 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ESTUDIO SOBRE PÉRDIDA DE HERMETICIDAD EN BOMBAS RECIRCULADORAS DE AMONIACO LÍQUIDO CON EL FIN DE EVITAR FUGAS DEL FLUIDO AL AMBIENTE Y PREVENIR CONSECUENCIAS PARA LA SALUD DEL PERSONAL OPERATIVO Y TÉCNICO DEL SISTEMA.

Arias Ramírez, Yamid Geovanny

Programa Académico:
Ingeniería Electromecánica

Director del trabajo de grado:
DANIEL SANIN VILLA

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
Febrero 19, 2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Una empresa del sector de los alimentos, procesadora de carne cruda que pertenece al Negocio Cárnico del Grupo Empresarial Nutresa, posee en sus instalaciones un sistema de refrigeración con refrigerante amoníaco el cual tiene aproximadamente 22 toneladas de este fluido circulando a través de toda la red de frío. El amoníaco es utilizado con el fin de generar la refrigeración necesario para todos los procesos de la compañía ya que, debido al tipo de actividad, la generación de frío se convierte en una tarea de gran importancia para garantizar la continuidad del proceso productivo de la empresa.

Un inconveniente que se ha identificado en la red de frío de la empresa es la pérdida de amoníaco del sistema de refrigeración, por tal razón, se hace necesario realizar constante recargas del refrigerante generando gran riesgo para el personal técnico de la compañía encargado de realizar la tarea. Además, el amoníaco es una sustancia de uso y consumo controlado por la legislación colombiana, aunque su costo es bajo, en ocasiones es difícil hacer a recarga del sistema debido a que no es posible adquirir más refrigerante ya que la ley sólo le permite a la empresa realizar consumos de amoníaco que no deben ser superiores a 1000 kg por año. El anterior valor se debe dividir por los 12 meses del año obteniendo como resultado un consumo aproximado de 83,4 kg de amoníaco mensual la cual en ocasiones ha sido una recarga mensual muy pequeña comparada con la cantidad de refrigerante que se pierde en relación con la cantidad total presente en el sistema de refrigeración.

El objetivo de este proyecto es estudiar el sistema para el bombeo de amoníaco líquido en un proceso para la congelación de materia prima cárnica en el sector alimenticio cuya temperatura debe ser inferior a -18°C con el fin de prolongar la vida útil de la materia prima, en este caso, la carne, buscando solucionar los inconvenientes presentados debido a la presencia de fugas en el sistema de bombeo de amoníaco líquido hacia los evaporadores mediante bombas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

semiherméticas las cuales presentan escapes de amoníaco líquido que ponen en riesgo la salud del personal técnico que interviene dichos equipos. Se utiliza la información obtenida de los manuales del fabricante de las bombas donde se evidencia el principio de funcionamiento, las condiciones de operación y el despiece mecánico del equipo donde se evidencia el material en el que se observa la falla. Al realizar este análisis se determina que las principales pérdidas de hermeticidad de los sistemas de bombeo se presentan por la unión bomba-motor eléctrico en la parte donde va ubicado el sello mecánico, se estudia el material de construcción del actual sello para determinar sus propiedades y composición con el fin de obtener la información necesaria para seleccionar un material que trabaje con amoníaco líquido el cual debe soportar las condiciones de operación del sistema. La adquisición del actual sello debe ser mediante importación directa de la tienda del fabricante de la bomba ubicada en Estados Unidos, es un proceso largo y que incrementa el costo final del mantenimiento e influye directamente en disponibilidad de la máquina.

PALABRAS CLAVE

Sistemas de refrigeración, Amoníaco, pérdida de hermeticidad, bomba, sello mecánico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

La realización de este trabajo de grado fue posible a la orientación y ayuda brindada por el profesor Daniel Sanín Villa, docente de la Facultad de Ingenierías de la Institución Universitaria ITM debido a que con sus sugerencias y comentarios me guiaron en la elaboración de esta propuesta. Expreso mis agradecimientos a la Institución Universitaria ITM debido a que propició los espacios necesarios para realizar los ensayos y pruebas mediante los cuales se obtuvieron los resultados descritos en este trabajo. Se agradece al jefe de mantenimiento de la empresa del sector de los alimentos donde se evidenció la necesidad descrita, la cual fue la base para la elaboración de este trabajo. Sin su autorización y ayuda no hubiese sido posible la recolección de los datos necesarios para este estudio. De manera especial expreso mis agradecimientos a mis padres, hermana y esposa, sin su apoyo nada de lo que he logrado habría sido posible. A Dios y a mi esposa agradezco infinitamente por darme el regalo más grande y más hermoso que he podido recibir en toda mi vida, mi anhelado hijo Jerónimo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

PPM: Partes por millón. Unidad de medida con la que se mide la concentración. Determina un rango de tolerancia. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia (agente, etc.) que hay por cada millón de unidades del conjunto.

OEE (eficiencia global de planta): El OEE (Overall Equipment Effectiveness o Eficiencia General de los Equipos o de planta) es una razón porcentual que sirve para medir la eficiencia productiva de la maquinaria industrial. Esta herramienta también es conocida como TTR (Tasa de Retorno Total) cuando se utiliza en centros de producción de proyectos.

ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). La Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ASHRAE) es una sociedad internacional técnica dedicada a mejorar la calidad de vida a través de los avances tecnológicos relacionados a la calefacción, refrigeración, aire acondicionado y ventilación.

ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos). Es una asociación de profesionales, que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes sujetos a presión.

ANSI: (American National Standards Institute) El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares, es una organización sin fines de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

IIAR: (International Institute of Ammonia Refrigeration). Instituto Internacional de Refrigeración con Amoniac. Es una organización que sirve a quienes usan la tecnología de refrigeración industrial a través de la educación y la defensa de los recursos naturales. El Instituto promueve el uso seguro del amoniaco y otros refrigerantes naturales a través de la educación, la información y los estándares.

CFC: (clorofluorocarbonado). Son derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de flúor y/o cloro principalmente. Los CFC son una familia de gases que se emplean en diversas aplicaciones, principalmente en la industria de la refrigeración.

HCFC: (hidroclorofurocarbonados). Son compuestos sintéticos formados por átomos de cloro, flúor, hidrogeno y carbono. Aunque son destructores de la capa de ozono, han sido introducidos temporalmente como sustitutos de los CFCs.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

RECONOCIMIENTOS	4
ACRÓNIMOS	5
INTRODUCCIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
METODOLOGÍA	12
CAPITULO 1	13
EL AMONIACO	13
REFRIGERACIÓN CON AMONIACO	17
RIESGOS EN EL USO DE LA REFRIGERACIÓN CON AMONIACO.....	20
AMONIACO: REFRIGERANTE DEL FUTURO	21
CAPITULO 2	23
CONDICIONES DE OPERACIÓN REALES DE LAS BOMBAS.....	23
CAPITULO 3	27
EL SELLO MECÁNICO.....	27
FUNDAMENTOS DEL SELLO MECÁNICO	28
MATERIALES DE LOS SELLOS MECANICOS.....	29
MATERIALES SINTÉTICOS	30
MATERIALES SINTÉTICOS O PLÁSTICOS.....	31
METALES.....	31
MATERIALES CERÁMICOS	33
JUNTAS SECUNDARIAS	34
POLIMEROS QUE TOLERAN EL AMONIACO.....	38
CAPÍTULO 4	39
ENSAYOS DE INGENIERIA INVERSA A MATERIALES POLIMERICOS	39
TÉCNICAS DE EXTRUSIÓN.....	39
EXTRUSORES DE UN SÓLO HUSILLO	42
ESCANER TRIDIMENSIONAL	43
CAPITULO 5	45
EL VITON: MATERIAL DE CONSTRUCCION DEL SELLO MECÁNICO ORIGINAL..	45
GENERALIDADES DEL VITON.....	45
PROPIEDADES TÉCNICAS MATERIAL VITON	47

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL VITÓN. (Plastico.com, 2010)	48
CAPITULO 6	49
ALGUNAS INVESTIGACIONES REFERENTES AL USO DE AMONIACO EN LA INDUSTRIA.....	49
RESULTADOS.....	54
INGENIERIA INVERSA.....	55
OBJETIVO INGENIERÍA INVERSA	55
ANTECEDENTES.....	55
USOS	56
CLASIFICACIÓN INGENIERIA INVERSA	56
LA INGENIERIA INVERSA ES UN METODO DE APRENDIZAJE.....	56
PROBLEMAS LEGALES.....	57
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES.....	59
TRABAJO FUTURO.....	59
REFERENCIAS.....	61
APÉNDICE A	63
APENDICE B. PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL AMONIACO, LIQUIDOS Y VAPORES SATURADOS	65

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Polímeros que pueden trabajar en presencia del amoniaco.....	38
Tabla 2. Clasificación de los polímeros para trabajo con amoniaco.....	38
Tabla 3. Características generales del vitón.....	49

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sistema de refrigeración con amoniaco recirculado por bomba (ANSI/IIAR, 1992)	14
Ilustración 2. Bomba Witt GP 51 A para trabajo con amoniaco. (Zelsio, 2013)	15
Ilustración 3. Características generales bomba Witt GP 52. (Zelsio, 2013).....	16
Ilustración 4. Vistas y medidas en mm y pulgadas bomba Witt. (Zelsio, 2013)	17
Ilustración 5. Bomba para amoniaco Viking Pumps. (Zelsio, 2013).....	24
Ilustración 6. Corte interno bomba Viking Pumps. (Zelsio, 2013).....	24
Ilustración 7. Bomba para amoniaco marca Cornell Pumps (Cornell, 2018).....	25
Ilustración 8. Corte interno bomba Cornell Pumps. (Cornell, 2018).....	25
Ilustración 9. Sello mecánico para bombas recirculadoras de amoniaco Viking Pumps (Seals, 2010).....	26
Ilustración 10. Sello mecánico para bombas recirculadoras de amoniaco Cornell Pumps (Seals, 2010).....	27
Ilustración 11. Instalación de sello mecánico en eje de la bomba Cornell (Cornell, 2018)	27
Ilustración 12. Método de sujeción sello mecánico. (Seals, 2010).....	29
Ilustración 13. Muestra sello mecánico original de las bombas para trabajo con amoniaco.....	41
Ilustración 14. Extrusora de un solo husillo (Friend New Tech, 2018).....	41
Ilustración 15. Husillo extrusión. (Plastico.com, 2010)	42
Ilustración 16. Tipos de digitalización 3D. (Axayacatl, 2014)	44
Ilustración 17. Propiedades técnicas material Vitón. (Plastico.com, 2010).....	48

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INTRODUCCIÓN

La empresa del sector de los alimentos perteneciente al Negocio Cárnico del Grupo Empresarial Nutresa, se caracteriza por ser una compañía líder en el procesamiento de materia prima cárnica cruda, certificada con altos estándares de calidad, comprometida con la salud y el bienestar de sus consumidores. Es una compañía llena de historias de éxito, tenacidad, dedicación y desarrollo empresarial que la ha convertido en referente de crecimiento para el Negocio Cárnico y para la industria de alimentos del país. Para la generación de frío utilizado en sus procesos requiere el uso de refrigerante amoniaco.

La empresa suministra la información necesaria para la elaboración de este proyecto de grado, buscando mejorar un punto débil de su red de frío, teniendo en cuenta las implicaciones de tipo económico, social y reputacional que tiene una posible fuga de amoniaco en sus instalaciones, promueve y desarrolla la cultura del auto cuidado en todos su colaboradores, por tal razón, fomenta la actitud investigativa con el fin de encontrar resultados satisfactorios que minimicen uno de sus riesgos potenciales de mayor afectación a la salud de los empleados de la compañía, en este caso, a su personal técnico.

Con la realización de este proyecto se demuestra que es posible investigar sobre algunos tipos de materiales usando técnicas de ingeniería aprendidas en la universidad durante la carrera, es importante reforzar el conocimiento adquirido utilizando fuentes que suministren información confiable y precisa para complementar este trabajo de grado con el fin de lograr los resultados deseados.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el material de construcción de los sellos de las bombas para el trabajo con amoníaco líquido, evaluando su reemplazo por un material desarrollado que soporte condiciones de operación extremas tales como presión y temperatura del fluido con el cual se pueda fabricar posteriormente sellos mecánicos para las bombas a un bajo costo reduciendo los tiempos de entrega y eliminando los costos de importación del repuesto.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer las propiedades termodinámicas del amoníaco, su uso fundamental en la refrigeración industrial y las precauciones necesarias para el trabajo seguro con el fluido.
- Determinar las condiciones de trabajo con amoníaco a las cuales sería sometido el material encontrado.
- Estudiar diferentes materiales con el fin de determinar el posible material que sea compatible con el amoníaco.
- Realizar ensayos o pruebas mediante las cuales se pueda comprobar cuál de los materiales encontrados tiene mejores características para el trabajo con amoníaco que el actual material de construcción de los sellos mecánicos.
- Seleccionar el material más adecuado después de haber realizado los estudios correspondientes para solucionar el problema planteado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

METODOLOGÍA

Para realizar este proyecto se estudian a profundidad las propiedades termodinámicas del amoníaco en sus diferentes estados y las condiciones de trabajo del fluido de acuerdo al estado en el que se encuentre (**Apéndice B**), es necesario tener en cuenta que las condiciones de trabajo de los equipos tales como la presión y la temperatura de operación son fundamentales para determinar las características que debe tener el material de construcción de los sellos mecánicos de las bombas. Se analizan sus propiedades ya que son de corta vida útil debido a la afectación generada por el medio ambiente y la instalación. Se realiza una prueba de ingeniería inversa para determinar particularidades del actual sello con el fin de estudiar los diferentes tipos de materiales y determinar el material adecuado mediante pruebas o ensayos que comprueben la veracidad de las hipótesis planteadas. Se utiliza información propia de una de las empresas de alimentos del Negocio Cárnico del Grupo Empresarial Nutresa donde se tiene la actual aplicación y de donde se toma el problema planteado para buscar una posible solución. Se utilizan los laboratorios de materiales poliméricos del ITM para realizar las pruebas y ensayos científicos con los cuales se logra encontrar el material deseado para la aplicación que cumple con los requerimientos técnicos necesarios y garantice la seguridad de las personas y los equipos involucrados en el proceso.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CAPITULO 1

EL AMONIACO

El amoníaco es una sustancia química producida tanto por los seres humanos como la naturaleza, la cantidad de amoníaco producida cada año por seres humanos es casi la misma producida anualmente por la naturaleza. Sin embargo, cuando se encuentra amoníaco en niveles que pueden causar preocupación, éstos probablemente se deben a su producción directa o indirecta por seres humanos. El amoníaco es una sustancia que posee un olor muy penetrante, es fácil detectar una fuga del fluido debido a esta particular característica. Los Sistemas de Refrigeración se encargan de la extracción de calor, provocando que en la ausencia de calor se presente una disminución en la temperatura. Un sistema de refrigeración debe lograr trasladar el calor de un lugar a otro, de manera que, el lugar que tenía calor, al sustraerlo, este se enfría. El sistema de refrigeración por absorción es un medio para generar frío que, al igual que en el sistema de refrigeración por compresión, aprovecha que las sustancias absorben calor al cambiar de estado, de líquido a gaseoso. Así como en el sistema de compresión el ciclo se hace mediante un compresor, en el caso de la absorción, el ciclo se basa físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, como el amoníaco, de absorber el calor de otra sustancia. A medida que el refrigerante circula a través del sistema de refrigeración sufre cambios en su estado, partiendo de una condición y pasa a través de unos procesos en una secuencia definida y vuelve a su condición inicial. (ANSI/IIAR, 1992)

A esta serie de procesos se le llama ciclo. El ciclo de refrigeración simple consta de cuatro procesos fundamentales: Expansión, Evaporación, Compresión, Condensación. En la práctica los sistemas de refrigeración reales se dividen en tres tipos:

- Sistema de expansión directa
- Sistema Inundado
- Sistema recirculado por bomba

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la empresa del sector de los alimentos en la cual se identificó el problema, se tiene un sistema de refrigeración con amoniaco recirculado por bomba. Este es un sistema de refrigeración utilizado para temperaturas medias desde 0 a 7°C y bajas desde 0 a -25°C. Es un sistema muy eficiente, el refrigerante se expande en un tanque de baja presión y el líquido sub-enfriado, es bombeado hasta los evaporadores de las cavas de congelación y refrigeración de la empresa. Es un sistema de instalación compleja y operación a cargo de personal calificado. Por su costo de instalación, se justifica solo para grandes empresas donde la demanda de frío sea demasiado alta en todos sus procesos, en los cuales los evaporadores son de alta capacidad frigorífica y se encuentran muy alejados de la sala de máquinas. El diagrama del sistema de refrigeración con amoniaco recirculado por bomba en la empresa de alimentos, en la cual se presenta el problema que es el objeto de estudio de este trabajo se muestra en la figura 1.

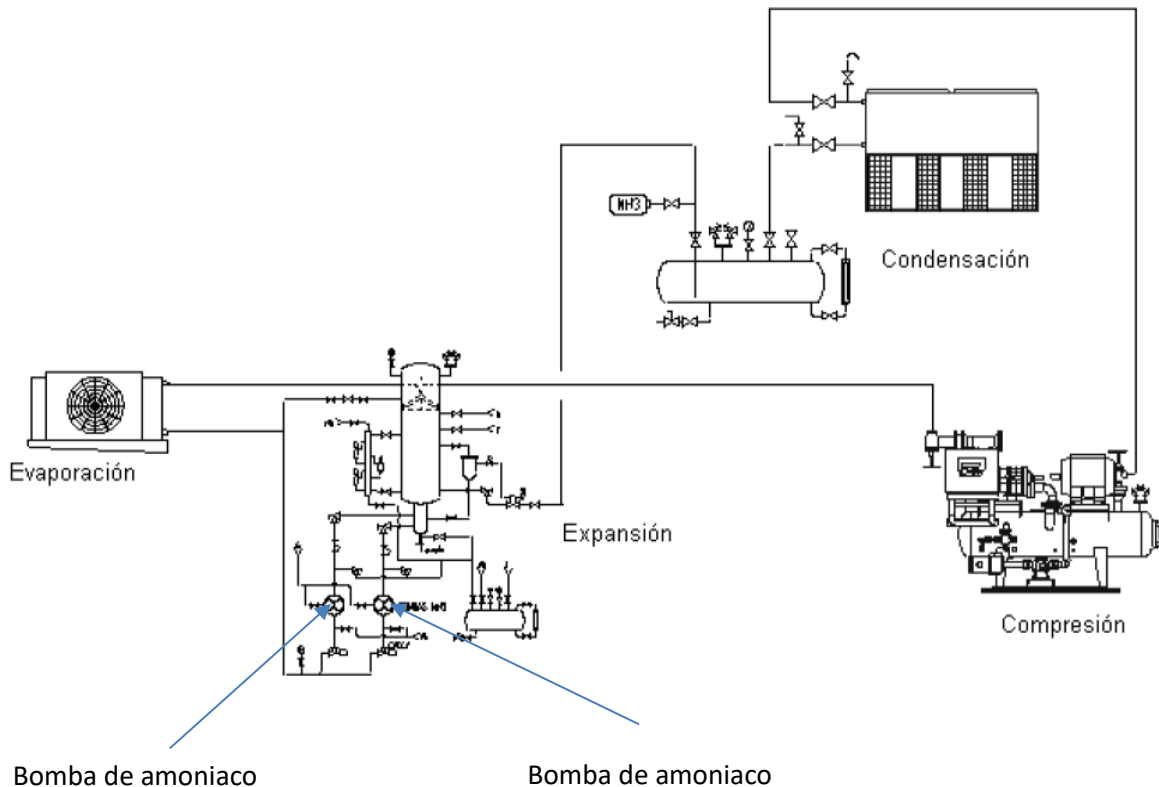


Ilustración 1. Sistema de refrigeración con amoniaco recirculado por bomba (ANSI/IIAR, 1992)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las bombas que conforman el sistema de bombeo de baja constituyen un parte fundamental del ciclo completo de refrigeración con amoniaco ya que éstas se encargan de llevar el fluido desde los tanques recirculadores de baja hasta los evaporadores de los cuartos o de las cavas de almacenamiento donde se requieren temperaturas inferiores a **-25°C** con el fin mantener la cadena de frío de los productos almacenados. En la figura 2 se puede observar una bomba marca WITT GP 51 A para trabajo con amoniaco en la cual se ha observado el problema planteado.



Ilustración 2. Bomba Witt GP 51 A para trabajo con amoniaco. (Zelsio, 2013)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

GP 52									
Frequenz Frecuencia [Hz]	Drehzahl Revoluciones [min ⁻¹] [RPM]	ρ Kältemittel ρ Densidad refrigerante [kg/m ³]	BG Tamaño motor -	Leistung Potencia		Spannung Voltaje [Volt]	Teilenr. Referencia n° -	Gewicht Peso [kg]	Hinweis Notas -
				kW	HP				
50	1500	< 0,7 (NH ₃)	132S*	5,5	7,4	380 – 420 Δ 660 – 725 Y	2212.601117	66	STANDARD
						220 – 240 Δ 380 – 420 Y	2212.601017		STANDARD
50	1000	< 0,7 (NH ₃)	100L	1,5	2	220 – 240 Δ 380 – 420 Y	2212.602009	26	
		< 1,4	112M	2,2	3		221602011	38	
		< 1,6	132S*	3	4	220 – 240 Δ 380 – 420 Y	2212602013	66	Motoranschl.flansch Brida motor
						380 – 420 Δ 660 – 725 Y	2212.602113	66	
< 1,8	132M*	4	5,4	220 – 240 Δ 380 – 420 Y	2212.602015	80	Motoranschl.flansch Brida motor		
				380 – 420 Δ 660 – 725 Y	2212.602115				
60	1200	< 0,7 (NH ₃)	112M	2,6	3,5	254 – 280 Δ 440 – 480 Y	2212.652612	38	
		< 1,4	132S*	3,6	4,8	254 – 280 Δ 440 – 480 Y	2212.252614	66	Motoranschl.flansch Brida motor
						440 – 460 Δ 660 – 725 Y	2212.652514		
		< 1,6	132M*	4,8	6,5	254 – 280 Δ 440 – 480 Y	221652616	80	Motoranschl.flansch Brida motor
440 – 460 Δ 660 – 725 Y	2212.652516								
< 1,8	132M*	6,6	8,9	440 – 460 Δ 660 – 725 Y	2212.652518	83	Motoranschl.flansch Brida motor		

Ilustración 3. Características generales bomba Witt GP 52. (Zelsio, 2013)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

GP 51 / GP 51a / GP 52

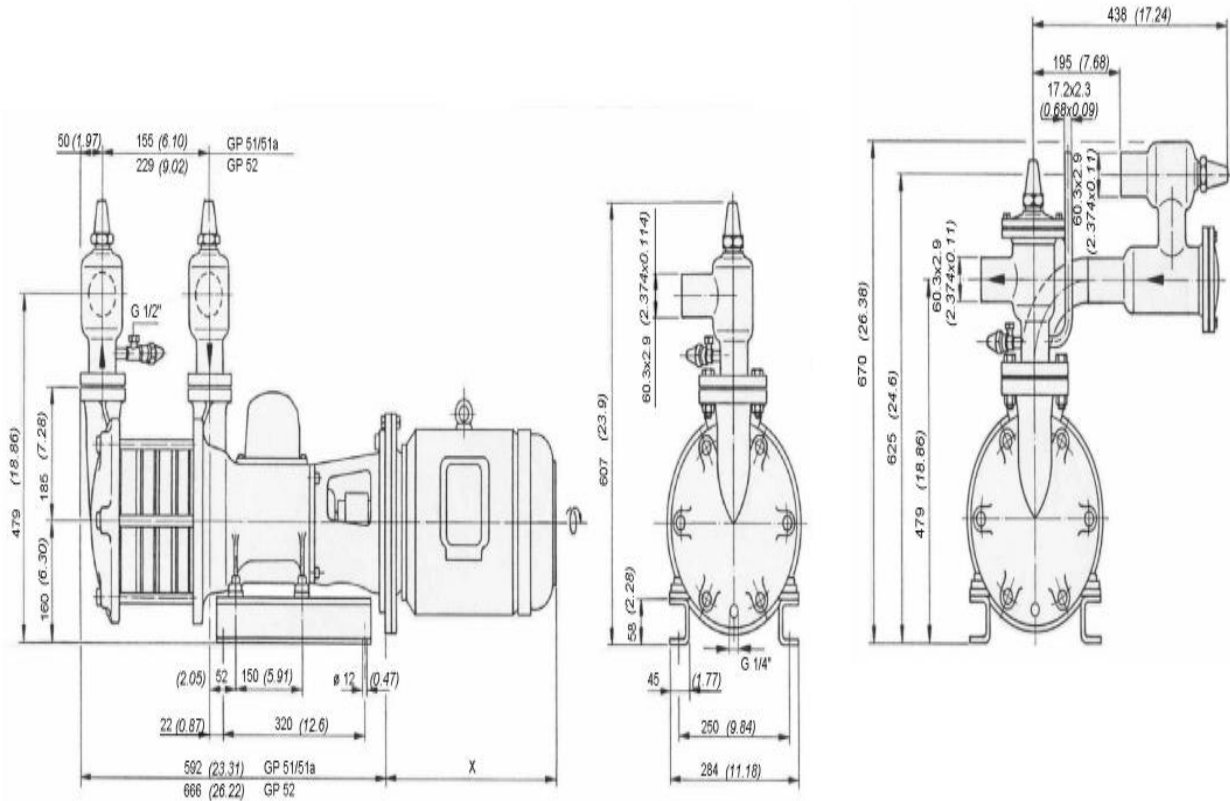


Ilustración 4. Vistas y medidas en mm y pulgadas bomba Witt. **(Zelsio, 2013)**

REFRIGERACIÓN CON AMONIACO

La evolución del uso de las máquinas de amoniaco empezó en el año 1850 en el sector de la refrigeración de alimentos instalándose para la fabricación de hielo, procesamiento de alimentos y plantas químicas. En la actualidad dichas máquinas son muy usadas en el enfriamiento de carne, pescado, frutas y vegetales, leche y queso, bebidas, así como también para la congelación del helado. Las instalaciones industriales que operan con amoniaco son de gran tamaño y de mucha importancia en la actualidad debido a que la gran mayoría de los productos de la canasta familiar

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

deben mantener su cadena de frío desde el inicio de su proceso de manufactura hasta llegar al consumidor final. Para que esta importante condición se mantenga, el alimento pasa en algún momento por alguna planta o almacén que usa amoníaco para producir el frío suficiente para su conservación en el tiempo. (ASHRAE, Safety code for mechanical refrigeration, 1994). Tras estos usos, la tecnología migró hacia la climatización y aire acondicionado inicialmente en el ámbito industrial y posteriormente para el confort térmico humano; encontrando su lugar en instalaciones de climatización de grandes complejos tales como: edificios públicos, hospitales, aeropuertos, hoteles. (ASHRAE, Handbook—Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001).

Este uso se ha impulsado por el diseño de sistemas con carga de refrigerante limitada ya que es un compuesto que requiere de mucha seguridad en su instalación debido a que es potencialmente peligroso y altamente tóxico. Actualmente, el amoníaco permanece como el refrigerante más utilizado en sistemas de refrigeración industrial para procesar y conservar la mayoría de los alimentos y bebidas. El amoníaco ha estado en el liderazgo de los avances de la tecnología en refrigeración, siendo parte esencial del procesamiento, almacenamiento y logística de distribución de los alimentos.

Clasificado por ASHRAE con R-717, dentro del grupo de refrigerantes naturales, no destruye la capa de ozono y no contribuye al efecto invernadero asociado al calentamiento global. De hecho, el amoníaco, es un compuesto encontrado en la naturaleza comúnmente. Es esencial en el ciclo del nitrógeno de la tierra y su liberación a la atmósfera es inmediatamente reciclada. Esto lo hace consistente con los acuerdos internacionales respecto a la reducción del calentamiento global y destrucción de la capa de ozono. (ASHRAE, Handbook—Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2001)

Una adecuada evaluación del impacto ambiental de los refrigerantes y los sistemas de refrigeración requiere la consideración tanto de su impacto directo como indirecto

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en el calentamiento global. Directamente los sistemas de refrigeración contribuyen al calentamiento global, a través del efecto invernadero causado por las fugas de gases refrigerantes. Indirectamente contribuyen al calentamiento global por la producción de emisiones de dióxido de carbón como resultado de la conversión de combustibles fósiles en la energía requerida para operar los sistemas de refrigeración. El costo del amoníaco es mucho menor que cualquier refrigerante sintético, de manera general cuesta de 10 a 20% menos en instalación. Termodinámicamente, el amoníaco es de 25 a 30% más eficiente que los otros refrigerantes; como resultado, un sistema de refrigeración de amoníaco tiene menor consumo eléctrico. (ANSI/IIAR, 1992)

El amoníaco no tiene una fecha límite en que se pueda producir o usar, a diferencia de otros refrigerantes sintéticos cuyo uso o producción está limitada a una cierta cantidad de años. La facilidad de distribución de líquidos refrigerantes a través de los evaporadores, aun en instalaciones remotas, su simple regulación y la posibilidad de descongelado por gas caliente, son argumentos suficientes para la utilización del amoníaco en instalaciones de gran tamaño en las cuales la demanda de frío es muy alta y donde es necesario la utilización de sistemas de bombeo eficientes para llevar el fluido refrigerante hasta los evaporadores los cuales probablemente se encuentran en lugares donde el acceso es, en ocasiones, un poco difícil. (Caro, 2017)

Las Bombas para recirculación de amoníaco, poseen sistema de sellado contra juego axial o radial, posee caja de aceite de baja temperatura, estanca y hermética, viene montada sobre (Caro, 2017) rodamientos, y acople directo a motor a través de un compartimiento con auto alineado y separado del cuerpo de la bomba. Las bombas vienen provistas con válvulas de seguridad dentro de las mismas para liberar las contrapresiones de fluido por la línea de alivio del sistema de bombeo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

hacia el tanque recirculador. La velocidad de trabajo es aproximadamente de 1.450 RPM, por lo que teóricamente, la vida útil debería ser mayor tanto para los sellos como para el resto de las piezas móviles de la bomba. (ASME, 2012). Las bombas pueden ser reparadas en campo ya que todos los repuestos son estándar y normalizados; no se necesita ningún ajuste especial para su armado, pero son de difícil consecución debido a su alto costo y al tiempo de importación, siendo este el problema a resolver en este trabajo por las grandes cantidades de amoníaco que se liberan al ambiente y que afectan la salud de las personas ante una eventual fuga.

RIESGOS EN EL USO DE LA REFRIGERACIÓN CON AMONIACO

La industria de la refrigeración industrial con amoníaco considera como un punto negativo: la posibilidad de fuga del refrigerante. El amoníaco posee una gran afinidad con el agua, por lo que, al ocurrir una fuga, causa en las personas irritabilidad y posibles quemaduras, dependiendo de la magnitud de la fuga, sobre todo si está en estado líquido debido a que se encuentra sometido a altas presiones, al entrar en contacto con las partes húmedas del cuerpo, generalmente los ojos, boca y pulmones. A su vez, afecta a los productos alimenticios que queden expuestos y que contengan agua (carne, pescados, frutas y verduras) causando su pérdida. (Rodríguez, Aplicación del Reglamento de Seguridad de Instalaciones de Refrigeración con amoníaco, 2015)

Debido a la irritabilidad que causa en las personas, el Ministerio de Salud en el Art. N° 66 indica los límites permisibles y ponderados a los que puede exponerse un trabajador en los cuales se contempla que para 25ppm se debe generar una alerta para que el trabajador este pendiente y mida constantemente de manera que no se excedan las 50ppm (IIAR, 1988), Si esto llega a ocurrir, las personas expuestas a la fuga deben evacuar la zona y solo se permitirá nuevamente el ingreso cuando la fuga haya sido controlada por personal técnico calificado que deberá usar equipo

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de auto contenido y un traje especial para evitar las consecuencias de la exposición al fluido. (ANSI/IIAR, 1992) Debido al riesgo involucrado, existe la posibilidad de detectar tempranamente una fuga de amoníaco. En algunos casos por su olor característico, se hace fácil para una persona la detección de fugas, sin embargo, no siempre hay personas en los lugares donde ocurren. Para solucionar este inconveniente existen en el mercado una amplia gama de detectores electrónicos para gas amoníaco (también existen para refrigerantes R22, R404A, R507, R134A, CO2) (Rodríguez, Aplicación del Reglamento de Seguridad de Instalaciones de Refrigeración con amoniaco, 2015), el cual al percibir una cantidad establecida de amoníaco, envía señales para que se accione una baliza, sirena o ventiladores, los cuales son externos al detector. Los niveles de sensibilidad del detector de gas, dependerá de la aplicación que se desee, ya sea sala de máquinas, entretechos, pasillos o cavas de almacenamiento. Cabe resaltar que la necesidad de usar detectores de amoniaco radica en la protección de la salud del personal que se encuentre expuesta ante el fluido debido a que una fuga de amoniaco es probable que no avise y se debe contar con el recurso y la preparación suficiente para atacarla y controlarla en el menor tiempo posible

AMONIACO: REFRIGERANTE DEL FUTURO

Una de las mayores preocupaciones de los expertos en refrigeración a nivel mundial es el incremento del efecto invernadero y el deterioro de la capa de ozono causado por las sustancias refrigerantes presentes en los equipos que producen frío en la industria, especialmente en el sector de los alimentos. Durante varios años se han buscado diferentes alternativas para mitigar un poco el efecto de dichas sustancias sobre el ambiente. Por tal razón el amoniaco debido a su composición química y a su procedencia orgánica ha encabezado la lista de las alternativas de reemplazo para los CFC y HCFC. También se han buscado diversos mecanismos de ley que regulen la distribución y uso de las sustancias agotadoras del ozono los cuales son de obligatorio cumplimiento en cuyos textos se enuncian sanciones a todos aquellos países que incumplan la ley creada que favorece el tema ambiental. Tratados muy

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

importantes como el protocolo de Kyoto y el protocolo de Montreal obligan a los países participantes y firmantes a disminuir las emisiones generadas por agentes refrigerantes y establecen unas fechas determinadas para la sustitución definitiva de los refrigerantes nocivos por refrigerantes ecológicos, amigables con el medio ambiente. Es por tal razón que el amoniaco ha tomado importancia debido sus excelentes propiedades termodinámicas mencionadas en este documento (Apéndice B), siendo el candidato N°1 para reemplazar a gran escala los refrigerantes anti ecológicos. (Ministerio De Ambiente, 2015)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CAPITULO 2

CONDICIONES DE OPERACIÓN REALES DE LAS BOMBAS

Actualmente se encuentran trabajando en la empresa de alimentos varias bombas de 5hp de características similares a la bomba de la figura 2, que se utilizan para succionar amoniaco liquido de los tanques recirculadores donde se encuentra aproximadamente a 4 psi para descargarlo a 60 psi hacia los evaporadores ubicados en las cavas de congelación y refrigeración en los diferentes procesos de planta, inundándolos completamente con el fin de lograr que el ciclo de refrigeración sea altamente eficiente. Existen varias tipos y marcas de bombas recirculadoras utilizadas para esta aplicación, las más representativas y sobre las cuales se trabajará en el desarrollo de este proyecto son las bombas marca Witt Pumps GP 52 (ilustración 2), marca Viking Pumps (ilustración 5), de la que se puede observar el corte interno en la ilustración 6, marca Cornell Pumps,(ilustracion 7); en la ilustración 8, se puede observar el corte interno de la bomba Cornell y la ubicación del sello mecánico, debido a que son bombas semiherméticas que necesitan mantenimiento periódico con el fin de garantizar sus condiciones básicas de funcionamiento. Dichas bombas tienen un periodo de vida útil, aproximadamente 5 años, en condiciones óptimas de instalación. Las bombas se importan desde Estados Unidos a Colombia, son costosas, pero altamente eficientes. El kit básico de repuestos de la bomba también hay que importarlo, entre ellos el sello mecánico. Un sello mecánico cuesta aproximadamente 1200 USD y el tiempo de entrega en planta es de 30 a 90 días. (Seals, 2010)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 5. Bomba para amoniaco Viking Pumps. (Zelsio, 2013)

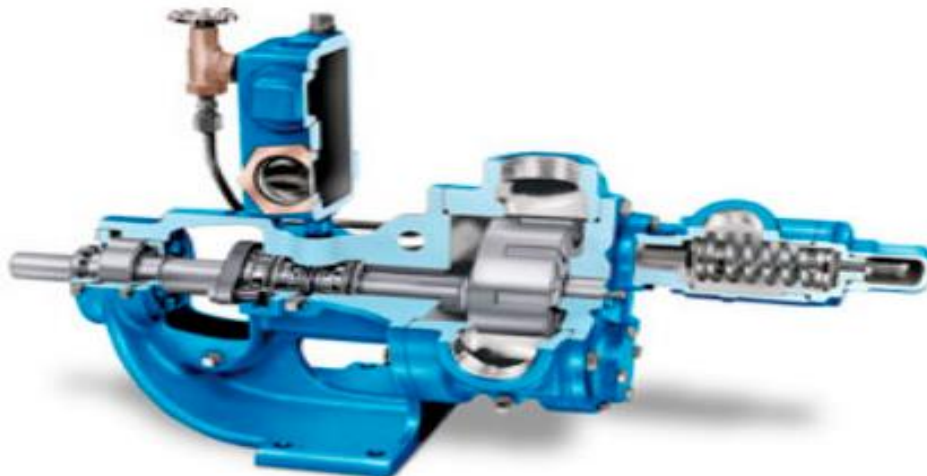


Ilustración 6. Corte interno bomba Viking Pumps. (Zelsio, 2013)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 7. Bomba para amoníaco marca Cornell Pumps **(Cornell, 2018)**

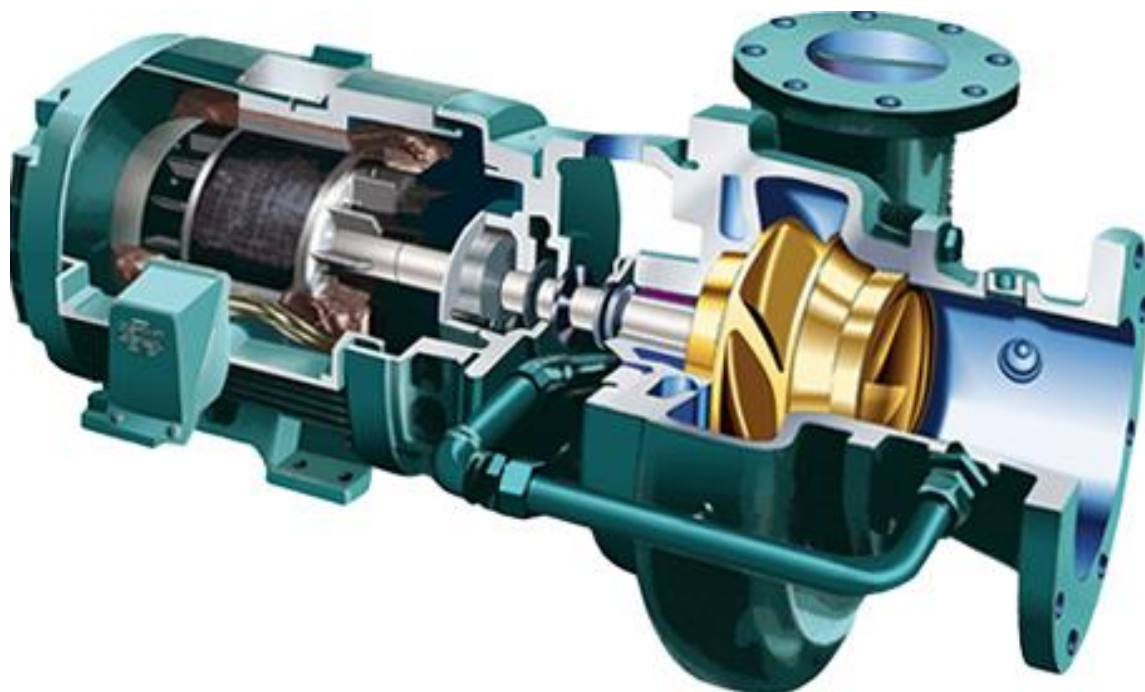


Ilustración 8. Corte interno bomba Cornell Pumps. **(Cornell, 2018)**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cuando el sello mecánico falla, la bomba queda inhabilitada completamente debido a que se presentan fugas de amoníaco. Cabe resaltar que el amoníaco es una sustancia química peligrosa para la salud debido a que es tóxico y ataca las zonas húmedas del cuerpo humano (Caro, 2017), por tal razón, es necesario deshabilitar la bomba y hacerle vacío para retirar el remanente de amoníaco mientras se realiza el cambio de sello con el fin de no causar afectación a la salud de las personas, lo que origina pérdidas para la empresa debido a que el ciclo de refrigeración es interrumpido en una de sus fases. A continuación, se muestran algunos tipos de sellos mecánicos utilizados en las bombas marca Viking Pumps y Cornell Pumps donde se puede observar su construcción física y la forma como va instalado en el eje de la bomba.



Ilustración 9. Sello mecánico para bombas recirculadoras de amoníaco Viking Pumps (Seals, 2010)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 10. Sello mecánico para bombas recirculadoras de amoníaco Cornell Pumps **(Seals, 2010)**

Ilustración 11. Instalación de sello mecánico en eje de la bomba Cornell **(Cornell, 2018)**

Para minimizar las pérdidas en tiempo que impactan la OEE (eficiencia global de planta) de planta por causa del paro de la bomba y la interrupción de la cadena de frío del proceso se estudia la pérdida de hermeticidad en el sistema de refrigeración para evitar fugas de amoníaco que puedan afectar la salud de las personas.

CAPITULO 3

EL SELLO MECÁNICO

Es un tipo de sello utilizado en equipos rotativos, como bombas, mezcladores, sopladores y compresores. Cuando una bomba opera, el líquido se puede filtrar fuera de la bomba entre el eje rotativo y la carcasa estacionaria de la bomba. Al rotar el eje, prevenir que el líquido se filtre puede ser difícil. Los modelos tempranos de las bombas usaban empaquetaduras como cordones, para sellar el eje. Desde

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la segunda guerra mundial, los sellos mecánicos han remplazado las empaquetaduras en muchas aplicaciones.

Un Sello Mecánico usa elementos tanto rígidos como flexibles para mantener contacto en un sello de caras internas y se deslizan una contra la otra, permitiendo un elemento rotativo pasar a través de una carcasa sellada. Los elementos son tanto hidráulicos y mecánicos cargados con un resorte u otro dispositivo para mantener contacto. (Tecniempaques S.A.S, 2018)

FUNDAMENTOS DEL SELLO MECÁNICO

Un sello mecánico debe contener cuatro componentes funcionales: superficies de sellado primario, superficies de sellado secundario, un medio de accionamiento, y un medio de sujeción. (Tecniempaques S.A.S, 2018)

1. La superficie de sellado primaria es el corazón del dispositivo. Una combinación común consiste en un material duro, como carburo de silicio, cerámica, o carburo de tungsteno, incrustado en la carcasa de la bomba y un material suave, como carbón en el ensamble rotativo del sello. Muchos otros materiales pueden ser usados dependiendo de las propiedades químicas del líquido, presión y temperatura. Estos dos anillos están en contacto íntimo, un anillo rota con el eje, el otro anillo es estacionario. Estos dos anillos están maquinados usando un proceso llamado lapeado para lograr obtener el grado necesario de acabado plano.
2. Las superficies de sellado secundarias son otros puntos en el sello que requieren una barrera de fluido, pero no están rotando relativamente la una contra la otra. Usualmente los elementos de sello secundario son O'rings, cuñas de PTFE o diafragmas de caucho.
3. Con el fin de mantener las dos superficies de sellado primarias en contacto íntimo, una fuerza de accionamiento es requerida y es comúnmente provista por un resorte. En conjunto con el resorte la fuerza de acción también es provista por la presión del fluido sellado.

4. Las superficies de sellado primario deben ser las únicas partes del sello que les está permitido rotar relativamente la una contra la otra, estas no deben rotar relativamente con las partes del sello que las mantienen en posición. Para mantener este método de no rotación se debe implementar un método de sujeción.

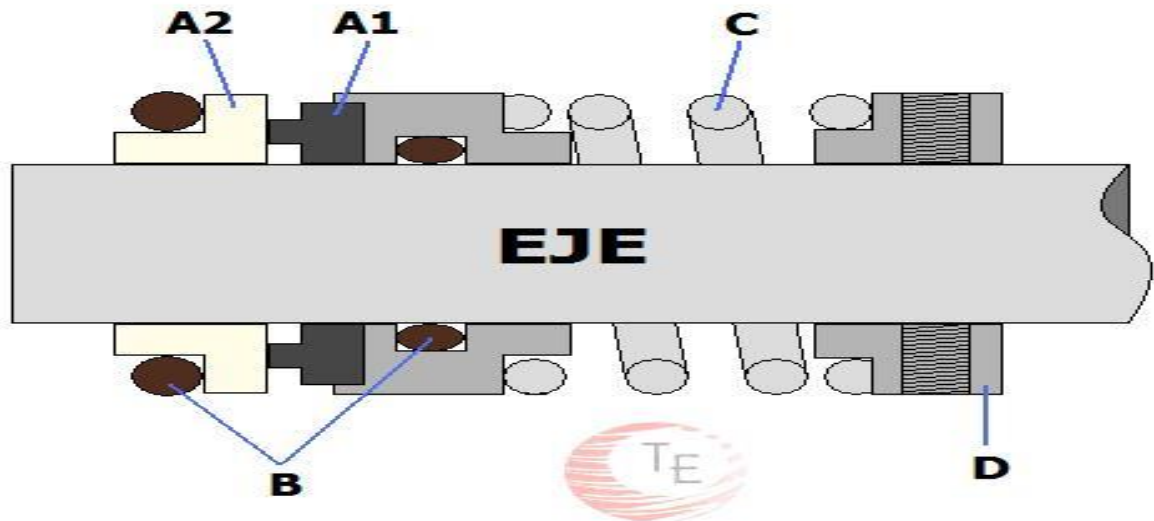


Ilustración 12. Método de sujeción sello mecánico. (Seals, 2010)

- **A1** y **A2** superficies de sellado principales
- **B** superficies de sellado secundarias
- **C** medio de accionamiento
- **D** medio de sujeción

MATERIALES DE LOS SELLOS MECANICOS

Los sellos mecánicos se diferencian de otros tipos de juntas por la gran variedad de fluidos con los que pueden trabajar, así como por su mayor complejidad constructiva. Las diferentes partes que componen el sello mecánico tienen funciones y requerimientos también distintos. Ello hace que para definir los materiales que integran el sello mecánico, sea necesario emplear códigos que

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

especifiquen la composición de cada una de las piezas que lo componen. La norma DIN 24.960 establece una codificación que asigna una letra para cada uno de los materiales utilizados y un orden que define las diferentes partes del sello. (Tecniempaques S.A.S, 2018)

MATERIALES SINTÉTICOS

Es uno de los materiales más utilizados en la fabricación de caras de roce. Al ser un material blando, debe utilizarse siempre contra materiales duros. Posee una buena conductividad térmica, elevada capacidad de auto lubricación, buena resistencia a la temperatura y alta resistencia a los productos químicos.

Código A:

Carbón impregnado con antimonio.

Se utiliza principalmente en contacto con aceites, aceites térmicos e hidrocarburos en general, sobre todo a altas temperaturas (hasta 350°C). Se desaconseja totalmente su uso contra materiales cerámicos.

Código B:

Carbón impregnado con resina.

Es el más utilizado de los carbones sintéticos. La impregnación de resina fenólica le proporciona alta tenacidad frente a golpes y vibraciones. Tiene ciertas limitaciones, tanto de temperatura (150°C) como de resistencia química.

Código B2:

Carbón impregnado con resina.

Es una versión mejorada del B. Ligeramente más pesado, puede trabajar a temperaturas superiores con límite en 250°C. Su resistencia a los productos químicos tales como ácidos, hidrocarburos, etc. es notablemente superior. En

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

bombas de proceso con productos químicos o temperaturas altas, sustituye al tipo B.

MATERIALES SINTÉTICOS O PLÁSTICOS

Como última posibilidad en cuanto a materiales blandos, podemos considerar el PTFE. Sus ventajas radican en la resistencia química y su bajo coeficiente de rozamiento. La resistencia mecánica y conductividad térmica son muy inferiores a los carbones sintéticos.

Código Y:

PTFE con carga de fibra de vidrio.

Su aplicación está limitada a productos químicos muy concretos.

METALES

Se usan siempre como caras de roce duras frente a carbón. En ningún caso deben emplearse contra otros materiales duros.

Código E:

Acero al cromo (AISI-420)

Acero inoxidable templado. Su comportamiento frente a los productos químicos no es especialmente bueno, por lo que se utiliza principalmente en contacto con agua, aceites e hidrocarburos.

Código F/F1:

Acero al cromo-níquel (AISI-304/AISI-431)

El código F se usa principalmente para piezas de soporte del sello. El tipo F1 se emplea como cara de roce para agua, aceites, hidrocarburos, productos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

alimenticios, productos químicos de limpieza, etc. Se distinguen porque el material F1 es magnético y el F no lo es.

Código G:

Acero al cromo-níquel-molibdeno (AISI-316)

Se trata de un acero de alta resistencia química. Puede aplicarse en contacto con ácidos, bases, disolventes, productos alimenticios, hidrocarburos, etc. Se utiliza tanto en la fabricación de caras de roce como de piezas auxiliares. (resortes, carcasas, tornillos, etc.). No es magnético.

Código K:

Acero al cromo-níquel-molibdeno estelitado

El estelitado consiste en la aportación superficial de una fina capa de material de gran dureza base de Co., Cr., Mo., W.

Código S/S1:

Fundición al cromo-molibdeno. Fundición al cromo-níquel

Tienen propiedades de resistencia química similares a los aceros inoxidables, pero mejores propiedades mecánicas.

Código T/T1:

Hastelloy B / Hastelloy C

Son aleaciones de hierro-níquel con un altísimo contenido de este último. Sus principales características son una elevada resistencia química y a altas temperaturas. Se utilizan fundamentalmente en la construcción de muelles, carcasas etc. No suele emplearse para caras de roce.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Carburos

Son materiales obtenidos por sinterización a elevada temperatura y presión. Se caracterizan por su gran dureza y resistencia a la abrasión, lo que los hace muy apropiados para trabajar con fluidos que contengan partículas sólidas.

Código U1:

Carburo de tungsteno

Su composición es carburo de tungsteno y cobalto utilizado como aglutinante. No debe usarse con ácidos fuertes (el pH ha de ser mayor que 6) ya que estos atacan al cobalto. Existe una variante -código U2 - que emplea como aglutinante el níquel en vez de cobalto. Posee las mismas propiedades mecánicas que el anterior, mejorando su resistencia química (resiste pH a partir de 2).

Código Q:

Carburo de Silicio

Posee una estructura cristalina similar a la del diamante, alternando átomos de carbono y de silicio. Es casi tan duro como aquel y su resistencia química es prácticamente universal. A esto hay que unir su buena resistencia a la temperatura y alta conductividad térmica.

MATERIALES CERÁMICOS

Código V:

Oxido de alúmina al 99.7%

Se compone de óxido de aluminio e impurezas de óxido de hierro. También existe el óxido de alúmina con una pureza del 95% (código V2). Se diferencian por que el código V es blanco y el V2 es marrón. Su resistencia química es prácticamente

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

universal. Esto unido a su extraordinaria dureza y coste relativamente económico, hacen que sea uno de los materiales más usados como cara de roce dura.

Código X:

Esteatita

Se compone de óxido de sílice (SiO) y óxido de magnesio (MgO). De color hueso, se usa como sustituto del óxido de alúmina (código V) en sellos para bombas de agua limpia. Presenta una escasa resistencia a los cambios bruscos de temperatura.

JUNTAS SECUNDARIAS

Código P:

Caucho butadieno-acrilonitrilo. NBR Buena resistencia al hinchamiento en:

Hidrocarburos alifáticos, por ejemplo, propano, butano, bencina, aceites minerales, grasas hidráulicas, líquidos de presión difícilmente inflamables de los grupos HSA, HSB y HSC, aceites y grasas vegetales, fuel oil ligero, diesel. Algunos materiales son especialmente resistentes en agua caliente hasta temperaturas de 100°C, ácidos y lejías orgánicas en concentraciones y a temperaturas no demasiado altas.

Resistencia media en: Gasolinas de alto contenido aromático (gasolina super)

Fuerte hinchamiento en: Hidrocarburos aromáticos, por ejemplo, benceno. Hidrocarburos clorados, por ejemplo, tricloroetileno. Líquidos de presión difícilmente inflamables del grupo HSD, según VDMA, hoja 24317. Esteres, disolventes polares, así como líquidos de freno a base de glicoles tipo ATE-blau y pentosin.

Campo térmico de aplicación: Según composición de la mezcla entre -30°C y +100°C. Durante corto período de tiempo hasta +120°C. A temperaturas mayores el material se endurece. Para mezclas especiales, la flexibilidad en frío se obtiene hasta -55°C.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Código E:

Caucho etileno-propileno-dieno EPDM. Buena resistencia al hinchamiento en: Agua caliente, vapor, lejías, medios de efecto oxidante, ácidos y bases. Medios polares orgánicos, cetonas, líquidos hidráulicos difícilmente inflamables del grupo HSC y algunos tipos de grupo HSD, líquidos de freno ATE-blau.

Fuerte hinchamiento en: Hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados. Para la lubricación adicional de las juntas empleadas fabricadas en este material deben utilizarse productos especiales.

Campo térmico de aplicación: De -50°C hasta +130°C

Código V:

Fluoroelastómero FPM

La importancia especial de los materiales a base de FPM estriba en su alta resistencia a las temperaturas y su fuerte estabilidad química. La permeabilidad a los gases es baja. En alto vacío los elastómeros FPM sufren pérdidas de peso mínimas. La resistencia al ozono, intemperie y a la luz solar es muy buena. Son anti-inflamables.

Buena resistencia al hinchamiento en: Aceites minerales y grasas, gasolinas, hidrocarburos alifáticos y aromáticos, algunos líquidos de presión difícilmente inflamables y aceites sintéticos de motores para aviación.

Fuerte hinchamiento en: Disolventes, acetona polares, líquidos de presión difícilmente inflamables tipo: Skidrol 500A y 500B, líquidos de freno tipo ATE-blau. Las aminas destruyen este material. Para aplicación en agua caliente y vapor se requieren mezclas especiales.

Campo térmico de aplicación: Aproximadamente de -25° C hasta +200° C. Durante cortos períodos de tiempo hasta +230°. Mediante un diseño adecuado las juntas y piezas moldeadas en FPM pueden utilizarse a bajas temperaturas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Código N:

Caucho clorobutadieno CR

Es un polimerizado a base de clorobutadieno. Los elastómeros de esta composición se destacan por su resistencia química, buena resistencia al envejecimiento, a las influencias atmosféricas, al ozono y su anti-inflamabilidad.

Buena resistencia al hinchamiento en: Aceites minerales con alto punto de anilina, aceites y grasas de silicona, alcoholes y glicoles. Resistentes al agua en mezclas especiales.

Mediana resistencia al hinchamiento en: Aceites minerales, hidrocarburos alifáticos de bajo peso molecular (bencina, isooctano).

Fuerte hinchamiento en: Hidrocarburos aromáticos, benceno, tolueno, hidrocarburos clorados, ésteres, éteres, cetonas.

Campo térmico de aplicación: Aproximadamente de - 45°C hasta + 100°C según la composición de la mezcla.

Código M:

Juntas tóricas encapsuladas en FEP

Sus límites químicos son similares al PTFE. Su resistencia a la temperatura viene determinada por el elastómero interior (Apéndice A), de fluorelastómero o caucho silicona en general. Siempre debe efectuarse el montaje sobre alojamientos partidos.

Código T:

Politetrafluoretileno. PTFE

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sus límites de resistencia frente a medios químicos y su amplio campo de resistencia a las temperaturas, de -200°C a +250°C, lo hacen válido para aplicaciones vedadas a otros materiales. Al no tratarse de un elastómero, requiere la construcción de alojamientos y formas especiales.

Código K:

Perfluorelastómeros. FFKM

Estos materiales ofrecen la resistencia química del PTFE a lo que unen las cualidades elásticas de los elastómeros.

Buena resistencia al hinchamiento en: Ácidos, lejías, bases orgánicas, disolventes orgánicos clorados, hidrocarburos nitrurados, carburos aromáticos etc.

Campo térmico de aplicación: Resistencia a temperaturas de hasta + 300°C. Su flexibilidad en frío es buena hasta -12°C.

El sello mecánico para la aplicación estudiada es un sello tipo cartucho construido en material polimérico capaz de soportar las fuertes condiciones del medio de operación tales como la presión y temperatura de descarga de la bomba, además, no generan reacciones químicas con el amoníaco en estado líquido con el cual está siempre en contacto directo. Los materiales poliméricos que tiene mejor afinidad con el amoníaco son los elastómeros los cuales se utilizan principalmente en forma de junta externa en los sistemas de refrigeración. Se usan también, en presencia de oxígeno. Resisten a los alcoholes, ácidos suaves, agua, aire, amoníaco, argón y otros gases. Sus temperaturas de utilización van de -20°C a +90°C. En las siguientes tablas se pueden observar algunos materiales poliméricos que posiblemente se pueden utilizar para desarrollar el material que se necesita para la aplicación descrita.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CAPÍTULO 4

ENSAYOS DE INGENIERIA INVERSA A MATERIALES POLIMERICOS

ENSAYO DE EXTRUSIÓN

La extrusión de polímeros es un proceso industrial mecánico, en donde se realiza una acción de moldeado del plástico, que, por flujo continuo con presión y empuje, se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada. El polímero fundido (o en estado visco-elástico) es forzado a pasar a través de un dado también llamado cabezal, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido. (Axayacatl, 2014)

TÉCNICAS DE EXTRUSIÓN

La clasificación general de los distintos tipos de técnicas para extrusión de polímero son las siguientes:

- Extrusión con un sólo husillo

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Extrusores convencionales o típicos
- Extrusores con ventilación (o venteo) o desgasificación
- Extrusores co-mezcladores (del inglés *kneader*)
- Extrusores sin husillo
- Bombas
- Extrusores de discos
- Extrusores de husillo múltiple
- Extrusores de doble husillo
- Husillos que no engranan
- Husillos que engranan
- Rotación en el mismo sentido
- Rotación en sentido inverso
- Extrusores con más de dos husillos
- Rodillos planetarios
- De 4 husillos (construcción particular para cada máquina)

En los ensayos realizados a la muestra del material del sello mecánico (Ilustración 13), se utilizó una extrusora de un solo husillo, esta máquina se encuentra en el laboratorio de materiales del ITM en la sede de Fraternidad como la que se observa en la ilustración 14.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 13. Muestra sello mecánico original de las bombas para trabajo con amoniaco.



Ilustración 14. Extrusora de un solo husillo (**Friend New Tech, 2018**)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 15. Husillo extrusión. (Plastico.com, 2010)

EXTRUSORES DE UN SÓLO HUSILLO

Los extrusores más comunes utilizan un sólo husillo en el cañón. Este husillo tiene comúnmente una cuerda, pero puede tener también 2 y esta forma canales en los huecos entre los hilos y el centro del husillo, manteniendo el mismo diámetro desde la parte externa del hilo en toda la longitud del husillo en el cañón. (Axayacatl, 2014)

La división más común para extrusores de un sólo husillo consiste en 4 zonas, desde la alimentación hasta la salida por el dado del material,

1. Zona de alimentación: En esta parte ocurre el transporte de gránulos sólidos y comienza la elevación de temperatura del material
2. Zona de compresión: En esta zona, los gránulos de polímero son comprimidos y están sujetos a fricción y esfuerzos cortantes, se logra una fusión efectiva
3. Zona de distribución: Aquí se homogeneiza el material fundido y ocurren las mezclas.
4. Zona de mezcla: En esta parte que es opcional ocurre un mezclado intensivo de material, en muchos casos no se aconseja porque puede causar degradación del material.

Los husillos pueden tener también dentro de algunas de sus zonas principales elementos dispersivos y elementos distributivos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Distribución: Logra que todos los materiales se encuentren igual proporción en la muestra
 Dispersión: Logra que los componentes no se aglomeren, sino que formen partículas del menor tamaño posible.

ESCANER TRIDIMENSIONAL

Para tomar la imagen de la muestra del sello mecánico original se tomó una fotografía de la pieza utilizando un escáner 3D Dynamics Caddy con el fin de llevarla al computador para realizar las simulaciones necesarias. En la actualidad, los dispositivos de escaneo tridimensional (3D) son herramientas de gran utilidad en el diseño en ingeniería. Estos equipos permiten obtener objetos virtuales óptimos para realizar todas las simulaciones requeridas en un proceso de diseño. En la industria moderna, el uso de esta tecnología se ha convertido en una necesidad para ser competitivo. Es una ventaja que puede reducir los costos y aumentar la eficiencia en cualquier proceso. Los escáner tridimensionales o digitalización 3D son tecnologías que permiten encontrar las coordenadas (X, Y, Z) de cualquier punto en la superficie de un objeto. Para obtener este resultado, estos emplean sensores de posición: de contacto y de no contacto. Los de contacto son los que cuentan con un dispositivo sólido que toca directamente la pieza de interés. Los de no contacto emplean señales que se pueden propagar en cualquier medio. El escáner 3D de no contacto tipo laser puede utilizar diferentes métodos como: los interferométricos, de reflexión, de interposición, de intensidad, de tiempo y de triangulación. Este último método consiste en determinar a qué profundidad se encuentra la superficie de un objeto, mediante la interpretación de la imagen generada por un haz de laser reflejado en la superficie analizado, basándose en los planteamientos de la teoría de la perspectiva. Los tipos de digitalización 3D se ilustran en el siguiente mapa conceptual: (Axayacatl, 2014)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Ilustración 16. Tipos de digitalización 3D. (Axayacatl, 2014)

Con la realización de las pruebas de ingeniería inversa se pudo determinar la muestra del material del sello mecánico está construida en vitón el cual es el más especializado de los elastómeros, (Apéndice A) bien conocido por su excelente resistencia a la temperatura (hasta 280°C). Además, el Viton ofrece una excelente resistencia a los combustibles y a los químicos, además de contar con la norma internacional ISO 9000 y la ISO/TS 16949. Las aplicaciones de este excelente empaque son la industria automotriz, procesos químicos en la industria, además de infinidad de aplicaciones donde se requiera el mejor empaque. Este material se estudiará un poco más en el capítulo siguiente.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

CAPITULO 5

EL VITON: MATERIAL DE CONSTRUCCION DEL SELLO MECÁNICO ORIGINAL

GENERALIDADES DEL VITON

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El vitón es un elastómero (**Apéndice A**) obtenido de la derivación del caucho sintético y el fluoropolímero elastómero, el cual se emplea para el moldeo y extrusión. Si se compara el costo del kit básico de repuestos de la bomba en estudio que es necesario importarlo, entre ellos el sello mecánico, su valor aproximado es de 1200 USD y el tiempo de entrega en planta es de 30 a 90 días, mientras que el costo de un cordón de un metro de longitud (39.376 pulgadas) por 3/16 pulgadas de diámetro no supera los \$ 50.000 y es un material comercial de fácil adquisición. (Seals, 2010)

Este elemento posee diversas características que lo hacen uno de los materiales con mayor elasticidad y resistencia para distintas aplicaciones, por ejemplo:

- Posee una resistencia a fluidos de alta agresividad
- Soporta temperaturas entre -25°C a + de 220°C
- Tiene buena resistencia a la deformación
- Posee una excelente retención a la fuerza de sellado
- Excelente retención a la dureza original del diseño
- Alta resistencia a aceites, lubricantes y combustibles
- Ofrece compatibilidad con agentes ácidos y alcalinos
- Resiste radiaciones

El vitón posee un especial rendimiento contra productos químicos agresivos, por lo cual se emplea para la fabricación de O-rings retenes, válvulas, guarniciones, diafragmas, juntas, planchas, recubrimientos de telas y cables. Además de ser compatible con hidrocarburos, cetonas y ácidos orgánicos. (Plastico.com, 2010)

Una de sus aplicaciones poco comunes es en la fabricación de equipo de buceo; este se emplea debido a que posee una menor probabilidad de captura de fuego aun con el aumento de oxígeno.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

También es empleado para la fabricación de mangueras para tuberías. El vitón posee una multiplicidad de usos, se utiliza por ejemplo en aplicaciones de combustible para automóviles u otros medios de transporte.

Los grados de vitón difieren principalmente en su resistencia química. En los grados especializados, existen 2 tipos: los que se adaptan específicamente a resistencias superiores de fluidos y los que se desempeñan a bajas temperaturas. Las propiedades químicas, mecánicas, de resistencia al calor son excelentes en este material. (Plastico.com, 2010)

PROPIEDADES TÉCNICAS MATERIAL VITON

El Vitón es el más especializado de los fluoroelastómeros (Apéndice A), bien conocido por su excelente resistencia a la temperatura (hasta 280°C) El vitón este certificado con la norma internacional ISO 9000 y la ISO/TS 16949. Las aplicaciones de este excelente empaque son la industria automotriz, procesos químicos en la industria, además de infinidad de aplicaciones donde se requiera el mejor empaque. Es importante destacar que la formulación de vitón solamente es propiedad de Dupont Performance Elastomers (Plastico.com, 2010), por lo cual es de suma importancia asegurar que el empaque que está utilizando sea verdaderamente de vitón ya que se han encontrado casos donde se ofrecen empaques con la leyenda de vitón sin ser la formulación de Dupont. Vitón es un hule sintético utilizado mayormente en o’rings para sellado, aunque se puede utilizar en lámina, placa y juntas cortadas para su mejor aplicación. Este tipo de hule vitón es útil en la industria minera, petrolera, de procesos químicos y petroquímicos debido a sus propiedades técnicas. (Ilustración 17).

Aplicaciones típicas

- Excelente resistencia a los combustibles agresivos
- Gran resistencia a la mayoría de los químicos utilizados en la industria
- Aplicación en extremas condiciones de ataque químico y alta temperatura

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Alta resistencia a productos químicos, inorgánicos, ácidos y bases concentrados hidrocarburos

Propiedades Típicas

- Dureza Shore A de 75
- Limite de resistencia a la tracción de 11 MPa
- Porcentaje de elongación a la ruptura del 250%
- No está aprobado para el sector alimenticio
- Resistencia a la temperatura máxima continua: 280 °C

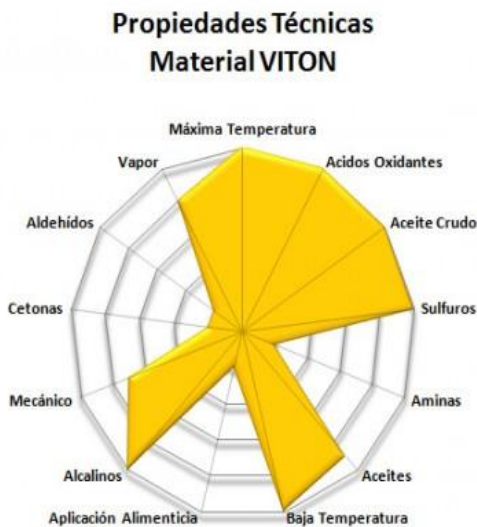


Ilustración 17. Propiedades técnicas material Vitón. (Plastico.com, 2010)

NOTA: Distancia mayor al punto central del gráfico, es mejor. Esto es una descripción general con relación a otros materiales. (Plastico.com, 2010)

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL VITÓN. (Plastico.com, 2010)

Peso específico	--	1,96	Gr/cm ³
Dureza	ASTM D2240	70	Shore A

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Carga de rotura	ASTM D412	5	Mpa
Alargamiento de rotura	ASTM D412	165	%
Temperatura de trabajo	--	-30 +250	°C
Deformación remanente (22h a 175°C)	ASTM D395 método B	50	% def. máx.
Resistencia a disolventes (70h a 150°C)	aceite IRM 903	10	Inc volumen %
Resistencia química al ozono	--	Excelente	--
Resistencia química a ácidos y bases diluidos	--	Excelente	--
Resistencia química a ácidos y bases concentrados	--	Excelente	--
Resistencia química a hidrocarburos	--	Buena	--
Resistencia química a disolventes orgánicos	--	Buena	--

Tabla 3. Características generales del vitón. (Seals, 2010)

CAPITULO 6

ALGUNAS INVESTIGACIONES REFERENTES AL USO DE AMONIACO EN LA INDUSTRIA

Un grupo de investigadores del Instituto del Calor de la Universidad Técnica de Riga, Letonia han desarrollado una bomba de calor que trabaja con amoniaco para calentar agua y acondicionar los espacios debido a que la temperatura promedio de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

esta ciudad es de 12°C en tiempo seco. Utilizaron amoníaco debido a sus excelentes propiedades termodinámicas, seleccionaron los componentes necesarios y adecuados compatibles con el amoníaco para evitar la corrosión y finalmente realizaron los cálculos necesarios para determinar la eficiencia del sistema y la factibilidad del proyecto. Los investigadores pudieron encontrar que casi el 80% de la energía que se utiliza en los países bálticos se usa para calentar el agua y acondicionar sus espacios. (Zajacs, 2017)

Teniendo en cuenta el hecho de que la mayor parte de esta demanda está cubierta por energía eléctrica, el uso amplio de bombas de calor residenciales podría hacer ahorros de energía significativos. En su estudio encontraron que el mercado de bombas de calor ofrece una amplia variedad de diferentes bombas de calor de pequeña escala donde la mayoría de ellos utilizan refrigerante R-410A que tiene alto potencial de calentamiento global. Teniendo en cuenta el hecho de que la política global empieza a centrarse en acciones relacionadas con la eficiencia energética y el impacto nocivo en el medio ambiente, consideraron que era necesario investigar sobre nuevos refrigerantes. Una solución alternativa que se encontró fue utilizar refrigerantes naturales, como el amoníaco, el cual tiene cero potencial de calentamiento global y cero potencial de agotamiento del ozono. Desde el comienzo de la era de la refrigeración, el amoníaco se ha utilizado en sistemas de gran capacidad donde no se ha prestado atención a las unidades de mediana y pequeña escala. Está relacionado con la falta de componentes y diseño específico debido a las propiedades físicas y químicas del amoníaco. Debido a estas consideraciones los investigadores desarrollaron una bomba de calor apta para el trabajo con amoníaco la cual fue comparada con las bombas de calor que trabajan con R-410A y se encontró que el equipo construido que opera con amoníaco ofrece un mayor y mejor desempeño. Se encontró también que el factor limitante de las bombas de calor con amoníaco es la toxicidad del fluido por lo que el equipo debe ser instalado fuera de la residencia o lugar que se desea acondicionar. En la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

actualidad los investigadores ofrecieron esta alternativa ecológica al gobierno suizo con el fin de que este genere los incentivos necesarios para que las personas tomen conciencia y cambien su tecnología obsoleta nociva para el ambiente por el nuevo desarrollo tecnológico amigable con la capa de ozono. (Zajacs, 2017)

El crecimiento apresurado de la industria a nivel mundial en todas sus áreas de aplicación ha traído grandes avances tecnológicos. Estos avances han surgido de acuerdo a la alta demanda de las nuevas industrias, las cuales requieren tecnología de punta para suplir las necesidades de sus procesos y cumplir con las nuevas demandas de producción para garantizar que la empresa sea competitiva en el mercado y se pueda sostener en el tiempo ofreciendo siempre los más altos estándares de calidad en todos sus productos y procesos. El área de la refrigeración es una muestra de ese gran desarrollo tecnológico que crece al mismo tiempo que crecen las industrias. **“La gran preocupación del sector de la refrigeración ha sido disminuir el calentamiento global y reducir los gases que causan efecto invernadero siendo las sustancias refrigerantes los principales actores los cuales aportan aproximadamente el 70% del total de las emisiones que afectan la capa de ozono.”** (Lychnos & Tamainot, 2014). Por tal razón el amoniaco juega un papel muy importante en este tema debido a que por ser un compuesto orgánico se descompone fácilmente y no genera ningún peligro ambiental. Con el paso del tiempo se han hecho mejoras significativas a los sistemas de refrigeración con el fin de mejorar su eficiencia energética ya que el mayor consumo de energía eléctrica es utilizado por los equipos de refrigeración. Este estudio fue realizado por Climate Change Act 2008, en el cual se evidenció la necesidad de producir equipos de refrigeración con amoniaco a gran escala haciéndolos lo más eficiente posibles con el fin de reemplazar los equipos que trabajan con refrigerantes CFC (clorofluorocarbonos). (Lychnos & Tamainot, 2014).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Un nuevo desarrollo tecnológico para las aplicaciones con amoniaco fue propuesto por Orbel Barkhordarian, Ali Behbahaninia, Rasool Bahrampoury, los cuales pertenecen al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Tecnología K.N.Toosi, Teheran, Irán, en el cual se contempla un sistema de cogeneración de agua y amoniaco donde se puede producir simultáneamente potencia y refrigeración utilizando dos evaporadores que pueden producir salida de refrigeración a temperaturas y capacidades diferentes donde la primera presión del evaporador puede ser seleccionada de acuerdo a la necesidad de operación. Estos estudios para desarrollar esta nueva tecnología se debieron a la preocupación existente y generalizada por disminuir el calentamiento global y la contaminación del aire, encontraron alternativas como la utilización de fuentes de calor a baja temperatura como la energía solar, la energía geotérmica y el calor residual las cuales se consideran soluciones para los problemas mencionados anteriormente. Los investigadores utilizaron el ciclo Kalina para generación eléctrica con fuentes de energía renovables. El ciclo de Kalina se define como una variante del ciclo de Rankine que emplea como fluido de trabajo una mezcla binaria de amoníaco y agua, y en el que el proceso de condensación pura se sustituye por un subsistema de destilación, alcanzando un rendimiento de más de un diez por ciento del ciclo Rankine clásico el cual permite trabajar con fuentes de calor de muy diversa temperatura. (Barkhordarian, Behbahaninia, & Bahrampoury, 2017)

Como la fuente de energía no representa un costo muy elevado en la energía que consume el sistema de refrigeración, el ciclo de Kalina y también el ciclo de enfriamiento por absorción de amoníaco-agua se han utilizado ampliamente en los últimos años y se desarrollan en varias configuraciones para diferentes aplicaciones y fuentes de calor. Varios investigadores propusieron algunos ciclos de trabajo combinando la refrigeración con amoniaco, el agua y las fuentes de energía renovable logrando algunos avances significativos en el tema. (Caro, 2017) Goswami propuso un ciclo combinado de enfriamiento térmico y de potencia con amoniaco-agua como fluido de trabajo. El ciclo propuesto combinó un ciclo Rankine y un ciclo de refrigeración por absorción, en el que la mezcla de agua de amoníaco

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

se puede expandir a una temperatura muy baja en la turbina sin condensación y utiliza un proceso de condensación de absorción en lugar del proceso de condensación convencional. Algunos desarrollos e investigaciones adicionales sobre el rendimiento del ciclo de Goswami fueron llevados a cabo por él y otros investigadores. Fontalvo realizó un análisis de exergía y calculó la destrucción de exergía en cada componente del ciclo de Goswami y los comparó con la eficiencia de la turbina y las relaciones de presión del sistema. Zhang propuso un nuevo sistema de amoníaco-agua para la cogeneración de refrigeración y energía, propuso una nueva potencia de absorción y un sistema de enfriamiento basado en el ciclo de Kalina. El tanque separador en el ciclo de Kalina fue reemplazado por un rectificador, para mejorar el proceso de separación y para obtener un amoníaco más puro para la refrigeración. Se introdujeron un condensador y un evaporador entre el tanque rectificador y el segundo absorbedor. Con estas modificaciones, el ciclo es capaz de proporcionar refrigeración y potencia simultáneamente. (Barkhordarian, Behbahaninia, & Bahrampoury, 2017)

La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene a partir del aprovechamiento de la radiación procedente del sol. La energía solar relacionada con la alta demanda de refrigeración es probablemente la mejor fuente de energía para los sistemas de aire acondicionado actuales. Debido al creciente consumo de energía del aire acondicionado y a la necesidad de reducir las emisiones de sustancias nocivas al medio ambiente, el interés por utilizar fuentes de energía renovables se muestra más fuerte que nunca. En países como Francia se pudo determinar que la mayoría de enfriadores solares de amoníaco construidos, son para altas potencias de trabajo los cuales se utilizan en complejos edificios de gran tamaño, pero la refrigeración con amoníaco a pequeña escala y de baja potencia no es un tema muy conocido ni trabajado por lo cual se adquiere un gran interés para los investigadores. En este país los enfriadores de agua y amoníaco son particularmente interesantes debido a su bajo costo de producción y mantenimiento, además, el ciclo termodinámico de alta presión es favorable para la optimización interna del calor y de la transferencia de masa, la reducción de la cantidad de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

solución amoníaco-agua, menores caídas de presión hidráulica y un diseño final compacto. **Los investigadores diseñaron un enfriador de absorción de amoníaco-agua de refrigeración de 5 kW para aplicaciones de refrigeración solar.** (Boudehennn, y otros, 2012)

Se trabajó durante varios años con sistemas de refrigeración que empleaban compresores de pistón los cuales utilizaban la compresión de vapor, posteriormente se desarrolló la tecnología del tornillo y se introdujo este avance tecnológico a los compresores de los sistemas de refrigeración. Con los compresores de tornillo se logró mover grandes cantidades de amoniaco al interior del sistema de refrigeración logrando así una mayor eficiencia en el sistema. (Lychnos & Tamainot, 2014)

Todos los autores citados anteriormente coinciden en definir el amoniaco como el fluido refrigerante del futuro debido a sus excelentes propiedades termodinámicas, a su bajo costo y a su rápida respuesta ante la necesidad de producir frío para instalaciones de gran tamaño. Algunos autores en sus investigaciones hablan sobre las bombas que se deben utilizar para la operación del sistema las cuales deben ser de construcción y características especiales debido a las propiedades del amoniaco. En el presente trabajo se estudiarán posteriormente dichas propiedades con el fin de encontrar un material adecuado para la unión motor-bomba que soporte las propiedades del fluido refrigerante y no reaccione químicamente con él para evitar escapes al ambiente que pueden ser en condiciones extremas, altamente perjudiciales para la salud de las personas.

RESULTADOS

En pruebas de ingeniería inversa realizadas a una muestra del actual sello mecánico de las bombas en los laboratorios de materiales de la Institución Universitaria ITM, con la asesoría del docente Juan Carlos Correa del curso de materiales poliméricos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

del ITM se pudo determinar que el material de construcción de los sellos es una aleación de materiales poliméricos cuyo componente principal es el VITON.

Para entender con mayor facilidad el proceso aplicado al material para determinar su composición original se estudia un poco la ingeniería inversa.

INGENIERIA INVERSA

La ingeniería inversa (en inglés, reverse engineering) es el proceso de descubrir los principios tecnológicos de un objeto, herramienta, dispositivo o sistema, mediante el razonamiento abductivo (haciendo conjeturas) de su estructura, función y operación. Dicho de otra manera, se trata de tomar algo, por ejemplo, un dispositivo mecánico o electrónico, para analizar su funcionamiento en detalle, con el objetivo de crear un dispositivo que haga la misma tarea o una similar sin copiar los detalles del original. (Axayacatl, 2014)

OBJETIVO INGENIERÍA INVERSA

Obtener la mayor cantidad de información técnica de un producto, del cual no se tiene la más mínima información técnica de su diseño, construcción y funcionamiento, de modo que se debe partir de un todo para comprender cada pieza del sistema, para lo cual se deben tomar notas muy detalladas. (Axayacatl, 2014)

ANTECEDENTES

La ingeniería inversa es una rama de la ingeniería relativamente reciente, cuyos orígenes se remontan a la Segunda Guerra Mundial, cuando alguno de los dos bandos (Aliados y Potencias del Eje) capturaba maquinaria o equipo del otro bando, entonces se disponían a conocer hasta el más mínimo detalle de la tecnología del

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

enemigo con el objetivo de encontrar fallas o puntos débiles que les brindarán cierta ventaja. (Axayacatl, 2014)

USOS

La ingeniería inversa tiene muchas aplicaciones en el mundo actual y es aplicada por todo tipo de empresas, de todos los ámbitos tecnológicos. Algunos de los usos principales son: (Axayacatl, 2014)

- Investigar, analizar y comprender la tecnología utilizada por otras naciones o por otras empresas.
- Analizar los productos de la competencia para analizar sin infringen alguna patente de otra empresa.
- Desarrollar productos que sean compatibles con otros productos, sin tener acceso a los detalles técnicos de estos últimos.
- Comprobar la seguridad de un producto, en informática, por ejemplo, para conocer las brechas de seguridad que puede tener un programa.

CLASIFICACIÓN INGENIERIA INVERSA

Actualmente la ingeniería inversa se divide en dos grandes vertientes: ingeniería inversa de producto e ingeniería inversa de software; en la primera entran todos aquellos productos físicos tales como máquinas, componentes electrónicos, dispositivos, etc., y en la segunda protocolos, códigos de programación, aplicaciones digitales, etc. No es una definición completamente establecida, pero es la más aceptada actualmente. (Axayacatl, 2014)

LA INGENIERIA INVERSA ES UN METODO DE APRENDIZAJE

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las tareas habituales de la ingeniería implican seguir la dirección de lo específico a lo general, pero la ingeniería inversa indica que las labores deben realizarse siguiendo la dirección opuesta, de lo general a lo específico, algo poco común para los ingenieros, que implica invertir el modo de pensamiento y que sin duda es un gran ejercicio de pensamiento además que es una habilidad de mucha importancia hoy en día.

La ingeniería inversa no es un método de solución sino más bien de aprendizaje, como implica analizar un objeto hasta el punto de comprender cada uno de sus componentes y sus funciones entonces la cantidad de conocimientos obtenida será bastante, pero solo hemos aprendido, para solucionar el problema deberemos aplicar lo aprendido y comenzar de cero nuevamente. (Axayacatl, 2014)

PROBLEMAS LEGALES

Si se sigue un proceso de ingeniería inversa bien establecido no tiene por qué haber ningún problema legal; esto implica cumplir al pie de la letra el objetivo de la ingeniería inversa: obtener un producto que haga lo mismo pero que sea nuevo, que no aplique los mismos principios de funcionamiento del producto analizado; es decir, la ingeniería inversa se debe utilizar solamente para conocer un producto, con el fin de hacer uno que haga lo mismo pero de otro modo. (Axayacatl, 2014)

CONCLUSIONES

- Se realiza estudio en los laboratorios de materiales del ITM a una muestra física del actual material de construcción del sello mecánico de las bombas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que trabajan con amoníaco en la planta de alimentos, el material está construido de Vitón, este material es un elastómero utilizado en aplicaciones donde se necesita máxima resistencia a condiciones de trabajo extremas, al encontrar el material de construcción del sello se plantea como meta futura la construcción del sello mecánico utilizando las respectivas técnicas de ingeniería, ofreciendo a la industria de la refrigeración con amoníaco una solución rápida y confiable que garantice la salud del personal operativo y técnico.

- Durante la realización de este trabajo se estudian las propiedades termodinámicas del amoníaco para entenderla razón por la cual es el refrigerante natural de mayor uso en la industria.
- Se validan las condiciones de trabajo de las bombas para generar un punto de referencia sobre el cual se realiza el estudio para la búsqueda del material adecuado para la aplicación.
- Se realizan ensayos mediante los cuales se pueda comprobar cuál de los materiales encontrados tiene mejores características para el trabajo con amoníaco que el actual material de construcción de los sellos mecánicos. En los ensayos realizados se expusieron algunos materiales estudiados directamente al amoníaco en la empresa de donde se tomaron los datos necesarios para la elaboración de este trabajo de grado, se observa degradación del material casi inmediata.
- Las pruebas realizadas a la muestra del sello se realizan bajo la supervisión de profesionales en materiales en los laboratorios del ITM en la sede de Fraternidad, se evalúan diferentes tipos de polímeros siendo el Vitón el material de construcción sobre el cual se centrarán investigaciones futuras para desarrollar el nuevo sello mecánico.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECOMENDACIONES

El manejo de la información se convierte en un tema fundamental en el desarrollo de cualquier tarea que requiera investigación profunda, es importante contar con la opinión y el concepto de expertos en el tema, en este caso, para este trabajo, es conveniente contar con el concepto de profesionales que pertenecen al Instituto del Plástico, sus comentarios y sugerencias enriquecen la propuesta elaborada.

La elaboración de un trabajo de grado requiere gran esfuerzo y dedicación si se desean obtener resultados satisfactorios que conduzcan al logro de los objetivos del trabajo, se debe invertir un tiempo prudente y considerable en la recopilación de la información necesaria para el desarrollo de la propuesta final.

TRABAJO FUTURO

Para profundizar en los contenidos de este trabajo de grado es importante continuar con la investigación de los materiales poliméricos, ya que se pudo comprobar que

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

algunos de ellos presentan características favorables para el trabajo en condiciones extremas. Es importante resaltar que no necesariamente las investigaciones deben ser orientadas al trabajo seguro con amoníaco, es posible encontrar otras aplicaciones donde la mejor alternativa sea el uso de un material polimérico teniendo en cuenta que en la actualidad el uso de este tipo de materiales ha crecido exponencialmente.

El Instituto del Plástico es una buena alternativa para continuar con la investigación ya que este lugar cuenta con profesionales en el tema que pueden orientar al estudiante sobre el método adecuado para continuar desarrollando la investigación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- ANSI/IIAR. (1992). Equipment, design, and installation of ammonia mechanical refrigeration systems. *Standard*.
- ASHRAE. (1994). Safety code for mechanical refrigeration. *ANSI/ASHRAE* .
- ASHRAE. (2001). Handbook—Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *ASHRAE*.
- ASME. (2012). Rules for construction of power boilers. Boiler and pressure vessel code,. *ASME*, Section VIII, Division 1-95.
- Axayacatl, O. (1 de Diciembre de 2014). *BLOG INGENIERIA*. Recuperado el 28 de Marzo de 2018, de <https://blogingenieria.com/general/ingenieria-inversa/>
- Barkhordarian, O., Behbahaninia, A., & Bahrampoury, R. (2017). A novel ammonia-water combined power and refrigeration cycle with two different cooling temperature levels. *El Sevier*, 816-826.
- Boudehennn, F., Demasles, H., Wyttenbach, J., Joboard, X., Cheze, D., & Papillon, P. (2012). Development of a 5kW cooling capacity ammonia-water absorption chiller for solar cooling applications. *El sevier*, 35-43.
- Caro, J. M. (10 de Junio de 2017). *Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización*. Recuperado el 14 de Enero de 2018, de Manual de Buenas Prácticas en Refrigeración con Amoníaco: <http://www.cchryc.cl/>
- Cornell, P. (4 de Enero de 2018). *Cornell Centrifugal Pump*. Recuperado el 8 de Marzo de 2018, de Cornell Pump: <https://www.cornellpump.com/>
- Friend New Tech. (2 de Mayo de 2018). *Extrusora de plástico de un solo husillo*. Obtenido de Friend New Tech: <http://plastic-extruder.cl/1-1-plastic-single-screw-extruder.html>
- IIAR. (1988). Minimum safety criteria for a safe ammonia refrigeration system. *International Institute of Ammonia Refrigeration Bulletin 109*.
- Lychnos, G., & Tamainot, T. (2014). Performance of hybrid refrigeration system using ammonia. *El Sevier*, 560-565.
- Ming, L., Wasim, S., & Frank, B. (2011). Development of a novel refrigeration system for refrigerated trucks.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ministerio De Ambiente, V. Y. (2015). Buenas Prácticas En Refrigeración, Recuperación Y Reciclaje De Refrigerantes. *UTO*, 1-21.

Plastico.com. (26 de Octubre de 2010). *Materiales elásticos multiuso de gran resistencia*. Recuperado el 24 de Enero de 2018, de <http://www.plastico.com/temas/Materiales-elasticos-multiuso-de-gran-resistencia+3079870>

Rodriguez, M. (Junio de 2015). Aplicación del Reglamento de Seguridad de Instalaciones de Refrigeración con amoniaco. *Digital*, 1-5.

Rodriguez, M. (2015). Aplicación del Reglamento de Seguridad de Instalaciones de Refrigeración con amoniaco. *Digital*, 1-5.

Rubio Marquez, J. (10 de Julio de 2008). *Mundohvac&r*. Recuperado el 14 de Febrero de 2018, de <https://www.mundohvacr.com.mx/2009/03/refrigeracion-con-amoniaco/>

Seals, T. (15 de Junio de 2010). <http://www.industryseals.es/>. Recuperado el 20 de Abril de 2018, de <http://www.industryseals.es/>: http://www.industryseals.es/product.html?gclid=EAlalQobChMlrLi9hoDP2glVjFmGCh3OiQH_EAAYASAAEgJWefD_BwE

Tecniempaques S.A.S. (4 de Mayo de 2018). *Tecniempaques S.A.S*. Obtenido de Tecniempaques S.A.S: <https://www.tecniempaques.com/index.php/productos/sellos-mecanicos.html>

Zajacs, A. (2017). Small ammonia heat pumps for space and hot tap water heating. *El Sevier*, 74-79.

Zelsio, R. (10 de Junio de 2013). *Refrigeración Zelsio*. Recuperado el 8 de Marzo de 2018, de Zelsio equipamiento industrial: <http://www.refrigeracionzelsio.es/bombas-para-refrigeracion/1585-witt-gp-51-ks-era.html>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE A

¿Qué es un elastómero? (Plastico.com, 2010)

Los elastómeros hacen referencia al conjunto de materiales que formados por polímeros que se encuentran unidos por medio de enlaces químicos adquiriendo una estructura final ligeramente reticulada.

Un elastómero lo podemos asimilar al siguiente ejemplo, imaginemos que encima de una mesa tenemos un conjunto de cuerdas entremezcladas unas con otras, cada uno de estas cuerdas es lo que llamamos polímero, tendremos que aplicar un esfuerzo relativamente pequeño si queremos separar las cuerdas unas de otras, ahora comenzamos a realizar nudos entre cada una de las cuerdas, apreciando que conforme más nudos realizamos más ordenado y rígido se vuelve el conjunto de las cuerdas, los nudos de nuestra cuerda es lo que representa a los enlaces químicos, con un cierto grado de nudos, o enlaces químicos, necesitamos tensionar con mayor fuerza el conjunto de cuerdas con objeto de separarlas, además observamos que cuando tensionamos la longitud de las cuerdas aumentan y cuando dejamos de tensionar el tamaño de las cuerdas vuelven a la longitud inicial.



Figura 3. Material termoplástico.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Figura4. Material elastomérico

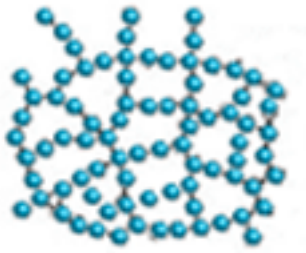


Figura 5. Material termoestable

La principal característica de los elastómeros es su alta elongación o elasticidad y flexibilidad que disponen dichos materiales frente a cargas antes de fracturarse o romperse.

En función de la distribución y grado de unión de los polímeros, los materiales elastómeros pueden disponer de unas características o propiedades semejantes a los materiales termoestables o a los materiales termoplásticos, así pues, podemos clasificar los materiales elastómeros en:

- Elastómeros termoestables - son aquellos elastómeros que al calentarlos no se funden o se deforman.
- Elastómeros termoplásticos - son aquellos elastómeros que al calentarlos se funden y se deforman.

**APENDICE B. PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL AMONIACO,
LIQUIDOS Y VAPORES SATURADOS (ANSI/IIAR, 1992)**

P(kPa)	T(°C)	v(m³/kg)		h(kJ/kg)		Vaporización	s (kJ/kgK)		Vaporización
		Liq. sat.	Vap.sat	Liq. sat.	Vap. sat.		Liq.sat.	Vap.sat.	
10,9	-70	0,001379	9,045	-131,3	1337,4	1468,7	-0,603	6,629	7,232
21,86	-60	0,001401	4,714	-87,3	1355,4	1442,7	-0,391	6,378	6,769
40,83	-50	0,001424	2,629	-43,8	1372,5	1416,3	-0,192	6,156	6,348
50	-46,52	0,001433	2,175	-28,6	1378,3	1406,9	-0,124	6,084	6,208
60	-43,28	0,001441	1,834	-14,4	1383,6	1398,0	-0,062	6,019	6,081
70	-40,45	0,001448	1,588	-2,0	1388,1	1390,1	-0,008	5,965	5,973
71,71	-40	0,001450	1,553	0,0	1388,8	1388,8	0,000	5,957	5,957
80	-37,94	0,001455	1,402	9,1	1392,0	1382,9	0,039	5,918	5,879
90	-35,67	0,001461	1,256	19,1	1395,5	1376,4	0,081	5,877	5,796
100	-33,6	0,001466	1,138	28,3	1398,6	1370,3	0,120	5,840	5,721
110	-31,69	0,001471	1,041	36,8	1401,5	1364,7	0,155	5,807	5,652
119,5	-30	0,001476	0,964	44,3	1404,0	1359,7	0,186	5,778	5,592
120	-29,91	0,001476	0,960	44,7	1404,1	1359,4	0,187	5,776	5,589
130	-28,25	0,001481	0,890	52,1	1406,5	1354,4	0,217	5,748	5,531
140	-26,69	0,001485	0,831	59,0	1408,7	1349,7	0,246	5,722	5,476
150	-25,22	0,001489	0,779	65,6	1410,8	1345,2	0,272	5,698	5,426
160	-23,82	0,001493	0,733	71,9	1412,8	1340,9	0,297	5,676	5,379
170	-22,49	0,001497	0,693	77,8	1414,6	1336,8	0,321	5,654	5,333
180	-21,23	0,001501	0,656	83,5	1416,3	1332,8	0,344	5,635	5,291
190	-20,02	0,001504	0,624	89,0	1418,0	1329,0	0,365	5,616	5,251
190,1	-20	0,001504	0,624	89,0	1418,0	1329,0	0,366	5,615	5,249
200	-18,86	0,001507	0,595	94,2	1419,5	1325,3	0,386	5,598	5,212
250	-13,66	0,001523	0,482	117,7	1426,3	1308,6	0,477	5,520	5,043
290,8	-10	0,001534	0,418	134,4	1430,8	1296,4	0,541	5,467	4,926
300	-9,23	0,001536	0,406	137,9	1431,7	1293,8	0,554	5,456	4,902
350	-5,35	0,001548	0,351	155,7	1436,3	1280,6	0,621	5,403	4,782
400	-1,88	0,001560	0,309	171,7	1440,1	1268,4	0,680	5,356	4,676
429,4	0	0,001566	0,289	180,4	1442,2	1261,8	0,711	5,331	4,620
500	4,14	0,001580	0,250	199,6	1446,4	1246,8	0,781	5,278	4,497
600	9,29	0,001598	0,210	223,6	1451,4	1227,8	0,866	5,213	4,347
615	10	0,001600	0,206	227,0	1452,0	1225,0	0,878	5,204	4,326
700	13,81	0,001614	0,182	244,9	1455,3	1210,4	0,940	5,159	4,219
800	17,85	0,001630	0,160	264,1	1458,5	1194,4	1,006	5,111	4,105
857,3	20	0,001638	0,149	274,3	1460,1	1185,8	1,041	5,086	4,045
900	21,53	0,001644	0,142	281,6	1461,2	1179,6	1,065	5,068	4,003
1000	24,9	0,001658	0,129	297,8	1463,4	1165,6	1,119	5,030	3,911
1100	28,03	0,001671	0,117	312,9	1465,2	1152,3	1,169	4,995	3,826
1167	30	0,001680	0,111	322,4	1466,3	1143,9	1,200	4,974	3,774
1200	30,95	0,001684	0,108	327,0	1466,8	1139,8	1,215	4,963	3,748
1300	33,68	0,001696	0,09934	340,3	1468,0	1127,7	1,259	4,934	3,675
1400	36,26	0,001708	0,09230	353,0	1469,0	1116,0	1,299	4,906	3,607
1500	38,71	0,001719	0,08617	365,0	1469,8	1104,8	1,337	4,880	3,543
1555	40	0,001725	0,08313	371,4	1470,2	1098,8	1,357	4,866	3,509
1600	41,04	0,001730	0,08078	376,6	1470,4	1093,8	1,373	4,855	3,482
1700	43,25	0,001741	0,07600	387,6	1470,9	1083,3	1,408	4,832	3,424
1800	45,38	0,001752	0,07174	398,2	1471,2	1073,0	1,441	4,809	3,368
1900	47,41	0,001763	0,06790	408,4	1471,4	1063,0	1,472	4,788	3,316
2000	49,37	0,001773	0,06444	418,3	1471,5	1053,2	1,502	4,768	3,266
2033	50	0,001777	0,06336	421,5	1471,5	1050,0	1,512	4,761	3,249
2614	60	0,001834	0,04880	472,8	1469,7	996,9	1,665	4,658	2,993

P = 20 kPa			
t(°C)	v(m³/kg)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)
-61,34	0,001398	-93,1	-0,418
-61,34	5,123	1353,0	6,410
-60	5,157	1355,7	6,423
-50	5,408	1376,2	6,517
-40	5,657	1396,7	6,607
-30	5,906	1417,3	6,693
-20	6,154	1437,9	6,776
-10	6,401	1458,6	6,856
0	6,648	1479,4	6,934
10	6,894	1500,2	7,009
20	7,140	1521,2	7,081
30	7,386	1542,3	7,152
40	7,631	1563,5	7,221

P = 40 kPa			
t (°C)	v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
-55	0,001412	-65,5	-0,290
-50,34	0,001424	-45,3	-0,198
-50,34	2,680	1372,0	6,163
-45	2,748	1383,2	6,213
-35	2,875	1404,2	6,303
-25	3,001	1425,2	6,389
-15	3,127	1446,2	6,472
-5	3,252	1467,2	6,552
5	3,376	1488,2	6,629
15	3,500	1509,3	6,703
25	3,624	1530,5	6,776
35	3,747	1551,8	6,846
45	3,871	1573,2	6,914

P = 60 kPa			
t(°C)	v(m³/kg)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)
-50	0,001424	-43,8	-0,192
-43,28	0,001441	-14,4	-0,062
-43,28	1,834	1383,6	6,019
-40	1,863	1390,6	6,050
-30	1,949	1412,0	6,140
-20	2,034	1433,4	6,226
-10	2,119	1454,7	6,309
0	2,203	1476,0	6,388
10	2,286	1497,3	6,464
20	2,369	1518,6	6,538
30	2,452	1540,0	6,610
40	2,535	1561,4	6,680
50	2,617	1583,0	6,748
60	2,700	1604,7	6,814

P = 100 kPa			
t (°C)	v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
-40	0,001450	0,0	0,000
-33,6	0,001466	28,3	0,120
-33,6	1,138	1398,6	5,840
-30	1,157	1406,6	5,873
-20	1,210	1428,8	5,962
-10	1,262	1450,8	6,048
0	1,314	1472,6	6,129
10	1,365	1494,3	6,207
20	1,415	1516,0	6,282
30	1,466	1537,7	6,355
40	1,516	1559,4	6,426
50	1,566	1581,2	6,494
60	1,615	1603,0	6,561
70	1,665	1625,0	6,626

P = 200 kPa			
t(°C)	v(m³/kg)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)
-30	0,001476	44,3	0,185
-20	0,001504	89,0	0,366
-18,86	0,001507	94,2	0,386
-18,86	0,5946	1419,5	5,598
-10	0,6192	1440,5	5,679
0	0,6464	1463,8	5,766
10	0,6732	1486,7	5,848
20	0,6995	1509,4	5,927
30	0,7255	1531,9	6,002
40	0,7513	1554,3	6,075
50	0,7768	1576,6	6,145
60	0,8022	1598,9	6,213
70	0,8275	1621,2	6,279
80	0,8527	1643,6	6,344

P = 300 kPa			
t (°C)	v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
-20	0,001504	89,1	0,365
-10	0,001534	134,4	0,541
-9,23	0,001536	137,9	0,554
-9,23	0,4061	1431,7	5,456
0	0,4238	1454,6	5,542
10	0,4425	1478,9	5,629
20	0,4608	1502,6	5,711
30	0,4787	1525,9	5,789
40	0,4963	1549,0	5,864
50	0,5138	1571,9	5,936
60	0,5311	1594,7	6,006
70	0,5482	1617,4	6,073
80	0,5653	1640,1	6,138
90	0,5823	1662,9	6,202

P = 400 kPa			
t(°C)	v(m³/kg)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)
-10	0,001534	134,5	0,541
-1,88	0,001560	171,7	0,680
0	0,3123	1445,1	5,374
10	0,3270	1470,7	5,466
20	0,3413	1495,5	5,552
30	0,3552	1519,8	5,634
40	0,3688	1543,6	5,711
50	0,3822	1567,1	5,785
60	0,3955	1590,4	5,856
70	0,4086	1613,5	5,924
80	0,4216	1636,6	5,991
90	0,4345	1659,7	6,055
100	0,4473	1682,8	6,118

P = 600 kPa			
t (°C)	v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
0	0,001566	180,5	0,711
9,29	0,001598	223,6	0,866
9,29	0,2104	1451,4	5,213
10	0,2111	1453,4	5,220
20	0,2215	1480,8	5,315
30	0,2315	1507,0	5,403
40	0,2412	1532,4	5,486
50	0,2506	1557,2	5,564
60	0,2598	1581,6	5,638
70	0,2689	1605,6	5,709
80	0,2778	1629,4	5,778
90	0,2867	1653,1	5,844
100	0,2954	1676,7	5,908
110	0,3041	1700,3	5,970

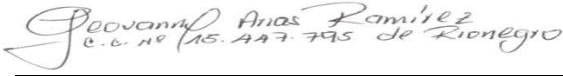
P = 800 kPa			
t(°C)	v(m³/kg)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)
10	0,001600	227,1	0,877
17,85	0,001630	264,1	1,006
17,85	0,1596	1458,5	5,111
20	0,1614	1464,9	5,133
30	0,1695	1493,5	5,229
40	0,1772	1520,7	5,317
50	0,1846	1547,0	5,399
60	0,1919	1572,5	5,477
70	0,1990	1597,5	5,551
80	0,2059	1622,1	5,622
90	0,2127	1646,4	5,690
100	0,2195	1670,6	5,755
110	0,2262	1694,6	5,819
120	0,2328	1718,7	5,881

P = 1000 kPa			
t (°C)	v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
20	0,001638	274,4	1,040
24,9	0,001658	297,8	1,119
24,9	0,1285	1463,4	5,030
30	0,1321	1479,1	5,082
40	0,1387	1508,4	5,178
50	0,1450	1536,3	5,265
60	0,1511	1563,1	5,347
70	0,1569	1589,1	5,424
80	0,1627	1614,5	5,497
90	0,1683	1639,5	5,567
100	0,1739	1664,3	5,634
110	0,1794	1688,9	5,699
120	0,1848	1713,3	5,762
130	0,1901	1737,7	5,823

P = 1400 kPa			
t(°C)	v(m³/kg)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)
30	0,001679	322,5	1,199
36,26	0,001708	353,0	1,299
36,26	0,09230	1469,0	4,906
40	0,09431	1481,5	4,946
50	0,09942	1513,3	5,046
60	0,1042	1543,1	5,137
70	0,1088	1571,5	5,221
80	0,1132	1598,8	5,299
90	0,1175	1625,4	5,373
100	0,1217	1651,4	5,444
110	0,1258	1677,0	5,512
120	0,1299	1702,4	5,577
130	0,1338	1727,6	5,641
140	0,1378	1752,7	5,702

P = 1800 kPa			
t (°C)	v (m³/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
30	0,001678	322,6	1,198
40	0,001725	371,5	1,356
45,38	0,001752	398,2	1,441
45,38	0,07174	1471,2	4,809
50	0,07380	1487,8	4,861
60	0,07800	1521,4	4,964
70	0,08193	1552,6	5,056
80	0,08565	1582,2	5,141
90	0,08922	1610,5	5,220
100	0,09267	1638,0	5,295
110	0,09602	1664,8	5,366
120	0,09931	1691,2	5,433
130	0,1025	1717,2	5,499
140	0,1057	1743,1	5,562

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES	 <small>C.C. No 15.447.795 de Rionegro</small>
FIRMA ASESOR	 <small>Entrega Final correcc. 13/8/18</small>
FECHA ENTREGA: _____	

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____
RECHAZADO _____ ACEPTADO _____ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____
ACTA NO. _____
FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____
ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____