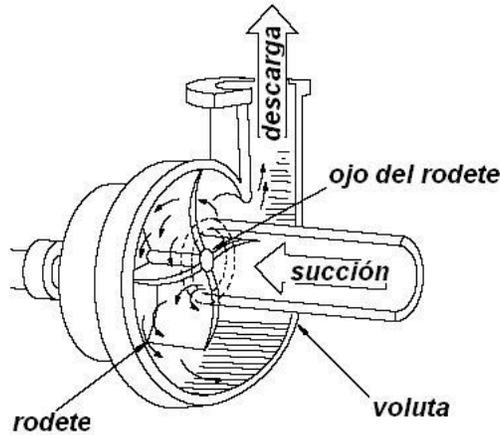


Figura 7. Diagrama de Bomba Centrífuga

En los sistemas de producción de lavatrastes se utilizan con mayor frecuencia las bombas de desplazamiento positivo de lóbulos y de engranes por su facilidad para controlar el flujo a través de la velocidad del motor (rpm) con el uso de Variadores de Frecuencia y su capacidad para manejar fluidos con viscosidades mayores a 200 cPs. De igual forma se utilizan también bombas centrífugas para presurizar circuitos de agua de proceso ya que las de desplazamiento positivo pierden eficiencia al manejar líquidos con baja viscosidad debido al deslizamiento (slip) entre los lóbulos.

4.1.3 Instrumentación y Control

Para asegurar la producción correcta de líquido lavatrastes de acuerdo a su fórmula y su diagrama de transformación es necesario poder controlar los procesos que forman parte del sistema tales como cantidades de material, secuencias de adición, flujos de transferencia, etc. Para ello se utilizan instrumentos y dispositivos de control que son estándar en la industria.

- Válvulas: Dispositivos que regulan el paso de líquidos a través de tuberías. Las hay de diferentes tipos:
 - Según el elemento que bloquea o permite el flujo:
 - Compuerta:
 - Mariposa:
 - Bola
 - Según su método de actuación:
 - Manual: Se controlan de forma manual
 - Automáticas: Están conectadas a un controlador (PLC) y se actúan de forma automática a través de aire comprimido o electricidad.

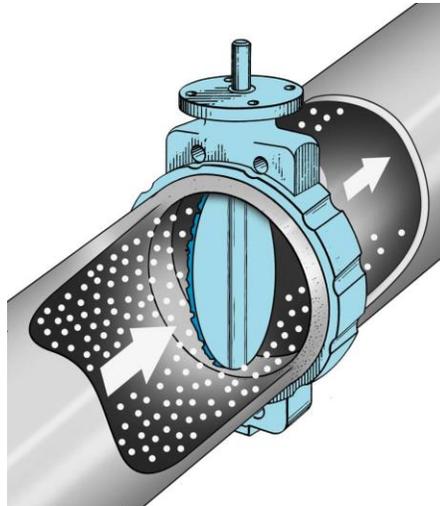


Figura 8. Ilustración de un fluido a través de una tubería con válvula de mariposa



Figura 9. Válvula de mariposa automática y manual

- Flujómetros: Dispositivos automáticos de medición que pueden calcular el caudal de un líquido, la masa que pasa a través de ellos o la densidad. Los hay de dos tipos principalmente:
 - De efecto Coriolis: En estos se hace pasar el líquido a través de dos pequeñas tuberías que son parte del instrumento. La velocidad del flujo hace vibrar la tubería de tal forma que un elemento piezoeléctrico genera una corriente (4 a 20 mA) que depende de la vibración y que se puede escalar a unidades de flujo (masa/tiempo). [13]

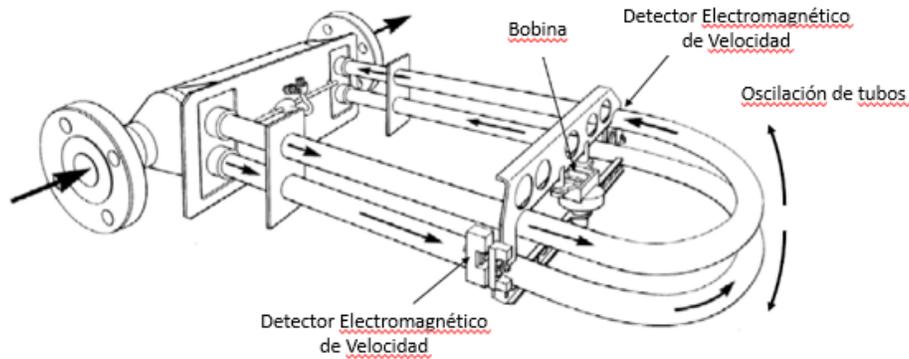


Figura 10. Funcionamiento de Flujómetro de Efecto Coriolis

- Magnéticos: Cuentan con un sensor que detecta el voltaje inducido por el fluido al pasar por la tubería. Este voltaje inducido se envía con un transmisor en forma de pulsos y estos pulsos se cuentan y se escalan para definir el flujo. [14]

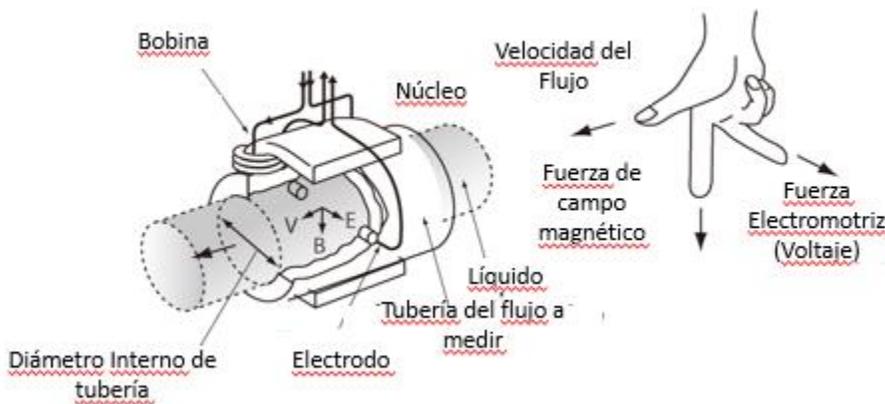


Figura 11. Funcionamiento de Flujómetro Magnético

- Variador de Frecuencia (VFDs): Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC), por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia industrial normalmente puede ser de bajo voltaje (hasta 500 V) o mediano voltaje (hasta 10 kV), y puede operar de forma aislada, en lazo de control abierto, o integrado dentro de un PLC, en lazo de control cerrado. [15]



Figura 12. Variador de Frecuencia marca Rockwell

- Manómetros Digitales: Se utilizan para la medición de la presión en un tanque o tubería; generalmente son parte de un lazo de control con otros elementos como bombas y válvulas. La presión se mide a través de un elemento piezoeléctrico que genera una corriente (4 a 20 mA) y que se escala a unidades de presión como bares, pulgadas de agua, etc.
- Sensores de Nivel: Se utilizan para la medición de volumen de líquido principalmente en tanques. Funcionan a través de una señal análoga de 4 a 20 mA que varía dependiendo de la presión o diferencia presión. Hay también sensores de nivel ultrasónicos que se colocan en la parte superior de un tanque y determinan el nivel del tanque a partir del tiempo que tarda en regresar una señal ultrasónica; es necesario conocer el volumen del tanque a partir de sus dimensiones para convertir el nivel o altura de líquido a un valor de volumen. [16]
- Sensores de Temperatura: Se utilizan para la medición de temperatura de un líquido contenido en un tanque o que se transfiere a través de una tubería. En su mayoría funcionan a través de un termopar que genera una corriente eléctrica de 4 a 20 mA dependiendo de la temperatura y que, a través de un transmisor, esta corriente se escala a un valor de temperatura en las unidades deseadas.

Es importante mencionar que la mayoría de los instrumentos aquí mencionados pueden o no tener un indicador visual o pantalla para ver el valor de la medición. Independientemente de que la tengan o no, la mayoría de los instrumentos en P&G pueden ser conectados a una tarjeta de señales de entrada y salida (IO o Inputs/Outputs) que se comunica via ethernet a un controlador PLC y que sirve para monitorear los valores medidos o para incluirlos en lazos de control con otros elementos del sistema.



Figura 13. Medidor de presión Digital

4.2 Sistemas de empaque de lavatrastes líquido

Una vez producido el líquido con la fórmula correcta es necesario diseñar e instalar sistemas que puedan producir un número discreto de unidades (vs producción líquido en forma continua) que faciliten el transporte, venta y utilización del producto en el mercado (Ej. Empaque en botellas).

Para efectos de ingeniería y diseño de empaque se consideran dos tipos de empaque:

- Empaque primario: Es la mínima unidad de venta que se exhibe en anaqueles y normalmente es la forma en que el consumidor utiliza el producto. De forma sencilla, se considera empaque primario al material que contiene el líquido y lleva arte e información legal que permite su venta individual. (Ej. Botellas con tapa y etiqueta)



Figura 14. Ilustración de "Salvo Power Clean"

- Empaque secundario: Es el empaque que contiene varios elementos de producto empacado en empaque primario para facilitar su manejo, transporte, venta a cliente, etc. (Ej. Cajas que contienen botellas)



Figura 15. Cajas de Exhibición para Lavatraste en Europa

Como se mencionó en las habilidades del ingeniero, hay diversas opciones de empaque primario en la producción de líquidos:

- **Botellas Rígidas:** Son botellas generalmente de plástico PET o HDPE que son fabricadas a partir de una pre-forma inyectada que es calentada y soplada dentro de un molde hasta adquirir la forma deseada.
- **Pouches Flexibles:** Son contenedores de plástico flexibles formados a partir de un film de plástico extruido e impreso con el arte del producto. Los pouches generalmente vienen formados por parte del proveedor con la parte superior sin sellar para permitir su llenado. Los equipos que manejan este empaque deben aplicar el sello final a través de temperatura para asegurar que el líquido no se salga.
- **Sachets:** Son pequeños paquetes de líquido con forma de almohadilla que se utilizan generalmente para vender dosis unitarios del líquido o para dar muestras a través de los canales de distribución. Los sachets se forman a partir de un rollo de film plástico pero, a diferencia de los pouches, los sachets no vienen pre-armados por lo que el equipo en planta se encarga de las transformaciones de cortar, sellar los lados superiores e inferior, llenar con líquido y sellar la parte superior.

Para efectos de este reporte, se enfocarán los antecedentes en el empaque con botella que es el más común en los procesos de líquido lavatrastes. A continuación se describen algunas de las transformaciones más importantes en una línea de empaque pero es importante aclarar que existen muchas otras transformaciones que contribuyen a la producción de producto terminado listo para embarque a clientes.

4.2.1 Manejo de botella vacía

Es generalmente el primer proceso en una línea de empaque; su objetivo es llevar la botella vacía desde su método de llegada (charolas de cartón apiladas sobre tarimas) hasta la entrada de la siguiente transformación.

El manejo de botella vacía consta de varias transformaciones:

- Suministro de botella en posición vertical
 - Existen diversas tecnologías para separar botellas y levantarlas, por ejemplo las hay con bandas laterales que corren a alta velocidad y que utilizan la fricción entre dos materiales plásticos para levantar la parte superior y colocar la botella erguida en el transportador.
- Orientación de botella
 - En los casos donde la botella no sea simétrica es necesario orientar la botella para que entre a las transformaciones siguientes de la forma correcta. La orientación puede utilizar un sistema de visión que determina, a partir de características definidas por el usuario, si la botella está correctamente orientada. En caso de no estarlo se puede utilizar un pistón neumático para tocar la botella y aprovechar su velocidad lineal y generar rotación en su propio eje.
- Transporte de botella
 - En la industria de los líquidos detergentes se acostumbra mover la botella de un punto a otro con el uso de transportadores de tablillas. Estos transportadores son estructuras de metal que tienen una cadena de tablillas movida por una catarina acoplada a un motor eléctrico.
 - En la mayoría de las aplicaciones se incluyen guías laterales que ayudan a la botella a mantener su alineación respecto al transportador y evitan que se caigan, principalmente en curvas.
 - La estabilidad de la botella es crítica para esta transformación y depende de la velocidad de transporte, sus dimensiones y peso. Es de gran importancia diseñar la botella de tal forma que su centro de gravedad se encuentre en la parte inferior, cercano a la base, para evitar botellas caídas. En el caso de botellas inestables se puede incluir vacío en el transportador y de esta forma se incrementa el agarre de al transportador y se estabiliza la botella a pesar del movimiento.



Figura 16. Ejemplo de máquina de orientación automática

4.2.2 Llenado y taponado

Se considera en la mayoría de las aplicaciones como la transformación principal en una línea de empaque. Generalmente esta transformación es el cuello de botella de una línea y define la velocidad de producción.

Las principales tecnologías de llenado y taponado se dividen en 2 tipos:

- Lineales o indexadas: Son aquellas que llenan botellas por lote o de forma discreta. En este tipo de llenadoras entra un cierto número de botellas vacías al equipo y se inicia un ciclo de llenado que consiste en ubicar una boquilla en cada botella, descargar líquido en cada botella hasta completar el volumen deseado, alejar boquillas de llenado, liberar botellas llenas y preparar el siguiente ciclo. Se utilizan principalmente en aplicaciones de baja velocidad.
- Rotativas: Son aquellas que tienen carruseles de llenado o taponado con boquillas a lo largo de su circunferencia. Estos carruseles giran sobre su eje con la ayuda de motores eléctricos y pueden completar procesos de llenado y taponado de forma continua.
 - En este tipo de equipos las transformaciones que sufre la botella van ocurriendo de forma secuencial a través su recorrido en la circunferencia.
 - A excepción de la entrada y la salida (transportadores rectos) la botella se transporta a lo largo de curvas con la ayuda de estrellas que rotan.

En cualquiera de los dos tipos de tecnología las máquinas están conectadas a un suministro de líquido que generalmente viene del proceso de producción de fórmula descrito más arriba. Para asegurar el correcto llenado se recomienda que cada boquilla tenga un flujómetro y una válvula de corte para controlar el volumen descargado. Adicionalmente, es crítico tener una presión constante en el distribuidor y así mantener un flujo de llenado constante en todas las boquillas y una mejor lectura del flujómetro; esta presión es normalmente controlada por una bomba en el suministro de líquido incluida en un lazo de control PID cuyo parámetro de entrada es la presión y su parámetro de salida o control es la velocidad de la bomba.

La transformación de taponado ocurre de forma similar pero en vez de tener boquillas se tienen sujetadores que toman la tapa a partir de un suministro automático y que, aparte del movimiento rotatorio del carrusel, cada sujetador puede girar sobre si mismo para colocar la tapa y aplicar el torque necesario para el cierre completo.



Figura 17. Equipo de llenado y taponado rotario

4.2.3 Etiquetado

Considero que esta transformación es la que tiene mayor impacto sobre la forma en que se representa el producto terminado frente al consumidor en un anaquel. La aplicación de etiqueta tiene dos fines principalmente:

- **Comunicación:** La información de la etiqueta transmite al consumidor las características del producto, el volumen contenido, la marca, etc. Adicionalmente las etiquetas incluyen la información legal sobre ingredientes, recomendaciones de uso, contraindicaciones y finalmente incluyen el código de barras o SKU que permite su catalogación y venta en tiendas.
- **Decorado:** El diseño, colores y logos en una etiqueta son los principales contribuidores al primer acercamiento con el consumidor. Al momento de ser observado por primera vez en un anaquel el producto debe llamar la atención visual del cliente para fomentar la compra.

Es por lo anterior que esta transformación es clave para la calidad del producto terminado, es la cara de presentación del producto y sus potenciales defectos como arrugas y burbujas impactan de forma negativa y no son aceptables.

Al igual que en otros equipos se pueden tener etiquetadoras lineales o rotativas pero en cualquier caso el proceso de aplicación es continuo. La aplicación de etiqueta utiliza el movimiento lineal o tangencial de la botella para generar la fuerza necesaria en la aplicación; generalmente los cabezales de etiquetado no se mueven en referencia al transportador, simplemente se entrega la etiqueta y se plancha en el sentido opuesto al movimiento de la botella.

Con esta transformación se concluyen las modificaciones al empaque primario y se obtiene el producto terminado que usan los consumidores finales.



Figura 18. Ejemplo de etiquetadora lineal

4.2.4 Empacado

Como se mencionó con anterioridad, como parte del proceso completo de empaque se requiere introducir el empaque primario, en este caso botellas, a un empaque secundario que lo pueda contener en cantidades mayores a la unidad y facilite el transporte hacia los centros de distribución y tiendas.

El proceso de empackado contempla tres transformaciones principales:

- Armado de caja: En líneas completamente automatizadas se incluyen equipos que reciben el corrugado de manera plana y sin formar y lo convierten en una caja armada que sólo es sellada por la parte inferior. Esta caja vacía se entrega a la siguiente máquina a través de un simple transportador.
- Empaque de botella en caja: La transformación principal del empackado ocurre cuando las botellas son acomodadas en carriles a través de un brazo distribuidor y, una vez formado el conteo correcto, son tomadas del cuello con un manipulador que se desplaza a través de 2 ejes. Hecho esto, el manipulador se posiciona con las botellas encima de la caja vacía y las libera para ser depositadas en la caja. La caja llena, aún abierta por la parte superior, se transporta a la siguiente estación.
- La última transformación del proceso de empackado es el de cierre o sellado. Esto se hace de forma automática a través de una máquina simple que cierra las pestañas y puede aplicar cinta o inyectar pegamento caliente para sellar.



Figura 19. Ejemplo de empacadora de botellas

4.2.5 Manejo de caja llena

La última de las transformaciones en una línea de empaque puede variar mucho de acuerdo a la necesidad. A pesar de tener el producto terminado en cajas esto no es suficiente para su distribución en todo el país y exportación; el manejo de cajas individuales no es eficiente y es por ello que en la industria se transporta el producto a través de tarimas de madera donde se apilan y forman bloques de cajas llenas. Finalmente, una vez armado el bloque, es necesario rodearlo de playo para contener las cajas y evitar que se caigan al moverse. El uso de tarimas es el método de transporte más popular ya que su diseño permite moverlas con el uso de montacargas.

A la colocación de cajas llenas sobre una tarima se le llama estibado o palletizado y puede ser de forma manual en líneas de baja velocidad o de forma automatizada con grandes equipos que reciben la caja llena a través de un transportador y que van acomodando las cajas, cama por cama, hasta completar una tarima.



Figura 20. Ejemplo de palletizado con robot

4.3 Análisis de Ingenierías de Detalle

Por último, como parte de los antecedentes, es importante describir el proceso de desarrollo y análisis de ingenierías de detalle, que son la base técnica de cualquier ejecución.

Como se describió al principio, las responsabilidades del ingeniero en P&G recaen principalmente en el diseño de sistemas que den solución a una necesidad de negocio y aporten valor a la compañía. El enfoque, la mayor parte del tiempo, está en utilizar todas las habilidades antes listadas para definir el alcance de un proyecto de forma general, estratégica, y poco a poco ir detallando en lo particular.

Como su nombre lo indica, las ingenierías de detalle son este último nivel de información técnica que se requiere para la ejecución precisa del proyecto como fue diseñado y principalmente incluye los diagramas, memorias de cálculo y listas de material y actividades que se requieren para la construcción. En la mayoría de los casos estas ingenierías requieren de mucho tiempo por todo el detalle que incluyen y es por ello que se contratan firmas de ingeniería externas para que las desarrollen.

A pesar de tercerizar el desarrollo de las carpetas técnicas en los proyectos, es responsabilidad del ingeniero de P&G el revisar toda la información elaborada y validar que es correcta antes de empezar el suministro de equipo y la construcción. Entre los documentos más importantes se encuentran los Diagramas de Tuberías e Instrumentos (DTIs), los planos mecánicos de ubicación de equipos (planta y elevación), memorias de cálculo para dimensionamiento de bombas, motores, equipo en general y diagramas eléctricos y de arquitectura de control.

Por último, como referencia, las ingenierías de detalle en Revisión Cero incluyen las siguientes disciplinas:

- Proceso: Incluye DTIs y especificación de equipos como bombas, flujómetros, tanques, etc.
- Mecánico: Incluye planos de ubicación de equipos o planos de fabricación de elementos mecánicos.
- Tubería: Incluye diagramas isométricos de ruta de tubería y catálogo de conceptos con lista de materiales
- Civil y Estructural: Incluye planos de cimientos y memorias de cálculo con análisis de carga y elementos estructurales.
- Eléctrico y Control: Incluye diagramas unifilares de conexiones eléctricas de potencia (>220 -440 V) y control (24 V), especificaciones de equipos, diagramas de paneles y listado de señales de entrada y salida.

5. Metodología Utilizada en Ingeniería Regional

En Ingeniería Regional se utiliza el Proceso de Trabajo de Ingeniería (EWP por sus siglas en Inglés) como metodología a seguir para el diseño y ejecución de proyectos. Esta metodología integra diversos entregables de ingeniería en diferentes etapas de tal forma que el ingeniero pueda utilizar este Proceso de Trabajo como guía al momento de administrar proyectos.

A través de varios proyectos se ha confirmado que esta metodología incluye lo que necesario para completar un proyecto de la mejor manera sin obviar elementos importantes en las diferentes etapas y que después puedan ocasionar un impacto mayor en tiempo y costo.

Se consideran etapas de diseño las fases de : Factibilidad, Conceptualización y Definición. En ellas es de gran importancia iterar sobre el diseño del sistema hasta converger en la mejor solución ya que cualquier cambio en esta etapa requiere de menos tiempo, recursos y dinero comparado con las etapas de ejecución: construcción y arranque. [17]



Figura 21. Metodología de Ingeniería para Proyectos

A continuación, se describen de forma breve los principales elementos y objetivos de cada fase:

5.1 Fase de Factibilidad

Es la primera fase del Proceso de Trabajo de Ingeniería y tiene como propósito establecer los objetivos del proyecto, sus límites y criterios de éxito.

Además, se utiliza principalmente para explorar las diferentes opciones de ingeniería que habiliten el éxito de un proyecto.

De forma simplificada, se conoce a la fase de factibilidad por su propósito de responder la pregunta “**¿Es posible hacerlo?**” refiriéndose al objetivo o visión del negocio para ese proyecto.

Sus principales entregables son:

- El Plan Técnico Base – Describe a grandes rasgos los objetivos y el alcance de ingeniería para el proyecto.

- Estimado de Capital – Por ser la fase de factibilidad se requiere un estimado de costos aproximado y con poco detalle.
- Cronograma Nivel 1
- Lista Preliminar de Equipos Necesarios

5.2 Fase de Conceptualización

En esta fase se converge un poco más sobre el alcance de Ingeniería al seleccionar una opción técnica entre las exploradas en la fase anterior. La mejor opción será elegida a través del análisis de valor para la compañía.

La opción elegida debe incluir, de forma conceptual, todo lo que se va a hacer desde el punto de vista de ingeniería, los equipos que se van a comprar, los riesgos generales del proyecto, etc.

Tratando de prever problemas en las etapas de ejecución, se requiere que en esta etapa se proponga un plan preliminar de ejecución que describa elementos importantes a considerar durante la construcción y el arranque.

Finalmente, en caso de ser necesario, se puede pedir capital preliminar en esta fase para poder pagar estudios de ingeniería básica que se requieran para confirmar la viabilidad de la opción elegida.

Sus principales entregables son:

- Lista de Equipos
- Análisis General de Riesgos
- Planos de Ubicación Preliminares
- DTIs
- Plan preliminar de ejecución

5.3 Fase de Definición

En esta fase se toma el alcance propuesto de forma conceptual y se detalla para definir requerimientos y especificaciones de todo lo que se requiere para habilitar el proyecto. De igual forma, al final de la fase, se decide la forma exacta en la que el proyecto será diseñado, construido y arrancado.

El objetivo de la fase es converger en la mayor parte de alcance y responder a la pregunta: ¿Cómo se va a hacer?

Se asume que, una vez definido el alcance de ingeniería, es posible estimar los costos de la ejecución y solicitar autorización para el uso del capital. En caso de no haber solicitado capital preliminar en la fase anterior, esta es la fase adecuada para conseguir los fondos del proyecto.

Sus principales entregables son:

- Bases de Diseño – Descripción detallada del alcance de ingeniería con todos los requerimientos técnicos. Se utiliza de referencia para el desarrollo de ingenierías de detalle.
- Especificaciones de Equipo.
- Diagramas finales
- Estimado de Costos Final
- Cronograma Nivel 2

Como se mencionó, esta fase concluye la etapa diseño y da paso a la etapa de construcción y ejecución donde se esperan una menor cantidad de cambios confiando en las propuestas y análisis desarrollados.

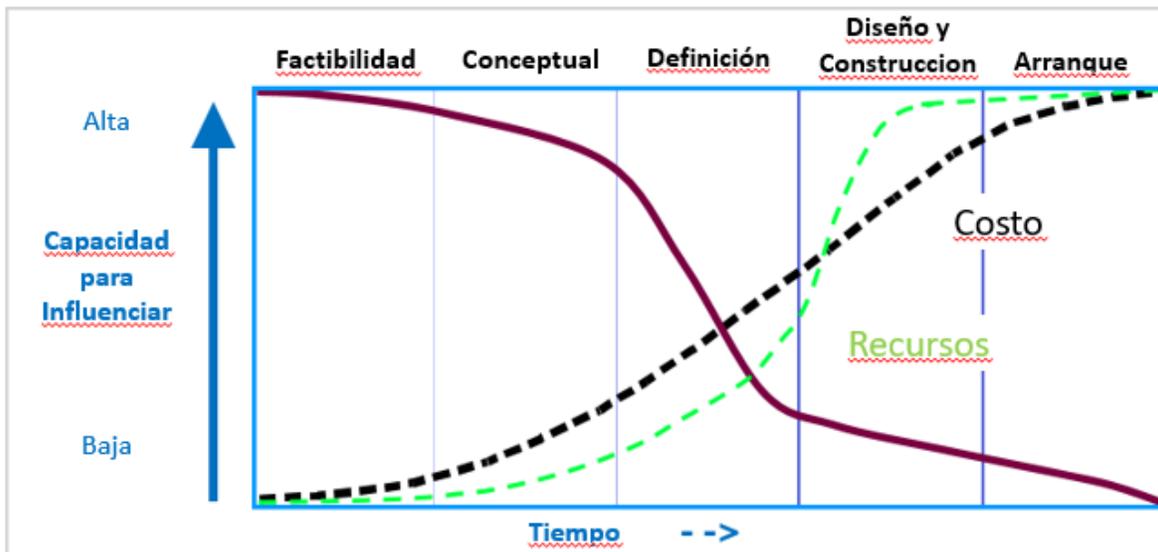


Figura 22. Impacto de Costo y Recursos en cada etapa de la metodología

5.4 Fase de Diseño y Construcción

En esta fase, se considera por Diseño no a la propuesta conceptual del alcance de ingeniería sino al diseño detallado de los sistemas para su construcción; es decir, las ingenierías de detalle.

El objetivo principal de la fase es confirmar el diseño de equipo y comenzar a construir. En paralelo se trabaja en los planes de prueba, aceptación de equipos y validación que se completarán en la siguiente fase.

Los entregables principales son:

- Diagramas Detallados de Ensamble
- Listas finales de materiales
- Planes de Pruebas Estáticas y Dinámicas
- Protocolos de aceptación de equipos
- Cronograma Nivel 3

5.5 Fase de Arranque

Finalmente, ya completada la construcción y con el sistema instalado de la forma en que fue diseñado, es necesario realizar pruebas representativas que confirmen que todos los sistemas están listos para producción consistente y de buena calidad.

Las pruebas incluidas en esta fase se utilizan para evaluar los sistemas instalados y eliminar defectos derivados de la construcción que impidan al sistema funcionar correctamente.

Es en esta fase donde se prueba la capacidad del ingeniero para tomar decisiones y resolver problemas en campo. Si bien la fase es liderada por el responsable del arranque, es el ingeniero el encargado de solucionar problemas técnicos y dejar al grupo de manufactura el mejor sistema posible.

6. Desarrollo sobre el Proyecto de reducción de tiempo de *batch*.

Como parte de los objetivos de este reporte a continuación describo uno de los proyectos que desarrollé en el último año y que está principalmente relacionado a un sistema de producción de líquido.

Por cuestiones de confidencialidad se omiten los nombres de materiales utilizados en las fórmulas, sin embargo, se trata de mencionar el alcance general de ingeniería y los retos, siempre enfocado en mis aportaciones al proyecto. Con el objetivo de estructurar estos aportes se utilizará de referencia las fases de la metodología descrita en el capítulo anterior.

6.1 Planteamiento del Problema

Durante el año fiscal 2016/2017 el negocio de lavatrastes Salvo en México tuvo un índice de ventas de 121; significando un crecimiento anual de más del 20% en volumen comparado con el año anterior. A principios del año fiscal 2017/2018, derivado de ese incremento, se hizo una predicción de volumen a 5 años y se identificó una tendencia del negocio a crecer 12% anualmente, mínimo.

Una vez definida esta tasa de crecimiento se comparó la capacidad instalada de la planta (la cantidad de cajas que puede producir la planta de forma mensual corriendo al máximo sus sistemas) contra la predicción de volumen y se concluyó que la capacidad instalada no era suficiente para producir el volumen del año fiscal 2018/2019.

Para eliminar esta limitación en capacidad de producción se compartió el requerimiento al grupo de ingeniería para solucionar el problema de capacidad a través de propuestas técnicas e inversión de capital.

Para este desarrollo me enfocaré en la parte de producción de líquido, las diferentes opciones para aumentar la capacidad y la propuesta elegida que aportó mayor valor a la compañía.

6.2 Aportaciones Personales y resultados por cada fase de ingeniería

6.2.1 Factibilidad

Durante la fase factibilidad evalué el requerimiento de negocio junto con los análisis de capacidad y predicciones a 5 años para confirmar la necesidad de capacidad incremental y el volumen exacto que se necesitaba.

Para hacer esto trabajé en conjunto con el equipo de planeación para comparar el volumen requerido de forma mensual con la capacidad instalada y entender la relación, normalmente se requiere proteger una capacidad que exceda por 20% el volumen pronosticado, esto quiere decir que por diseño se considera una capacidad de 120% de la demanda.

Adicionalmente, durante esta fase comparé el proceso de producción de líquido en Planta Vallejo con el proceso existente en otras plantas del mundo que utilizan la misma tecnología. Encontré que la planta con un sistema más semejante es la Planta de Gebze en Estambul, Turquía. Ellos, al igual

que nosotros, cuentan con un sistema de producción de líquido por medio de lotes o *batch* por su traducción al inglés, que consiste en un tanque con volumen de 10.5 m³ en el cual se adicionan los diferentes materiales a través de tuberías separadas y que se mezclan con un agitador hasta lograr la formula deseada. Se le conoce como *batch* o lote ya que la producción se realiza de forma discreta, siempre se producen 10.5 m³ en un ciclo.

La comparación con la planta de Turquía mostró una formulación similar en cuanto a materiales utilizados y orden de adición pero con un tiempo de ciclo de *batch* 50% menor que el nuestro por lo que se confirmó como Factible el poder reducir el tiempo de ciclo en Planta Vallejo.

6.2.2 Conceptual

Una vez confirmada la factibilidad del proyecto, entré más a detalle para definir, de forma conceptual, el alcance y los requerimientos de ingeniería para hacerlo posible.

Empecé colectando información de los grupos globales de Investigación y Desarrollo (*R&D*) encargados de las fórmulas para todo el mundo. La información más relevante fue la siguiente:

- Tarjeta de Formula – Describe la cantidad exacta de cada material y las propiedades del líquido a producir.
- Diagrama de Flujo de Transformaciones – Describe, sin incluir cantidades, todas las transformaciones fisicoquímicas que ocurren en las diferentes etapas del proceso de producción líquido lavatrastes.
 - Este documento es de gran importancia para entender las transformaciones deseadas y no deseadas junto con sus riesgos o beneficios (eg. Reacciones exotérmicas, cambios de viscosidad, neutralización, etc).
 - Para efectos de la reducción del tiempo de ciclo de *batch* analicé este documento para entender por completo el orden o secuencia de las adiciones en cada ciclo.

El análisis del Diagrama de Flujo de Transformaciones me permitió definir que era posible alterar la secuencia que se tenía programa en la producción del *batch* y reducir el tiempo a través de “adiciones concurrentes”, es decir, adiciones que previamente entraban al tanque de forma secuencial y que ahora podían entrar al *batch* en paralelo sin afectar la integridad de la fórmula.

Al final de esta fase definí que la forma de resolver el problema de capacidad y reducir el tiempo de *batch* era a través de la modificación del programa de control que indica el inicio y final de cada adición sin modificar drásticamente los flujos existentes.

6.2.3 Definición

Hago mención a los flujos de adición ya que, para definir si la opción propuesta resuelve los problemas de capacidad, es necesario darle al negocio un nuevo tiempo de ciclo de *batch* que va aunado a un incremento de la capacidad instalada y por ende una mejor relación respecto a la demanda. Este nuevo tiempo de ciclo de *batch* se calcula utilizando los flujos de adición de cada material, la cantidad y el nuevo orden de adición.

Como parte de esta definición hice un levantamiento en el área en el cuál recolecté toda la información del estado actual y que me ayudó a definir los cambios precisos requeridos en el sistema.

Parte principal del levantamiento fue definir el método de control de la adición para cada material; esto es la forma de control o el instrumento que mide la cantidad adicionada al tanque de mezclado y que controla la bomba y la válvula de adición para impedir que se agregue más o menos de acuerdo a la Tarjeta de Fórmula.

Los principales métodos de control de adición son:

- Celdas de carga: Son sensores de presión colocados en los puntos de apoyo del tanque y que ayudan a calcular el peso del tanque. Se utilizan principalmente para adiciones grandes >500 kg ya que su resolución no es lo suficientemente pequeña para manejar adiciones menores que necesitan mayor exactitud.
 - Al encontrarse pesando el tanque principal este método sólo puede utilizarse para controlar 1 adición a la vez.
- Flujómetro: Descritos anteriormente, los flujómetros ayudan a calcular el flujo de un líquido a través de una tubería. Son altamente confiables, manejan una resolución ideal para adiciones grandes y pequeñas; por lo general se diseñan para un solo material ya que su calibración depende de la viscosidad y la densidad del producto. Se recomienda tener instalado un flujómetro para cada material a controlar. Se requiere un flujo constante controlado por una bomba al momento de la adición para evitar lecturas erróneas.
- Pre-pesados: Son tanques de menor volumen (50-100 L) que incluyen celdas de carga o sensores de nivel. Como su nombre lo indica, en ellos se pre-pesa el material a adicionar y después se libera hacia el tanque de mezclado. Se necesita una programación correcta y calibración para su funcionamiento, ocupan más espacio pero permiten la medición de aquellos materiales cuyo sistema no puede asegurar un flujo constante.

Mi definición consistió en asegurar que todos los materiales tenían una forma independiente de ser controlados pues esto habilita la posibilidad de hacer “adiciones concurrentes” donde algunos materiales entran al tanque al mismo tiempo y deben ser medidos a través de su propio sistema de adición.

Por otro lado, como se comentó, se hizo un levantamiento sobre los flujos de cada material junto con las especificaciones técnicas de sus sistemas, por ejemplo: tipo de bomba, diámetro de tubería, máximo flujo por diseño, capacidad de control de velocidad del motor y flujo actual. Para algunos materiales se propuso incrementar la velocidad de la bomba a través del Variador de Frecuencia ya que el diseño mecánico permitía un mayor flujo sin exceder los límites máximos de presión en la tubería.

Una de las mayores oportunidades que encontré en el sistema para reducir el tiempo de ciclo fue reducir el tiempo de transferencia del líquido hacia el tanque de almacenamiento; una vez completados los 10.5 m³ de fórmula se tiene que liberar el tanque transfiriendo el líquido a un

tanque de mayor dimensión donde se almacena hasta ser utilizado. Esta transferencia representa casi el 30% del tiempo de ciclo de *batch* y, a diferencia de las adiciones, esta bomba ya se encontraba a la máxima velocidad del motor y no se podía incrementar su flujo. Para reducir este tiempo de transferencia propuse un diseño con una segunda bomba de la misma capacidad pero instalada de forma paralela a la existente, es decir, con una nueva succión del tanque y una nueva descarga hacia el tanque de almacenamiento; además el diseño incluía una tubería de 8" en vez de 6" lo cual mejoró considerablemente la cabeza de succión y la eficiencia/flujo de la bomba en la descarga. Con ambas bombas funcionando en paralelo se buscaba reducir el tiempo de transferencia al 50%; o un 15% de reducción general en el tiempo de ciclo.

Finalmente, la última porción del tiempo a reducir se obtuvo del re-diseño de la adición de agua. El agua utilizada en la fórmula se adiciona a través de un circuito (*loop*) de agua que alimenta diferentes sistemas en la misma zona de la planta. En este circuito el agua siempre está en constante movimiento a un flujo determinado; sale del tanque de agua de proceso y viaja a través del circuito hasta ser utilizado, si no se utiliza el agua regresa al tanque original. El punto de uso del cual se alimenta el tanque mezclador para la producción de nuestra fórmula tenía un error de diseño (tubería en "T" y reducción de diámetro hacia el tanque mezclador) el cual impedía incrementar el flujo de adición hacia el tanque mezclador a pesar de incrementar la velocidad de la bomba centrífuga del circuito del agua. El re-diseño que propuse fue reemplazar una válvula de mariposa existente para controlar el paso del agua por una válvula de 3 vías con la cual, durante el tiempo de adición, toda el agua del circuito se redirige al tanque mezclador en vez de permitir su retorno al tanque de agua e incrementando así el flujo de adición (menor tiempo).

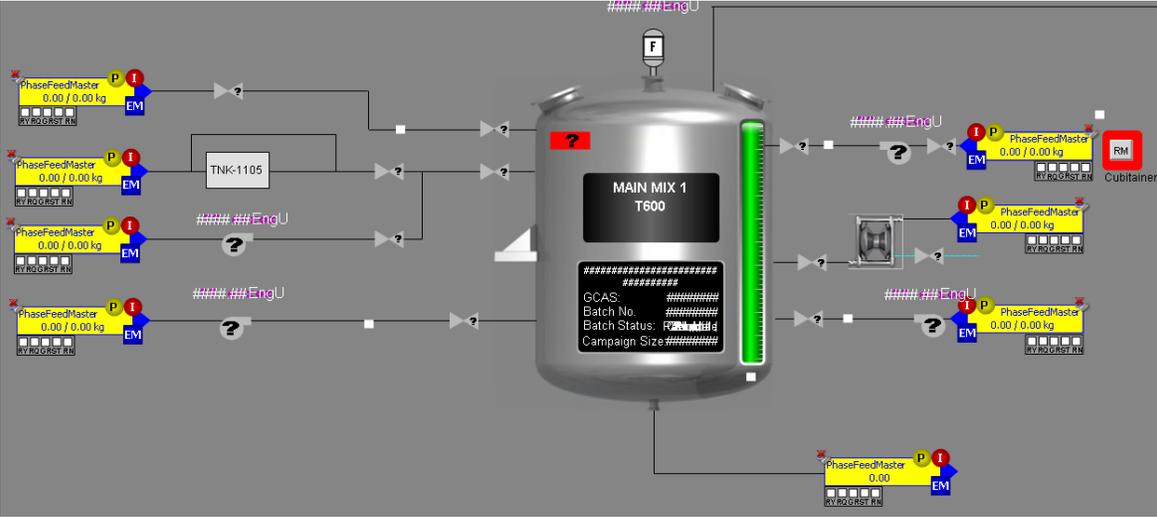


Figura 23. Interfaz Máquina Humano para el control de proceso

6.2.4 Diseño y Construcción

Si bien no fui responsable directamente de la construcción del alcance definido para el proyecto, estuve encargado de la revisión de todas las ingenierías a detalle para asegurar que se cumplía con el objetivo.

Revisé los Diagramas de Tuberías e Instrumentación, los diagramas isométricos para las nuevas secciones de tubería, la ingeniería eléctrica y de control junto con la especificación de los nuevos instrumentos y, principalmente, el plan de ejecución e intervenciones para encontrar la mejor forma de intervenir los sistemas existentes sin afectar o poner en riesgo la producción.

Adicionalmente, a falta de un recurso de control, definí la estrategia para modificaciones de software para adiciones concurrentes y para la segunda bomba de transferencia.

A lo largo de toda la construcción fui el punto de contacto técnico para los supervisores cuando se necesitaba confirmar cambios menores de acuerdo con la ingeniería y di soporte para administrar el proyecto, a los proveedores y el suministro de equipo y servicios de construcción.

6.2.5 Arranque

Como parte de la etapa final de soporte al equipo de arranque para completar las pruebas necesarias para la validación del sistema.

Generalmente, como el diseño es propuesto por el equipo de ingeniería, es necesario trabajar de la mano con el equipo de arranque para explicar el diseño y la forma en que el sistema debería trabajar correctamente.

Para completar la validación de un nuevo sistema el equipo de Aseguramiento de Calidad requiere que se desarrolle un Diseño Experimental que, de forma estadística, soporte que los cambios realizados o los nuevos sistemas se instalaron y probaron de forma correcta para tener una confiabilidad alta de que puede entregar producto dentro de especificaciones durante todo su tiempo de vida.

La propuesta de Diseño Experimental cuenta con 4 fases o Estudios Experimentales que se enfocan en diferentes aspectos de los cambios en el proyecto:

- **Pruebas Estáticas:** Se requiere documentar todas las especificaciones de los nuevos equipos y sistemas. Se revisa la información suministrada en una carpeta técnica y se valida que cumple con requerimientos de seguridad industrial, operatividad, microbiología, calidad e ingeniería.
- **Pruebas Dinámicas:** Se realiza un estudio experimental en el cual se energizan los equipos nuevos o modificados y se revisa que pueden alcanzar las condiciones de velocidad, temperatura, medición, ruido, etc que están definidas en la ingeniería de detalle. No es necesario hacer estas pruebas en las condiciones de operación o con los materiales finales, en muchas ocasiones estas pruebas se hacen en vacío.
- **Pruebas de Producción:** Son las pruebas principales donde el Estudio Experimental se diseña para replicar todas las condiciones de operación y encontrar los parámetros correctos del nuevo sistema que habiliten la producción de líquido cumpliendo con todos los requerimientos de formulación, operación, seguridad, calidad y que los resultados son consistentes a lo largo de varias pruebas. En el caso de sistemas de producción de líquido,

cuya variabilidad no es muy alta, se determinó que la producción consecutiva de 3 lotes dentro de especificaciones asegura la calidad necesaria en el producto.

- Verificación: Una vez que se definen los parámetros de operación que aseguren calidad y seguridad, se hace un protocolo de Verificación que incluye la producción de 25 lotes y que, estadísticamente, asegura que los cambios son correctos y que el sistema es lo suficientemente robusto para las variaciones externas que pueden ocurrir en la producción continua.

Para fines de este proyecto contribuí al Diseño Experimental necesario para la validación y propuse las pruebas estáticas y dinámicas necesarias para confirmar una correcta instalación del sistema.

Durante este proyecto se tuvieron una Pruebas de Producción fallidas debido a baja viscosidad en el líquido lavatrastes. Para solucionar este problema trabajé con el equipo global de Investigación y Desarrollo para evaluar todas las transformaciones en nuestro sistema y concluimos que era necesario modificar el perfil de agitación para reducir el nivel de energía durante la incorporación del surfactante y así asegurar la correcta homogenización de todos los materiales.

7. Desarrollo sobre el proyecto de nueva línea de empaque de alta velocidad

Como parte de los objetivos de este reporte, y adicional al proyecto mencionado en el capítulo anterior, se incluye en este apartado la descripción de otra ejecución que resuelve el problema de capacidad de la categoría desde el punto de vista del empaque, es decir, la capacidad de producción de botellas llenas de lava trastes líquidos y empacadas en cajas para su envío a cliente.

La intención del capítulo es describir las aportaciones personales en cada fase del proyecto y sus resultados mas no describir a detalle la tecnología utilizada para una línea de empaque de alta velocidad.

7.1 Planteamiento del problema

Directamente relacionado al problema descrito en el capítulo anterior, el incremento de demanda de nuestro producto y el crecimiento del negocio por 2 años consecutivos trajo consigo la necesidad de un incremento de capacidad *End to End*, es decir, desde la llegada de materiales y producción del líquido (Capítulo 6) hasta el empaque de botellas y cajas para su venta.

De acuerdo a los análisis de capacidad, era necesaria una nueva línea de empaque que pudiera sostener un crecimiento anual de 12% del volumen durante los siguientes 3 años; adicional al crecimiento de 21% y 17% que se había tenido en los años anteriores.

Al igual que con la producción de líquido, el requerimiento se compartió con el grupo regional de ingeniería y, tras varios análisis, llegamos a las propuestas que este capítulo abarca.

7.2 Aportaciones Personales y Resultados por cada Fase de Ingeniería

7.2.1 Factibilidad

Antes de definir el alcance del proyecto tuve que hacer, junto con un equipo multidisciplinario, varios análisis y comparativos donde se evaluaron las propuestas para incrementar la capacidad teniendo como criterios de éxito:

- Inversión de capital que diera un Valor Presente Neto positivo
- Tiempo de ejecución menor a 18 meses
- Consistencia con la estandarización/visión de la categoría y de la planta a 5 años.

Utilicé el concepto de Análisis de la Opción con Mejor Valor donde se listan los criterios de éxito y se le asigna un valor de “peso” que define la importancia de ese criterio dentro de la decisión. Para cada opción se da una calificación a cada criterio de éxito y esta calificación se multiplica por el “peso” asignado; de esta forma las opciones donde los criterios de éxito más importantes son bien calificados son las que mayor puntaje tienen.

Un ejemplo de este análisis fue el que hice para determinar qué tipo de línea de empaque se debería considerar entre las siguientes dos opciones:

- A. Una línea *Chameleon* estándar (7ª en el mundo) con capacidad de producción de 300 botellas por minuto (bpm).
- B. Una línea *Spartacus* estándar (2ª en el mundo, la primera sin demostrar resultados consistentes) con capacidad de producción de 500 bpm teóricas (400 bpm demostrados)

Una vez identificadas las opciones, comparé todos sus beneficios e impactos hasta llegar al resultado de que lo mejor era instalar una línea *Chameleon* con menos inversión de capital y consistente con la visión de la plataforma en el corto plazo ya que sería la segunda línea de ese estilo en planta Vallejo.

Como parte de la factibilidad también ayudé a hacer un análisis de Proceso VS Empaque; este análisis consiste en evaluar la capacidad instantánea de ambos sistemas y determinar dónde se encuentra el cuello de botella. Para completarlo fue necesario hacer una matriz de los tamaños de botella que corren en las líneas existentes y en la nueva para determinar el consumo instantáneo de líquido en un punto en el tiempo. El resultado de este análisis fue que, con la capacidad de proceso lograda con la mejora de tiempo de batch, es posible correr la nueva línea de empaque durante 16 horas diarias sin tener problemas de producción de líquido. Si la demanda requiere operar dos líneas de alta velocidad simultáneamente durante 3 turnos y 7 días, es necesaria una inversión de capital adicional para un nuevo sistema de proceso.

Con lo definido a partir de la etapa de Factibilidad pude confirmar, como líder de ingeniería, que se podía hacer un proyecto para incrementar la capacidad de la planta en un periodo de 15 meses, con una inversión de capital menor a 15 millones de dólares y con un Valor Presente Neto de +18 millones de dólares.

7.2.2 Conceptual

Si recordamos de capítulos anteriores el propósito de la etapa conceptual nos daremos cuenta de que trata de responder la pregunta “¿Qué?” en referencia a lo que se hará para resolver el problema que se presenta.

Si bien en factibilidad se definió que se instalaría una línea *Chameleon* de Alta Velocidad, hay nuevas preguntas que surgen a partir de entrar más a detalle en el problema. Una de estas incógnitas fue la de definir la tecnología de estibado automático de cajas al final de la línea.

La línea de alta velocidad existente en Vallejo está conectada a un sistema centralizado de estibado que está a 2 km de distancia del área de empaque. Como parte de la etapa conceptual analicé la capacidad del sistema centralizado de estibado y se tuvo como resultado que no era posible manejar el volumen incremental de la nueva línea sin mejorar considerablemente el sistema.

Como solución alternativa se propuso hacer el estibado en la misma área que la línea de empaque a través de una solución automática. Dentro de la industria existen varias tecnologías de estibado

de cajas y empleado de tarimas por lo que tuve que hacer, una vez más, un Análisis de la Opción de Mejor Valor para las siguientes opciones:

- A. Estibado automático con celdas robóticas ABB (Brazos robóticos con 6 grados de libertad)
- B. Estibado automático con tecnología líder en la industria (Paletizadora Cleverttech)
- C. Modificación de sistema centralizado de estibado.

Para completar el análisis se contactaron recursos globales y expertos en las tecnologías que dieron sus recomendaciones y observaciones de cada opción. Tras recolectar toda la información y evaluarlo, decidí que la mejor opción era la B ya que la inversión de capital estaba dentro de lo que estimamos y era una opción con menor riesgo por ser demostrada en más de 10 plantas en el mundo.

Un ejemplo más de lo analizado en esta etapa es el de la posición del diferenciador de líquido antes de la llenadora. Existe un equipo, cuyo detalle no se menciona por confidencialidad, que recibe líquido de los tanques de almacenamiento y lo transfiere a la llenadora. La línea existente (instalada en 2011) tiene este equipo a 100 metros de distancia de la llenadora; la recomendación de la plataforma estándar global es colocar este equipo arriba de la llenadora para simplificar el lazo de control PID para la transferencia de líquido al cabezal de llenado y reducir la cantidad de desecho líquido durante cambios de versión.

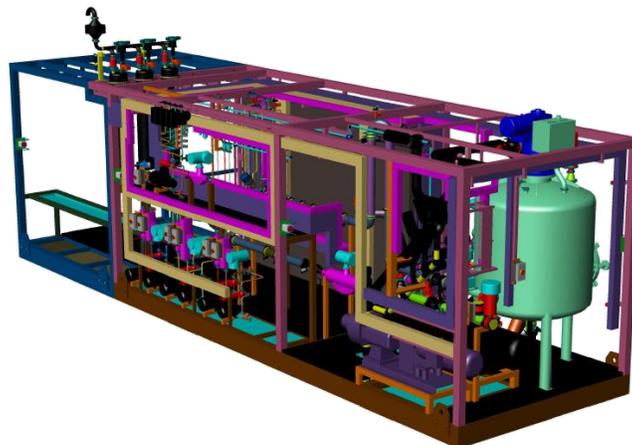


Figura 24. Diagrama 3D de Equipo de Proceso de Líquidos

Si bien la opción técnica más correcta es ponerlo encima de la llenadora, hacerlo de esta manera implicaba la expansión del techo existente ya que el nivel de este no era suficiente para hacer caber este sistema encima de la llenadora.

Junto con el equipo global, documenté el análisis de las opciones y la decisión de invertir capital en expandir el techo y construir una nueva plataforma para este equipo para tener esta nueva línea de acuerdo a todos las recomendaciones y estándares globales.

7.2.3 Definición

En esta fase se entra al detalle de todos los alcances del proyecto y el objetivo es entregar toda la información necesaria que habilite la ejecución y construcción de los sistemas.

Con las decisiones de tecnología tomadas en la etapa conceptual desarrollé una descripción detallada del alcance y el funcionamiento de todos los sistemas. Estos documentos se llaman Bases de Diseño e incluyen todos los requerimientos técnicos de cada transformación o proceso. Yo, como líder de ingeniería, soy responsable de toda la información incluida y esto, como su nombre lo indica, sirve como la base del diseño de detalle que realizan las empresas externas de ingeniería. Todo lo diseñado para construcción hace referencia a este documento; unas buenas Bases de diseño minimizan los riesgos durante construcción y arranque, así como cambios inesperados en tiempo y costo.

En vez de describir el detalle de toda la ingeniería realizada me quiero enfocar en presentar, de forma breve, una metodología nueva que se utilizó para este proyecto y que está creciendo dentro de la industria y trae consigo muchos beneficios en la construcción.

Para la definición de este proyecto se utilizó la metodología “*Lean IPD*” (*Integrated Project Delivery* – Entrega Integrada de Proyectos). Esta metodología toma sus bases de Manufactura *Lean*, un concepto ampliamente conocido en el ámbito de la ingeniería industrial, cuyo propósito es optimizar las tareas de manufactura y eliminar pérdidas en los sistemas de producción.

La metodología de *Lean IPD* consiste, principalmente, en realizar actividades de ingeniería y construcción de forma colaborativa para incrementar los beneficios. Esto es, por ejemplo, unir los esfuerzos de las firmas de ingenierías, las compañías de construcción mecánica y de instalación eléctrica en un solo objetivo (la entrega exitosa del proyecto dentro de costo y tiempo definidos) a través de un contrato que establezca criterios de éxito y beneficios para todos en caso de superar las expectativas.

Hago un énfasis particular en la parte colaborativa ya que, desde mi punto de vista, es la fortaleza más grande de *Lean IPD*. En ejecuciones tradicionales, normalmente se contrata una firma de ingeniería que trabaja el diseño y prepara el detalle de tubería, conexiones eléctricas, análisis estructural, etc. pero no se incluyen comentarios de las empresas de construcción sobre la factibilidad/facilidad de construir lo diseñado; esto causa que el diseño incluya cosas difíciles de ejecutar, actividades muy costosas o, en ocasiones, que le falte detalles importantes para la construcción que no se consideran en el estimado inicial. *Lean IPD* hace que, para que esto no ocurra, la firma de ingeniería trabaje de la mano con las empresas de construcción, los supervisores y el equipo de ingeniería de P&G para que desde el diseño se tengan las consideraciones correctas y se identifiquen oportunidades o problemas en una etapa temprana del proyecto donde los cambios no representan impactos significativos al tiempo y al costo.

Aparte de la colaboración, *Lean IPD* presenta herramientas que optimizan la planeación del proyecto y que crean compromisos definidos para todos los involucrados de tal forma que, si el

proyecto va retrasado, la responsabilidad es clara y es fácil tomar acción sobre lo que necesita suceder para regresar al cronograma definido.

Para este proyecto específicamente, logramos una muy buena colaboración entre empresas de construcción e ingeniería y este esfuerzo se vio reflejado en una reducción de inversión de capital de 1 millón de dólares y una reducción de tiempo de 3 meses en la ejecución.

Una parte importante de mi rol durante la etapa de Definición es la de asegurar que todo lo propuesto cumple de forma correcta desde el punto de vista técnico, es decir, que la especificación de todos los componentes, bombas, instrumentos, modificaciones de control, son técnicamente correctos para desempeñar su función y entregar los resultados esperados. Como parte de esta etapa yo reviso y autorizo que todos los diagramas, isométricos, planos de construcción, etc cumplen técnicamente con los requerimientos de las transformaciones, de seguridad y de calidad.

Así como valido que la información de ingeniería sea correcta antes de su construcción, también me encargo de validar que los equipos que se compran cumplen con las especificaciones dadas a los proveedores, tanto antes de la manufactura de estos como una vez que están ensamblados y listos para enviarse a la planta. A la evaluación de los equipos ensamblados se le conoce como Prueba de Aceptación de Fábrica y es de gran importancia ya que se pueden identificar elementos de los equipos que no cumplen con lo especificado al momento de la compra y se pueden modificar con mayor facilidad y sin costo dentro de las instalaciones del vendedor en vez de solucionarlos en la planta de P&G donde se corre el riesgo de afectar la producción del día a día y donde se incrementan los costos de trabajos mecánicos/eléctricos.

Para el proyecto de este capítulo se realizó la Prueba de Aceptación de Fábrica para los siguientes equipos en diversos países:

- Alimentador y Orientador Automático de Botella Vacía – EUA
- Transportador de Botella Vacía y Botella Llena – EUA
- Llenadora y Taponadora Automáticas – China
- Etiquetadora de Alta Velocidad – Reino Unido
- Formadora de Cajas, Empacadora y Selladora de Caja – Italia

Además de las habilidades técnicas que se requieren para evaluar los equipos, esta experiencia me permitió colaborar con ingenieros de otros países y liderar un equipo técnico multicultural para la correcta manufactura de las máquinas compradas.

Así mismo, como parte de la definición técnica correcta, realicé la integración de todos los equipos de la línea de alta velocidad en las instalaciones de un integrador externo en Bélgica. Esta integración consiste en ubicar las máquinas en su posición correcta de acuerdo a los planos estándar, realizar el ensamble entre ellas, colocar sensores e instrumentos varios y realizar la instalación eléctrica de toda la línea, esto es, conectar el poder y el control de cada una de las máquinas a un panel de potencia, a un Centro de Control de Motores general y a un panel de control integrador que habilita la comunicación entre máquinas.



Figura 25. Diagrama 3D de Línea de Empaque de Alta Velocidad

Una vez completada la integración, lideré a un equipo de arranque para probar toda la línea en las instalaciones en Bélgica e identificar problemas antes de la instalación en Planta Vallejo; en esta prueba se corrieron 2 tamaños (300ml y 500ml) durante más de 1 hora cada uno, se resolvieron muchos problemas, tanto interferencias mecánicas o falta de soportes en la línea como elementos de control que estaban incorrectos en la programación.

Después de las pruebas coordiné el desensamble de la línea, su embalaje para transportarse de forma segura y el envío por barco en 10 contenedores.

7.2.4 Diseño y Construcción

Con todo el alcance definido fue posible desarrollar y completar toda la Ingeniería de Detalle para el alcance local. Como mencioné, mi responsabilidad como líder técnico incluyó la revisión a detalle de todos los Diagramas de Tuberías e Instrumentación, todas las hojas de especificaciones de equipo (bombas, válvulas, instrumentos) y todos los diagramas isométricos de tuberías para los siguientes sistemas:

- 5 sistemas de adición de perfume
- 3 sistemas/circuitos de adición de colorante
- 4 sistemas de transferencia de detergente líquido
- 2 sistemas de adición de materiales estéticos
- 1 sistema de transferencia de 300 metros de detergente líquido
- 1 sistema de diferenciación continuo con velocidad de 22 ton/hr
- 1 circuito de agua de proceso
- Sistemas de vapor y aire comprimido

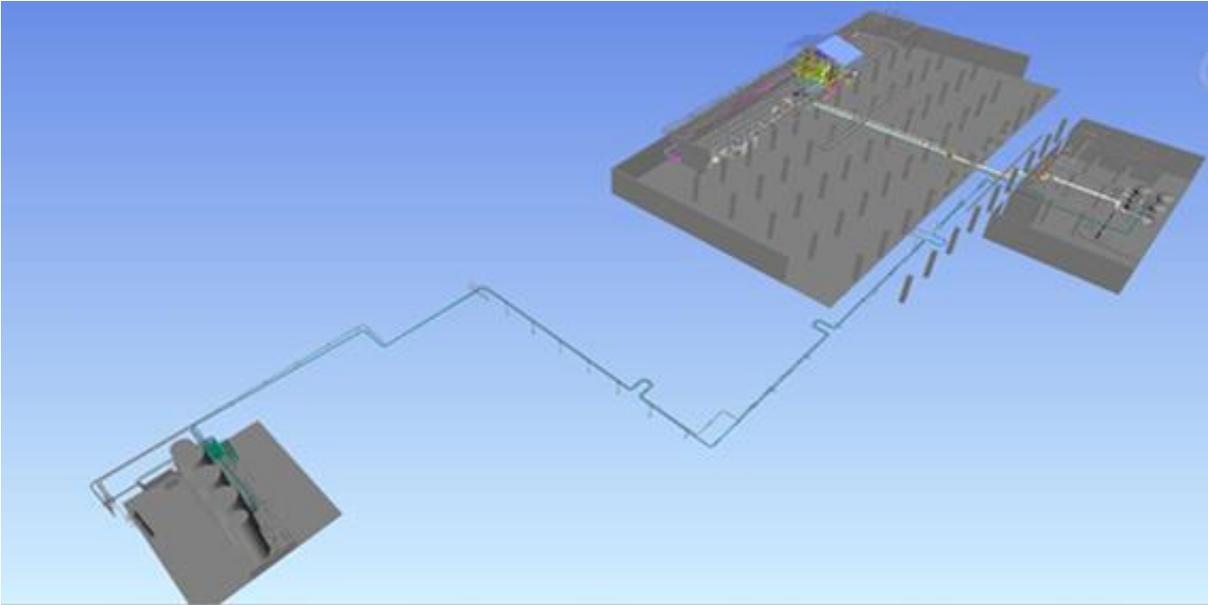


Figura 26. Diagrama 3D de Área de Líquidos en Planta Vallejo

Los diagramas finales habilitaron el comienzo de la construcción. Si bien esta fase no es responsabilidad directa del líder técnico estuvo apoyando al líder de construcción de varias formas ya que este proyecto se enfocó en la colaboración entre funciones.

Uno de mis principales aportes durante la etapa de construcción fue el de revisar lo instalado mientras se iba construyendo y el de supervisar en área de construcción para atender dudas sobre el diseño o resolver problemas que requirieran cambios en construcción en el momento. Esta forma de trabajar permitió mucha agilidad ya que la construcción nunca se detuvo por dudas o modificaciones, siempre se siguió avanzando para entregar el proyecto a tiempo.

Adicionalmente, durante el periodo de construcción se dieron recomendaciones técnicas de cómo intervenir los sistemas existentes sin afectar la producción actual o minimizando el tiempo de paro requerido.

Al completar la construcción apoyé al equipo a revisar todos los sistemas contra el diseño y a identificar las cosas que estaban incorrectas, incompletas o cuya calidad de construcción no era la correcta para dar una solución antes del arranque.

7.2.5 Arranque

Por último, la etapa de arranque fue una de las más retantes técnicamente y, al mismo tiempo, una de las más interesantes en mi carrera profesional.

Primero se hizo el arranque del equipo diferenciador arriba de la llenadora, este equipo requiere mucha precisión de control ya que incluye al menos 5 adiciones que requieren un lazo PID entre un flujómetro y una bomba para alcanzar el valor objetivo de flujo o respuesta estable sin subamortiguamiento y con una cantidad mínima de sobreamortiguamiento; la respuesta transitoria ideal es críticamente amortiguada; es decir, alcanzar el valor objetivo en un corto periodo de tiempo

con precisión ya que la oscilación genera variabilidad en la adición y el sistema se va a falla si esto pasa.

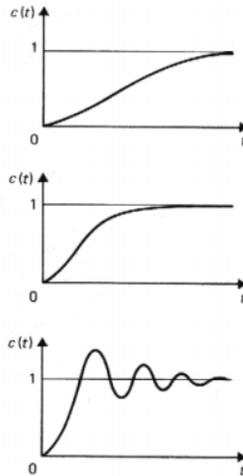


Figura 27. Tipos de Respuestas en un lazo de control PID

Como parte del arranque tuve que apoyar en la calibración de flujómetros y sensores de nivel y controlar la Interfaz Máquina Humano (*HMI* por sus siglas en inglés) ya que en su momento no existían recursos capacitados para esto.

Una vez arrancado el equipo diferenciador empezamos las pruebas en la línea de empaque. La primera actividad consistió en ajustar el lazo de control cerrado entre la bomba de desplazamiento positivo del equipo diferenciador y la presión de la llenadora. Esta actividad es bastante compleja ya que la llenadora es rotatoria y el número de boquillas que abren no es constante, van abriendo una por una mientras va girando, pero las ya abiertas sólo cierran hasta que se completa el ciclo de llenado, entonces la caída de presión es variable y la bomba de desplazamiento positivo tiene que reaccionar rápidamente para mantener una presión constante en el cabezal de llenado. Si esto no se logra no se puede tener un nivel de llenado preciso y eso impacta la calidad del producto.

Adicionalmente, aprendí a conectarme al PLC de la llenadora y del equipo diferenciador y a hacer gráficas de tendencias de señales; a continuación se incluyen las gráficas más representativas de ese ajuste.



Figura 28. Arranque de Bomba con Boquillas Cerradas

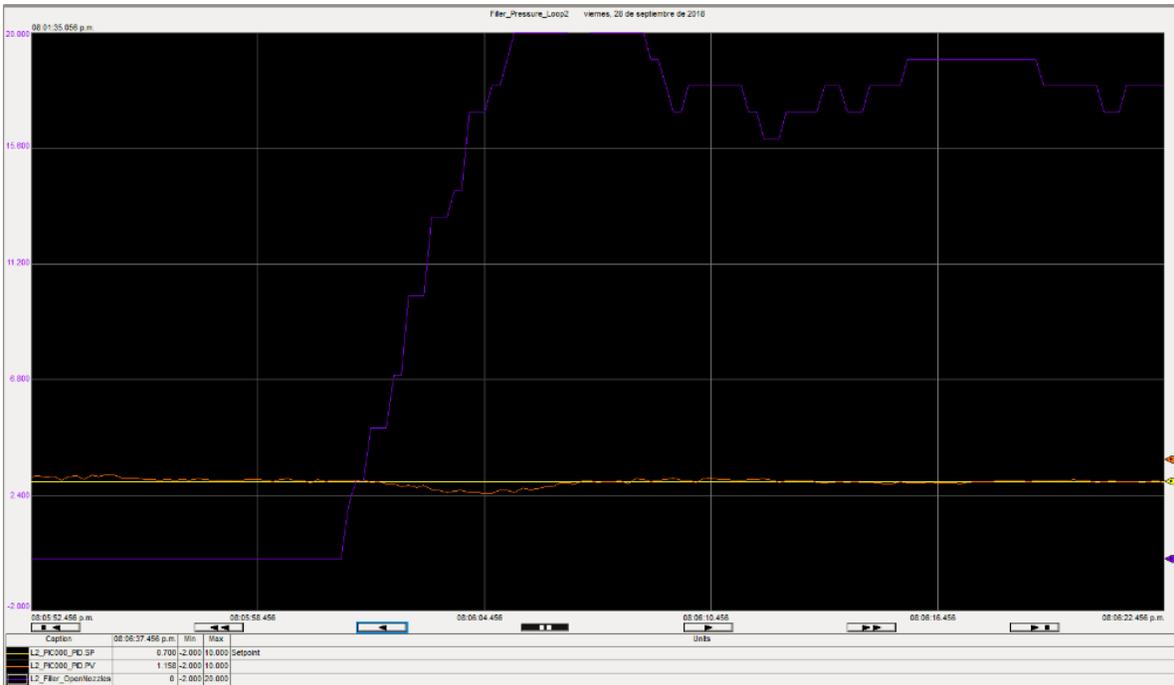


Figura 29. Ajuste de Lazo de Control al abrir boquillas

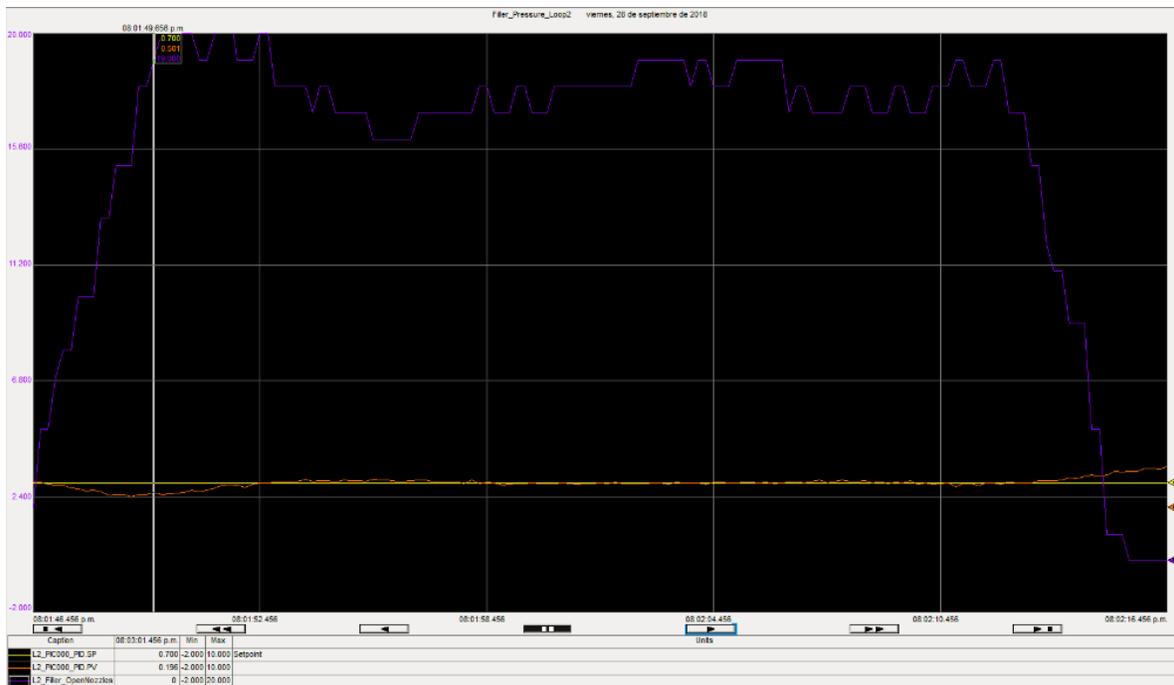


Figura 30. Respuesta transitoria y estable para apertura y cierre de boquillas.

Otro problema al que nos enfrentamos durante el arranque fue a variación del nivel de llenado en 70% de las 40 boquillas de la llenadora. Al principio pensé que era un problema del lazo de control pero después nos dimos cuenta de que los pulsos en los flujómetros magnéticos de cada boquilla estaban registrando valores diferentes en el mismo periodo de tiempo; el 70% de los flujómetros estaba dando pulsos falsos por lo que las tarjetas contadoras de alta velocidad llegaban al target más rápido y mandaban la señal de cierre de la válvula de llenado por lo que la botella se quedaba con menos líquido. También fue posible darme cuenta de eso gracias a las gráficas de pulsos a lo largo del tiempo.

Se puede observar en la siguiente gráfica el comportamiento de los pulsos en dos boquillas diferentes, una buena (verde) y una mala (azul), nótese que la mala llega al target de ~4700 pulsos antes que la buena pero sigue subiendo a pesar de ya no tener flujo pasando a través del flujómetro; para la verde se detiene el conteo de pulsos al llegar al target. Ambas deberían tener la misma pendiente.

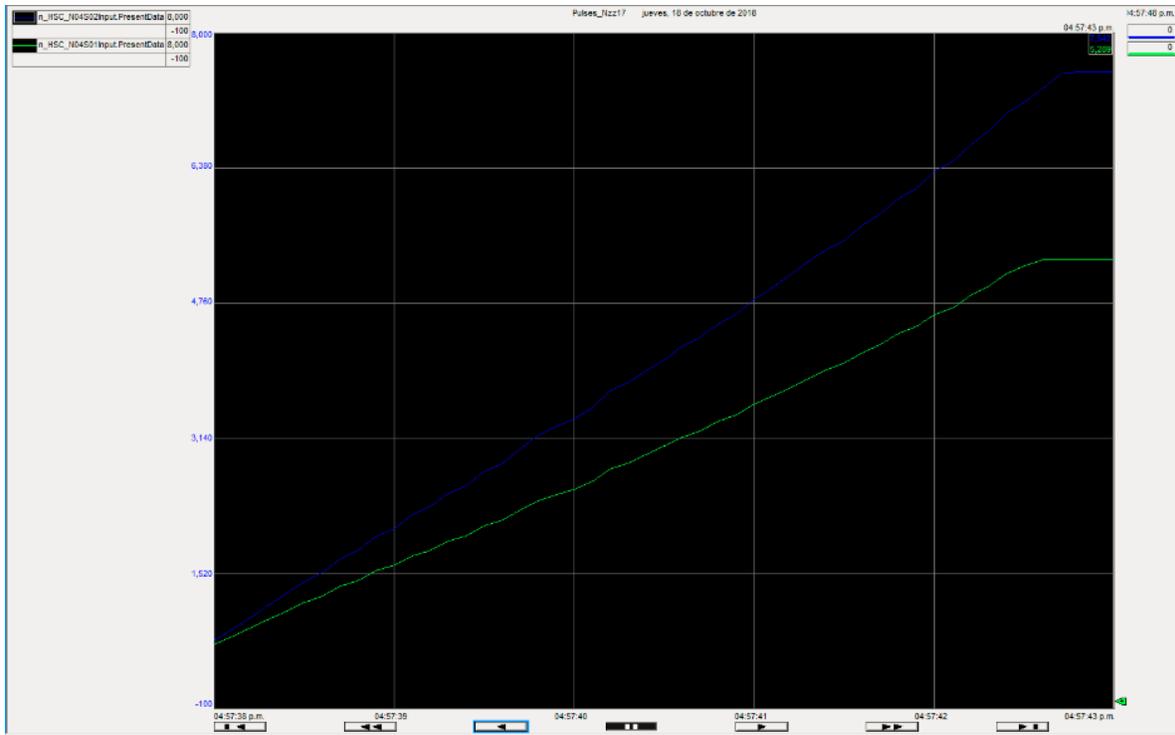


Figura 31. Pulsos en boquillas 16 y 17 de llenadora

Deduje de este comportamiento que el sistema tenía ruido eléctrico que las tarjetas contadoras identificaban como pulsos por lo que habilitamos un filtro incluido en las tarjetas contadoras de Rockwell y con ello se solución el problema de raíz y se obtuvieron los siguientes resultados para el tamaño de 500ml:

Target	532 gr
Min Value	531 gr
Max Value	533 gr
Average	532 gr
StdDev	0.61 gr

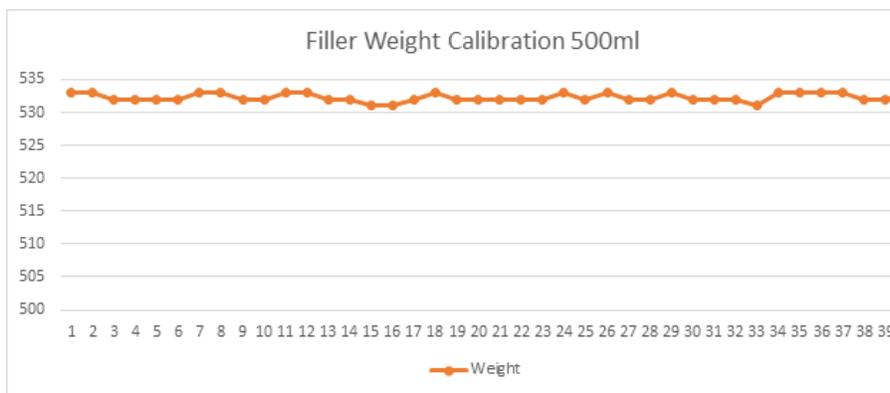


Figura 32. Resultados de calibración de peso en 40 boquillas

Adicional a los problemas de control, estuve soportando el resto del arranque de la línea mediante ajustes de equipos, resolución de problemas en etiquetado como arrugas, problemas en la empacadora para la toma de botellas, etc.

Una vez resueltos los problemas y con la línea arrancada estuve apoyando al equipo de operación con solución de problemas menores en el día a día que ocasionaban paros constantes. El esfuerzo del equipo dio como resultado que, en el segundo mes de producción, alcanzáramos un nivel de confiabilidad del 88% y así tener el mejor arranque de una línea *Chameleon* en el mundo.

8. Conclusiones

Lo presentado en este reporte y los proyectos descritos representan una pequeña porción del trabajo que he realizado en Procter & Gamble durante más de siete años. Tanto el proyecto de Proceso como el de Empaque se completaron y arrancaron en el tiempo correcto para apoyar el negocio y con los costos correctos para hacerlo financieramente viable.

Si bien traté de cubrir un poco del trasfondo técnico que necesité para completar los proyectos de forma exitosa, la realidad es que representa un objetivo muy ambicioso el querer reflejar en su totalidad los conocimientos utilizados en mi vida profesional como Líder de Ingeniería, tanto los aprendidos en mi desarrollo académico como los adquiridos dentro del rol en P&G. Aún así, quiero resaltar lo importante y útil que fue para mí lo aprendido en asignaturas de Ciencias Básicas como física, termodinámica, probabilidad y estadística que sirven de cimientos para entender la raíz de fenómenos observados en mi trabajo; así como lo enseñado en asignaturas de Ciencias de la Ingeniería cuya información pude ver aplicada en problemas de la vida real y que me sirvieron de herramienta para el diseño de soluciones reales con un impacto significativo para la empresa, principalmente lo incluido en *electrónica, circuitos digitales, mecánica de fluidos, automatización industrial e instrumentación*.

El tener un trabajo directamente relacionado a la Ingeniería me ha permitido completar y ampliar de manera significativa mis conocimientos sobre las ciencias antes mencionadas por lo que el campo laboral fue, para mí, un siguiente paso lógico y necesario para continuar con mi desarrollo como Ingeniero y profesionalista.

Por otro lado, mi rol de Líder de Ingeniería para Latinoamérica me dio una perspectiva de negocio a la que no había estado expuesto. Dentro del rol me di cuenta de la importancia que tienen los ingenieros dentro de grandes compañías como Procter and Gamble y la capacidad de influencia que se tiene sobre resultados de negocio si se cuenta con bases técnicas sólidas. Mientras más robusto es el conocimiento técnico y el entendimiento del negocio, más se puede ayudar al negocio así como cuestionar decisiones que podrían no ser lo mejor para lograr los resultados financieros deseados.

Finalmente, una ventaja más de mi trabajo en Procter & Gamble es que me ha permitido adquirir consciencia de la ingeniería de forma global y me ha expuesto al trabajo de otras plantas, otros ingenieros y al valor de la estandarización y replicabilidad. El trabajo colaborativo, principalmente en la ingeniería, permite que avancemos más rápido en cosas que son ampliamente conocidas para poder dedicar más tiempo a innovar y desarrollar soluciones para cada vez más nuevos problemas.

Con todo esto concluyo que mi experiencia laboral hasta ahora y los resultados presentados en este reporte son el resultado de una preparación universitaria sólida que cimienta lo que ha sido, y será, mi continuo desarrollo como ingeniero.

9. Bibliografía

- [1] Wikipedia, «Sistema de Producción,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_producci%C3%B3n. [Último acceso: Febrero 2019].
- [2] Procter & Gambler, "A Company History," 2006. [Online]. Available: https://www.pg.com/translations/history_pdf/english_history.pdf. [Accessed Febrero 2019].
- [3] Procter & Gamble, «Estructura Global y Operaciones,» [En línea]. Available: https://www.pg.com/es_LATAM/compania-p-and-g/estructura_Global_Operaciones.shtml. [Último acceso: Febrero 2019].
- [4] Procter & Gambler, «Corporate Structure: Who We Are,» [En línea]. Available: <https://us.pg.com/structure-and-governance/corporate-structure/>. [Último acceso: Febrero 2019].
- [5] Procter & Gambler, «Our Functions - Product Supply,» [En línea]. Available: https://www.pg.com/vn/careers/our_functions/product_supply.shtml. [Último acceso: Febrero 2019].
- [6] Procter & Gamble LATAM, «Nuestra Historia,» [En línea]. Available: https://www.pg.com/es_LATAM/compania-p-and-g/nuestra-historia.shtml. [Último acceso: Febrero 2019].
- [7] Procter & Gamble México, «Informe de Ciudadanía Corporativa,» México, 2018.
- [8] P&G Global Engineering, "Engineering Skill Matrix," Cincinnati, 2012.
- [9] Wikipedia, «Storage Tank,» [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Storage_tank. [Último acceso: Abril 2019].
- [10] Wikipedia, «Tuberías,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tuber%C3%ADa>. [Último acceso: Abril 2019].
- [11] SPX Flow, "Rotary Positive Displacement Pump," [Online]. Available: https://www.spxflow.com/en/assets/pdf/95-03015_uni2p_wcb_tcm11-10674.pdf. [Accessed Abril 2019].

- [12] Micheal Smith Engineers, «Useful Information on Centrifugal Pumps,» [En línea]. Available: <https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/centrifugal-pumps>. [Último acceso: Mayo 2019].
- [13] Endress+Hauser, «Coriolis Mass Flowmeters,» [En línea]. Available: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Coriolis-mass-flowmeters>. [Último acceso: Abril 2019].
- [14] Endress+Hauser, «Electromagnetic Flowmeters,» [En línea]. Available: <https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/Electromagnetic-flowmeters>. [Último acceso: Abril 2019].
- [15] Wikipedia, "Variador de Frecuencia," [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia. [Accessed Abril 2019].
- [16] Endress+Hauser, «Medición de Nivel,» [En línea]. Available: <https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel>. [Último acceso: Abril 2019].
- [17] P&G Engineering, "Engineering Work Process," Internal, 2016.