

# **PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA**

**Reingeniería en línea de producción de vidrio float  
basada en la filosofía Lean Manufacturing**

**Ciccione, Gabriela – LU1099791**

Ingeniería Industrial

**León Ávila, Waleska – LU1105419**

Ingeniería Industrial

Tutor:

**Fernández, Juan Cruz, UADE**

**2024**

# **UADE**

**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

---

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental realizar un análisis profundo de las oportunidades de mejora en la línea de producción del vidrio float en la planta de Llavallol, perteneciente a la empresa VASA, ubicada en Argentina. La industria del vidrio enfrenta el desafío constante de optimizar sus procesos para maximizar la eficiencia y reducir los costos asociados a la producción.

Partiendo de la base de la filosofía Lean, uno de los principales inconvenientes identificados en la línea de producción es la generación de scrap al final del proceso, zona también denominada “punta de línea”. Este desperdicio no solo representa una pérdida económica significativa, sino que también impacta negativamente en la sostenibilidad del proceso productivo. Por lo tanto, es necesario abordar esta problemática mediante un análisis detallado de las máquinas y equipos actuales, así como de los niveles de desperdicio generados en cada etapa de producción.

El análisis técnico se centró en la evaluación de las máquinas existentes, incluyendo su estado de operación, mantenimiento y eficiencia. Se realizaron inspecciones para determinar el rendimiento de cada equipo y su contribución a la generación de scrap.

Con base en el análisis técnico, se elaboraron propuestas concretas para abordar la problemática. Estas propuestas incluyen la implementación de tecnologías más avanzadas y el rediseño de ciertos procesos para mejorar la eficiencia.

Una vez identificadas las propuestas de mejora, se procedió a realizar un análisis económico-financiero. Este incluye la proyección de costos asociados a la implementación de las mejoras, así como los beneficios esperados en términos de reducción de scrap y ahorro en costos de producción. Se calcularon indicadores financieros relevantes, como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación de la inversión o payback (PRI).

Finalmente, con el análisis integral realizado se arribó a una conclusión en cuanto a la implementación del proyecto presentado.

---

## Abstract

This work aims to conduct a thorough analysis of improvement opportunities in the float glass production line at the Llavallol plant, from the company VASA, located in Argentina. The glass industry faces the constant challenge of optimising its processes to maximise efficiency and reduce production-related costs.

Building on the principles of Lean philosophy, one of the main issues identified in the production line is the generation of scrap at the end of the process, also referred to as the "end of line" area. This waste not only represents a significant economic loss but also negatively impacts the sustainability of the production process. Therefore, it is essential to address this issue through a detailed analysis of the current machines and equipment, as well as the levels of waste generated at each stage of production.

The technical analysis focused on evaluating the existing machines, including their operational status, maintenance and efficiency. Inspections were carried out to determine the performance of each piece of equipment and their contribution to scrap generation.

Based on the technical analysis, concrete proposals were developed to tackle the identified issues. These proposals include the implementation of more advanced technologies and the redesign of certain processes to enhance efficiency.

Once the improvement proposals were identified, a financial-economic analysis was conducted. This includes projections of the costs associated with implementing the improvements, as well as the expected benefits in terms of scrap reduction and cost savings in production. Relevant financial indicators were calculated, such as net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and the payback period (PP).

Finally, the comprehensive analysis led to a conclusion regarding the implementation of the proposed project.

## Índice

1. Introducción.....	5
1.1 Objetivo general.....	6
1.2 Objetivos específicos.....	6
2. Descripción.....	7
2.1 Empresa.....	7
2.1.1 Certificaciones de VASA.....	7
2.1.2 Misión y visión.....	10
2.1.3 Productos fabricados en VASA.....	10
3. Antecedentes y análisis del mercado.....	15
3.1 FODA.....	15
3.2 Análisis de la competencia y principales actores del mercado.....	15
3.3 Análisis de precio y demanda.....	18
3.4 Aspectos legales.....	24
4. Metodología y desarrollo técnico.....	27
4.1 Descripción del producto.....	27
4.3 Descripción proceso productivo.....	29
4.4 Relevamiento del proceso de fabricación de vidrio float.....	30
4.4.1 Recepción de Materias Primas.....	30
4.4.2 Preparación de la mezcla.....	30
4.4.3 Fusión de la mezcla y refinación.....	31
4.4.4 Acondicionamiento del vidrio.....	32
4.4.5 Formación de hojas de vidrio.....	33
4.4.6 Traslado de módulos a stockroom.....	34
4.5 Flujograma del proceso.....	35
4.6 Filosofía Lean Manufacturing en VASA.....	36
4.7 Búsqueda de mejoras en base a filosofía Lean Manufacturing.....	41
4.8 Relevamiento de datos.....	42
4.8.1 Relevamiento de punta de línea float - SST.....	42
4.8.2 Principio de funcionamiento de maquinaria de punta de línea.....	45
4.8.3 Relevamiento de tiempos y movimiento de hojas en punta de línea.....	47
4.9 Propuestas de mejora en punta de línea float.....	50
4.9.1 Tecnología de ventosas de vacío.....	50
4.9.2 Adaptación de la tecnología propuesta.....	55
4.9.3 Dimensionamiento de elementos.....	56
4.9.4 Implementación del frame de ventosas.....	67
4.9.5 Dimensionamiento de brazo robot.....	69
4.9.6 Análisis de adaptación de layout.....	73
4.9.7 Mantenimiento de brazo robot.....	74
4.10 Comparativa de rendimientos en situación actual vs propuesta.....	78
4.11 Implementación de cambios.....	81
5. Resultados y análisis económico financiero.....	84

---

5.1 Estimado de proyección de ahorro.....	84
5.2 Estimado de inversión inicial.....	86
5.3 Estimado de costos operativos mensuales.....	87
5.4 Flujo de fondos.....	88
5.5 Cálculo de la WACC.....	89
5.6 Cálculo del valor neto actual (VAN).....	90
5.7 Cálculo de tasa interna de retorno (TIR).....	91
5.8 Cálculo del retorno sobre la inversión (ROI).....	91
5.9 Cálculo de periodo de repago.....	92
6. Conclusiones.....	93
7. Observaciones.....	93
8. Bibliografía.....	95
9. Anexos.....	98

## 1. Introducción

Con el objetivo en la mejora continua y en la optimización de los procesos, el presente proyecto tiene como finalidad el estudio de la línea de producción del vidrio *float* de VASA, Vidriería Argentina S.A., para encontrar puntos de mejora en la misma.

Esta evaluación viene dada a favor de aumentar la productividad de la empresa y así poder cubrir mayor demanda de la actual, considerando el crecimiento de la misma debido a causas explícitas más adelante en el trabajo.

Partiendo de la filosofía de Lean Manufacturing, se realiza el análisis de distintos puntos de la línea para encontrar oportunidades de mejora que derivan de distintos tipos de desperdicios en la producción y posibles ajustes de tiempos que impliquen también la disminución de costos en el producto. Es importante mencionar que la empresa actualmente opera bajo algunas herramientas de Lean, lo que hace que al momento de implementar los cambios, ya se tenga un conocimiento previo sobre la gestión del cambio a favor de la mejora de procesos.

Cabe destacar que la determinación de las herramientas correspondientes se apoya en resultados cualitativos y cuantitativos, con la intención de mejorar la eficiencia de maquinaria y la gestión de las operaciones que incluyen trabajo humano, incluyendo reducción de tiempos y desperdicios.

A lo largo del informe, se desarrollarán los siguientes puntos:

- Análisis del mercado.
- Estudio técnico para cuantificar las pérdidas y los tiempos del proceso.
- Detalle técnico del proceso.
- Detalle de las maquinarias, línea productiva y la instalación de todo el proceso.
- Aspectos de seguridad.
- Estudio financiero.
- Estudio organizacional y de definición de las actividades a desarrollar.

Dichas propuestas están enfocadas específicamente en la punta de línea de producción. Las mejoras propuestas irán acompañadas de datos que validen la implementación de las mismas, generando un impacto positivo en la compañía. Se verificarán

también los indicadores relacionados al proceso productivo para poder conocer el impacto de los cambios a ejecutar.

Estas propuestas deben traer consigo un análisis de posibles necesidades futuras, mantenimiento de las máquinas que se adquieran y evaluación de escenarios sensibles al cambio. Así mismo, es necesario plasmar costos del proyecto y contrastes económicos para encontrar la manera más conveniente de avanzar con lo expuesto.

Conforme al marco del proyecto, y a fines de cumplir con los objetivos planteados, el proyecto tendrá el siguiente alcance:

- Línea de producción de vidrio float
- Planta de producción: ciudad de Llavallol.
- Zona: Provincia de Buenos Aires.

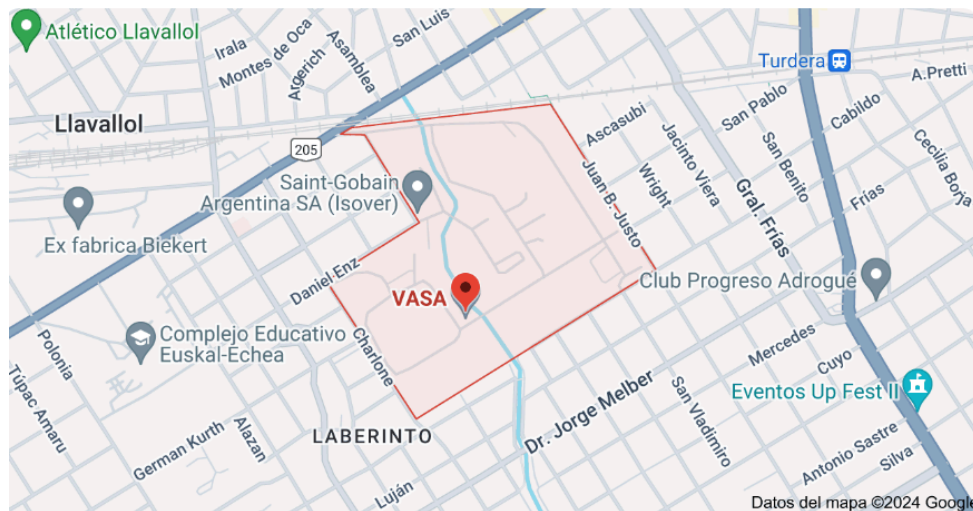


Figura 1: Ubicación geográfica de la planta de VASA en Llavallol. Fuente: Google Maps.

## 1.1 Objetivo general

- Aumentar la productividad y reducir desperdicios en la línea de producción de vidrio float aplicando la filosofía de Lean Manufacturing.

## 1.2 Objetivos específicos

- Realizar estudio de mercado orientado a mostrar la demanda existente y futura, justificando la necesidad de aumentar la eficiencia productiva.
- Documentar el proceso de fabricación del vidrio, con sus respectivos análisis de tiempos y métodos que se involucran en la producción.
- Registrar los distintos tipos de desperdicios encontrados en la línea según la

filosofía Lean.

- Generar propuestas de mejora para la reducción o eliminación de los desperdicios.
- Representar económicamente los desperdicios obtenidos para comparar resultados al implementar la mejora y analizar los costos que llevaría dicho plan.
- Elaborar plan de trabajo para poner en práctica los cambios determinados a la línea de producción.

## 2. Descripción

### 2.1 Empresa

Vidriería Argentina S.A, fue fundada en 1938 y fruto de la asociación de dos de los mayores fabricantes de vidrio del mundo: NSG Group – Pilkington y Saint Gobain, implementa la más avanzada tecnología en la manufactura de una amplia gama de productos. Es la empresa líder en la producción de vidrio para las industrias de la construcción, arquitectura, diseño y automotriz en Latinoamérica.

VASA contiene alrededor de 500 empleados y se encuentra presente con operaciones en 4 países: Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay. Tiene en cuenta el impacto medioambiental de su actividad, desde las primeras fases de la producción del vidrio, por eso busca formas de usar menos materiales y hacerlos más duraderos. En todos los procesos procuran reutilizar la mayor cantidad de agua, y tantas veces, como sea posible; también reutiliza el vidrio que fue descartado en los distintos procesos de fabricación y logística.

#### 2.1.1 Certificaciones de VASA

- ISO 9001:2015 – Gestión de la calidad: norma internacional que se centra en la gestión de la calidad. Asegurar que las organizaciones cumplan consistentemente con los requisitos de los clientes y las normativas aplicables, mejorando la satisfacción del cliente mediante procesos eficientes y un enfoque en la mejora continua.
- IRAM RI-9000-019 – Gestión de la calidad (IRAM): Es una certificación del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) que también se alinea con las normas de gestión de calidad, como la ISO 9001, y garantiza que las organizaciones gestionen sus procesos para cumplir con altos estándares de calidad.

- ISO 14001:2015 – Gestión ambiental: esta norma se refiere a los sistemas de gestión ambiental. Ayuda a las organizaciones a reducir su impacto ambiental, cumplir con las leyes ambientales aplicables, y a mejorar de manera continua su desempeño ambiental.
- IRAM RI-14000-003 – Gestión ambiental (IRAM): Certificación que respalda el cumplimiento de la gestión ambiental, alineada con la norma ISO 14001, otorgada por IRAM para asegurar que las organizaciones gestionen su impacto en el medio ambiente de manera eficaz.
- ISO 45001:2018 – Gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SST): Norma internacional que establece los requisitos para un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, proporcionando un entorno de trabajo seguro y saludable, reduciendo las lesiones y enfermedades laborales.
- IRAM RI-45000-021 – Gestión SST (IRAM): Esta certificación es emitida por IRAM y se alinea con los requisitos de la norma ISO 45001. Se enfoca en garantizar la implementación de un sistema eficaz de seguridad y salud en el trabajo.
- ISO 22301:2019 – Gestión de la continuidad del negocio: Norma internacional que ayuda a las organizaciones a gestionar los riesgos de interrupciones operativas, asegurando que puedan continuar operando durante y después de eventos disruptivos.
- IQNet – Certified Management System: IQNet es una red internacional de certificadores de sistemas de gestión. La certificación por IQNet significa que una organización ha sido evaluada y cumple con los estándares internacionales en gestión de calidad, ambiental, y otros.
- 5S – Metodología de organización y limpieza: Las 5S son una metodología de origen japonés que busca mejorar la organización, la limpieza, y la eficiencia en el entorno de trabajo. Las 5S representan: Seiri (Clasificar), Seiton (Ordenar), Seiso (Limpiar), Seiketsu (Estandarizar) y Shitsuke (Disciplina).  
Certificación Consultora EFESO.



Figura 2: Certificaciones de VASA. Fuente: VASA.

VASA mantiene una gestión integrada de calidad, ambiente, salud y seguridad, desarrollando permanentemente una actualización tecnológica orientada a la mejora continua de productos, procesos y sistemas de gestión, a la prevención de la contaminación y de los accidentes, y al cumplimiento de los requisitos legales aplicables. Sus eficientes programas continúan arrojando reducciones en el consumo de energía, emisiones de gases de efecto invernadero y desperdicios de producción.

Las personas que forman parte de la empresa son muy importantes a la hora de convertir estos objetivos en realidad. VASA capacita, desarrolla y motiva constantemente a su equipo para lograr un alto nivel de responsabilidad y eficiencia. Además, se considera fundamental la seguridad de sus empleados en cada una de las etapas de producción, por lo que mantiene un alto grado de orden y limpieza en todas sus plantas y estaciones.

Así mismo, la empresa incentiva y ayuda a sus proveedores y cadena de comercialización a tomar medidas similares que permitan implementar prácticas sustentables, extendiendo sus beneficios progresivamente a otros segmentos de la comunidad.

## 2.1.2 Misión y visión

### Misión

Mejorar la calidad de vida de las personas, brindar la mejor experiencia y sorprender a sus clientes día a día.

### Visión

Ser líderes mundiales en productos de vidrio innovadores y de alto rendimiento, así como en soluciones que empleen la tecnología del vidrio, contribuyendo a la conservación y la generación de energía, mediante una actividad laboral segura y ética.

## 2.1.3 Productos fabricados en VASA

Dentro de los productos que elabora VASA se pueden encontrar:

- Solar Neutro Light:

Solar Neutro Light es un vidrio sutilmente coloreado en su masa mediante la incorporación de óxidos metálicos. Fue diseñado especialmente para el mercado residencial, teniendo en cuenta dos factores fundamentales, su estética y sus prestaciones térmicas. Este producto tiene un tono neutro, sin reflejos, con una sutil coloración en la masa que le confiere sus características, lo que permite incorporarlo fácilmente a las ventanas de las fachadas actuales.

- Pyroshield Texturado

Expuesto al fuego el vidrio se fractura, pero mantiene su integridad gracias a la malla de alambre. En todas las superficies vidriadas expuestas de forma directa a los rayos del sol, es imprescindible el uso de este producto para reducir el consumo excesivo de energía en refrigeración, y para tamizar ligeramente el ingreso de luz natural. Uso en vías de evacuación y salidas de emergencia, puertas de salidas a escaleras de emergencia y para sectorización en muros. Limita recintos para reducir la propagación de fuego dentro del mismo edificio o de edificio en edificio.

- Ekoglass

El doble vidriado hermético Ekoglass es un componente prefabricado compuesto por un conjunto de dos o más vidrios float paralelos, separados entre sí por un espaciador, herméticamente sellados a lo largo de todo su perímetro, que encierra en su interior una cámara estanca de aire deshidratado o gases inertes para mejorar el comportamiento térmico y acústico (Normas IRAM 12598-1). Tiene distintas variaciones como: Ekoglass Energy, Ekoglass Solar, Ekoglass Akustic.

- **Blindex**

Blindex es la solución ideal para cerramientos seguros. El vidrio Blindex se fabrica en una línea de producción de última generación uniendo dos láminas de vidrio float a una interlámina plástica de alta elasticidad (PVB). Su gran resistencia y contención de partes en caso de rotura evitan accidentes con vidrio ante un desafortunado impacto. Sus variaciones son: Blindex Anti | Robo, Blindex Solar y Blindex Energy.

- **Coverglass**

Coverglass es un vidrio pintado en una de sus caras, que impide la visión a través del mismo. Cuenta con una amplia gama de colores que brindan una agradable sensación reflejando la luz de manera inusual.

- **Profilit U-Glass**

El sistema de perfiles autoportantes de vidrio Profilit U-Glass es una innovadora y económica alternativa a las técnicas convencionales de cerramiento con vidrio. Su apariencia visual provee líneas limpias e ininterrumpidas a una fachada, ya que la resistencia mecánica del perfil de vidrio elimina la necesidad de emplear una carpintería convencional para construir cerramientos de grandes dimensiones.

- **Espejo Optimirror Plus**

Optimirror Plus es el nuevo espejo ecológico fabricado con tecnología Copper free y Lead free. Amigable con el medio ambiente, no genera residuos de cobre y plomo. Es más resistente a la humedad, oxidación, formación de manchas, corrosión en los bordes y es apto para procesos de corte, grabado y biselado.

- **Optiwhite**

Hoy en día el uso del vidrio en arquitectura y diseño se está volviendo más y más frecuente, y el vidrio extra claro Optiwhite está a la vanguardia de lo que es posible. La razón de esto es la gran variedad de prestaciones que Optiwhite puede ofrecer, por lo que es una excelente opción para una amplia gama de aplicaciones. Optiwhite es un vidrio extra claro, vidrio float de bajo contenido de hierro, prácticamente incoloro y el verde fundido inherente a otros vidrios claros no está presente. Es ideal para aplicaciones donde se desea la transparencia y pureza de color.

- **Vidrios texturados**

Tradicionalmente empleados en pequeñas aberturas de locales que requerían intimidad visual, hoy se utilizan con nuevos criterios de diseño en una amplia gama de aplicaciones

que, entre otros, incluyen el equipamiento de interiores, la arquitectura comercial y la decoración en general.

- Cool Lite ST

Cool Lite ST es la línea de vidrios reflectivos diseñada para reducir significativamente el pasaje de calor de radiación solar hacia el interior de los edificios. Fabricado mediante el proceso de metalización en vacío (capa blanda), asegura coeficientes de sombra muy bajos, proporcionando mayor confort ambiental y reduciendo los gastos de energía generados por los sistemas de refrigeración. Puede ser: KNT o SKN.

- Eclipse Advantage

El vidrio Eclipse Advantage se fabrica bajo el proceso pirolítico patentado por Pilkington®. En este proceso de deposición de vapores químicos en línea, un gas reacciona con la superficie semi fundida del vidrio float para formar una capa reflectante sobre substratos incoloros y coloreados en la masa.

El resultado es un producto que combina el control solar y térmico con una alta transmisión de la luz visible, una sutil reflectividad y colores bien definidos.

- Solar E

Solar-E se fabrica empleando float incoloro o tonalizado, una de cuyas caras presenta un revestimiento pirolítico aplicado en caliente durante la fabricación del vidrio, que le brinda propiedades de control solar y baja emisividad. Fue desarrollado para satisfacer los requerimientos de confort y ahorro de energía de calefacción y refrigeración, en obras de arquitectura residencial y comercial. Solar-E ofrece simultáneamente transparencia, control solar, aislamiento térmico y estéticamente una variada gama de tonos con muy baja reflectividad exterior.

- Low E

Por comparación, el vidrio común (sin Low-E) posee una emisividad de 0,84 mientras que en el Energy Advantage Low-E la emisividad es de solamente 0,15, lo que significa que sólo el 15 % del calor absorbido por el vidrio es re-emitado. Por otro lado, el revestimiento Low-E refleja la radiación de calor de longitud de onda larga generada y emitida por los elementos que se encuentran en el interior de los ambientes de un edificio. La combinación en DVH – doble vidriado hermético – de un vidrio Energy Advantage Low-E del lado interior y un vidrio incoloro o de control solar del lado

exterior, generará beneficios tanto en climas fríos como cálidos, ahorrando energía de calefacción y/o refrigeración.

- Super Tints

Super Tints son vidrios de color de alta performance que deben sus excelentes propiedades a la intensidad del color empleado en su composición, lo que permite obtener un excelente grado de control solar sin recurrir a la aplicación de revestimientos reflectivos. Comparados con los tonos tradicionales de Float, los vidrios de alta performance Optigreen, Evergreen y Arctic Blue presentan un menor coeficiente de sombra y elevados índices de transmisión de luz visible. Ambas opciones en verde son las que mejor relación Luz Visible / Factor Solar (Selectividad) presentan entre toda la gama de vidrios tonalizados.

- Graphite

Graphite ofrece distintas opciones de utilización para aplicaciones de fachadas vidriadas con el fin de permitir un completo vidriado en el exterior del edificio. La principal función del Graphite es cubrir los elementos de la construcción y transformarlos en áreas no visibles, como techos colgantes o los bordes de las losas de piso. El Spandrel puede ser utilizado como parte de un DVH permitiendo un efecto sombra en las unidades de visión adyacentes.

- Pyrostop

Pyrostop es un vidrio monolítico y transparente, diseñado en base de un sistema multilaminar intumescente, que ofrece un alto nivel de protección contra incendios, bloqueando de manera eficaz la transmisión de calor radiado, mientras optimiza la iluminación de la zona protegida por luz natural.

- Espejo laminado de seguridad

El espejo laminado es un nuevo producto que cumple todas las normas de vidrios seguros sin perder la funcionalidad. Está compuesto por un espejo y un vidrio float incoloro laminados con una lámina de seguridad de PVB (Polivinil Butiral).

- Vidrio float

El vidrio float es un cristal plano transparente, libre de distorsión que tiene sus caras planas y paralelas con sus superficies brillantes, pulidas a fuego. De espesor constante y masa homogénea presenta una transparencia perfecta. Es el único vidrio que satisface las exigentes normas internacionales de calidad vigentes en la industria automotriz.

Para reducir el ingreso de calor solar radiante y disminuir las molestias causadas por una excesiva luminosidad, se produce coloreado en su masa y/o con un revestimiento reflectivo aplicado sobre una de sus caras. Cuando se fabrica float de color se incorporan a la mezcla óxidos metálicos (como Selenio (Se), Óxido de hierro ( $Fe_2O_2$ ) o Cobalto ( $Co_3O_4$ )) que son los que tiñen la masa del vidrio. La intensidad del tono aumenta con el espesor.

El vidrio float es insustituible cuando se desea obtener una visión clara sin distorsión óptica y constituye la materia prima por excelencia para ser transformado en vidrio templado, laminado, fabricar espejo y manufacturar unidades de doble vidriado hermético. Como herramienta de diseño, sus posibilidades están sólo limitadas por la creatividad de los usuarios y por los criterios de seguridad, que siempre deben ser tenidos en cuenta en todas las aplicaciones del vidrio plano en arquitectura, vehículos y componentes de equipamiento.



*Figura 3: Vidrio float. Fuente: VASA.*

## 3. Antecedentes y análisis del mercado

### 3.1 FODA

Dada la propuesta a plantear, se desarrolla una matriz cuadrada FODA para poder entender la situación actual de la empresa y definir la estrategia ideal para las mejoras a plantear,

- Fortalezas
  - Única fábrica de vidrio en el país y segunda de la región.
  - Alto posicionamiento en el mercado latinoamericano.
  - Producto de excelente calidad.
  - Seguridad laboral e instalaciones adecuadas.
  - Know how sobre los procesos.
- Debilidades
  - Tiempo de implementación del proyecto.
  - Antigüedad de la maquinaria que no permite su reubicación o venta.
  - Mantenimiento especializado de maquinaria.
  - Posible resistencia al cambio en operarios.
- Oportunidades
  - Innovación tecnológica disponible para la industria.
  - Aumento de la demanda por el rubro de construcción y automotriz.
  - Escalabilidad en el proceso.
  - Amplias posibilidades de financiamiento.
- Amenazas
  - Competencia en crecimiento en países limítrofes.
  - Precios fluctuantes de las importaciones.
  - Posibles cambios regulatorios sobre las ganancias.

### 3.2 Análisis de la competencia y principales actores del mercado

Examinando el panorama competitivo a nivel mundial, los principales actores que lideran la industria incluyen a Saint-Gobain con sede central en Francia, Asahi Glass Co. Ltd. y Nippon Sheet Glass Co. Ltd. de Japón (siendo estos últimos quienes adquirieron a la compañía Pilkington de Reino Unido), Vitro, S.A.B. de C.V fundada en México, SCHOTT en Alemania y TEMPERMAX en Brasil.

Esto nos indica que el mercado del vidrio float está altamente consolidado siendo liderado por unos pocos participantes con altos volúmenes de producción, tanto a nivel mundial como en el mercado de Latinoamérica. Recordando el concepto sobre las fuerzas de Porter, sabemos que en un mercado con pocos actores la rivalidad puede ser intensa, ya que cada empresa busca aumentar su cuota de mercado. Esto suele llevar a esfuerzos constantes por innovar en sus procesos productivos y tecnologías.

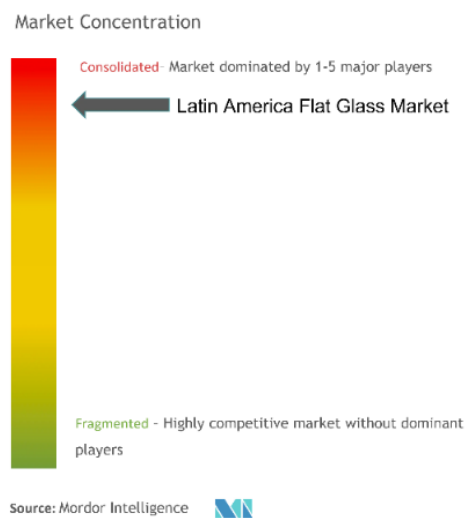


Figura 4: Concentración del mercado de vidrio float. Fuente: Mordor Intelligence.

Es necesario recordar que la empresa Vidriería Argentina S.A. es un joint-venture donde el 51% de las acciones pertenecen a Pilkington Group Limited, miembro de NSG Group, siendo su socio mayoritario y el 49% restantes pertenecen a Saint Gobain.

La compañía en estudio se desenvuelve únicamente dentro del tipo de negocio business to business, ya que todos sus clientes son empresas distribuidoras o comercializadoras y empresas de armado de productos a partir del vidrio float. Cuenta con más de 100 clientes fijos distribuidos por nuestro país, concentrados especialmente en Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe. Por esta razón, desde el punto de vista de la oferta y competitividad, se pueden realizar comparaciones solo con empresas de similar o mayor tamaño y volumen de producción que cuenten con plantas de fabricación de vidrio plano con hornos propios y/o grandes centros de distribución. En Argentina, las únicas plantas de fabricación de vidrio plano pertenecen a VASA, por lo que se puede considerar como una posible competencia a las fábricas y los grandes centros de distribución que se encuentran en países limítrofes.

---

En relación con el mercado sudamericano, la región posee 14 hornos de fabricación de vidrio plano y 9 de ellos se encuentran en Brasil. Algunas de las empresas que comercializan vidrio plano en el país son Vitro, desde sus plantas de distribución ubicadas en San Pablo y Belo Horizonte en Brasil; Vidrios Lirquén ubicado en la zona de Concepción en Chile, el cual pertenece también a los mismos accionistas de VASA; entrando también en juego Saint Gobain y AGC Glass con sus distintos centros de distribución en la zona de San Pablo en Brasil. La competencia mencionada comercializa tanto vidrio plano para la industria de la construcción como vidrios para parabrisas para la industria automotriz.

Actualmente, la producción diaria de vidrio float en la planta de Llavallol de VASA se encuentra alrededor de las 560 toneladas brutas. Se cuenta también con la apertura de un nuevo horno perteneciente a la compañía, ubicado en la localidad de Los Cardales en el partido de Exaltación de la Cruz. Este horno cuenta con tecnologías más avanzadas en cuanto a maquinaria y es el ejemplar más grande del mundo del grupo NSG, quienes en conjunto con Saint Gobain invirtieron alrededor de USD 214 millones para construir la nueva planta. Se estima que su producción alcanzará las 1.000 toneladas diarias, la cual podría lograr abastecer por completo a la demanda local, aunque por el momento no se ha llegado a utilizar su capacidad máxima. Cabe destacar que el proyecto solo abarca la línea de producción de Llavallol, por lo que no se profundiza en relevar la nueva planta.

Analizando las innovaciones en la industria, según la información compartida por Mordor Intelligence en el reporte de mercado de vidrio, sabemos que la firma Saint-Gobain ha logrado en mayo de 2022 una producción de vidrio float con cero emisiones de carbono. Esto se consiguió utilizando biogás y electricidad descarbonizada para producir energía 100% verde y vidrio 100% reciclado al que se denomina 'cullet'. Este término se usa para los fragmentos o piezas de vidrio que han sido recicladas y se utilizan en la producción de nuevo vidrio, logrando disminuir la cantidad de energía necesaria para fundir el vidrio, mejorando la sostenibilidad del proceso y generando una economía circular por la reducción de desechos. El costo de producción fue de varias decenas porcentuales más alto que el tradicional, debido al costo de la recolección y clasificación de vidrio usado y el precio elevado del biogás.

Enfocándose en la parte logística, existen también soluciones innovadoras para el movimiento en la salida de línea y en los almacenes inteligentes. Estos se basan en el reemplazo de puentes grúa u otras formas de transporte de módulos de hojas por caballetes móviles que se desplazan mediante sistemas automatizados a través de rieles. Esta solución

---

logra una disminución de riesgos de rotura de material y de seguridad de operarios, en conjunto con mejora de rendimientos.

### 3.3 Análisis de precio y demanda

Se puede afirmar que gran parte de la demanda del vidrio float constituye una demanda derivada de la demanda inicial de otros rubros, como lo es la industria de construcción de viviendas, obra pública y obras arquitectónicas o a la industria automotriz. Esto nos indica, en líneas generales, que se puede considerar como un commodity debido a que es utilizado como un insumo en distintos tipos de productos y servicios. Este insumo tiene una alta intercambiabilidad teniendo en cuenta que sus dimensiones, espesores y características mínimas de calidad están estandarizadas para cada uso. Además, su precio puede tener cierta volatilidad siendo condicionado por los cambios en los costos de materia prima y energía.

Según información brindada por la empresa con respecto a los precios de venta en el mercado local, el vidrio plano ronda los USD 610 por tonelada, importe que se asemeja al del mercado a nivel global. Debido a la falta de fuentes de información oficiales sobre este dato, se decide tomar este importe para los futuros cálculos a realizar en el análisis técnico y financiero del proyecto.

Para el mercado del vidrio, la coyuntura resulta auspiciosa ya que Argentina es ampliamente más competitiva en relación con los demás países linderos por sus bajos costos en energía, de la que depende mucho esta industria. A pesar de existir una alta variabilidad en el tipo de cambio en los últimos años y restricciones en el flujo de capitales; se mantiene el gran potencial ligado al tamaño de la población, el déficit habitacional y la necesidad de regeneración urbana.

Luego de la pandemia, surgió la necesidad inmediata de generar y acomodar más espacios de vida al trabajo remoto o home office, lo cual influye positivamente al aumento de la demanda en construcción y, en consecuencia, de vidrio para ventanas de viviendas y edificios públicos.

A nivel mundial, la industria de la construcción tiende a métodos e insumos cada vez más sustentables y que contribuyan al ahorro energético. Uno de los productos más utilizados para estos fines es el DVH o doble vidriado hermético en las ventanas y ventanales de viviendas, el cual resulta altamente eficiente como aislante de ruido y calor.

En relación a estas nuevas necesidades también existe la obligatoriedad, impuesta en algunos países de Europa, de utilizar vidrios bajo emisivos, también llamados vidrios Low-e o vidrios ATR (aislante térmico reforzado). Estos tienen la capacidad de reflejar la energía solar evitando que buena parte de ella entre en el ambiente, por lo tanto, en invierno ayuda a mantener el interior confortable de la misma forma que en verano ayuda a mantener el frío del equipo de aire acondicionado. Lo anteriormente mencionado supone un ahorro considerable de energía ya que se tendrá menos pérdidas por las ventanas y por lo tanto el consumo de los artefactos de climatización será menor, manteniendo igualmente una transmitancia lumínica muy alta.

Adentrándose en el análisis sobre la situación futura de la industria en nuestro país, según las encuestas cualitativas realizadas por el INDEC a las grandes empresas de construcción del país, se muestran expectativas dispares con respecto al nivel de actividad esperado para el período septiembre-noviembre de 2024.

*“En efecto, 66,4% de las empresas que realizan principalmente obras privadas prevé que el nivel de actividad del sector no cambiará durante los próximos tres meses, mientras que 24,8% estima que aumentará y 8,8% que disminuirá. Entre las empresas dedicadas fundamentalmente a la obra pública, 56,5% opina que el nivel de actividad no cambiará durante el período septiembre-noviembre de 2024, mientras que 28,7% cree que disminuirá y 14,8% que aumentará.” (INDEC, 2024)*

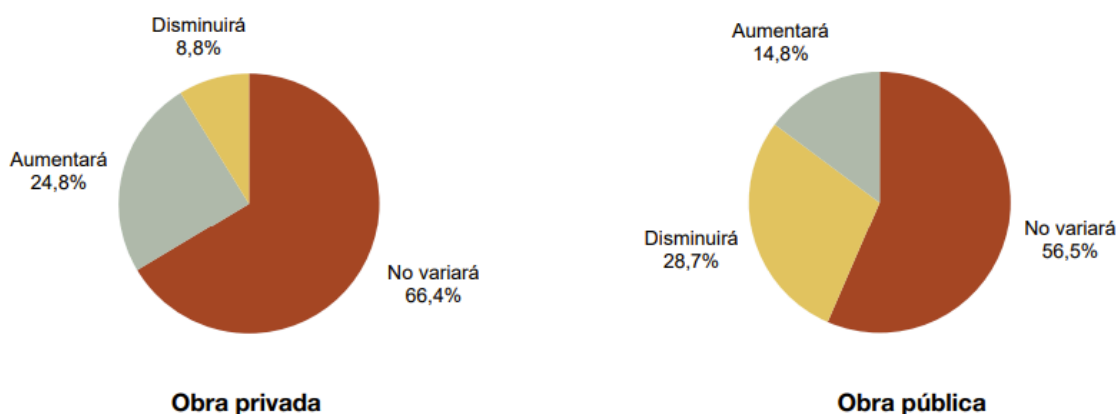


Figura 5: Encuesta a empresas sobre variación. Fuente: INDEC, Dirección Nacional de Estadísticas Económicas. Dirección de Estadísticas Mineras, Manufactureras, Energéticas y de la Construcción.

Estas estimaciones quedan atribuidas al crecimiento de la actividad económica y a la estabilidad de los precios. Además, dentro de la actividad privada, el mayor porcentaje corresponde a obras de viviendas y arquitectura urbana, las cuales requieren de una gran cantidad de utilización de vidrio plano.

Analizando los indicadores de la construcción en Argentina, si bien existe una fuerte baja en la variación interanual entre 2023 y 2024 (específicamente de 20%), se asume que está estrechamente ligada al cambio de gobierno en diciembre 2023 donde se desincentivan, por ejemplo, las obras públicas por una falta de presupuesto. Sin embargo, considerando la estabilización de precios y de tipo de cambio durante el año 2024, se concluye que no es representativo para el futuro de la industria guiarse únicamente por ese dato.

Teniendo en cuenta que no se han encontrado disponibles datos específicos de demanda histórica de vidrio float en fuentes oficiales, para hacer una estimación de este en el sector de la construcción es importante elegir un indicador que refleje de manera directa la actividad de la construcción y que esté correlacionado con el uso de vidrio.

Investigando datos históricos disponibles en la web de la Cámara Argentina de la Construcción (CAMARCO), se encontró información sobre indicadores de tres elementos principales en la industria como lo es la pintura para construcción, el hierro redondo para hormigón y el cemento Portland. Este último se seleccionó como el material con mayor correlación a la demanda de vidrio, para realizar una proyección hacia los años siguientes.

TABLA I: Producción anual de cemento en Argentina y su proyección.

<b>Año</b>	<b>Cemento portland [miles ton]</b>
2016	10.879,30
2017	12.106,80
2018	11.822,40
2019	11.103,60
2020	9.873,00
2021	12.125,40
2022	12.977,20
2023	12.181,31
2024	12.337,80
2025	12.494,28

2026	12.650,76
2027	12.807,24

Fuente: CAMARCO.

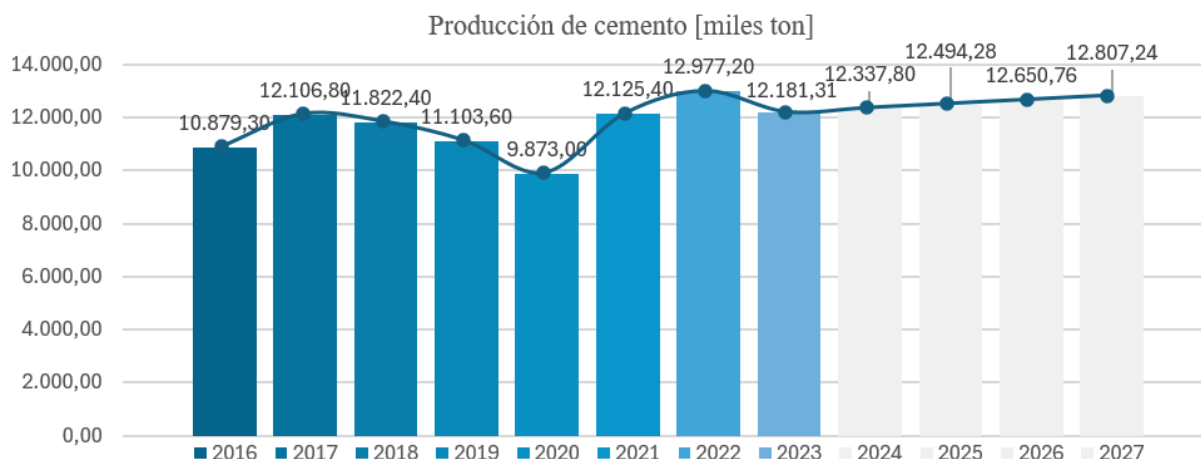


Figura 6: producción anual de cemento en Argentina y su proyección. Fuente: elaboración propia.

En el gráfico de tablas se puede observar la proyección de toneladas de cemento Portland producidas en los próximos años, según la fórmula “tendencia” de excel que utiliza el concepto estadístico de regresión lineal. A pesar de que la pendiente no es tan pronunciada, se confirma que el sector muestra signos de crecimiento nuevamente, lo que nos asegura una demanda futura para este rubro.

Por otro lado, en los últimos años, para abastecer la enorme demanda del país, se importaron grandes cantidades de placas de vidrio float, desbastado o pulido, sin armar. Según el Sistema de consulta de comercio exterior de bienes del INDEC, las cantidades fueron las detalladas en el siguiente cuadro:

TABLA II: Consultas del Comercio Exterior de Bienes (Importación) según Nomenclatura común del Mercosur y cálculos propios.

AÑO	NCM	Descripción	Peso Neto (Kg)	Monto CIF en USD	Monto CIF en USD/ton
2019	70052900	Placas de vidrio flotado,desbastado o pulido,s/armar,ncop.	20.187.955,46	8.026.964,59	397,61
2020	70052900	Placas de vidrio flotado,desbastado o pulido,s/armar,ncop.	22.288.800,47	8.029.974,74	360,27
2021	70052900	Placas de vidrio flotado,desbastado o pulido,s/armar,ncop.	36.602.136,33	15.180.461,61	414,74
2022	70052900	Placas de vidrio flotado,desbastado o pulido,s/armar,ncop.	32.635.740,55	16.646.493,11	510,07
2023	70052900	Placas de vidrio flotado,desbastado o pulido,s/armar,ncop.	1.042.430,6	597.447,24	573,13
2024	70052900	Placas de vidrio flotado,desbastado o pulido,s/armar,ncop.	363.994,473	303.854,45	834,78

---

Fuente: INDEC.

Se decide investigar desde el año 2019, para tener en consideración las posibles variaciones que generó la pandemia mundial de Covid-19 en el año 2020. Dicho esto, se asume que el crecimiento considerable en la importación en los años 2020, 2021 y 2022 se debe específicamente a la crisis. Durante esta época, la planta tuvo ciertos períodos de tiempo donde dejó de producir utilizando el método de mantener una recirculación de la producción. Esto se logra utilizando el mismo vidrio que sale de línea como insumo para el horno sin agregar materia prima a la colada, en conjunto con una disminución de la capacidad al nivel más bajo permitido. De esta forma lograron reducir al mínimo el plantel que asistía a planta para poder cumplir con las regulaciones y prohibiciones de presencialidad en los trabajos, dando excepciones para trabajadores esenciales. Luego se puede ver una bajada muy brusca a partir del año 2023, la cual relacionamos completamente con el comienzo de las operaciones del nuevo horno de VASA ubicado en Cardales.

Estas importaciones representan un gasto muy elevado sin generar valor agregado, debido a las tarifas del medio de transporte, del seguro y de los distintos contenedores utilizados para transportar las hojas de vidrio (como los contenedores de plataforma, open top o flat rack) por el gran tamaño y peso del producto, además del riesgo de rotura. Cabe destacar que el importe CIF indicado por la web de INDEC es un incoterm que significa “cost, insurance and freight” y representa, como se mencionó anteriormente, no solo el costo del producto sino también el valor del seguro y transporte. De todas formas, la variación de estos importes en los últimos años sugieren un gran aumento en el precio por tonelada para su adquisición a través de importaciones.

Según información brindada por la empresa, en los últimos años VASA ha realizado compras de vidrio plano para abastecer la gran demanda equivalentes a un 25% de su producción a distribuidores de Brasil como también de Japón, pertenecientes a su socio mayoritario accionista NSG-Pilkington.

Desde otra perspectiva, el crecimiento en la industria automotriz actúa como otro factor contribuyente en el desarrollo del mercado. Estos vidrios son ampliamente utilizados para fabricar parabrisas y ventanas en vehículos. Uno de los clientes más importantes de VASA es la fábrica de parabrisas de Pilkington ubicada en Munro, la cual abastece a las fábricas automotrices más importantes como Toyota Argentina y Ford Argentina, además de talleres de colocación y compañías de seguro de todo el país.

El sector automotriz argentino muestra signos de recuperación en cuanto a la producción de vehículos, según el informe de la Asociación de Fábricas de Automotores (ADEFSA). En la siguiente tabla, se muestran los datos tomados del informe junto con una proyección realizada de 2024 a 2027, de la cual podemos asumir un futuro propicio también a través de la demanda derivada de esta industria.

TABLA III: Producción anual de vehículos en Argentina y su proyección.

AÑO	TOTAL [unidades]
2016	472.776,00
2017	473.408,00
2018	466.649,00
2019	314.787,00
2020	257.187,00
2021	434.753,00
2022	536.893,00
2023	610.715,00
2024	506.416,18
2025	519.865,11
2026	533.314,04
2027	546.762,96

Fuente: ADEFSA.

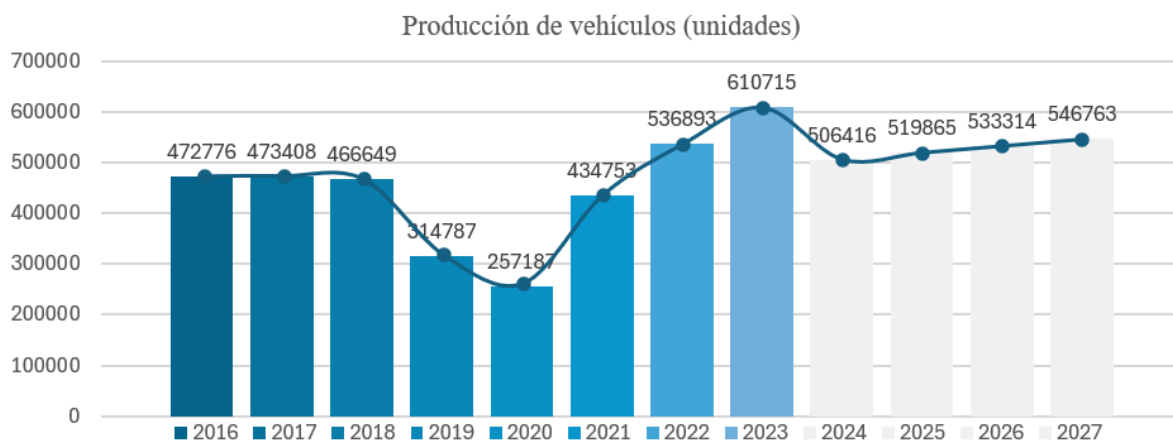


Figura 7: producción anual de vehículos en Argentina y su proyección. Fuente: elaboración propia.

En el gráfico de tablas se puede observar la proyección de unidades de vehículos producidos en los próximos años, según la fórmula “tendencia” de excel ya mencionada.

Viendo la pendiente positiva, se confirma que este sector también muestra signos de crecimiento nuevamente, lo que nos asegura una demanda futura para este rubro.

Como último dato a tener en cuenta para cerrar el análisis de demanda total, según el último pronóstico realizado por las principales empresas de investigación de mercado e inteligencia de negocios, como lo son Mordor Intelligence y Global Market Insights Inc., se espera que el mercado latinoamericano de vidrio plano crezca a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) de entre 7% y 8% durante 2024-2029.

### 3.4 Aspectos legales

Sin dudas, actualmente, basta con observar las más importantes ciudades de la Argentina para constatar la creciente utilización del vidrio en las más diversas construcciones. Por esto, la labor normativa llevada a cabo en los últimos años por parte del Subcomité de Vidrio Plano para la Construcción, del IRAM, cobra una gran relevancia teniendo en cuenta que debe asentarse sobre bases técnicas sólidas para lograr el máximo de seguridad en los edificios que utilicen superficies vidriadas, evitando de esta manera posibles accidentes.

Resulta fundamental promover la utilización de vidrios de seguridad en aquellos sectores de la edificación en los que no puedan adoptarse las medidas de prevención necesarias para la protección de otros tipos de vidrios, como el recocido sin procesar. Afortunadamente, con el creciente grado de concientización de profesionales y usuarios, esta práctica es cada vez más frecuente y, por lo tanto, la industria nacional deberá ocuparse de lograr una buena accesibilidad y disponibilidad de este material de seguridad.

El vidrio templado y el vidrio laminado se consideran vidrios de seguridad porque, en caso de rotura, comparados con el vidrio recocido sin procesar, tienen una forma de fractura que no presenta bordes ni aristas filosas, brindando seguridad a las personas.

En la siguiente imagen se identifican las distintas áreas vidriadas que son consideradas zonas de riesgo:

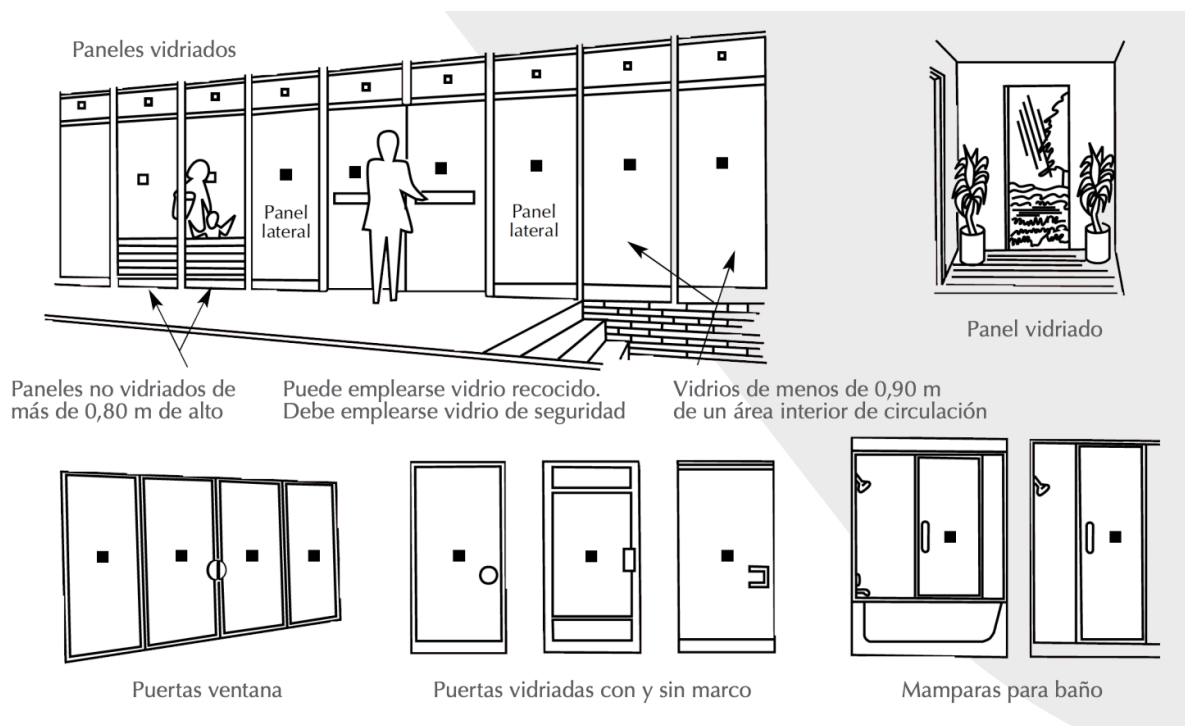


Figura 8: Áreas de riesgo vidriadas. Fuente: VASA.

Según el Código de la Edificación: “todo vidrio colocado en posición vertical en áreas susceptibles de impacto humano, según se definen en la Norma IRAM 12.595 "Vidrio plano de seguridad para la construcción" y sus actualizaciones, debe cumplir con las especificaciones establecidas en dicha norma.

Los vidrios colocados en un ángulo mayor a 15° respecto de la vertical, deben ser laminados según la definición contenida en la Norma IRAM 12.556 y sus actualizaciones, en las siguientes situaciones: techos, paños de vidrio integrados a cubiertas, fachadas inclinadas, marquesinas y parasoles. El vidrio en mamparas, divisores y mobiliario fijo debe ser templado o laminado, según la definición contenida en la Norma IRAM 12.556 y sus actualizaciones.” (Código de edificación de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2007)

La norma IRAM 12565 “Cálculo de espesor de vidrios”, por su parte, determina la metodología para determinar el espesor necesario del vidrio con base en las cargas de viento que deberá soportar.

Particularmente para el doble vidriado hermético existe una Resolución de CAVIPLAN (Cámara del Vidrio Plano y sus manufacturas de la Rep. Arg.) que indica que todo DVH cuya superficie sea mayor a 1,50m<sup>2</sup> debe llevar vidrios seguros para las personas. Además, se debe indicar al fabricante de DVH si el mismo será utilizado en una zona factible de impacto humano y si el DVH será instalado en una carpintería con contención en sus

---

cuatro vértices en posición vertical o si su destino será un frente vidriado, donde estos bordes quedarán expuestos a la radiación solar directa. Este último punto está vinculado con el hecho de que el sellado secundario del tipo “Hotmelt” o el “Polisulfuro” es sensible a la radiación solar directa ya que se degradan por efecto de los rayos UV, siendo necesaria la utilización exclusivamente de Silicona Estructural Neutra, la cual resiste los rayos UV y no permite que los vidrios se desprendan y caigan al vacío.

Por otra parte, se debe tener en cuenta según la zona bioambiental, que en los climas templado-frío, frío y muy frío, es necesaria la utilización de DVH en el total de las aberturas como también la planificación de la orientación de las viviendas de modo de optimizar el asoleamiento de los interiores en épocas invernales. Esto puede facilitarse con grandes ventanales con tecnologías específicas para absorber los rayos del sol sin dejar que luego se escapen al exterior. Por ello se debe utilizar en estas aplicaciones un DVH con vidrio laminado en su cara interior, siendo el recomendado del lado exterior un vidrio templado de control solar a fin de minimizar las ganancias de calor del sol directo sobre plano horizontal. Otro caso particular es el de los vidrios que dan al vacío como son los balcones vidriados y los frentes vidriados. En ambos casos se debe utilizar exclusivamente vidrio laminado para evitar la caída del objeto que golpea el vidrio, siendo el templado no recomendado ya que al romperse pierde integridad, cayendo al vacío y dejando el vano abierto.

La norma IRAM 11.900 (2017) también incluye la exigencia de la presentación de un informe con la certificación de eficiencia energética para las viviendas. Esta define, a nivel nacional, el procedimiento para realizar el cálculo del índice de prestaciones energéticas (IPE).

Es importante resaltar que la responsabilidad sobre las consecuencias de daños y accidentes provocadas por una mala especificación de las superficies vidriadas y de los sistemas de fijación del mismo son compartidas, es decir, solidariamente responsables entre los profesionales actuantes en la obra, como ser: proyectista, jefe y director de obra; los subcontratistas: carpintero o fabricante de ventanas o frente vidriado y el vidriero; propietario o dueño de la obra en cuestión, además del organismo contralor estatal. Especificar y controlar correctamente la calidad y tipos de vidrio que se instalan en la obra es fundamental para evitar patologías y consecuencias posteriores.

---

## 4. Metodología y desarrollo técnico

### 4.1 Descripción del producto

El vidrio es un material que se encuentra comúnmente en diversas presentaciones y que ha estado presente desde hace miles de años. Siendo un material inorgánico, duro y a la vez frágil sin forma, en su elaboración se moldea según el fin requerido. Suele ser transparente, sin embargo, se puede modificar su tono agregando otro material en el momento de la fusión. Debido a su composición física por el orden de sus moléculas, se considera un sólido amorfo, ya que no presenta una estructura molecular definida, sino que su estructura está uniformemente deformada y no presenta un patrón ordenado.

Hoy en día se utiliza en múltiples rubros como por ejemplo para construcción, decoración, tecnología, equipos de salud, maquinarias de trabajo, utensilios del hogar, entre otros. Aunque los principales componentes del vidrio serán los mismos para su elaboración, la composición variará dependiendo de su uso final para alcanzar las características necesarias en su aplicación. Por otro lado, más allá de los diversos usos, se puede reciclar reiteradas veces, lo que favorece su consumo.

Como materia prima para su elaboración, principalmente se necesita arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), carbonato sódico ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) y roca caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) para fundirse a unos  $1500\text{ }^\circ\text{C}$ , siendo el templado el método más utilizado. También se puede obtener mediante otros procesos como bloque congelado, templado con líquido, templado con aire y mediante condensación de vapor.

Dentro de todos los distintos tipos de vidrio existentes, este proyecto en particular estará enfocado en el vidrio plano que tiene utilidad dentro de la construcción, la industria automotriz y el diseño arquitectónico. Gracias a sus propiedades tales como viscosidad, dureza, tensión superficial, densidad y dilatación térmica; dicho material cuenta con diferentes características importantes como claridad óptica, buen aislamiento térmico, nulas distorsiones en su superficie y una elevada transmisión luminosa.

La alta calidad que tiene el vidrio plano le proporciona una gran flexibilidad estructural a la hora de fabricarlo, ya que a través de diferentes procesos y sometidos a elevadas temperaturas se puede moldear y curvar. Puntualmente lo podemos encontrar en:

- Vidrios para autos, como parabrisas, ventanas, espejos o techos solares.
- Ventanas, puertas y mesas para construcción de viviendas y negocios.
- Vidrio aislante

Para el proceso de fabricación del vidrio, tal como se comentaba, los materiales se funden a alta temperatura y después de que la mezcla es homogeneizada, se busca enfriar para darle la forma final. Este proceso de enfriamiento puede ser de diferentes maneras como verterse en una superficie o en un molde, a presión, soplado o sacar la mezcla con una lanza.

El método más eficiente para la producción del vidrio plano es el método de flotado, el cuál será el principal foco de este trabajo. Gracias a este procedimiento, el vidrio logra tener una superficie muy plana y un grosor uniforme, características por las que el vidrio flotado es el más utilizado en construcción.

#### **4.2 Historia del Vidrio float**

El proceso del vidrio flotado para la producción industrial de vidrio float, nace a finales de la década de 1960. Su nombre proviene del verbo en inglés float que significa “flotar”, relacionado al hecho de que, en una parte del proceso, la lámina de vidrio que se forma flota sobre una capa de estaño fundido.

En la antigua Roma, el vidrio plano se fabricaba mediante el soplado del vidrio, método mediante el cual la mezcla se vertía dentro de moldes cilíndricos de gran tamaño y una vez cortadas, se buscaban aplanar antes de que se endureciera por completo. La mayor parte del vidrio empleado hasta principios del siglo XIX se fabricaba de este modo.

Luego, empezó a fabricarse el vidrio plano por extrusión, proceso que consiste en estirar entre unos cilindros. A medida que se aumentaba la distancia entre los rodillos donde pasaba el vidrio, se obtenía un mayor grosor de este. Ambos métodos tenían como consecuencia algunas obstrucciones en el vidrio, lo que hacía que la lámina no fuese totalmente plana.

Posteriormente se consiguió el paralelismo mediante una operación de pulido mecánico, pero este paso supuso un aumento en el costo de elaboración. Fue entonces Sir Alastair Pilkington, de Pilkington Brothers Limited, quien optimizó dicho método, al buscar una estrategia que le diera la calidad necesaria al vidrio a un menor costo. El vidrio empezó a producirse en unas grandes planchas de hasta 6 m x 3,5 m, mucho mayor a los espesores que se venían trabajando y utilizando un baño de estaño fundido en el que se dejaba verter la mezcla del vidrio. El proceso resulta exitoso cuando sin obstrucciones, existe un equilibrio en el volumen del vidrio para que se aplane con su propio peso.

La compañía permitió que el proceso float se utilizase bajo licencia por numerosos fabricantes en todo el mundo. A raíz de esto, la firma aprovechó el flujo de ingresos procedentes de la patente del proceso para invertir en plantas de vidrio flotado en varios países, incluidos Argentina, Australia, Canadá y Suecia, y también para adquirir importantes productores y plantas de vidrio plano y de seguridad existentes en los Estados Unidos, Alemania y Francia. Este método de fabricación confirmó ser una tecnología de punta y, en menos de dos décadas, se convirtió en el sistema productivo dominante en la industria mundial, sustituyendo definitivamente los procesos clásicos del vidrio estirado.

Previo a la comercialización del proceso float, ya se encontraba instalada en Llavallol en 1938, Vidriería Argentina S. A. (VASA) para la producción local de vidrio plano. Fundada por el ingeniero Rochaix y Antonio Valiño, VASA estaba controlada por Pilkington Brothers Limited y también tenía en pequeña proporción capitales belgas (Glaverbel S. A.) y franceses (Boussois-SouchonNeuvesel), además de la participación del fabricante local de botellas León Rigolleau. Fue, entonces, en el año 1989 cuando se empezó a producir bajo el método float en la planta, siendo este el tercer horno de América del Sur en su momento, lo que le daría un cambio a la producción de la empresa.

Hoy en día, VASA, es una empresa multinacional encargada de la fabricación y comercialización de vidrio para las industrias de construcción, arquitectura, diseño y automotriz en Latinoamérica.

### **4.3 Descripción proceso productivo**

El tipo de proceso que se utiliza en la fabricación de vidrio es el de producción continua, ya que los hornos están en constante funcionamiento y apagarlos podría ocasionar grandes pérdidas y posibles daños en su estructura debido al enfriamiento.

Es un tipo de fabricación caracterizado por flujos continuos de conversión de materia prima en productos terminados. En consecuencia, se realizan siempre las mismas operaciones en las mismas máquinas produciéndose generalmente contra demanda de mercado, aunque no sea este el caso por lo comentado anteriormente sobre la imposibilidad de parada de hornos.

Suelen tratarse de líneas de producción adecuadas para fabricar altos volúmenes de productos generalmente únicos y con muy pocas variaciones. De haberlas, se darán en la parte final. Esto se traduce también en grandes cantidades de stock de materia prima y de productos terminados, pero poco stock de productos intermedios.

Los equipos que se utilizan son de alto grado de especialización por lo que se requiere una inversión inicial elevada, y por lo general se necesitará de más maquinaria que personal. Sin embargo, los plazos de retorno de la inversión pueden ser bajos debido al gran volumen de producción. Por la misma razón que lo mencionado, se genera un alto consumo eléctrico y se necesitará de una instalación compleja con sus respectivos generadores eléctricos para asegurar un suministro sin intermitencias.

En el armado de los distintos tipos de producto antes mencionados se utiliza la distribución en línea aunque suelen ser procesos separados de la línea principal. Este se caracteriza por estar diseñado para producir un determinado bien en series de producción muy largas. El tipo de maquinaria, así como la cantidad de esta y su distribución se basan en un producto definido. Muchas veces hay procesos laterales que en algún momento definido se integran al proceso principal. Se emplea usualmente en los casos en que exista una elevada demanda de uno o varios productos más o menos estandarizados, o en la fabricación de productos específicos que tienen como base un producto genérico.

Por otro lado, requiere un control permanente para no paralizar la línea por fallas que puedan ocurrir por lo que la monotonía en el trabajo de los operarios es una desventaja. La estrategia fundamental será contar con un programa de revisiones generales de toda la instalación basado en calendario, para asegurar un alto grado de fiabilidad.

## **4.4 Relevamiento del proceso de fabricación de vidrio float**

### **4.4.1 Recepción de Materias Primas**

Se garantiza un control operativo y técnico en las materias primas (arena, carbonato de sodio, dolomita, conchilla, sulfato, hierro, grafito) para verificar su calidad físico – química.

Primero se debe cumplir con el requisito de la granulometría, es decir, el tamaño de los granos de cada material, el cual, debe estar entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de milímetro. La arena no debe contener arcillas y su contenido de óxidos de hierro debe ser lo más bajo posible. De acuerdo con el resultado del análisis, si el producto está conforme con las especificaciones, se define su disposición para ser utilizado posteriormente; si la materia prima no cumple con las especificaciones se procede a darles el manejo preestablecido como productos no-conformes.

### **4.4.2 Preparación de la mezcla**

1. Almacenamiento: consiste en ubicar las distintas materias primas en diferentes silos y bolsones de almacenamiento en donde permanecerán hasta su utilización.

2. Pesaje: siguiendo la formulación previamente establecida se pesa cada uno de los componentes mediante mecanismos automáticos y en las proporciones determinadas.
3. Mezclado: Luego de ser pesadas cada una de las materias primas, son enviadas a las mezcladoras en donde, por un tiempo previamente establecido y con una adición específica de agua y vapor, los componentes son mezclados totalmente.
4. Transporte: Finalmente la mezcla es enviada por medio de cintas transportadoras hasta una tolva para ser cargada al horno.

#### **4.4.3 Fusión de la mezcla y refinación**

El horno donde se produce el vidrio float en VASA es llamado VV3, aquí se realiza la fusión de las materias primas y consiste en un recipiente rectangular construido con materiales refractarios resistentes al desgaste producido por el vidrio líquido y las llamas. Se utiliza como combustible gas metano (gas natural) para producir el calor por medio de dos quemadores, los cuales funcionan alternadamente durante 20 minutos cada uno. Por uno de sus extremos se carga la mezcla a través de una tolva, mientras que por el otro se extrae el vidrio fundido. Posteriormente hay una entrada de aire con el fin de enfriar el vidrio que se encuentra dentro del horno. Los gases producidos por el horno son expulsados por los regeneradores (1300°C).

El primer proceso que se identifica claramente en el horno es el de fusión; aquí todas las materias primas no son propiamente fundidas, sino que al suministrarles calor primero se descomponen y después reaccionan; así pues, los componentes que poseen menor punto de fusión se vuelven líquidos más rápido que los que tienen mayor punto de fusión (para la sílice es mayor de 1600°C), a medida que va aumentando la temperatura estos últimos también se funden y desaparecen como materiales cristalinos.

A continuación, comienza el proceso de refinación, en el cual se eliminan las pequeñas burbujas que se originan a partir de las reacciones de las materias primas. Este proceso empieza casi simultáneamente con el proceso de fusión y continúa hasta que la mezcla de materias primas esté completamente líquida. En este momento se produce una recirculación del fluido fundido al intentar pasar por la “cintura de horno”. Este sector tiene una longitud menor entre paredes laterales y contiene tanques que generan el retorno del fluido hacia atrás por la parte más baja, donde la fundición presenta gran viscosidad en

---

comparación con la capa superior. De esta manera se logra la refinación, eliminando burbujas y homogeneizando completamente la mezcla.

Luego el vidrio fundido pasa a un segundo tanque, llamado tanque de refinación, donde se intenta igualar la temperatura del vidrio en toda su extensión, para posteriormente repartirlo a las máquinas formadoras por medio de los canales.

#### **4.4.4 Acondicionamiento del vidrio**

El canal es el encargado de enviar el vidrio desde el horno hasta el lugar donde están las máquinas formadoras. Durante este trayecto se disminuye la temperatura del vidrio gradualmente (con lo cual aumenta su viscosidad), de tal manera que al final del canal se obtenga el vidrio en un estado en el que se pueda modelar y cortar.

Se hace flotar el vidrio todavía en estado fundido sobre una piscina de estaño también fundido que va bajando su temperatura desde 1000°C a 600°C, el cual en este estado presenta una superficie totalmente plana que adopta el vidrio, obteniéndose así un producto de planimetría casi perfecta al que se llama vidrio float o vidrio plano.

De aquí sale la lámina de vidrio ya formada, consiguiendo el despegue de esta a través de una pequeña inclinación hacia arriba con un ángulo casi insignificante que también asegura el mantenimiento del estaño dentro de la piscina.

Con la utilización de rodillos, se ingresa la lámina de vidrio al denominado “horno de recocido”, donde se reduce la temperatura en primer lugar, a través de intercambiadores de calor y luego a través de inyección de aire controlado, y en segundo lugar ya con el producto al aire libre se termina de enfriar con viento a temperatura ambiente.

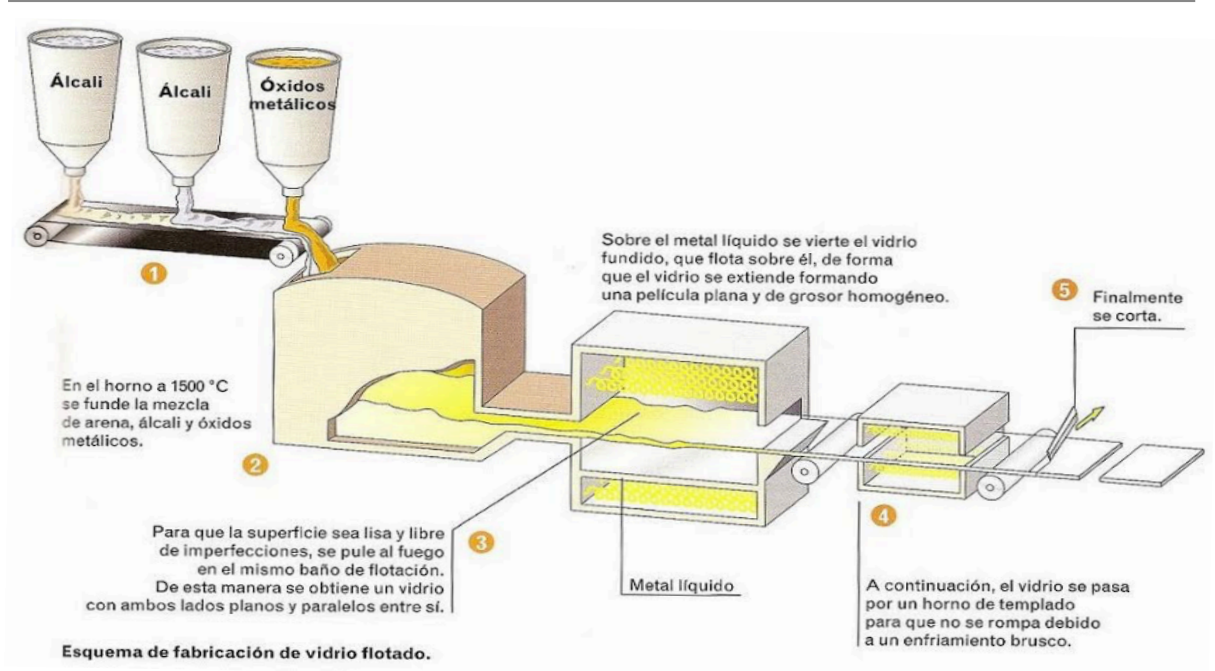


Figura 9: Imagen descriptiva de la línea de producción de vidrio float. Fuente: Green Eco Era.

El siguiente paso es el control de calidad realizado con la utilización de cámaras y sensores, para verificar la posible existencia de distorsiones, burbujas, rugosidad y/o partículas. Esta información es procesada por la computadora, la cual decide rápidamente si la lámina de vidrio cumple con las especificaciones de conformidad según los estándares de calidad. En el caso de que se encuentren fallas en un sector de la lámina, se utilizará la mitad de la hoja, desechando la otra mitad.

#### 4.4.5 Formación de hojas de vidrio

La máquina de marcado y corte se encarga de realizar los cortes transversales según las medidas estándar o medidas especiales solicitadas por los clientes. Los cortes longitudinales se realizan para eliminar los bordes y también dividir la hoja a la mitad, en caso de ser necesario según la detección de fallas realizada previamente.

Tanto los bordes como las partes que se encuentren con fallas se retiran automáticamente a los contenedores o volquetes de scrap, con la ayuda de una pequeña inclinación de la mesa, para utilizarse luego como parte de la materia prima.

Al final de la línea de producción, se encuentran unas máquinas automatizadas encargadas de levantar las hojas para colocarlas en un módulo. Esta parte del proceso se divide en dos movimientos distintos. Por un lado, se utilizan las denominadas máquinas SST

para levantar unos pocos centímetros la hoja de vidrio en posición horizontal y retirarla de la línea principal hacia una mesa lateral. Luego, otra máquina utiliza un frame de ventosas, las cuales actúan a modo de sopapa aspirando la hoja de vidrio para lograr un agarre firme y seguro, colocando la hoja de posición horizontal a vertical.

En este caso, la línea cuenta con 3 máquinas SST1, SST2 y SST3, las cuales se encuentran ubicadas “en serie” para alcanzar el tiempo de ciclo necesario de la producción continua y en línea.

A medida que se van organizando las hojas de vidrio en el módulo, un operario se encarga de colocar manualmente entre ellas los separadores de hojas y, una vez conformado el paquete (según el peso límite), se colocan las fajas de soporte y la etiqueta con código e información del producto.

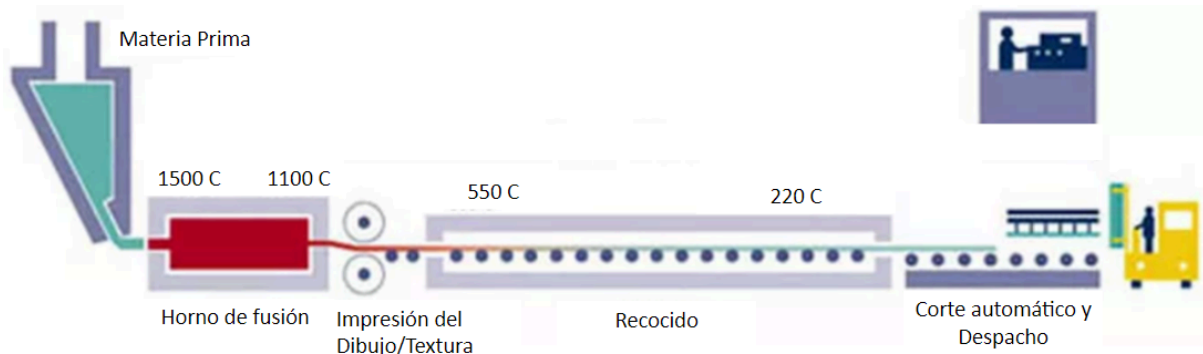


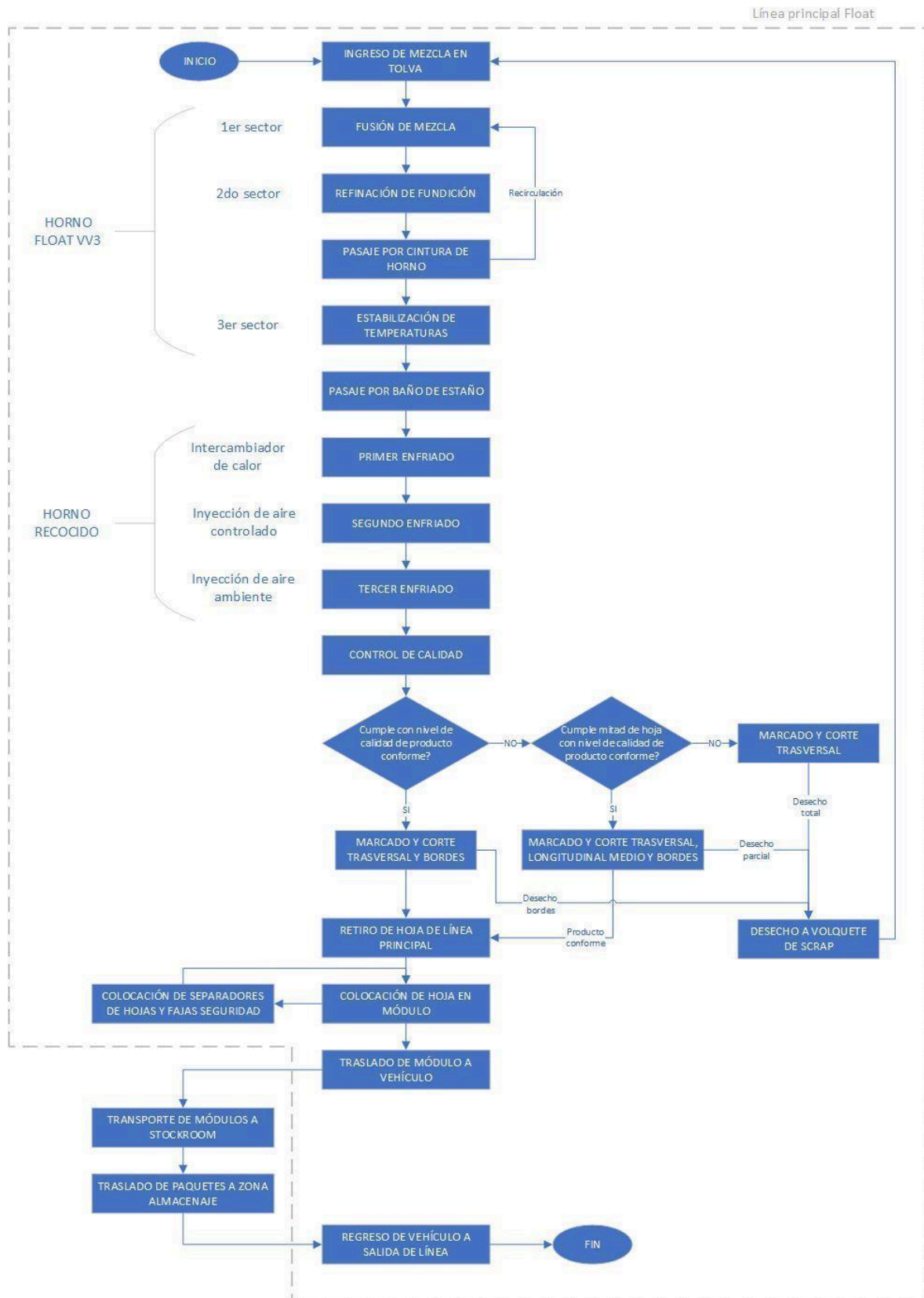
Figura 10: Imagen descriptiva de la línea de producción de vidrio float. Fuente: Ventana.

#### 4.4.6 Traslado de módulos a stockroom

Luego de completarse el módulo con una cantidad total de 6 paquetes (3 de cada lado), es trasladado por el puente grúa junto con un operario que lo acompaña hasta el vehículo de transporte. Cuando el vehículo se completa, el conductor lleva los productos por las calles exteriores hasta la nave de almacenamiento, denominada stockroom. Se ingresa hasta una superficie libre a la cual llaman bahía, donde sin descargar los módulos del camión, un puente grúa con pinzas sujeta cada paquete y lo traslada hasta el sector correspondiente de almacenaje según espesor y medidas de la hoja.

Para finalizar el proceso, mientras se está realizando el proceso de descarga mencionado, otro camión con los módulos ya descargados regresa a la punta de línea por el mismo camino utilizado anteriormente y se descargan los módulos vacíos para utilizarlos nuevamente.

4.5 Flujograma del proceso



#### 4.6 Filosofía Lean Manufacturing en VASA

La empresa mantiene la aplicación de la filosofía Lean Manufacturing y sus herramientas aproximadamente desde el año 2017, lo que lleva a tomarla como base para analizar la línea de producción e identificar las posibles mejoras. Aunque actualmente cuenten con un sistema de gestión que les permite determinar proyectos entre áreas y detectar mejoras en la productividad obteniendo una mayor eficiencia, todavía queda mucho por avanzar, especialmente respecto al compromiso de perseguir un objetivo común teniendo un rol proactivo de los trabajadores con más antigüedad.

Uno de los focos de Lean Manufacturing es eliminar o reducir al máximo los desperdicios de los procesos productivos para que el precio óptimo del cliente pueda ser alcanzado con el mayor beneficio para la empresa. Los desperdicios para Lean Manufacturing, se clasifican de acuerdo con su origen y se pueden ver reflejados en el proceso de producción. Estos desperdicios pueden categorizarse como:

- Sobreproducción: Fabricar más de lo necesario o antes de que sea necesario. Esto puede llevar a acumulación de inventarios.
- Esperas: Tiempo perdido debido a esperas en procesos, materiales o información. Puede ocurrir entre diferentes etapas de producción o debido a fallos en el suministro.
- Transporte: Movimiento innecesario de materiales o productos. Esto incluye cualquier traslado que no agrega valor al producto.
- Exceso de Procesamiento: Realizar más pasos en un proceso de lo necesario. Esto puede incluir trabajos duplicados o procesos que no son necesarios.
- Inventarios: Mantener más inventario del necesario. Esto puede llevar a costos adicionales de almacenamiento y riesgos de obsolescencia.
- Defectos: Productos que no cumplen con las especificaciones y que deben ser reparados o desechados. Esto implica desperdicio de materiales y tiempo.
- Movimiento: Movimientos innecesarios de los trabajadores que no contribuyen al proceso de producción, como buscar herramientas o materiales.
- Falta de Conocimiento o Capacitación: Empleados que no están adecuadamente capacitados pueden cometer errores que resultan en desperdicios.

Con la mejora de todo aquello que es superfluo, se logra aumentar la calidad y reducir los tiempos de producción y el coste final de los productos. Esto implica la revisión del

---

proceso en sus diferentes etapas para encontrar los tiempos muertos, así como también las actividades que se puedan optimizar para disminuir los mismos.

La base principal de esta filosofía es el concepto de Kaizen, que proviene de dos términos japoneses: kai, que significa “mejora”, y zen, que significa “bueno” o “bienestar”. La combinación de estas palabras crea el concepto de mejora continua. Kaizen se refiere al proceso de mejora continua en todos los aspectos de un negocio, desde las prioridades estratégicas hasta las operaciones diarias. Lo más interesante y práctico de este concepto es que no necesita una tecnología sofisticada; sólo se requiere de sistemas, mecanismos y herramientas sencillas, convencionales, que con sentido común son fáciles de aplicar. El verdadero catalizador de su aplicación es el Know-how, es decir, el conocimiento aprendido por los empleados a lo largo de los años, que operando bajo una filosofía Kaizen se vuelve en una estrategia básica de la supervivencia de la organización en los mercados. Uno de los elementos clave para el éxito de Kaizen es la estandarización, que implica establecer procedimientos y normas claras para garantizar que las mejores prácticas se sigan consistentemente. La estandarización no solo facilita la identificación de áreas de mejora, sino que también asegura que cualquier cambio realizado en el proceso sea sostenible y replicable.

En la planta de VASA, este principio se puede ver claramente aplicado en los carteles de seguimiento del proyecto Quick Kaizen, un sistema de generación de mejoras propias de cada turno que resulta en premios mensuales para generar motivación en los empleados a mejorar su espacio de trabajo y reducir los incidentes y desperdicios. Todos los empleados deben generar dos mejoras Quick Kaizen al mes, promoviendo una competición favorable con sus pares por premios a la mejor solución.

		SEGUIMIENTO QUICK KAIZEN											
		abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
Turno A (Norberto Casal)	Realizados												
	Objetivo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Turno B (Hernán Leiton)	Realizados												
	Objetivo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Turno C (Juan M. Esquivel)	Realizados												
	Objetivo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Turno D (Enrique Dowgiello)	Realizados												
	Objetivo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Turno E (Eugenio Szleszynski)	Realizados												
	Objetivo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Figura 11: Imagen de ejemplo de Seguimiento Quick Kaizen. Fuente: VASA.

Otra aplicación de esta filosofía se puede encontrar en las llamadas “Lecciones de Un Punto” (LUP), donde los operarios al encontrar errores o actividades complejas que deben hacerse de una forma determinada para evitar fallas, las analizan y solucionan en el momento, además de anotarlo como un aprendizaje para que no vuelva a suceder un accidente o cualquier tipo de desperdicio. Esta herramienta es un complemento del mantenimiento preventivo y programado que mencionamos anteriormente en la descripción de un proceso continuo en línea. De esta manera todo el personal va mejorando su conocimiento en cuanto al manejo correcto de toda la maquinaria. Es una forma de estandarización de los procesos con el objetivo de mantener un patrón o normas.

La gestión visual es otra herramienta de esta filosofía que utiliza indicadores visuales, pantallas y controles para mejorar la comunicación de la información entre los empleados de la fábrica.

La aplicación de fabrica visual se hace muy fuerte en cuanto a seguridad, con cartelera sobre el uso de elementos de protección personal, caminos delimitados para no cruzarse con máquinas como auto elevadores, espejos colocados para anular puntos ciegos, barandas pintadas de amarillo y negro para indicar atención, protecciones de máquinas pintadas de rojo para indicar peligro y recomendaciones sobre comportamientos seguros.

Se utilizan, por ejemplo, carteles de aviso en el piso, previo a entrar a un sector donde es obligatorio el uso de elementos de protección.



Figura 12: Señalización sobre elementos de protección personal. Fuente: VASA.

También se pueden encontrar recomendaciones de pensamiento seguro que motivan a los empleados a utilizar los elementos de protección personal y tomar precauciones en el ambiente de trabajo, haciendo foco en que es por seguridad propia.

Existen también carteles de llamada de atención que se encuentran en todos los ambientes de la fábrica, los cuales cuentan con números de comunicación interna en caso de haber alguna emergencia para la cual se necesite asistencia.



Figura 13: Señalización sobre elementos de protección. Fuente: VASA.



Figura 14: Señalización comportamiento de seguridad. Fuente: VASA.



Figura 15: Señalización en caso de emergencia. Fuente: VASA.

---

#### 4.7 Búsqueda de mejoras en base a filosofía Lean Manufacturing

Tomando como base los principios de filosofía Lean que la empresa ha estado adoptando los últimos años, se analizan los principales puntos a lo largo de todo el proceso productivo relevado en donde se genera algún tipo de desperdicio.

Las partes del proceso que conforman el formado de la fundición dentro del horno, la generación de planimetría con el baño de estaño y el posterior moldeado del vidrio según los espesores requeridos; son sumamente complejas y difíciles de modificar debido a su naturaleza. Los tiempos de estos procesos no pueden modificarse ya que toda la línea debe mantener una cierta velocidad para generar el producto deseado, como tampoco se encuentran posibles modificaciones para realizar en la composición de la mezcla utilizada desde la visión de un profesional de ingeniería industrial.

Dentro de las actividades que pueden analizarse para implementar mejoras, se encuentran los controles de calidad de materia prima, controles de tiempos, métodos y movimientos utilizados en la punta de línea, cantidad de operarios involucrados en cada proceso y tareas que realizan, posibles automatizaciones de actividades mecánicas o manuales como también posibles renovaciones de maquinaria.

Para este proyecto en particular, luego de buscar y analizar los posibles puntos críticos en toda la línea, se decidió enfocarse en mejorar el proceso en las salidas de la línea de producción de vidrio plano como también en el transporte de los productos hacia la zona de almacenamiento, con la idea de proponer luego la implementación de mejoras innovadoras y competitivas en la industria.

Uno de los 7 desperdicios o “Muda” que describe la filosofía Lean es el desperdicio por defecto. En nuestro caso, se puede identificar una forma de defecto en el proceso de retiro de hojas de vidrio de la línea principal donde la maquinaria, debido a la antigüedad y al método que utiliza, genera roturas del producto terminado. A pesar de que el scrap generado puede utilizarse luego para volver a comenzar el proceso productivo con su fundición, nos encontramos con un gran tiempo de proceso que no crea ningún valor agregado hacia el cliente. Sumado a esto, se puede observar que existen dos movimientos diferentes del producto final utilizando dos máquinas distintas para realizar cada uno de ellos. Esta actividad genera un desperdicio de movimiento de producto donde crece el peligro de rotura.

## 4.8 Relevamiento de datos

### 4.8.1 Relevamiento de punta de línea float - SST

Actualmente, la producción diaria de vidrio plano en VASA se encuentra alrededor de las 560 toneladas con un rendimiento de 90,6%. Es decir que el neto de producción ronda las 508 toneladas, restando el descarte o scrap.

Este está compuesto por una parte fija que incluye los descartes de borde, muestras de control de calidad y cambios de espesor; más una parte variable que tiene en cuenta las roturas en línea, fallas de equipos y fallas de cortes. Dentro de la clasificación de fallas de equipos mecánicos, se encuentran las roturas en las máquinas denominadas SST.

Como se mencionaba anteriormente en la descripción del relevamiento del proceso, estos son equipos que se utilizan en la punta de línea de vidrio plano para retirar las placas de vidrio de la línea principal y movilizarlas lateralmente hasta el equipo llamado stacker, el cual se encarga de depositar las hojas en un módulo para la conformación de los paquetes.

Actualmente, la empresa cuenta con 3 máquinas SST configuradas en serie para lograr evitar un cuello de botella al final de la línea, ya que las mismas son notablemente más lentas en comparación a la velocidad de salida de hojas de vidrio.

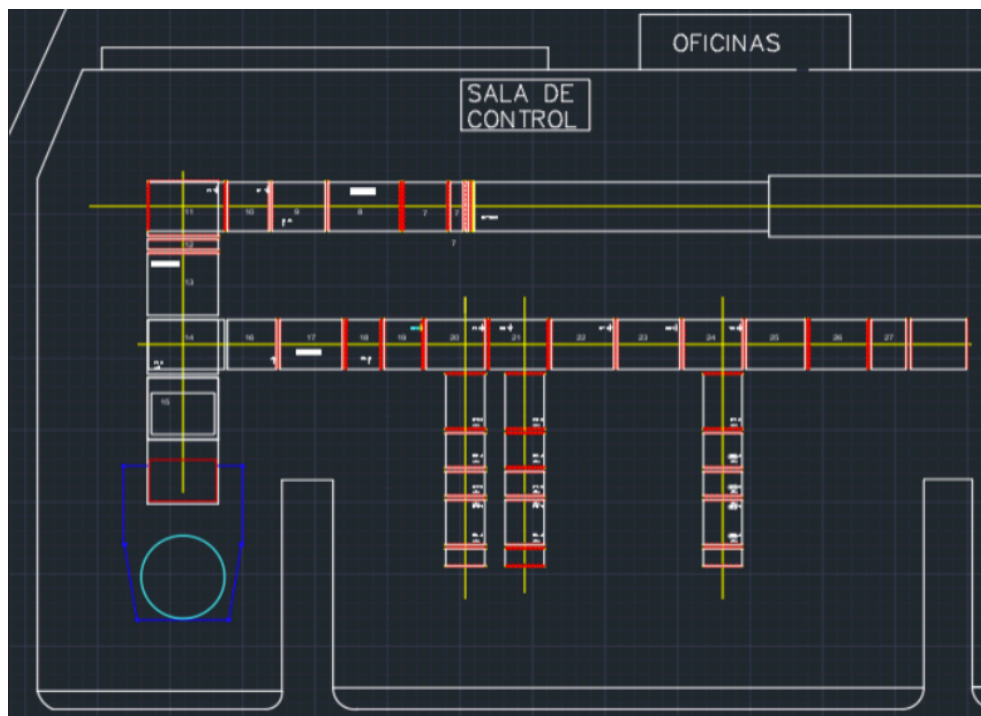


Figura 16: Recorte de layout del final de la línea de producción del vidrio float. Fuente: elaboración propia.

Los antes mencionados son equipos de tecnología del año 1989, cuando fue montada la línea de vidrio plano. Están compuestos por una parte superior con brazos de ventosas y una parte inferior con una mesa de fingers o ruedas de apoyo. Estas ruedas se encargan de elevar la hoja de vidrio para que las ventosas superiores puedan sujetar y trasladarla hacia una mesa lateral, donde el equipo stacker está esperando para cambiar su posición de horizontal a vertical y colocarlas en el correspondiente módulo.

Los brazos de ventosas están compuestos por 4 cadenas, 8 engranajes, 4 pistones tensores, un eje estriado de conexión, 120 barrales de soporte de ventosas, 240 ventosas y un motor de traslación. Por su parte, la mesa de fingers está compuesta por 24 barrales con 8 fingers o ruedas de apoyo cada uno, 24 cilindros neumáticos que comanda cada barral, un cilindro neumático principal, 24 electroválvulas de 5 vías para comandar cada barral y 4 cajas 90° para subir y bajar el frame completo con su correspondiente motor.



*Figura 17: línea SST. Fuente: VASA.*

Al ser equipos con una tecnología antigua, existe la probabilidad de roturas de vidrio por el mal agarre de las ventosas y por la presión que realizan las mismas contra los fingers o rodillos inferiores, además de la generación de vibraciones y contaminación sonora en la

planta. Por otro lado, esta maquinaria fue diseñada específicamente para este proceso lo que dificulta su mantenimiento y disponibilidad de repuestos.

Investigando sobre los desperdicios generados en esta etapa, se obtuvieron los datos de toneladas de roturas al final de cada salida de línea de los últimos 12 meses, suministrados por el Gerente de Producción de línea float de VASA, los cuales se detallan en el siguiente cuadro:

TABLA IV: Relevamiento de los desperdicios de las SST por mes durante un año.

Mes	Pérdidas en toneladas			
	Sst1	Sst2	Sst3	TOTAL
abr-23	7,70	13,90	27,80	
may-23	21,90	18,80	22,60	
jun-23	9,70	4,90	10,70	
jul-23	24,10	24,20	18,10	
ago-23	25,90	29,20	27,50	
sept-23	19,90	10,70	17,60	
oct-23	20,20	32,20	23,60	
nov-23	21,50	40,80	39,30	
dic-23	29,40	35,90	16,90	
ene-24	11,40	19,10	6,30	
feb-24	20,90	15,50	19,90	
mar-24	14,10	14,10	12,70	
abr-24	23,20	17,90	15,90	
may-24	11,20	7,90	3,30	
<b>Total</b>	<b>261,10</b>	<b>285,10</b>	<b>262,20</b>	<b>808,40</b>
<b>Promedio</b>	<b>18,65</b>	<b>20,36</b>	<b>18,73</b>	<b>57,74</b>

Se puede observar que en el período de un año, se generaron en total más de 808 toneladas de scrap correspondiente a la parte variable de las roturas, que se traduce en uno de los grandes desperdicios a mejorar que tiene el final de línea de producción.

Tomando como dato de producción anual bruta promedio alrededor de 201.600 toneladas, según la producción diaria mencionada anteriormente, notamos que este tipo de

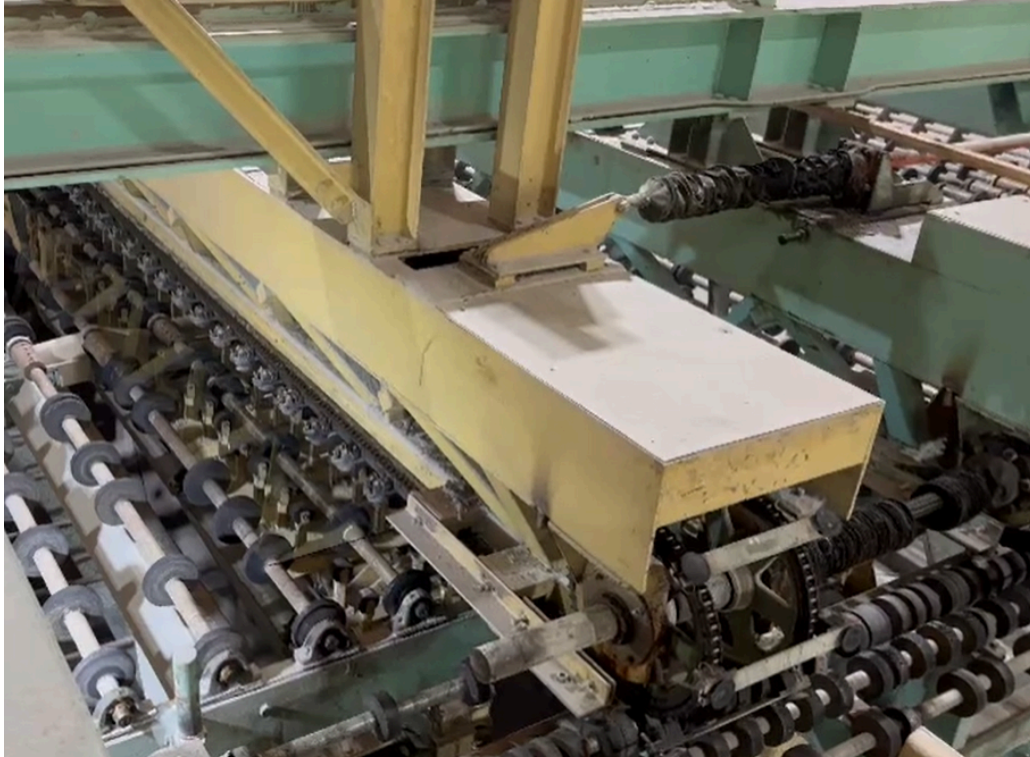
---

pérdidas representan un 0,4% anual en el rendimiento de la línea. Asumiendo un precio de USD 610 por tonelada, se traduce en una pérdida de USD 493.124 anuales.

Es necesario aclarar que, para calcular la pérdida en términos de dinero, se tiene en cuenta el precio de venta ya que el costo de producción está incluido en la operatoria actual, debido a que la pérdida ocurre al final de línea donde ya se utilizaron todos los recursos necesarios para la fabricación de esta (materia prima, utilización de horas máquina y utilización de horas hombre).

#### **4.8.2 Principio de funcionamiento de maquinaria de punta de línea**

Para entender mejor la operatoria de la maquinaria en análisis, es necesario detallar en profundidad su principio de funcionamiento. El proceso de retiro de la hoja desde la línea principal hasta la mesa secundaria consta de dos movimientos. El primer movimiento es vertical, donde unos fingers se elevan entre los rodillos del conveyer principal ubicando la hoja de vidrio a una altura determinada de unos pocos centímetros para alcanzar las ventosas ubicadas en la parte superior. En este momento, mediante cierta presión, la hoja se adhiere a las ventosas que se encuentran instaladas a lo largo de unas cadenas, específicamente en 4 hileras. Una vez adherida, comienza el segundo movimiento horizontal, donde las cadenas se desplazan moviéndose gracias a un sistema de poleas. En el instante que la ventosa llega al extremo donde se encuentra la polea y sigue el curso de su forma circular, se despega inmediatamente de la hoja de vidrio debido a que se realiza un pequeño empuje del vástago que posee cada ventosa permitiendo un ligero ingreso de aire que genera el desprendimiento. En este momento, la hoja de vidrio ya está apoyada nuevamente en la segunda mesa con rodillos. Esta mesa está ubicada de forma perpendicular a la línea principal y traslada la hoja hasta el extremo de la misma, donde queda finalmente posicionada para que un brazo mecánico la levante y coloque en el módulo.



*Figura 18: Máquina de punta de línea SST. Fuente: VASA.*

En este momento, la hoja de vidrio ya está apoyada nuevamente en la segunda mesa con rodillos. Esta mesa está ubicada de forma perpendicular a la línea principal y traslada la hoja hasta el extremo de la misma, donde queda finalmente posicionada para que un brazo mecánico la levante y coloque en el módulo.



*Figura 19: Brazo mecánico stacker actual. Fuente: VASA.*

Como información adicional, el brazo mecánico que realiza el levantado de la hoja hacia el módulo en la zona de final de línea utiliza aire comprimido para generar la sujeción de las hojas a través de ventosas de vacío. Este utiliza un tipo de generador de vacío que trabaja de manera constante, lo que implica un gasto de energía considerable al estar solicitando aire comprimido las 24 horas del día. La conexión llega a esta zona mediante cañerías que viajan desde la sala de compresores.

Realizamos también un relevamiento del mantenimiento preventivo que se realiza en la zona de punta de línea, destacando como puntos principales la revisión de los fingers, correas y cambio de ventosas de cada máquina SST; en adición a la revisión de ventosas del brazo mecánico, de filtro de aire, engrase de mecanismos. Estas tareas se realizan de forma semestral por el equipo de mantenimiento de la empresa.

#### **4.8.3 Relevamiento de tiempos y movimiento de hojas en punta de línea**

Para completar el análisis de los movimientos para el retiro de hojas hasta el módulo donde se apilan, se realiza un estudio de tiempos específicamente de maquinaria que solo tendrá operaciones de transporte ya que no se generan tareas de valor agregado en esta etapa ni participan operarios.

Diagrama de flujo de cada maquinaria desde retiro de hoja de línea principal hasta colocación en módulo					Operación			
					Inspección	■	-	
					Transporte	→	42.80	94%
					Demora	■	2.80	6%
					Almacenaje	▼	-	

Descripción/MÁQUINA	Actividad [s]					Tiempo [s]	Distancia [m]	%	Observación
<b>SST</b>									
Ascenso de fingers			●			1.10	0.30	9%	
Sujeción con ventosas			●			2.30	0.00	19%	
Movimiento transversal SST			●			5.70	5.00	48%	
Espera a próxima hoja					●	2.80		24%	Tiempo muerto
<b>TOTAL CICLO</b>						<b>11.90</b>		<b>100%</b>	
<b>MESA RODILLOS</b>									
Movimiento transversal rodillos			●			16.50	12.00	85%	
Posicionamiento de hoja			●			3.00		15%	
Espera a próxima hoja					●	0.00		0%	Tiempo muerto
<b>TOTAL CICLO</b>						<b>19.50</b>		<b>100%</b>	
<b>BRAZO MECÁNICO</b>									
Sujeción de hoja			●			4.00	1.00	28%	
Traslado hoja a módulo			●			5.10	4.00	36%	
Expulsión de hoja					●	0.00	0.00	0%	Tiempo muerto
Regreso a posición inicial			●			5.10	4.00	36%	
<b>TOTAL CICLO</b>						<b>14.20</b>		<b>100%</b>	
<b>Sumatoria de ciclos maquinaria</b>						<b>45.60</b>			<b>100%</b>
<b>Total ciclo de retiro de hoja</b>						<b>37.70</b>			

Figura 20: Diagrama de flujo de cada maquinaria. Fuente: elaboración propia.

En este se puede ver que, asumiendo una velocidad de producción máxima, el cuello de botella lo generaría el brazo con 14,20 segundos de ciclo. A pesar de que el tiempo en la mesa transversal es mayor, no se toma como crítico ya que podría ingresar más de una hoja al mismo tiempo en ésta teniendo en cuenta la dimensión que tiene de largo. Esto genera una espera obligatoria en la SST de 2,80 segundos (calculada teóricamente) para no generar una superposición de hojas, que puede traducirse en tiempos muertos de este recurso. Debe tenerse en cuenta que cada tiempo tomado se realiza mirando el ciclo de cada máquina y no el ciclo completo de la hoja, el cual es menor y coincide con los segundos totales restando las demoras y restando también el regreso del brazo a posición inicial.

Dicho esto, el ciclo en estudio nos da la indicación de que el tiempo mínimo en el que una SST podría tomar una hoja de la línea principal sería cada 11,90 segundos (es decir, el ciclo de SST en su capacidad máxima). Por lo tanto, en este tipo de producción con tiempos críticos podemos asumir que teniendo 3 SST que trabajan en línea, la primera máquina

---

deberá dejar pasar 2 hojas y podrá tomar la tercera a los 11,90 segundos de haber comenzado su ciclo anterior.

En la imagen de punta de línea presentada en la figura 16, se puede identificar el layout disponible actualmente donde la línea principal o conveyor se encuentra en forma de U, esto se debe a que la distribución en línea se vio afectada por los límites de la planta por razones externas como son las vías de tren y otros elementos sin posibilidad de modificación.

Desde el sector donde se realiza el corte transversal hasta el final de la línea, la velocidad tangencial de los rodillos es de 1,5 m/s. La zona de la imagen donde el conveyor no cuenta con separaciones, es la parte final de cobertura superior y lateral donde se encuentran los eyectores de aire a temperatura ambiente para terminar de enfriar el vidrio y también la eyectora de polvo invisible utilizado para evitar que las hojas se adhieran entre sí al juntarlas en el módulo. Las líneas rojas que se visualizan en perpendicular a la línea del conveyor, identifican cada mesa de rodillos que cuenta con su propio motor y puede controlarse individualmente; permitiendo a éstos detenerse en las zonas necesarias para retirar la hoja de la línea principal según la secuencia predeterminada por el software de control. En el primer giro a 90° en la mesa 11, la hoja se detiene para cambiar el sentido de avance, teniendo como primera salida recta la antes mencionada salida para hoja “Jumbo” que solo es utilizada cuando se realiza esa producción y no va a entrar en el alcance del nuestro proyecto. La trayectoria que tendremos en cuenta entonces es donde se realiza otro giro a 90° en la mesa 14 llegando a las SST 1 en mesa 20, SST 2 en mesa 21 y SST 3 en mesa 24.

Otro dato a tener en cuenta es que la medida más chica de hoja de 2.500x1.800 mm se realiza a partir de la hoja de 3.600x2.500 mm, la cual se divide por la mitad en el mismo momento donde se realizan los cortes de excedentes de bordes. Esto genera que lleguen 2 hojas juntas de la dimensión más pequeña a la mesa 11 mencionada, en la cual se realiza primero el traslado de una hoja (utilizando la mitad de los rodillos en movimiento) y con cierta separación el traslado de la segunda hoja. De esta forma se da más holgura para realizar el retiro de las hojas.

Se sabe también que el espesor de hoja se logra a través de la variación en la velocidad de salida de vidrio, resultando en un menor espesor a mayor velocidad. Se analiza entonces la cantidad crítica o tiempo crítico de producción, tomando el menor espesor de hoja de 2 mm debido a que es el que sale a mayor velocidad y tomando de ejemplo la dimensión mínima de 2.250 mm de ancho. Relevando este dato con la información suministrada por la

empresa, tenemos un tiempo de ciclo de 4,5 segundos para el espesor y dimensiones mencionadas. Esto significa que cada esa cantidad de segundos se realiza el corte de hoja con un perfil que se levanta levemente del conveyor para fraccionar la línea transversal previamente marcada con láser.

Con esta información, calculamos la distancia y el tiempo mínimos con el que llegarán a punta de línea las hojas.

TABLA V: Relevamiento de tiempos.

Tiempo de ciclo en salida de corte de hoja de 2mm [s]	4,50
Alto hoja = distancia recorrida [m]	2,25
Velocidad con la que saldría cada hoja [m/s]	0,50
Velocidad de rodillos hasta final de línea [m/s]	1,50
Distancia desde inicio a inicio de siguiente hoja [m]	6,75
Distancia (espacio) entre hojas [m]	4,50
Tiempo hasta la hoja siguiente [s]	3,00
Tiempo hasta la 2da hoja siguiente [s]	7,50
Tiempo hasta la 3er hoja siguiente [s]	12,00

Podemos observar que el tiempo de ciclo mencionado anteriormente para la primera SST de 11,90 segundos se encuentra muy cercano al límite de 12,00 segundos en el que llega la tercera hoja que debe retirar. Sin embargo, estaría dentro de los parámetros necesarios para lograr la secuencia de retiros de hoja, aunque con márgenes muy riesgosos.

## 4.9 Propuestas de mejora en punta de línea float

### 4.9.1 Tecnología de ventosas de vacío

Para lograr reducir y/o eliminar el desperdicio mencionado, se analiza la utilización de una tecnología diferente para el funcionamiento de las ventosas. Buscando una solución disponible en el mercado y que se adapte a la geometría de las placas de vidrio y su peso, se evalúa la alternativa de implementación de ventosas con vacío para generar la sujeción de la hoja y moverla hasta el stacker.

Esta metodología utiliza presión por vacío para sujetar las piezas al provocar una diferencia de presiones, la presión negativa es provocada al expulsar la presión del aire al exterior permitiendo de este modo el agarre de un objeto. Hay que señalar que la diferencia

de presión entre el interior y el exterior de la ventosa la provoca la bomba de vacío, que es la responsable de evacuar el aire que permanece en la ventosa.

La bomba de vacío es un equipo mecánico diseñado para extraer gases o líquidos del interior de recipientes o sistemas, mediante el trasiego de los gases/fluidos que contienen. Este flujo genera una diferencia de presión medida en relación con la presión atmosférica o con referencia a un punto de trabajo concreto.

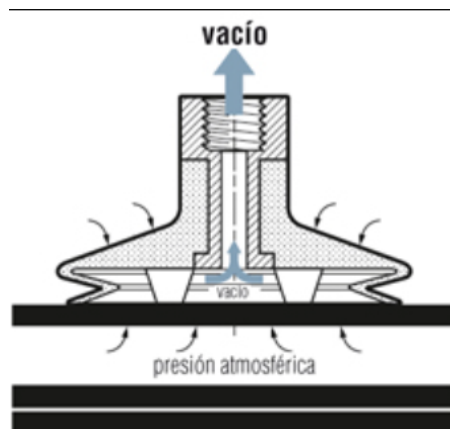


Figura 21: Funcionamiento físico sobre la ventosa. Fuente: COVAL.

Actualmente hay disponibles dos tipos de generadores de vacío: eléctricos y neumáticos. Los generadores de vacío eléctricos no requieren tubos adicionales y son adecuados para piezas de hasta 10 kg de peso. Los generadores de vacío neumáticos son particularmente potentes y pueden manejar pesos más elevados y piezas de trabajo porosas. En nuestro caso, será necesario utilizar estos últimos debido a la magnitud del producto a manipular.

Estos dispositivos funcionan basándose en los principios de mecánica de fluidos, en concreto el principio de Bernoulli y el efecto Venturi. Por un lado, la ecuación de Bernoulli relaciona presión, velocidad y altura de un flujo laminar constante demostrando que dentro de un flujo horizontal de fluido, los puntos de mayor velocidad de este tendrán menor presión que los puntos de menor velocidad. Podemos identificar fácilmente esta relación recordando los términos de la ecuación, donde:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \tag{1}$$

sabiendo que:

- P: presión en el punto
- p: densidad del fluido
- g: aceleración de la gravedad
- v: velocidad en el punto
- h: altura del punto

Tomando dos puntos en el fluido a la misma altura y sabiendo que la densidad y aceleración de la gravedad son valores constantes, podemos concluir que si aumentamos la variable velocidad necesariamente debe disminuir la variable presión para mantener la igualdad de la ecuación.

Luego, en el efecto Venturi podemos observar el fenómeno en estudio, donde al pasar aire por una sección transversal menor o “garganta” aumenta la velocidad de este generando una depresión o vacío en la zona donde se encuentra dicha sección disminuida.

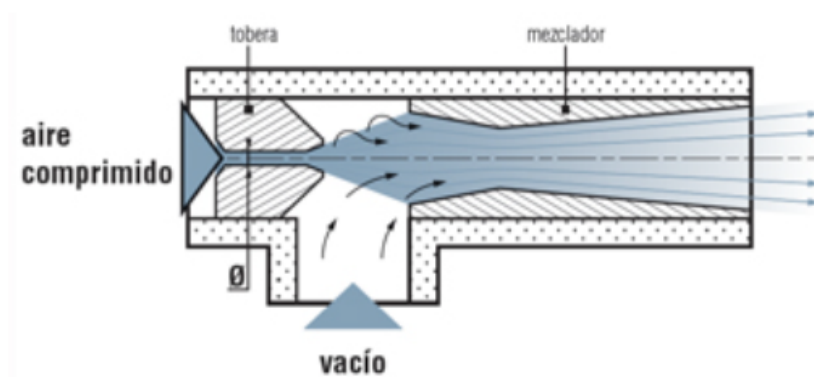


Figura 22: efecto de Venturi. Fuente: COVAL.

Es necesario destacar que este principio de funcionamiento necesita de aire comprimido para crear la mencionada zona de baja presión, lo que permite generar vacío para realizar la sujeción del objeto por succión de aire.

Para nuestro caso de aplicación, se propone utilizar las cañerías ya existentes de aire comprimido que conectan a un compresor en la sala de compresores de la empresa, como fue mencionado anteriormente en el relevamiento.

Existen en el mercado actual generadores que funcionan específicamente en el momento necesario donde se necesita crear vacío para la sujeción de la hoja, teniendo de esta

manera un mejor rendimiento y ahorro de aire. Los mismos son compactos y adaptables a la zona de trabajo, es decir que se pueden ubicar junto a las ventosas de vacío.

En cuanto al análisis para la selección del tipo de ventosas, es necesario considerar las condiciones del espacio, como la humedad y las temperaturas, ya que pueden alterar el uso y la duración de estas. A su vez, se debe verificar el número de ventosas requerido, la dirección de la carga, su giro y la generación de vacío para cada una.

Los materiales con los que están diseñadas las ventosas son flexibles a las necesidades del producto, motivo por el cual hay una amplia gama de compuestos. Los más habituales son el caucho nitrílico y natural, poliuretano y silicona, aunque también fabrican compuestos de policloruro de vinilo y diferentes derivados del caucho, como el caucho fluorado. Estos materiales se comportan correctamente ante el desgaste, fricción, a la deformación permanente, resistencia a la abrasión, al aceite, ozono, alcohol y ácidos, a la intemperie, humedad del proceso y del ambiente laboral.

Según la naturaleza del material con el que se vaya a trabajar es importante la utilización de ventosas específicas para cada ocasión. La configuración de los labios de la ventosa, su forma, su tamaño y la rigidez del fuelle se tienen en cuenta según la dureza del material y las características superficiales del mismo. Por ejemplo, las ventosas elásticas se utilizan para piezas más rígidas como las hojas de vidrio.

La principal diferencia beneficiosa que tendría este método de agarre comparándolo con el método actual, es la de eliminar la presión que realiza la máquina contra las hojas de vidrio para sujetarlas y adicionalmente eliminar los costos que genera el mantenimiento de fingers.

También se verán como mejoras los siguientes puntos:

- Reducción considerable de la cantidad de ventosas.
- Reducción o eliminación de los residuos de vidrio roto entre rodillos al extraer el equipo inferior de fingers.
- Eliminación de necesidad de centrado preciso de las hojas.
- Facilidad de mantenimiento debido a la posibilidad de realizarlo sobre conveyer de salida.
- Igualdad de tiempos de transporte de hojas a los de las SST's teniendo un tiempo de fuera de línea similar al existente, lo que hace que no perjudique los tiempos del proceso.

En adición de la mejora en reducción de residuos, las ventosas de vacío generan grandes beneficios en la automatización del proceso:

- Favorecen la manipulación de piezas a gran velocidad.
- Tienen gran precisión.
- Son sistemas neumáticos muy flexibles a la hora de integrarlos a los procesos.
- Requieren menos energía respecto a otros sistemas.
- Requieren una configuración muy fácil de integrar en máquinas robotizadas.
- Son muy productivos en la automatización de final de línea y del packaging.

Concluyendo, los sistemas de vacío disponen de ventosas, piezas elastoméricas o hermetizantes que se dividen en dos partes, la boquilla roscada y la propia ventosa. Los equipos disponen de generación de vacío integrada a través de efectores, generadores y bombas de vacío, partes imprescindibles de un circuito de aire al que debemos de sumar tuberías de aire, racores y válvulas.

Detallando sus partes principales encontramos:

- Bielas elásticas para la compensación de alturas: son accesorios diseñados para compensar las diferencias existentes entre el equipo de vacío y la pieza a manipular. En función de la geometría de la pieza, las ventosas pueden necesitar un suplemento.
- Racores y alojamientos articulados: tienen especial utilidad para adaptar las ventosas en piezas con desniveles.
- Eyectores de vacío: estos accesorios generan el vacío centralizado por medio de neumática y disponen de silenciadores. Sirven para controlar la activación de las señales. Son compactos, en línea o por medio de terminales compactos que forman módulos.
- Bombas de vacío: son equipos que funcionan con electricidad que sirven para extraer presión de un sistema a una presión inferior que la que hay en la atmósfera. De este modo crea un circuito con presión de vacío con el caudal necesario para agarrar piezas exigentes.
- Válvulas de presión: se utilizan para descargar la presión del sistema que en función de las particularidades del proceso, tendrá una tecnología más desarrollada para poder responder ante los procesos más exigentes.

#### 4.9.2 Adaptación de la tecnología propuesta

Para la utilización de estas nuevas tecnologías, una de las opciones a considerar es la adaptación de las máquinas SST mediante la instalación de las nuevas ventosas sugeridas junto con su sistema de vacío sobre las cintas donde se encuentran actualmente las ventosas a presión. Luego de analizar la factibilidad operativa de este procedimiento y teniendo en cuenta el relevamiento realizado del principio de funcionamiento de estas máquinas, se observa que es físicamente inviable ya que no se podría conseguir la instalación de los tubos para aire comprimido hacia cada ventosa sin que lo mismos terminaran retorcidos entre sí. Esto es por el movimiento y recorrido que realizan durante el proceso, donde siguen el camino de la cinta transportada por los engranajes en lo que sería una trayectoria elíptica.

Una propuesta más efectiva desde todos los aspectos considerados es la de reemplazo del sistema de correas completo para implementar la instalación de un frame o cuadro de ventosas donde se instale el sistema de vacío.

Para realizar el análisis de la implementación de este cuadro de ventosas y elegir elementos adecuados a nuestra necesidad, se debe considerar el detalle de los productos a movilizar. Dicho esto, se toma en consideración que la densidad del vidrio es de 2.500 kg/m<sup>3</sup>, lo cual le otorga a un vidrio float un peso de 2,5 kg/m<sup>2</sup> por cada mm de espesor. Según la información suministrada por la empresa, se realizan los cálculos del peso de cada tipo de hoja según su medida y su espesor. Los mismos se visualizan en el siguiente cuadro de doble entrada, donde vemos marcados con una X las dimensiones que no se realizan debido a que no existe la demanda para estas por no contar con la resistencia y estabilidad necesarias, siendo además riesgosa su producción.

TABLA VI: Dimensiones.

Espesor/ Medida [mm]	2.500x1.800	3.600x2.250	3.600x2.500	3.700x2.500	3.700x2.200	4.000x2.500	5.500x3.600
2	22,50	40,50	45,00	X	X	X	X
3	33,75	60,75	67,50	X	X	75,00	X
4	45,00	81,00	90,00	X	X	100,00	198,00
5	56,25	101,25	112,50	X	X	X	247,50
6	67,50	121,50	135,00	X	X	X	297,00
8	90,00	162,00	180,00	X	X	X	396,00
10	112,50	202,50	202,50	<b>231,25</b>	203,50	X	<b>495,00</b>

En este se puede observar que la hoja de mayor dimensión tiene un peso de 495 kg. Esta medida especial es la denominada hoja “Jumbo” mencionada anteriormente en

el relevamiento y se suele realizar en menor volumen de producción debido a que su aplicación y demanda es limitada en comparación a las medidas estándar.

Repasando el layout de la maquinaria que se encuentra en el final de línea, se puede observar que además de las 3 SST dispuestas en serie, se cuenta con una cuarta salida en el conveyer anterior a las demás. Esta salida se utiliza específicamente para la medida antes mencionada como hoja “Jumbo”, debido a que su peso y su tamaño obligan a darles un manejo exclusivo.

Dicho esto, se decide por el momento no incluir en el alcance de este proyecto a este producto específico y por lo tanto mantener esta salida exclusiva tal como se encuentra para que se continúe utilizando normalmente.

Podemos entonces asumir que el peso máximo de carga que deberá soportar nuestro cuadro de ventosas es de 231,25 kg, tal como lo indica la medida de hoja de 3.700 mm x 2.500 mm en su espesor más grande de 10mm.

Para analizar nuestro caso, se tomaron opciones del fabricante Schmalz, empresa española que ofrece gran variedad de elementos para realizar la instalación de sistemas de vacío junto con una amplia información para los cálculos de dimensionamiento del mismo.

### **4.9.3 Dimensionamiento de elementos**

Dentro de estos cálculos podemos listar el siguiente esquema de operaciones:

1. Cálculo de fuerzas
2. Ventosas
3. Elementos de fijación
4. Tubos para aire vacío
5. Distribuidores
6. Generación de vacío
7. Válvulas
8. Vacuostatos

Un aspecto de vital importancia para crear un agarre seguro es el cálculo de la capacidad de retención de una ventosa. Esto se calcula multiplicando la superficie de aspiración de la misma por la presión diferencial, es decir que ambos valores serán directamente proporcionales a la fuerza de retención que tendrá la ventosa. Sumado a esto, habrá que multiplicar la fuerza obtenida por la cantidad de ventosas a utilizar. Este valor

deberá soportar ampliamente el peso de la hoja de vidrio durante el período de tiempo necesario para movilizarse desde su posición inicial hasta la posición final.

El caso de carga a aplicar debe ser para ventosa y fuerza verticales, ya que es la aplicación que mayor esfuerzo requiere debido a que la carga está distribuida de manera irregular.

Descripción del caso de carga: Tomando la pieza, en este caso, la hoja de vidrio de dimensiones 3.700 mm x 2.500 mm que se eleva desde la mesa y se transporta mediante un movimiento vertical y de giro, asumiendo una aceleración máxima de 5 m/s<sup>2</sup>.

$$FTH = (m/\mu) \times (g + a) \times S \quad (2)$$

- FTH = Fuerza de retención teórica [N]
- m = Masa [kg]
- g = Aceleración terrestre [9,81 m/s<sup>2</sup>]
- a = Aceleración [m/s<sup>2</sup>] de la instalación
- $\mu$  = Coef. de fricción
- S = Factor de seguridad

Para nuestro caso, se tomará un coeficiente de fricción de 0,5 correspondiente a materiales como vidrio o metal. El factor de seguridad corresponde a 1,5 para superficies perfectamente planas.

$$FTH = (231,25 \text{ kg}/0,5) \times (9,81 \text{ m/s}^2 + 5 \text{ m/s}^2) \times 1,5 \quad (3)$$

$$FTH = 10.274,44 \text{ N} \quad (4)$$

Luego, podemos realizar el cálculo de la fuerza de aspiración FS [N]:

$$FS = FTH / n \quad (5)$$

- FS = Fuerza de aspiración
- FTH = Fuerza de retención teórica
- n = Número de ventosas

Asumiendo una cantidad de 30 ventosas para un agarre distribuido y una protección en caso de falla de alguna de estas, la fuerza para nuestro caso será:

$$FS = 10.274,44 \text{ N} / 30 \tag{6}$$

$$FS = 342,48 \text{ N} \tag{7}$$

**Datos técnicos Ventosas planas SUF**

Modelo		Fuerza de aspiración (-600 mbar) [N]*	Volumen [cm³]	Radio de la pieza mín. (convexo) [mm]	Diámetro del tubo flexible (recomendado) d [mm]**	Familia de boquillas
SUF	80,0	254,00	25,100	100	6	N 009
SUF	90,0	328,00	34,300	150	6	N 009
SUF	100,0	402,00	46,400	200	6	N 009

\*Los datos de fuerza de aspiración son valores teóricos a -0,6 bar de vacío y superficie de pieza seca, lisa y plana - se indican sin factor de seguridad  
\*\*Los diámetros de tubo flexible recomendados se refieren a una longitud de tubo flexible de aprox. 2 m.

**Datos de diseño Ventosas planas SUF**

Modelo			Dmax(S) [mm]	dn [mm]	Ds [mm]	H [mm]	LG1 [mm]	SW1 [mm]	Z (Recorrido) [mm]
SUF	80,0	G1/4"-MA	87,1	5,1	80,0	23,0	10,0	17	6,5
SUF	80,0	G1/4"-HE	87,1	5,1	80,0	34,9	12,0	17	6,5
SUF	90,0	G1/4"-MA	98,1	5,1	90,0	23,2	10,0	17	7,0
SUF	90,0	G1/4"-HE	98,1	5,1	90,0	35,4	12,0	17	7,0
SUF	100,0	G1/4"-MA	108,0	5,1	100,0	24,0	10,0	17	7,5
SUF	100,0	G1/4"-HE	108,0	5,1	100,0	35,9	12,0	17	7,5

Figura 23: Datos técnicos de ventosas. Fuente: Schmalz.

Luego, tomando los datos técnicos proporcionados por el fabricante, podemos encontrar que el valor de fuerza de aspiración inmediato superior a nuestro resultado es de 402 N correspondiente al modelo de ventosa SUF 100 con un diámetro de 100mm.

Para la selección de ventosas, se consideran las planas, también conocidas como ventosas de copa, ya que son las más empleadas en el sector industrial al ser usadas principalmente para trabajar con piezas con superficie plana, cóncavas e incluso ligeramente abombadas. Las ventosas pueden disponer de una geometría redonda y ovalada, aunque para el caso de las hojas de vidrio las primeras se ajustan perfectamente al no ser un producto angosto o con forma.



*Figura 24: diferentes ejemplos de ventosas planas del fabricante Schmalz. Fuente: Schmalz.*

Como siguiente paso, se debe realizar la selección de los elementos de fijación. Para el caso de agarre de las hojas de vidrio, teniendo en cuenta la fragilidad del material y la búsqueda de eliminación de presiones para evitar roturas, se debe utilizar un elemento que entregue firmeza y flexibilidad al mismo tiempo. En adición, a la hora de elegir los elementos de fijación, se debe prestar atención a que éstos se puedan atornillar con las ventosas, es decir, que las roscas sean compatibles una con otra. De este modo, el mantenimiento de las capacidades de carga queda también garantizado. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se eligen bielas elásticas para adaptar en cada ventosa. Estas cuentan con muelle de amortiguación inferior optimizado para piezas sensibles.



Figura 25: bielas elásticas para adaptar a las ventosas del fabricante Schmalz. Fuente: Schmalz.

Luego procedemos con la elección del generador de vacío, lo que conlleva calcular la capacidad de aspiración de la que debe disponer cada uno de estos para evacuar la ventosa. Este dato resulta, según recomendaciones del fabricante basadas en valores empíricos, del diámetro de la ventosa a utilizar y se puede observar en la siguiente tabla:

Ø de la ventosa	Capacidad de aspiración $V_s$	
hasta 60 mm	0,5 m <sup>3</sup> /h	8,3 l/min
hasta 120 mm	1,0 m <sup>3</sup> /h	16,6 l/min
hasta 215 mm	2,0 m <sup>3</sup> /h	33,3 l/min
hasta 450 mm	4,0 m <sup>3</sup> /h	66,6 l/min

Figura 26: propiedades de las ventosas Schmalz de acuerdo a su diámetro. Fuente: Schmalz.

Sabiendo que los valores indicados tienen validez independientemente del tipo de generación de vacío, podemos asumir que la capacidad necesaria para nuestro caso es de 16,6 l/min al tener ventosas de 100 mm de diámetro. Para una mayor seguridad en caso de fallas, se decide configurar un generador por ventosa, por lo que esta capacidad calculada será la capacidad mínima total que se precisa en cada uno.

Teniendo en cuenta estos datos, se elige el eyector compacto SCP 10 FS VD con funcionalidad integrada del mismo fabricante. Este cuenta con silenciador integrado, función

de ahorro de aire neumático, capacidad para generar ambas funciones de aspiración y expulsión que estarán controladas por la electroválvula también integrada. Este tipo de generadores son del tipo de alto vacío, es decir que pueden llegar a presiones de -0,95 bar con un bajo caudal lo cual se adapta perfectamente para nuestro tipo de elemento a manipular ya que es perfectamente plano.



Figura 27: Ejector compacto SCP 10 FS VD de Schmalz. Fuente: Schmalz.

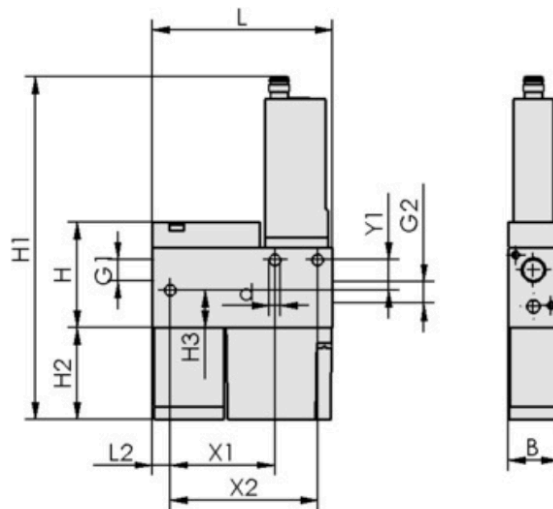


Figura 28: Cotas de dimensiones del ejector de Schmalz. Fuente: Schmalz.

Atributo	Valor
B	20,20 mm
d	4,50 mm
G1	G1/8"-HE
G2	G1/8"-HE
H	42,50 mm
H1	136,50 mm
H2	36,50 mm
H3	15 mm
L	71,50 mm
L2	7 mm
X1	41,50 mm
X2	58,50 mm
Y1	12 mm

Figura 29: Dimensiones del eyector de Schmalz. Fuente: Schmalz.

Los datos técnicos necesarios para este dispositivo son los siguientes:

**Technische Daten / Technical Data**

Typ / Type	Düsen-Ø / Nozzle Ø	Max. Vakuum / Max. vacuum	Max. Saugvermögen / Max. Suction capacity	Betriebsdruck / Operating pressure	Gesamtgewicht / Total weight
SCP 10	1 mm	85 %	37 l/min	5 ... 6 bar	0,275 kg
SCP 15	1,5 mm	85 %	65 l/min	5 ... 6 bar	0,275 kg
SCP 20	2 mm	85 %	116 l/min	5 ... 6 bar	0,465 kg
SCP 25	2,5 mm	85 %	161 l/min	5 ... 6 bar	0,485 kg
SCP 30	3 mm	85 %	200 l/min	5 ... 6 bar	0,485 kg

**Saugvermögen bei verschiedenen Evakuierungsgraden in l/min / Suction capacity at various degrees of evacuation in l/min**

Typ	-50	-100	-200	-300	-400	-500	-600	-700	-800
SCP 10	35,4	33,2	28,8	24	19,4	16	11,2	6	1,4
SCP 15	62	58	50	41	32	21	16	9	4
SCP 20	108	101	90	78	63	48	36	18	5
SCP 25	149	136	123	107	86	66	49	25	7
SCP 30	184	168	153	132	107	82	61	31	9

**Luftverbrauch und Schallpegel / Air consumption and noise level**

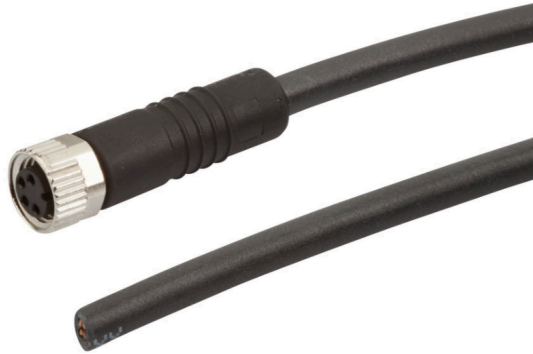
Typ / Type	Luftverbrauch in NI/min bei 5 bar Speisedruck / Air consumption in NI/min at a supply pressure of 5 bar			Schallpegel bei Saugen / Noise level during suction	
	Saugen / Evacuating	Abblasen min. / Blowing off, min.	Abblasen max. / Blowing off, max.	frei / Without load	angesaugt / With load attached
SCP 10	53		200	68	66
SCP 15	117		200	68	68
SCP 20	190		200	78	76
SCP 25	310		200	82	72
SCP 30	420		200	82	82

Figura 30: Datos técnicos del eyector Schmalz. Fuente: Schmalz.

El beneficio de elegir esta opción de eyector integrado es que podemos prescindir de realizar una instalación aparte de electroválvulas para controlar el paso del aire comprimido.

Pero de ser necesario, también se podría tomar la opción de instalar electroválvulas de 5 vías y 2 posiciones para realizar el control de apertura y cierre de paso de aire.

Para la alimentación de energía de los eyectores elegidos, se debe utilizar un cable de conexión ASK B-M8-4 5000 K-4P del mismo fabricante que entrega la tensión de alimentación de 24V en corriente continua necesaria.



*Figura 31: cable de conexión ASK B-M8-4 5000 K-4P del fabricante Schmalz. Fuente: Schmalz.*

También se necesitarán tubos flexibles de aire comprimido para la distribución de este desde el sistema de filtro-regulador hacia cada uno de los eyectores. Para esto se seleccionan tubos de 4 mm de diámetro interno (d) y 6 mm de diámetro externo (D), junto con boquillas adaptadoras de diámetro 1/8" para entrada de eyector (G1) y diámetro 3,9 mm para tubo flexible (D), que sirven para hacer la conexión con la entrada de aire al eyector.

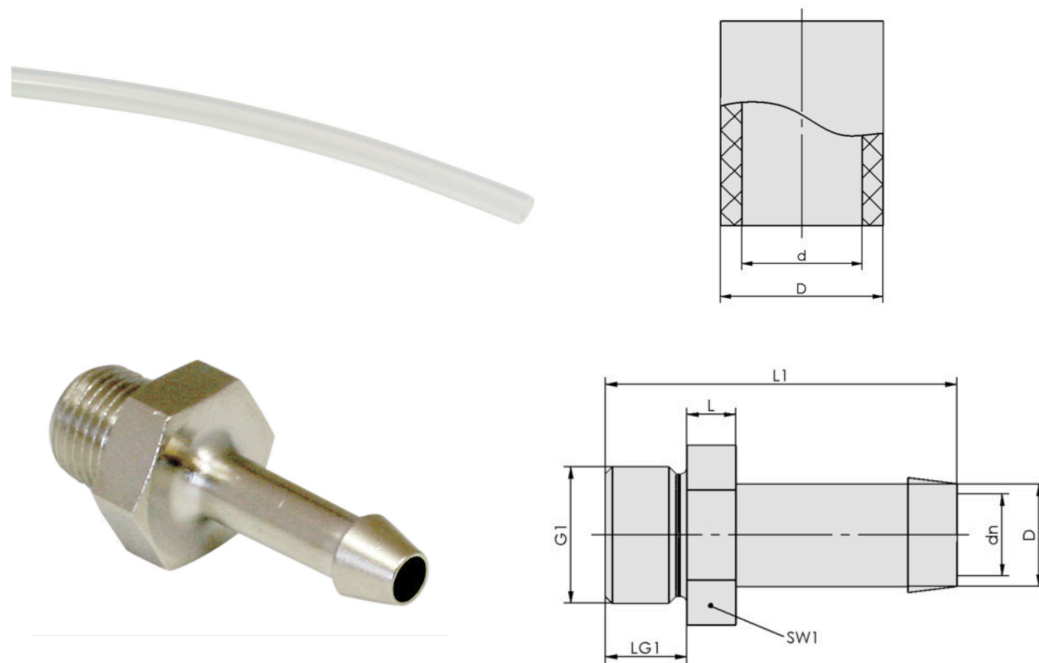


Figura 32: imagen y cotas de dimensiones de tubos flexibles con boquillas del fabricante Schmalz. Fuente: Schmalz.

El último elemento a instalar aguas arriba es el sistema de filtro-regulador mencionado anteriormente. Este dispositivo contiene un filtro que servirá para atrapar cualquier mínima partícula sólida que pueda contener el aire comprimido como también las posibles pequeñas gotas de condensación que pueden generarse en las cañerías del compresor. También integra un regulador de aire que garantiza la consistencia de la presión de trabajo dinámica, en nuestro caso deberá mantenerse idealmente entre 5 y 6 bares. En cuanto a este sistema, deberá considerarse su instalación en un lugar fijo y no sobre el cuadro de ventosas del cual se estuvo desarrollando la idea. Sabiendo que se utilizará un solo sistema para el cuadro entero de ventosas, podemos calcular el caudal de aire mínimo que debe tener la opción a elegir tomando el consumo de aire máximo de los eyectores y multiplicándose por la cantidad que propusimos. Este cálculo será entonces de  $200 \text{ l/m} * 30 \text{ unidades}$ , lo que resulta en un caudal máximo de  $6.000 \text{ l/m}$  de aire.

Se ha elegido la opción MS-LR de la marca Festo, ya que el fabricante que utilizamos para los elementos anteriores no ofrece este tipo de productos. Este sistema ofrece un filtro con grado de filtración de  $5 \mu\text{m}$  y un caudal nominal de aire de hasta  $7.200 \text{ l/min}$ . En este equipo, el filtro y el regulador de presión forman una unidad. El filtro sinterizado con

separador de agua elimina del aire comprimido las partículas de suciedad, los depósitos minerales de los tubos, las partículas de óxido, así como la condensación.



*Figura 33: filtro sinterizado. Fuente: Schmalz.*

Para la sujeción de estos se usarán escuadras de fijación y para la conexión con los tubos flexibles se usarán racores roscados de las medidas correspondientes, accesorios también suministrados por el fabricante Festo.

Teniendo en cuenta todos los elementos necesarios de vacío, distribución, acondicionamiento y fijación, se deberá solicitar entonces la estructura metálica donde se deben instalar los mismos para armar el mencionado frame. Para la elección de sus dimensiones y configuración, nos debemos basar en las dimensiones expuestas anteriormente de las hojas a movilizar. Se decide tomar la medida de la hoja de menor dimensión de 2500 x 1800 mm para configurar la estructura del cuadro, que consta de un barral central de soporte de 2500 mm y otros dos barrales paralelos a cada lado del mismo largo y a 450 mm de distancia. En forma perpendicular a estos, habrá seis barrales de 1800 mm de largo ubicados entre sí a 500 mm de distancia aproximadamente. Sobre estos últimos irán instaladas las ventosas y sus correspondientes eyectores. Se elige realizarlo en carpintería de acero por su durabilidad, resistencia a la tracción y propiedades anticorrosivas, sumando una protección de pintura poliuretánica con aditivos anticorrosivos.

Según lo investigado, existen también en el mercado opciones ya integradas y soluciones a medida de la necesidad del cliente que se entregan listas para instalar y utilizar, como es el caso de los cuadros de ventosas para grúa con sistema de vacío. Una de las opciones encontradas es el cuadro de 6 ventosas de la marca RIAL que se muestra a continuación:



*Figura 34: cuadro de 6 ventosas del fabricante RIAL. Fuente: RIAL.*

El mismo cuenta con las siguientes características técnicas:

- Ventosa con brazos extensibles.
- Capacidad: 540 Kg.
- Puntos de contacto: 6.
- Cada sopapa se puede activar en forma independiente para el transporte de piezas irregulares o pequeñas.
- Dimensiones mínimas a transportar: 300x300mm.
- Seguridad: 2 circuitos de vacío independientes.
- Estructura de carpintería de acero y pintura poliuretánica.
- Alimentación: 220Vca. 50Hz.
- Peso aproximado: 100 kg.

Según las indicaciones técnicas del fabricante, este cuadro de ventosas soporta la carga requerida por nuestro proyecto, aunque no cuenta con circuitos independientes de vacío, sino que menciona solo 2, lo que conlleva un posible peligro de expulsión y roturas si

fallara uno de ellos. En adición, tampoco contiene la cantidad de ventosas requeridas según los cálculos realizados anteriormente. Dicho esto, no se han encontrado opciones con las adecuaciones mínimas necesarias para aplicar a nuestro caso, por lo que se tomará como mejor propuesta el armado y configuración del frame de forma particular según lo desarrollado anteriormente.

#### **4.9.4 Implementación del frame de ventosas**

Como siguiente paso, se analiza el modo de uso del frame de ventosas para realizar el retiro de las hojas de la línea principal, es decir qué principio de funcionamiento y maquinaria se usará para su instalación y generación del movimiento transversal del cuadro.

Una primera opción es adaptar la estructura principal de las máquinas SST existentes, dejando de utilizar el sistema de correas, pero aprovechando el motor para realizar el movimiento vertical y transversal de la estructura, para alcance de la altura de la mesa de rodillos y luego transporte al stacker. En este caso, se debe tener en cuenta la complejidad de estudio para implementar una adaptación de ese estilo, sabiendo también que la maquinaria fue fabricada de forma especial y personalizada para la fábrica en el año de su creación lo que conlleva que se dificulte encontrar técnicos especializados que pudieran realizar este trabajo.

Teniendo en cuenta el análisis de tiempos y los movimientos que debe realizar la hoja, se considera que la opción de reemplazar solo el sistema de correas por un cuadro de ventosas es beneficiosa para evitar las roturas por la presión de los fingers pero mantiene los tiempos críticos iguales e implica un trabajo de gran complejidad para adaptar la estructura de la SST a la configuración necesaria con el frame. Recordamos en este caso que el objetivo buscado es también la reducción de cualquier tipo de movimiento de producto terminado, ya que no agrega valor y aumenta el riesgo de integridad.

Una segunda opción pensada fue el uso del puente grúa disponible actualmente en las instalaciones, utilizando una pasteca motorizada, pero luego de analizar la velocidad y aceleración que podría alcanzar este y teniendo en cuenta que el producto podría tener cierto balanceo por no ser un agarre totalmente firme sino colgante, se decidió no considerarla como factible.

La tercera opción y la más acorde a la idea de reducción de movimientos de producto terminado y reducción de recursos a utilizar en el proceso, fue la de la instalación de un brazo robot que unifique los procesos de retiro, traslado y disposición final en uno. Para realizar el análisis de esta posibilidad, se buscaron en primer lugar las opciones disponibles en el

mercado y sus características técnicas. Luego se hizo el cálculo de tiempos para analizar si resolvería el cuello de botella o actividad limitante que se genera en la salida de línea. Por último, se estudió la forma de realizar la instalación del cuadro de ventosas a la punta de brazo robot para su manejo en los 5 grados de libertad.

Dentro de las opciones del mercado, se encuentra el robot KR 600 R2830 del fabricante KUKA, uno de los proveedores líderes mundiales de soluciones de automatización inteligentes con sede central en Augsburg, Alemania.



*Figura 35: robot KR 600 R2830 del fabricante KUKA. Fuente: KUKA.*

Este ejemplar cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

- Alcance máximo: 2826 mm
- Carga nominal: 600 kg
- Carga máxima: 729 kg
- Repetibilidad de posición (ISO 9283):  $\pm 0,08$  mm
- Número ejes: 6
- Posición de montaje: Suelo
- Superficie de colocación: 1050 mm x 1050 mm
- Peso aproximado: 2650 kg

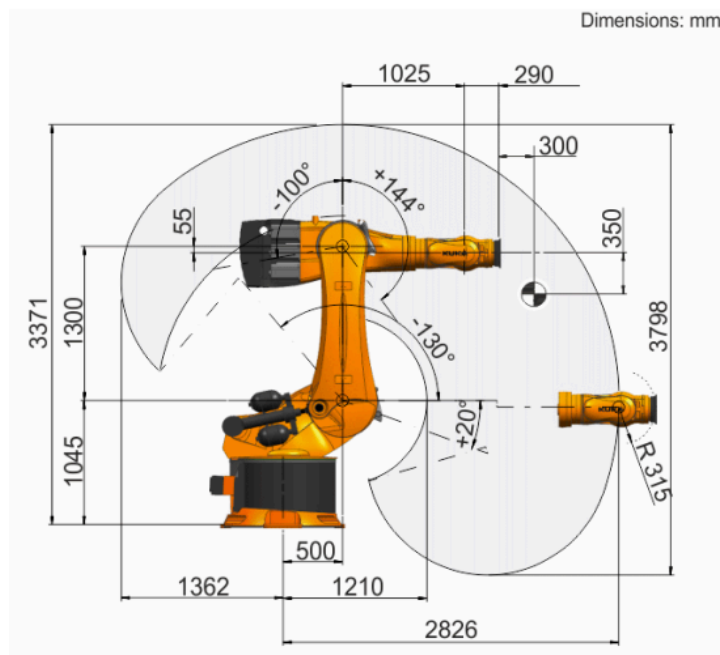


Figura 36: dimensiones y zona de trabajo del robot KR 600 R2830 del fabricante KUKA. Fuente: KUKA.

La elección de este modelo se hizo teniendo en cuenta la carga nominal y máxima que deberá soportar. Tomando el peso de la hoja de vidrio de mayor tamaño con 231,25 kg y sumando el peso del frame de ventosas que requiere instalarse en la boca del brazo con 150 kg aproximadamente, se obtiene un esfuerzo nominal de 381,25 kg al que estará sometido un cierto período de tiempo durante la producción de esta dimensión de hoja de vidrio.

Se trata de una máquina que requiere un mantenimiento mínimo y tiene un ciclo de vida muy largo. El sistema inteligente de apilado garantiza el perfecto estado de las hojas de vidrio en un tiempo óptimo. Según el fabricante, este robot logra el apilado de 8 hojas por minuto, lo que se traduce en una duración de 7,5 segundos para retirar cada hoja, descargarla sobre el módulo y volver a la posición inicial.

#### 4.9.5 Dimensionamiento de brazo robot

Para confirmar que este tiempo mencionado sea realista, se analizaron los movimientos mínimos que debe hacer el robot y cada uno de sus ejes, teniendo en cuenta los datos suministrados por el fabricante de rangos de trabajo y velocidades de giro. Para entender mejor los cálculos realizados se muestra una vista lateral de robot, las correspondientes dimensiones y una imagen de sus ejes.

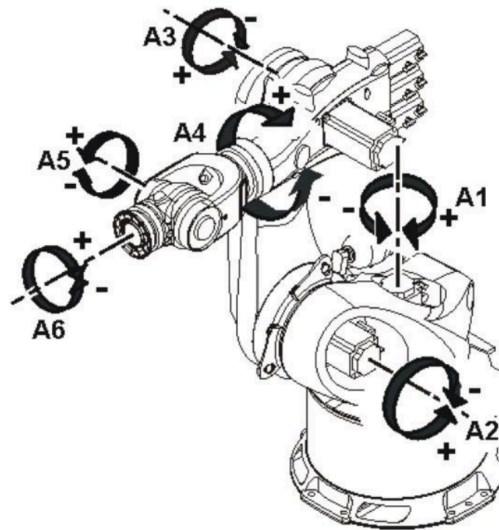


Figura 37: ejes del brazo robot KR 600 R2830 de KUKA. Fuente: KUKA.

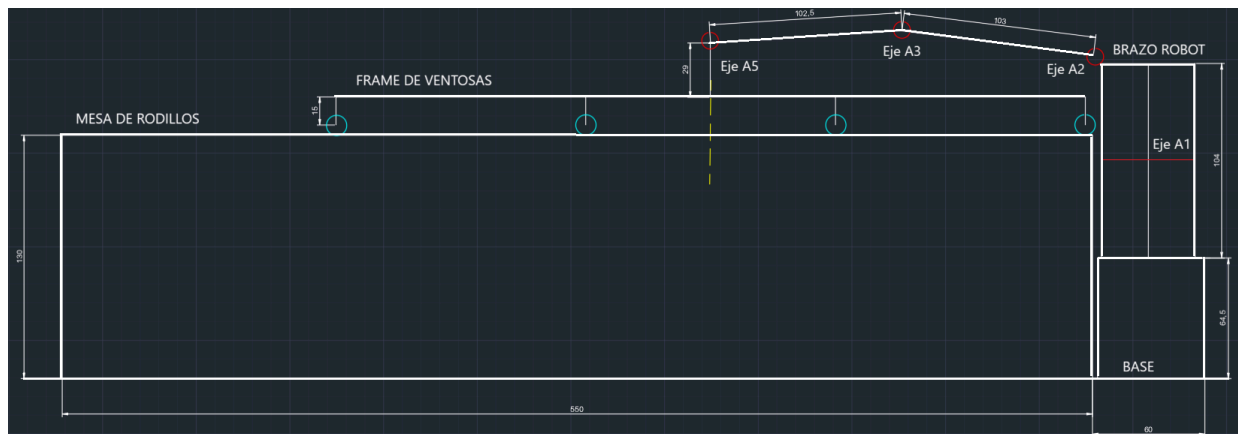


Figura 38: vista lateral de brazo en posición inicial. Fuente: elaboración propia.

Para estimar una posición inicial, se calcula mediante ley de cosenos los ángulos internos según la fórmula:

$$\cos(A) = \frac{b^2+c^2-a^2}{2bc} \tag{9}$$

Sabiendo las dimensiones de los lados del triángulo que forman cada antebrazo del robot y la distancia desde el eje hasta la brida, tenemos los datos:

- Lado a: 1025 mm
- Lado b: 1030 mm
- Lado c: 2050 mm

$$\cos(A) = \frac{1.030^2 + 2.050^2 - 1.025^2}{2 * 1.030 * 2.050} \quad (10)$$

$$\cos(A) = 0,9845 \quad (11)$$

$$A = \cos^{-1}(0,9845) \quad (12)$$

$$A \approx 10.3^\circ \quad (13)$$

Obtenemos entonces, según la misma fórmula, cada valor de los ángulos internos:

- Ángulo A  $\approx 10.3^\circ$
- Ángulo B  $\approx 7.2^\circ$
- Ángulo C  $\approx 162.5^\circ$

En la figura 38 se puede ver el brazo montado sobre una base de estructura de concreto de unos 645 mm de altura que deberá construirse previamente, según las indicaciones de fundamento de hormigón para la fijación, para darle la altura total necesaria al eje principal A2. Esto se decide porque, de lo contrario, una parte del brazo chocaría con la estructura de la mesa que tiene 1.200 mm de altura. De esta manera, el eje principal A2 queda a 50 mm de distancia de la línea vertical de la mesa y a 490 mm por encima.

Dicho esto, se analiza la posición inicial del robot para tomar la hoja sabiendo que el brazo y el brazo de oscilación tienen 1.030 mm y 1.025 mm respectivamente, por lo que la distancia de eje A5 a eje A2 será de 2.050 mm. Esto está dentro de la distancia máxima permitida por el fabricante que es de 2.326 mm desde el eje A2 hasta el centro de la brida de acople.

Para realizar el levantado de la hoja de la línea, se analiza únicamente según nuestro interés el giro del eje A2, donde asumimos un movimiento de  $45^\circ$  (en sentido negativo según imagen) encontrándonos inicialmente a  $10,3^\circ$  aproximadamente. Los demás ejes deberán realizar otros giros simultáneamente que estarán calculados y programados por el equipo de programadores del fabricante al momento de analizar las instalaciones y necesidades.

Luego, otro movimiento importante es el giro del eje A1 donde se asumen  $135^\circ$  (en sentido positivo según imagen), estimando que el módulo queda posicionado por detrás del robot y a  $45^\circ$  grados. Durante este movimiento también deberá realizar un giro de  $90^\circ$  (en cualquier sentido) el eje A6 para posicionar el cuadro de ventosas de forma vertical, aunque será en simultáneo a otros movimientos por lo que no interfiere en el cálculo aproximado de tiempos.

Para dejar la hoja sobre el módulo, se asume que este se encuentra a un nivel más bajo que la mesa principal por lo que el eje A2 nuevamente deberá hacer el giro contrario aproximadamente de  $60^\circ$  (en sentido positivo según imagen).

Para finalizar el proceso, asumimos que el robot deberá hacer movimientos iguales pero contrarios volviendo a posición inicial, listo para tomar una nueva hoja.

TABLA VII: tiempos de giro de brazo robot.

Detalle	Eje	Movimiento necesario [°]	Velocidad [°/s]	Tiempo [s]
Levante de hoja	A2	45	75	0,60
Giro hasta módulo	A1	135	80	1,69
Bajada de hoja	A2	60	75	0,80
Subida de frame	A2	60	75	0,80
Giro hasta mesa	A1	135	80	1,69
Bajada de frame	A2	45	75	0,60
TOTAL				6,18

Teniendo en consideración que los movimientos son asumidos y pueden optimizarse por los programadores especializados, el tiempo total puede ser levemente menor que el calculado. De todas formas, habrá que considerar tiempo de aspiración y de expulsión de las ventosas a pesar de que estos son ínfimos.

Dicho esto, el tiempo que obtenemos como resultado tiene concordancia con el indicado por el fabricante según las soluciones que brindan a las empresas para este tipo de procesos.

Sabiendo el tiempo mínimo para retiro de hoja de la línea principal, podemos fácilmente calcular la cantidad de robots que precisamos para nuestra producción de 2mm de espesor siendo ésta crítica en cuanto a tiempos de salida. Según los cálculos realizados

anteriormente para los segundos que pasan entre la llegada de una hoja y la siguiente, tenemos que:

TABLA VIII: tiempos en segundos entre una hoja y otra.

Tiempo hasta la hoja siguiente [s]	3,00
Tiempo hasta la 2da hoja siguiente [s]	7,50
Tiempo hasta la 3er hoja siguiente [s]	12,00

Notamos que la siguiente hoja inmediata llega en un tiempo de 3 segundos, donde todavía no se completa el ciclo de 7,5 segundos indicado por el fabricante. A pesar de que la segunda hoja siguiente llega a posición exactamente en el tiempo deseado, no puede tenerse en cuenta para retiro ya que se requiere un margen de tiempo para prevenir accidentes por rápida manipulación sabiendo que el producto es de un material sumamente frágil, más aún en su mínimo espesor. En la tercera hoja siguiente, el tiempo se encuentra dentro del rango necesario contando además con holgura, lo que puede permitir programar movimientos menos bruscos para el movimiento del brazo robot.

Teniendo en cuenta este análisis, se concluye que se necesitan 3 robots del ejemplar expuesto del fabricante KUKA, que trabajarán también en línea. Es decir que, luego del retiro de una hoja, la mesa de rodillos se programará para dejar pasar dos hojas hacia las siguientes posiciones donde las tomará el próximo brazo robot.

#### 4.9.6 Análisis de adaptación de layout

Analizando las posibilidades de implementar esta nueva tecnología en las salidas de línea, se puede verificar que conlleva la necesidad de realizar algunas modificaciones en cuanto a las instalaciones. Entre ellas se destaca la eliminación de las SST1, SST2 y SST3 junto con la eliminación de las máquinas cargadoras o *stacker*, ya que la función en su totalidad la reemplazaría el brazo robot. Con respecto a la salida exclusiva para hojas “Jumbo”, se mantiene como está actualmente según lo mencionado líneas arriba.

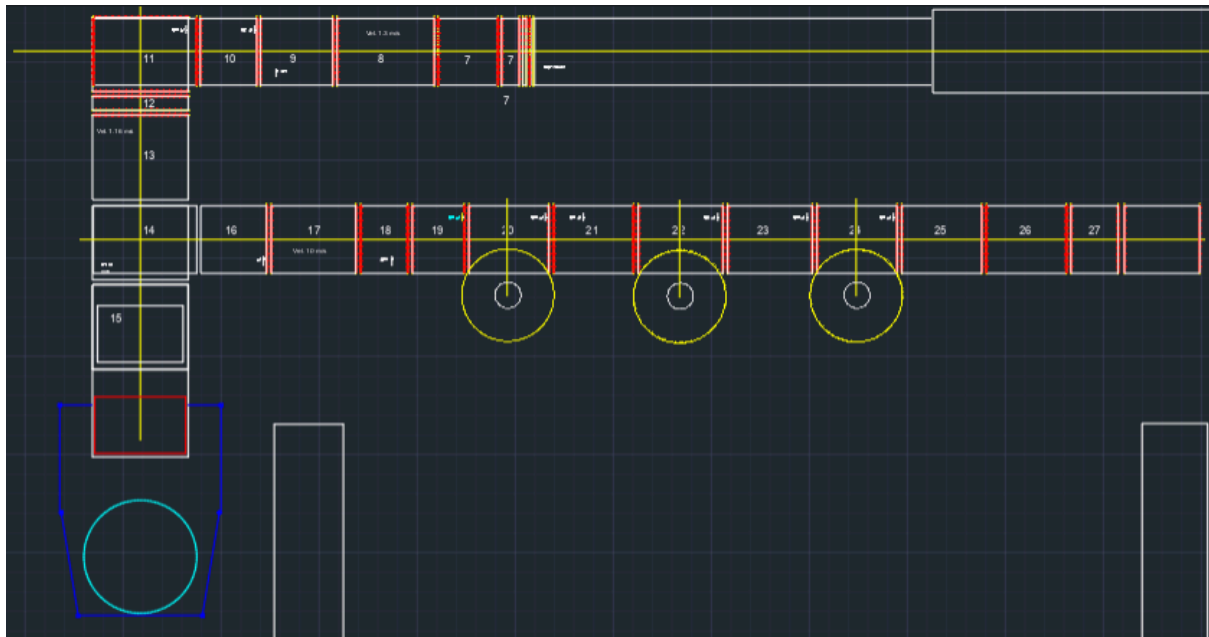


Figura 39: layout propuesto en punta de línea. Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que los robots necesitan instalarse junto a la línea principal, para poder cumplir con las dimensiones antes desarrolladas a la hora de posicionar el *frame* sobre la hoja. En adición, se aprovecha el cambio de sentido que tiene la línea generando un camino en U, para programar el posicionamiento de las hojas junto al lateral externo de la línea quedando estas descentradas de la mesa pero a la distancia necesaria del brazo. Tomando como crítica la hoja del mayor largo, es decir la de 4.000 mm, podemos observar que el cuadro de ventosas debe centrarse en la mitad de la hoja a 2.000 mm. Esta distancia es la que se utilizó anteriormente en la imagen número 38.

#### 4.9.7 Mantenimiento de brazo robot

El mantenimiento de robots industriales, como el KR600 R2830 de KUKA, es fundamental para garantizar su funcionamiento óptimo, prolongar su vida útil y minimizar el tiempo de inactividad. En entornos industriales, donde la eficiencia y la precisión son cruciales, el mantenimiento adecuado se convierte en un componente esencial de la gestión operativa.

El R2830, con su capacidad de carga robusta y versatilidad, requiere un programa de mantenimiento regular y sistemático. Este mantenimiento abarca una serie de actividades preventivas y correctivas diseñadas para detectar, prevenir y corregir fallos antes de que

puedan afectar el rendimiento del robot. Estas actividades incluyen la inspección de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, así como la lubricación, calibración y ajuste de las partes móviles.

Debido al alcance de este apartado, sólo se analizaron las tareas más relevantes por realizarle a la máquina, las cuales serán comentadas a continuación.

- Re-engrase de la junta: Se debe aplicar grasa lubricante a las juntas del robot para asegurar que sigan funcionando de manera suave y eficiente.
- Comprobación del sistema de contrapeso: Esta tarea debe realizarse para el correcto funcionamiento de los movimientos del robot. Este sistema ayuda a contrarrestar el peso de las partes móviles de la máquina, reduciendo la carga sobre los motores y mejorando la estabilidad general.
- Comprobación de los ejes de transmisión: Estos ejes son los encargados de transmitir el movimiento desde los motores a las partes móviles del robot. Deben estar en buen estado para garantizar un funcionamiento preciso y eficiente del robot. La comprobación regular de estos ejes es crucial para detectar y corregir problemas antes de que causen fallos.
- Cambios de aceite: El aceite, utilizado en los sistemas de transmisión y otros componentes de la máquina, debe mantenerse en condiciones óptimas para asegurar un funcionamiento suave y prolongado. Un aceite en mal estado puede causar fricción excesiva, desgaste prematuro y fallos en los componentes.
- Engrasar el juego de cables: Estos cables se encargan de transmitir las señales eléctricas y alimentan los componentes del robot. Los cables deben moverse con flexibilidad y sin fricción para evitar daños y asegurar un funcionamiento confiable. Engrasar el juego de cables ayuda a reducir la fricción y el desgaste que puede ocurrir durante el movimiento del robot.

En la siguiente imagen se presenta al robot con las distintas tareas por realizar, en la cual se describe mediante símbolos y se referencia con números para luego relacionar dicha actividad con el intervalo de tiempo correcto para el mantenimiento.

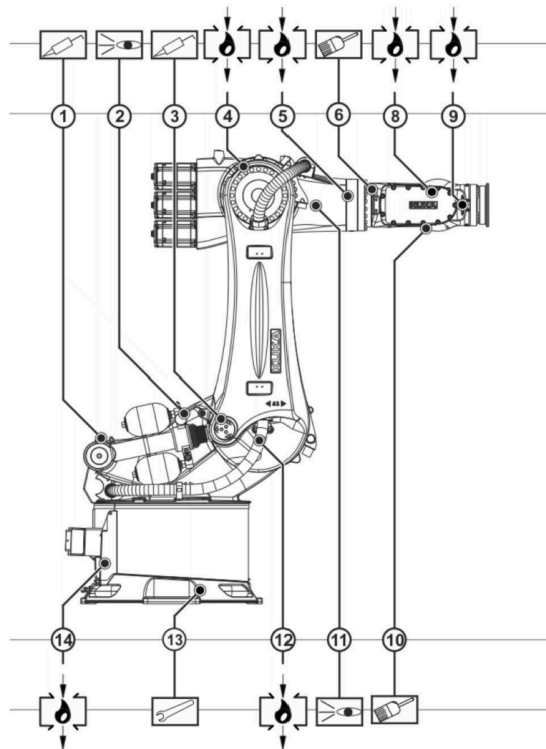


Figura 40: especificaciones del robot KR 600 R2830 del fabricante KUKA. Fuente: KUKA.

En donde los símbolos representan lo siguiente:








-  cambio de aceite
-  Lubricar con pistola de engrase
-  Lubricar con cepillo
-  Apretar el tornillo/tuerca
-  Comprobar componente, inspección visual
-  Componente limpio
-  Cambiar batería

Figura 41: símbolos de las especificaciones robot KR 600 R2830 del fabricante KUKA. Fuente: KUKA.

A continuación, se presenta una tabla con los intervalos, numeración y actividad de mantenimiento relacionada. En dicha tabla se menciona la denominación de los distintos ejes de la máquina. Para un mayor entendimiento se expone la siguiente imagen.

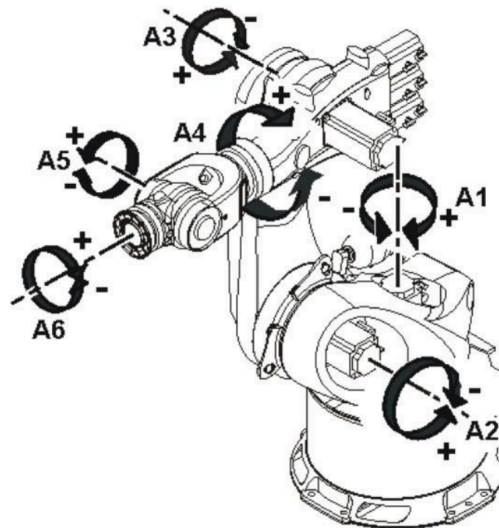


Figura 42: ejes de giro del robot KR 600 R2830 del fabricante KUKA. Fuente: KUKA.

TABLA IX: secuencia de mantenimiento brazo robot, fabricante KUKA

Intervalo	Número	Actividad
100 hs	13	Verificar el ajuste de tuercas de anclaje y los pernos de sujeción.
10.000 hs	6	Re-engrase de la junta A4.
10.000 hs	10	Re-engrase de la junta A5.
5.000 hs	1	Lubricación de los cojinetes del sistema de contrapeso en la columna giratoria.
5.000 hs	3	Lubricación de los cojinetes del sistema de contrapeso en el enlace del brazo.
5.000 hs	2	Realizar una inspección visual del sistema de contrapeso y proceder a hacer comprobaciones.

15.000 hs	11	Comprobar el juego axial de los ejes de transmisión.
20.000 hs	4	Realizar el cambio de aceite en A3.
20.000 hs	5	Realizar el cambio de aceite en A4.
20.000 hs	8	Realizar el cambio de aceite en A5.
20.000 hs	9	Realizar el cambio de aceite en A6.
20.000 hs	12	Realizar el cambio de aceite en A2.
20.000 hs	14	Realizar el cambio de aceite en A1.
20.000 hs	-	Engrase de los cables del juego de cables y del suministro de energía.
1 año	11	Comprobar el juego axial de los ejes de transmisión.

#### 4.10 Comparativa de rendimientos en situación actual vs propuesta

Para completar con el análisis de los resultados técnicos, se realizan los cálculos de algunos indicadores que sirven para visualizar la efectividad de la tecnología propuesta en comparación con la actual. Esto puede ayudar a tomar una decisión final en cuanto a la implementación del proyecto basándose en los objetivos planteados, además de ser un punto de referencia para comparar el desempeño de la empresa con los estándares de la industria. Para facilitar los cálculos, se dividen por 3 los valores obtenidos teniendo en cuenta que tanto actualmente como en la propuesta se cuenta con 3 máquinas en serie.

Tomando la condición de producción crítica de 2 mm que se utilizó para realizar la evaluación técnica y posterior dimensionamiento, se calcula en primer lugar la tasa de producción que representa en nuestro caso cantidad de hojas retiradas por unidad de tiempo. Se utilizaron los siguientes datos iniciales:

- Tiempo de ciclo de hoja: 4,5 s
- Tiempo de ciclo SST: 11,9 s
- Espera SST: 2,8 s
- Tiempo de ciclo stacker: 14,2

-Tiempo de ciclo brazo robot: 7,5

Podemos verificar en primer lugar un valor aproximado de las unidades de hojas retiradas en un día para las condiciones mencionadas:

$$\text{unidades/día} = \frac{\text{segundos/día}}{\text{tiempo de ciclo de hoja}} \quad (14)$$

$$\text{unidades/día} = \frac{86.400 \text{ s}}{4,5 \text{ s}} \quad (15)$$

$$\text{unidades/día} = 19.200 \text{ u} \quad (16)$$

Luego se calculan los tiempos de ciclo efectivos para maquinaria actual y propuesta, sabiendo que corresponde al tiempo total donde la máquina está realmente operando durante el día.

$$t \text{ operativo diario actual} = (\text{unidades/día} / 3) * t \text{ de ciclo SST} \quad (17)$$

$$t \text{ operativo diario actual} = (19.200 \text{ u} / 3) * 11,9 \text{ s} \quad (18)$$

$$t \text{ operativo diario actual} = 76.160 \text{ s} \quad (19)$$

$$t \text{ operativo diario propuesto} = (\text{unidades/día} / 3) * t \text{ de ciclo SST} \quad (20)$$

$$t \text{ operativo diario propuesto} = (19.200 \text{ u} / 3) * 7,5 \text{ s} \quad (21)$$

$$t \text{ operativo diario propuesto} = 48.000 \text{ s} \quad (22)$$

Luego, con los datos obtenidos podemos calcular la tasa de producción de ambas situaciones:

$$tasa\ producción\ actual = \frac{unidades/día}{tiempo\ operativo\ diario\ actual} \quad (23)$$

$$tasa\ producción\ actual = \frac{19.200\ u / 3}{76.160\ s} \quad (24)$$

$$tasa\ producción\ actual = 0,08\ u/s \quad (25)$$

$$tasa\ producción\ propuesto = \frac{unidades/día}{tiempo\ operativo\ diario\ propuesto} \quad (26)$$

$$tasa\ producción\ propuesto = \frac{19.200\ u / 3}{48.000\ s} \quad (27)$$

$$tasa\ producción\ propuesto = 0,13\ u/s \quad (28)$$

En el siguiente paso, calculamos el consumo energético por unidad de la situación actual y la propuesta, teniendo en cuenta los datos de potencia utilizada por la maquinaria. En el caso de la situación actual, se suma la potencia del motor de la SST, del motor del stacker y del compresor de utilización constante. Para la situación propuesta se tiene en cuenta un estimado según la potencia de los 7 servomotores del brazo robot sumado a la utilización neta del compresor, que no es constante sino intermitente en los tiempos de sujeción. Estos tiempos de sujeción representan aproximadamente la mitad del tiempo de ciclo del brazo robot para retiro de hoja.

Para el consumo de energía de la situación actual entonces sumamos el consumo de la SST, del brazo mecánico stacker y del compresor funcionando 24 horas. Se sabe que cada SST tiene un consumo real de 5,5 A.

$$P = 380V \times 5,5\ A = 2090\ W \quad (29)$$

Luego, cada brazo mecánico actual tiene un consumo real de 10 A.

$$P = 380V \times 10\ A = 3800\ W \quad (30)$$

TABLA X: Cálculo de horas en uso de las SST.

Equipo	Total ciclo (seg)	Seg/ día	C. Máx hojas	Seg. de uso	Total hs/día
SST	14,2	86.400	6.084,51	55.369,01	15,38

TABLA XI: Cálculo de potencia total de situación actual.

Equipo	Potencia [kW]	Cantidad	Horas de uso	Potencia total [kW]
SST	2,09	3	15,38	96,4326
Brazo mecánico - Stacker	3,08	3	23	212,52
Aire comprimido	9,08	3	24	653,76
<b>Potencia total de la línea [kW]</b>				<b>962,71</b>

Para el consumo de energía de la situación propuesta sumamos el consumo del brazo robot y el consumo del compresor de aire solo en los momentos operativos de los eyectores.

TABLA XII: Cálculo de potencia total de situación propuesta.

Equipo	Potencia [kW]	Cantidad	Horas de uso	Potencia total [kW]
Brazo robot	3,00	3	12	108
Aire comprimido	0,17	90	6,34	97,00
Potencia total de la línea				205,00

Luego, estos datos de consumo totales deben dividirse entre 3 si se desea trabajar la información por máquina o salida. Entonces tendremos que por cada salida de línea se usa:

-Potencia total diaria actual: 320,90 kW

-Potencia total diaria propuesta: 68,33 kW

$$\text{consumo por unidad actual} = \frac{\text{potencia total diaria actual}}{\text{unidades/día}} \quad (31)$$

$$\text{consumo por unidad actual} = \frac{320,90 \text{ kW}}{19.200 \text{ u} / 3} \quad (32)$$

$$\text{consumo por unidad actual} = 0,05 \text{ kW/u} \quad (33)$$

$$\text{consumo por unidad propuesto} = \frac{\text{potencia total diaria propuesta}}{\text{unidades/día}} \quad (34)$$

$$\text{consumo por unidad propuesto} = \frac{68,33 \text{ kW}}{19.200 \text{ u} / 3} \quad (35)$$

$$\text{consumo por unidad propuesto} = 0,01 \text{ kW/u} \quad (36)$$

Para concluir, se unifican los datos obtenidos en una tabla comparativa de modo que se facilite la visualización de la mejora a nivel tiempos operativos y consumo total diario.

TABLA XIII. Comparación indicadores situación actual vs propuesta.

Indicadores	Actual	Propuesta	Variación porcentual
Consumo energético por hoja [kW/hoja]	0,05	0,01	-80.00%
Consumo energético diario [kW]	320,9	68,33	-78.71%
Tiempo operativo diario de máquina [h]	21,16	13,33	-37.00%
Tasa de producción [hoja/s]	0,08	0,13	62.50%
Tiempo de ciclo hoja [s]	37,7	3,75	-90.05%

Con los valores de variación porcentual obtenidos se puede observar que la situación propuesta es ampliamente más conveniente en cuanto a consumo energético y tiempo de manipulación de la hoja de vidrio reduciendo riesgos de rotura. Estos resultados se traducen también en una disminución considerable de los desperdicios planteados anteriormente.

#### 4.11 Implementación de cambios

Para llevar a cabo las propuestas formuladas, es esencial contar con un plan estructurado que defina los plazos y las actividades a realizar, con el fin de facilitar la transición y asegurar que el proceso de cambio se desarrolle de la manera más eficiente posible.

En primer lugar, se decide contratar a la empresa Servicios HLB, dedicada al montaje y desmontaje eficiente y seguro de maquinaria e instalaciones industriales. Se contrata el servicio de construcción para encofrado y relleno de hormigón armado para realizar las bases

donde se precisa instalar cada brazo robot. Se debe tener en cuenta que esta nueva base requiere alrededor de 30 días para su completo curado y adquisición de resistencia del material, por lo que deberá realizarse previamente y trasladarse una vez lista a la zona de trabajo. En este caso, se aceptarán también sugerencias sobre otras potenciales soluciones para generar una base de la altura solicitada a la empresa contratada.

En adición, se solicita la instalación de paneles de malla metálica para protección y seguridad alrededor de la zona de trabajo de cada brazo robot, cumpliendo con las normas de seguridad actuales que mantiene toda la fábrica según los principios de Lean Manufacturing.

En este caso, no será necesario reformar instalaciones de suministro de energía y de aire comprimido porque ya se utilizan actualmente tanto conexiones trifásicas como cañerías de aire comprimido, por lo que se aprovechan las mismas.

La instalación del brazo robot en su ubicación la realiza la empresa de montaje de maquinaria Servicios HLB junto con el equipo técnico del fabricante, luego de que se hayan tomado las medidas donde se precisa colocar. El equipo de programación del fabricante se encarga de realizar la secuenciación de movimientos del brazo según el tipo de producción y la configuración de parámetros del software necesario.

Es mandatorio tener en cuenta la forma de implementación de los cambios mencionados, ya que al tratarse de un tipo de producción continua es altamente complejo parar la línea. Para realizar una parada de línea, se debería parar la colada de vidrio y enfriar algunos grados el horno, específicamente de  $1.600^{\circ}$  a  $1.000^{\circ}$ , pudiendo en este caso aprovechar a realizar el mantenimiento en caliente necesario cada un período de 3 años. En este se cambian los refractarios gastados para alargar la vida y efectividad del horno y puede demorar alrededor de 15 días en total. Este método de mantenimiento se realiza debido a que el horno no puede apagarse por completo ya que los cambios térmicos podrían provocar su destrucción.

También se podría optar por la solución que la empresa tomó en época de pandemia, donde se generó una re circulación de la producción generando scrap del vidrio producido para volver a utilizarlo como insumo en el horno. Esta opción es menos riesgosa que la anterior pero también generaría mayores pérdidas económicas durante la implementación.

La opción considerada viable y óptima es la mostrada en el Gantt de implementación en Anexo V. Para esto se decide programar durante 11 días una producción de vidrio de espesor de 5mm o más, sabiendo que según la velocidad a la que llegan a punta de línea se

---

podrá realizar el retiro con la SST 1 y SST 2 operando. Cabe aclarar que no se puede utilizar la salida Jumbo para otras medidas debido a la especificidad del brazo mecánico instalado, según información brindada por la empresa. Durante este período, la SST 3 se reserva para comenzar con el proceso de desarme y posterior instalación del nuevo brazo robot en posición 3.

Una vez operativo el brazo robot 3, se programa durante otros 11 días la producción de vidrio Jumbo utilizando en este caso la salida correspondiente para esta medida especial. Durante este período, la SST 1 y 2 se reservan para el proceso de desarme y posterior instalación de brazos robot 1 y 2. Una vez finalizada esta etapa, queda lista la punta de línea para volver a operar en los espesores necesarios según programación usual.

El beneficio de esta opción de implementación es el de reducir riesgos en cuanto a fallas operativas en la nueva maquinaria, pudiendo de esta forma mantener un retiro de hojas ya conocido y asegurado mientras se realizan todas las pruebas y ajustes necesarios en el nuevo método de retiro con el brazo robot. Es posible que, con esta forma de implementación, los costos de instalación de la maquinaria sean un poco más elevados teniendo en cuenta que el trabajo se verá repartido en etapas extendiendo el proyecto. Si se eligiese esta forma de ejecutar el proyecto, tendríamos más tiempo para hacer cada modificación, aunque habría que planificar cómo quedará el stock de espesores, ya que tanto los productos de espesor mínimo como máximo solo se producen en un 10% aproximadamente entre ambos anualmente debido a la demanda. En general, el 50% de la producción lo ocupan los espesores 3 mm y 4 mm.

Dado que la incorporación de nueva tecnología, mejorará significativamente el proceso productivo, se llevará a cabo un programa de capacitación. Este programa incluye 3 sesiones previas al comienzo del proyecto, para educar a los operarios con el funcionamiento de los nuevos equipos y las actualizaciones en el procedimiento operativo. La capacitación se continúa de manera escalonada luego de la finalización de la implementación, permitiendo que los empleados se adapten progresivamente a las nuevas herramientas y técnicas. A su vez, se darán a conocer las normas de seguridad y manejo de los equipos para resguardar la integridad del personal.

Finalmente, se establecerán mecanismos de seguimiento y ajuste para evaluar el rendimiento de los nuevos equipos y asegurar que los cambios generen los beneficios esperados en términos de eficiencia y calidad.

Teniendo en cuenta el recuento de días desde la capacitación previa hasta el control operativo de los 3 brazos robot para medición de resultados, la implementación precisa un tiempo total de 31 días.

## 5. Resultados y análisis económico financiero

En esta sección del proyecto, se evalúa la factibilidad económica del mismo. Se calcularon los indicadores que determinan la viabilidad de la inversión. Estos indicadores son sumamente importantes para la toma de decisiones a nivel económico, pudiendo calcular el impacto de las propuestas en el ámbito financiero de la empresa. Se evaluaron tanto los ahorros generados en el proyecto, como la inversión que se necesita para llevarlo a cabo. Por último, se calcularán el flujo de fondos y los indicadores que determinan la viabilidad del proyecto, generando una conclusión sobre ello.

### Valor del dólar

Para este análisis se toma en cuenta el valor del dólar oficial (USD) para empresas de \$987,00 a la fecha de 27 de octubre de 2024. Fuentes: Banco Central de la Nación Argentina.

### 5.1 Estimado de proyección de ahorro

Con respecto a los ahorros que representa el proyecto, se tienen en consideración los ahorros por:

- Scrap: haciendo referencia al monto total de las pérdidas por roturas. Este monto se considera como ahorro ya que, con el cambio en la línea, ya no se tendría este monto perdido. La pérdida anual de scrap son 808,40 toneladas, si se calcula de acuerdo con el precio de la tonelada de vidrio (610,00 USD), los montos totales de pérdida anual en USD son \$493.124,00. Por último, para representar el 99% de reducción de scrap, queda un monto final de \$488.192,76 USD.

TABLA XIV: Cálculo de monto total de pérdidas.

<b>Total anual</b>	
99% pérdida scrap [ton]	800,32
Precio ton de vidrio [USD]	610,00
Pérdida anual total [USD]	\$488.192,76

Total anual cada SST	
99% pérdida scrap [ton]	266,77
Precio ton de vidrio [USD]	610,00
Pérdida anual total [USD]	\$162.730,92

- Consumo energético: con respecto al suministro energético que necesitan las máquinas actuales, se calcula el cargo de acuerdo al resultado de potencia total obtenido en la sección del análisis técnico.

De acuerdo con el cuadro tarifario de Edesur (Distribuidora de Energía Sur S.A.), se calcula el monto del gasto por estos equipos y resulta un monto final de \$23.961,59 USD mensuales.

TARIFA 3   Grandes Demandas				
CONCEPTO	UNIDAD	BAJA potencia contratada	MEDIA potencia contratada	ALTA potencia contratada
Cargo Fijo	\$/mes	104.399,85	104.399,85	104.399,85
Cargo por Potencia Contratada	\$/kW - mes	7.214,10	3.117,25	818,87
Cargo por Potencia Adquirida	\$/kW - mes	2.349,34	2.918,28	2.862,89
Cargo Variable Pico	\$/kWh	79,416	75,473	72,375
Cargo Variable Resto	\$/kWh	76,765	72,954	69,690
Cargo Variable Valle	\$/kWh	75,244	71,509	68,574

Figura 43: tarifa de Grandes Demandas. Fuente: EDESUR.

TABLA XV: Cálculo del monto total de pago por energía consumida.

Descripción cargo	Precio	Unidad	Potencia [kW]	Potencia total [kW]
Cargo por potencia contratada	818,87	\$/kWh-mes	962,71	\$23.650.094,00
Total línea en dólares				\$23.961,59
Total línea en dólares anuales				\$287.539,14

- Mantenimiento: el mantenimiento de las máquinas actuales es mucho mayor a lo que se espera tener con el cambio de la línea, por ejemplo, para el caso de las ventosas actuales se cambian aproximadamente 1000 ventosas cada 6 meses lo que representa

un valor de \$19,00 USD. El monto que se paga hoy día por el mantenimiento preventivo de las ventosas, fingers y mano de obra es de \$32.000,00 USD anuales.

$$\text{Mantenimiento mensual (USD)} = \$2.666,67 \quad (37)$$

TABLA XVI: Cálculo del ahorro total anual.

Descripción	Activo	Importe [USD]	Cantidad	Costo total
Scrap	Fijo	\$162.730,92	3	\$488.192,76
Mantenimiento anual	Fijo	\$32.000,00	1	\$32.000,00
Consumo de energía	Variable	\$95.846,38	3	\$287.539,14
<b>Ahorro total anual [USD]</b>				<b>\$807.731,90</b>

Sumando cada uno de los puntos, se tiene un resultado total de ahorro anual de \$807.731,90 USD.

## 5.2 Estimado de inversión inicial

Con respecto a la inversión inicial del proyecto, se tienen en consideración:

- Brazo robot: para el proyecto se necesitan 3 brazos y de acuerdo con la marca buscada, el precio es \$85.000,00 USD cada uno.
- Ventosas con elemento de sujeción: de acuerdo con la cotización del fabricante, se tiene un precio de \$132,00 USD cada una y se necesitan 90.
- Eyectores con electroválvula incluida: de acuerdo con la cotización del fabricante, se tiene un precio de \$254,00 USD cada uno y se necesitan 90.
- Filtro regulador: de acuerdo con el precio del fabricante, se utiliza el FR 1/4" QBM4 MICRO con un valor de \$192,00 USD cada uno y se necesitan 3.
- Frame ventosas: para el caso de cada frame, se utilizan los mismos que ya se tienen. Por lo que no se considera un gasto en la inversión.
- Programación de software: para el manejo de los equipos y configuración de movimientos y tiempos se necesita la instalación de un software, el monto por cada software es de \$170.000,00 USD, siendo un total de \$510.000,00 USD para los 3.
- Instalación: para la instalación se estima un 10% sobre el valor de los equipos de acuerdo también a lo revisado con los proveedores del brazo robot. A su vez, se contempla dentro de este punto, la instalación de una base sobre la cual posicionar el

brazo robot al final de la línea. El valor de la instalación sería entonces de \$29.032,00 USD.

TABLA XVII: Cálculo de la inversión inicial.

Descripción	Activo	Costo [USD]	Cantidad	Costo total
Brazo robot	Fijo	\$85.000,00	3	\$255.000,00
Ventosa + sujeción	Fijo	\$132,00	30	\$11.880,00
Eyectores + electroválvula	Fijo	\$254,00	30	\$22.860,00
Filtro regulador	Fijo	\$192,00	3	\$576,00
Frame ventosas	Fijo	\$0,00	3	\$0,00
Programación software	Fijo	\$170.000,00	3	\$510.000,00
Instalación	Fijo	10%	1	\$29.032,60
<b>Costo total [USD]</b>				<b>\$829.347,60</b>

Resumiendo, se toma para la inversión inicial un monto total de \$829.347,60 USD.

### 5.3 Estimado de costos operativos mensuales

- Mantenimiento: para el caso del mantenimiento se calcula en base a un 3% del monto total de los equipos adquiridos. Este mantenimiento será anual.

$$\text{Mantenimiento anual (USD)} = \text{inversión inicial} * 3\% \quad (38)$$

$$\text{Mantenimiento anual (USD)} = \$829.347,60 * 3\% \quad (39)$$

$$\text{Mantenimiento anual (USD)} = \$24.880,43 \quad (40)$$

$$\text{Mantenimiento mensual (USD)} = \$2.073,37 \quad (41)$$

- Consumo de energía: se considera para el cálculo del consumo de energía, la potencia total calculada en el análisis técnico con los datos del cuadro tarifario de Edesur. De acuerdo con el cuadro tarifario de Edesur (Distribuidora de Energía Sur S.A.), se calcula el monto del gasto por estos equipos y resulta un monto final de \$5.102,43 USD mensuales.

TABLA XVIII: Cálculo del pago de la energía consumida de la propuesta.

Descripción cargo	Precio	Unidad	Potencia [kW]	Potencia total [kW]
Cargo por potencia contratada	818,87	\$/kWh-mes	205,00	\$5.036.099,63
<b>Total línea [USD]</b>				<b>\$5.102,43</b>

Tomando en cuenta ambos montos anteriores, se calcula un estimado de \$7.175,80 USD mensuales en costos operativos.

TABLA XIX: Cálculo del total de costos operativos.

Costos operativos mensuales				
Consumo de energía	Variable	\$5.102,43	1	\$5.102,43
Mantenimiento	Fijo	3%	1	\$2.073,37
<b>Total costos [USD]</b>				<b>\$7.175,80</b>

## 5.4 Flujo de fondos

Considerando que la producción será la misma, el flujo de fondos toma en cuenta netamente los costos del proyecto de inversión y el ahorro representado. A su vez, se plantea la vida útil del proyecto equivalente a 5 años.

TABLA XX: Flujo de fondos.

Descripción	Año				
	0	1	2	3	4
Scrap	\$0,00	\$488.192,76	\$488.192,76	\$488.192,76	\$488.192,76
Mantenimiento	\$0,00	\$32.000,00	\$32.000,00	\$32.000,00	\$32.000,00
Consumo de energía	\$0,00	\$287.538,84	\$287.538,84	\$287.538,84	\$287.538,84
<b>Ahorro [USD]</b>	<b>\$0,00</b>	<b>\$807.731,60</b>	<b>\$807.731,60</b>	<b>\$807.731,60</b>	<b>\$807.731,60</b>
Inversión inicial	\$829.347,60	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Consumo de energía	\$0,00	\$61.229,00	\$61.229,00	\$61.229,00	\$61.229,00
Mantenimiento	\$0,00	\$24.880,43	\$24.880,43	\$24.880,43	\$24.880,43
Impuesto a las ganancias (35%)	\$0,00	\$170.867,47	\$170.867,47	\$170.867,47	\$170.867,47

Amortizaciones	\$0,00	<b>\$228.864,25</b>	<b>\$228.864,25</b>	<b>\$228.864,25</b>	<b>\$228.864,25</b>
Egresos [USD]	<b>\$829.347,60</b>	<b>\$485.841,14</b>	<b>\$485.841,14</b>	<b>\$485.841,14</b>	<b>\$485.841,14</b>
Flujo de fondos [USD]	<b>- \$829.347,60</b>	\$321.890,46	\$321.890,46	\$321.890,46	\$321.890,46

## 5.5 Cálculo de la WACC

La WACC (Weighted Average Cost of Capital) es un indicador que sirve para valorar la viabilidad de un proyecto de inversión y que ayuda a tomar la decisión a la hora de avanzar o no con una propuesta.

El cálculo de la WACC se determina según la siguiente fórmula:

$$WACC = ke * \frac{PN}{(PN + D)} + kd * (1 - T) * \frac{D}{(PN + D)} \quad (42)$$

Donde:

- $ke$ : costo de los fondos propios = no se considera por no tener fondos propios.
- $PN$ : patrimonio neto = al tomar la deuda, se evalúa sin patrimonio neto.
- $D$ : deuda financiera = porcentaje que representa el capital de terceros, en este caso es 100%.
- $kd$ : costo de la deuda financiera = se toma en cuenta la TIR del Bono GD30.
- $T$ : tasa impositiva = impuesto a las ganancias con un 35%.

Para el caso de calcular la deuda, se utiliza la tasa de interés del Bono República Argentina Ley Extranjera 2030 (GD30).

## GD30

Bono República Argentina Ley Extranjera 2030

<b>\$ 77,450.00</b>	<b>↑ 1,622.55 (2.14%)</b>
Fecha/Hora: 25/10/2024 17:35	Volumen: 10.772.423
Mínimo: 76,190.00	Últ. Cierre: 77,450.00
Máximo: 77,450.00	Apertura: 76,340.00

Figura 43: Activo libre de riesgo al 26 de octubre del 2024. Fuente: puentenet.com

Este bono de la nación argentina tiene un TIR de 16,01%. En el caso de la deuda, se tomó por un lado la tasa interés del bono antes mencionado y también se le descontó el efecto fiscal, utilizando el porcentaje del impuesto a las ganancias de 35%. Esto se debe a que el costo de la deuda genera que la empresa pague menos impuestos.

$$WACC = 16,01\% * (1 - 35\%) * 100\% \quad (43)$$

$$WACC = 10,40\% \quad (44)$$

## 5.6 Cálculo del valor neto actual (VAN)

La VAN es un indicador financiero que permite determinar la viabilidad de un proyecto. Indica un monto en pesos que expresa el sobre beneficio financiero que genera la inversión, referido al momento de inicio. Es el valor monetario que resulta de sumar los flujos de fondos descontados a una tasa de descuento, incluyendo los flujos de inversión. Un VAN positivo, indica que el negocio es rentable según la tasa de descuento definida. Demuestra que el proyecto podría generar rendimientos superiores a la inversión inicial, lo que sustenta la decisión desde una perspectiva financiera.

$$VAN = -II_0 + \frac{FF_1}{(1+WACC)} + \frac{FF_2}{(1+WACC)^2} + \frac{FF_3}{(1+WACC)^3} + \frac{FF_4}{(1+WACC)^4} \quad (45)$$

- $II_0$ : inversión inicial en el año 0
- $FF_{1-4}$ : flujo de fondos de cada año del proyecto

$$VAN = -\$829,347.60 + \frac{FF_1}{(1+10,40\%)} + \frac{FF_2}{(1+10,40\%)^2} + \frac{FF_3}{(1+10,40\%)^3} + \frac{FF_4}{(1+10,40\%)^4} \quad (46)$$

$$VAN = 183.229,64 \quad (47)$$

Para el caso del proyecto la VAN es de USD \$183.229,64 utilizando la WACC previamente calculada de 10,40% como tasa de descuento. Al dar un resultado de  $VAN > 0$ , podemos decir que la inversión dará un beneficio financiero.

## 5.7 Cálculo de tasa interna de retorno (TIR)

Este indicador hace referencia a la tasa de interés efectiva que genera la inversión, es decir. Representa la tasa necesaria a descontar al flujo de fondo dando como resultado una VAN igual a cero.

$$0 = -II_0 + \frac{FF_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FF_2}{(1 + TIR)^2} + \frac{FF_3}{(1 + TIR)^3} + \frac{FF_4}{(1 + TIR)^4} \quad (48)$$

$$0 = - \$829.347,60 + \frac{FF_1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FF_2}{(1 + TIR)^2} + \frac{FF_3}{(1 + TIR)^3} + \frac{FF_4}{(1 + TIR)^4} \quad (49)$$

$$TIR = 20,31\% \quad (50)$$

## 5.8 Cálculo del retorno sobre la inversión (ROI)

El retorno sobre la inversión permite determinar porcentualmente los beneficios obtenidos en base a la inversión realizada para este proyecto.

$$ROI = \frac{\sum i [(1-\alpha) * \Delta Ui] * 100}{N * E_0}$$

Siendo  $\Delta Ui$  las utilidades económicas antes de impuesto a las ganancias variando  $i$  del periodo “1” al periodo  $N$ , descontado por el factor alfa en relación con honorarios de directores, los cuales no serán tenidos en cuenta en este caso por falta de información. Por su parte,  $N$  refiere a la vida útil del proyecto y  $E_0$ , la inversión total en el momento cero.

$$ROI = \frac{\sum i [(1-\alpha) * \$1.952.771,04] * 100}{4 * \$829.347,60} \quad (51)$$

$$ROI = 135,46\% \quad (52)$$

El resultado nos indica un retorno sobre la inversión de 135,46 % en el periodo indicado.

## 5.9 Cálculo de periodo de repago

Como último estudio, se calcula el payback, es decir el tiempo de recupero de la inversión. Para poder efectuar el estudio, se deben sumar progresivamente los beneficios periodo a periodo hasta cubrir la inversión inicial. En este caso, la cantidad de años necesarios para que las ganancias recuperen la inversión realizada serían 4 años.

TABLA XXI: Cálculo del payback.

Período	0	1	2	3	4
Inversión	-\$829.347,60	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0
Utilidad	\$0	\$321.890,46	\$321.890,46	\$321.890,46	\$321.890,46
Flujo de fondos acumulado	- \$829.347,60	- \$507.457,14	- \$185.566,69	<b>\$136.323,77</b>	\$458.214,22

Habiendo calculado los indicadores necesarios para conocer la factibilidad económica del proyecto, se puede tomar la decisión de avanzar con la propuesta planteada. Primeramente porque al calcular la WACC, se tiene una tasa de 10,40%, esto quiere decir que al tratarse del rendimiento mínimo que los inversores esperan obtener para compensar el riesgo de invertir en la empresa, el riesgo que representa es bajo. Por otro lado, al calcular el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto, utilizando la tasa de \$183.229,64 USD. Esta cifra indica que el proyecto es rentable, ya que los flujos de efectivo generados superan los costos de inversión y financiamiento, proporcionando un retorno positivo a la empresa.

Luego, cuando se evalúa la Tasa Interna de Retorno (TIR), arroja un resultado de 20,31%, representando el porcentaje máximo que un inversor estaría dispuesto a pagar para financiar el proyecto. Al ser mayor que la WACC, favorece al proyecto planteado debido a que se obtiene una ganancia mayor a la de la inversión de la deuda incurrida al inicio. Por último, se puede evidenciar como la inversión del proyecto tendrá su repago en el año 4.

---

## 6. Conclusiones

Para concluir con el presente proyecto, se puede evidenciar que el análisis financiero realizado respalda la viabilidad económica del mismo, ya que presenta un VAN positivo y una TIR superior a la tasa de descuento. Estos resultados indican que las propuestas realizadas tienen el potencial de generar beneficios económicos significativos, lo que respalda su implementación y proporciona una base sólida para la toma de decisiones estratégicas.

Aunque el objetivo del proyecto no está orientado a aumentar la producción significativamente, teniendo en cuenta que al análisis del entorno de mercado proyecta un crecimiento de la demanda, se considera altamente beneficioso el aumento de stock disponible.

Por otro lado, el análisis técnico demuestra que las propuestas son totalmente aplicables de acuerdo a las necesidades de la producción en la línea float y a sus instalaciones. Este enfoque no solo se alinea con los objetivos de sostenibilidad y eficiencia, sino que también refuerza el compromiso de la empresa con la mejora continua y la innovación tecnológica. La modernización de la maquinaria, al reducir el tiempo de uso, el scrap y el consumo energético, representa una oportunidad clave para optimizar la producción y fortalecer la posición de la empresa en el mercado.

## 7. Observaciones

Durante el desarrollo del proyecto se encontraron algunas limitaciones y complicaciones que fueron impactando en el resultado del mismo. En primer lugar, al momento de elaborar el análisis de mercado, se contó con poca disponibilidad de información sobre el histórico de precios para hacer una proyección más concreta. Por otro lado, en cuanto a la demanda y al consumo estimado, se encontraron pocos datos que permitieran hacer una comparación exhaustiva del comportamiento del mercado.

Sumado a esto, al no poder acceder a la planta a realizar los relevamientos necesarios por cuestiones de seguridad y confidencialidad, la toma de tiempos y el entendimiento del proceso y maquinarias se tuvo que realizar en su totalidad a través de fotos y videos que fueron proporcionados por el gerente de línea float. Esto trae aparejado márgenes de errores más grandes a los considerados en un principio.

Con respecto al estudio técnico, cuando se empezaron a plantear distintas alternativas para resolver el problema principal de la disminución de scrap, se consideraron soluciones

---

innovadoras para adaptar en la maquinaria actual. Sin embargo, al encontrarse con una instalación con principios de funcionamiento tan complejos se decide cambiar el rumbo de la propuesta. De todas formas, se logra encontrar una opción viable desde todos los aspectos, a pesar de conllevar la necesidad de modificaciones más grandes a las previstas.

Cabe destacar que debido al alcance del proyecto y los tiempos, no se desarrollaron otros sectores con oportunidades de mejora. Sin embargo, otra forma de desperdicio detectada es el movimiento de los operarios que acompañan a los módulos de hojas de vidrio desde el final de línea donde se agrupan en posición vertical hasta el camión que los transporta hacia el stockroom. Actualmente deben asistir este traslado entre 2 operarios debido al movimiento libre en rotación que tiene la carga colgante desde el puente grúa y debido al peso de esta. En esta actividad también juega un papel importante la seguridad del operario. Como próximo paso para continuar con la filosofía kaizen, se considera que puede analizarse la aplicación de módulos o caballetes inteligentes para reemplazar el movimiento acompañado por puente grúa y programar su secuenciación según la producción de modo que el proceso sea más automatizado y estandarizado.

## 8. Bibliografía

La información de este proyecto fue recopilada de distintas páginas web:

- Anuarios - ADEFA. [consulta: 29 octubre 2024]. Disponible en: <https://adefa.org.ar/es/estadisticas-anuarios-interno?id=58>
- Boletines informativos de Blindex sobre seguridad. En: Blindex [en línea]. [consulta: 20 de marzo 2024]. Disponible en: <https://www.blindex.com.ar/boletines/>
- Bono Financiero. En: Puentenet [en línea]. 25 de octubre de 2024. [consulta: 26 octubre 2024]. Disponible en: [https://www.puentenet.com/coti/ampliado/instrumento/BONO\\_GD30](https://www.puentenet.com/coti/ampliado/instrumento/BONO_GD30).
- Cálculo de la tasa WACC. En: Edenor [en línea]. [consulta: 26 octubre 2024]. Disponible en: [https://argentina.gob.ar/sites/default/files/rti-edenor\\_-\\_anexo\\_1.pdf](https://argentina.gob.ar/sites/default/files/rti-edenor_-_anexo_1.pdf)
- Catálogo IRAM para normas relacionadas a utilización de vidrio en construcción. En: IRAM Instituto Argentino de Normalización y Certificación [en línea]. [consulta: 20 marzo 2024]. Disponible en: <https://catalogo.iram.org.ar/>
- Código de edificación de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. En: Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires [en línea]. [consulta: 5 febrero 2024]. Disponible en: [https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/codigo\\_de\\_edificacion\\_-\\_texto\\_ordenado\\_ley\\_6100\\_ley\\_6438.pdf](https://www.buenosaires.gob.ar/sites/gcaba/files/codigo_de_edificacion_-_texto_ordenado_ley_6100_ley_6438.pdf).
- Cuadro Tarifario Edesur. En: Edesur [en línea]. 1 de octubre de 2024 [consulta: 27 octubre 2024]. Disponible en: <https://www.edesur.com.ar/tarifas-cuadro-tarifario/>
- Descripción del vidrio float. En: Vasa [en línea]. [consulta: 03 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.vasa.com.ar/>
- Estándares mínimos para viviendas de interés social. En: Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, Presidencia de la Nación [en línea]. 2019. [consulta: 5 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/if-2019-72275570-apn-dnasyfmi.pdf>
- Fabricación del vidrio. En: Green Eco Era [en línea]. 15 de junio de 2024 [consulta: 19 de agosto de 2024]. Disponible en: <https://greenecoera.com/fabricacion-del-vidrio-para-ninos/>
- Flat Glass Market - By Product (Basic Float, Laminated, Insulating, Tempered), By Application (Automotive [OEM, Aftermarket], Construction [New, Interior, Refurbishment]) & Forecast, 2024-2032. En: Global Market Insights [en línea].

- 
- Junio 2024. [consulta: 28 agosto 2024]. Disponible en:  
<https://www.gminsights.com/industry-analysis/flat-glass-market>.
- Gráfico float. En: Ventana [en línea]. [consulta: 20 de septiembre de 2024].  
Disponible en:  
[https://guia-ventana.com.ar/kalciyan-seminario-del-vidrio/grafico\\_float\\_4/](https://guia-ventana.com.ar/kalciyan-seminario-del-vidrio/grafico_float_4/)
  - Indicadores de producción y consumo. CAMARCO. [consulta: 29 octubre 2024]  
<https://www.camarco.org.ar/indicador/indicadores-de-produccion-y-consumo-largo-plazo/>
  - Información de generadores de vacío. En: Revista de Robots [en línea]. 24 de mayo de 2023. [consulta: 03 febrero 2024]. Disponible en:  
<https://revistaderobots.com/sistemas-de-vacio/tipos-de-generadores-de-vacio/>
  - Informes de prensa. En: Instituto Nacional de Estadística y Censo [en línea]. 2024. [consulta: 10 de octubre de 2024]. Disponible en:  
<https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa>)
  - Las fases de agarre por vacío . En: COVAL [en línea]. [consulta: 1 de octubre de 2024]. Disponible en:  
<https://www.coval-iberica.com/la-tecnologia-de-vacio/guia-de-la-manipulacion-por-vacio/modos-de-actuacion-de-las-ventosas/>
  - Tamaño del mercado de vidrio plano de América Latina y análisis de participación: tendencias y pronósticos de crecimiento (2024 - 2029). Mordor Intelligence. [consulta: 29 octubre 2024]. Disponible en:  
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/latin-america-flat-glass-market>
  - Tipos de cambio. En: Banco Central de la República Argentina. [en línea]. 25 de octubre de 2024 [consulta: 27 de octubre de 2024]. Disponible en:  
[https://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Tipos\\_de\\_cambios.asp](https://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Tipos_de_cambios.asp)
  - Ventosas, Motorizada, Giratoria y Basculante). En: Rial [en línea]. [consulta: 10 de agosto de 2024]. Disponible en:  
<https://www.rial.com.ar/producto/ventosa-para-grua-giratoria-motorizada-basculante-motorizada-604-06gmbm/>
  - VETROTEC. Innovación en la industria del vidrio plano. [consulta: 20 octubre 2024].  
Disponible en:
-

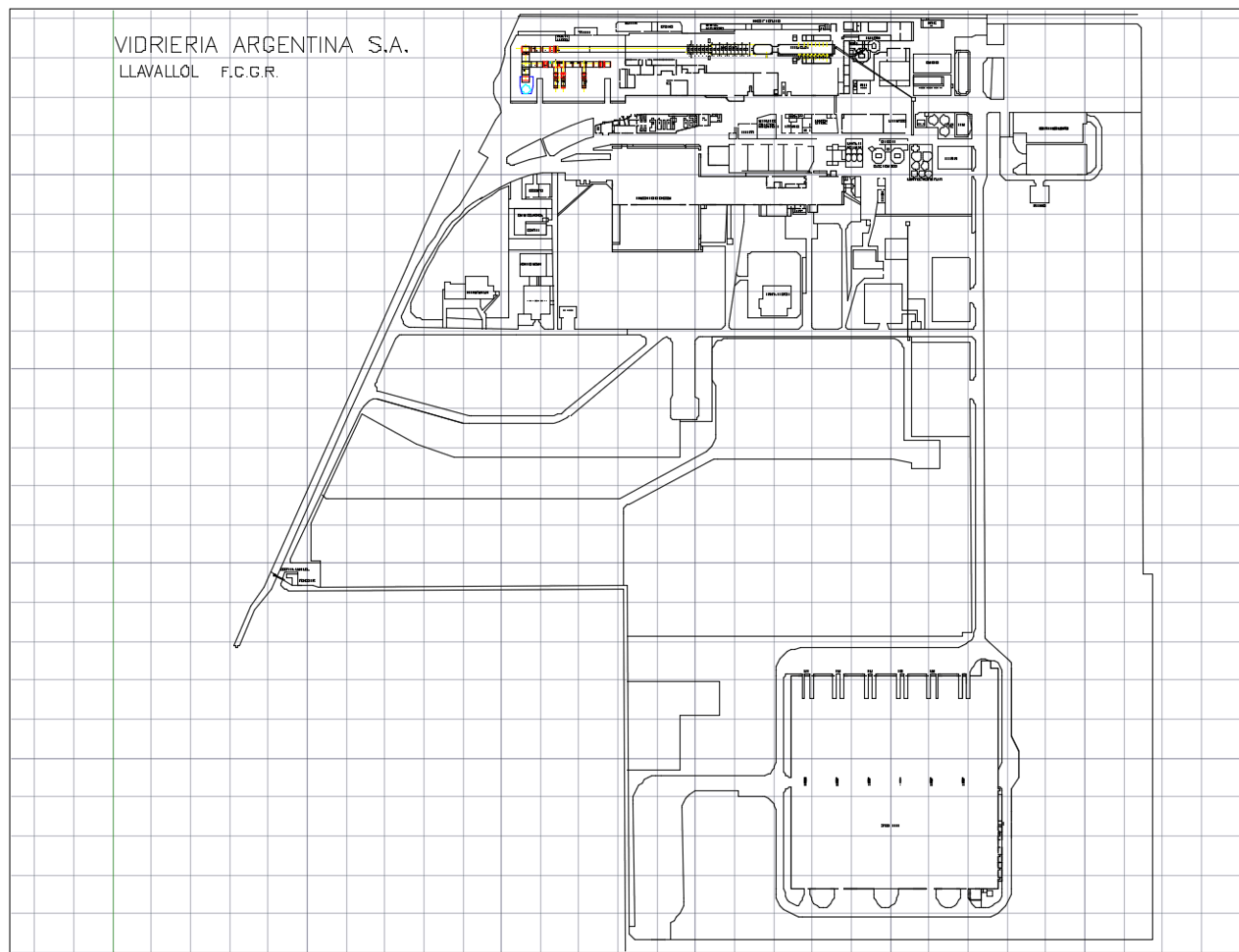
---

<https://www.interempresas.net/Vidrio-plano/Articulos/488827-Vetrotec-innovacion-en-la-industria-del-vidrio.html>

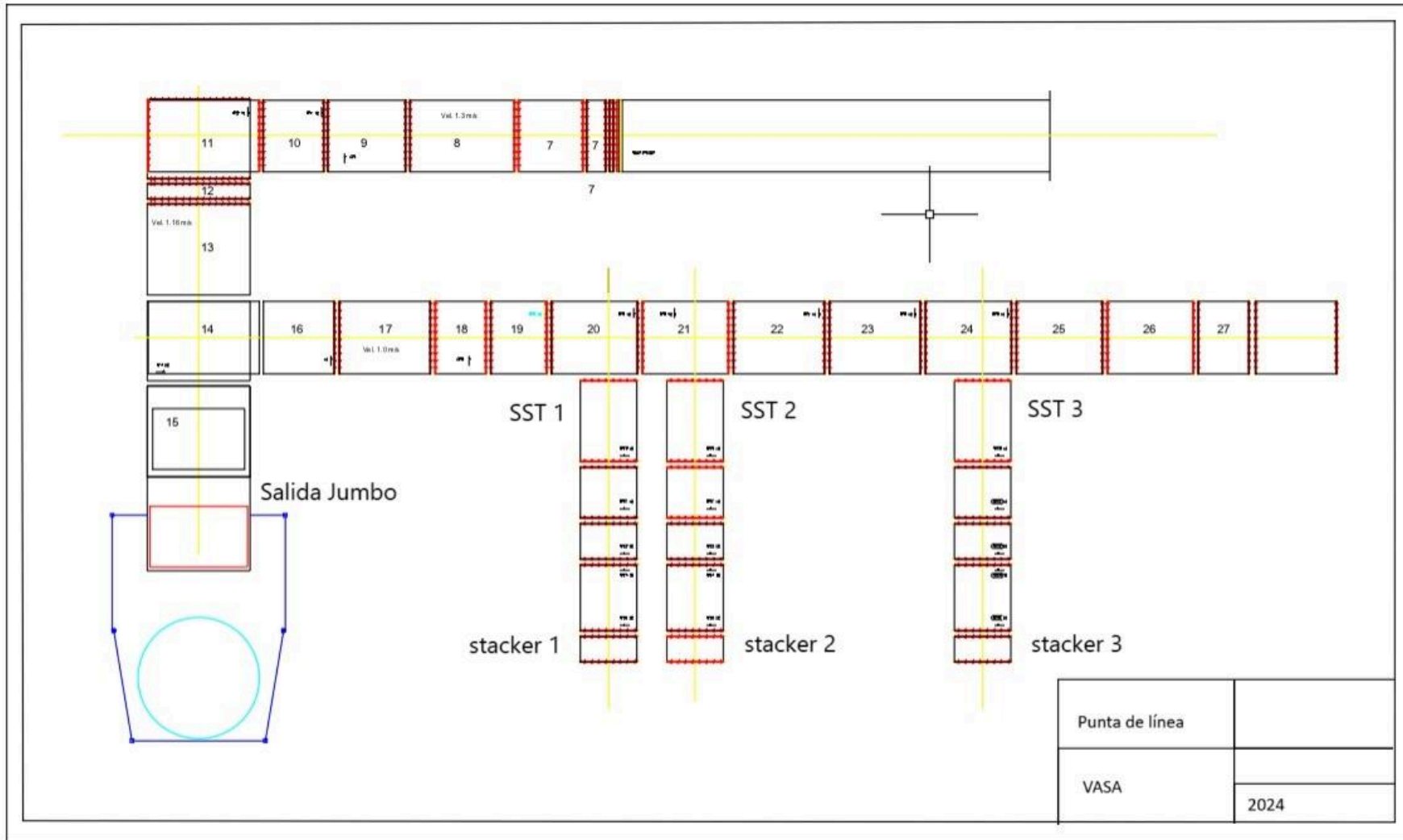
- Vidrio. En: Enciclopedia humanidades [en línea]. 1 de septiembre de 2016. [consulta: 13 marzo 2024]. Disponible en: <https://humanidades.com/vidrio/>
- Vidrio Plano. En: Vitralba [en línea]. [consulta: 03 febrero 2024]. Disponible en: [http://vitralba.com/Old\\_2/vidrio-plano.php](http://vitralba.com/Old_2/vidrio-plano.php)
- WACC: qué es, para qué sirve y cómo calcularlo. En: Quipu blog [en línea]. 21 de noviembre de 2023. [consulta: 20 octubre 2024]. Disponible en: <https://getquipu.com/blog/wacc/>
- ¿Qué es el vidrio y cómo se produce? En: Lenntech [en línea]. [consulta: 14 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/library/glass.htm#ixzz7W0a9cSJh>

9. Anexos

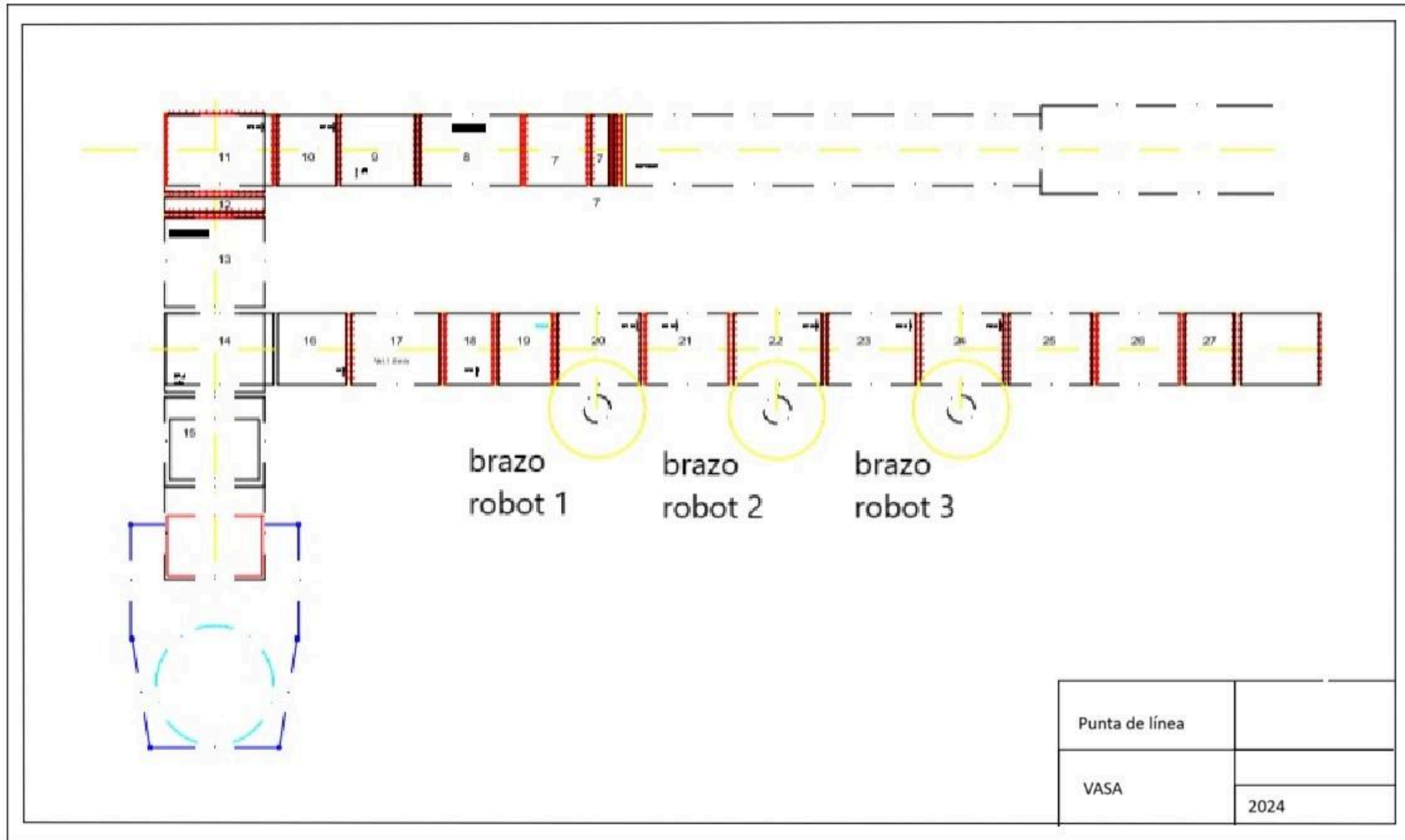
Anexo I. Plano planta VASA Llavallol



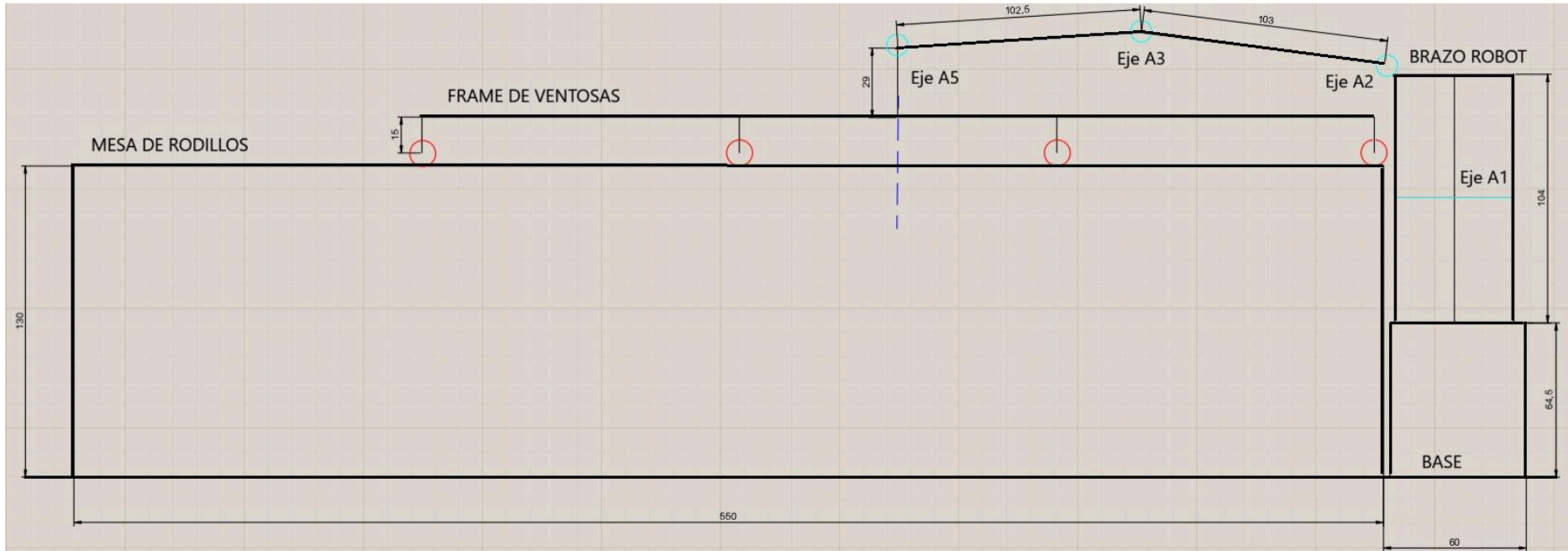
Anexo II. Layout PLF actual



Anexo III. Layout PLF propuesto



Anexo IV. Ilustración brazo robot en mesa



## Anexo V. Gantt de implementación

Tareas a realizar para la implementación del cambio en el brazo robot en la línea de producción de vidrio float.	Estado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
		Estándar			Producción >5mm											Producción Jumbo											Estándar								
Presentación de Gantt de actividades para la instalación	Hecho	█																																	
Capacitación operarios de punta de línea	En progreso	█	█	█																															
Desmantelación de SST 3 + stacker 3 (cambio a producción de espesor >5mm)	No iniciada				█	█	█																												
Adecuación de suelo y traslado de base de hormigón 3	No iniciada							█	█																										
Instalación de brazo robot 3	No iniciada									█																									
Configuración de cuadro de ventosas 3 en brida de acople	No iniciada										█																								
Mediciones, configuración de parámetros y prueba de sistema de vacío	No iniciada										█	█																							
Puesta en operación del brazo robot 3 + controles + ajustes de parámetros	No iniciada											█	█	█																					
Desmantelación de SST 1 y 2 + stacker 1 y 2 (cambio a producción "Jumbo")	No iniciada																█	█	█	█	█														
Adecuación de suelo y traslado de base de hormigón 1 y 2 en simultáneo	No iniciada																						█	█											
Instalación de brazo robot 1 y 2 en simultáneo	No iniciada																							█											
Configuración de cuadro de ventosas 1 y 2 en brida de acople en simultáneo	No iniciada																								█										
Configuración de parámetros y prueba de sistema de vacío 1 y 2 en simultáneo	No iniciada																									█									
Puesta en operación del brazo robot 1 y 2 (cambio a producción necesaria)	No iniciada																																█	█	
Monitoreo de la operación brazo robot 1, 2 y 3	No iniciada																																	█	█
Presentación de resultados obtenidos luego de los cambios	No iniciada																																		█