

# Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



## **Dispositivo de prevención para pérdida de vacío en manipulador de cristal automotriz**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

**Jorge Luis Ramos Esquivel**

Director:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana, Baja California, México  
2019

# **Dispositivo de prevención para pérdida de presión neumática en manipulador de cristal automotriz**

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en  
Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

**Jorge Luis Ramos Esquivel**

y aprobada por el siguiente Comité

---

(Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda)

**Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>**

Nombre completo (miembro del comité)

**Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>**

Nombre completo (miembro del comité)

**Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>**

Nombre completo (miembro del comité)

**Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>**

Nombre completo (miembro del comité)

---

**Dr. Ricardo Martínez Soto**

Coordinador del Posgrado de Ingeniería

*Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor*  
Resumen de la tesis que presenta **Jorge Luis Ramos Esquivel** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería

## **Dispositivo de prevención para pérdida de vacío en manipulador de cristal automotriz**

Resumen aprobado por:

---

Nombre y firma del director

El proyecto fue ideado para dar solución a la pérdida de cristales parabrisas de una camioneta deportiva durante el proceso de ensamblaje. En planta es utilizado un herramental manipulador con tecnología de vacío para sujetar mediante ventosas el cristal y poder ensamblarlo en el chasis del vehículo.

La falla consistía en la pérdida de vacío en alguna de las dos ventosas existentes en el modelo de manipulador original, si ambas ventosas no hacían contacto total sobre la superficie el vacío era perdido y con ello el cristal caía al piso.

Una investigación documental y de campo permitió proponer un nuevo diseño de manipulador herramental a prueba de pérdida de vacío, con un tiempo de sujeción en las ventosas posterior a un cierre de presión neumática en el sistema. Para lograrlo fue propuesto el uso de ventosas planas, válvulas antirretornos, sensores de presión y vacío cercanos a las ventosas y un diseño orientado en torno al centro de gravedad del cristal.

La metodología fue conformada por cuatro etapas las cuales fueron: cálculo del centro de gravedad, desarrollo de un diseño en solidworks, fabricación del manipulador y un experimento para evaluar la efectividad.

Finalmente, el nuevo diseño de manipulador cumplió con los objetivos propuestos en la investigación logrando disminuir en un 99.2% las caídas de cristales por pérdida de vacío y garantizando un agarre en promedio de 4.5 minutos posterior a un cierre o pérdida de alimentación neumática en el sistema.

**Palabras clave:** Tecnología de vacío, ventosas, centro de gravedad, válvula antirretorno, manipulación de cristales automotrices.

Abstract of the thesis presented by **Jorge Luis Ramos Esquivel** as a partial requirement to obtain the master's degree in Engineering & Innovation with orientation in Design and Manufacturing.

**Dispositivo de prevención para pérdida de vacío en manipulador de cristal  
automotriz**

Abstract approved by:

---

Director thesis

The project was developed to solve the loss of windshield glass of a sports pickup during the assembly process. In the plant a manipulative tooling with vacuum technology is used to hold the glass by means of suction cups and to be able to assemble it in the chassis of the vehicle.

The fault consisted of the loss of vacuum in one of the two existing suction cups in the original manipulator model, if both suction cups did not make full contact on the surface the vacuum was lost and with the glass fell to the floor.

A documentary and field investigation allowed us to propose a new design of a vacuum-manipulated tool manipulator, with a clamping time in the suction cups after a pneumatic pressure closure in the system. To achieve this, the use of flat suction cups, check valves, pressure and vacuum sensors close to the suction cups and a design oriented around the center of gravity of the glass was proposed.

The methodology was made up of four stages which were: calculation of the center of gravity, development of a design in solidworks, fabrication of the manipulator and an experiment to evaluate the effectiveness.

Finally, the new manipulator design fulfilled the objectives proposed in the investigation, reducing the falls of crystals by 99.2% by loss of vacuum and guaranteeing an average grip of 4.5 minutes after a closure or loss of pneumatic supply in the system.

**Keywords:** Vacuum, vacuum suction cups, center of gravity, check valves, pressure and vacuum sensors.

## **Dedicatoria**

A mi hermano Alejandro, así como también a mis padres Leonardo y Alma por su incansable apoyo en todos mis proyectos personales, motivándome e impulsándome a cumplir mis objetivos y por hacer posible la realización de mi formación académica.

A mi novia Ana Karen por su compañía y apoyo durante mi etapa como estudiante de licenciatura y de posgrado.

## **Agradecimientos**

Gracias a CETYS por ser mi casa de estudios durante seis años, apoyarme durante la universidad con beca deportiva y por canalizarme en posgrado con CONACYT.

A CONACYT por otorgarme el beneficio y el apoyo económico de la beca nacional con número 638368 la cual me brindó la posibilidad de estudiar la Maestría en Ingeniería e Innovación en Cety's Universidad.

Gracias a MAQUIPRE SA DE CV por permitirme desarrollar mi proyecto de aplicación, brindarme datos confidenciales y por el préstamo de maquinaria para el desarrollo de este.

Al Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda por la tutoría, revisiones, consejos y observaciones durante el desarrollo de esta tesis, lo cual fue fundamental para poder culminar esta obra.

## Tabla de contenido

	Página
<b>Resumen español</b> .....	ii
<b>Resumen inglés</b> .....	iii
<b>Dedicatorias</b> .....	iv
<b>Agradecimientos</b> .....	v
<b>Lista de figuras</b> .....	vi
<b>Lista de tablas</b> .....	vii
<b>Capítulo 1. Introducción</b>	
1.1 Introducción.....	1
<b>Capítulo 2. Antecedentes</b>	
2.1 Manipulación de cristales automotrices.....	2
2.2 Equipo neumático para sistema de vacío.....	5
2.3 Condiciones iniciales del manipulador .....	6
<b>Capítulo 3. Definición del problema</b>	
3.1 Justificación.....	7
3.2 Pregunta de investigación.....	7
3.3 Hipótesis.....	7
3.4 Objetivos.....	8
<b>Capítulo 4. Metodología</b>	
4.1 Centro de gravedad del cristal .....	9
4.2 Diseño del manipulador .....	9
4.3 Fabricación del manipulador.....	9
4.4 Experimento para evaluar el nuevo diseño .....	10

<b>Capítulo 5. Resultados</b>	
5.1 Cálculo del centro de gravedad y selección de elementos ...	11
5.2 Desarrollo del diseño CAD .....	14
5.3 Fabricación del dispositivo manipulador.....	17
5.4 Desarrollo de experimentos para evaluar el nuevo diseño.....	19
<b>Capítulo 6. Discusión de resultados</b>	22
<b>Capítulo 7. Conclusiones</b>	23
<b>Referencias bibliográficas</b>	24



## Lista de figuras

Figura		Página
1	Funcionamiento de un generador de vacío con eyectores .....	3
2	Manejo del material con el principio del vacío .....	4
3	Centro de gravedad del cristal y eje de simetría .....	12
4	Ventosas rectangulares Microlex .....	13
5	Ubicación sugerida para ventosas auxiliares.....	14
6	Actuador Vaculex ML122.....	15
7	Pieza para ensamblaje de ventosas redondas .....	16
8	Ensamblaje del herramental manipulador .....	16
9	Elementos neumáticos .....	17
10	Ensamblaje de ventosas en el herramental .....	18
11	Gráfica de resultados para la prueba post cierre neumático. ....	19
12	Gráfica de probabilidad normal para la muestra de datos .....	20

## Lista de tablas

Tabla		Página
1	Propiedades Físicas Parabrisas .....	11
2	Resultados Z de una muestra .....	21
3	Rechazos en producción enero contra julio.....	21



# Capítulo 1. Introducción

---

En una planta de ensamblaje automotriz donde son armadas doscientas camionetas al día, específicamente durante el ensamblaje del cristal parabrisas existe una pérdida del 15% equivalente a un promedio de ocho a nueve cristales dañados y rotos por día.

El manejo del cristal durante el ensamblaje es de forma manual, utilizando un herramental manipulador a base de neumática y tecnología de vacío. Por medio de ventosas alimentadas con un generador de vacío, es realizada la sujeción del cristal hasta colocarlo sobre el chasis de la camioneta.

Sin embargo, el modelo de manipulador presenta pérdidas de succión en las ventosas, esto a su vez genera una interrupción en el sistema de vacío y con ello las caídas prematuras del cristal, dañándolo o quebrándolo según sea el caso.

El propósito es desarrollar un nuevo modelo de manipulador basado igualmente en tecnología neumática, pero reduciendo las pérdidas de vacío, los daños de manipulación sobre el cristal y las caídas de este.

Conceptos claves para mejorar el desempeño del manipulador son el tipo de ventosa empleada, la distancia existente entre el generador de vacío y los sensores de presión neumática, el centro de gravedad y de masa del cristal resulta crítico para poder determinar dónde y cuantas ventosas emplear en el nuevo diseño.

El tipo de válvula para la seguridad del sistema neumático debe ser una de tipo antirretorno evitando la pérdida de presión en el sistema ante posibles fallas en la alimentación neumática.

Una vez desarrollado el nuevo prototipo, es importante realizar pruebas de campo para validar si efectivamente cumplió con los objetivos propuestos. Pruebas estadísticas como intervalos de confianza y prueba Z para una muestra permitirán contrastar el desempeño del viejo modelo contra el nuevo.

La importancia del desarrollo del proyecto toma relevancia al considerar el precio unitario de cada cristal, el cual es de 300 dólares. Por lo cual la meta es ahorrar dos mil setecientos dólares diarios al eliminar dichas pérdidas.

## Capítulo 2. Antecedentes

---

### 2.1 Centro de gravedad de un cuerpo

El centro de gravedad de algún objeto es aquel punto donde están concentradas todas las fuerzas gravitatorias aplicadas sobre él. Si el cuerpo analizado es simétrico y homogéneo, el centro de gravedad estará localizado en el centro geométrico. (Pérez, H, 2015)

Si algún cuerpo es suspendido de cualquier punto, habrá un balanceo. El único modo de mantenerlo en equilibrio es alinear el centro de gravedad a una línea vertical directamente por abajo del punto del cual está suspendido. Para fines prácticos tanto el centro de gravedad como el centro de masa de un cuerpo son considerados en la misma coordenada. (Giancoli, D. 2006)

### 2.2 Manipulación de cristales automotrices

La industria automotriz manipula diferentes componentes durante el proceso de ensamblaje, la elección de la tecnología y metodología para el manejo depende de las propiedades del objeto y la dinámica involucrada en los movimientos. También, es necesario considerar conceptos como la porosidad del material, temperatura, tamaño, forma, peso y la dirección de movimiento, si será cargado, sujetado o presionado (Schneider,2002).

El enfoque de esta investigación fue el cristal parabrisas de una camioneta deportiva con forma curva, buscando evitar cualquier marca sobre el material cargándolo y moviéndolo en el eje vertical y horizontal para ensamblarlo luego en el chasis. Un componente como el parabrisas no debe de caerse durante el proceso de ensamble y la pérdida de presión neumática para la sujeción es crítica. Estas restricciones requieren emplear una sujeción sin presión ni contacto sólido a sólido para manipular el cristal. En consecuencia, los sujetadores mecánicos y electromagnéticos no satisfacen las necesidades del proyecto.

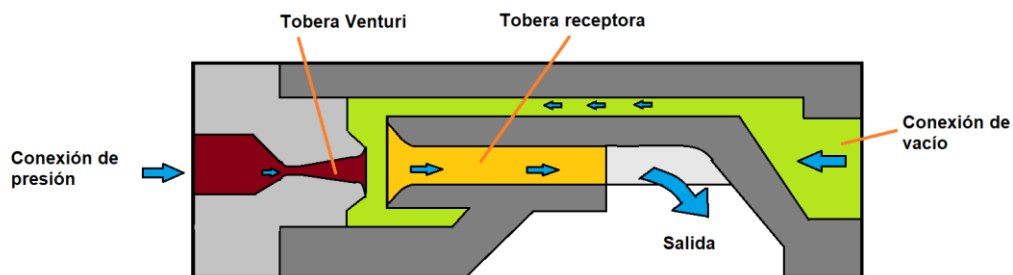
El vacío es denominado el estado de un gas en el cual la densidad de sus partículas es menor a la de la atmósfera terrestre. Por norma, en neumática el vacío es identificado

con un valor negativo (medido con respecto a la presión ambiente) y su unidad de medida es el bar (FESTO, 2019).

La tecnología neumática de vacío y las ventosas de manipulación permiten un buen manejo si la superficie del objeto es lisa, plana o curva y sin dañar el material. Las ventosas son el dispositivo de sujeción, tienen forma redonda y están hechas de materiales elastómeros o plásticos blandos (Nee, 2014).

La presión debajo de la ventosa es menor a la atmosférica permitiendo mantenerla pegada hacia el objeto. La baja presión neumática bajo la ventosa es generada y mantenida por un sistema de vacío encargado de evacuar la mayoría del aire en el sistema (Schneider, 2002).

El método de los eyectores de vacío funciona conforme al principio de Venturi. El aire comprimido avanza desde la conexión de presión hacia el eyector. Gracias a la reducción del diámetro en la tobera Venturi aumenta la velocidad de circulación del aire hasta llegar a la velocidad del sonido. Después de salir el aire por la tobera receptora, se produce un vacío en la cámara ubicada entre la tobera Venturi y la tobera receptora generando aspiración de aire desde la conexión de vacío. El vacío que puede obtenerse de los eyectores es de unos -84 kPa (Creus A, 2007; Festo 2018). Tal como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Funcionamiento de un generador de vacío con eyectores. Fuente: Elaboración propia adaptada de (Festo, 2018).

Los sistemas de eyectores cuentan con accesorios como filtro de succión, válvula de alimentación de aire para generar vacío, silenciador y una cámara de vacío provista de labios para adherirse al objeto.

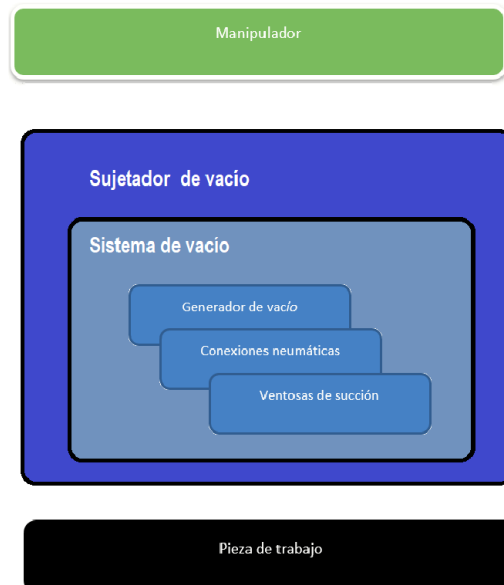
La fuerza de la ventosa es directamente proporcional a la presión de vacío y al área de la ventosa. La fuerza se calcula bajo la siguiente fórmula:

$$F (\text{Fuerza}) = P (\text{Presion}) * A (\text{área})$$

(1)

(Creus A. 2007)

El proceso típico de manipulación con vacío inicia al mover y colocar el actuador final (ventosa) sobre el objeto, posteriormente la sujeción es realizada y comienzan a tomarse mediciones del nivel de vacío, que proporcionan información acerca del número de ciclos y calidad de agarre. Esta información proveniente del sensor de vacío es enviada al generador de vacío. Tal como es representado en la Figura 2.



**Figura 2.** Manejo del material con el principio del vacío. Fuente: Elaboración propia adaptada de (Straub & Gsame, 2018).

Existen generadores de vacío integrados junto con el sensor de vacío, sin embargo, en las aplicaciones con líneas neumáticas largas, la presión neumática varía entre el punto de medición (donde está colocado el sensor de vacío) y el punto de contacto con el objeto (ventosa de vacío). Esto genera caídas del objeto y levantamientos prematuros del mismo. Es recomendable ubicar el sensor de vacío lo más cerca posible del actuador final (Straub & Gsame, 2018).

La tarea de manipular objetos mediante vacío y ventosas abre un abanico amplio de opciones en cuanto a la elección de la ventosa y el material. Las ventosas con geometría cóncava ayudan para aplicaciones donde se busca sujetar piezas curvas. Por otro lado, las ventosas con contorno ovalado se utilizan para manipular piezas con superficie de adsorción limitada (SMC, 2017).

Las ventosas planas son útiles para superficies planas y rígidas, generalmente objetos no porosos como láminas de vidrio y aluminio. La opción de integrar doble labio incrementa la seguridad previniendo el desgarro del labio interior. (SMC, 2017; PIAB, 2019).

### **2.3 Equipo neumático para sistema de vacío**

Los sensores de presión son parte fundamental para el enfoque del proyecto. Estos sensores proveen información de presión, vacío, regulación, y detección de objetos mediante presión dinámica. Además, incorporan ajuste del punto de conmutación mediante botones y montaje de fácil adaptación a las ventosas (FESTO, 2018).

Existen soluciones por parte de especialistas como Piab, quienes han desarrollado un material denominado Duraflex, constituido de poliuretano destaca por su fuerza, elasticidad y resistencia al desgaste. Piab ofrece una característica única en las ventosas de vacío: doble dureza con un cuerpo duro y estable además incorpora labios suaves y flexibles (PIAB AB, 2019).

Por otro lado, Piab maneja una línea enfocada al manejo de láminas lisas grandes tanto de cristal como de metal. Destaca el diseño plano de la ventosa, el material es nitrilo-



PVC presenta alta resistencia contra la abrasión y reduce el riesgo de marcas en el material manipulado. El patrón en la cara interna de la ventosa reduce el riesgo de caída durante la manipulación de láminas de vidrio (PIAB AB, 2019).

Al diseñarse un sistema de manipulación para cristales parabrisas, existen consideraciones para el sistema de vacío. La opción de establecer un sistema centralizado o descentralizado ofrece ventajas y contras en diversos aspectos.

Un sistema centralizado ofrece sencillez al poseer un solo generador de vacío, el mantenimiento resulta sencillo por la misma razón, pero si presenta fallas el generador todo el sistema cae. Por otro lado, un sistema descentralizado requiere coordinar múltiples generadores de vacío y válvulas representando mayor tarea de mantenimiento sin embargo si presenta falla en alguna ventosa o en los generadores no repercutirá en el resto del sistema (Schneider, 2002).

Especialistas en neumática como Festo, ofrecen válvulas con retención de vacío. Cuando están conectadas varias ventosas al mismo generador, y alguna de ellas pierde el vacío, el resto no fallara gracias al bloqueo automático del aire aspirado por parte de la válvula de retención. Si la pieza vuelve a hacer contacto el vacío es conectado nuevamente (SMC, 2017).

## **2.4 Condiciones iniciales del manipulador**

Para el ensamblaje de la camioneta deportiva, existe un dispositivo de manipulación con vacío, pero tiene el problema de caídas prematuras en la manipulación del cristal parabrisas ocasionado por un mal agarre de la ventosa, por la dinámica de los movimientos y en ocasiones mala operación de los usuarios. El sistema neumático resulta ser poco robusto.

El cristal tiene medidas de 1500 mm x 720 mm x 5 mm de espesor y un peso de 13.5 kg. La producción en planta es de 200 camionetas diarias, 66 ensamblajes son realizados en cada turno de 8 hrs, lo cual arroja un promedio de 8 ensambles por hora. Existe una pérdida de cristales del 15% gracias a la caída de presión neumática en el sistema de vacío. Entre 8 y 9 cristales al día se caen.

## **Capítulo 3. Definición del problema**

---

### **3.1 Justificación**

El problema radica en la falta de sujeción del cristal parabrisas mediante la técnica de vacío provocando una pérdida de 9 unidades diarias con costo unitario mayor a los 300 dólares. Estos 2700 dólares diarios generan la necesidad de replantear el diseño neumático e incorporar mejores técnicas de manipulación y componentes garantizando disminuir las caídas a 2 ejemplares diarios como máximo. Un requerimiento extra, en base a la misión de cero errores del fabricante es el de implementar un sistema de seguridad permitiendo sostener el cristal incluso si hay una pérdida total de presión neumática en el sistema. El darle un par de minutos al operador para retirar el cristal de las ventosas ante una pérdida inminente de presión es un factor de seguridad deseable en el dispositivo.

### **3.2 Pregunta de investigación**

En base a las pérdidas generadas por los cristales caídos, es prioridad disminuir la falla mediante un rediseño del manipulador, proponer nuevos elementos de control neumático, actuadores, y analizar los materiales involucrados en el contacto con el cristal. Por lo cual surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué diseño aplicador de cristal automotriz es a prueba de pérdida de presión neumática y permite manipular el cristal sin dañarlo?

### **3.3 Hipótesis**

En base al marco teórico presentado en esta investigación, es posible plantear una serie de actuadores, elementos neumáticos y consideraciones de diseño para resolver el problema actual en el manipulador.

Hipótesis alternativa: Un aplicador con ventosas planas asistidas con válvulas antirretorno incorporando sensores de vacío cercanos a las ventosas y estas posicionadas en el centro de gravedad del cristal previene la caída por pérdida de presión.

Hipótesis nula: Un aplicador con ventosas planas asistidas por válvulas antirretorno, sensores de vacío cercanos a las ventosas y estas posicionadas en el centro de gravedad del cristal no puede prevenir la caída por pérdida de presión.

### **3.4 Objetivos**

Objetivos generales: El objetivo general es mantener el vacío en las ventosas por más de dos minutos en el caso de no tener presión, lo cual brinda tiempo al operador para retirar el cristal y evitar la caída del material.

Objetivos específicos: El primer objetivo específico es reducir los daños de manipulación en el cristal a un cero por ciento. Otro objetivo es reducir las fugas de vacío en las ventosas a un cero por ciento.

## **Capítulo 4. Metodología**

---

La metodología en esta investigación es de tipo documental y de campo, desarrollándose de la siguiente manera.

### **4.1 Centro de gravedad del cristal**

La primera etapa es calcular el centro de gravedad del cristal, para posteriormente decidir donde situar las ventosas de aire. Adicionalmente el tipo de ventosa, su material y los elementos neumáticos de control deben ser elegidos. Con esta fase quedan definidos los elementos neumáticos y donde colocar las ventosas.

### **4.2 Diseño del manipulador**

Posteriormente utilizando el software SolidWorks el diseño CAD del manipulador y la estructura es desarrollado, integrando todos los elementos neumáticos de control y actuadores.

### **4.3 Fabricación del manipulador**

El maquinado y fabricación de la estructura para el manipulador es realizada con máquinas fresadoras y torno convencional. El material debe ser perfil de aluminio extruido aleación 6360 y elementos de acero rolado en frio aleación 1018 cumpliendo con los estándares ASTM A29, A108.

### **4.4 Experimento para evaluar el nuevo diseño**

Para probarla efectividad del nuevo diseño, el siguiente experimento es propuesto. Encima de una mesa es colocado un colchón y arriba el cristal parabrisas, posteriormente es activado el manipulador neumático y el cristal parabrisas es tomado por las ventosas mediante la técnica de vacío. La norma es elevar el cristal diez centímetros por encima del colchón, una vez alcanzada la altura, la presión neumática en todo el sistema es interrumpida. Con un cronómetro calibrado con certificación NIST (National Institute of Standards and Technology) por sus siglas en inglés, el tiempo es

registrado hasta obtener la pérdida total de succión por parte de las ventosas. Si el tiempo supera dos minutos la prueba es declarada como exitosa.

Como mínimo para una distribución estadística de tipo normal, el número de repeticiones para el experimento será de treinta. Todos los tiempos registrados serán tabulados. Posteriormente la media muestral es calculada para aplicar un intervalo de confianza con nivel de significancia para Alpha del cinco por ciento, lo cual construye un noventa y cinco por ciento de confiabilidad.

Con el cálculo del intervalo, el objetivo es declarar un mínimo y un máximo de valores que contengan la media del tiempo de succión en la ventosa aun cuando no hay presión neumática en el sistema. El noventa y cinco por ciento de las muestras estarán contenidas en dicho intervalo el cual debería ser superior a los dos minutos.

Una vez determinado el intervalo de confianza, el nuevo diseño de manipulador correrá treinta días de producción, los datos colectados durante esos treinta días serán exclusivamente el número de rechazos y caídas de cristal. La muestra colectada será comparada contra treinta días de producción del antiguo diseño de manipulador, ambas muestras servirán para construir una prueba de muestras T pareada para determinar si efectivamente disminuyeron las caídas de cristal por pérdida de presión neumática con el nuevo diseño.

La herramienta estadística para el desarrollo de los cálculos será el software MiniTab 18 generando gráficos de apoyo visual para la exposición de los resultados en esta investigación.

## Capítulo 5. Resultados

---

### 5.1 Cálculo del centro de gravedad y selección de elementos neumáticos.

Las consideraciones de diseño para el herramental manipulador sugieren ubicar las ventosas alrededor del centro de gravedad del cristal, con el fin de conseguir estabilidad si el herramental está en reposo, también durante los movimientos rutinarios en el eje vertical y horizontal al momento de realizar el montaje del cristal en el chasis.

El cristal parabrisas es simétrico y homogéneo en su composición, por lo tanto, la literatura sugiere localizar el centro de gravedad en el centro geométrico, sin embargo, para averiguar la exactitud en el caso de aplicación es recomendable utilizar una herramienta de diseño tipo CAD.

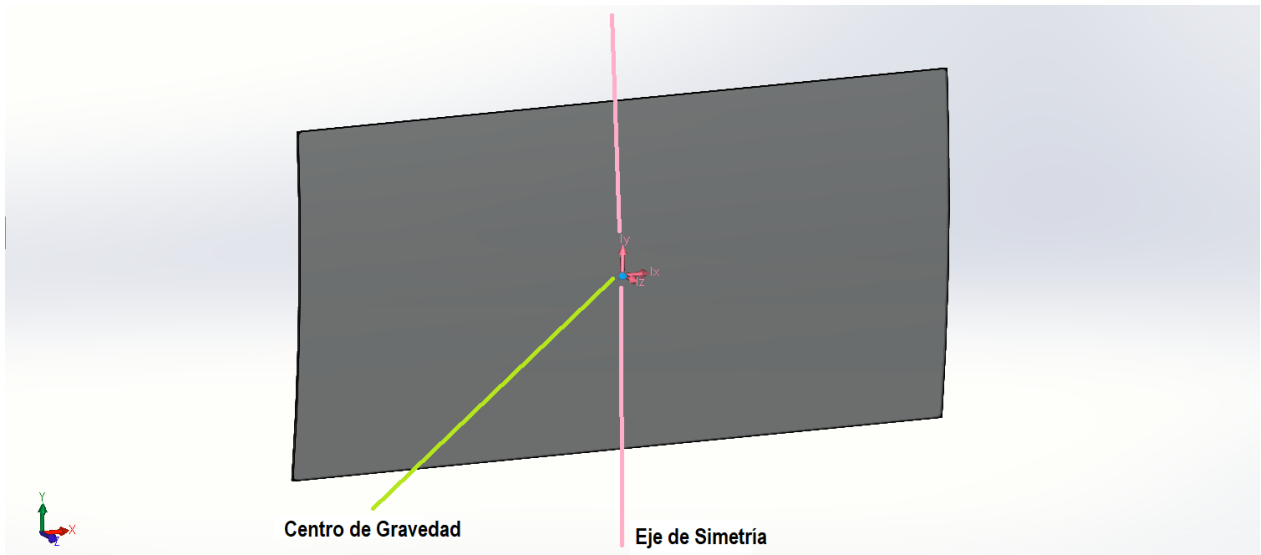
Solid Works es el software de diseño empleado para el desarrollo del manipulador, haciendo uso del comando Herramientas>Calcular>Propiedades Físicas... es posible obtener información acerca del modelo sólido del parabrisas por ejemplo la masa, dimensiones, densidad y el centro de gravedad del objeto.

Los resultados fueron muy cercanos a lo mencionado por la literatura y están concentrados en la tabla 1.

**Tabla 1.** Propiedades Físicas Parabrisas. Fuente: Elaboración propia con SolidWorks, 2019.

<i>Volumen</i>	10809164.16 milímetros cúbicos
<i>Masa</i>	10809.16 gramos
<i>Área de superficie</i>	4367973.64 milímetros cuadrados
<i>Centro de masa</i>	X=1.00
	Y=0.48
	Z=-7.68

El centro de masa y de gravedad del cristal están ubicados un milímetro a la derecha y medio milímetro hacia arriba del centro geométrico por lo cual es aceptable asumir su ubicación en el centro geométrico del cuerpo tal como sugiere la literatura en la sección 2.1 *Centro de gravedad de un cuerpo*. Gráficamente estos conceptos son explicados en la figura 3.

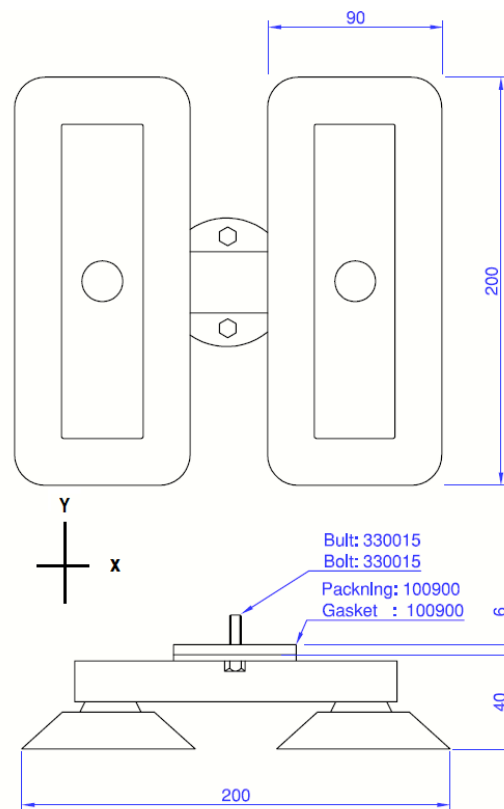


**Figura 3.** Centro de gravedad del cristal y eje de simetría. Fuente: Elaboración propia con SolidWorks 2019.

Las ventosas deben ubicarse alrededor del centro de gravedad y también de manera simétrica con respecto al eje. De acuerdo con las necesidades del cliente.

El cliente originalmente contaba con un aditamento de la marca Piab, el modelo Vaculex ML122 es un actuador con movilidad en el eje vertical, ensamblado comúnmente sobre un brazo mecánico. La altura mínima de carga del actuador es de 762 mm sobre el nivel del piso, y la altura máxima alcanzada es de 1778mm sobre el nivel del piso.

El paquete adquirido por el cliente integraba ventosas planas rectangulares sin embargo dichas ventosas presentaban la falta de succión y de agarre con el cristal. El plano de las ventosas está a continuación en la figura 4.



**Figura 4.** Ventosas rectangulares Microlex. Fuente: Vaculex PIAB GROUP, 2019.

A partir del centro geométrico del cristal las ventosas planas rectangulares están a 55 mm en el eje x. Debido a políticas del cliente la marca para el equipo neumático debe ser japonesa, por lo tanto, analizando el mercado, la opción para las nuevas ventosas es de la marca SMC.

La ventosa seleccionada fue de la familia ZPT descrita por el fabricante como ideal para aplicaciones de vacío en objetos pesados, y con superficies grandes. El modelo en concreto es ZPT80HBN, sus características destacadas son doble fuelle, conexión vertical de vacío, gran variedad de diámetros para la ventosa y goma de nitrilo para la composición de la ventosa.

Por otro lado, debido a las condiciones reducidas de espacio y al dinamismo en operación con el herramental manipulador resulta útil integrar válvulas de retención en línea y con conexión directa a las mangueras neumáticas. La serie AKH integra todas esas características en un diseño práctico y sencillo.

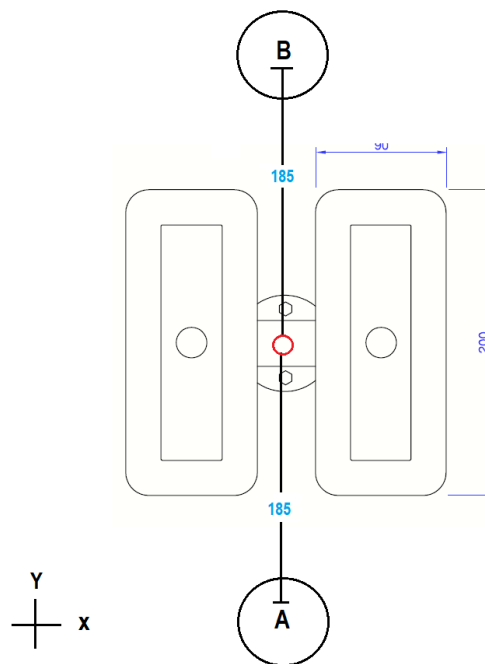
Para el generador de vacío, el requisito era un generador compacto para facilitar el montaje, alta eficiencia y fácil integración con el paquete típico de accesorios como filtro



de succión y silenciador de escape. El modelo ZL212 fue el seleccionado para la generación de vacío.

## 5.2 Desarrollo del diseño CAD

Partiendo de las dimensiones existentes en el herramental manipulador, es factible proponer dos ventosas extras y dispuestas de manera simétrica en el eje y. La distancia es ejemplificada en la figura 5.

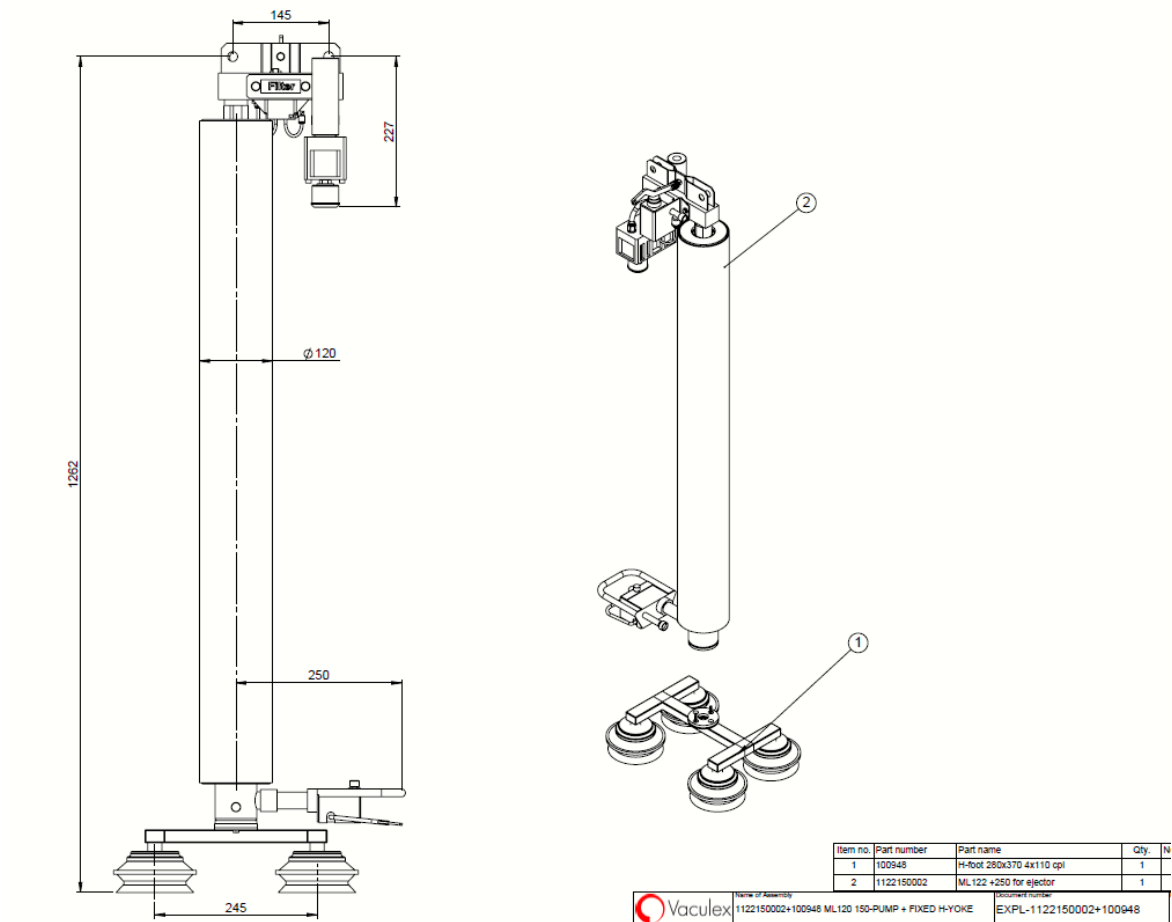


**Figura 5.** Ubicación sugerida para ventosas auxiliares. Fuente: Elaboración propia adaptada de Vaculex PIAB GROUP, 2019.

La medida propuesta es de 185 mm a partir del centro de gravedad, tanto para la ventosa A como para la ventosa B. Estas dos ventosas serán las encargadas de evitar la pérdida de succión aun si hay ausencia de presión neumática en el sistema.

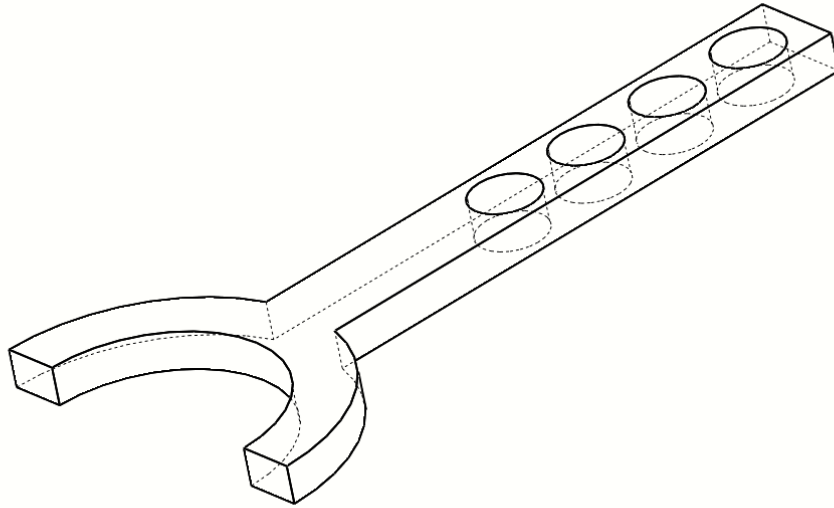
El software de diseño es SolidWorks y ahí fueron desarrollados los modelos de cada pieza del ensamble final. De igual manera algunos modelos, en especial accesorios neumáticos fueron descargados de las paginas oficiales del proveedor.

El punto de partida para desarrollar el diseño fue el actuador Vaculex ML122, y su estructura del herramental manipulador con las ventosas rectangulares. Todo el conjunto fue adquirido previamente por el cliente y es mostrado en la figura 6.



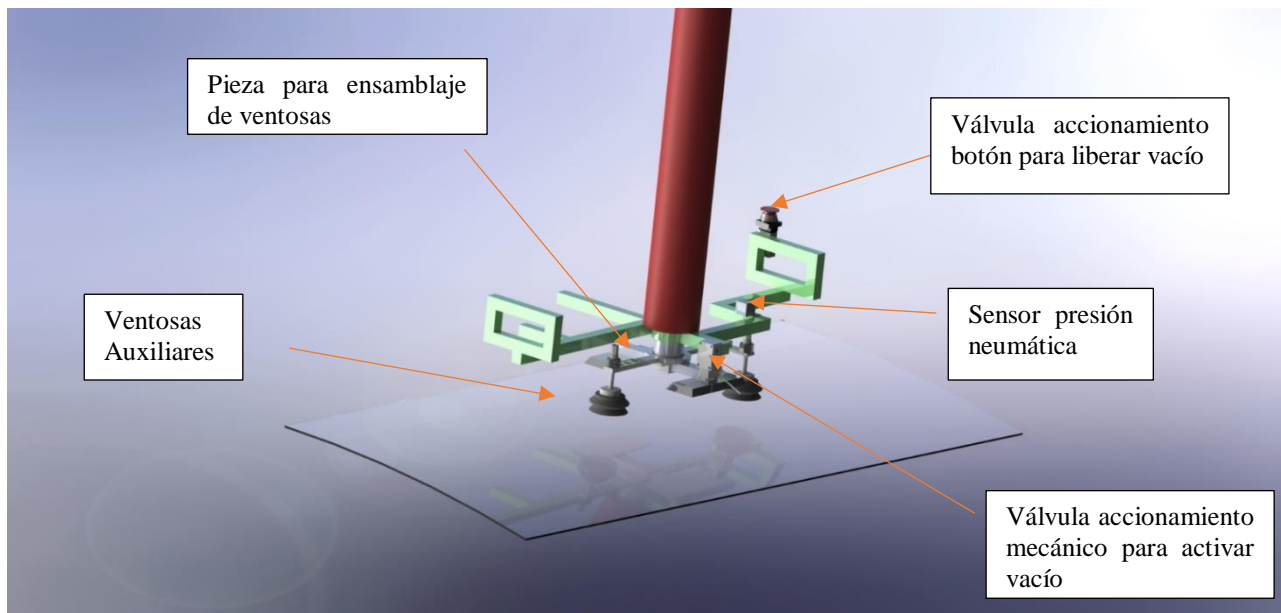
**Figura 6.** Actuador Vaculex ML122. Fuente: Vaculex PIAB GROUP, 2019.

En base a las medidas del diámetro del cilindro del actuador fue diseñada una pieza con ajuste al radio del diámetro, incorporando una extensión en el eje “y” incorporando cuatro barrenos de fijación, ofreciendo flexibilidad para poder ensamblar ahí las ventosas redondas seleccionadas previamente (SMC ZPT80HBN). El material sugerido para la fabricación de la pieza es aluminio 6061 un modelo endurecido con excelentes propiedades de maquinabilidad, resistencia a la corrosión y anodizado. El sólido de la pieza aparece en la figura 7.



**Figura 7.** Pieza para ensamblaje de ventosas redondas. Fuente: Elaboración propia con SolidWorks, 2019.

Posteriormente, las ventosas fueron ensambladas en los barrenos y las piezas ajustadas al diámetro del actuador. La siguiente etapa en el desarrollo del diseño fue descargar los modelos para el sensor de presión neumática, la válvula con actuador mecánico encargada de habilitar el vacío cuando entra en contacto con el cristal y la válvula de paso con botón actuador para liberar el vacío en el dispositivo. Todos los modelos fueron ensamblados como aparecen en la figura 8.



**Figura 8.** Ensamblaje del herramental manipulador. Fuente: Elaboración propia con SolidWorks, 2019.

Adicionalmente fue desarrollado el diseño del generador de vacío junto con las válvulas de accionamiento directo en un subensamble separado. El subensamble iría colocado en la parte superior del actuador Vaculex junto a los filtros de aire y generadores de vacío de este.

El ensamble general fue mostrado al cliente como un modelo del proyecto propuesto y una vez fue autorizado por el cliente inició la etapa de fabricación.

### 5.3 Fabricación del dispositivo manipulador.

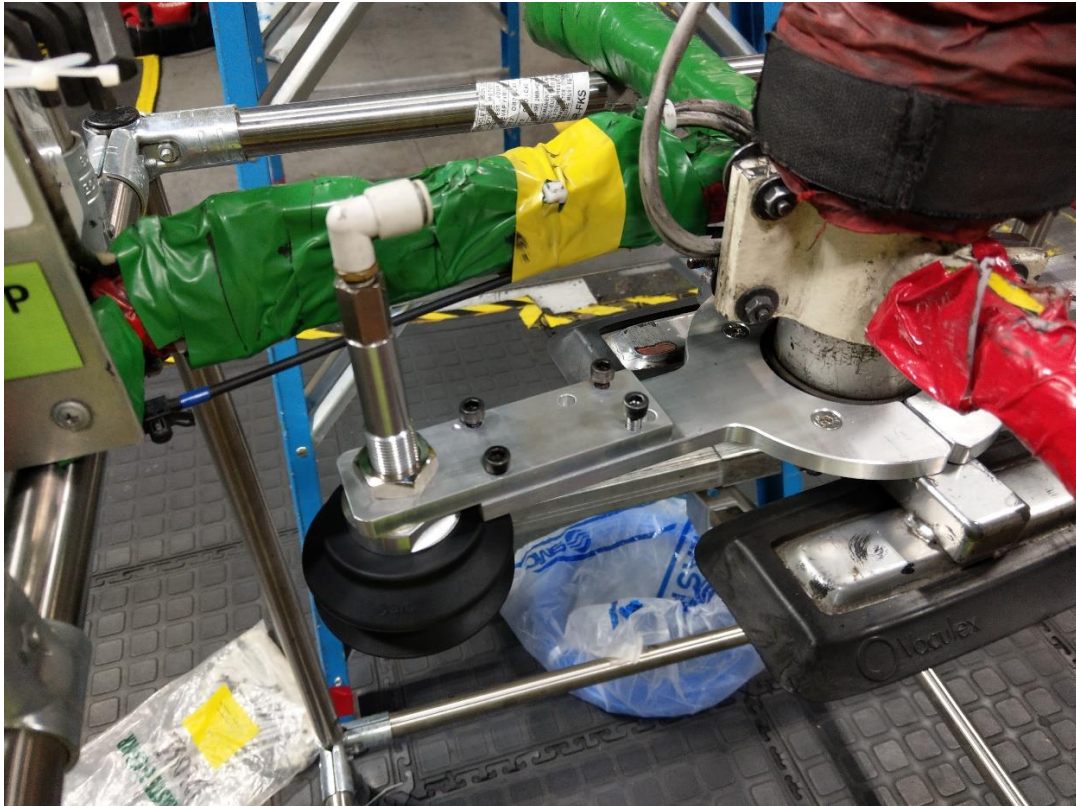
Los elementos neumáticos fueron reunidos para después iniciar la fabricación de la pieza en aluminio y ensamblar las ventosas. El maquinado fue desarrollado en una fresadora tipo convencional. El cortador utilizado fue uno de diámetro 0.25 pulgadas compuesto de cobalto. El resto del proceso fue conformado por barrenos de fijación en la estructura del herramental ya existente en planta, con el objetivo de fijar todos los elementos neumáticos de control. Los cuales aparecen en la figura 9.



**Figura 9.** Elementos neumáticos. Fuente: Elaboración propia en Maquipre, 2019.

Otra pieza fabricada fue el sujetador para unir ambas piezas de fijación para las ventosas, la elección fue también aluminio con el objetivo de reducir peso en el dispositivo.

La integración de todos los elementos neumáticos de control, en el herramental y las nuevas ventosas están contenidos en la figura 10.



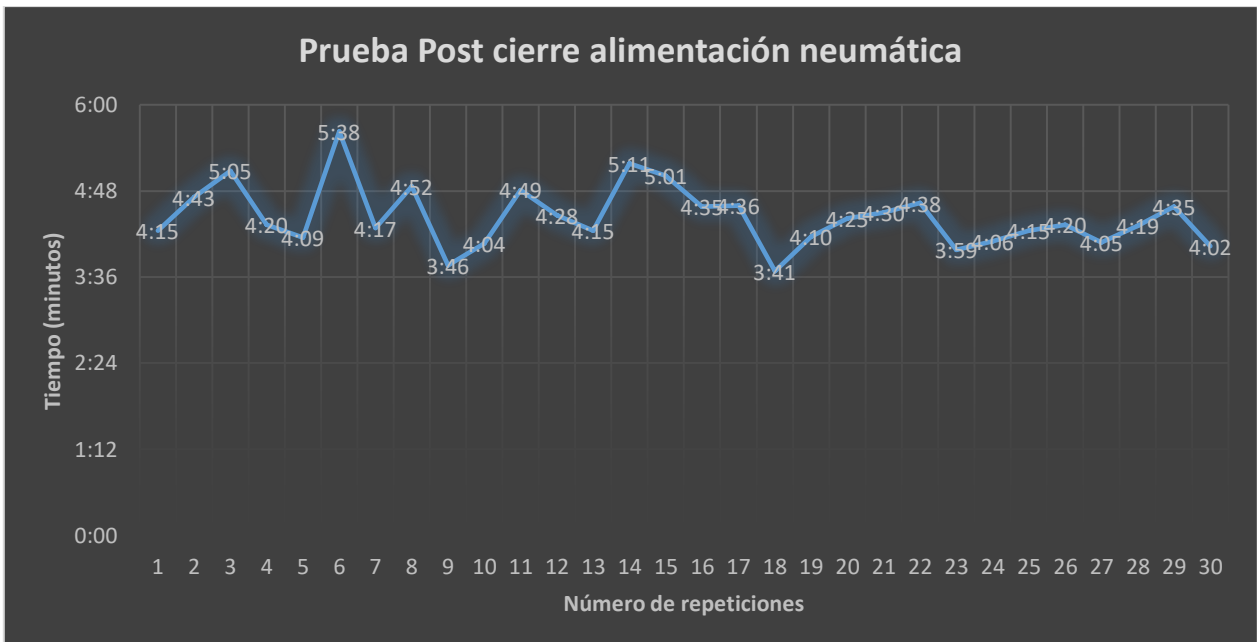
**Figura 10.** Ensamblaje de ventosas en el herramental. Elaboración propia (Maquibre, 2019).

## 5.4 Desarrollo de los experimentos para evaluar el nuevo diseño.

El experimento desarrollado fue propuesto para medir el tiempo promedio de sujeción posterior a una suspensión de alimentación neumática en el sistema. El número de corridas o el tamaño de la muestra fue treinta, lo cual es el mínimo para desarrollar un intervalo de confianza. La descripción del experimento es la siguiente:

Una mesa sirve de base para colocar un colchón y arriba del colchón el cristal parabrisas, posteriormente es activado el manipulador neumático y el cristal parabrisas es tomado por las ventosas mediante la técnica de vacío. La norma es elevar el cristal diez centímetros por encima del colchón, una vez alcanzada la altura, la presión neumática en todo el sistema es interrumpida. Con un cronómetro calibrado con certificación NIST (National Institute of Standards and Technology) por sus siglas en inglés, el tiempo es registrado hasta obtener la pérdida total de succión por parte de las ventosas. Si el tiempo supera dos minutos la prueba es declarada como exitosa.

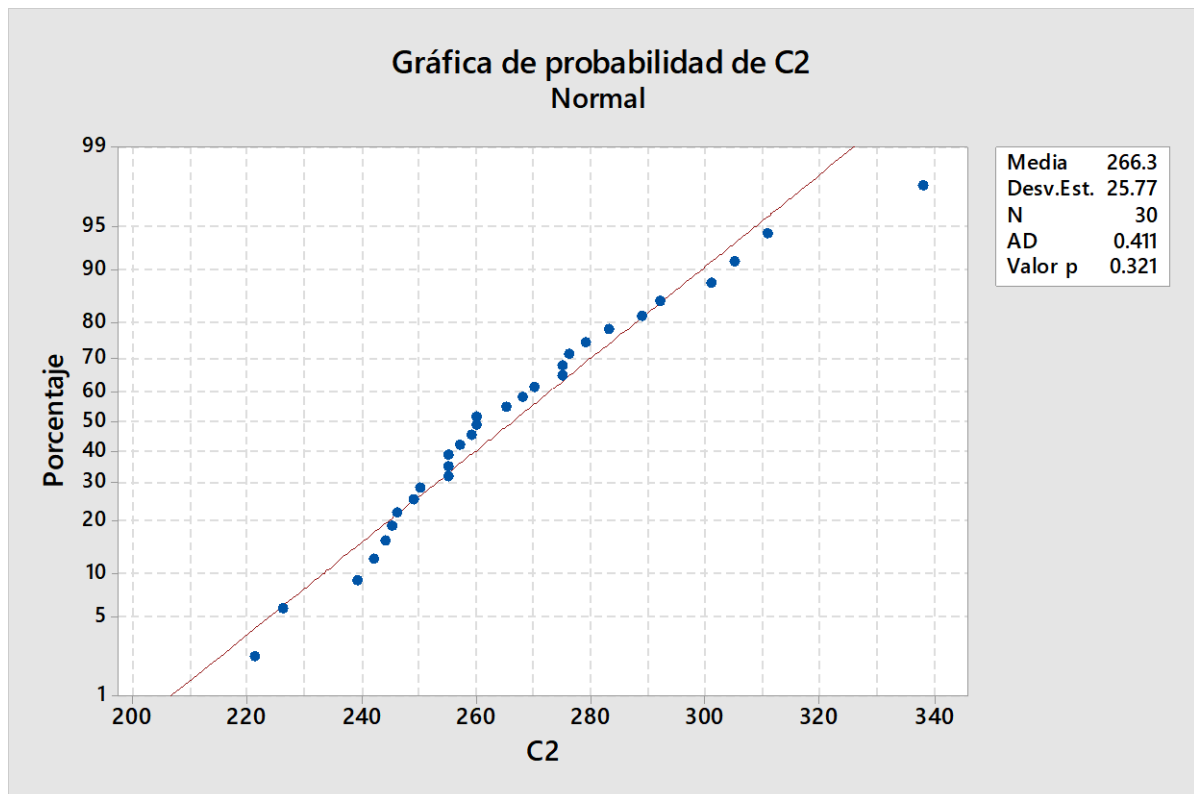
Los resultados para las treinta muestras están concentrados a continuación en la figura 11.



**Figura 11.** Gráfica de resultados para la prueba post cierre neumático. Fuente: Elaboración propia con Excel 2019.

Todos los datos fueron introducidos al software Minitab para ejecutar un análisis estadístico y determinar un intervalo de confianza al 95% de confianza para  $\alpha$ .

El primer análisis desarrollado fue uno de normalidad para los treinta datos obtenidos, el tiempo fue transformado a segundos para facilitar el estudio. El resultado fue una distribución normal de los datos contenida en la figura 12.



**Figura 12.** Gráfica de probabilidad normal para la muestra de datos. Fuente: Elaboración propia con Minitab, 2019.

Conociendo la desviación estándar, fue empleada la prueba estadística de Z para una muestra usando el siguiente comando en MiniTab: Estadísticas>Estadísticas básicas>Z de una muestra... Una vez seleccionada fue configurado el nivel de confianza al 95% y el valor de la desviación estándar (25.77) para obtener el siguiente resultado concentrado en la tabla 2.



**Tabla 2.** Resultados Z de una muestra. Fuente: Elaboración propia con Minitab, 2019.

Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
30	266.33	25.77	4.70	<b>(257.11, 275.55)</b>

 $\mu$ : media de C2

Desviación estándar conocida = 25.77

Por lo tanto, el 95% de las ocasiones el cristal será sujetado por las ventosas auxiliares entre 4.2 minutos y 4.59 minutos después de una pérdida total en la alimentación neumática del sistema. La meta original de dos minutos es superada ampliamente, de manera constante y confiable por el nuevo diseño de manipulador neumático.

Una vez dado de alta en planta, el dispositivo fue evaluado durante el mes de julio para contrastar los casos de pérdida de vacío y rechazos en producción contra los registrados durante el mes de junio con el antiguo diseño de manipulador. Los resultados tabulados están presentes en el Anexo B ubicado al final de este documento. Los resultados resumidos para los rechazos de ambos meses están concentrados en la tabla 3:

**Tabla 3.** Rechazos en producción enero contra julio. Fuente: Elaboración propia

enero 2019	julio 2019
Casos Totales: 129	Casos Totales: 16
Casos por pérdida de vacío: 122	Casos por pérdida de vacío: 1

La reducción en las pérdidas de cristales a falta de succión en las ventosas de vacío es de un 99.2%

El único caso reportado de falla por pérdida de succión en el mes de julio, según el departamento de mantenimiento fue a causa de mala operación por parte del usuario, fue reportado un accidente al presionar el botón de liberación de vacío al estrellar el herramental con un perfil de aluminio. Una inadecuada secuencia de operación. La conclusión para el incidente fue la de un caso aislado el cual no representa el verdadero



nivel de calidad del dispositivo manipulador. Razón de más de tener los datos de agosto.

## **Capítulo 6. Discusión de Resultados**

---

Los resultados para el tiempo de sujeción posterior a un cierre de alimentación neumática en el sistema superaron la expectativa propuesta en los objetivos de la investigación, pasando de dos minutos propuestos a cuatro minutos y medio.

Efectivamente fue construido un intervalo de confianza al 95% para asegurar cual sería el tiempo esperado para la gran mayoría de las ocasiones hipotéticas donde el dispositivo pierda presión neumática en el sistema.

Una posible limitación del método utilizado y de la veracidad del intervalo de confianza podría llegar a ser el desgaste de los elementos neumáticos, tal es el caso de las ventosas, y el mantenimiento del generador de vacío. Estos factores podrían llegar a afectar el desempeño del manipulador.

La recomendación a futuro sería realizar las mismas pruebas con al menos una muestra de treinta repeticiones, pero 6, 12 y 18 meses después de la instalación del equipo, para analizar si el desempeño disminuye e identificar un periodo, con el fin de sugerir un estimado para el refaccionamiento de partes.

Por otro lado, la comparativa de rechazos en el área de producción del mes de enero contra el mes de julio mostró una reducción del 99.2% de los rechazos a causa de pérdida de succión en el sistema de vacío. Fue un cambio significativo el pasar de 122 rechazos mensuales a un solo caso aislado en el primer mes de uso del nuevo diseño.

La disminución de los rechazos representa un ahorro de 121 cristales con costo unitario de 300 dólares siendo aproximadamente 36 300 dólares ahorrados durante el mes de julio del 2019.

La limitación para este caso sería realizar nuevas mediciones y contrastes con los siguientes meses de operación del nuevo diseño, para comprobar si el desempeño es

constante, sin embargo, al momento los resultados han sido los esperados y cumplen con lo propuesto en las hipótesis y en la sección de objetivos.

## **Capítulo 7. Conclusiones**

---

Los resultados obtenidos permiten aseverar las siguientes conclusiones: Un aplicador con ventosas planas, empleando válvula antirretorno, incorporando sensores de presión neumática cercanos a las ventosas y alineando el diseño del herramental a una manipulación simétrica con respecto al centro de gravedad del cristal previnieron la caída por pérdida de presión en el 99.2 % de los casos.

El vacío fue mantenido en las ventosas por más de dos minutos, ante una pérdida de presión neumática, con un intervalo de 4.2 minutos a 4.59 minutos al 95% de confianza cumpliendo con uno de los objetivos propuestos de la investigación. Ante una eventualidad de esa clase, el nuevo diseño de manipulador de cristal brinda al operador el tiempo suficiente para retirar manualmente el cristal, y evitar la caída del parabrisas.

La conclusión general radica en un cumplimiento de los objetivos propuestos y las hipótesis planteadas en un inicio de la investigación, aunque por ser un diseño recién implementado en la planta del cliente, es necesario continuar monitoreando la calidad y el desempeño del dispositivo a reserva de algún desgaste o falla de calibración de los elementos neumáticos.

Las recomendaciones para futuras líneas de investigación van apegadas a un análisis para implementar materiales más ligeros además del desarrollo de un diseño estructural para el herramental manipulador con mayor ergonomía. Con lo anterior podría ser desarrollado un manipulador más ligero, cansando menos a los operadores e incluso mejorando estéticamente.

## Lista de referencias bibliográficas

Creus, A. (2007). Neumática e Hidráulica (3ra ed.) Marcombo, España.

Festo.2019.FAQ- Técnica de vacío . Recuperado(17 de mayo de 2019), de [https://www.festo.com/cms/es-mx\\_mx/9814.htm#id\\_4030](https://www.festo.com/cms/es-mx_mx/9814.htm#id_4030)

Giancoli, D. (2006). Física, principios con aplicaciones. (6 ta. ed.) Prentice Hall, México.

Gust, J., Graham, R., Lombardi, M. (2009). *NIST Special Publication 960-12 Stopwatch and Timer Calibrations*. 9-14.

Héctor PérezMontiel. (2015). *Física General*. México, D.F: GRUPO EDITORIAL PATRIA.

Laurent, G. J., & Moon, H. (2015). A survey of non-prehensile pneumatic manipulation surfaces: principles, models and control. *Intelligent Service Robotics*, 8(3), 151–163. <https://doi.org/10.1007/s11370-015-0175-0>

Mc Master-Carr. (2019). Multipurpose 6061 Aluminium with certification. Recuperado (15 Agosto de 2019), de <https://www.mcmaster.com/8812t116>

Nee, A. Y. C. (2014). Handbook of manufacturing engineering and technology. In *HandBook of Manufacturing Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4670-4>

Piab.2019.Ventosas DURAFLEX. Recuperado(14 de mayo de 2019), de <https://www.piab.com/es-ES/Acerca-de/Innovaciones/ventosas-duraflex/>

Piab.2019.XLF. Recuperado(19 de mayo de 2019), de <https://www.piab.com/es-ES/productos/ventosas/forma/plana/xlf---extra-grande-plano-150-300-mm/xlf/>

Schneider, B. R. T. (2002). *Designing with vacuum and suction cups* (pp. 1–7). pp. 1–7.

SMC.2018.Ventosas para manipulación de vacío . Recuperado (16 de mayo de 2019), de [http://content2.smcetech.com/pdf/ZP2\\_A\\_ES.pdf](http://content2.smcetech.com/pdf/ZP2_A_ES.pdf)

Straub, D., & Gsame, E. (2018). *Universal inline sensors for vacuum gripping systems Handling with vacuum grippers Inline sensors for vacuum grippers*. 544–547.

## **Anexos**