

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.



“Metodología para la selección de junta tórica y Diseño de ranura de sellado en luminarias”

Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en ingeniería e innovación

Presenta:
Piña Castro Javier Angel

Director:

Dr. Dalia Holanda Chavez Garcia
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)
Ensenada, Baja California, México a 13 de Septiembre del 2019.

Metodología para la selección de junta tórica y Diseño de ranura de sellado en luminarias

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en ingeniería e innovación

Presenta:

Piña Castro Javier Angel

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Dalia Holanda Chavez Garcia

M.C. Amanda Nieto Sanchez

Dr. Gerardo Hirata

M.C. Amanda Nieto Sanchez
Coordinador del Posgrado en Ingeniería

Resumen de la tesis que presenta **Piña Castro Javier Angel** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en ingeniería e innovación

“Metodología para la selección de junta tórica y Diseño de ranura de sellado en luminarias”

Resumen aprobado por:

Dr. Dalia Holanda Chavez García

Una junta tórica es una pieza, generalmente de forma circular (pero no limitado a esa geometría) que sirve para garantizar el sello o estanqueidad de un compartimiento que alberga algún componente que no puede estar en contacto con elementos del medio ambiente, ya sean fluidos, sólidos o gases. Para poder asegurar el sello de un compartimiento, es necesario definir la geometría de la junta tórica, así como la ranura de sellado, y probar su rendimiento funcional.

El propósito de esta tesis fue desarrollar una metodología de Diseño para poder definir las dimensiones de la junta tórica y la ranura de sellado aseguraran un rendimiento del 100% en la prueba de fuga. Como resultado, mediante análisis de compresión y desplazamiento de la junta tórica dentro de la ranura, definición de tamaño de muestra para tener una confiabilidad de 95% y pruebas experimentales, se validaron los valores de porcentaje de compresión y desplazamiento óptimos para el diseño de una geometría de sellado. Esta metodología puede ser utilizada y aplicada para el Diseño de ranuras de sellado en uso conjunto de juntas tóricas utilizados en diversas industrias como la automotriz, electrónicos, entre otras.

Palabras clave: Junta tórica, ranura de sellado, diseño

Abstract of the thesis presented by **Piña Castro Javier Angel** as a partial requirement to obtain the Master or Doctor of Science degree in Engineering and Innovation with orientation Design

“Metodología para la selección de junta tórica y Diseño de ranura de sellado en luminarias”

Abstract approved by:

Dr. Dalia Holanda Chavez Garcia

An O-ring, also known as a seal or toric joint, is a mechanical component of circular shape (but not limited to that geometry) that is designed to be installed on a groove and compressed during the assembly of two or more parts, creating a seal at the interface. This component guarantees the sealing or tightness of an enclosure of a component that cannot be in contact with environment. In order to secure the seal of an enclosure, it is necessary to define the geometry and material of the O-ring, as well as the dimensions of the sealing groove, and test its functional performance.

The main purpose of this thesis was to develop a design methodology to define the dimensions of the O-ring and the sealing groove to ensure a 100% performance in the leak test. As a result, by means of compression and displacement rate analysis of the O-ring inside the groove, the definition of sample size of 30 samples to ensure a 95% reliability and experimental tests, the optimum compression and displacement percentage values were validated for the design of a sealing geometry This methodology can be used to design sealing grooves that uses O-rings for different industries such as automotive, electronics, among others.

Keywords: o-ring, groove design, seal

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

A mis padres Javier y Margarita, quienes con su cariño, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy una meta más; gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, dedicación, honestidad y valentía, para nunca dejar de hacer frente los retos que va imponiendo la vida.

A mi hermana Silvia por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento que fue posible.

A mi primo Eduardo, por brindarme apoyo técnico y asesorarme.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi novia Dayma, por apoyarme cuando más lo necesite y por extender su mano en los momentos difíciles.

Agradecimientos

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a la Cámara Nacional de la Industria de Transformación, al Centro de Enseñanza Técnica y Superior y a la empresa Dialight de México por su apoyo y patrocinio para la realización de este proyecto de tesis: “Metodología para la selección de junta tórica y Diseño de ranura de sellado en luminarias.”

A todos mis colegas dentro de la empresa Dialight, que siempre me brindaron su consejo y confianza que me ayudaron a seguir adelante.

Agradezco infinitamente a la Dra. Dalia Chavez por ser una excelente guía durante toda la maestría y en especial durante esta tesis, ya la Dra. Amanda Nieto por sus valiosas observaciones que hicieron posible una explicación más detallada de mi proyecto.

Tabla de Contenido

	Página
Resumen español	ii
Abstract	iii
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
 Capítulo 1.	
1.1. Introducción	11
1.2. Antecedentes.....	12
1.3. Planteamiento del Problema	16
1.4. Pregunta de Investigación	17
1.5. Justificación	18
1.6. Objetivo General	20
1.7. Objetivos Específicos	20
1.8. Hipótesis	20
 Capítulo 2.	
2.1 Marco teórico	21
2.1.1. Luminaria	21
2.1.2. Junta tórica	23
2.1.3. Relación de Desplazamiento	24
2.1.4. Relación de Compresión	25
2.1.5. Grados de protección proporcionados por los recintos (Código IP)	26
2.1.5.1. Arreglo del Código IP	27
2.1.5.2. Código IP66	27
2.1.5.3. Requerimientos de Prueba	30
2.1.5.4. Prueba de Polvo (Dust test)	31
2.1.5.5. Prueba de Protección contra agua	32
2.1.6. OI- 098 (Prueba de Sumersión)	33
2.1.7. Análisis estadístico de datos	34
2.1.8. Análisis descriptivo de datos	34
2.1.9. Teorema de Límite Central	35
2.1.9.1. Muestra de una población uniforme	37
2.1.10. Prueba de Hipótesis	38
2.1.11. Fixtura	38
2.1.12. Margen de Error	39
2.1.13. Nivel de Confianza	39
2.1.14. Tamaño de Muestra	40
2.1.15. Proporción	41

Capítulo 3.

3.1. Metodología	42
3.1.1. Seleccionar la dimensión de la junta tórica	42
3.1.2. Seleccionar el material de la junta tórica	42
3.1.3. Calcular rangos de desplazamiento y compresión	43
3.1.4. Diseño de prototipos	43
3.1.5. Definir tamaño de muestra para validaciones experimentales	44
3.1.6. Pruebas funcionales	44
3.2. Plan de Trabajo	45

Capítulo 4.

4.1. Resultados	46
4.1.1. Seleccionar la dimensión de la junta tórica	46
4.1.2. Selección de material de la junta tórica	47
4.1.3. Calcular rangos de desplazamiento y compresión	47
4.1.4. Diseño de prototipos	48
4.1.5. Definir tamaño de muestra para validaciones experimentales	49
4.1.6. Pruebas funcionales	50
4.2. Discusión	54

Capítulo 5.

5.1. Conclusiones	55
Referencias bibliográficas	56

Lista de figuras

Figura	Página
1 Arreglo general de una junta tórica en una ranura de sellado.....	14
2 Junta tórica sometida a una presión	15
3 Corte transversal típico de una ranura de sellado rectangular.....	16
4 Vista explotada de los componentes de una luminaria Dialight High Bay	23
5 Comparación del área transversal de la junta tórica con el área transversal de la ranura de sellado	25
6 Relación de compresión de junta tórica	26
7 Arreglo de Código IP	28
8 Cámara de prueba de polvo (Dust Chamber)	32
9 Boquilla para fixtura de prueba de protección contra el agua (Water Jet Nozzle)	32
10 Estación de prueba de inmersión	34
11 Histograma; Medidas de las muestras de una población uniforme...	38
12 Ejemplo de una representación gráfica de la media de una población	41
13 Dibujo de las muestras de validación	47
14 Prototipo de prueba	51
15 Fixtura de prueba	52
16 Luminaria Dialight Linear Battery Backup	52
17 Resultados Grupo 1	53
18 Resultados Grupo 2	53
19 Resultados Grupo 3	54

Lista de tablas

Tabla	Página
1 Grados de protección contra el acceso de material peligroso indicado por el primer número característico	29
2 Grados de protección contra objetos sólidos indicados por el primer número característico	29
3 Grados de protección contra el agua indicados por el segundo número característico	30
4 Plan de trabajo para pruebas de selección de junta tórica y diseño de ranura de sellado	46
5 Resultados, rangos de desplazamiento y comprensión	48
6 Resultados divididos según sus valores de relación de desplazamiento y comprensión	49

Capítulo 1

1.1 Introducción

El futuro de las bombillas incandescentes modernas no es muy prometedor. No son muy eficientes en cuanto a ahorro de energía (menos del 10% de la potencia eléctrica suministrada al bulbo se convierte en luz. El resto se convierte en calor que se pierde).

Sin embargo, aun siendo ineficientes, aun son usado ampliamente en la actualidad, aunque poco a poco, van siendo desplazados por opciones más eficientes en cuestión de gasto de energía, por opciones como las luces fluorescentes compactas y lámparas LED(light emitting-diode, por sus siglas en ingles). (Bulbs, 2018)

Hoy en día, más y más industrias de todos los sectores están actualizando sus sistemas de iluminación, cambiando sus antiguas luminarias de bombillos incandescentes y/o fluorescentes a luminarias LED.

La invención del diodo para iluminación marco el inicio de la industria multi-billionaria de comunicaciones ópticas. A diferencia de las bombillas incandescentes, los leds emiten luz solamente por el movimiento de electrones en un material semiconductor. No tienen un filamento consumible, lo que los hace más eficientes, durables y versátiles. (Okon & Biard, 2015)

Una de las problemáticas principales con las luminarias es que se utilizan en el exterior, por lo que se ven afectadas por los cambios de clima y diferentes situaciones específicas de cada luminaria (entornos explosivos, temperaturas extremas, ambiente corrosivo). Esto lleva a la necesidad de certificar los productos para poder garantizar el correcto funcionamiento de una luminaria por un largo periodo de tiempo, así como garantizar que un mal funcionamiento de la luminaria no causara un accidente en la locación donde se encuentre colocada.

Para garantizar el funcionamiento de las luminarias, existen diversas regulaciones conocidas mundialmente. Estas se pueden dividir en 3 secciones, dependiendo de la parte del mundo donde se vaya a utilizar. Para el continente americano, se cuenta con ETL y NOM Mark. En Europa, Medio Oriente, Rusia y África, se utiliza la CE Marking, GOST, ENEC Marking, Saudi Arabian Certificate of Conformity, entre otras. Mientras que la tercera sección sería Asia, que cuenta con la CCC Certification, PSE y C-TICK. (Intertek, 2019)

1.2 Antecedentes

La empresa Dialight fue fundada en 1938 en Brooklyn, Nueva York, pero no fue hasta 1971 que entraron al mercado LED. En 1990 fueron absorbidos por Roxboro Group y a partir de 1993 tomaron ese nombre. En el 2005 volvió a renombrarse como Dialight, enfocándose en la industria LED(uso industrial), convirtiéndose en una empresa líder en ese ramo. (Dialight, 2018)

Las luminarias Dialight son fabricadas dependiendo de la forma física de la fuente de luz para alcanzar una mejor calidad de luz y ajustarse a las aplicaciones necesarias. Algunas de las aplicaciones son la industria minera (exteriores, zonas de alto riesgo), refinerías, almacenes, plantas manufactureras, luces de calle, etc. Cada aplicación tiene diferentes objetivos y características.

Se pueden clasificar en 2 áreas, dependiendo su uso: en exteriores o interiores. En Dialight, independientemente de su uso, todas las luminarias pasan por una prueba de fuga, para asegurar que los componentes eléctricos no se van a degradar debido a la humedad. Las fugas normalmente se dan en las uniones entre dos componentes. Es en estas secciones donde se acostumbra usar una junta tórica para sellar esa unión y no permitir el paso de partículas sólidas o de humedad al interior del sistema.

Hoy en día, las juntas tóricas son uno de los sellos más comunes en la industria manufacturera, debiendo su éxito a su simple y efectivo diseño. Las juntas tóricas no son caras y son muy simples de instalar; aun así, ofrecen una tremenda capacidad para sellos estáticos y dinámicos.

Fue en 1936 que Niels Christensen invento la junta tórica. Originario de Dinamarca, Christensen descubrió que un pedazo de hule con forma de aro colocado en una ranura con un diámetro 1.5 veces menor al del aro de hule ofrecía un sello confiable para una aplicación de pistón/cilindro. En 1939 se le otorgó una patente, 2 años después de haberla sometido para aprobación. Si bien no fue aceptada inmediatamente, el Ejército de los Estados Unidos compró su patente durante la Segunda Guerra Mundial, convirtiéndose en el sello estándar de la Fuerza Aérea. (IGS Industries, 2013)

Las juntas tóricas de elastómeros son probablemente la forma más común para sellos estáticos de uso general. Un arreglo típico se muestra en la Figura 1.

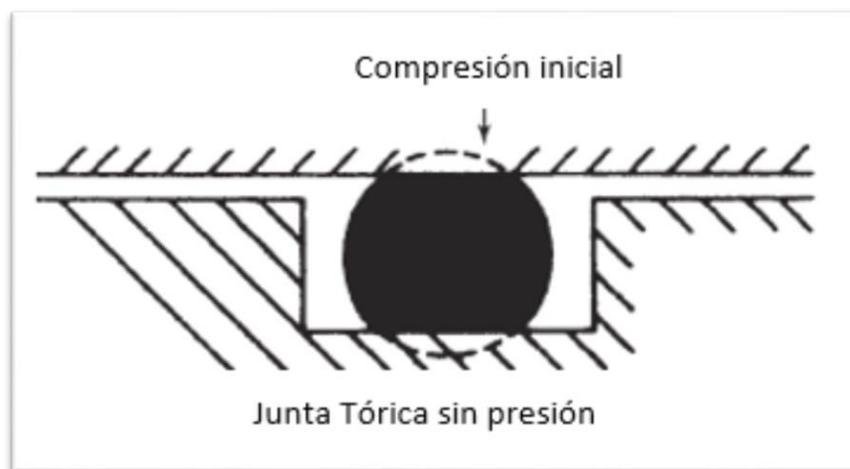


Figura 1. Arreglo General de una junta tórica en una ranura de sellado (Flitney, 2007)

Los diseños y métodos de sellado para tareas estáticas cubren una amplia gama. Las juntas tóricas se diseñan de tal manera que se espera que se auto energicen, mientras que es normal que las juntas se sujeten con suficiente fuerza que la energía almacenada dentro de la junta resista la presión. (Flitney, 2007)

Al ser instalada la junta tórica en la ranura y es comprimida, crea una interferencia inicial con las superficies de contacto adyacentes. Esta fuerza inicial es bastante pequeña. Por ejemplo, para una junta tórica común de .100" de diámetro de sección, la dureza de la junta tórica en promedio debería de ser de 20 a 30 N/cm de circunferencia. Cuando hay presión aplicada sobre la junta tórica, se puede ver una deformación hacia la parte inferior de la ranura de sellado (Figura 2). El mecanismo de sellado es dado por la naturaleza de los elastómeros. Estos materiales son prácticamente incompresibles a su temperatura de trabajo, con un módulo elástico muy bajo. (Flitney, 2007)

Existen 3 tipos principales de diseño de ranura, estático o también llamado Radial, Reciprocante o Dinámico y los sellos axiales o de brida. Las ranuras estáticas y dinámicas requieren de la presencia de un espacio libre diametral para la instalación de la junta tórica. Los sellos axiales no tienen espacio libre pero consisten de una ranura de sellado en una brida atornillada junto a otra brida sin ranura(lisa). (Seal and Design Inc., 2019)

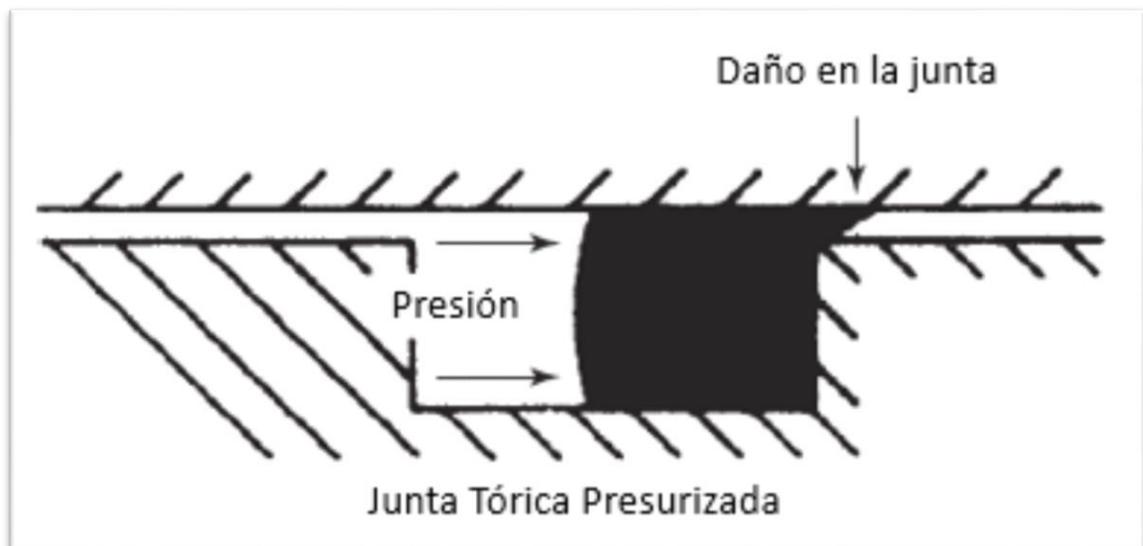


Figura 2. Junta tórica sometida a una presión (Flitney, 2007)

De acuerdo con Flitney, la sección rectangular de la Ranura de sellado es importante por diversas razones:

- Los elastómeros son incompresibles, por lo que es necesario dejar que se expanda en el eje perpendicular cuando es comprimido
- Tanto la junta tórica como la Ranura de sellado tendrán tolerancias dimensionales, por lo que es necesario tener espacio libre en el diseño para permitir tal variación en la expansión lateral de la junta tórica.
- Los elastómeros tendrán un coeficiente de expansión térmico que será mayor al recinto, ya que por lo general es de metal.

La acción de sellado del O-Ring se materializa mediante la deformación de su sección Transversal, obtenida a través de un correcto diseño de su alojamiento. Las dimensiones de ranura ("L" y "G" como se muestran en la figura 3) (Parker Hannifin, 2019).

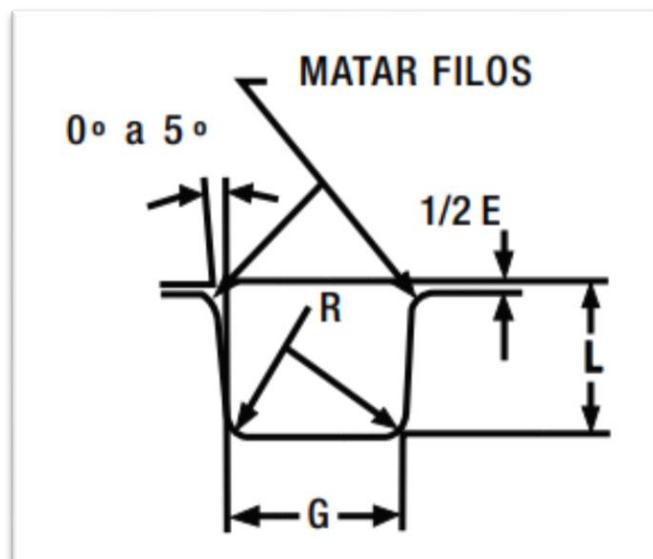


Figura 3. Corte transversal típico de una ranura de sellado rectangular (Parker Hannifin, 2019)

Para uso estático, el aplastamiento varía del 12% al 25%. En uso dinámico la deformación debe ser del 8% al 20%. En alojamientos existentes, la cota "L" debe garantizar una deformación de la sección transversal, no inferior a 0.25 mm en valor absoluto. La terminación superficial del alojamiento debe ser de 32 micro-pulgadas para superficies estáticas y de 16 micro-pulgadas para superficies dinámicas.

1.3 Planteamiento del Problema

Las luminarias Dialight deben de pasar por una serie de pruebas durante su ensamble para evitar fugas en la unidad (intromisión de agua) y así evitar tener un mal funcionamiento en campo. Existe un alto porcentaje de fugas durante la prueba de humedad por inmersión en agua, haciéndolo un producto poco robusto y lento para producir. Existen una amplia variedad de juntas tóricas para asegurar el sellado en las uniones de componentes.

El sellado entre dos superficies utilizando una junta tórica es aplicado ampliamente en varias industrias como la aeroespacial, automotriz y naval por mencionar algunas.

Si bien el proceso de sellado parece bastante sencillo teóricamente, en la práctica las fugas en superficies de contacto pueden afectar directamente la seguridad del producto y/o a la seguridad del cliente. (Qiang, Xiaoqian, & Yiyong, 2018) De acuerdo con los requerimientos de la certificación UL 1598/A y IP66, todas las luminarias Dialight deben pasar la prueba de humedad por inmersión en agua, el cual indica que todos los productos sellados deben de tener la habilidad de resistir infiltración de humedad hacia dentro del producto. (UL, 2018)

Estas fugas son causadas debido a irregularidades en las superficies solidas o en el caso de superficies de sellado maquinadas (aun siendo pulidas) son ásperas (Bharat, 1998). Solo es posible controlar la tasa de fugas en juntas tóricas en cierto rango para cumplir con los requerimientos para lograr un funcionamiento adecuado de los sellos. (Greenwood & Williamson, 1966)

Por lo tanto, los estudios teóricos para definir la geometría de las ranuras (que es la interfaz de sello con la junta tórica y la superficie de contacto) y las pruebas experimentales para detectar fugas, son de gran importancia en el momento de diseñar sellos.

Yanagisawa (1990) uso el método de burbujas para medir la tasa de fugas y estudio la deformación de las superficies de sellado bajo carga (Yanagisawa, Sanada, Komiya, Tanoue, & Hirabayashi, 1990), pero no realizó los estudios teóricos correspondientes para la tasa de fugas (Qiang, Xiaoqian, & Yiyoug, 2018).

Esta investigación está enfocada a la industria manufacturera de luminarias industriales y a la necesidad de la empresa de asegurar el cumplimiento de las regulaciones referentes a las certificaciones de sus productos. Con la implementación de esta Metodología de selección junta tórica y diseño de ranura de sellado se eliminarán las fugas durante la producción de luminarias. Actualmente no existe una metodología como tal que ayude a seleccionar la junta tórica que se necesita utilizar para determinado producto (temperatura de trabajo, presión, etcétera), así como una manera estándar de diseñar las ranuras de sellado conforme a la junta tórica seleccionada.

Por lo tanto, en la presente investigación se pretende responder la siguiente pregunta de investigación:

1.4 Pregunta de Investigación

¿Qué diseño de junta tórica y ranura de sellado asegura el sellado de un diseño genérico de luminaria Dialight?

1.5 Justificación

Las luminarias fabricadas deben cumplir con las regulaciones impuestas por Underwriters Laboratories(UL1598). Para cumplir esa regulación es necesario cumplir con el rango IP66. Dado que el proceso de certificación IP66 es largo y complejo, se debe de implementar una prueba más sencilla para que sea instalada en la línea de producción, y así poder probar las luminarias antes de empacarse y enviarse con el cliente. Para asegurar esto y mantener la calidad del producto es necesario seguir un protocolo estándar de prueba(OI-098).

La prueba de fuga es una prueba indispensable para asegurar la calidad de los diversos productos Dialight; es vital asegurar un resultado satisfactorio de la prueba en todos los productos.

Diseños no robustos, problemas de calidad en el proceso de pintura, maquinado, problemas en el ensamble, porosidad, son solo algunos de los ejemplos de factores causantes de las fugas en las superficies de sellado de las luminarias.

Un ejemplo reciente fue en caso del producto Linear Battery Backup, el cual tiene un diseño poco robusto, al no tomar en cuenta los cambios que provocaría el agregar pintura a las superficies de sellado.

En la planta de manufactura Ensenada de la empresa Dialight, durante los meses de agosto y septiembre del año 2018 se invirtieron alrededor de 6 semanas de trabajo, con tres ingenieros de sostenimiento dedicados a encontrar una manera de solucionar el problema de fugas recurrentes en la luminaria Linear Battery Backup. Si bien, se encontró una combinación de factores modificables para disminuir la tasa de fugas, no tiene una base sólida del diseño de ranuras de sellado o de la elección de una junta tórica. Para este producto, la junta tórica tiene una geometría circular, y a su vez es ensamblada en una ranura rectangular.

Actualmente, este producto tiene una demanda de 400 unidades por día. Esta producción necesita de 3 líneas dedicadas a este producto para lograr esta meta. De acuerdo a los datos obtenidos durante los últimos 3 meses (4253 unidades producidas), el índice de falla durante la corrida se encuentra en 8%. Eso indica que cerca de 340 unidades no pasan la prueba de fuga en la primera sumersión.

Esto representa un desperdicio de tiempo en la línea de producción y a su vez se refleja en números rojos cuando hablamos de la meta mensual de unidades producidas.

Al no pasar la prueba de sumersión, la unidad se desarma para determinar el desperfecto en el ensamble (junta tórica fuera de lugar, partes fuera de especificación, desperfectos de maquinado). Al no identificar algún desperfecto, la unidad es armada y se sumerge nuevamente. Este proceso se repite hasta 3 veces, hasta lograr pasar la prueba de sumersión. Esto representa media hora al día de retrabajo, solo en 3 meses.

Actualmente no se cuenta con una serie de pasos a seguir para poder definir un diseño robusto de ranura de sellado, a partir de la selección de una junta tórica. La ayuda con la que se cuenta más que nada son recomendaciones por parte de los proveedores de juntas tóricas, mas no son una verdad absoluta, si no que sirven solo como una referencia.

Por lo tanto, resulta indispensable poder definir una metodología para diseñar de manera estándar las ranuras de sellado utilizadas en conjunto con las juntas tóricas, de manera robusta, tomando en cuenta los factores críticos en el rendimiento de la prueba de fuga, ya que actualmente no se cuenta con una serie de pasos a seguir para poder definir un diseño.

1.6 Objetivo General

Desarrollar una metodología que permita seleccionar una junta tórica y generar un diseño robusto de ranura de sellado, que permita la variación en los procesos de manufactura involucrados sin afectar el rendimiento de sellado de las luminarias de la empresa Dialight.

1.7 Objetivos Específicos

Para poder conseguir el objetivo general de esta investigación fue necesario definir objetivos específicos, para poder actuar de una manera puntual. A continuación, se presentan los objetivos específicos de la investigación:

1. Definir las variables críticas al momento de elegir una junta tórica
2. Definir el método estándar para diseñar las ranuras de sellado de forma teórica
3. Definir el tamaño de muestra utilizando el teorema de limite central
4. Validar el diseño por medio de pruebas funcionales

1.8 Hipótesis

Para sellar la unión de dos componentes de una luminaria, el uso conjunto de una junta tórica circular, colocada en una ranura rectangular, asegura el sellado de la luminaria.

Capítulo 2

2.1 Marco Teórico

A continuación, se van a explicar los conceptos claves para facilitar la comprensión del funcionamiento de una junta tórica y el propósito de este estudio.

2.1.1 Luminaria

Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a las lámparas. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante cuidar la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios. Otros requisitos que debe cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento.

Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.

Una luminaria normalmente está formada por la carcasa, el reflector y la fuente de luz o módulo de luz. Su función consiste en proteger la lámpara de humedad, polvo y golpes. También se encargan de proveer una buena distribución y contraste de la luz, para evitar irritantes destellos luminosos.

Estos productos tienen una amplia gama de aplicaciones distintas. Se utilizan como iluminación de hogar, escuelas, fábricas, centros deportivos y oficinas. Como cada sitio requiere de características lumínicas específicas.

Para las luminarias LED, el mayor número de fallos y defectos de uso se encuentra en el driver o fuente de poder. Variaciones en la temperatura ambiental, frecuencia o variaciones de corriente pueden hacer que los componentes de internos de los drivers fallen, lo que a su vez deriva en mal funcionamiento de la luminaria LED. Como hemos comentado anteriormente, este componente es el que más suele fallar, concretamente en 3 de cada 4 fallos de las luminarias LED.

La gestión del calor es el siguiente motivo de la rotura de las luminarias LED. La incorrecta disipación del calor hace que la vida útil de los chips LED disminuya de manera considerable. Por tanto, este es un factor a tener en cuenta cuando se realice una instalación. La tercera causa más común de mal funcionamiento es el propio chip LED. Esto se puede deber a vibraciones que hacen que se muevan los materiales internos o defectos de fábrica en la construcción de los mismos (Greenice, 2019).

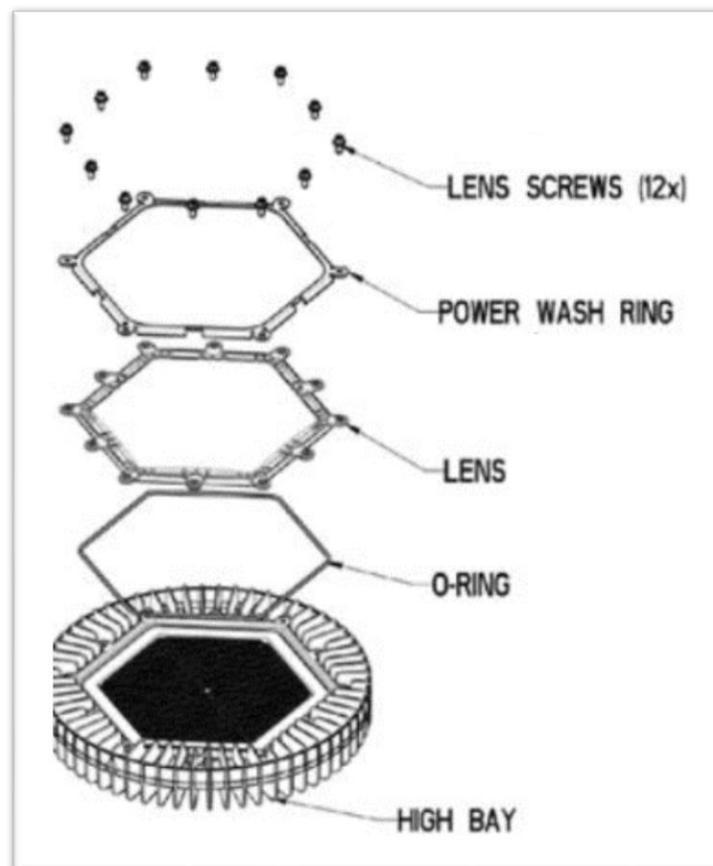


Figura 4. Vista explotada de los componentes de una luminaria Dialight High Bay (Dialight, 2015)

2.1.2 Junta tórica

Un anillo, también conocido como el embalaje, o una junta tórica, es un componente mecánico de la junta en la forma de un toro; es un bucle de elastómero con un disco en forma de sección transversal, diseñado para ser colocado en una ranura y comprimido durante el montaje entre dos o más partes, la creación de un sello en la interfaz.

El anillo puede ser utilizado en aplicaciones estáticas o en aplicaciones dinámicas donde hay movimiento relativo entre las partes y el anillo-O. ejemplos dinámicos incluyen la rotación de la bomba y los ejes del cilindro hidráulico pistones. (DATWAYLER Sealing Solutions, 2019)

Una junta tórica es un componente circular, generalmente moldeado de un elastómero o algún otro termoplástico. Su principal función es prevenir fugas o prevenir que entren fluidos a cierto componente (Parker Hannifin, 2007).

Aunque típicamente las juntas tóricas tengan una forma circular, también se utilizan otras geometrías, incluyendo cuadradas, rectangulares, en forma de X, H, C, etcétera. Así mismo existe una variedad de procesos de manufactura para su fabricación, tales como la extrusión, moldeo por compresión, moldeo por inyección, moldeo por transferencia o maquinado. De igual manera, dependiendo de la aplicación, hay disponibles una gran cantidad de opciones de materiales: caucho de nitrilo, silicón, poliuretano, neopreno, fluorocarbono, así como otros elastómeros. (BOYD Corporation, 2018)

2.1.3 Relación de desplazamiento

Se refiere al valor calculado del área de la junta tórica (sección transversal) entre el valor calculado del área de la ranura (sección transversal). Un valor bajo de relación de desplazamiento puede causar problemas ya que la junta tórica se puede desplazar dentro de la ranura. Por otro lado, un valor muy alto podría dañar la junta tórica al empujarla fuera de la ranura o no proveer suficiente compresión (sellado pobre) (E-MOS , 2015). La figura 1 muestra una representación gráfica de un corte transversal de un ensamble utilizando una junta tórica.

$$\text{Relación de desplazamiento} = \frac{\text{Área junta Tórica}}{\text{Área Ranura}} * 100 \quad (1)$$

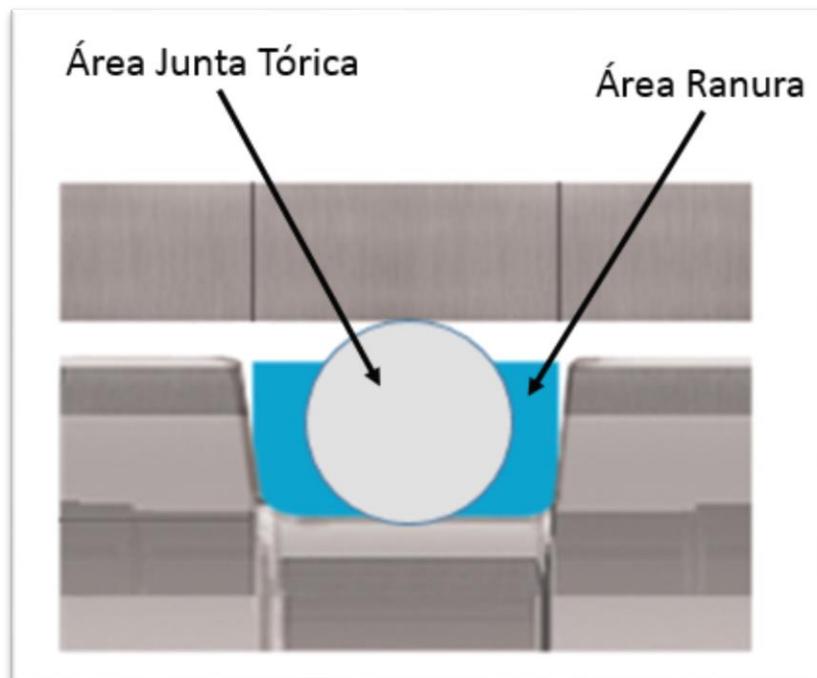


Figura 5. Comparación del área transversal de la junta tórica con el área transversal de la ranura de sellado

2.1.4 Relación de compresión

La relación de compresión se refiere a la relación entre la compresión dada en la sección transversal de la junta tórica y el diámetro de sección transversal bajo condiciones no controladas. La sección transversal del aro de silicón debe dar con cierta relación de compresión para que los anillos sean lo suficientemente resilientes (Ming, Yi, & Yachao, 2018). La figura 2 es una representación gráfica del comportamiento de una junta tórica cuando es comprimida.

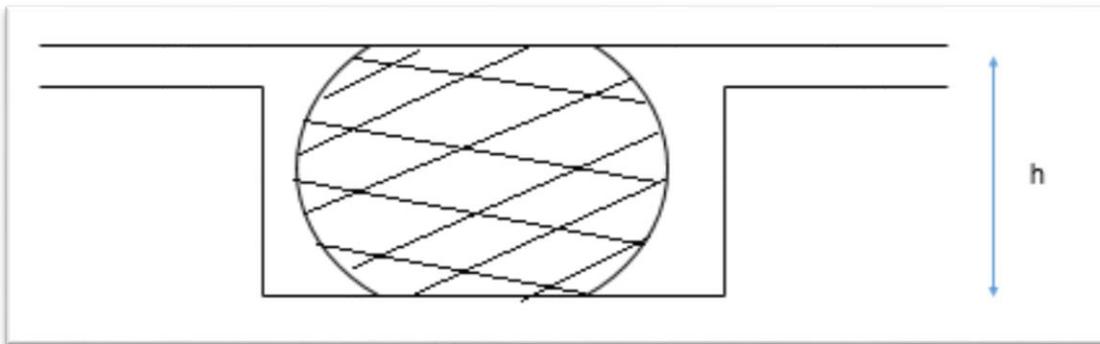


Figura 6. Relación de compresión de junta tórica (Ming, Yi, & Yachao, 2018)

La relación de compresión, que se muestra en la Figura 4, se calcula de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{d_0 - h}{d_0} \times 100\% \quad (2)$$

Donde ε es la relación de compresión del anillo, h es la distancia desde el fondo de la ranura y d_0 es el diámetro de la sección transversal del anillo.

El rendimiento de sellado de los anillos está relacionado con la relación de compresión. Se podría decir que la relación de compresión aumenta con la presión de sellado. Sin embargo, la relación de compresión se debe de limitar. Si se tiene una relación de compresión muy baja, el esfuerzo de contacto de las superficies de contacto no cumplirá los requerimientos para un sello efectivo. De la misma manera,

una relación de compresión muy alta causara que los anillos no sean lo suficientemente resilientes y su efectividad no se puede garantizar (Ming, Yi, & Yachao, 2018).

2.1.5 Grados de Protección proporcionados por los recintos (Código IP)

La información citada en la sección 2.5 fue extraída del estándar “Degrees of Protection provided by enclosures(IP code) (British Standard, 2013). Este estándar describe el sistema para clasificar los grados de protección proporcionados por los recintos de equipos eléctricos. Si bien este sistema se puede utilizar en casi todos los tipos de equipo eléctrico, no se debe de asumir que todos los grados de protección enlistados son aplicables a cierto equipo en particular. Cada fabricante debe de ser consultado para determinar los grados de protección disponibles y las partes del equipo que aplican para el grado de protección mencionado. El adoptar este sistema donde sea posible va a proporcionar uniformidad en los métodos para describir la protección provista por el recinto y en las pruebas para validar los varios grados de protección.

Este estándar aplica para la clasificación de grados de protección proporcionados por recintos para equipo eléctrico dentro de un rango no mayor a 72.5 kV. El objetivo de este estándar es dar definiciones para los grados de protección proporcionados por los recintos en cuanto a protección de personas contra el acceso a partes peligrosas dentro del recinto, protección del equipo dentro del recinto contra el ingreso de objetos sólidos, protección del equipo dentro del recinto contra efectos dañinos debido al ingreso de agua, designaciones para los grados de protección, requerimientos de cada designación, pruebas a realizar para verificar que el recinto cumple con los requerimientos de este estándar. Este estándar también aplica para recintos vacíos y busca que tanto el recinto como el equipo dentro del recinto seas protegidos contra condiciones tales como impactos mecánicos, corrosión, solventes corrosivos, hongos, alimañas, radiación solar, congelamiento, humedad, atmosferas explosivas.

2.1.5.1 Arreglo del Código IP

El grado de protección IP hace referencia a la norma internacional CEI 60529 para medir la capacidad de sellado de un contenedor. El código IP (Ingress Protection por sus siglas en inglés) define los grados de protección con las letras “IP” seguidas de dos números; el primer dígito refleja en grados el nivel de protección contra partículas. No debe permitir el ingreso de partículas al interior del recinto. El segundo dígito indica el nivel de protección contra el agua (NEMA, 2018).

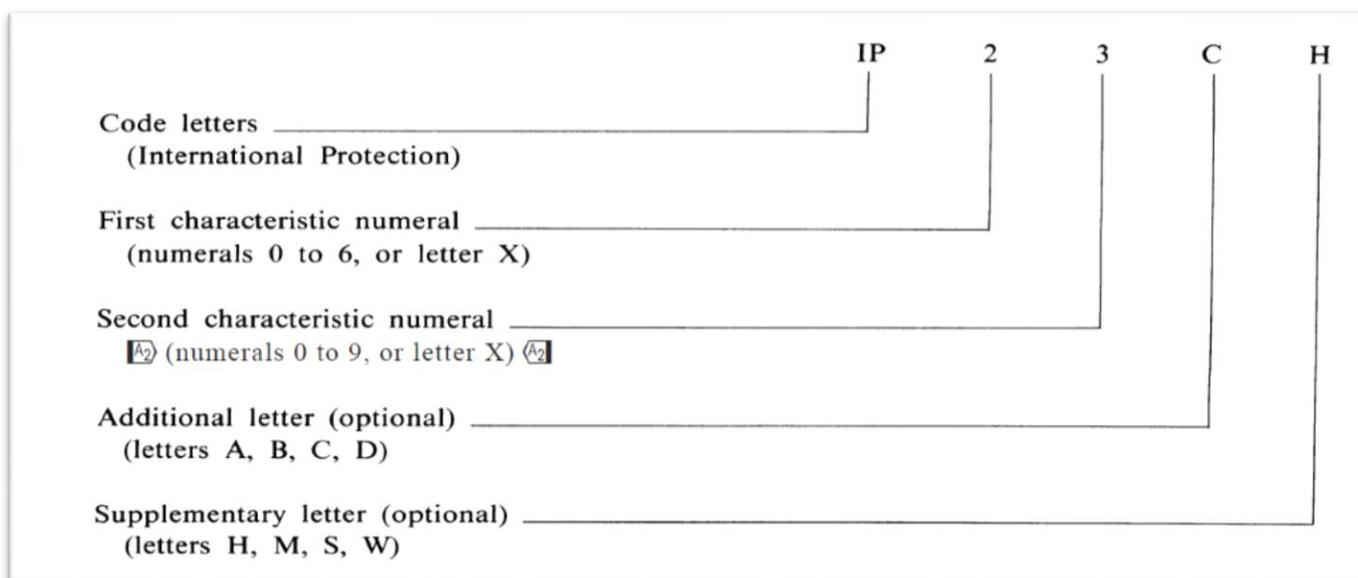


Figura 7. Arreglo de Código IP (British Standard, 2013)

2.1.5.2 Código IP66

Las luminarias de la empresa Dialight cuentan con un grado de protección IP 66, el cual indica que ningún objeto de 1mm de diámetro debe de penetrar el recinto, así como ninguna partícula de polvo. Esto se da por el primer dígito del grado de protección (6).

El segundo dígito del grado de protección indica el nivel de protección contra el agua. En este caso, al ser 6, indica que el recinto está protegido contra fuertes torrentes de agua. Es decir, que, si un chorro de agua es dirigido hacia el recinto, a alta presión, desde cualquier dirección, el recinto no debe permitir la entrada de agua. Esta información se puede localizar en la Tabla 1 y 2.

Los datos de la Tabla 1 nos indican los diferentes grados de protección contra el acceso de material peligroso. Aquí vemos que el primer dígito tiene valores del 0 al 6, siendo el 6 el que tiene mayor protección. Si bien los dígitos 4, 5 y 6 indican lo mismo (protección contra material peligroso con un alambre), la Tabla 2 nos da las diferencias entre estos dígitos.

Tabla 1. Grados de Protección contra el acceso de material peligroso indicado por el primer número característico (British Standard, 2013)

First characteristic numeral	Degree of protection		Test conditions, see
	Brief description	Definition	
0	Non-protected	—	—
1	Protected against access to hazardous parts with the back of a hand	The access probe, sphere of 50 mm Ø, shall have adequate clearance from hazardous parts	12.2
2	Protected against access to hazardous parts with a finger	The jointed test finger of 12 mm Ø, 80 mm length, shall have adequate clearance from hazardous parts	12.2
3	Protected against access to hazardous parts with a tool	The access probe of 2,5 mm Ø shall not penetrate	12.2
4	Protected against access to hazardous parts with a wire	The access probe of 1,0 mm Ø shall not penetrate	12.2
5	Protected against access to hazardous parts with a wire	The access probe of 1,0 mm Ø shall not penetrate	12.2
6	Protected against access to hazardous parts with a wire	The access probe of 1,0 mm Ø shall not penetrate	12.2

En la Tabla 2 podemos ver la diferenciación entre los grados de protección del primer dígito. Si bien para el acceso de material peligroso tienen la misma descripción, los valores de esta tabla nos dejan ver cuál es la diferencia y por qué el grado de protección 6 es mayor. En esta tabla podemos ver los grados de protección contra objetos extraños sólidos.

Tabla 2. Grados de Protección contra objetos sólidos indicados por el primer número característico (British Standard, 2013)

First characteristic numeral	Degree of protection		Test conditions, see
	Brief description	Definition	
0	Non-protected	—	—
1	Protected against solid foreign objects of 50 mm Ø and greater	The object probe, sphere of 50 mm Ø, shall not fully penetrate ^a	13.2
2	Protected against solid foreign objects of 12,5 mm Ø and greater	The object probe, sphere of 12,5 mm, Ø shall not fully penetrate ^a	13.2
3	Protected against solid foreign objects of 2,5 mm Ø and greater	The object probe of 2,5 mm Ø shall not penetrate at all ^a	13.2
4	Protected against solid foreign objects of 1,0 mm Ø and greater	The object probe of 1,0 mm Ø shall not penetrate at all ^a	13.2
5	Dust-protected	Ingress of dust is not totally prevented, but dust shall not penetrate in a quantity to interfere with satisfactory operation of the apparatus or to impair safety	13.4 13.5
6	Dust-tight	No ingress of dust	13.4 13.6

^a The full diameter of the object probe shall not pass through an opening of the enclosure.

Como se indicó anteriormente, las luminarias Dialight tienen que cumplir con un grado de protección IP66. En las tablas anteriores se explicaron los valores del primero número característico. En la siguiente tabla (Tabla 3) se indican las descripciones del segundo número característico, que habla de los grados de protección contra el agua. En este caso, van desde el 0 hasta el 9, siendo el 9 el más alto grado de protección contra el agua.

Tabla 3. Grados de Protección contra el agua indicados por el segundo número característico (British Standard, 2013)

Second characteristic numeral	Degree of protection		Test conditions, see
	Brief description	Definition	
0	Non-protected	—	—
1	Protected against vertically falling water drops	Vertically falling drops shall have no harmful effects	14.2.1
2	Protected against vertically falling water drops when enclosure tilted up to 15°	Vertically falling drops shall have no harmful effects when the enclosure is tilted at any angle up to 15° on either side of the vertical	14.2.2
3	Protected against spraying water	Water sprayed at an angle up to 60° on either side of the vertical shall have no harmful effects	14.2.3
4	Protected against splashing water	Water splashed against the enclosure from any direction shall have no harmful effects	14.2.4
5	Protected against water jets	Water projected in jets against the enclosure from any direction shall have no harmful effects	14.2.5
6	Protected against powerful water jets	Water projected in powerful jets against the enclosure from any direction shall have no harmful effects	14.2.6
7	Protected against the effects of temporary immersion in water	Ingress of water in quantities causing harmful effects shall not be possible when the enclosure is temporarily immersed in water under standardized conditions of pressure and time	14.2.7
8	Protected against the effects of continuous immersion in water	Ingress of water in quantities causing harmful effects shall not be possible when the enclosure is continuously immersed in water under conditions which shall be agreed between manufacturer and user but which are more severe than for numeral 7	14.2.8
 9	Protected against high pressure and temperature water jets	Water projected at high pressure and high temperature against the enclosure from any direction shall not have harmful effects	14.2.9 

2.1.5.3 Requerimientos de Prueba

A menos que se especifique lo contrario en el estándar más relevante del producto, las pruebas se deben de llevar a cabo bajo condiciones atmosféricas estándar. De acuerdo al estándar británico IP, las condiciones recomendadas son las siguientes:

- Rango de Temperatura: 15°C to 35°C
- Humedad Relativa: 25% a 75%
- Presión del aire: 86kPa a 106kPa

Las muestras de prueba deberán de ser nuevas y limpias, con todos los componentes ensamblados conforme a las instrucciones del fabricante. Si no es practico probar el equipo completo, partes representativas o un equipo más pequeño en la misma escala deberá de ser sometido a prueba.

El estándar más relevante del producto contiene los detalles de la prueba, tales como el número de muestras a probar, condiciones de ensamble y posición, realizar las pruebas con el material energizado o no, etcétera.

Para recintos vacíos, se deberán de detallar los requerimientos por el fabricante para el arreglo del espaciado de partes peligrosas que puedan ser afectadas si un objeto o agua penetran el recinto.

2.1.5.4 Prueba de polvo (Dust Test)

La prueba se realiza utilizando una cámara de polvo (dust chamber en ingles) donde la bomba de circulación del polvo debera ser reemplazada por otro medio para mantener el polvo en estado de “talco” en una cámara cerrada(Figura 7). El talco debera de ser capaz de pasar a traves de una rejilla con el diametro nominal de varilla de 50 μm y tener un espaciado entre varillas de 75 μm . La cantidad de polvo utilizado es de 2kg por metro cubico del volumen de la cámara de prueba. El talco no se debe de utilizar para mas de 20 pruebas.

Se considera una prueba satisfactoria si no se encuentran depositos de polvo dentro del recinto al final de la prueba.

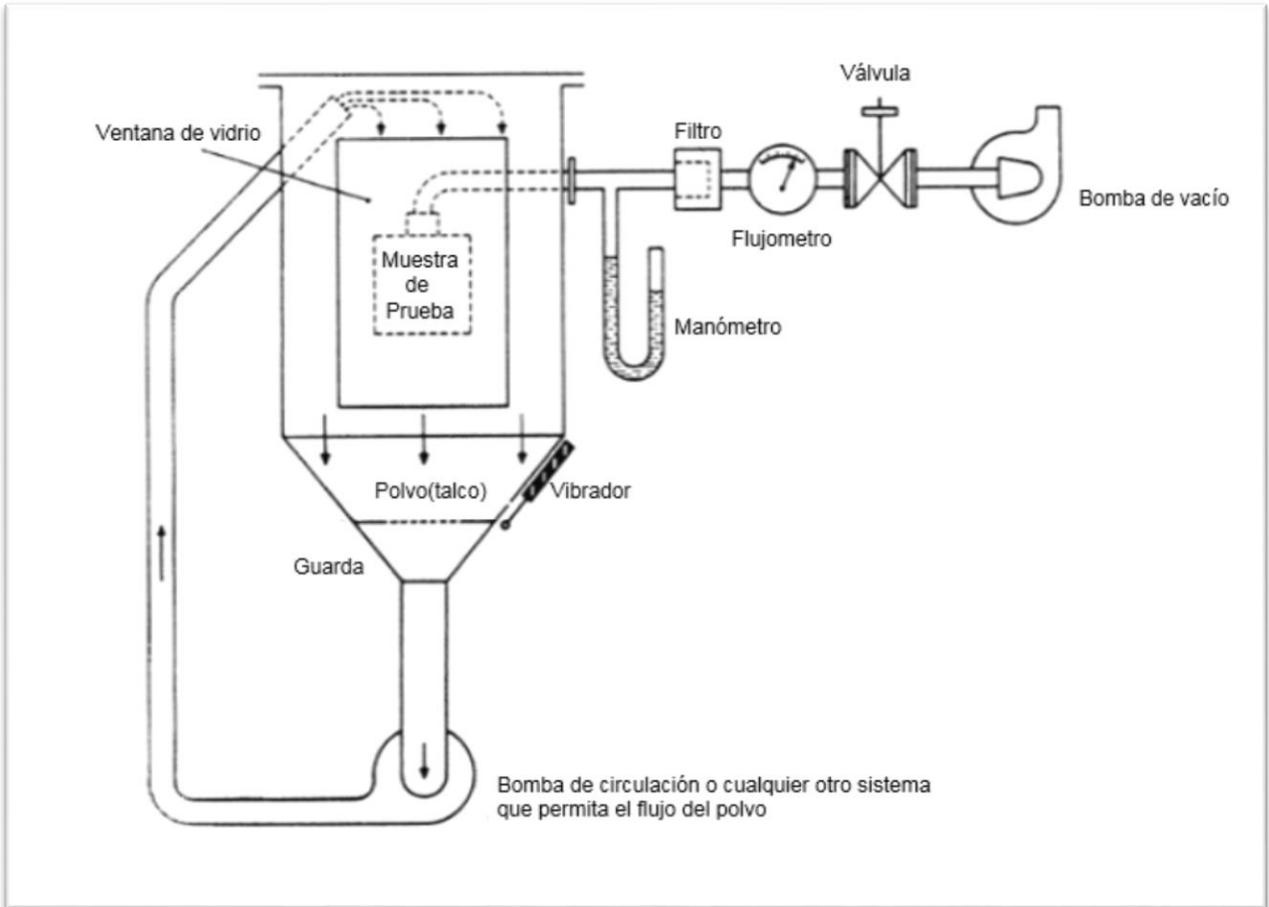


Figura 8. Cámara de prueba de polvo (Dust Chamber) (British Standard, 2013)

2.1.5.5 Prueba Proteccion contra agua (Water Jet Nozzle)

Para cumplir con el grado de proteccion IP66, es necesario utilizar una boquilla de 12.5mm. El tamaño de la boquilla va variando dependiendo del dígito que se necesite validar. La prueba consiste en rociar el recinto practicamente por todas las direcciones con una corriente de agua.

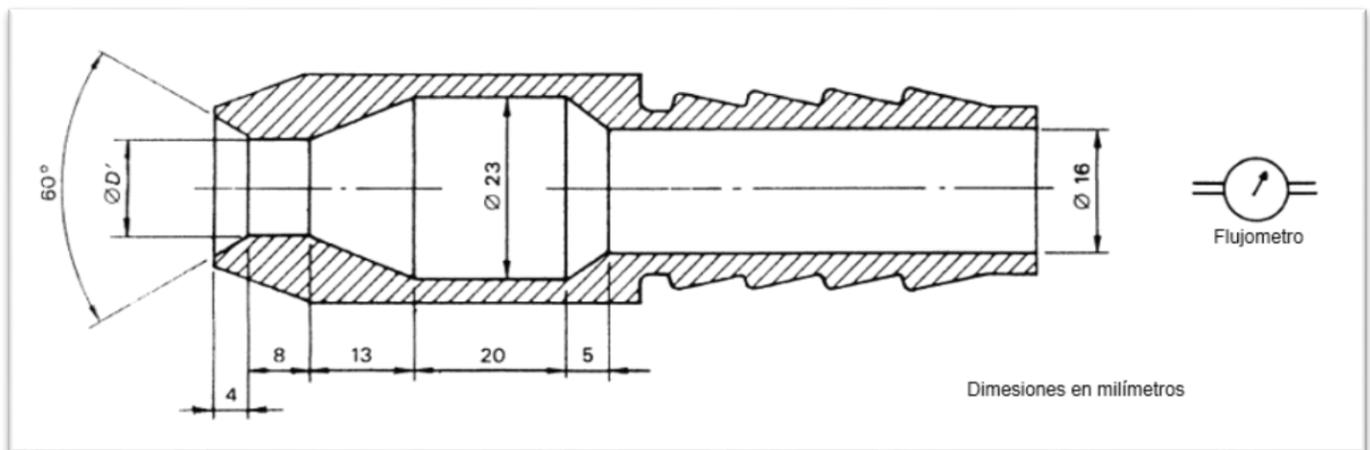


Figura 9. Boquilla para fixtura de prueba de proteccion contra agua (Water Jet Nozzle) (British Standard, 2013)

Las condiciones de prueba son las siguientes:

- Diametro interno de boquilla: 12.5mm
- Rango de flujo: 100 l/min +/- 5%
- Presion de agua: Ajustada hasta lograr el rango de flujo
- Diametro del centro de la corriente de agua: aproximadamente 120mm a 2.5m de la boquilla
- Duracion de la prueba por metro cuadrado de la superficie del recinto: 1 minuto
- Duracion minima de la prueba: 3 minutos
- Distancia de la boquilla a la superficies: entre 2.5m y 3m

La prueba se considera exitosa si no se encuentran residuos de agua dentro del recinto (British Standard, 2013).

2.1.6 OI-098 (Prueba de sumersión)

El proceso de validación de IP66 es realizado por un laboratorio externo (Intertek). Ellos se encargan de realizar las pruebas correspondientes para asegurar que los productos Dialight cumplen con un grado de protección IP66.

Una vez liberado el producto, se procedió a implementar una prueba en la línea de Producción que fue un equivalente al IP66, esto con el fin de poder tener un buen flujo de material en el área de Producción.

Esta prueba consiste en sumergir la unidad en una tina con agua caliente (80 ° C) por un periodo de 60 segundos. Lo que se logra con esto es aumentar la presión del aire que se encuentra atrapado dentro de la luminaria (aproximadamente 3 psi), así como disminuir su densidad. El efecto que esto tiene es que el aire buscara salir del entorno para equilibrar las presiones. Durante este periodo de tiempo, no deben de salir burbujas de la unidad (no más de 3 burbujas cada 10 segundos). El detectar una burbuja saliendo de la luminaria significa que hay escape de aire, por lo que la prueba sería no satisfactoria. El sistema es automatizado, por lo que el periodo de tiempo no varía entre unidad y unidad (Dialight, 2015).



Figura 10. Estación de Prueba de Inmersión

2.1.7 Análisis Estadístico de Datos

El análisis de datos es el proceso de examinarlos sistemáticamente con el propósito de resaltar aquella información que sea más útil; es la base de la investigación científica.

En términos muy sencillos, hay dos tipos de datos que pueden ser recabados: cualitativos y cuantitativos. Ambos tipos de datos tienen ventajas y limitaciones, y pueden ser apropiados para diferentes entornos.

Los datos cuantitativos son información numérica, cuyo análisis involucra técnicas estadísticas. En el otro extremo, los datos cualitativos consisten en palabras y narraciones. El análisis de los datos cualitativos puede venir en muchas formas, incluyendo resaltar palabras clave, extraer ideas principales y elaborar conceptos. Un ejemplo de datos cuantitativos sería cuando administramos un cuestionario de satisfacción, pidiéndoles a los participantes que califiquen su experiencia en una escala del 1 al 5. En este caso, los datos serían numéricos y tendríamos que utilizar técnicas estadísticas para derivar conclusiones sobre la satisfacción de los participantes.

El análisis de la información numérica produce resultados a partir de datos. La interpretación de los datos a través del análisis es clave para comunicar los resultados a las partes interesadas. El tipo de análisis a utilizar depende del diseño de la investigación, el tipo de variables que tienes y la distribución de los datos. (Rodríguez, 2019)

2.1.8 Análisis Descriptivo de Datos

Consiste en describir las tendencias claves en los datos existentes y observar las situaciones que conduzcan a nuevos hechos. Este método se basa en una o varias preguntas de investigación y no tiene una hipótesis. Además, incluye la recopilación de datos relacionados, posteriormente, los organiza, tabula y describe el resultado.

Un análisis básico descriptivo implica el calcular las medidas simples de composición y distribución de variables. Dependiendo del tipo de datos, pueden ser proporciones, tasas, razones o promedios. Además, cuando sea necesario, como en el caso de las encuestas por muestreo, pueden utilizarse medidas de asociación entre variables para decidir si las diferencias observadas entre mujeres y hombres son estadísticamente significativas o no. Generalmente, las personas evitan el uso del análisis descriptivo cuando revisan los estudios porque les interesan más las predicciones que se están probando. Sin embargo, es un error ya que este método puede proporcionar información realmente importante sobre la muestra que se está estudiando.

El análisis descriptivo proporciona una base de conocimiento que puede ser una base para realizar posteriormente un análisis cuantitativo. Si se interpreta de forma correcta, los datos pueden ofrecer perspectivas útiles que lleven a la creación de una hipótesis (QuestionPro, 2019).

2.1.9 Teorema de Límite Central

El teorema del límite central es un teorema fundamental de probabilidad y estadística. El teorema describe la distribución de la media de una muestra aleatoria proveniente de una población con varianza finita. Cuando el tamaño de la muestra es lo suficientemente grande, la distribución de las medias sigue aproximadamente una distribución normal. El teorema se aplica independientemente de la forma de la distribución de la población. Muchos procedimientos estadísticos comunes requieren que los datos sean aproximadamente normales. El teorema de límite central le permite aplicar estos procedimientos útiles a poblaciones que son considerablemente no normales. El tamaño que debe tener la muestra depende de la forma de la distribución original. Si la distribución de la población es simétrica, un tamaño de muestra de 5 podría producir una aproximación adecuada. Si la distribución de la población es considerablemente asimétrica, es necesario un tamaño de muestra más grande. Por

ejemplo, la distribución de la media puede ser aproximadamente normal si el tamaño de la muestra es mayor que 50.

En concreto, el teorema del límite central demuestra que, en condiciones muy generales, la suma de muchas variables aleatorias independientes se aproxima a una distribución normal (también llamada campana de Gauss).

Gracias al teorema del límite central, cuando calculamos una media o una proporción sobre una muestra, podemos saber cuál es la probabilidad de que el universo tenga ese mismo valor o un valor parecido. El valor que calculemos en la muestra será el más probable para nuestro universo y a medida que nos alejamos de este valor (por arriba o por abajo) cada vez serán valores menos probables.

Conociendo la propiedad anterior, es fácil adaptar las fórmulas de distribución gaussiana a cualquier caso, sin importar la media o la desviación. Para determinar una proporción, se utiliza la siguiente formula:

$$n = \frac{(N)(Z^2)(p)(1-p)}{(N-1)e^2 + Z^2(p)(1-p)} \quad (3)$$

Donde:

- n= Tamaño de muestra
- N=Tamaño del Universo
- e = Margen de error máximo
- p= Proporción que se espera encontrar
- Z=Desviación del valor medio que aceptamos para lograr el nivel de confianza deseado. El valor utilizado es determinado por la forma que tiene la distribución de Gauss. Los valores más frecuentes son:

- Nivel de Confianza 90%, Z=1.645
- Nivel de Confianza 95%, Z=1.96
- Nivel de Confianza 99%, Z=2.575

Ahora, la Ecuación 3 se puede simplificar cuando se trabajan con universos de tamaño muy grande (mayor de 100,000 individuos), resultando en la siguiente ecuación:

$$n = \frac{(Z^2)(p)(1-p)}{e^2} \quad (4)$$

Donde:

- n= Tamaño de muestra
- Z= Desviación del valor medio aceptado
- e= Margen de error máximo
- p= Proporción que se espera encontrar

2.1.9.1 Muestras de una población uniforme

Una población que sigue una distribución uniforme es simétrica, pero marcadamente no normal, como lo demuestra el primer histograma. Sin embargo, la distribución de las medias de 1000 muestras de tamaño 5 de esta población es aproximadamente normal debido al teorema del límite central, como lo demuestra el histograma de la Grafica 1. Este histograma de las medias de las muestras incluye una curva normal superpuesta para ilustrar esta normalidad (MiniTab, 2019).

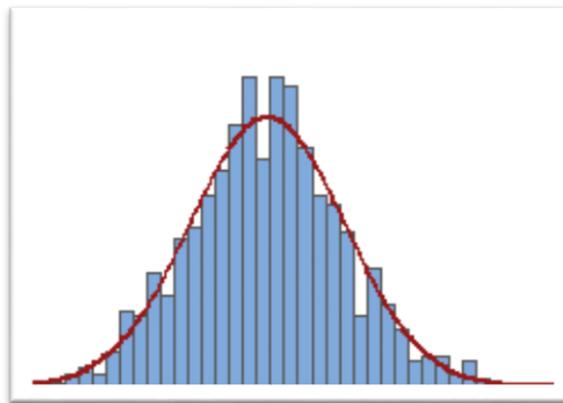


Figura 11. Histograma, Medias de las muestras de una población uniforme

2.1.10 Prueba de Hipótesis

Una prueba de hipótesis es una regla que especifica si se puede aceptar o rechazar una afirmación acerca de una población dependiendo de la evidencia proporcionada por una muestra de datos. Con base en los datos de muestra, la prueba determina si se puede rechazar la hipótesis nula. Se utiliza el valor p para tomar esa decisión. Si el valor p es menor que el nivel de significancia (denotado como α o alfa), entonces puede rechazar la hipótesis nula.

Un error común de percepción es que las pruebas estadísticas de hipótesis están diseñadas para seleccionar la más probable de dos hipótesis. Sin embargo, al diseñar una prueba de hipótesis, establecemos la hipótesis nula como lo que queremos desaprobar. Puesto que establecemos el nivel de significancia para que sea pequeño antes del análisis (por lo general, un valor de 0.05 funciona adecuadamente), cuando rechazamos la hipótesis nula, tenemos prueba estadística de que la alternativa es verdadera. En cambio, si no podemos rechazar la hipótesis nula, no tenemos prueba estadística de que la hipótesis nula sea verdadera. Esto se debe a que no establecimos la probabilidad de aceptar equivocadamente la hipótesis nula para que fuera pequeña. (MiniTab, 2019)

2.1.11 Fixtura

Una fixtura es una herramienta de sujeción utilizada ampliamente en la industria manufacturera (Colvin & Haas, 1913). Las fixturas se utilizan para posicionar de manera precisa un componente y poder trabajar con él, asegurando que todas las partes producidas utilizando la fixtura mantengan su conformidad e intercambiabilidad. Utilizar una fixtura aumenta la economía de la producción al permitir una operación esbelta una rápida transición entre partes, reduciendo el requerimiento de mano de obra experta al simplificar el ensamble de las piezas (Henriksen, 1973).

2.1.12 Margen de Error

Es el intervalo en el que se espera encontrar el dato que se quiere medir del universo. El dato puede ser en general de dos tipos: media o proporción. (Ochoa, 2013) Refiere a la cantidad de error de muestreo aleatorio resultado de la elaboración de una encuesta. Es un término importante dentro de la investigación de mercados ya que define el nivel de confianza de los resultados obtenidos en la encuesta o investigación. A mayor margen de error existe un menor grado de confianza en la investigación y viceversa.

Antes de iniciar una investigación debemos definir a nuestra población. El margen de error puede ser significativo si una población no se define en la forma correcta, o si los procedimientos de selección no se siguen en la forma apropiada. (QuestionPro, 2019)

2.1.13 Nivel de Confianza

Representa el porcentaje de intervalos que incluirían el parámetro de población si usted tomara muestras de la misma población una y otra vez. Por lo general, un nivel de confianza de 95% funciona adecuadamente. Esto indica que, si usted recogió cien muestras y creó cien intervalos de confianza de 95%, cabría esperar que aproximadamente 95 de los intervalos incluyeran el parámetro de población, tal como la media de la población, como se muestra en la Figura 10. (Minitab, 2019)

En este caso, la línea negra horizontal representa el valor fijo de la media desconocida de la población, μ . Los intervalos de confianza azules verticales que se superponen a la línea horizontal contienen el valor de la media de la población. El intervalo de confianza rojo que está completamente por debajo de la línea horizontal no lo contiene. Un nivel de confianza de 95% indica que 19 de 20 muestras (95%) de la misma población producirán intervalos de confianza que incluirán el parámetro de población.

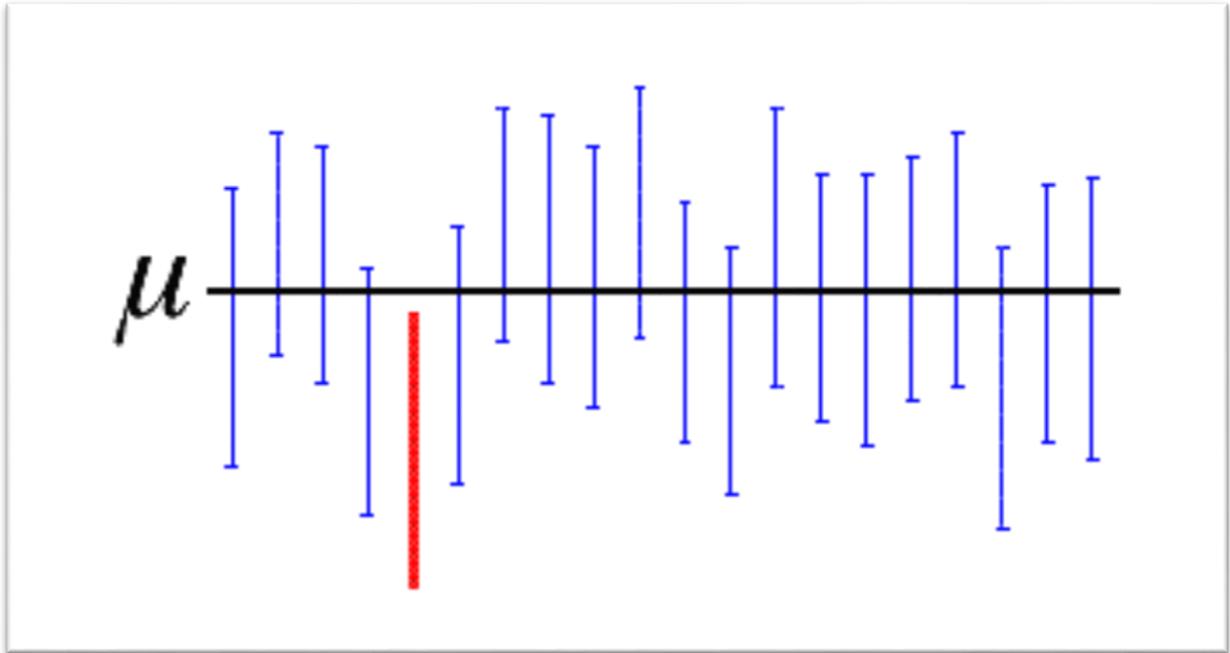


Figura 12. Ejemplo de una representación gráfica de la media de una población

2.1.14 Tamaño de Muestra

Número determinado de sujetos o cosas que componen la muestra extraída de una población, necesarios para que los datos obtenidos sean representativos de la población. (Torres, Paz, & Salazar)

Los objetivos de determinar el tamaño adecuado de una muestra son los siguientes:

- Estimar un parámetro determinado con el nivel de confianza deseado.
- Detectar una determinada diferencia, si realmente existe, entre los grupos de estudio con un mínimo de garantía.
- Reducir costes o aumentar la rapidez del estudio.

El definir el tamaño de la muestra antes de comenzar una investigación es un principio estadístico que nos ayuda a evitar el sesgo en la interpretación de los resultados obtenidos. (QuestionPro, 2019)

2.1.15 Proporción

La Proporción es la medida estadística más simple que puede adscribirse a una variable binaria. La proporción expresa la frecuencia con que se encuentra la variable de interés, dentro del conjunto total de datos de una población. Desde este punto de vista, el problema es simple:

$$p = \frac{a}{N} \quad (5)$$

Siendo p la proporción, a el número de veces que se ha presentado la variable de interés, y N el número de datos del total de la muestra. Se trata de un parámetro, y es un número exacto, es decir, que, si no cambia la población, la proporción será constante. (SAMIUC, 2019)

Capítulo 3

3.1 Metodología

El estudio tuvo lugar en la empresa Dialight Ensenada, Baja California, en el área de Producción, a cargo del departamento de Ingeniería (Sostenimiento), en el periodo del 4 de marzo del 2019 al 30 de agosto del 2019.

3.1.1 Seleccionar la dimensión de la junta tórica:

Dependiendo del espacio disponible en la luminaria, se elige el diámetro de la junta tórica. Las dimensiones de las juntas tóricas viene establecidas a través del estándar AS568. Básicamente la geometría y la naturaleza de cada diseño va a dictar cuanto espacio puede ser dedicado a la ranura de sellado que albergara a la junta tórica. Si bien existen diversas geometrías de juntas, este proyecto se enfoca solamente en juntas tóricas.

3.1.2 Seleccionar el material de la junta tórica:

Antes de elegir el material que se quiere utilizar, se debe de conocer la presión y la temperatura de trabajo que debe de resistir el sello. Para las luminarias, la presión no es el factor principal en la selección del material, ya que no son productos presurizados. El factor a considerar cuando se elige el material de la junta tórica para una luminaria es la temperatura de trabajo de dicha luminaria, ya que será lo que afecte directamente a la junta tórica.

3.1.3 Calcular rangos de desplazamiento y compresión

Las dimensiones de la ranura (profundidad y ancho) juegan un papel muy importante en el rendimiento de sellado. Estas dimensiones se obtendrán con ayuda de la fórmula 1 y 2. Las dimensiones que se seleccionaran será la condición máxima dentro de tolerancia, la condición mínima y la condición nominal de sus dimensiones. Para este proyecto se optó por variar solamente la altura de la ranura.

3.1.4 Diseño de Prototipos

Tomando como referencia la información del proveedor de junta tóricas e-MOS (E-MOS , 2015) los rangos de desplazamiento y compresión deben de estar entre 8-30% y 60-90% respectivamente. Esto se calculó utilizando las ecuaciones 1 y 2. Se tomaron 3 dimensiones de altura de ranura de los resultados obtenidos. Un valor dentro del rango tomado como base, un valor por debajo del rango y un valor “nominal”. Después de definir estos valores, se fabricarán muestras para hacer pruebas funcionales de ambas opciones.

3.1.5 Definir Tamaño de Muestra para validaciones experimentales

Definir el tamaño de muestra será diferente para caso de Investigación, ya que las variables de cada proyecto no son las mismas. La recomendación de esta Metodología es seguir el Teorema de Limite Central para definir el tamaño de muestra.

Margen de error, nivel de confianza y tamaño de la muestra siempre van de la mano. Si queremos obtener un margen de error y un nivel de confianza determinados (por ejemplo, error del 5% con confianza 95%) necesitaremos un tamaño de muestra mínimo correspondiente. Modificar cualquiera de los 3 parámetros, altera los restantes:

1. Reducir el margen de error obliga a aumentar el tamaño de la muestra.
2. Aumentar el nivel de confianza obliga a aumentar el tamaño de la muestra.
3. Si aumenta el tamaño de mi muestra, puedo reducir el margen de error o incrementar el nivel de confianza.

Las Ecuaciones 3 y 4 de esta Investigación permiten calcular el tamaño de muestra dependiendo del caso (Tamaño de población de la Investigación).

3.1.6 Pruebas funcionales

Teniendo definidas las dimensiones ranura que serán sometidas a pruebas, así como el tamaño de muestra de cada una de las variables, se procedió a realizar las pruebas funcionales en siguiendo la instrucción de operación 098.

La corrida de validación será simulada por el personal de Producción de la Empresa Dialight, Planta Ensenada, para simular una corrida normal y no variar el proceso.

3.2 Plan de Trabajo

A continuación, se presenta el plan de trabajo a realizar para poder determinar cuál es el diseño óptimo de la ranura de sellado, la cual tiene una fecha estimada de septiembre del 2019:

Tabla 4. Plan de Trabajo para pruebas de selección de junta torica y diseño de ranura de sellado

Actividad	Plan de Trabajo																											
	Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto							
	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22	Semana 23	Semana 24	Semana 25	Semana 26	Semana 27	Semana 28	Semana 29	Semana 30	Semana 31	Semana 32				
Análisis Teórico (Selección de Material, Calcular Rangos de Desplazamiento y Compresión)	■	■	■	■	■																							
Conseguir datos anuales de Producción, para definir la Población								■	■	■	■																	
Calcular Tamaño de muestra												■	■															
Requerir Material de Pruebas														■														
Maquinar material para pruebas funcionales																	■	■	■									
Medición de Material de Prueba																	■	■	■									
Pruebas funcionales																					■	■	■	■				

Capítulo 4

4.1 Resultados

De acuerdo con los análisis y pruebas realizadas, utilizar esta metodología de selección de juntas tóricas y diseño de ranuras para implementar un diseño confiable, al no definir las dimensiones necesarias para no tener fugas durante la prueba de inmersión. A continuación, se presentan los resultados en el orden que se describe en la metodología:

4.1.1 Seleccionar la dimensión de la junta tórica:

El material utilizado para las validaciones fue el número de parte Dialight 3998HZL000810. A continuación, se muestran unas imágenes extraídas de su plano.

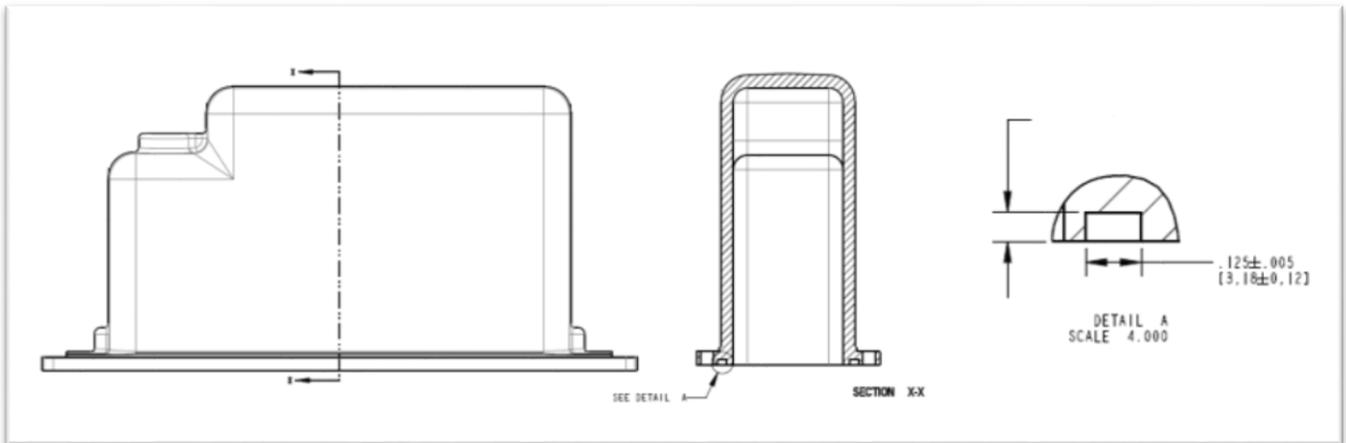


Figura 13. Dibujo de las Muestras de Validación

La pared donde se necesita la ranura de sellado tiene un espesor de $.180''$, por lo que se definió que una junta tórica de $.103''$ será la más indicada para ser utilizada. Esto dejaría una pared de material de $.100''$. Este requerimiento va a depender de cada aplicación. Si se tiene un tanque presurizado, tal vez sería necesario tener un espesor de pared mayor.

Los requerimientos de diseño son especificados por cada usuario. El diámetro de la junta tórica se puede cambiar de ser necesario. Todo dependerá de la altura necesaria para la ranura de sellado. Esto se explicará en los siguientes puntos.

4.1.2 Selección de material de la junta tórica:

El material a elegir para la junta tórica depende de 2 factores: presión que necesita contener y la temperatura de trabajo. La manera en que influyen estos factores va a variar según su uso. Por ejemplo, para esta investigación la selección se basó en la temperatura de trabajo, ya que la luminaria no estará presurizada. La temperatura de trabajo en la que opera normalmente una luminaria es de -40°F a 65°F. El material seleccionado fue la goma de silicona (Parker S7426), con un rango de temperatura de trabajo de -75°F a 400°F. La presión a contener durante la prueba de fuga es de 3 psi, por lo que se desprecia para este experimento.

4.1.3 Calcular rangos de desplazamiento y compresión

Ya teniendo definida el diámetro de la junta tórica, se procederá a utilizar las fórmulas 1 y 2 (rangos de desplazamiento y compresión) para definir la dimensión de la ranura de sellado. A continuación, se presentan las tablas con los resultados.

Tabla 5. Resultados, Rangos de Desplazamiento y Compresión

Diámetro Nominal Junta Tórica	Área Junta Tórica (Sección Transversal)	Altura Nominal Ranura (Pulgadas)	Ancho Nominal Ranura (Pulgadas)	Área de ranura	Relación de desplazamiento(%)	Relación de compresión(%)
0.103	0.0083	0.06	0.125	0.008	111.09	42
0.103	0.0083	0.061	0.125	0.008	109.27	41
0.103	0.0083	0.062	0.125	0.008	107.09	40
0.103	0.0083	0.063	0.125	0.008	105.8	39
0.103	0.0083	0.064	0.125	0.008	104.15	38
0.103	0.0083	0.065	0.125	0.008	102.55	37
0.103	0.0083	0.066	0.125	0.008	100.99	36
0.103	0.0083	0.067	0.125	0.008	99.49	35
0.103	0.0083	0.068	0.125	0.009	98.027	34
0.103	0.0083	0.069	0.125	0.009	96.606	33
0.103	0.0083	0.07	0.125	0.009	95.226	32
0.103	0.0083	0.071	0.125	0.009	93.88	31
0.103	0.0083	0.072	0.125	0.009	92.581	30
0.103	0.0083	0.073	0.125	0.009	91.31	29
0.103	0.0083	0.074	0.125	0.009	90.07	28
0.103	0.0083	0.075	0.125	0.009	88.78	27

Los valores de altura de la ranura fueron tomados en base a la junta tórica seleccionada. Se tabularon valores de .05” a .100” solo para abarcar los posibles valores de relaciones de compresión y desplazamiento. En la Tabla 4 solo se muestran valores de 0.06” a 0.075”. Esto es debido a que los rangos funcionales recomendados por E-MOS son de 8-30% para compresión y 60-90% para desplazamiento.

4.1.4 Diseño de Prototipos

En base a los datos obtenidos teóricamente utilizando las ecuaciones de relación de desplazamiento y compresión, se dividieron los valores en 3 grupos. Dado que la tolerancia será de .002”, los 3 valores seleccionados fueron los siguientes:

- 0.073” +/- .002”
- 0.068” +/- .002”
- 0.063” +/- .002”

Tabla 6. Resultados divididos según sus valores de relación de desplazamiento y compresión

Diámetro Nominal Junta Tórica	Área Junta Tórica (Sección Transversal)	Altura Nominal Ranura (Pulgadas)	Ancho Nominal Ranura (Pulgadas)	Área de ranura	Relación de desplazamiento(%)	Relación de compresión(%)
0.103	0.0083	0.061	0.125	0.008	109.27	41
0.103	0.0083	0.062	0.125	0.008	107.09	40
0.103	0.0083	0.063	0.125	0.008	105.8	39
0.103	0.0083	0.064	0.125	0.008	104.15	38
0.103	0.0083	0.065	0.125	0.008	102.55	37
0.103	0.0083	0.066	0.125	0.008	100.99	36
0.103	0.0083	0.067	0.125	0.008	99.49	35
0.103	0.0083	0.068	0.125	0.009	98.027	34
0.103	0.0083	0.069	0.125	0.009	96.606	33
0.103	0.0083	0.07	0.125	0.009	95.226	32
0.103	0.0083	0.071	0.125	0.009	93.88	31
0.103	0.0083	0.072	0.125	0.009	92.581	30
0.103	0.0083	0.073	0.125	0.009	91.31	29
0.103	0.0083	0.074	0.125	0.009	90.07	28
0.103	0.0083	0.075	0.125	0.009	88.78	27

De los valores nominales, se definieron 6 variables, que son la condición máxima y la condición mínima de las 3 dimensiones nominales seleccionadas. Se dividieron en 3 grupos:

- Grupo 1: 0.071" y 0.075"
- Grupo 2: 0.066" y 0.070"
- Grupo 3: 0.061" y 0.065"

Las dimensiones del Grupo 1 se encuentran en un rango de 88.78% y 93.88% en la relación de desplazamiento, y 27% a 31% en la relación de compresión. Ambos valores se encuentran en el límite superior de lo recomendado por el proveedor.

Las dimensiones del Grupo 2 están en un rango de 95.22% al 100.99% para la relación de desplazamiento, mientras que su relación de compresión va desde 32% al 36%. Ambos porcentajes sobrepasan los rangos recomendados.

Las dimensiones del Grupo 3 también sobrepasan los rangos recomendados, al tener valores 102.55% para desplazamiento y 37% a 41% para compresión.

4.1.5 Definir Tamaño de Muestra para validaciones experimentales

La población que se eligió para definir el tamaño de muestra fue la cantidad proyectada de luminarias Linear Battery Backup que se venderán en este año. Las variables de las ecuaciones quedaron de la siguiente manera:

- $N=50,000$ (Estimado de ventas anuales de luminarias Linear Battery Backup)
- Nivel de confianza 95%, $Z=1.96$
- $e= 5\%$
- $p= 1\%$

Para la ecuación 4, el resultado que se obtuvo fue una muestra de 29.81.

Esto quiere decir que, con 30 muestras, podemos decir que tenemos un nivel de confianza del 95%, para una población de 50,000.

4.1.6 Pruebas funcionales

Teniendo definido el tamaño de muestra por dimensión (30 muestras por dimensión, 180 pruebas en total), así como las dimensiones a probar, se procedió con las pruebas experimentales. El material que se utilizó para maquinar la ranura se presenta en la Figura 11.

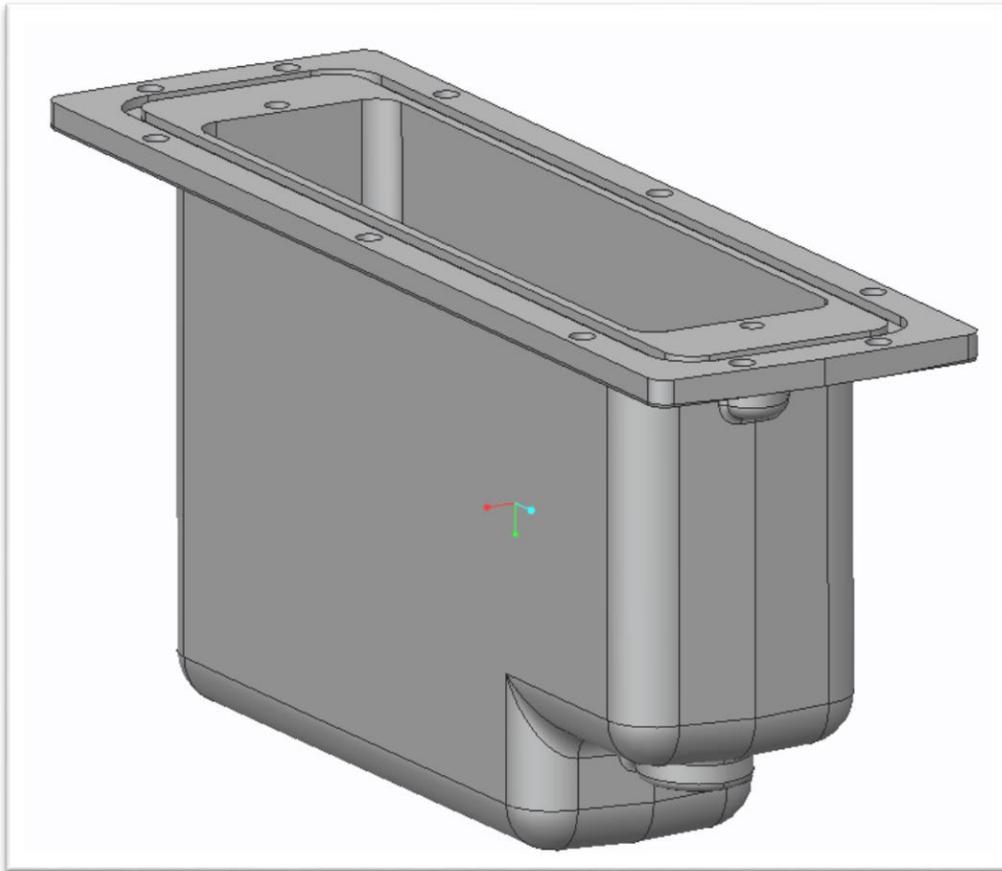


Figura 14. Prototipo de prueba

El material de prueba se ensambló en una luminaria vacía, la cual se utilizó como fixtura. Es decir, se utilizó para probar las 180 muestras. Solamente se iban cambiando las cubiertas. El ensamble de la fixtura se encuentra en la Figura 12.

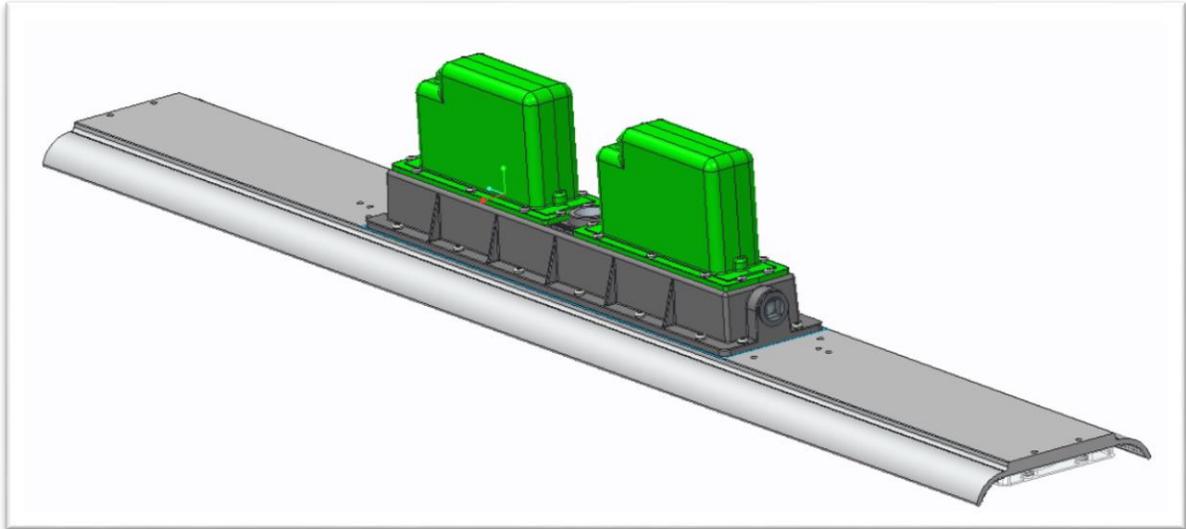


Figura 15. Fixtura de Prueba

En la Figura 12 se pueden ver en color verde las muestras que se probaron (material con ranura de sellado). Fue posible validar 2 piezas por fixtura. En total se tenían 10 fixturas disponibles. En la figura 13 se puede ver cuál sería un ensamble normal de esta luminaria. El modelo que se utilizó para validar es un Linear Battery Backup.

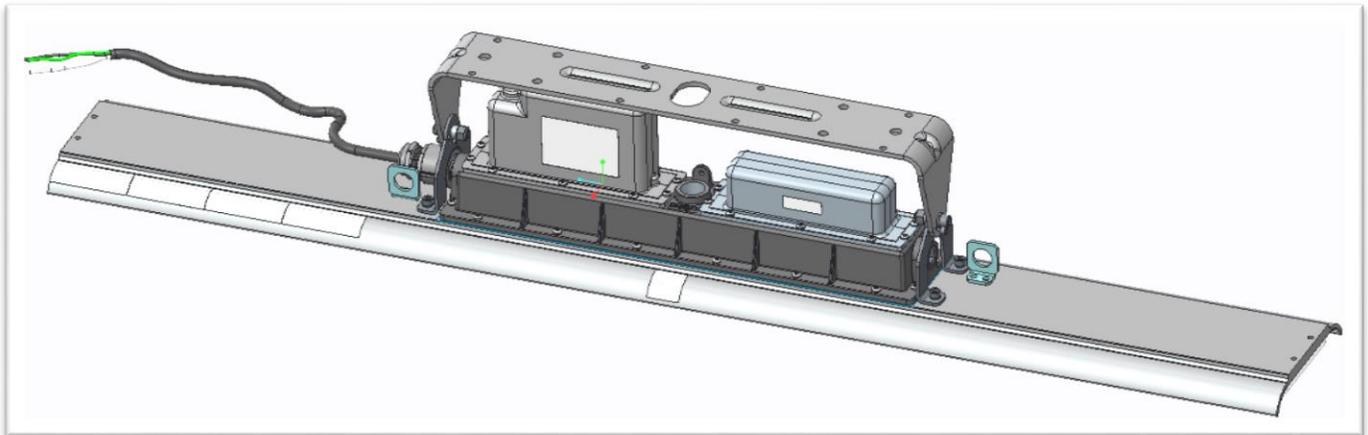


Figura 16. Luminaria Dialight Linear Battery Backup

Los resultados del grupo 1 se pueden encontrar en la Grafica 2, los cuales son fáciles de analizar, ya que las 60 muestras fallaron la prueba de fuga. Esto significa que las dimensiones de 0.071" a 0.075" no son funcionales, así como sus respectivos porcentajes de desplazamiento y compresión.



Figura 17. Resultados Grupo 1

Para el Grupo 2 se tuvieron resultados mezclados, ya que 30 muestras no pasaron la prueba de fuga (ver Grafica 3). Las 30 muestras que fallaron se encontraban en la dimensión máxima (0.070"). Esto era de esperarse ya que los valores de desplazamiento y compresión no eran muy diferentes a los de la dimensión mínima del Grupo 1 (0.071").



Figura 18. Resultados Grupo 2

Los resultados del Grupo 3 se presentan en la Grafica 4. Se puede apreciar que las muestras fueron funcionales al estar en un rango de 0.061" a 0.065" en cuanto a la altura de la ranura.

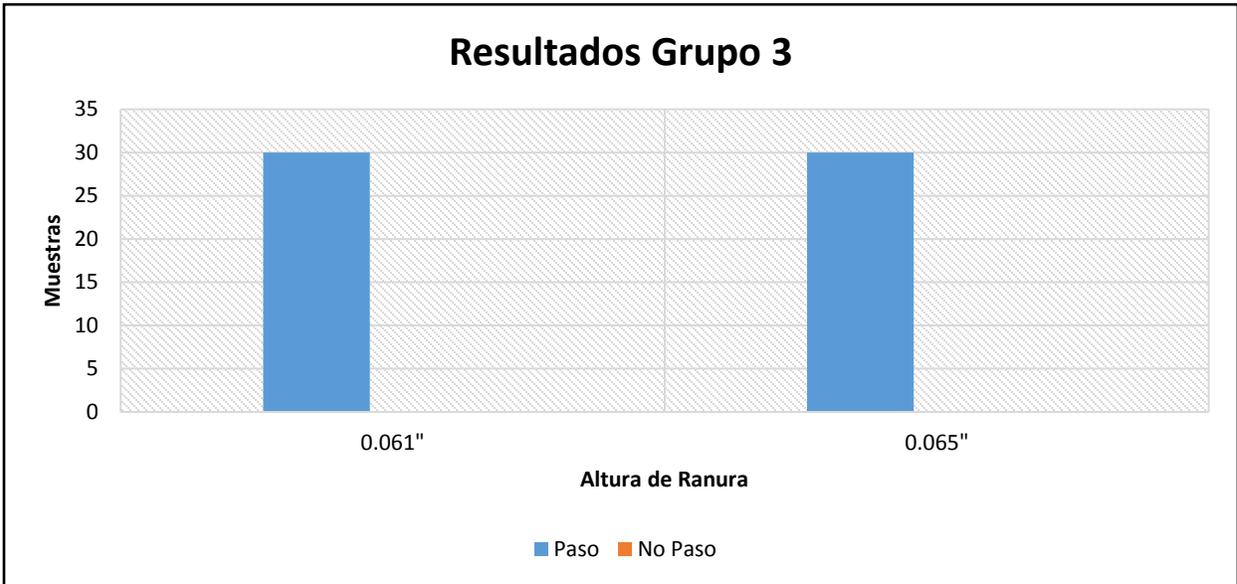


Figura 19. Resultados Grupo 3

4.2 Discusión

Comparando los resultados de los Grupos 1, 2 y 3, podemos ver que los rangos de desplazamiento y compresión propuestos por la compañía E-MOS no fueron funcionales para esta prueba, por lo que se puede inferir que deben de ser utilizados como referencia.

En base a los resultados obtenidos, se pudo validar que el uso de una metodología para seleccionar una junta tórica y diseño de ranura de sellado sirven para definir un sello exitoso para un recinto especificado. Esto se puede asegurar ya que se pudo definir una dimensión funcional para la ranura de sellado, en conjunto con una junta tórica seleccionada.

Los resultados dejan ver que, si se continúa aumentando los valores de los porcentajes de desplazamiento y compresión, a través de cambios en la altura (disminuir la altura a menos de 0.060”), es probable encontrar diseños funcionales y tener un diseño más robusto, ya que actualmente el valor de la tolerancia estaría en +/- .002”. El tener una tolerancia más amplia podría liberar tiempo en el proceso de maquinado y aumentar su productibilidad.

Sin embargo, debido a que los resultados exitosos presentan valores altos en los porcentajes de compresión y desplazamiento, es recomendable realizar pruebas de envejecimiento, específicamente en la junta tórica. Someter a cambios de temperatura la Fixtura de prueba (rangos de temperatura de trabajo de la luminaria), en un numero de ciclos definido, para después volver a pasar al área de prueba de fuga. Esto para validar que, aun después de cierto tiempo de estar bajo esfuerzos de compresión y cambios súbitos de temperatura, la junta tórica no sufrió daños y en su estructura y sigue siendo funcional. La mayoría de las luminarias manejan garantías, por lo que es necesario garantizar que el paso del tiempo, bajo sus condiciones de trabajo, no disminuirán el rendimiento de sellado de la junta tórica y por lo tanto, comprometerán el desempeño de la luminaria.

Capítulo 5

5.1 Conclusiones

Se realizaron con éxito las pruebas de validación para la junta tórica y ranura de sellado, demostrando que el uso de esta metodología de selección y diseño de ranura de sellado permite definir un diseño funcional para los requerimientos de una luminaria con Grado de Protección IP66.

Así mismo se demostró que los rangos de desplazamiento y compresión no son precisos conforme a los que se estipula por la compañía e-MOS, ya que ellos proponen rangos funcionales de 8-30% para desplazamiento y de 60-90 para compresión, cuando los datos experimentales nos dejan ver que las partes son funcionales desde un 96 a 110% para compresión, y de 33 a 42% para desplazamiento.

Se concluyó que las dimensiones funcionales para la ranura de sellado varían en un rango de 0.061" a 0.066" en su altura. Esto deja una dimensión nominal de 0.063" con una tolerancia de +/- .002", si se busca una tolerancia simétrica, o +.002" /-.003" con una tolerancia asimétrica. Todo esto con el uso de una junta tórica de 0.103" de Silicón.

Por el hecho de ser una metodología estándar, se puede utilizar para diferentes aplicaciones y dimensiones, esperando los mismos resultados.

Referencias

- Bharat, B. (1998). Contact mechanics of rough surfaces in tribology: multiple asperity contact. *Tribology Letters* 4, 1-35.
- BOYD Corporation. (2018). *BOYD Corporation*. Retrieved from <https://www.boydcorp.com/resources/blog/item/105-what-is-an-o-ring-history-and-applications-of-o-rings.html>
- British Standard. (2013). *Degrees of Protection provided by enclosures (IP code)*. British Standards.
- Bulbs. (2018). Retrieved from Bulbs The Led Authority: <https://www.bulbs.com/learning/history.aspx>
- Colvin, F., & Haas, L. (1913). *Jigs and Fixtures*. London: McGraw-Hill.
- DATWAYLER Sealing Solutions. (2019). Retrieved from http://usa.datwyler.com/gland_design.html
- Dialight. (2015, 04 13). Retrieved from Dialight Intranet: <http://dialinfo.dialight.com/QualityIso/Instructions/OI-098.PDF>
- Dialight. (2018). Retrieved from Dialight Web Site: <http://www.ir.dialight.com/about-us/our-history/>
- E-MOS . (2015). Retrieved from E-MOS website: http://www.e-mos.kr/en/page/sub03_02.html
- Flitney, R. (2007). *Seals and Sealing Handbook*. Massachusetts: Elsevier.
- Greenice. (2019). *Greenice*. Retrieved from <https://greenice.com/es/blog/luminarias-led-problemas-y-soluciones-n4>
- Greenwood, J., & Williamson, J. (1966). *Contact of nominally flat surfaces*. Proceedings of the Royal Society of London.
- Henriksen, E. (1973). *Jig and Fixture Design Manual*. New York: Industrial Press Inc.
- IGS Industries. (2013, 05 11). Retrieved from IGS Industries: <http://www.igsind.com/history-o-ring/>

- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (n.d.). Retrieved from INSHT WebSite:<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/46.pdf>
- Intertek. (2019). *Intertek*. Retrieved from <http://www.intertek.com/lighting/product-certification/>
- Ming, Z., Yi, Z., & Yachao, M. (2018). Evaluation of sealing performance of bearing rings of roller-cone bits based on grid-shaped bionic non-smooth surface. *Advances in Mechanical Engineering*, 1-21.
- Minitab. (2019). *Minitab*. Retrieved from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-confidence-level/>
- MiniTab. (2019). *MiniTab Support*. Retrieved from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/19/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/data-concepts/about-the-central-limit-theorem/>
- MiniTab. (2019). *MiniTab Support*. Retrieved from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-hypothesis-test/>
- MiniTab. (2019). *MiniTab Support*. Retrieved from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/>
- MiniTab. (n.d.). *MiniTab Support*. Retrieved from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/what-is-a-hypothesis-test/>
- NEMA. (2018). Retrieved from NEMA Enclosures: <https://www.nemaenclosures.com/enclosure-ratings/ip-enclosures/ip66-enclosures.html>
- Ochoa, C. (2013, Noviembre). *NetQuest*. Retrieved from <https://www.netquest.com/blog/es/que-tamano-de-muestra-necesito>
- Okon, T., & Biard, J. (2015, November 9). Retrieved from Edison Tech Center Web Site: <http://edisontechcenter.org/lighting/LED/TheFirstPracticalLED.pdf>
- Parker Hannifin. (2007). Retrieved from Parker Hannifin Web Site: <http://www.parker.com/Literature/O-Ring%20Division%20Literature/ORD%205700.pdf>

Parker Hannifin. (2019). O-ring. Argentina, Buenos Aires, Argentina.

Porras, A. M. (1998). *Diseño Estadístico de Experimentos*. España: Grupo Editorial Universitario.

Psyma. (n.d.). Retrieved from Psyma:
<https://www.psyma.com/company/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra>

Qiang, Z., Xiaoqian, C., & Yiyoug, H. X. (2018). An Experimental Study of the Leakage Mechanism in Static Seals. *Applied Sciences*, 1.

QuestionPro. (2019). *QuestionPro*. Retrieved from
<https://www.questionpro.com/blog/es/margen-de-error-que-es-y-como-se-calcula/>

QuestionPro. (2019). *QuestionPro*. Retrieved from
<https://www.questionpro.com/es/tama%C3%B1o-de-la-muestra.html>

QuestionPro. (2019). *QuestioPro*. Retrieved from
<https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-descriptivo/>

Rodriguez, C. G. (2019, Julio). *Tesis de Cero a 100*. Retrieved from
<https://tesisdeceroa100.com/guia-basica-para-analisis-estadistico-de-datos/>

SAMIUC. (2019). *Sociedad Andaluza de Medicina Intensiva Y Unidades Coronarias*. Retrieved from
<http://www.samiuc.es/estadisticas-variables-binarias/la-proporcion/>

Seal and Design Inc. (2019). Retrieved from Seal and Design Inc.:
<https://www.sealanddesign.com/page/o-ring-groove-design>

Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (n.d.). Tamaño de una muestra para una investigación de Mercado. *Universidad Rafael Landívar*, 1-13.

UL. (2018, August 8). Retrieved from UL Web Site:
https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_924_10

Yanagisawa, T., Sanada, M., Komiya, M., Tanoue, H., & Hirabayashi, H. (1990, June). Fundamental Study of the Sealing Performance of a C-Shaped Metal Seal. *Proceedings of the 2nd Inter-national Symposium on Fluid Sealing*, 18-20.

Zumtobel Lighting. (2018, Abril). Retrieved from Zumtobel Lighting Web Site:
<https://www.zumtobel.com/PDB/teaser/EN/lichthandbuch.pdf>