

Análisis de la Adherencia de Siliconas en Aluminios Utilizando Diseño de Experimentos de Taguchi

Analysis of Silicone Adhesion on Aluminum Using Taguchi Experimental Design

DOI: <https://doi.org/10.17981/bilo.6.2.2024.04>

Fecha de recepción: 15/06/24. Fecha de Publicación: 04/07/2024

Mónica Mejía-Brito

Esp. En Gestión Integral de la Calidad, Universidad de la Costa
mmejia51@cuc.edu.co

Flavio García-Caraballo

Esp. En Gestión Integral de la Calidad, Universidad de la Costa
fgarcia21@cuc.edu.co

Daniela Nieto-Peralta

Esp. En Gestión Integral de la Calidad, Universidad de la Costa
dnieto3@cuc.edu.co

Jenny Vesga-Ortiz

Esp. En Gestión Integral de la Calidad, Universidad de la Costa
jvesga3@cuc.edu.co

Alexander Troncoso-Palacio

Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia
atroncos1@cuc.edu.co

Como citar en IEEE este artículo: Mejía-Brito y Otros, «Análisis de la Adherencia de Siliconas en Aluminios Utilizando Diseño de Experimentos de Taguchi» *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, vol. 6. No. 2. pp. 24-35, 2024. Online. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/5901>

Resumen

El proyecto tiene como objetivo principal adherencia incidencia de los factores como la limpieza, la imprimación, el tipo de sellador y el tipo de sustrato en la adherencia de las siliconas SIKASIL IA y DOWSIL 791 en sustratos de aluminio con acabado Anodizado Natural y Pintura electroestática. Se empleó el diseño de experimentos con el método Taguchi para el análisis de los resultados. Se determinó con un diseño L8 (2^4) con 4 factores de dos niveles cada uno y 8 corridas que funcionaron para analizar factores no controlables que impactan en los resultados. Los resultados obtenidos de acuerdo con la categorización asignada mostraron que las corridas 4,7 y 8 se obtuvo Adherencia Total (3); en las corridas 1,3 y 6 se obtuvo Adherencia débil (2) y en las corridas 2 y 5, se obtuvo No adherencia (1). Es decir, la combinación ideal es (Limpieza con Alcohol isopropílico + Aplicación

de primer + Sellado Sika + Acabado Anodizado Natural), para poder obtener una adherencia total. Así mismo, se llegó a la conclusión que el factor de imprimación con un valor de p de 0,029, es incide de manera crítica en la adherencia independiente de cual sustrato o sellador se utilice para garantizar una excelente calidad.

Palabras clave: Adherencia de Siliconas, Aluminio con acabado Anodizado Natural y Pintura Electroestática, Diseño Experimental, Método Taguchi.

Abstract

The main objective of the project is to determine the incidence of factors such as cleaning, primer, type of sealer and type of substrate on the adhesion of SIKASIL IA and DOWSIL 791 silicones on aluminum substrates with Natural Anodized finish and electrostatic paint. The design of experiments with the Taguchi method was used for the analysis of the results. It was determined with a L8 (2^4) design with 4 factors of two levels each and 8 runs that worked to analyze non-controllable factors that impact the results. The results obtained according to the assigned categorization showed that runs 4, 7 and 8 obtained Total Adherence (3); runs 1, 3 and 6 obtained Weak Adherence (2) and runs 2 and 5 obtained No Adherence (1). In other words, the ideal combination is (Cleaning with isopropyl alcohol + Primer application + Sika Sealer + Natura Anodized Finish), in order to obtain total adhesion. Likewise, it was concluded that the primer factor with a p value of 0.029, is a critical factor in adhesion regardless of which substrate or sealer is used to ensure excellent quality.

Keywords: Experimental Design, Silicone Adhesion, Aluminum with Natural Anodized and Electrostatic Paint Finish, Taguchi Method.

Introducción

La industria de la manufactura de ventanearías para fachadas se basa en gran medida en el uso de selladores de silicona. Según [14], dos cualidades clave determinan la idoneidad de una silicona para su aplicación: la adherencia y la cohesión. La adherencia se refiere a la fuerza de pegado de la silicona sobre una superficie, la cual debe ser superior a su cohesión, es decir, su capacidad de mantenerse unida. En otras palabras, una silicona de calidad para comprobar su adherencia sobre la superficie debería romperse antes de soltarse del sustrato.

El propósito principal de la silicona en este contexto es garantizar el sellado de las juntas en las estructuras de aluminio, lo que evita el debilitamiento de la estructura y protege contra agentes externos como agua, polvo, aire y productos químicos. Para lograr una adherencia óptima, es necesario someter el aluminio a un proceso exhaustivo de limpieza, secado y otros factores auxiliares. La elección incorrecta de productos o su aplicación deficiente puede resultar en daños considerables y difíciles de reparar.

Por tanto, es crucial investigar el impacto de las diferentes etapas del proceso en la adherencia del material. Esto permitirá identificar áreas de mejora para aumentar la calidad y resistencia del sellado. Este enfoque no solo beneficiará a la industria, sino que también proporcionará una guía invaluable para aquellos interesados en el tema, contribuyendo así al avance continuo de los estándares en la industria de la manufactura de ventanearías para fachadas.

Estado del arte

Para comprender la dinámica de la adherencia de la silicona al sustrato de aluminio y cómo las diferentes etapas del proceso influyen en esta interacción, es fundamental conocer en detalle los materiales involucrados y su comportamiento conjunto. La silicona, por un lado, actúa como agente de sellado, mientras que el aluminio, por otro lado, sirve como sustrato sobre el cual se aplica la silicona. La naturaleza química y física de ambos materiales desempeña un papel crucial en su capacidad para adherirse entre sí. Factores como la composición superficial del aluminio, la presencia de óxidos, la rugosidad y la limpieza del sustrato influyen significativamente en la adherencia de la silicona. Además, las etapas del proceso, como la preparación de la superficie, la aplicación de imprimaciones y el método de aplicación de la silicona, también afectan la calidad de la unión.

Por lo tanto, una comprensión profunda de las propiedades y comportamientos de la silicona y el aluminio, así como de las diferentes etapas del proceso, es esencial para poder optimizar la adherencia y garantizar la calidad y durabilidad de las estructuras fabricadas. Este conocimiento permitirá identificar áreas de mejora en el proceso y desarrollar estrategias efectivas para lograr una adherencia óptima entre la silicona y el sustrato de aluminio.

En el caso específico de la silicona, se debe tener en cuenta las recomendaciones del fabricante en cuanto a la técnica que se debe usar para su aplicación y algunos de los procesos que se utilizan para realizar la aplicación de primer y alcohol isopropílico 90% para conseguir los resultados esperados y analizar su relación con las variables del proceso como las características físicas. , la aplicación, el cordón obtenido, el espesor de película, el alineamiento de los sustratos y el proceso de curado (secado),, entre otros. Para llegar a las diferentes configuraciones planteadas y así analizar la relación entre las diferentes etapas del proceso y su resistencia.

Selladores de silicona

Los selladores de silicona son productos ampliamente usados en el sector de la construcción para garantizar el sellado frente a condiciones ambientales en superficies como el aluminio, el acero y otras superficies metálicas. Estos productos también pueden sellar otras superficies no metálicas como el vidrio, el plástico, la piedra y el hormigón. Los selladores de silicona funcionan como barrera para prevenir el paso de agua, aire, químicos, humo, etc.). También en el caso de las ventanas y puertas, proporcionar aislamiento térmico y acústico. Otro factor para considerar es que el sellado de juntas mejora notablemente la apariencia de las edificaciones [3].

Principales beneficios de las siliconas para sellar

Una característica que destaca frente a otro tipo de selladores es que los que están hechos a base de silicona son elásticos. Esto facilita el posible movimiento de las juntas de dilatación. Además, son resistentes a la luz, soportan radiación ultravioleta, son impermeables, lo que permite usarlos en juntas de estanqueidad [3]. Otras características que las destacan frente a otras tecnologías es que pueden trabajar en rangos de temperatura más altos, tienen buena adherencia a la mayoría de los sustratos, buena resistencia a los productos químicos y alta durabilidad [3].

Clases de silicona

En el sector de la construcción y más específicamente en la rama de la ventanería se emplean comúnmente dos tipos de siliconas, las acéticas y las neutras. Ambas se curan mediante la presencia de humedad en el aire. Las acéticas emiten ácido acético y tienen un fuerte olor a vinagre durante el proceso de curado. Las siliconas neutras emiten compuestos con aroma dulce o simplemente inodoras [3]. A continuación, se muestran las propiedades generales de ambos tipos de silicona y el nombre comercial de las más conocidas en el mercado.

Silicona Acética

Sirve para interiores y exteriores, ya que es resistente a la humedad, a los rayos UV y a los extremos en las temperaturas.



Figura 1. Imagen de referencia - Sikasil IA. **Fuente.** [3]

Propiedades de la Sikasil IA:

- Sellador de silicona monocomponente de curado acético.
- 25% de capacidad de movimiento
- Resistencia a largo plazo a hongos y moho
- Flexibilidad permanente en condiciones de alta humedad.
- Buena adherencia sobre sustratos típicos, sin necesidad de imprimantes
- Libre de solventes, baja contracción
- Alta elasticidad
- Velocidad de curado 1.5mm/24 hs [3].

Silicona Neutra

La silicona neutra es un sellador y adhesivo que no tiene disolventes y es muy elástica. Por lo tanto, está apta para los lugares con movimiento estructural. Sus características inodoras permiten que se aplique en zonas en las que el aire no circula [5].



Figura 2. Imagen de referencia - DowSil 791. **Fuente.** [1]

Propiedades Dowsil 791:

- Sellador de silicona monocomponente de curado neutro.
- Ideal para juntas de expansión, de conexión, perimetrales, y de otros movimientos.
- Capacidad de movimiento de extensión/ Compresión mayor a +50% del ancho original de la junta.
- Excelente resistencia a la intemperie.
- Excelente adhesión sin imprimación a gran variedad de materiales de construcción
- Tiempo de curado 7-14 días [6].

Para mejorar la adherencia de estas siliconas se emplean productos como el que mostramos a continuación.

Activador

Se utiliza para pre-tratar superficies y mejorar la adhesión.



Figura 3. Imagen de referencia - Aktivator 205 de Sika. **Fuente.** [3]

Sika Aktivator-205 es un promotor de adherencia transparente base solvente, que reacciona con la humedad y

deposita grupos activos sobre el sustrato. Estos grupos actúan como un enlace entre sustratos y primer o selladores / adhesivos [7].

Método de aplicación: Las superficies deben estar limpias, secas y libres de grasa, aceite, polvo y contaminantes. La adhesión sobre los sustratos se puede mejorar agregando y / o combinando procesos de tratamiento previo, como fibrado o lijado y limpieza antes de la aplicación del Aktivator [7].

Factores que modifican la adhesión

Factores medioambientales como el polvo, agua, disolventes, aceites, u otros productos pueden impactar negativamente en la adherencia. Gran parte de los fallos de adherencia se deben a descuidos al momento de preparar y limpiar las superficies [3]. Por lo tanto, al aplicar los selladores de silicona se deben tener en cuenta todos estos factores medioambientales para garantizar que la silicona se adhiera correctamente a las superficies donde se aplica y que cumpla su función [4].

Tratamiento superficial del aluminio

Entre los tratamientos superficiales más utilizados en la industria para proteger el aluminio encontramos el anodizado del aluminio y el lacado (aplicación de una capa de pintura).

Aluminio Anodizado

El anodizado es un proceso electrolítico concebido para formar una capa protectora sobre la superficie del aluminio. Esta capa se forma debido al paso de corriente eléctrica en un electrolito ácido, tomando el aluminio como ánodo. El espesor de la capa protectora determina la resistencia y durabilidad de los agentes externos como el agua, el salitre, los rayos UV, entre otros factores medioambientales. Entre mayor sea esta capa, más protección tendrá el aluminio [8].

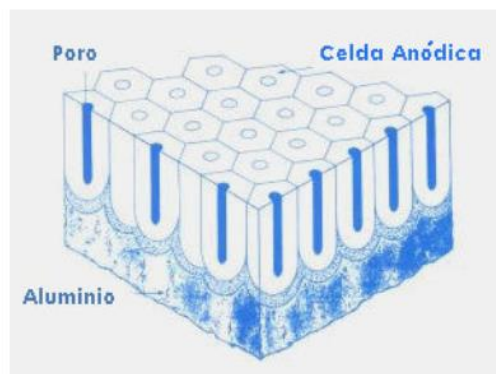


Figura 4. Esquema de capa anódica típica. **Fuente.** [8]

Entre las propiedades más comunes del anodizado natural encontramos la alta resistencia a la abrasión y a la corrosión, gran resistencia a los agentes químicos, la protección contra la radiación solar, fácil mantenimiento y bajos costos de mantenimiento, peso ligero, puede ser reciclado. Todas estas propiedades le permiten ser uno de los materiales más utilizados en la construcción para la fabricación de ventanas, puertas, celosías, pérgolas y portones.

Pintura electrostática

La pintura electrostática es un recubrimiento en polvo conformado por una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas de forma sólida, en forma de partículas finas. Este recubrimiento se aplica con una pistola electrostática para pintura en polvo, que mezcla aire con las partículas cargándose eléctricamente y se adhieren a la superficie a ser pintada, que se encuentra aterrizada, y permanecen adheridas a la pieza por carga

estática. Posteriormente son calentadas en un horno donde, al curarse, dan como resultado un recubrimiento uniforme, de alta calidad, atractivo y durable [9].

Entre los beneficios más destacados de este tipo de tratamiento superficial encontramos la gran resistencia a cambios ambientales, a las temperaturas extremas y los rayos uv. En cuanto a la parte estética brinda una innumerable gama de colores, texturas y acabados.



Figura 5. Aplicación el polvo sobre la superficie. **Fuente [10]**

Comercialmente encontramos el producto Recubrimiento En Polvo Poliéster de la marca Pintuco. Para la prueba de adherencia se empleó el color GRIS MATE AC D9

GRIS AC D9	
CÓDIGO	10201801
BRILLO	Mate
DISPONIBILIDAD	Entrega inmediata
QUÍMICA	Poliéster
GRUPO COLOR	Grisés
APARIENCIA	Liso mate
CURADO	Regular
INDUSTRIA GENERAL	Arquitectura Metálica General Muebles Metálico
LÍNEA	Superior

Figura 6. Información general del color Gris AC D9 de Pintuco. **Fuente. [12]**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS				
PROPIEDAD	NORMA ASOCIADA	RANGO		UNIDADES
Adherencia en cuadrícula	ASTM D 3359	100	100	%
Color Instrumental	ASTM D 2244	0	6	Adimensional. Dependiendo del color
Dureza a lápiz	ASTM D 3363	H-3H		
Brillo	ASTM D 523	0	100	GU
Espesor de película	ASTM D 7091	40	80	µm
Flexibilidad mandril cónico	ASTM D 522	Sin desprendimiento ni quiebre		
Impacto directo inverso	ASTM D 2794	40	160	lb/in
Gravedad específica	ASTM D 792	1.2	1.8	Gr/cm³
Resistencia al solvente	ASTM D 5402	10	10	Ciclos

Figura 7. Especificaciones técnicas generales de la pintura en polvo de Pintuco. **Fuente. [11]**

Limpieza de superficies

La contaminación en la superficie a tratar puede ocasionar la disminución del contacto entre el adhesivo o silicona y el sustrato, lo que evita la unión. También evita la impregnación efectiva en la superficie por la pérdida de pegajosidad. Sumado a esto también se presenta una reducción de la resistencia de la unión. Una superficie limpia permite la máxima impregnación y la mayor superficie de contacto posibles [13].

El alcohol isopropílico es un producto químico que también es utilizado a nivel industrial para la limpieza y desinfección de superficies. Este producto elimina fácilmente el aceite, la grasa y la suciedad en general impregnada. En la fabricación e instalación de ventanas y puertas en aluminio y vidrio se utiliza para preparar la superficie antes de aplicar la silicona. Esto con el fin de mejorar la adherencia. Se recomienda una concentración del 90% para limpiar este tipo de superficies

Metodología

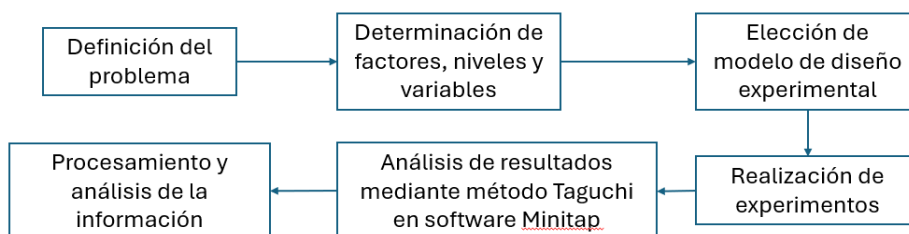


Figura 8. Desarrollo del diseño de experimentos. Fuente. Autores.

Desarrollo

Se requiere determinar qué factor influye de manera significativa en la adherencia de la silicona con el aluminio. Para ello se realizó la respectiva revisión de las fichas técnicas de los insumos usados durante el diseño de experimentos en este caso las siliconas (SIKASIL IA y DOWSIL 791), primer (Aktivator-205), Alcohol isopropílico a 80% y acabados de aluminio (Anodizado Natural y Pintura Electroestática)

Determinación de factores, niveles y variables

Tabla 1. Factores de estudio y niveles.

Factores	Nivel 1	Nivel 2
Limpieza	Sin Alcohol (NO-A)	Con Alcohol (SI-A)
Imprimación	Sin Primer (NO-P)	Con Primer (SI-P)
Sellador	Dow	Sika
Acabado	Anodizado Natural (AN)	Pintura Electroestática (PE)

Fuente. Autores.

Elección de modelo de diseño experimental

Se seleccionó el método Taguchi L8 (2^4) con 4 factores de dos niveles cada uno y 8 corridas.

Tabla 2. Factores de estudio y niveles.

Corridas	Limpieza	Imprimación	Sellador	Acabado
1	No-A	No-P	Dow	AN
2	No-A	No-P	Sika	PE
3	No-A	Si-P	Dow	PE
4	No-A	Si-P	Sika	AN
5	Si-A	No-P	Dow	PE
6	Si-A	No-P	Sika	AN
7	Si-A	Si-P	Dow	AN
8	Si-A	Si-P	Sika	PE

Fuente. Autores.

Realización del experimento

Una vez establecidas las corridas se realizaron los experimentos (pruebas de adherencia) de acuerdo con la norma ASTM C794 y con el Manual Técnico de Selladores para construcción Dow [1], que establece el procedimiento de la prueba de la siguiente manera. (Ver imagen 5 y 6).

- **Paso 1.** Preparar las superficies limpiando las trazas de suciedad con alcohol isopropílico (Esto se varía de acuerdo con la corrida)
- **Paso 2.** Aplicar el imprimador y dejar que se seque.
- **Paso 3.** Aplicar la capa del sellador. (Esto se varía de acuerdo con la corrida)
- **Paso 4.** Dejar secar hasta curado completo por espacio de 4 a 7 días. (Se dejó curando durante 5 días)
- **Paso 5.** Comprobar la adhesión del revestimiento tirando de la parte no revestida de la tela de gasa en un ángulo de 180° de forma lenta y constante.
- **Paso 6.** Revisar y anotar si hubo falla cohesiva de la parte. Es decir, si al tirar del cordón de silicona quedó en la superficie al menos un 80% de la capa de revestimiento de silicona en el sustrato. Si no se logra un 80% de retención, se considera que no hay adherencia.

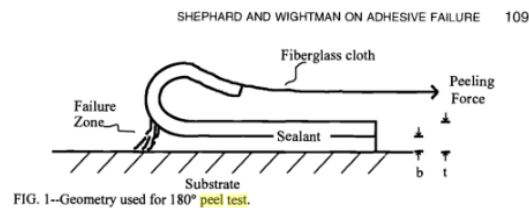


Imagen 5. Imagen de referencia prueba de adherencia. Fuente. [2]

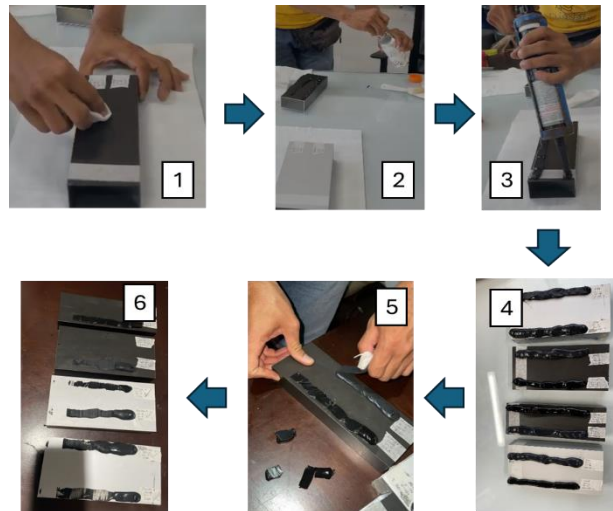


Imagen 6. Procedimiento de la prueba de adherencia. **Fuente.** Autores.

Tabla 3. Categorización numérica de la adherencia.

Adherencia Total	3
Adherencia débil	2
No Adherencia	1

Fuente. Autores.

Resultados

En la imagen 7, muestra los resultados obtenidos en las pruebas de adherencia realizadas en las diferentes corridas. De acuerdo con la categorización asignada en la tabla 3. Se determinó que en las corridas 4,7 y 8 se obtuvo Adherencia Total (3); en las corridas 1,3 y 6 se obtuvo Adherencia débil (2) y en las corridas 2 y 5, se obtuvo No adherencia (1). (Ver tabla 4)



Imagen 7. Resultado de las corridas en la prueba de adherencia. **Fuente.** Autores.

Tabla 4. Resultado de las pruebas de adherencia con su categorización.

Corrida	Resultado	Categorización
1	Adherencia débil	2
2	No Adherencia	1
3	Adherencia débil	2
4	Adherencia total	3
5	No Adherencia	1
6	Adherencia débil	2
7	Adherencia total	3
8	Adherencia total	3

Fuente. Autores.

Una vez analizada la información en el software Minitab, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4. Coeficientes de modelos estimados para relaciones SN.

Término	Coef	EE del		T	P
		Coef.	coef.		
Constante	5,8361	0,7122	8,195	0,004	
Limpieza NO-A	-0,4402	0,7122	-0,618	0,580	
Imprimac NO-P	-2,8258	0,7122	-3,968	0,029	
Sellador DOW	-0,4402	0,7122	-0,618	0,580	
Sustrato AN	1,9454	0,7122	2,732	0,072	

Fuente. Autores.

Tabla 5. Análisis de varianza de relaciones SN.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Limpieza	1	1,550	1,550	1,550	0,38	0,580
Imprimacion	1	63,883	63,883	63,883	15,74	0,029
Sellador	1	1,550	1,550	1,550	0,38	0,580
Sustrato	1	30,276	30,276	30,276	7,46	0,072
Error residual	3	12,173	12,173	4,058		
Total	7	109,433				

Fuente. Autores.

Tabla 6. Coeficientes de modelos estimados para medias.

Término	Coef	EE del		T	P
		Coef.	coef.		
Constante	2,1250	0,1250	17,000	0,000	
Limpieza NO-A	-0,1250	0,1250	-1,000	0,391	
Imprimac NO-P	-0,6250	0,1250	-5,000	0,015	
Sellador DOW	-0,1250	0,1250	-1,000	0,391	
Sustrato AN	0,3750	0,1250	3,000	0,058	

Fuente. Autores.

De acuerdo con las gráficas 8 y 9, que muestran los efectos principales para medias y para relaciones SN, conforman que la combinación ideal es (Limpieza con Alcohol isopropílico + Aplicación de primer + Sellado Sika + Acabado Anodizado Natural) para poder obtener una adherencia total. Así mismo, de acuerdo con las tablas 4, 5 y 6, muestra que el factor de imprimación con un valor de p de 0.029 significativo porque es menor a 0.05, confirma que es incidente de manera crítica en la adherencia independiente de cual sustrato o sellador se utilice.

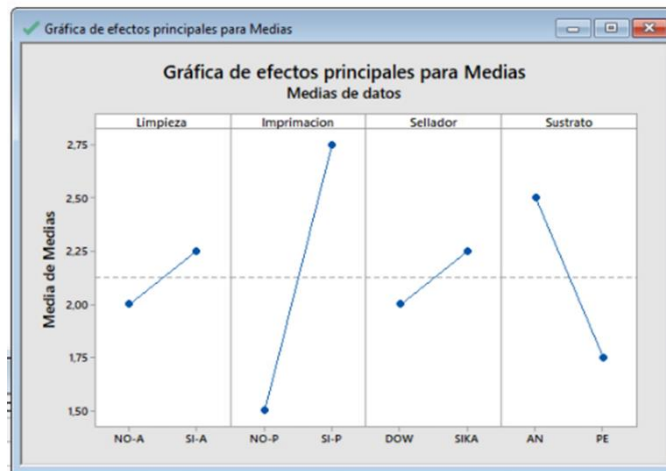


Imagen 8. Gráfica de efectos principales para medias. Fuente. Autores.

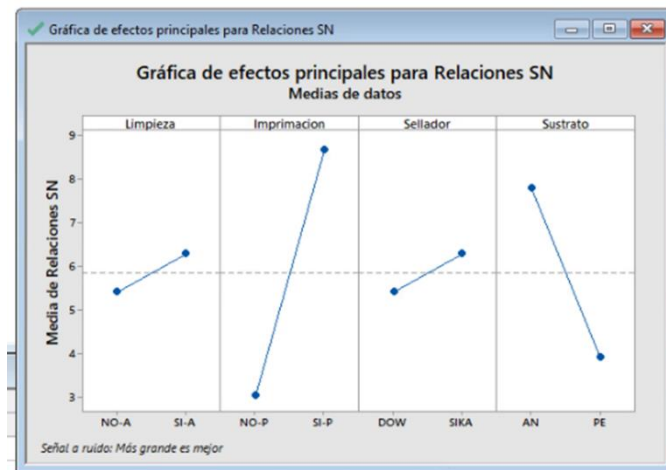


Imagen 9. Gráfica de efectos principales para relaciones SN. Fuente. Autores

Conclusiones

En conclusión, en el diseño de experimentos utilizando el método Taguchi, se determinó que el factor de imprimación es el paso más importante y crítico a la hora de evaluar en el proceso de manufactura de ventanearía en la que utilicen aluminio como materia prima, para poder garantizar una calidad en la adherencia y filtraciones. La imprimación con un valor de p obtenido 0.029 en el diseño experimental, garantiza confiabilidad ya que confirma que tiene un impacto crítico sobre las variables estudiadas, independientemente del sustrato o sellador utilizado.

Por otro lado, se recomienda también tener en cuenta la combinación ideal para garantizar óptimas condiciones que consiste en la limpieza con alcohol isopropílico, seguida de la aplicación de primer, el sellador de Sika y finalmente con el acabado anodizado natural, para lograr una adherencia total.

En resumen, el diseño de experimentos ha permitido identificar las diferentes opciones y sus respectivas ventajas y desventajas, brindando así información valiosa para la toma de decisiones en función de los objetivos y restricciones del proyecto.

Referencias

- [1] The Dow Chemical Company, «Manual Técnico de Selladores para contruccion Dow (Americas),» 2021. [En línea]. Available:<https://www.dow.com/en-us/document->

- viewer.html?randomVar=3243188432270321698&docPath=/content/dam/dcc/documents/62/62-1/62-1112-01-americas-technical-manual.pdf.
- [2] J. M. Klosowski, Ed., Science and Technology of building seals, sealants, glazing and waterproofing, vol. 7 th volume, ASTM International, 1998.
 - [3] Guía general, selladores multipropósitos Sikasil y selladores climáticos Sika Industry. www.sika.com.co
 - [4] R. Hernández-Minguillón, «Silicona y construcción», RE, vol. 21, pp. 33-40, 1.
 - [5] “Silicona acética y neutra: para qué sirven, qué es y diferencias - Würth Argentina”. Würth Argentina. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.wurth.com.ar/blog/siliconas/silicona-acetica-y-neutra-para-que-sirven-que-es-y-diferencias/#:~:text=Las%20principales%20diferencias%20entre%20la,o%20ninguno,%20según%20su%20composición>
 - [6] “DOWSIL™ 791 Weatherproofing Sealant”. Materials Science for a Better Future | Dow Inc. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.dow.com/es-es/pdp.dowsil-791-weatherproofing-sealant.04082594h.html#overview>
 - [7] “Sika® Aktivator-205”. Sika España: Materiales para construcción desde 1954. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://esp.sika.com/es/industria/componentes-construccion/ventanas/pegado-estructural-ventanas/sika-aktivator-205.html>
 - [8] “Aluminio Anodizado”. <https://www.extralum.com/>. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.extralum.com/wp-content/uploads/2023/06/IT-019-Aluminio-Anodizado.pdf>
 - [9] “La pintura electrostática es un recubrimiento en polvo que es una buena alternativa para piezas metálicas”. Axalta Coating Systems. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.axalta.com/blog_mx/es_ES/pintura_industrial/que-es-pintura-electroestatica-como-funciona-y-sus-beneficios.html
 - [10] “Pintura líquida o pintura en polvo electrostática: ¿Cuál es la mejor opción?” <https://www.ccimasenalizaciones.pe/>. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.ccimasenalizaciones.pe/senalizacion/senalizacion-vial-y-carreteras/senalizacion-vertical/333-pintura-liquida-o-pintura-en-polvo-electrostatica-cual-es-la-mejor-opcionhttps://www.ccimasenalizaciones.pe/senalizacion/senalizacion-vial-y-carreteras/senalizacion-vertical/333-pintura-liquida-o-pintura-en-polvo-electrostatica-cual-es-la-mejor-opcion>
 - [11] “Recubrimiento electrostático Poliéster”. Pintuco. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.pintuco.com.co/productos/pintura-electrostatica-poliester/>
 - [12] “GRIS AC D9”. Pintuco. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.pintuco.com.co/colores-de-pintura-en-polvo/gris-ac-d9/>
 - [13] “Cambiar las propiedades de la superficie para mejorar la adhesión”. https://www.3m.com.es/3M/es_ES/empresa-es/. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: https://www.3m.com.es/3M/es_ES/union-y-montaje/formacion/ciencia-de-la-adhesion/cambiar-las-propiedades-de-la-superficie-para-mejorar-la-adhesion/
 - [14] J. Iker, C. Neneth, A. Wolf y L. Berasategui, “Una nueva técnica de acristalamiento para fachadas”, Re. Rev. Edificación, vol. 21, pp. 5–16, enero de 1970. Accedido el 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.15581/020.21.34922>