



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
UNIDAD PROFESIONAL ADOLFO LÓPEZ MATEOS**

**“ANÁLISIS DE EFECTOS DE DEFORMACIÓN EN EL SELLADO
DE UNA JUNTA DE CABEZA TIPO MLS DE ACERO
INOXIDABLE, GENERADAS EN SU PROCESO DE NERVADO
POR MEDIO DEL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO”**

T E S I S

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECÁNICA**

PRESENTA:

ING. MARTÍN GARCÍA PÉREZ

DIRECTORES:

DR. GUILLERMO URRIOLAGOITIA CALDERÓN

DR. RAFAEL RODRÍGUEZ MARTÍNEZ



CDMX., AGOSTO 2017.

Agradecimientos

Instituto Politécnico Nacional

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

Por haberme dado la oportunidad de formar parte de esta gran institución, por permitirme continuar con mis estudios de posgrado.

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

Por el apoyo económico otorgado durante el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis directores, comisión revisora y jurado.

Dr. Guillermo Manuel Urriolagoitia Calderón.

Dr. Guillermo Urriolagoitia Sosa.

Dr. Carlos Torres Torres.

Dr. Christopher René Torres San Miguel.

Dr. Rafael Rodríguez Martínez.

Dr. Alexandre Michtchenko.

A la empresa TF Victor S.A. de C.V.

Por el apoyo recibido en la realización de este este trabajo de investigación.

Dedicatoria

A mis padres y hermanos

Elvia y J. Guadalupe

Ismael, Yolanda, Victoria, Guadalupe y Fernando

Porque me enseñaron con su ejemplo, apoyo, reganos y consejos a superarme en todas las etapas de mi vida, que no hay que olvidar nuestros orígenes que son la esencia de nuestra familia

A mi esposa Claudia

Que con su ayuda se han cumplido muchos de mis sueños y espero que logremos los que aún nos faltan por cumplir.

A mi hija

Andrea para que este trabajo te sirva de ejemplo, que todo lo que te propongas se puede lograr solamente es que lo quieras hacer.

A mis hermanos Ausentes

Francisco García Pérez

Ester Ramírez Monroy

Gracias por sus consejos que me han ayudado a seguir adelante.

RESUMEN

En el presente trabajo se presentan la forma en la cual el hombre ha buscado solucionar sus problemas y necesidades con la aparición de las primeras máquinas hidráulicas y las máquinas de vapor fue un gran avance en el uso de la tecnología para la solución de los problemas.

Con la aparición de los motores de combustión interna y todos los estudios desarrollados en los motores, las empaquetaduras o juntas de motor tomaron gran relevancia en el funcionamiento de los mismos teniendo también que evolucionar con el avance de la tecnología.

El presente trabajo trata de las juntas de motor de combustión interna tipo MLS (multicapa), su función, los problemas que presentan además de proporcionar un panorama general de la teoría en el sellado, los tipos de juntas que existen en un motor, materiales de fabricación, comportamiento mecánico, su proceso de fabricación y una propuesta para el diagrama de flujo de proceso, donde se plantea la mejor manera de obtener un producto de mejor calidad y disminuir problemas de fabricación. El objetivo principal es analizar por medio de una simulación numérica los esfuerzos y deformaciones que se presentan al realizar el proceso de nervado de la junta y así determinar que tanto repercuten negativa o positivamente en la función de la junta y cuál sería la mejor manera de producirlas para cumplir con las especificaciones del producto requeridas en los planos de fabricación.

ABSTRACT

This paper presents the way in which man has sought to solve his problems and needs with the appearance of hydraulic machines and steam engines fast progress in the use of technology for solving problems.

With the appearance of the internal combustion engines and all the studies developed in the engines, the gaskets or seals of the engine took great importance in the operation of the same ones that also evolve with the advance of the technology.

The present work deals with internal combustion engine joints type MLS (multilayer), their function, the problems also present an overview of the theory of sealing the types of joints that are presents in an engine, the materials of manufacture Mechanical behavior, its manufacturing process and a propose of process flow diagram where it arises the best way to obtain a product of better quality and decrease manufacturing problems as well as the main objective that is to analyze by means of a numerical simulation the Stresses and deformations that are presented during the process of ribbing of the joint. To determine how much to negative or positively affect the function of the board and what would be the best way for the products to meet the product specifications required in the manufacturing drawings.

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Índice general.....	iii
Índice de figuras.....	iv
Objetivos.....	v
Justificación.....	vi

Capítulo I Estado del arte

I.1.- Bosquejo histórico.....	1
I.2.- Inicio de las máquinas hidráulicas.....	3
I.3.- La máquina de vapor.....	4
I.4.- Motores de combustión interna.....	5
I.5.- Historia de las empaquetaduras estopadas o juntas.....	13
I.5.1.- Introducción juntas <i>MLS</i>	16
I.6.- Los procesos de conformado en prensa.....	18
I.7.- Estudio de esfuerzos y deformaciones unitarias.....	18
I.8.- Planteamiento del problema.....	19
I.9.- Sumario.....	20
I.10.- Referencias.....	21

Capítulo II Marco teórico sobre Juntas de cabeza tipo MLS y teoría de sellado

II.1.- Introducción.....	24
II.2.- Teoría de sellado.....	24
II.2.1.- Tipos de sello (<i>sellado</i>).....	25
II.2.2.- Definición de junta de culata [II.4 y II.5].....	26
II.2.2.1.- Materiales de fabricación para la junta.....	28
II.2.2.2.- Función de la junta en un motor de combustión interna [II.6 y II.7].....	30

II.2.2.3.- Tipos de empaquetaduras para motor [II.7 a II.9].....	31
II.2.3.- Comparación de juntas de cabeza, tipo matriz VS <i>MLS</i>	37
II.2.4.- Características de juntas <i>MLS</i> [II.8].....	37
II.2.5.- Comportamiento mecánico de juntas <i>MLS</i>	41
II.2.6.- Prueba de contacto e interpretación para asegurar el correcto sellado.....	42
II.3.- Glosario.....	43
II.4.- Sumario.....	46
II.5.-Referencias.....	47

Capítulo III El proceso de nervado en una junta de motor

III.1.- El Proceso de nervado en una junta de cabeza tipo <i>MLS</i>	49
III.1.1.- Diagrama de flujo general del proceso de fabricación de las juntas.....	49
III.2.- Descripción de los procesos productivos de las juntas.....	50
III.3.- Análisis del proceso actual de las juntas tipo (<i>MLS</i>).....	53
III.3.1.- El proceso de nervado en juntas tipo <i>MLS</i>	53
III.3.2.- El diseño de un troquel de nervado de junta <i>MLS</i>	56
III.3.3.- Problemas presentes en el proceso de nervado de una junta de motor tipo <i>MLS</i> .	57
III.4.-Propuesta de diagrama de flujo de las juntas tipo <i>MLS</i>	58
III.4.1.- Proceso de corte y Nervado.....	59
III.4.2.-Recubrimiento por Pulverización.....	63
III.4.3.-Montaje y remachado.....	65
III.5.- Sumario.....	62
III.6.- Bibliografía.....	63

Capítulo IV Análisis numérico del proceso de nervado de una junta de motor por el método de elemento finito.

IV.1.-Introducción.....	69
IV.2.-Bases de análisis.....	71
IV.3.-Pre-proceso.....	73
IV.3.1.-Propiedades de la pieza de trabajo y de los materiales de la herramienta...	74

IV.3.2.-Aplicación de desplazamientos y soportes.....	75
IV.4.-Solución de modelo.....	76
IV.4.1.-Concepto de Esfuerzo- Deformación.....	76
IV.4.2.-Esfuerzos Residuales.....	78
IV.5.-Análisis de resultados.....	79
IV.6.-Propuesta de mejora del diseño de los dados para el proceso de nervado en una junta de cabeza tipo MLS.....	83
IV.6.1.- Introducción.....	83
IV.6.2.- Bases de análisis.....	83
IV.6.3.- Pre-proceso.....	84
IV.6.4.- Propiedades de la pieza de trabajo y de los materiales de la herramienta.....	84
IV.6.5.-Aplicación de desplazamientos y soportes.....	85
IV.6.6.-Solución de modelo y análisis de resultado.....	85
IV.7.-Comparación de resultados de análisis Diseño actual- Diseño propuesto.....	89
IV.8.-Ventaja de fabricación de los dados nervadores con diseño propuesto.....	92
IV.9.-Sumario.....	94
IV.9.-Referencias.....	94
Conclusiones	95
Recomendaciones para trabajos futuros	99

ÍNDICE DE FIGURAS**Capítulo I**

Figura I. 1	Utensilios y herramientas de la prehistoria	1
Figura I. 2	Utensilios de cobre	2
Figura I. 3	Uso del hierro	3
Figura I. 4	Primera máquina de vapor	5
Figura I. 5	Máquina térmica desarrollada por Herón de Alejandría	6
Figura I. 6	Máquina de Thomas Savery	7
Figura I. 7	Máquina de Thomas Newcomen	8
Figura I. 8	Regulador de Watt y su aplicación	8
Figura I. 9	Máquina de vapor de Richard Thravenick	9
Figura I. 10	Motor Stirling .A) Alfa. B)Gama	9
Figura I. 11	Motor y ciclo Otto general	12
Figura I. 12	Construcción típica Junta de cabeza Multi-Layer Steel	16
Figura I. 13	Necesidades de sellado en una Junta de cabeza Multi-Layer steel	17

Capítulo II

Figura II. 1	Tipos de sellos a) Sellos estático b) Sello dinámico	26
Figura II. 2	Función de una junta de cabeza de motor	30
Figura II. 3	Junta de Carter	32
Figura II. 4	Junta múltiple de admisión	32
Figura II. 5	Junta múltiple de escape	33
Figura II. 6	Junta tapa de distribución	33
Figura II. 7	Junta de cabeza metal elastómero	34
Figura II. 8	Junta metal elastómero	35
Figura II. 9	Junta metal elastómero	35
Figura II. 10	Junta filtro de aceite y junta de bomba de agua	36
Figura II. 11	Juntas de motor	36
Figura II. 12	Características de juntas de cabeza tipo matriz	37

Índice de Figuras		iv
Figura II. 13	Construcción típica junta de cabeza Multi-Layer steel	38
Figura II. 14	Tipos de fuga típicas en una junta Multi-Layer Steel	39
Figura II. 15	Comparación de las juntas de cabeza tipo matriz vs MLS	39
Figura II. 16	Distribución de carga	40
Figura II. 17	Ciclo de diseño de una junta Multi-Layer Steel	40
Figura II. 18	Ciclo de diseño de una junta Multi-Layer Steel	41
Figura II. 19	Diferentes diseños de juntas de acero	41
Figura II. 20	Proceso de prueba de contacto en papel revelador de presión	42
Figura II. 21	Resultado prueba de contacto de 3 tipos de junta	43

Capítulo III

Figura III. 1	Diagrama de flujo juntas de estanqueidad	49
Figura III. 2	Línea de preparación del material armado (picado, montaje y calandrado)	50
Figura III. 3	Cabina de impregnación y horno estático de curado	51
Figura III. 4	Máquina de serigrafía y cámara de curado por CO2	51
Figura III. 5	Detalle del proceso por recubrimiento	52
Figura III. 6	Ejemplo de junta de cabeza tipo MLS	53
Figura III. 7	Tipos de nervado	54
Figura III. 8	Troquel de nervado y sus partes principales	54
Figura III. 9	Hoja de método estándar de trabajo	55
Figura III. 10	Proceso actual de diseño de herramientas	56
Figura III. 11	Comportamiento elástico y Plástico	56
Figura III. 12	Diseño actual de dados de nervado	57
Figura III. 13	Corrosión en una junta MLS	58
Figura III. 14	Deformación de la junta después de nervado	58
Figura III. 15	Propuesta de diagrama de flujo de juntas tipo MLS	59
Figura III. 16	Sliteado de una lámina de acero inoxidable.	59
Figura III. 17	Proceso de punzonado de juntas tipo MLS	60
Figura III.17a	Proceso de corte en laser de juntas tipo MLS	60
Figura III. 18	Proceso de nervado en Junta tipo MLS sin recubrimiento	61

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Índice de Figuras		iv
Figura III.18a	Forma de los dados de nervado sin ángulos en los bordes	61
Figura III. 19	Metalografía de una Junta MLS	62
Figura III. 20	Proceso de recubrimiento por Pulverización	63
Figura III. 21	Proceso de recubrimiento por Pulverización	64
Figura III. 22	Junta de cabeza totalmente cubierta y libre de residuos	64
Figura III. 23	Junta de cabeza clinchada o remachada	65
Figura III.23a	Empaque de juegos de Juntas	65

Capítulo IV

Figura IV. 1	Gráfica de pruebas de nervado de diferentes números de parte	69
Figura IV. 2	Gráfica de pruebas horas de maquinado y ensamble	70
Figura IV. 3	Plano de producto (Junta de cabeza tipo MLS)	71
Figura IV. 4	Modelo del troquel de nervado para el análisis de elemento finito	72
Figura IV. 5	Dimensiones de altura de dados de nervado	73
Figura IV. 6	Discretizado de modelo bidimensional de dados nervadores y lamina	74
Figura IV. 7	Datos de propiedades mecánicas del acero 301SS alta dureza	75
Figura IV. 8	Tabla de desplazamientos conforme a tiempo determinado	75
Figura IV. 9	Soporte fijo para el análisis del proceso de nervado	76
Figura IV. 10	Representación esquemática de los diagramas de tracción de materiales dúctiles y frágiles	77
Figura IV.10a	Esfuerzos residuales generados en el proceso de conversión del material.	78
Figura IV. 11	Deformación total	79
Figura IV. 12	Deformación direccional	80
Figura IV. 13	Esfuerzos equivalentes	81
Figura IV. 14	Esfuerzo principal máximo	81
Figura IV. 15	Esfuerzo principal mínimo	82
Figura IV. 16	Esfuerzo cortante	82
Figura IV. 17	Modelo del troquel de nervado para el análisis de elemento finito	83
Figura IV. 18	Dimensiones de altura de dados de nervado	84
Figura IV. 19	Discretizado de modelo bidimensional de dados nervadores y lámina	84

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Índice de Figuras		iv
Figura IV. 20	Soporte fijo y aplicación de carga para el análisis del proceso de nervado	85
Figura IV. 21	Deformación total	86
Figura IV. 22	Deformación direccional	86
Figura IV. 23	Esfuerzos equivalentes(von mises)	87
Figura IV. 24	Esfuerzos equivalentes(von mises)	87
Figura IV. 25	Esfuerzo principal Mínimo	88
Figura IV. 26	Esfuerzo cortante	88
Figura IV. 27	Comparación de resultado deformación total y deformación direccional	89
Figura IV. 28	Esfuerzos equivalentes (von mises)	90
Figura IV. 29	Esfuerzos principales Máximos	90
Figura IV. 30	Esfuerzos principales Mínimos	91
Figura IV. 31	Esfuerzos cortantes	91
Figura IV. 32	Maquinado en menor tiempo	92
Figura IV. 33	Dados nervadores prototipos	93
Figura IV. 34	Junta nervada con dados prototipo	93

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología de análisis para conocer los efectos de deformación producidos en la fabricación de las juntas de cabeza tipo MLS de acero inoxidable para garantizar su sellado.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ❖ Conocer los efectos de deformación que se producen en las juntas de cabeza tipo MLS de acero inoxidable para un mejor desarrollo de su diseño por medio del método de elemento finito.
- ❖ Mejorar el diseño de las herramientas de nervado utilizados en la fabricación de juntas de cabeza.
- ❖ Diseñar una metodología de análisis de sellado de juntas de motor por medio del método de elemento finito.
- ❖ Analizar el proceso de nervado de las juntas tipo MLS.

JUSTIFICACIÓN

En la manufactura de las juntas de cabeza para motores de combustión se presentan diferentes problemas, uno de los cuales toma gran relevancia es la altura de los nervados en las juntas debido a que de la construcción de estas depende el correcto sellado del producto en los motores. Se ha detectado que en algunos casos las juntas no logran realizar su función de sellado por lo que surge la necesidad de asegurar que su proceso de fabricación sea perfectamente controlado.

El presente trabajo trata desarrollar un análisis de este proceso para garantizar que la fabricación de las juntas de cabeza sea de acuerdo al diseño del producto y garanticen el correcto sellado para lo cual fueron diseñadas.

Con el transcurso de los años, el hombre necesitó de elementos fuertes y resistentes que le permitieran una mejor confección de sus utensilios y armas; esto lo encontró al emplear los metales desde aproximadamente el año 4 000 a.C. El Cobre es el primer metal en reemplazar a la piedra. Su uso se difundió rápidamente debido a su fácil obtención y a su gran maleabilidad. Es decir, podía ser trabajado y modelado sin mayor dificultad. Además, se le podía encontrar en estado puro, o sea, separado de otros minerales. Al aumentar la demanda del Cobre, se tuvo que buscar en mayores yacimientos. Sin embargo, ahí se encontraba mezclado con otros minerales y para separarlo se recurrió al fuego. Por lo que nació la metalurgia (Figura I.2) [I.3 y I.4].



Figura I.2.- Utensilios de Cobre

La necesidad de endurecer el Cobre produjo como resultado la obtención del bronce, que es una aleación de Cobre (90%) más Estaño (10%) aproximadamente, obteniéndose un metal más duro y resistente. Sin embargo, con el descubrimiento del Hierro el hombre mejoró notablemente sus herramientas y armas. En algunas sociedades antiguas, las tecnologías metalúrgicas necesarias para poder trabajar el Hierro aparecieron de forma simultánea a otros

cambios tecnológicos y culturales. El Hierro le permitió al hombre dominar mejor el medio ambiente y ampliar su horizonte cultural. El uso de este metal tuvo un doble efecto en la humanidad. Por un lado, se comenzaron a crear industrias, tales como la alfarería y la fabricación de instrumentos de metal. Lo que coadyuvó al nacimiento del comercio. Las poblaciones densas formaron ciudades y se amplía la cultura (Figura I.3) [I.5].



Figura I.3.- Uso del Hierro

I.2.- Inicio de las máquinas hidráulicas

Aunque la historia de las máquinas se remonta a tiempos inmemoriales, es sólo hasta hace unos 3 000 años cuando el hombre empezó a manipular el Hierro y el acero, se convirtió en la edad de las máquinas. Se empezaron a desarrollar máquinas de toda clase para emplearlas en muy diferentes actividades que el hombre aplicó para realizar con un menor esfuerzo, una mayor rapidez y eficacia las tareas del día a día [I.6].

La civilización sumeria fue la primera en fundar ciudades, estados e imperios. Fueron también los primeros en inventar la escritura, idear los primeros contratos comerciales, establecer los primeros códigos jurídicos, instituir las primeras instituciones. Fue también en la época de los sumerios cuando por primera vez, el ser humano intenta interaccionar con los fluidos tales como el agua y aire; con el fin de aprovecharlos en algunos trabajos y así optimizar actividades. De esta época son las primeras obras hidráulicas y fundamentalmente en la zona sur de Mesopotamia, el complejo sistema hidráulico de canales, diques y presas supuso, junto a la riqueza del suelo, el desarrollo de una floreciente agricultura. Probablemente, el

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

aprovechamiento de la energía del viento (y por tanto los primeros molinos) fueran conocidos en la zona desde el tercer milenio a.C. Sin embargo, la primera referencia data del año 1 700 a.C. y corresponde con los proyectos de irrigación del emperador *Hammurabi*, quien había concebido la idea de poner en regadío la rica meseta de Mesopotamia con auxilio de la energía eólica. Sin duda, se trataba de máquinas de eje vertical, análogas a aquéllas cuyas ruinas subsisten en la meseta iraní. En aquella época ya se conocían también rudimentarias ruedas hidráulicas. La rueda hidráulica y el molino de viento son preámbulos para la historia de los sistemas con potencia fluida, pues familiarizaron al hombre con las posibilidades de los fluidos para generar y transmitir energía. Así mismo se enseñaron en forma empírica los rudimentos inicios de la Hidromecánica y sus propiedades [I.7 a I.9].

I.3.- La máquina de vapor

Hasta la invención de la máquina de vapor, solamente existían dos máquinas como fuente de energía en Europa; la rueda de agua y el molino de viento. La rueda de agua más grande de toda Europa se construyó para servir a las necesidades del Palacio de Versalles en Francia en 1682 durante el reinado de *Luis XIV*, funcionando en condiciones óptimas producía 75 caballos de potencia [I.10].

Para el Siglo XVIII aún no era posible tener un conocimiento claro y científico sobre los gases y como aplicarlos de manera controlada. Por lo que habitualmente eran considerados como una sustancia misteriosa y en ciertos rubros maquiavélica [I.11]. Para 1695, *Denis Papín* presenta la idea de desarrollar la máquina de vapor, que fue el punto de partida para la utilización del vapor como generador de energía motriz [I.12]. Además, *Denis Papín* fue el inventor y perfeccionador de la máquina neumática y diseño el primer barco de vapor [I.13]. Por lo que, para el año de 1705, *Thomas Newcomen* fue capaz de poner en práctica las teorías existentes sobre vapor y desarrollar un motor. Sin embargo, este equipo era lento e ineficiente [I.14].

Después de más de 70 años el Ingeniero Mecánico *James Watt* presentó su máquina de vapor. Este invento fundamentó a la Ingeniería para lograr los avances que se conoce hoy en día y dio origen al desarrollo de la primera *Revolución Industrial*. Fue el instigador para el diseño y

desarrollo de las primeras locomotoras, lo cual era una consideración tecnológica de alto orden, ya que en ese entonces las locomotoras contaban con motores más evolucionados para su época. Los motores a vapor aplicaban alta presión y no vapor a presión atmosférica, eran evolucionados, ligeros y potentes (Figura I.4) [I.15].

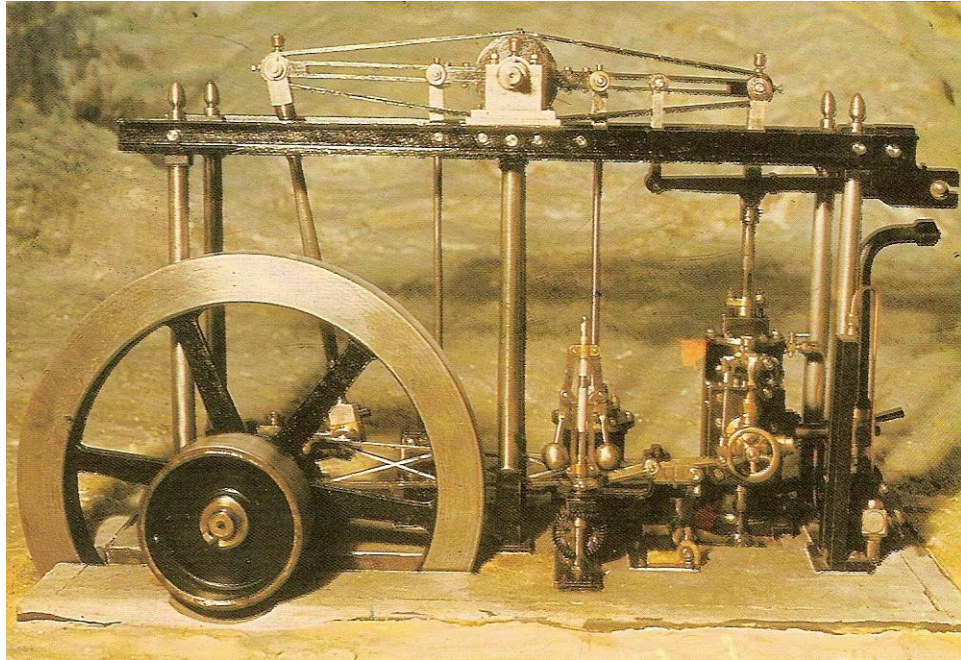


Figura I.4.- Primera máquina de vapor

I.4.- Motores de combustión interna

Para el Siglo XIX se implementó uno de los más grandes avances que pudo tener la Ingeniería, que es el motor de combustión interna. Por lo que gran parte de la segunda mitad del Siglo XIX se realizaron experimentos en esta línea de investigación. Uno de los más importantes pioneros en esta área fue *Jean Joseph Etienne* [I.16]. A *Etienne* se le atribuye el diseño y desarrollo de un motor de gas que contaba con muchos atributos similares a las máquinas de vapor que fueron implementadas por *Alphonse Beau de Rochas* [I.17]. *Alphonse Beau de Rochas* se le imputa ser el autor de la primera descripción teórica completa y correcta del ciclo termodinámico de 4 tiempos. Mientras que para 1876 *Nikolaus August Otto* diseñó e implementó el motor de combustión interna, lo cual realizó en colaboración con *Etienne Lenoir*. El logro anterior se dio exactamente 8 años después del logro de *Alphonse Beau de Rochas*. Por lo que a *Otto* se le considera y acredita como el inventor de traducir en algo práctico a la combustión en un motor [I.18].

En otro sentido de ideas, el ingenio del hombre es sorprendente, en la historia de la humanidad desde que surgió la capacidad de razonar, se ha generado energía. Sin embargo, la energía mecánica inicialmente se concibió a partir de las corrientes de aire y agua. Como es lógico de pensar, las primeras energías generadas eran simples y posteriormente se produciría energía a partir de combustión. Los fósiles son la materia prima, pero no se tenía las bases sólidas en el estudio de la termodinámica en las cuales se profundizó solo hasta el Siglo XIX [I.18].

Hacia el Siglo I a. C., *Herón de Alejandría* fabricó la primera máquina térmica (*Eolipila*) (Figura I.5). La cual consistía en una vasija esférica de Cobre y estaba llena de agua. El agua al ser calentada liberaba vapor y producía una rotación del recipiente. Este es el principio de la turbina [I.19].



Figura I.5.- Máquina térmica desarrollada por *Herón de Alejandría*

A pesar de la aparente simplicidad para el desarrollo de las turbo-máquinas, no sorprende que hayan sido las máquinas de émbolo las que se construyeron primero sin el conocimiento de las leyes de la termodinámica. Lo anterior se debe a que las primeras turbo-máquinas requerían mayor base científica de la existente en ese entonces. Por ejemplo, se dieron intentos como el de *Giovanni de Branca* (Siglo XVII) quien trató de mover una rueda de paletas con un chorro de vapor proveniente de una marmita [I.20]. Aunque años antes *Blasco de Garay* (Siglo XVI)

intentó impulsar una embarcación con un *Eolipila* de gran tamaño [I.21]. Sin embargo, ambos intentos resultaron negativos.

Para la etapa de la Edad Media, el desarrollo del conocimiento en el vapor se estableció de una manera artesanal. Se desarrollan los conocimientos en las propiedades de expansión y del vacío que deja al condensarse en un recipiente cerrado. Por lo que es posible desarrollar las primeras máquinas térmicas, construidas con fines de trabajo y generación de energía [I.22].

La teoría del vapor ya había sido manejada por *Galileo Galilei*, *Torricelli*, *Morland* y *Gauss* entre otros, durante el Siglo XVII [I.15]. A finales del Siglo XVII el inglés *Thomas Savery* construyó la primera máquina de vapor que fue patentada en 1698 (Figura I.6). La máquina de *Savery* consistía de una bomba de succión provista de un cilindro, destinada a drenar las aguas de las minas de carbón, esta era una maquina muy simple, constaba de un tanque cerrado, que al ser llenado de vapor y condensado, por medio de agua, producía un vacío, mediante el cual el agua de las minas era succionada a un tanque para luego ser vaciada [I.23].

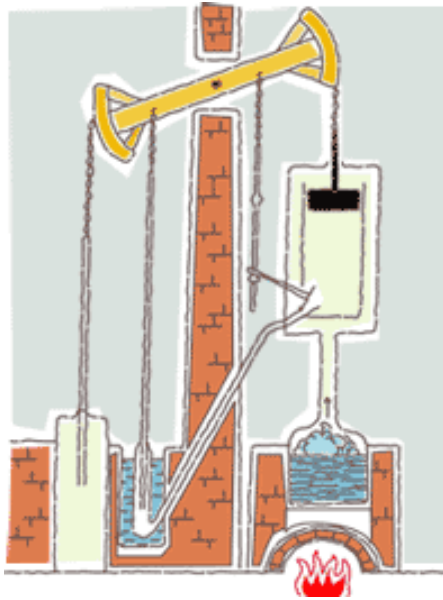


Figura I.6.- Máquina de *Thomas Savery*

Pocos años más tarde, en 1705 *Thomas Newcomen* orientó sus trabajos hacia un nuevo tipo de máquina la llamada *Maquina de Balancín* (Figura I.7) [I.24]. Entre 1769 a 1800 y con las bases teóricas de *Papín* y las aportaciones prácticas de *Savery* y *Newcomen*, el Ingeniero *James Watt* realizó grandes modificaciones e innovaciones que consistieron en aprovechar el doble efecto de la presión de vapor, instalando a cada lado del cilindro una cámara de Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

condensación y un compartimiento. En el cilindro se realizaba el vacío provocado por la elevación del pistón [I.25]. Entre las grandes aportaciones que hizo *Watt* al desarrollo de la Ingeniería, está la implementación de dispositivos de medición y la innovación de sistemas de control (Figura I.8).

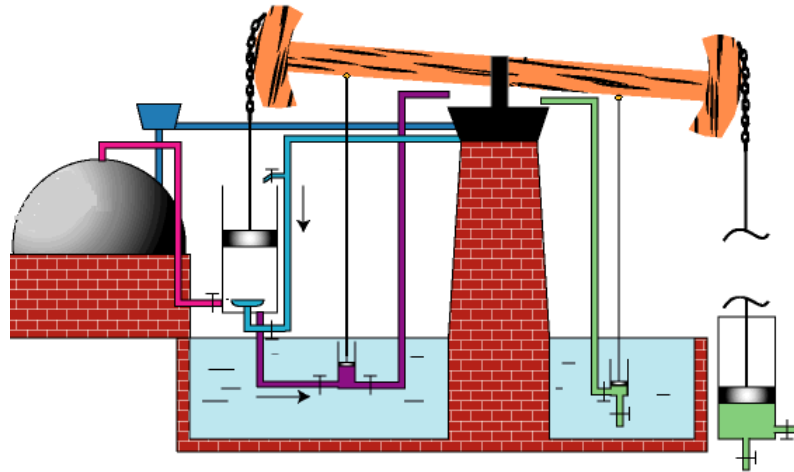


Figura I.7.- Máquina de *Thomas Newcomen*

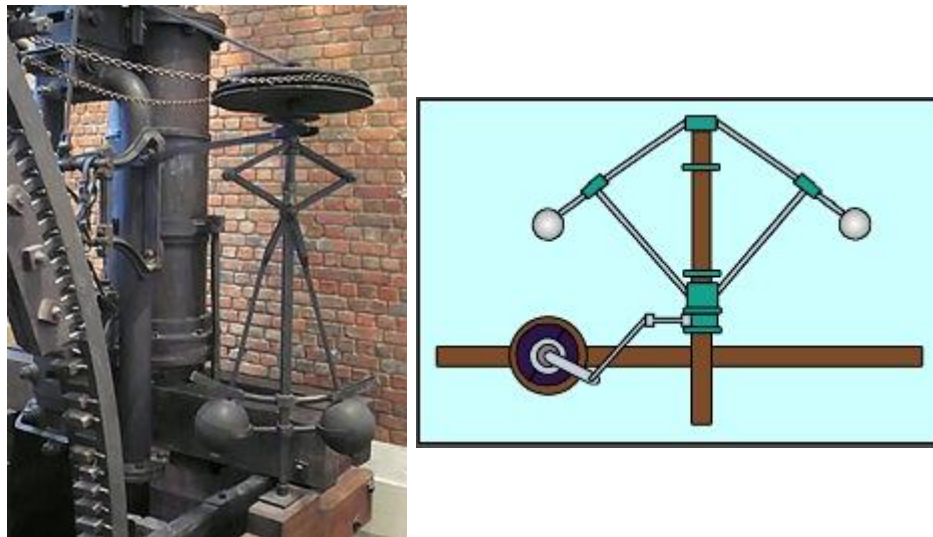


Figura I.8.- Regulador de *Watt* y su aplicación

Para el Siglo XVIII, los Filósofos desarrollaron una gran creatividad para el desarrollo de experimentos, por lo que se implementó un nuevo motor de combustión interna. Sin embargo, el combustible que se debía de utilizar era el Carbón porque era el único conocido.

Surgieron nuevos intentos en la utilizar el vapor como fluido de trabajo. Por ejemplo, en Inglaterra hacia 1794, cuando el mecánico *Robert Street* intentó construir un motor de Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

explosión que funcionaba con hulla sin éxito. Posteriormente en Francia, el Ingeniero *Philippe Lebon* intentó de desarrollar un motor de combustión interna, pero no tuvo las capacidades y resulto ser un fracaso [I.14].

Para el Siglo XIX, los primeros inventos del hombre en transporte surgieron de la base de la máquina de vapor. La cual había sido desarrollada por *Richard Thravenick* en el año 1804 (Figura I.9). Poco después en 1807, *Thimoty Hackworth* y *William Hedley* diseñaron y construyen una versión mejorada, dando como resultado la invención del buque de vapor por *Robert Fulton*, [I.12].

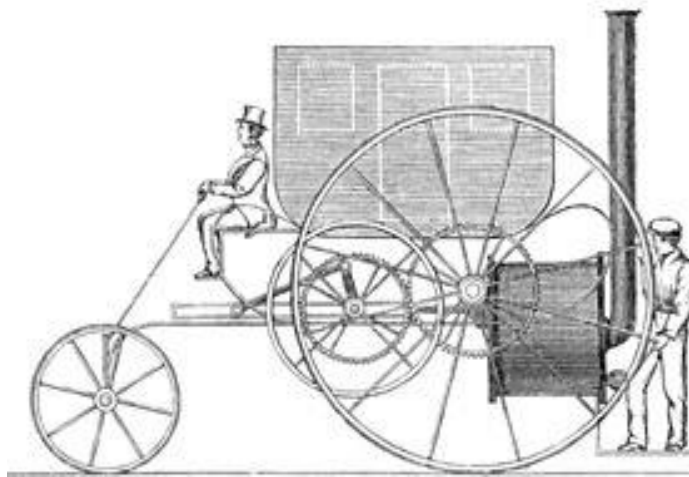


Figura I.9.- Máquina de vapor de *Richard Thravenick* [I.16]

Gracias al desarrollo de la máquina de vapor se tuvo un gran éxito en el fluido de vapor para la realización de trabajo. Por lo que fue posible desarrollar los motores de aire caliente. Fue así como el motor *Sterling* (Figura I.10).

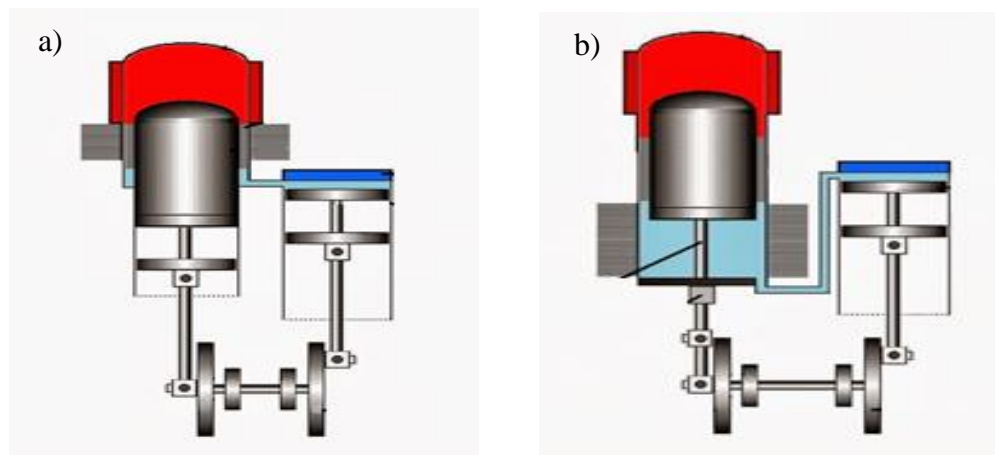


Figura I.10. - Motor *Sterling*. a) Alfa. B) Gama.

El cual fue inventado por *Sir Robert Stirling*, hacia 1816, en sus inicios compitió efectivamente con el motor de vapor, pero perdió interés después del desarrollo del motor de combustión interna, hacia finales del Siglo XIX. Este motor está tomando importancia en los últimos años de la actualidad. Lo cual se debe a sus características, ya que tiene el potencial de alcanzar el límite máximo de rendimiento. Además de que este tipo de motor es capaz de intercambiar el calor que produce con el exterior (medio ambiente). Por lo que se adapta a una gran gama de fuentes de calor para su operación. Al ser un motor de combustión externa es posible controlar y de manera eficiente reducir las emisiones de la combustión. Asimismo, el fluido de trabajo es gaseoso, por lo que acarrea dificultades operativas. En la práctica, se ha visto que los fluidos de trabajo viables son el Hidrogeno y Helio (por sus excelentes propiedades termodinámicas) [I.15].

El desarrollo de la investigación en estos años, proporciona las herramientas para perfeccionar este tipo de equipos, que sí se suma al incremento de la tecnología y la ciencia (petróleo y los combustibles) proporcionó un despegar en este tipo de ciencia para ser utilizada como medio de transporte.

Con el avance del estudio de las propiedades termodinámicas de los gases, el Ingeniero *Wilhelm Schmidt*, pudo establecer por el año de 1816, las condiciones teóricas y básicas para el funcionamiento del motor de combustión interna [I.15]. Hacia 1854, *Eugenio Barsanti* y *Felipen Matteuci* presentaban el primer motor de combustión interna que se recuerde en la historia [I.26].

Entre 1856 y 1862, *Francés Beau de Rochas* presenta sus trabajos de los principios de la termodinámica y estableció un ciclo teórico de los procesos termodinámicos de un gas en un cilindro rígido que tendría la capacidad de sustentar el funcionamiento de una máquina de combustión interna de cuatro tiempos. Lo cual, funciona para gas combustible y fue eficiente. Sin embargo, nunca llegarían a construir dicha máquina [I.15].

En los finales del Siglo XIX surge el automóvil, donde su invención fue fundamentada por el desarrollo y optimización de los motores. Como ejemplos se tiene el desarrollo de *W. Lehman*

por el año de 1860 [I.17]. Más tarde, por el año de 1876, *A.K. Rider* presenta una nueva modificación al motor por medio de separar ambos pistones, los cuales estaban conectados por medio del generador [I.15].

En el año 1859, se tiene registrada la fabricación del primer motor de combustión interna por *Joseph Etienne Lenoir*. Sin embargo, este motor no era muy eficiente, pero incluía una bujía para encendido de la mezcla. Este motor funcionaba con un solo pistón y era de sólo un tiempo, para regresar el pistón había que hacer otra combustión del otro lado, por lo que necesitaba dos sistemas de ignición. Lo cual, *Lenoir* resolvió utilizando un alambre que abarcaba ambos lados del pistón. Este motor, que era movido por gas de Carbón mezclado con aire, fue de tipo experimental y dio pauta para que otros Ingenieros estudiaran en los motores de explosión que vendrían después. Su uso práctico quedó demostrado en 1860, cuando se pudo construir el primer coche sin caballos que usaba un motor de combustión y no un motor de vapor [I.25].

Todos estos eventos generaron volver a intentar la construcción de coches autopulsados con un motor de combustión interna, debido además de que se había generalizado el uso de los derivados del petróleo como combustible para calderas y lámparas.

En el año 1864 el mecánico alemán *Siegfried Marcus*, construyó su primer coche de motor a gasolina y lo probó satisfactoriamente, pero que siguió perfeccionando en los siguientes años hasta que en 1875 abandono la tarea por falta de recursos financieros [I.15].

Fue hasta el año de 1867 cuando el Ingeniero alemán *Nikolaus August Otto* desarrolló un motor de combustión que superaba ligeramente al motor implementado por *Lenoir*. El cual fue desarrollado por medio de aprovechar el movimiento de un pistón libre para generar trabajo. Sin embargo, seguía siendo un motor de los de clasifican como motores atmosféricos, ya que no incluían compresión previa de la mezcla. *Otto* continuó investigando, hasta que en el año 1876 logró construir el primer motor de cuatro tiempos de la historia (Figura I.11) [I.18]. Este motor, utilizaba los principios descritos por *de Rochas*, admitía en una carrera la carga de aire y gas de Carbón, luego, en otra carrera la comprimía, para después de una explosión se

producía la carrera de expansión. No obstante, el ser el primero en construir un motor de este tipo, su patente fue demandada años más tarde y le fue negada su validez. A pesar de ello, *Otto* es reconocido como el primero en construir este tipo de máquinas.

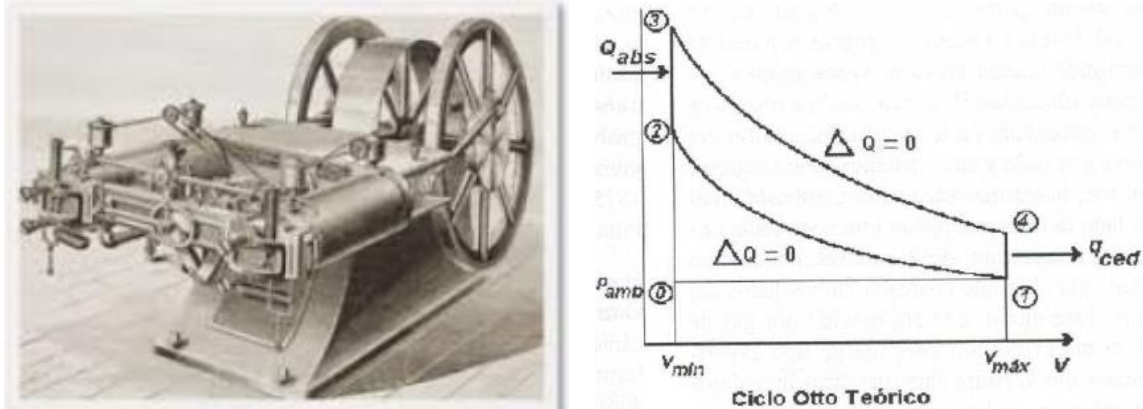


Figura I.11.- Motor y ciclo *Otto* general [I.18]

Una de las variantes del motor de combustión interna, fue desarrollada por *Rudolfr Diesel* entre los años de 1893 y 1898 [I.27]. El motor consistía en utilizar el calor del aire altamente comprimido para encender una carga de combustible inyectada en el cilindro. Lo que permitió doblar la eficiencia por encima de otros motores desarrollados en esa época. Lo cual, era posible mediante relaciones de compresión mayores, sin golpeteo, que era el problema que tenían los motores de *Otto*. En los cuales, no se había logrado superar la relación de compresión de 1:4. Cuando *Diesel* presentó su primer motor, ya se estaba experimentando con motores eléctricos para las locomotoras, pero la potencia de la máquina diésel fue ganando terreno.

Uno de los desarrollos más recientes de motor de combustión interna rotativo, aunque una amplia variedad de motores rotativos experimentales ha sido propuesta a través de los años, él primero que se probó con éxito fue el *Wankel* en 1957 [I.15].

El desarrollo de los combustibles ha tenido impacto en el desarrollo del motor. Los primeros motores quemaban gas Carbón. Varios tipos de carburadores fueron desarrollados para vaporizar el combustible y mezclarlo con aire. Para 1905 la gasolina y los combustibles eran altamente volátiles, permitiendo un fácil encendido y buen desempeño de motor [I.15]. El

periodo siguiente a la Primera Guerra Mundial se desarrollaron los combustibles con mejores propiedades antidetonantes fueron producidos en grandes cantidades las relaciones de compresión aumentaron mejorando la potencia y la eficiencia.

Durante las pasadas tres décadas se ha buscado mejorar el desempeño del motor, el control de emisiones contaminantes y la reducción del consumo de combustible. Los motores de combustión interna son una fuente importante de ruido, el sistema de escape, el sistema de admisión, el ventilador utilizado para la refrigeración del motor y la culata del motor. El ruido puede generarse por las fuerzas del proceso de combustión [I.27].

I.5.- Historia de las empaquetaduras estopadas o juntas

Las empaquetaduras son el método más antiguo ideado por el hombre para garantizar la estanqueidad en equipos o instalaciones que trabajan con fluidos. Tanto los sumerios como los egipcios implementaron una especie de trenza retorcida de lino, que recubrían con una grasa animal, la cual colocaban en las obras hidráulicas para tratar de sellar las fugas de agua. Más adelante, en la historia, se utilizó la estopa, también impregnado con alguna especie de adherente para sellar equipos y evitar fugas [I.31].

Aún hoy en día, en instalaciones de agua y aire (industriales), se utiliza estopa para unir conductos. En equipos industriales ha evolucionado mucho, al día de hoy. Los tres parámetros con los que se puede jugar en una empaquetadura son su geometría y trenzado, las fibras y el lubricante. Cada una de ellas ha ido evolucionando o adaptándose a los cambios en la industria, al avance de la técnica y por supuesto a las necesidades de los equipos.

El primer cambio que sufrió la empaquetadura con el paso de los años fue su forma, que básicamente ha evolucionado con la técnica que ha permitido fabricar una empaquetadura cada vez más efectiva. Las primeras empaquetaduras, hasta la década de los 1950's, eran redondas y se trenzaban igual que una cuerda. Aún se puede encontrar cajas de bombas muy antiguas con las paredes preparadas para compactar esta empaquetadura redonda. Más tarde, se comenzó a saber cómo trenzar una empaquetadura cuadrada, pero con los cantos aún bastante redondeados. Finalmente, con la evolución de las fibras, se consiguieron hacer

refuerzos y formas que formaban un cuadrado muy compacto, perfecto para rellenar toda la caja [I.29]. Las fibras eran básicamente vegetales, algodón, lino, yute, y una de las mejores, el ramio (se encontraba en pantanos). Las ventajas básicas es que son materiales que tienen un bajo costo, porque se encuentran en la naturaleza, se pueden enlazar fácilmente entre ellas y tienen una buena resistencia a la descomposición. Su primer inconveniente es su baja resistencia química, de pH 5 a 9 y sólo se pueden usar para trabajar con temperaturas por debajo de 60-80°C. Tienen una baja resistencia a la tensión y muy importante, no disipan el calor (recordar que una empaquetadura actúa por fricción, y eso genera calor). Los lubricantes hasta estos años han sido las grasas animales, sobre todo la de cerdo. La mejor de las grasas animales para empaquetaduras, era la de ballena. Finalmente, una empaquetadura es el método más antiguo ideado por el hombre para garantizar la estanqueidad en equipos o instalaciones que trabajan con fluidos [I.29].

En la década de los 1950's se utilizó el amianto que es un mineral, que se puede encontrar en la naturaleza, y se posicionó rápidamente por encima de todas las empaquetaduras existentes porque es químicamente inerte y aguanta líquidos con pH 0-14 [I.30]. Además, trabajaba hasta los 550° C y aguantaba grandes presiones por sus buenas propiedades mecánicas. El amianto estaba formado por unas fibras, que en función de su longitud tenían mayor o menor calidad. Existían varias calidades, como los que se usaron en materiales de construcción, e incluso en aislantes de estufas y tostadores, de color grisáceo, y el amianto azul, que se extraía de África, que tenía una mayor resistencia química. De hecho, la única incompatibilidad química que se conoce del amianto, es el ácido sulfúrico fumante pero tenía varios inconvenientes, algunos técnicos y uno mortal. En primer lugar, era un material que tenía un coeficiente de fricción de 3, de hecho se utilizaba para hacer discos de freno. Así que parece una incongruencia utilizarlo como material para rozar contra un eje de acero, además no tenía ninguna capacidad de evacuar temperatura, eso hacía que el lubricante que acompañaba al amianto en la empaquetadura, desapareciera rápidamente y dejara de hacer su función. Después de llevar bastantes años en el mercado y pese que hacía mucho tiempo que se conocían los aspectos peligrosos de su manipulación, a raíz de una denuncia de una empresa, que habían padecido unas cuantas muertes. Por lo que más tarde se conoció como asbestosis, un cáncer que afectaba a los pulmones y empezó la prohibición de utilizar amianto. Básicamente su

peligrosidad está en la manipulación de sus fibras en la extracción, en el corte o roturas y es que sus fibras tienen una forma que al respirarse. Se clavan en los tejidos biológicos y sobre todo al llegar a los pulmones es imposible de eliminar. Durante esta época se habían sumado a los lubricantes naturales, la silicona, que no aguantaba mucha temperatura, pero con un gran poder de lubricación. Sobre todo, a nivel de equipos industriales de la época.

En la década de los 1980's, tras la prohibición del uso del amianto, se avanzó en todo tipo de fibras sintéticas y se recuperaron algunas naturales. Aparecen las aramidas, el poliacrilonitrilo, el politetrafluoruro de etileno (*PTFE*) y el teflón. Todas estas fibras hace tiempo que estaban descubiertas, pero hacen su aparición en las empaquetaduras en las máquinas de esta época.

El *PTFE* o teflón (nombre dado por *DuPont* al polímero de su invención que ha dado nombre al material), tiene una resistencia a la tracción elevada, es un material inerte. Así que se comporta bien químicamente y tiene el coeficiente de fricción más bajo conocido (0,125). Sin embargo, tiene un problema que aproximadamente 315° C se carboniza y a 325°C empieza a emitir vapores. La aramida o kevlar (nombre dado por *DuPont* al polímero de su invención que ha dado nombre al material), es una poliamida con una resistencia a la tracción 7 veces mayor que la del teflón. Aunque las temperaturas andan por valores similares. Es capaz de soportar mayores presiones. Como inconvenientes es que es un pésimo conductor de calor y tiene un elevado coeficiente de fricción. Así que hay que vigilar que no quede sin lubricar [I.30].

El poliacrilonitrilo (*PAN*) es una fibra polimérica con una buena resistencia química (pH 2-13) y es capaz de alcanzar temperaturas de hasta 250°C. Es una excelente conductora de calor, perfecto para una empaquetadura, y además tiene un coeficiente de fricción cercano al teflón. Así que esta dio paso a las empaquetaduras actuales y sus recubrimientos.

Para los años de 1990's llegan los híbridos, con las fibras existentes, pero se da un salto cualitativo a través del grafito y el Carbón. A partir de fibras de rayón (viscosa), se fabrican hilos que se impregnan con grafito en diferentes concentraciones, en función de la aplicación y necesidad. A partir de un 95% de grafito, se considera grafito puro, en menores porcentajes, de

80 a 95% se considera Carbón. El grafito, es el material del que se hacen las minas de lápiz, así que imaginar un lápiz rozando contra un eje de acero girando, pues más o menos eso hará una empaquetadura de este tipo. El grafito es autolubricante, tiene un coeficiente de fricción de 0,01 y aguanta pH desde 0 a 14. Como mineral aguanta hasta 1000°C y es un excelente conductor de calor. En los modelos de autos anteriores a la década de 1990, la mayoría de las juntas de tapa de cilindro eran de asbesto. En la actualidad la mayoría son laminados, pero la función que desempeña en el motor sigue siendo la misma [I.30].

I.5.1.- Introducción juntas *MLS*

Las juntas *Multi-Layer Steel MLS* (Acero multi-capas) juegan un papel esencial en la industria de sellado actual para motores de combustión interna. Las juntas de tipo *MLS* consisten en múltiples capas de metal (Figura I.12) [I.28].

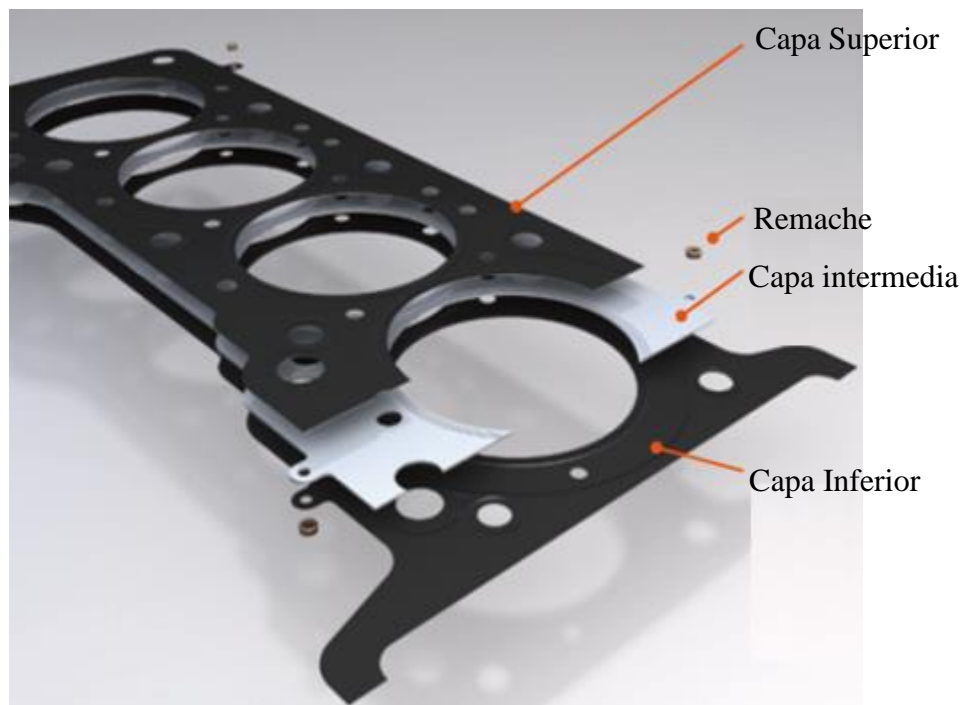


Figura I.12.- Construcción típica junta de cabeza *Multi-Layer Steel*

Para cubrir las necesidades de sellado de un motor, la junta contiene diversos elementos de sellado. El sello de combustión, el cual sella la periferia de la parte superior del cilindro del monoblock y los sellos nervados. Los cuales sellan anticongelante y pasajes de aceite (Figura I.13). El sello de combustión es usualmente una combinación de dos elementos; el limitador, el cual crea la primera línea de sellado y el nervado completo, el cual define la segunda línea

de sellado del sello de combustión. Los sellos nervados son creados basados en la estructura y tipo del motor, insertos especiales pueden ser utilizados para este sellado. Estos elementos de sellado solo pueden formar un sello macro debido al acabado superficial de los componentes del motor (Cabeza del Motor y Bloque de Cilindros). Por lo tanto, un recubrimiento superficial es utilizado para crear el micro sellado entre las superficies de contacto. Este es usualmente hecho de materiales como el *FKM* (Fluoroelastómero) o *NBR* (Hule Nitrilo Butadieno). Los cuales son mucho más ligeros que los sellos metálicos. El recubrimiento tiene la capacidad de adaptarse a las imperfecciones de la superficie y mantener un sello en esas regiones de contacto (el macro sellado es debido al rígido comportamiento de los nervados y su inhabilidad para adaptarse al acabado superficial de las superficies, haciéndolo incapaz de desempeñar la función por si solo). En suma, a esos parámetros, la selección de los materiales de las capas metálicas y los recubrimientos, tendrá una influencia con el motor, en la funcionalidad de la junta [I.28].

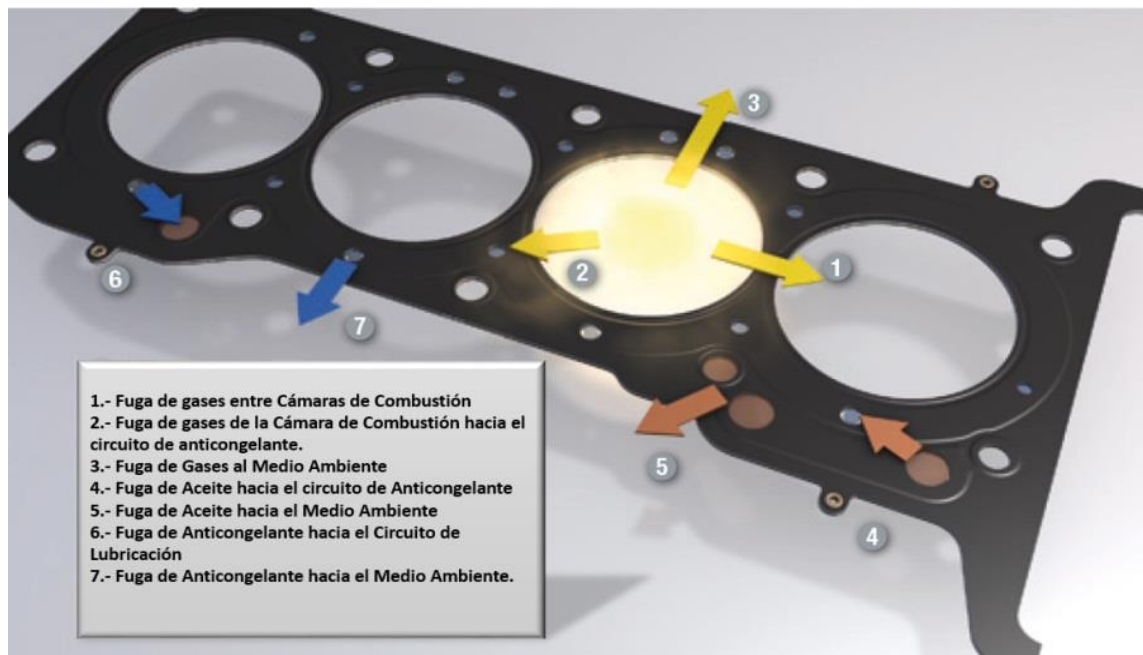


Figura I.13.- Necesidades de sellado en una junta de cabeza *Multi-layer Steel*

Las láminas metálicas definen el núcleo de las juntas de cabeza *MLS*, su espesor y número depende del espesor de operación requerido, tipo de motor, estructura, material y de sus parámetros de desempeño. La lámina que contiene nervados completos es usualmente conocida como como *la capa activa*. *La capa activa* consiste de un acero altamente duro

(usualmente sobre valores de 1000 N/mm^2) para crear las propiedades de resorte de los elementos anteriormente mencionados. La tendencia en el diseño de motores es reducir peso y optimizar el proceso de combustión para superar los problemas actuales de reducción de emisiones y consumo de combustible [I.28].

I.6.- Los procesos de conformado en prensa

La evolución del estampado de chapas desde su concepción, han sido desarrollados lentamente, basados en la experiencia, en ensayos prueba error, e inclusive en cierta habilidad artesanal [I.19].

El troquelado ha sido desarrollado por los artesanos del ramo durante varios años, hoy en día es difícil utilizar solo métodos analíticos para el estudio, diseño y desarrollo de partes metálica; debido a que únicamente se puede proveer una solución analítica aproximada para anticipar el desempeño del proceso del trabajo en chapas.

Entender el comportamiento del flujo de material durante el proceso de conformado, puede comprenderse de la teoría y/o experimentación. La teoría plástica, da sugerencias para establecer líneas de deslizamiento que indican la dirección de los esfuerzos máximos, en cualquier punto del plano del proceso de conformado [I.19].

I.7.- Estudio de esfuerzos y deformaciones unitarias

Con respecto a la *Teoría de Plasticidad* es el estudio Físico/Matemático de esfuerzos y deformaciones unitarios en sólidos deformados plásticamente, especialmente metales. Los descubrimientos empiezan en 1864 con *Tresca*, que publica sus experimentos de troquelado y extrusión, al establecer que un metal cede plásticamente cuando se alcanza el esfuerzo cortante máximo [I.32].

Saint-venant [I.4] utiliza los trabajos de *Tresca* para determinar esfuerzos en cilindros sometidos a torsión o flexión y en la expansión de tubos por presión interna. Para 1872, introduce las relaciones constitutivas para material rígido-plástico perfecto en esfuerzo plano y sugiere que los ejes principales de deformación y esfuerzos unitarios coinciden.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

En el año 1871, *Levy* imagina un material idealmente plástico y propone relaciones tridimensionales entre esfuerzos y razones de deformación unitaria plástica. En 1886 *Bauschienger* [I.20] observó una deformación plástica previa con cierto signo, disminuye la resistencia del material con respecto a la próxima deformación plástica con signo opuesto.

No hubo nuevos avances importantes hasta 1913, cuando *Von Mises*, basado en consideraciones matemáticas y propone un criterio de cedencia del cual se derivan las ecuaciones generales de plasticidad, conocida como Teoría del esfuerzo de corte octahedral.

Durante las Guerras Mundiales surgen varios escritores hasta que en 1931 *Nadia* [I.21] publica su libro de plasticidad. Donde resume varios de los conocimientos a la fecha y da novedosos enfoques a la teoría. Desde 1940 la teoría de plasticidad ha visto desarrollos relativamente rápidos. Hasta 1970 se comienzan a aplicar métodos numéricos a problemas de elastoplasticidad en dos estados utilizando el tiempo y velocidad en la solución.

Recientemente, se ha incrementado el uso del Método de Elemento Finito por varios investigadores. Lo mencionado anteriormente muestra que los problemas con procesos de manufactura sin arranque de viruta, han sido tratados desde dos enfoques; el tecnológico y el teórico. El conformado de metales aprovecha las propiedades plásticas de los mismos, el comportamiento plástico es del tipo no lineal. De ello es que no sea fácil plantear una solución analítica para estos problemas partiendo de que el objeto de este trabajo es analizar el proceso de nervado de una junta de cabeza y los efectos de deformaciones en el sellado y su proceso de fabricación. Es decir, se analizará un problema de deformación elastoplástica mediante el Método de Elemento Finito, de una pieza en cuya fabricación se requiere un proceso de nervado.

I.8.- Planteamiento del problema

El problema que se pretende estudiar en el presente trabajo consiste en analizar el proceso de fabricación de una junta de cabeza de motor tipo MLS (Acero Multicapa) enfocándose principalmente al proceso de nervado de las láminas tanto superior como inferior que presentan nervados en su superficie, con la finalidad de garantizar que su fabricación sea

conforme al diseño del producto y conocer la influencia en ellas de los efectos de la deformación producidos en este proceso.

Abordando el comportamiento de la lámina en el proceso de nervado se pretende analizar por medio de una probeta con las dimensiones de altura de los nervados y simulando un desplazamiento del dado superior hacia la lámina de acero inoxidable la distribución de esfuerzos y deformaciones mediante un análisis numérico por el método de elementos finitos.

I.9.- Sumario.

Hasta el momento en este capítulo se han presentado los principales avances a través de la historia por los autores que dieron origen al surgimiento de las primeras máquinas hidráulicas y posteriormente a las máquinas de vapor hasta llegar al surgimiento de los primeros motores de combustión interna y su perfeccionamiento con la aplicación de las nuevas tecnologías y de los combustibles, además se presentó la historia de las empaquetaduras o juntas hasta llegar a una introducción a las juntas de motor tipo MLS, sus procesos de conformado de lámina así como el estudio de los esfuerzos y las deformaciones que han dado lugar al surgimiento del método de elementos finitos. En el siguiente capítulo se plantea el marco teórico de las juntas de cabeza tipo MLS y teoría de sellado para comprender su importancia en el sellado del motor.

I.10.- Referencias

- 1.- Anquetil, L. P. y López. T., *Compendio de la Historia Universal o Pintura Histórica de todas las Naciones un Origen, Vicisitudes y Progresos hasta Nuestros Días*, 2da. Edición, 1830.
- 2.- Vázquez-Segura, M. L., Gómez, C. y Lugo, C., *Historia Universal 1; De la Antigüedad al Renacimiento*, Ed. Limusa Noriega, 2002.
- 3.- Fernández-Martínez, V. M., *Prehistoria; El Largo Camino de la Humanidad*, Ed. Alianza, 2007.
- 4.- Muñoz-Amilibia, A. M., Cabrera-Valdés, V., Fernández-Vega, A., Ripoll-López, S., Hernando-Grande, A., Menéndez-Fernández, M. y Ripoll-Perelló, E., *Prehistoria; Tomo I*, Ed. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Unidades didácticas, 2001.
- 5.- De Barandiarán, J. M., *Breve Historia del Hombre Primitivo*, Ed. Anuario de Eusko-Folklore, Vol. XI, 1931.
- 6.- Aguilar-Sahagún, G., *El Hombre y los Materiales*, Ed. Fondo de Cultura Económica, 1988.
7. - Breasted, J. H., *Ancient Time or a History of the Early World; Part 1*, Ed. Kessinger Publishing, 2003.
8. - Algaze, G., *Ancient Mesopotamia at the Dawn of Civilization; The Evolution of an Urban Landscape*, Ed. University of Chicago Press, 2008.
9. - Kramer, S. N., *History Begins at Sumer*, 3rd Edition, Ed. Orbis, 1989.
- 10.- González, A., *Historia Universal; Primera Revolución Industrial*, www.historiacultural.com, 2011.
- 11.- Potente, A., Colque, A., Preiswerk, M. y Tancara, J. J., *Fe y Pueblo la Defensa del Gas y el Agua; Miradas desde la Fe*, Ed. Plural, 2003.
12. - Hobly, R. D., *A Manual of the Steam Engine*, Ed. Scott, Webster and Geary, pp 23, 1849.
13. - Hart-Davies, A., *Engineers*, Ed. DK, pp 106, 2012.
- 14.- Allen, J. S. y Rolt, L. T. C., *The Steam Engine of Thomas Newcome*, Ed. Landmark, 1997.
- 15.- Gaviria-Rios, J. E., Mora-Guzmán, J. H. y Agudelo, J. R., Historia de los motores de combustión interna, *Revista Facultad de Ingeniería*, No. 26, pp 68-78, 2002.
- 16.- Doménech, P. P. y Fernández-Pérez, P., *Del Metal al Motor; Innovación y Atraso en la Historia de la Industria Metal-Mecánica Española*, Ed. Fundación BBVA, pp 57, 2007.
17. - Williams, B., *Who Invented the Motor Car?*, Ed. Britannica Digital Learning, pp 5, 2013.

-
-
- 18.- Burón, J. M., *Evolución Histórica de las Máquinas y Motores Térmicos*, Ed. ETSII Universidad Politécnica de Madrid, 1988.
 - 19.- Garritz-Ruiz, A. y Chamizo-Guerrero, J. A., *Tú y la Química*, Ed. Pearson Educación, pp 548, 2001.
 - 20.- Miller, F. P., Vandome, A. F. y McBrewster, J., *Giovanni Branca*, Ed. VDM Publishing, 2010.
 - 21.- Valencia-Giraldo, A., *De la Técnica a la Modernidad; Construcciones Técnicas, Ciencia, Tecnología y Modernidad*, Ed. Universidad de Antioquia, pp 97, 2004.
 - 22.- Amengual-Matas, R.R., *Bielas y Álabes; 1826-1914*, Ed. Ministerio de Turismo y Comercio, pp 41, 2008.
 - 23.- Riera, S., *Historia de la Ciencia y de la Técnica*, Ed. Akal, Vol. 34, pp 19, 1992.
 - 24.- Carabias-Torres, A. M., *Las Relaciones entre Portugal y Castilla en la Época de los Descubrimientos y la Expansión Colonial*, Ed. Ediciones-Universal Salamanca, pp 179, 1996.
 - 25.- Quiroga-Arreola, L. F. y Rosello, C. F., *Energía y Maquinas Térmicas*, Ed. Limusa, pp 13, 1983.
 - 26.- Poveda Ramos, Gabriel “Los motores de explosión y su ingreso a Colombia”. En revista Ingeniería mecánica UPB. Medellín Colombia: No 17. 1993 p.11.
 - 27.- Heywood, John. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. Madrid. Mc Graw-Hill.1988. Pp.4-5.
 - 28.- Victor Reinz, *Sealing Products*, <http://www.victorreinz.com/en/products/cylinder-head-gaskets.aspx>, consultada en Abril del 2017.
 - 29.-Ibarra-Berastegi, g., Rodríguez, m., Elias-Saenz, a., Camaño-Eraso, j. (1997). *Las Maquinas Hidráulicas y de Fluidos a lo largo de la Historia*. DYNA, 472 (4) ,9-15.
 - 30.-Empaques y Juntas Industriales, <http://www.fnaempaques.com/introduccion-a-las-empaquetaduras/>, Consultada en Febrero del 2017. }
 - 31.- Reverte *Tecnología Mecánica 3*. Ed. Reverte, pp 172,1970.
 - 32.-H.E. Tresca, Mémoire sur L'écoulement des corps solides, Mémoire Présentés par Divers savants, Acad. Sci.Paris 20(1872) ,75-135.

CAPÍTULO II

“MARCO TEÓRICO SOBRE JUNTAS DE CABEZA Y TEORÍA DE SELLADO”

En este capítulo se presenta la tecnología de las juntas de cabeza así como la teoría del sellado

II.1.- Introducción

Los fabricantes de automóviles están introduciendo nuevos conceptos para el desarrollo de sus motores. Lo anterior con el fin de lograr importantes mejoras en su desempeño. Estos cambios de innovaciones producen de nuevos desafíos tecnológicos para los fabricantes de repuestos automotrices que suplen refacciones para equipo original.

Uno de los mejores ejemplos de las mejoras automotrices se encuentra en las juntas de los motores. Las juntas de motor proporcionan el sellado de los gases de combustión, aceite de lubricación y refrigerante. Las altas temperaturas y elevadas presiones, junto con la presencia del líquido refrigerante y el aceite de motor, hacen que el lugar donde trabaja la junta de la cabeza de cilindros sea el área más crítica de sellado del motor. La presión de la combustión puede alcanzar los 689.5 kPa en los motores de gasolina y 1862 kPa en los motores turbodiésel. Mientras que la temperatura de combustión puede exceder los 1100 °C [II.1].

La dimensión de los agujeros de paso de agua, en muchas de las juntas de cabeza, ayuda a controlar el flujo del sistema refrigerante y aseguran su correcta circulación. Además, la junta debe proveer un sellado para ayudar a contener la temperatura, el aceite que fluye a presión entre la cabeza de cilindros y el bloque o las salpicaduras de aceite que fluyen de retorno al cárter [II.2].

II.2.- Teoría de sellado

Para poder comprender la importancia de las juntas de cabeza (*culata*) de motor se hay conocer sobre el fenómeno de sellado. Para el cual, se deben de tener en cuenta los siguientes conceptos básicos [II.3]:

- 1.- Relación de la tensión de sellado y la constante elástica con la presión interna de trabajo e irregularidades de las superficies en contacto.
- 2.- Relación entre compresibilidad y recuperación elástica del material de la junta y la deformación de la misma.
- 3.- Relación entre la permeabilidad del material de los elementos sellantes y la densidad de los mismos.

- 4.- Efectos en la tensión, en el espesor y en el factor de forma, en el proceso de relajación del material de las juntas durante el servicio de éstas.
- 5.- Efectos de la temperatura, el ciclado térmico y el retorque en el proceso de relajación del material de las juntas durante el servicio de éstas.
- 6.- Efectos de las condiciones de operación del motor sobre la constante elástica del material de las juntas y su relajación.
- 7.- Relajación del material de las juntas y su influencia en la pérdida de tensión en la unión.
- 8.- Resistencia del material de las juntas a los fluidos con los que se encuentra en contacto, durante la operación del motor.

II.2.1.- Tipos de sello (*sellado*)

Los sellos (*sellado*) se pueden dividir de manera muy general en dos tipos; sello estático y sello dinámico [II.3].

Sello estático.- En la unión de dos piezas se presenta el *sellado* estático, en el que las juntas se encuentran bajo cargas de compresión permanentes y la unión se ve afectada por el tipo de fluido que se retiene. Así como, por los cambios de presión y temperatura. En este tipo de *sellado* el área de contacto entre culata y bloque se presentan cambios de temperatura, dilataciones y contracciones, altas presiones en los tiempos de combustión, eventuales detonaciones y autoencendido (cascabeleo), depósitos de Carbón que se incendian y aceites mezclados con combustible, convirtiéndola en el área de mayor exigencia de sellado, razón por la cual se debe tener como prioridad la calidad en las juntas de la culata.

Sello dinámico.- Este tipo de *sellado* se presenta cuando se debe evitar la pérdida de algún fluido a través de los orificios. La fuga de fluido se presenta por los ejes de las máquinas, los cuales cumplen la función de transmitir movimiento. Este sellado es especialmente difícil, debido a que se involucran variables como características del fluido, temperaturas máximas y mínima de trabajo, presión interna, desgaste del retenedor de aceite y del eje. Lo cual es ocasionado por el movimiento rotativo y estado superficial del motor, velocidad de giro del eje y finalmente las condiciones

del medio ambiente, como humedad, polvo y agentes oxidantes que deterioren el retenedor de aceite y el eje. En el motor se debe garantizar el sellado, especialmente en la aplicación de los retenedores de aceite, pues éstos evitan la fuga continua de aceite y el ingreso de contaminantes líquidos y sólidos al motor. A continuación se muestran las dos áreas más importantes en el sellado de un motor siendo representados por los tipos de sellos que existen. (Figura II.1).

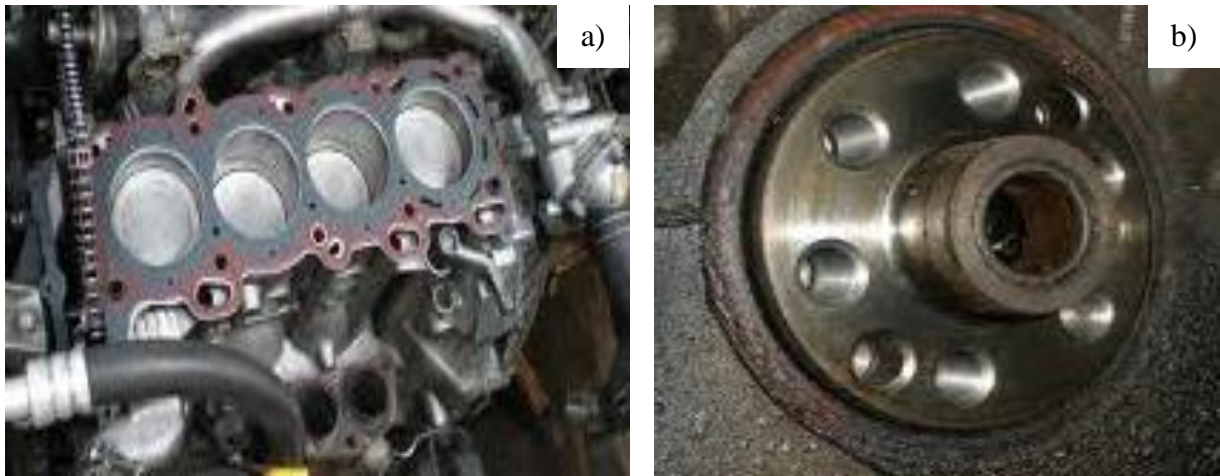


Figura II.1.- Tipos de sellos. a) Sello estático. b) Sello dinámico.

II.2.2.- Definición de junta de culata [II.4 y II.5]

La junta de culata es una pieza de mucha importancia en el motor, pues es la que garantiza la retención de la presión generada en los cilindros durante los ciclos de compresión y de combustión del motor que actúa en los pistones, convirtiendo la energía de la combustión en energía mecánica. La junta de culata deberá ser fabricada en excelentes materiales, pues se requiere de un alto desempeño de la misma, para garantizar la potencia del motor. Adicionalmente la junta de culata deberá retener y evitar la mezcla de los diferentes fluidos del motor como son el aceite, el agua de refrigeración y los gases producidos en la combustión.

El primer síntoma de una junta de culata defectuosa, es que los anillos presenten oxidación, pues seguramente no soportarán las presiones generadas por la combustión. Otro síntoma es que el material del cuerpo presente abombamientos o se despegue entre el material de sellado exterior y la alma metálica, pues seguramente permitirá el paso de fluidos del motor por el interior de la junta. Un buen indicador de una junta de mala calidad es que la geometría y

posición de los agujeros de paso de los pernos no sea regular y presente dificultad en su montaje. Es muy importante que, al comprar una junta de culata, ésta se encuentre bien empacada y no presente doblamientos, manchas u óxidos, pues se podrían presentar problemas de montaje o de funcionamiento.

En el diseño de la fundición del bloque y la culata, se prevén pasos tanto en el bloque como en la culata que permitan la correcta formación de las cámaras internas para la refrigeración, de tal manera que, por conveniencia, están ubicados en forma simétrica y son de tamaños y formas regulares. Durante el balanceo térmico por refrigeración en los motores, se consideran los pasos de agua y de aceite tanto de las partes metálicas como de las juntas, debiéndose regular los caudales de estos fluidos refrigerantes para obtener la temperatura óptima de funcionamiento y su correcta distribución. Si un motor debe trabajar en una región muy fría, se debería preparar con refrigeración restringida, para lograr buenas temperaturas de trabajo, mientras que para trabajar en zonas calientes, se debería preparar con mayor refrigeración, evitándose posibles recalentamientos. Por conveniencia en la producción de las juntas se elaboran según los diseños originales para cada motor, pues es físicamente imposible saber en qué región trabajarán los motores y cuándo requerirán mayor o menor refrigeración. Los agujeros siempre se podrán abrir o agrandar, con buen criterio, para lograr una mayor refrigeración, aunque esto no se debe de practicar con la primera intención de eliminar los recalentamientos del motor sin antes haber hecho el mantenimiento preventivo o correctivo de todo el sistema de refrigeración y sus accesorios.

Contrario a lo que se puede pensar en una primera observación, es la junta de culata el que falla debido al recalentamiento del motor y no que éste sea el que lo produce. Cuando esto sucede, se presentan detonaciones y/o autoencendido (cascabeleo), de la mezcla de combustión, que incrementan fuertemente las presiones internas en el cilindro, llevando a la falla la junta de la culata.

Cuando se instala una junta de culata nuevo, se está instalando una junta que en estado de suministro presenta excelentes condiciones de estanqueidad, pero como todos los materiales para juntas tienen características de relajación, esto se corrige con un retorque de la culata, pues como ya se sabe ésta es la zona más crítica de sellado estático en el motor. Los fabricante

de juntas han desarrollado juntas no-retorque, que como su nombre lo indica no requieren retorque por ser materiales de baja compresibilidad y alta recuperación elástica, evitando la relajación excesiva que lleve a la pérdida de presión en la unión. Estas juntas se deben instalar únicamente en motores con bloque y culata en perfecto estado de planicidad y rugosidad, pues de no ser así, las fugas serán inmediatas debido a la rigidez del material en que se fabrican.

II.2.2.1.- Materiales de fabricación para la junta

Dependiendo de la ubicación en el motor los esfuerzos a los que se somete y a los fluidos con los que tiene contacto las juntas se fabrican en diferentes materiales como [II.6]:

Papel celulosa caucho.- Es un papel fabricado a base de celulosa y aglutinado con elastómero, que se obtienen de diferentes espesores y calidades, con excelente resistencia a aceites, gasolina y agua.

Corcho.- Es la corteza del árbol llamado Alcornoque y es el material más antiguo empleado en la fabricación de empaques. Su uso es muy amplio, aunque nuevos materiales, han mejorado algunas de sus propiedades ocasionando que su uso este disminuyendo paulatinamente.

Poli acrílico.- Sirve como un acabado protector, de metales. Emulsiones acuosas para pintura y ligante para piel, papel y textiles. Sustancias que mejoran la viscosidad de los lubricantes y espesan el látex, modificador de otras resinas.

Papel celulosa.- Es un papel fabricado con químicos especiales que le dan resistencia a aceites, gasolina y agua.

Fluoroelastómeros.- Son cauchos sintéticos más resistentes a los fluidos y al calor. Resisten muchos tipos de fluidos entre márgenes de temperatura muy amplios y continúan proporcionando un servicio de estanqueidad seguro por mucho tiempo, después de que los cauchos normales han fallado.

Láminas de acero inoxidable con recubrimientos de NBR.- Estas son de la última tecnología que existe en el mercado las cuales son nuestro tema principal de estudio.

Una junta de cabeza de cilindros con calidad es el resultado de un diseño especial y una cuidadosa fabricación. Existen diferencias en las condiciones de sellamiento en una junta de

motor a gasolina y uno diésel. La condición básica es la del mayor índice de compresión en el motor diésel, que puede llegar a relaciones de 21:1. En tanto que, en los motores a gasolina el índice de compresión puede llegar comúnmente hasta 9:1. La razón de éstos índices es que en los motores diésel la mezcla se detona por compresión y en los motores a gasolina se detona por chispa. Por estas razones, los materiales y diseños de las respectivas juntas de culata son diferentes, de tal manera que las juntas aplicadas a los motores diésel son más exigentes.

Al diseñar una unión de dos piezas, se debe tener en cuenta las constantes elásticas o condiciones de resorte de cada uno de los elementos involucrados en la unión. Es decir, de las dos piezas del material de la junta y del elemento de fijación o perno. Debido a las presiones generadas en los ciclos de compresión y explosión en cada cilindro de un motor, es conveniente tener una adecuada distribución de la tensión de sellado, siendo los pernos de fijación en la culata los encargados de proveer esta condición; por esta razón es muy importante realizar el torque de los pernos de la culata con un orden y magnitud determinados para cada motor.

En los motores de alto rendimiento como los motores para uso en carros de carreras desarrollan más potencia que sus contrapartes usados en autos de pasajeros, razón por la cual las juntas de culata en los motores de alto rendimiento tienen que trabajar bajo presiones de combustión muy altas, siendo necesario usar juntas de diseño especial que usan un anillo de acero dentro del anillo o coraza de metal para proteger la junta en las aberturas del cilindro. Este anillo de combustión es también llamado comúnmente anillo de fuego. Los anillos o corazas del empaque de culata se deben fabricar en acero inoxidable, por tener alta resistencia a la corrosión que se presenta debido al régimen de trabajo de dichos motores. El material del cuerpo de la junta de culata también será de especial calidad y resistencia dependiendo del motor, el régimen de trabajo y del desempeño esperado.

Las juntas de cabeza de motor reciben diferentes nombres dependiendo del país, en algunos casos de las regiones, encontramos términos como juntas, juntas de culata, juntas de unión, juntas de estanqueidad, empaaduras, empaques, empaquetaduras, guarniciones, sellos, sellos de bridas, sellos estáticos o *gaskets*.

La duración de una junta dependerá de las condiciones de trabajo de las partes a sellar, de la calidad de los materiales y de la calidad del diseño. En el caso de un vehículo, el usuario normalmente espera que las juntas duren hasta la próxima reparación del motor. Esto se obtiene cuando las juntas son fabricadas con excelentes materiales, bajo procesos controlados y con diseños que garanticen la calidad y vida útil necesarias para el motor.

II.2.2.2.- Función de la junta en un motor de combustión interna [II.6 y II.7]

Es el elemento que efectúa el sellamiento por tiempo prolongado entre dos piezas, en las que se deba retener algún fluido, bajo determinadas condiciones de presión y temperatura. Su correcto desempeño depende de la selección de materiales, su diseño y en gran medida del cuidado en la instalación. Además de mantener las presiones de la combustión, mantener los líquidos de baja presión del sistema de enfriamiento y lubricación aislándolos de los cilindros y del medio exterior, adaptarse a las contracciones y dilataciones térmicas del motor manteniendo el sellado, minimizar la pérdida de torque, repartir las cargas de los tornillos para evitar deformar el monoblock en zona de cilindros, auxiliar en la transferencia del calor del motor hacia el exterior y ayudar a controlar el flujo de refrigerante dentro del motor (Figura II.2).

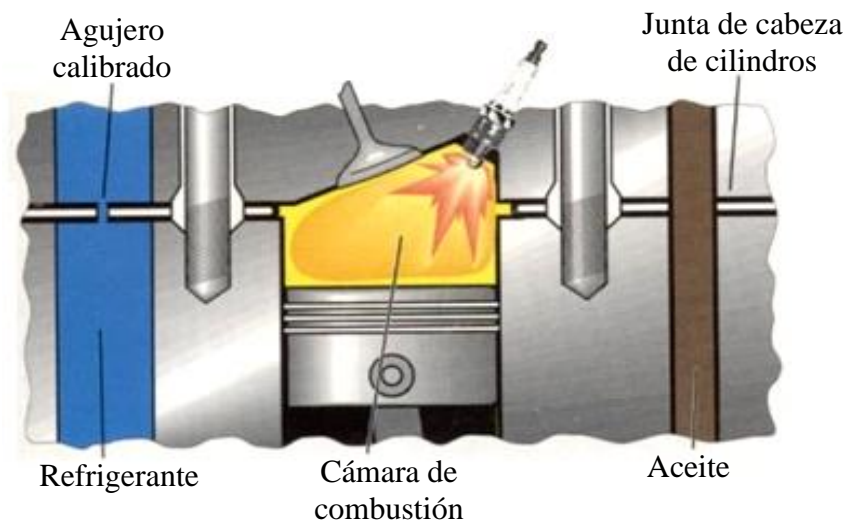


Figura II.2.- Función de una junta de cabeza de motor [II.7]

La función de estas juntas o empaquetaduras es evitar la fuga de lubricante y/o presión para garantizar la hermeticidad del motor. Es decir, que no salgan al exterior por algún defecto de mecanizado o por las mismas características de las partes.

Entonces, la función de las juntas de motor es proporcionar el sellado de los gases de combustión, aceite de lubricación y refrigerante. La junta más importante es la que se coloca en la unión entre el bloque y la tapa de cilindros, debido a las altas temperaturas y presiones que soporta. Las altas temperaturas y altas presiones, junto con la presencia del líquido refrigerante y el aceite de motor, hacen que el lugar donde trabaja la junta de la cabeza sea el área más crítica de sellado del motor.

Las juntas tienen que soportar temperaturas de combustión mayores de 1 100 °C, mantener el sellado entre la cámara y el bloque, evitar fugas del líquido refrigerante y aceite del motor, bajo las distintas temperaturas en que opera. Por esto la junta de la cámara tiene que ser resistente a estas presiones, temperaturas y a los esfuerzos producidos por el arrastre de ella sobre las superficies del motor, que en muchos casos usan materiales como hierro fundido y aluminio, cuyos coeficientes de dilatación son diferentes, en los nuevos motores el acabado de la superficie de las cámaras es muy fino y requieren empaquetaduras especiales que permitan un buen sellado. Las juntas de motor se utilizan porque mecánicamente, entre piezas de acero, Hierro y Aluminio, de un motor, siempre habrá una fuga de fluido y gases, por microscópica que sea y crecerá. Además, donde hay movimiento y contacto; aparece el desgaste, que en combinación con la corrosión crea un ambiente altamente dañino. Así que se debe buscar una solución, como lograr que partes mecanizadas, al acoplarse, logren una perfecta hermeticidad se utilizan las juntas que ahorran dinero en el mecanizado de las superficies de unión porque no hace necesario que sea totalmente exactas y porque la junta corrige los posibles defectos que existen en el mecanizado.

II.2.2.3.- Tipos de empaquetaduras para motor [II.7 a II.9]

Es una colección de juntas que se fabrican con materiales y diseños especiales para garantizar la estanqueidad del motor, siendo suministrados en un conjunto integral. La composición básica es la siguiente:

Junta de cárter.- El cárter es la parte del motor que soporta al cigüeñal y constituye la estructura a la que se unen los cilindros y los demás mecanismos del motor. Además incorpora los anclajes para la sujeción del motor a la carrocería y es el

depósito que contiene la mayor cantidad de aceite que se usa en el motor para su lubricación. La junta del cárter sella la unión entre el cárter de aceite y la parte inferior del monoblock y con esto garantizar un sellado perfecto. Estas Juntas se fabrican en materiales como hule, silicón, celulósicos tratados y corcho, esto de acuerdo a tipo de motor. (Figura II.3).

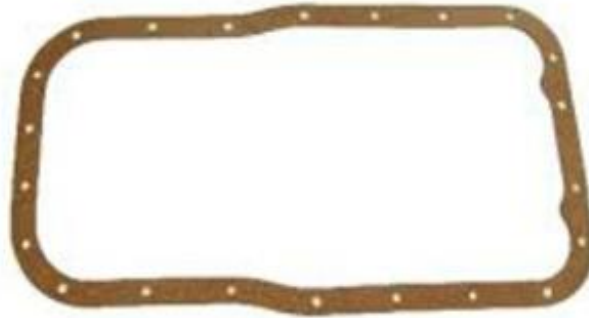


Figura II.3.- Junta de cárter

Junta tapa de punterías.- Ubicada en la tapa de punterías evita la fuga de aceite debido a cambios extremos de temperatura en el motor. La cual estará en contacto con continuo rocío de aceite, no permitiendo de esta manera que el aceite se filtre a través de los cilindros.

Junta múltiple de admisión.- Junta múltiple de admisión sellan la unión entre el múltiple de admisión y la cabeza. Es utilizada para distribuir uniformemente la mezcla de combustión para cada puerto de entrada en la cabeza de los cilindros. Incluso la distribución es importante para optimizar la eficiencia y el rendimiento del motor. También puede servir como un soporte para otros componentes del motor. (Figura II.4).



Figura II.4.- Junta múltiple de admisión

Junta múltiple de escape.- Este tipo de juntas sellan la unión entre el múltiple de escape y la cabeza. Las juntas de múltiple de escape son fabricadas con materiales

como caucho poliacrílico o corcho caucho, según el tipo de motor. Soportan altas temperaturas debido a la conducción de los gases producidos por la combustión de la gasolina dentro del motor, son rígidos y resistentes a las altas temperaturas. Cuando se rompe la junta se escucha el ruido dentro y fuera del auto (Figura II.5).



Figura II.5.- Junta múltiple de escape

Junta tapa de distribución.- La junta de la tapa de distribución realiza el sellado entre el cárter de distribución y la tapa de distribución. En estos elementos se encuentran alojados los piñones del árbol de levas, del tensor y del cigüeñal. Principalmente, esto con la finalidad de proteger y sellar estos elementos de agentes externos como son agua y polvo, evitando corrosión y un envejecimiento prematuro del motor (Figura II.6).



Figura II.6.- Junta tapa de distribución

Juntas de cabeza metal-elastómero (acero-elastómero comúnmente).- El concepto básico de diseño de este tipo de juntas es la división de funciones de sellado por un lado el sellado de la cámara de combustión, y por el otro el sellado de los circuitos de fluidos del motor. No solo se consigue el sellado por medio de la deformación plástica de la dovela o acuñaado. También la deformación elástica del

inserto de elastómero en los pasos de aceite y refrigerante. La selección correcta del elastómero (su compatibilidad con el fluido a sellar) asegura la resistencia del mismo a los fluidos presentes en el motor. Dependiendo del diseño general de la junta los filos de elastómeros pueden ser inyectados al borde o cara de la placa (substrato), o bien utilizar como alternativa insertos preformados y vulcanizarlos en su ubicación. Dado que los elastómeros requieren poca carga en los pernos para el sellado la mayor cantidad de carga de los pernos es utilizada para el sellado de la cámara de combustión. Es por esto que se pueden utilizar menores cargas en los pernos para el sellado de la junta de cabeza, es por esto que en ocasiones con objeto de evitar la deformación de la junta esta puede tener elementos de refuerzo en el extremo exterior de la misma. (Figura II.7).



Figura II.7.- Junta de cabeza metal elastómero

Juntas metal-elastómero.- Debido a las características de operación o geométricas de otras áreas del motor es requerida la utilización de juntas metal elastómero. En este caso la separación de funciones es algo diferente, el substrato metálico no realiza función de sello, sino solo trasmite la fuerza entre los elementos que rodean a la junta y el sellado lo realiza el elastómero, en cual siempre tendrá un espesor mayor que el substrato metálico, esto permite una menor complejidad en la forma de las superficies de contacto no se requieren ranuras o características similares ya que el substrato mantiene en posición al elemento sellante. La selección correcta del

elastómero (su compatibilidad con el fluido a sellar) asegura la resistencia del mismo a los fluidos presentes en el motor. Dependiendo del diseño general de la junta los filos de elastómeros pueden ser inyectados al borde o cara de la placa (substrato), o bien utilizar como alternativa insertos preformados y vulcanizarlos en su ubicación, algunos ejemplos de este tipo de juntas son juntas del intercambiador de calor, Junta del Carter de distribución, junta del termostato y junta de bomba de aceite. Dado que los elastómeros requieren poca carga en los pernos para el sellado la mayor cantidad de carga de los pernos es utilizada para el sellado de la cámara de combustión, es por ello que se pueden utilizar menores cargas en los pernos para el sellado de la junta de cabeza. En ocasiones con objeto de evitar la deformación de la junta esta puede tener elementos de refuerzo en el extremo exterior de la misma, Así mismo este tipo de juntas nos permite la colocación de insertos con pasos calibrados para el paso de fluidos, instalas ayudas para el ensamble marcas resaltos puntas etc.(Figura II.8).



Junta de tapa de válvulas.- No permite fugas del aceite y ayuda a mantener la zona bien lubricada. La junta copia el contorno inferior de la tapa de válvulas. (Figura II.9).



Juntas complementarias.- En algunos casos dentro de los *kits* de juntas se agregan juntas complementarias de acuerdo al tipo de motor como son la Junta de filtro de aceite y la junta de bomba de agua.

Junta de filtro de aceite.- Impide la fuga del aceite y cierra herméticamente el filtro permitiendo la correcta circulación del fluido.

Junta de bomba de agua.- Impide la filtración y el correcto ajuste. En esta bomba circula el refrigerante Esta montada en el frente del bloque de cilindros. (Figura II.10).

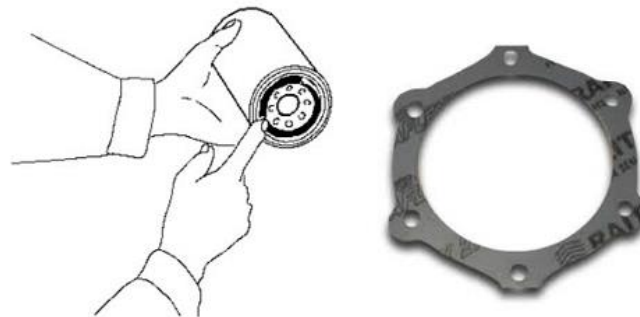


Figura II.10.- Junta filtro de aceite y junta de bomba de agua

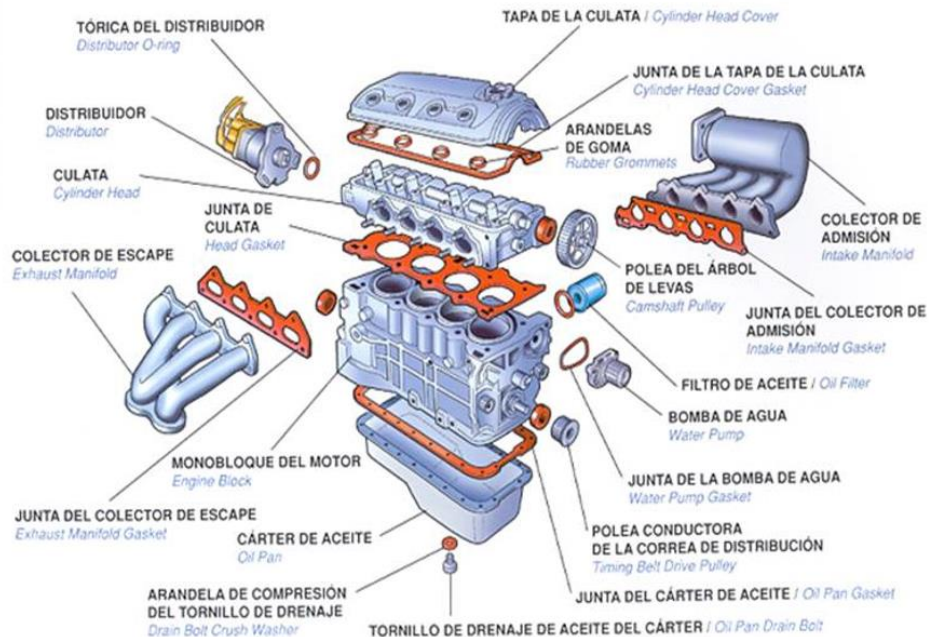


Figura II.11.- Juntas de motor.

Juntas blandas.- Tipo más simple de juntas, cuyo material esta tratado especialmente para proporcionar alta resistencia a los derivados del petróleo, solventes y los aceites lubricantes, y conveniente para funcionar en las temperaturas hasta 120 °C (250 °F).

Lainas.- Utilizadas para compensar el material retirado de la cabeza o del monoblock para no perder la relación de compresión.

En la figura (Figura II.11) se muestran las Juntas que contiene un motor de combustión interna.

II.2.3.- Comparación de juntas de cabeza, tipo matriz VS MLS

Las juntas de cabeza en los motores actuales, no solo se limitan al sellado del motor, sino también deberá ser capaces de resistir la fatiga de los materiales durante el funcionamiento (Fase de carga y descarga). Así como, proveer mayor durabilidad al motor y sus componentes. Además de minimizar las deformaciones en el cilindro del motor durante su re-manufactura, ensamble y funcionamiento. Las juntas de cabeza denominadas tipo matriz, son fabricadas de un núcleo de acero y recubrimiento *facing* celulósico y/o grafito (soporta temperaturas de hasta 650° Centígrados) en ambas caras. Asimismo, de *flange* de acero en el área de cilindros o pasos toberas de aceite hacia la cabeza (Figura II.12).

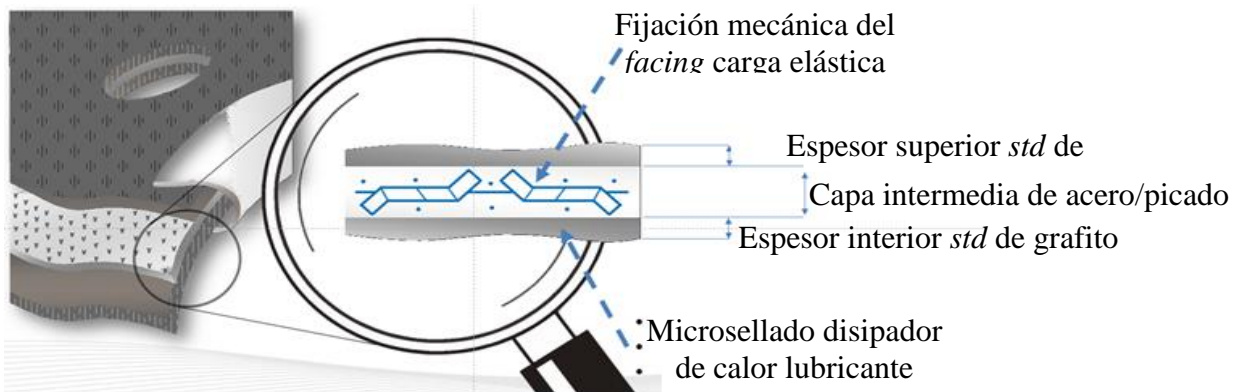


Figura II.12.- Características de juntas de cabeza tipo matriz [II.3]

II.2.4.- Características de juntas MLS [II.8]

Las juntas multi-layer *steel MLS* (Acero Multi-Capa), juegan un papel esencial en la industria de sellado actual para motores de combustión interna. Las juntas de tipo *MLS* consisten en múltiples capas de metal, así como se muestra en la Figura II.13 [II.10].

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

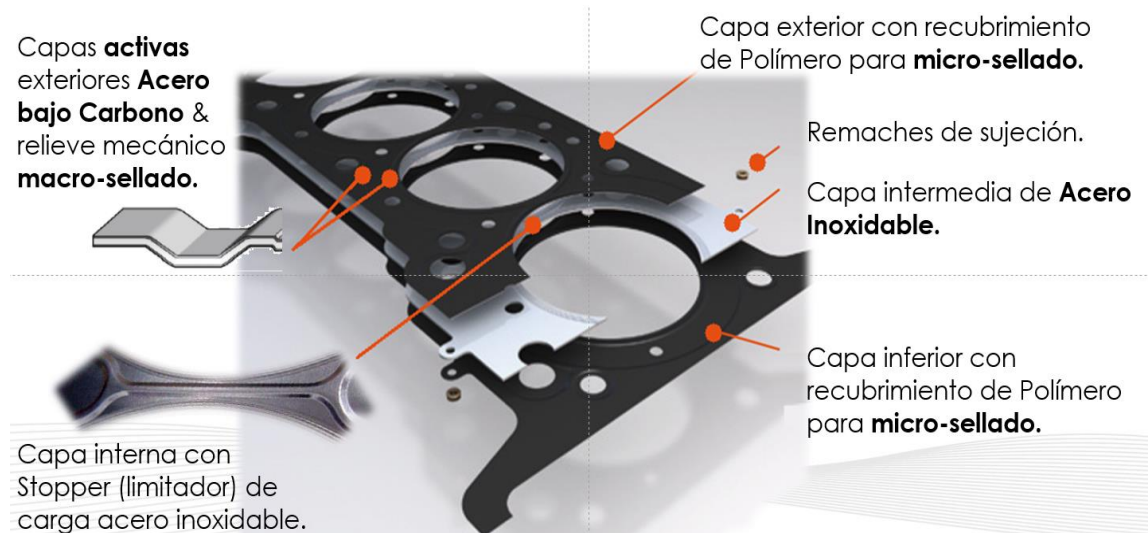


Figura II.13.- Construcción típica junta de cabeza multi-layer *steel* [II.10]

Para cubrir las necesidades de sellado de un motor, la junta contiene diversos elementos de sellado. El sello de combustión, el cual sella la periferia de la parte superior del cilindro del monoblock, los sellos nervados, los cuales sellan anticongelante y pasajes de aceite. El sello de combustión es usualmente una combinación de dos elementos; El limitador, el cual crea la primer línea de sellado. El nervado completo, el cual define la segunda línea de sellado del sello de combustión. Los sellos nervados son creados basados en la estructura y tipo del motor, insertos especiales pueden ser utilizados para este sellado.

Estos elementos de sellado solo pueden formar un sello macro debido al acabado superficial de los componentes del motor (cabeza del motor y bloque de cilindros). Por lo tanto, un recubrimiento superficial es utilizado para crear el micro sellado entre las superficies de contacto. Este es usualmente hecho de materiales como el *FKM* (Fluoroelastómero) o *NBR* (Hule Nitrilo Butadieno). Los cuales son mucho más ligeros que los sellos metálicos. El recubrimiento tiene la capacidad de adaptarse a las imperfecciones de la superficie y mantener un sello en esas regiones de contacto (el macro sellado es debido al rígido comportamiento de los nervados y su inhabilidad para adaptarse al acabado superficial de las superficies, haciéndolo incapaz de desempeñar la función por si solo) (Figura II.14).

A continuación, se muestra las diferencias 7 principales entre una junta tipo matriz y una junta *MLS* (*Multi-Layer Steel*) (Figura II.15).

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo *MLS* de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

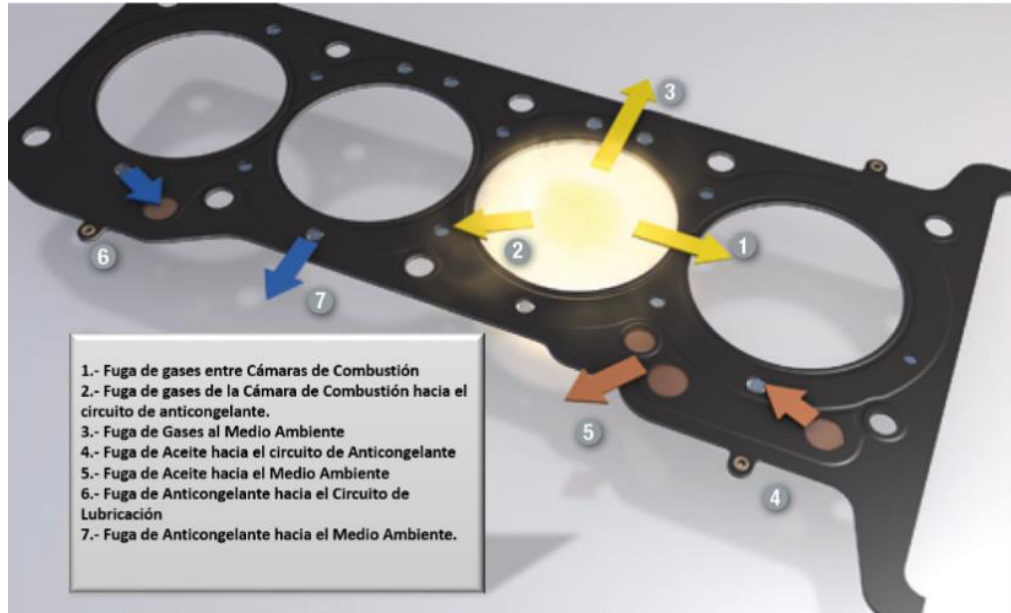


Figura II.14.- Tipos de fugas típicas en una junta *Multi-Layer Steel*.

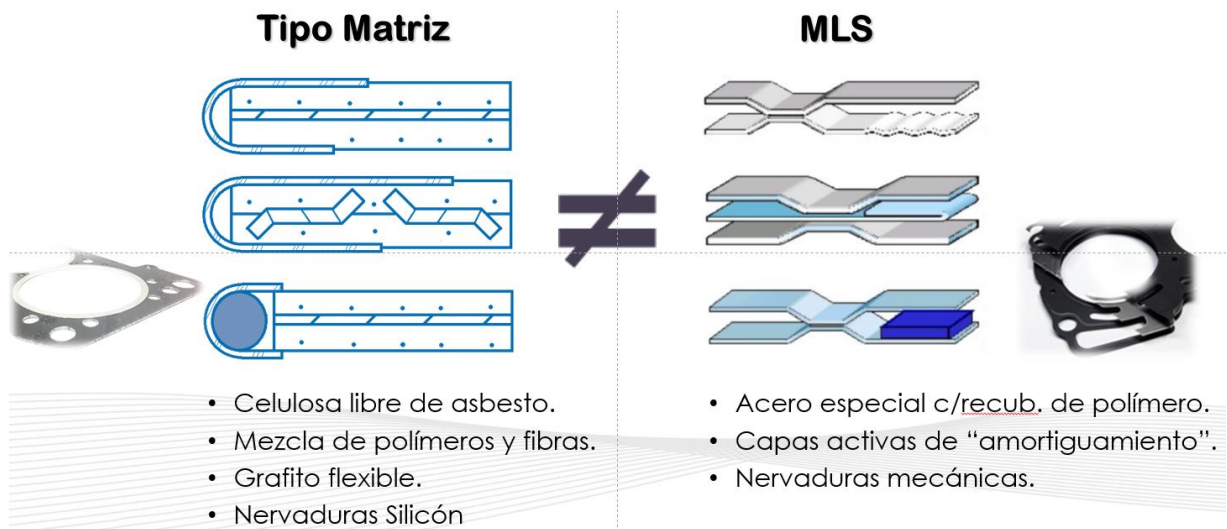


Figura II.15.- Comparación de las juntas de cabeza tipo matriz vs *MLS*.

Es recomendable cambiar de juta de grafito a *MLS*, ya que los *monoblocks* de nueva generación Aluminio o fundición de Hierro pueden llegar a deformarse de 0.001” hasta 0.005”. Durante el ensamble con la cabeza de motor en casos extremos. Además de distribuir de forma uniforme la carga de los tornillos sobre el monoblock y requieren menos carga de los tornillos de cabeza sobre monoblock para pre-cargar la junta de cabeza (Figura II.16).

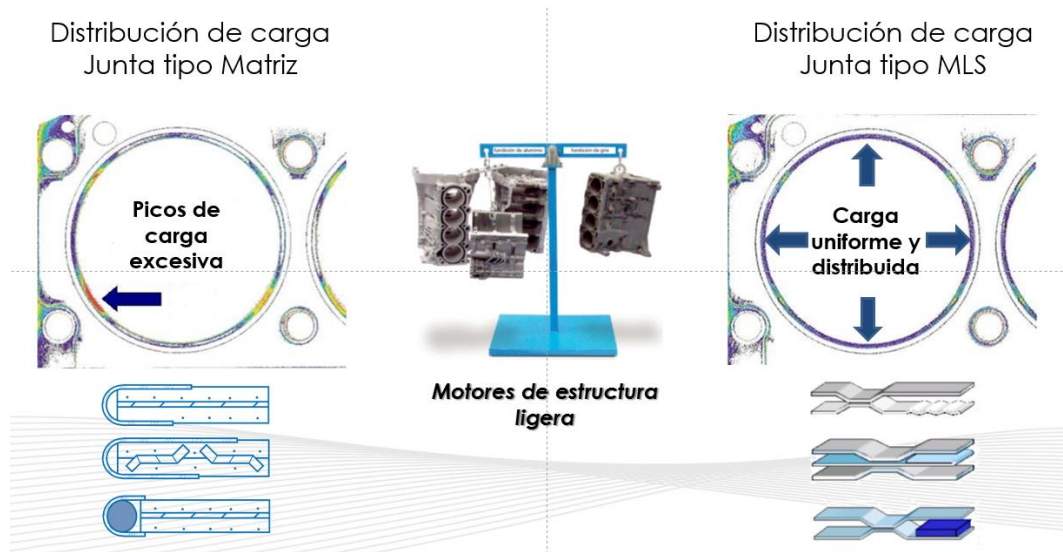


Figura II.16.- Distribución de carga.

En suma, a esos parámetros, la selección de los materiales de las capas metálicas y los recubrimientos, tendrá una influencia con el motor y en la funcionalidad de la junta. La figura siguiente ilustra esta interacción más detalladamente y muestra los parámetros generales que deben ser observados durante el diseño de la junta y en su desempeño (Figura II.17).

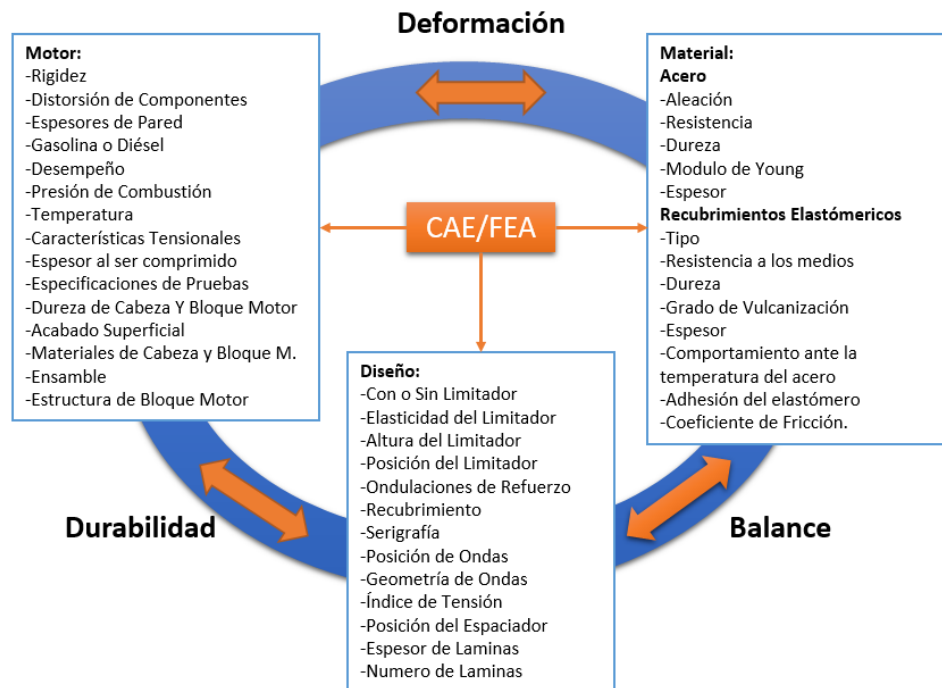


Figura II.17.- Ciclo de diseño de una junta *Multi-Layer Steel*.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

El sello de combustión define el mayor sello de la Junta de Cabeza y tiene una gran influencia en la cabeza, y en el bloque de cilindros. (Figura II.18) [II.7].

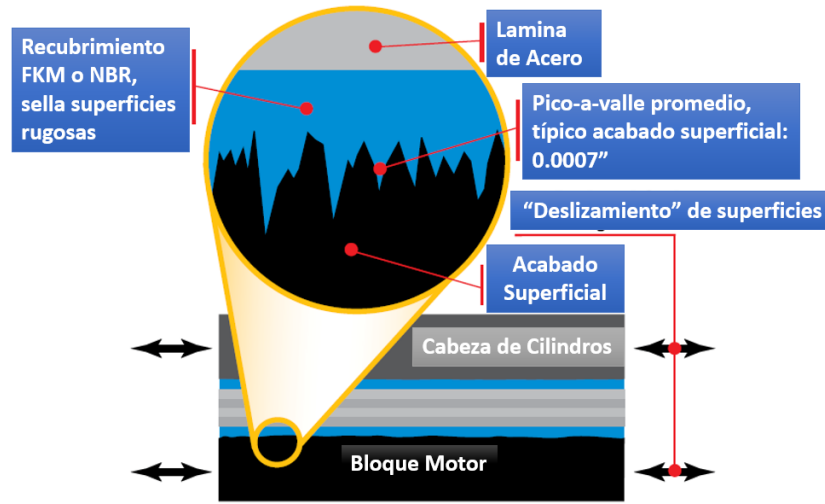


Figura II.18.- Ciclo de diseño de una junta *Multi-Layer Steel*.

Las láminas metálicas definen el núcleo de las juntas de cabeza *MLS*, su espesor y número, depende del espesor de operación requerido, tipo de motor, estructura, material y de sus parámetros de desempeño. La lámina que contiene nervados completos es usualmente conocida como *la capa activa*. La capa activa consiste de un acero altamente duro (Usualmente sobre valores de 1000N/mm^2) para crear las propiedades de resorte de los elementos anteriormente mencionados. La tendencia en el diseño de motores es reducir peso y optimizar el proceso de combustión para superar los problemas actuales de reducción de emisiones y consumo de combustible.

II.2.5.- Comportamiento mecánico de juntas *MLS*

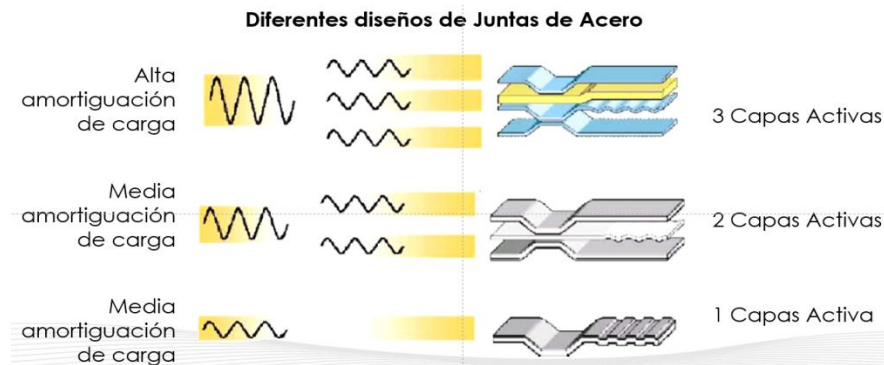


Figura II.19.- Diferentes diseños de juntas de acero.

El comportamiento mecánico de las juntas de cabeza depende del diseño de la junta ya que existen diferentes configuraciones y cantidad de capas (Figura II.19) [II.7].

II.2.6.- Prueba de contacto e interpretación para asegurar el correcto sellado.

Una prueba muy sencilla para saber el comportamiento de la Junta de motor en el sellado es la prueba de sellado con papel revelador de presión (Figura II.20) [II.7]. Para realizar la prueba de contacto se necesitan los siguientes elementos y consideraciones [II.7]:

- a) Papel de contacto.
- b) Torquimetro.
- c) Placa simuladora.
- d) Tornillos en buen estado.
- e) Especificación de Torque de Cabeza.
- f) Junta de cabeza (diferentes tipos).
- g) Lainas (Caso que aplique).

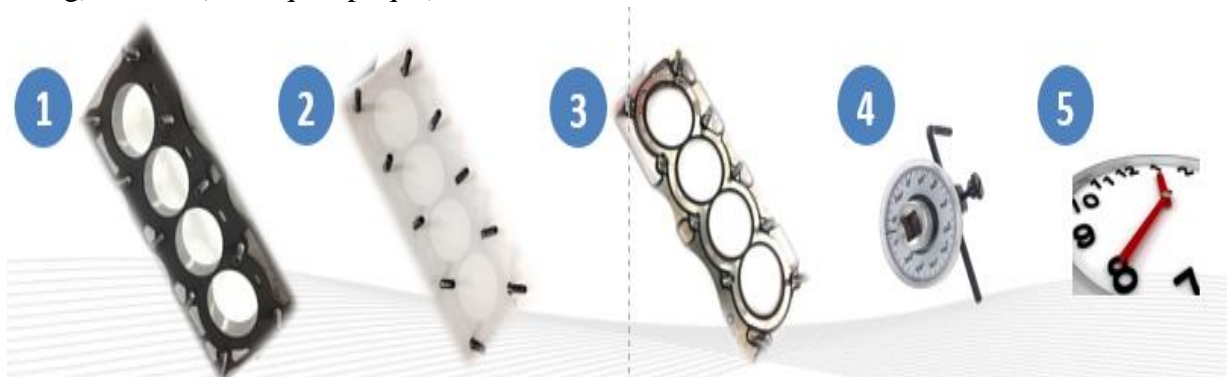


Figura II.20.- Proceso de prueba de contacto en papel revelador de presión

El proceso es el siguiente [II.7]:

- 1.- Coloque de ser necesario la laina.
- 2.- Colocar papel de contacto.
- 3.- Colocar la junta de cabeza.
- 4.- Instalar los tornillos que servirán como guías.
- 5.- Aplique el torque sobre los tornillos a especificación.
- 6.- Esperar 5 minutos para que la presión revele sobre el papel.

7.- Retire tornillos y visualice el resultado sobre el papel.

El resultado de esta prueba generalmente muestra los lugares donde existe mayor presión de contacto entre la junta de cabeza, el *monoblock* y la junta de cabeza con la tapa de *monoblock*, para saber si se puede garantizar que la junta realizara el sello en todas las zonas que lo requiere según su tipo y modelo. (Figura II.21) [II.7].

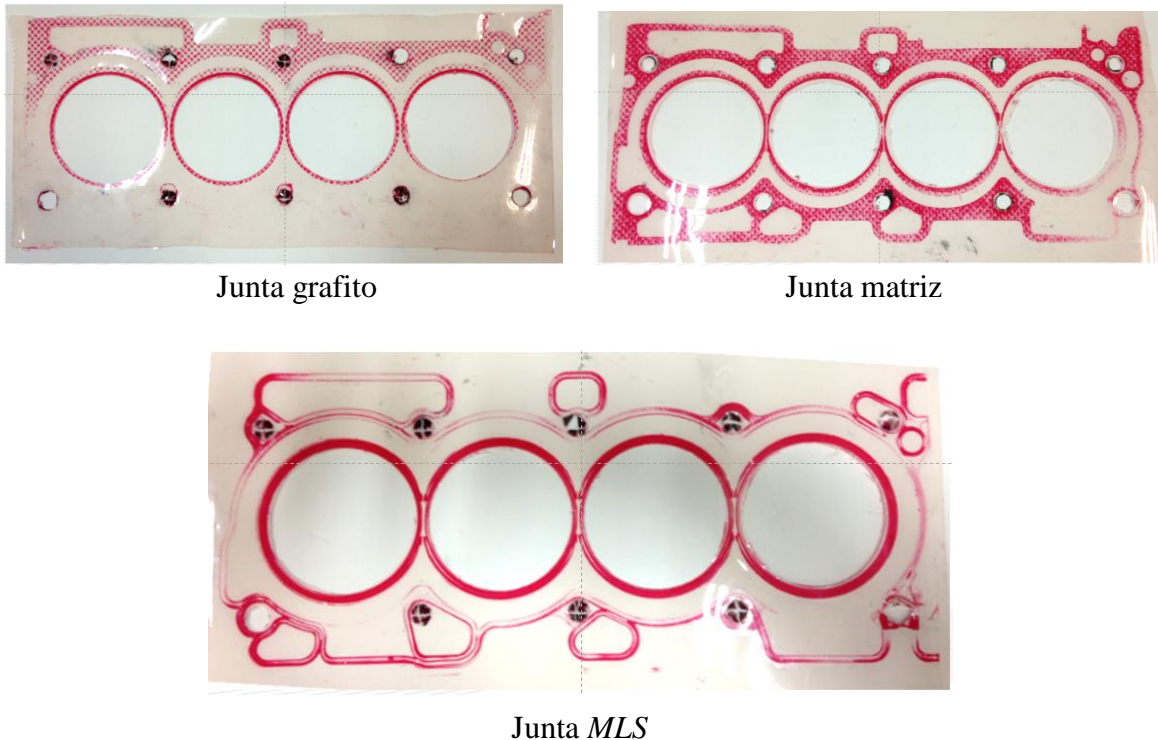


Figura II.21.- Resultado prueba de contacto de 3 tipos de junta

II.3.- Glosario

A continuación, se presenta un glosario general [II.3]:

Sellabilidad.- Es la característica que tienen las uniones de dos piezas, que consiste en la capacidad de evitar la fuga de los fluidos que se desean retener, teniendo en cuenta la geometría y material del empaque, la tensión de sellado y la permeabilidad de los materiales de las piezas y de la junta.

Permeabilidad.- Es la propiedad de los materiales que se refiere a la capacidad de filtrar a través de su estructura interna los fluidos que por su viscosidad puedan

atravesarla. Se dice que un material es impermeable cuando no filtra a través de estructura interna la mayoría o ninguno de los fluidos que se desea retener.

Estanqueidad.- Es la característica propia de cualquier recipiente cerrado que conteniendo algún fluido no permite fugas de éste, aún bajo exigencias externas. Se dice que un recipiente cerrado es estanco cuando no presenta fugas del fluido que contiene.

Compresibilidad.- Es el espesor que un material pierde de su espesor original por el efecto de una carga determinada, expresado en porcentaje.

Recuperación Elástica.- Es el espesor que un material recupera de la cantidad que se comprimió al haberle aplicado una carga determinada y luego suspenderla, expresado en porcentaje.

Relajación (relaxation).- Es la pérdida de tensión que un material sufre debido a alguna carga aplicada en condiciones determinadas de temperatura y tiempo. A esta propiedad de los materiales se debe la pérdida de presión en una unión sellada, presentándose pérdida de tensión en los pernos de la unión, en especial en juntas sometidas a grandes tensiones.

Efecto Creep.- Es la deformación plástica que sufre un material debido a la acción continúa de una carga aplicada durante periodos muy largos de tiempo. En los materiales de juntas, el Creep se manifiesta como la reducción del espesor que produce una reducción en la tensión de sellado.

Elasticidad.- Es la propiedad por la que un material recobra su forma y dimensiones originales al suspenderse la carga que lo deforma. La deformación elástica es aquella en la que un material no llega a deformarse permanentemente bajo la acción de una carga aplicada.

Plasticidad.- Es la propiedad de los materiales de deformarse permanentemente por la acción de una carga aplicada, cuando ésta supera el límite de deformación elástica.

Flexibilidad.- Es la capacidad que tienen los materiales para juntas de doblarse sin romperse, dependiendo del material mismo y su espesor. Esta propiedad ayuda a que las juntas se adapten a la expansión y contracción del motor por cambios de temperatura y ayuda a que la instalación sea más fácil.

Ciclado térmico.- Es el incremento y decremento periódico de temperatura que se presenta en los motores debido, principalmente, a ciclos de trabajo y de reposo que

se alternan, produciendo cambios dimensionales, de tensión interna, de presión de fluidos, de aumento en la permeabilidad, de disminución en la capacidad de sellado y de fatiga de materiales.

Índice de Compresión.- Es la relación del volumen del cilindro más el de la cámara de combustión contra el volumen de la cámara de combustión. Este índice muestra cuántas veces se reduce el volumen de la mezcla que ingresó al motor en cada cilindro durante el ciclo de admisión, hasta llegar al volumen mínimo en el ciclo de compresión.

Resorte.- Es un elemento mecánico que almacena energía para ser utilizada en forma de movimiento o de tensión interna como en el caso de las juntas. Existe una relación directa entre la fuerza aplicada y la deformación del elemento, que se denomina constante del resorte y que es lineal dentro del rango de deformación elástica. Esta constante tiene que ver con el área, el espesor y el material a través de su módulo de elasticidad.

Torque.- Es la acción de giro que se presenta al aplicar una fuerza a una distancia determinada de un centro. En el caso de los pernos, el torque es el resultante de aplicar la fuerza con una llave apropiada en la cabeza del perno; la distancia está determinada por la longitud de la llave y el sitio donde se apoya la mano. Las unidades más conocidas son: libra-pie (lb-pie) kilogramo-metro (kg-m) Newton-metro (N-m) metro-deca-newton (mdaN)

Limitadores de Torque.- Son topes metálicos que evitan el aplastamiento hasta la rotura por desgarramiento de la junta de una unión, cuando por descuido, se aprietan los tornillos sin control, deteriorando seriamente tanto las piezas metálicas como la junta. En algunos casos se fabrican juntas con limitadores de torque en forma de arandelas, incluidas en el cuerpo; en otros casos las piezas metálicas tienen los limitadores de torque en forma de resaltes, dobleces o pines que cumplen con la función de protección de la junta y de la unión.

Elastómero.- Es aquel material, en general, que presenta la propiedad de ser altamente elástico.

Fluoroelastómero.- Es un elastómero que tiene contenido de flúor, mejorando significativamente la resistencia a la temperatura y a los aceites, con respecto al elastómero base.

Hule.- Es un material que por su constitución y proceso de fabricación permite altos grados de deformación elástica, excelente resistencia a la humedad y dependiendo de los diferentes tipos, se encuentran grados de resistencia diferentes al ozono, la temperatura, los aceites, las grasas y los combustibles, que se encuentran en los motores.

II.4.- Sumario.

En este capítulo se revisó los conceptos de teoría de sellado , tipos de sello y la definición de una juntas de cabeza los materiales con los cuales se fabrican los diferentes tipos de juntas así como su función el motor , una comparación de las juntas tipo matriz y las juntas tipo MLS , sus características principales , el comportamiento mecánico y la prueba de contacto. De igual manera se presentaron algunos términos necesarios para que los siguientes temas sean comprendidos en su totalidad.

II.5.-Referencia

- 1.- TF victor *Manual del Fabricante*, Página web del distribuidor, <http://www.tfvictor.com.mx>, consultada en Febrero del 2017.
- 2.- Tumotor.mx/category/tf-victor/ consultada en Enero del 2017.
- 3.- Fraco, *Manual del Fabricante*, Página web del distribuidor, <http://www.fraco.com.co/preguntas-frecuentes.html>, consultada en Febrero del 2017.
- 4.- Arnal-Atares, P. V. y Laguna-Blanca, A., *Tractores y Motores Agrícolas*, 3^{ra} Edición, Ed. Mundi-Prensa, pp 34-36, 2005.
- 5.- Crouse, W. H., *Mecánica del Automóvil*, 3^{ra} Edición, Ed. Marcomco, pp 38-160, 1965.
- 6.- Galvan-Cardel, J., Huerta-Flores, L., Jimenez-Diaz, M. y Rodriguez-Reyes, N., *Diseño de un Troquel de Corte para una Junta de Motor a Gasolina*, Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, 2008.
- 7.- ITA, *Información Técnica Automotriz*, <http://itacr.com/payen.html>, consultada en Febrero del 2017.
- 8.- Dacomsa, *Información Técnica*, <http://www.dacomsa.com.mx>, consultada en Abril del 2017.
- 9.- Elring, *Productos*, <http://www.elring.de/es/productos/juntas-de-culata/juntas-de-culata-tecnologia-metal-elastomero/>, consultada en Abril del 2017.
- 10.- victor Reinz, *Sealing Products*, <http://www.victorreinz.com/en/products/cylinder-head-gaskets.aspx>, consultada en Abril del 2017.

CAPÍTULO III

EL PROCESO DE NERVADO DE UNA JUNTA DE MOTOR

En este capítulo se presenta la importancia del proceso de fabricación de una junta y el nervado.

II.1.- El Proceso de nervado en una junta de cabeza tipo *MLS*

Debido a las características especiales que se requieren para el funcionamiento eficiente de las juntas de motor y las tolerancias que son requeridas en sus planos de producto es necesario realizar un análisis de todo el proceso de fabricación haciendo énfasis en el proceso de nervado ya que es el motivo del presente trabajo.

III.1.1.- Diagrama de flujo general del proceso de fabricación de las juntas

Aunque se distinguen varios tipos de procesos productivos, dependiendo del tipo de junta de estanqueidad a fabricar; el proceso de fabricación de la junta engloba de manera general todas las etapas que caracterizan al resto por lo que se presenta el siguiente diagrama de flujo considerando todas las etapas posibles (Figura III.1) [III.1].

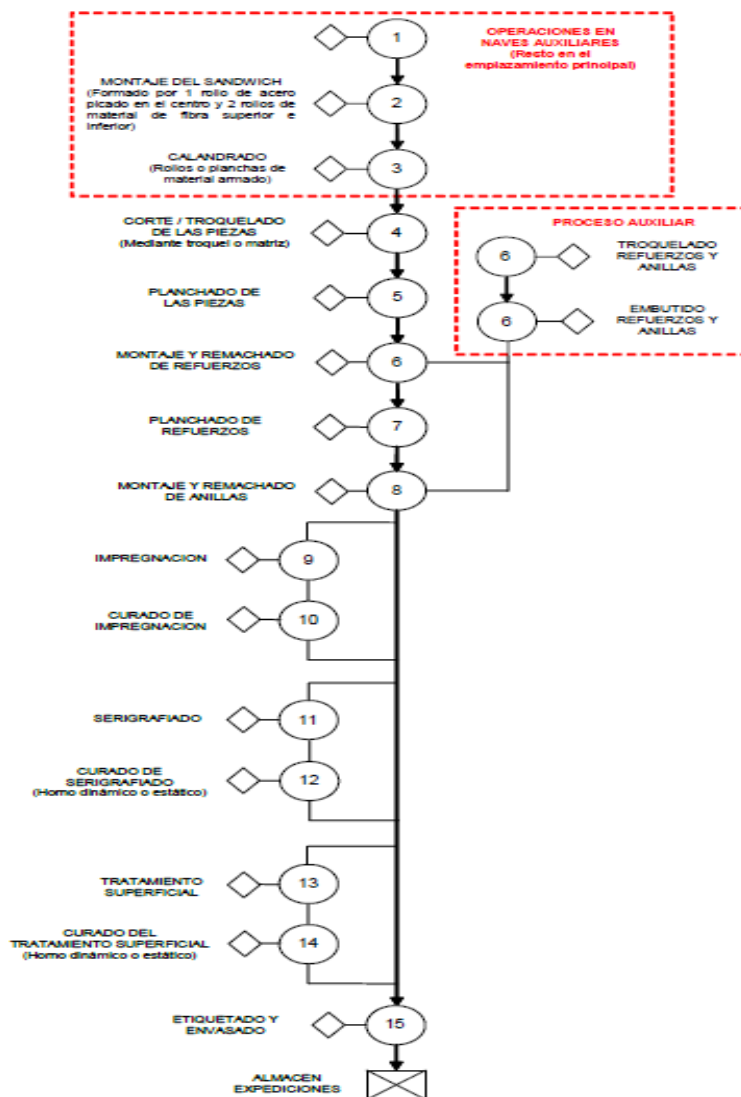


Figura III.1.- Diagrama de flujo general de Juntas de estanqueidad [III.1].

III.2.-Descripción de los procesos productivos de las juntas

A continuación se describen brevemente las fases del proceso referidas en el diagrama de flujo anterior [Figura III.1].

- 1.- Picado del acero.-** Como constituyente base de la junta de culata el acero en rollos es picado mediante matrices.
- 2.- Montaje del *Sandwich*.-** Posteriormente el rollo de acero picado y dos rollos de fibra de aramida son unidos en una especie de *sandwich*, quedando la chapa picada en medio de las dos láminas.
- 3.-Calandrado.-** Este *sandwich* atraviesa una línea de calandrado cuyo objeto es conseguir un espesor determinado en función de la referencia de la junta a fabricar. Al final pueden obtenerse un rollo de material armado o formatos de diversos tamaños. En el caso de las piezas transferidas se parte ya de un rollo o plancha de material armado (alma de metal recubierta de material de fibras de aramida). Por lo que no resulta necesario efectuar los tres primeros pasos del proceso (Figura III.1) [III.1].



Figura III.2.- Línea de Preparación del material armado (picado, montaje y calandrado [III.1])

- 4.- Corte/Troquelado.-** A continuación el rollo o los formatos son troquelados según el perfil geométrico de la pieza con la herramienta correspondiente matriz o troquel.
- 5.- Planchado de la junta.-** Las juntas son sometidas posteriormente a un planchado con el objeto de conseguir un espesor determinado.
- 6.- Montaje y remachado de refuerzos.-** Como proceso auxiliar se procede al corte y embutido de láminas de diferentes tipos de aceros para conformar los refuerzos

metálicos, estos se montan y remachan posteriormente en la zona de cilindros de las juntas.

7.- Planchado de refuerzos.- Los refuerzos al igual que las juntas son planchados con objeto de conseguir un sobrepeso concreto.

8.-Montaje y remachado de ojillos.- Otro de los elementos auxiliares que pueden formar parte de la junta de culata son los ojillos. Los cuales son cortados y embutidos de manera similar a los refuerzos. Los ojillos se montan en los barrenos de paso de líquidos lubricantes (aceites).

9.- Impregnación.- La meta de una junta es asegurar la correcta estanqueidad de la pieza, esto se consigue sumergiendo el material en un baño de silicona que rellena los poros del material fibroso (Figura III.3) [III.1].



Figura III.3.- Cabina de impregnación y horno estático de curado [III.1]

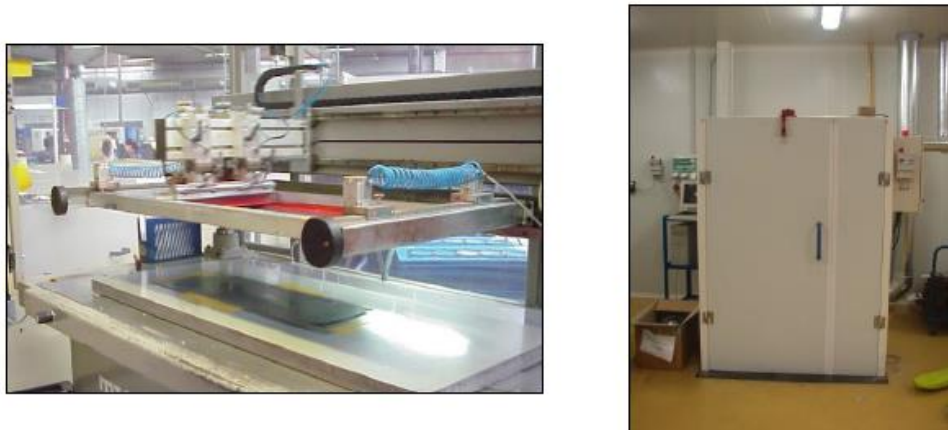


Figura III.4.- Maquina de serigrafía y cámara de curado por CO2 [III.1]

10.- Curado de impregnación en horno estático.- Posteriormente las juntas sufren un curado a altas temperaturas con la consiguiente emisión de hidrocarburos para asegurar la correcta aplicación del compuesto de impregnación (Figura III.4) [III.1].

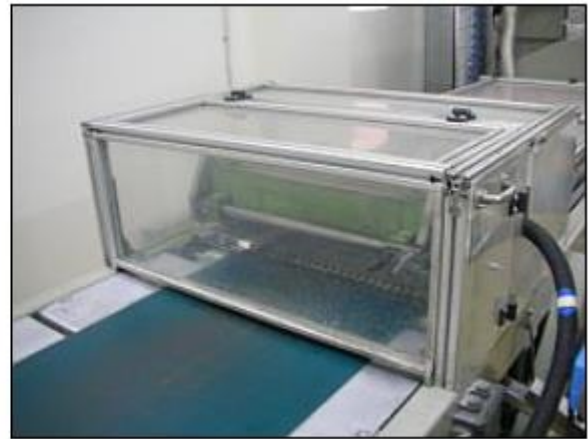
11.- Serigrafiado.- Una vez curadas, a las juntas se les aplica superficialmente un cordón de silicona para conseguir un sellado óptimo. Como proceso auxiliar a esta etapa debe de considerarse la limpieza de las pantallas de serigrafía.

12.- Curado de serigrafía en horno dinámico o estático.- Las piezas pasan de nuevo por un proceso de curado en hornos dinámicos o estáticos según el tipo de silicona utilizado, para el caso concreto de un tipo de silicona utilizada en algunas de las piezas del proceso de transferencia de producción del curado se realiza mediante CO₂ en cámaras destinadas a este fin.

13.- Tratamiento superficial.- También las piezas transferidas; dependiendo del tipo y características de uso de las mismas, se aplica en algunos casos un tratamiento superficial (recubrimiento) anti-adherente (Figura III.5) [III.1].



Rodillos



Cortina

Figura III.5.- Detalle del proceso por recubrimiento [III.1]

14.- Curado del tratamiento superficial en horno dinámico o estático.- Por último y como fase final del proceso de fabricación, las juntas de culata pasan de nuevo por hornos dinámicos o estáticos dependiendo del tipo de tratamiento que se les haya aplicado.

15.- Etiquetado y empaçado.- Una vez obtenido el producto final del proceso esta pasa a través de las líneas de ensamble, el ensamble consiste en una base de

cartón y un recubrimiento de *PVC*, Polietileno de baja densidad (*PEBD*) o Polipropileno (*PP*).

III.3 -Análisis del proceso actual de las juntas tipo *Multi-Layer Steel (MLS)*

El proceso de fabricación de juntas de cabeza tipo *Multi-layer Steel (MLS)*, con base en materiales metálicos es el siguiente:

- 1.- Corte y nervado de lámina.-** Partiendo de rollos o formatos de acero inoxidable recubiertos y sin recubrir de elastómeros, las láminas son troqueladas según su perfil geométrico con la herramienta correspondiente (troquel) y en el caso de las láminas situadas en el exterior de la pieza se les aplica adicionalmente un nervado mediante estampación con matrices (tema motivo de este trabajo que se extenderá en el capítulo [III.3.1]).
- 2.- Montaje y remachado de láminas.-** Las diferentes láminas que componen la pieza son montadas y unidas mecánicamente mediante remaches para conformar un producto final (Figura III.6) [III.1].



Figura III.6.- Ejemplo de junta de cabeza tipo *MLS* [III.1]

III.3.1.- El proceso de nervado en juntas tipo *MLS*

Se ha descrito anteriormente el proceso de fabricación de las juntas de cabeza tipo *MLS (Multi layer Steel)* y la importancia que tiene la altura de nervado en su funcionamiento, hay dos tipos de nervado utilizados en las juntas tipo *MLS*, el nervado completo y mitades de nervado, más allá de tener dos geometrías diferentes, los nervados realizan funciones diferentes, la

geometría específica de los nervados se forma mediante la longitud “Y” y la longitud “V”, por el Angulo X (Figura III.7) [III.2].

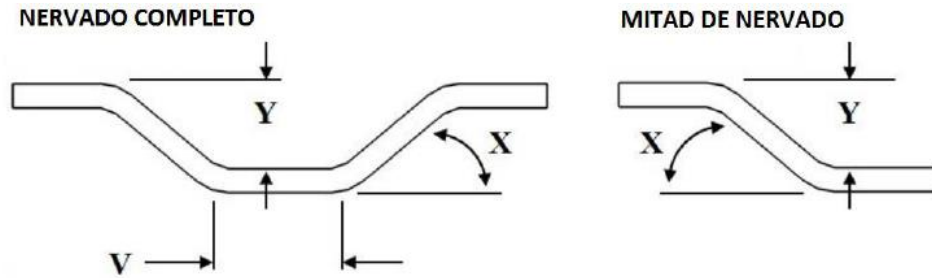


Figura III.7.- Tipos de nervado presentes en una junta de motor [III.2].

Las características de sellado de la junta se construyen de nervados o grabados al alto relieve: el diseñador utiliza una vista plana de la cámara de combustión y de cada paso de fluido para desarrollar adecuadamente los nervados de sellado, los nervados de cada capa son fabricados mediante el estampado de las laminas metálicas entre dos troqueles. (Figura III.8) [III.4]. Este proceso da forma al nervado deformando el material mas allá de su límite elástico, debido a las fuerzas de compresión y tracción presentes siempre producen esfuerzos residuales entre las capas de la junta. Los nervados de cada capa son relativamente pequeños, resortes individuales con la rigidez adecuada, las características de este resorte son determinadas por el material, el espesor, la dureza y la geometría [III.3].

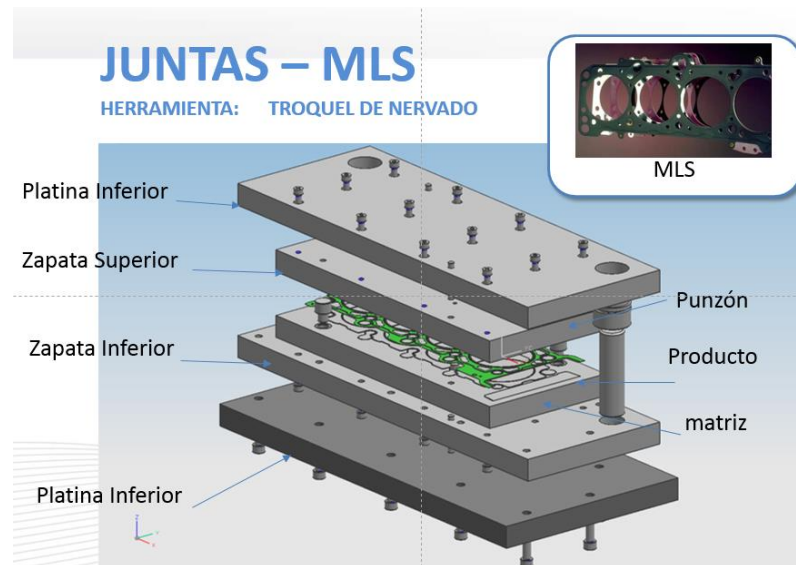


Figura III.8.- Troquel de nervado y sus partes principales [III.4].

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Para realizar la operación de nervado se utiliza una prensa con sistema de servo control, el personal utiliza una hoja de operación la cual detalla paso por paso el método de trabajo a seguir para obtener el producto con la calidad requerida y con la mayor seguridad posible (Figura III.9) [III.4]. En algunos casos y dependiendo de la configuración y diseño de la junta de cabeza, en la fabricación se realizan de uno hasta tres ciclos de trabajo de la prensa hasta lograr la altura de nervado requerida por las especificaciones y diseño de la junta que se esté fabricando.

METODO ESTANDAR DE TRABAJO		
TITULO: MET-CT- 205-2803	Pagina 3 de 9	
INSTRUCCIONES	AYUDA VISUAL	METODO SEGURO DE TRABAJO
<p>13. Girar interruptor con llave en sentido de las manecillas del reloj</p> <p>14. Oprimir botón de ciclo de bomba de recirculación de aceite, empezará a parpadear la luz verde espere hasta terminar el proceso el cual dura aproximadamente 1 min</p> <p>15. Oprimir botón servo Power (ámbar) para encender el motor</p> <p>CAMBIO DE MODELO Y PUESTA A PUNTO PRENSA AIDA 2803</p> <p>Procedimiento para sacar herramental</p> <p>16. En el control de mando, seleccionar la opción STEP FEED con el selector</p> <p>17. Verificar que la luz ámbar del botón STEP FEED ENABLE este parpadeando</p> <p>18. Presionar el botón STEP FEED ENABLE (mantenerlo presionado) y hacer girar la manivela STEP FEED en el sentido de las manecillas del reloj hasta que el troquel se encuentre cerrado</p>	<p>13, 14, 15, 19, 20, 22</p> <p>2-5 mm</p>	<p>Es importante que utilices todo tu EPP al momento de realizar tu trabajo,</p>
	<p>16, 17, 18</p>	
	<p>16, 17, 18, 21</p>	

Figura III.9.- Hoja de método estándar de trabajo [III.4]

III.3.2.-El diseño de un troquel de nervado de junta MLS

El proceso actual de diseño y fabricación de una junta de cabeza consiste en los pasos mostrados en (Figura III.10).



Figura III.10.- Proceso actual de diseño de Herramientas [III.4].

Debido a la aplicación de nuevos materiales, el número de problemas aumenta. Las partes conformadas hechas de estos materiales están más afectadas por el efecto de *Spring back* (Recuperación Elástica) que piezas hechas con el acero convencional. En relación a los efectos típicos de la chapa metálica tales como roturas y arrugas, la tensión de la chapa es decisiva. Si aparece el Spring back, tales modelos no son suficientes para prevenir la deformación. En este caso, los esfuerzos son decisivos y una considerablemente mayor presión es crucial. Cuando la presión se retira, la energía elástica permanece en la pieza haciendo que esta recobre parcialmente su forma original esta recuperación es llamada Recuperación elástica (Figura III.11)

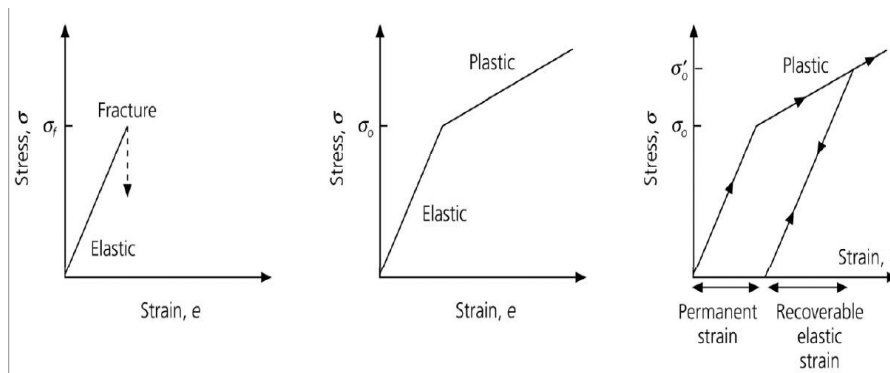


Figura III.11.-Comportamiento elástico y plástico. Notar la deformación no recuperable durante la etapa plástica [III.5].

Durante el desarrollo de las herramientas los dados de nervado se diseñan y fabrican con ángulos en el formador superior y en el formador inferior compensando la altura en un 10% a un 30% según el tipo de material y la recuperación elástica del mismo, dando como resultado durante las pruebas de funcionamiento que no se obtenga la altura requerida de los nervados en la junta, teniendo que re maquinarse los dados a una altura mayor, esto ocasiona un aumento de costo de fabricación (Figura III.12) [III.5].

El material que se utiliza actualmente para la fabricación de las juntas de cabeza es acero inoxidable del tipo 301 SS alta dureza con recubrimiento de elastomero NBR. Esto nos indica que las laminas que se utilizan en rollo tienen un recubrimiento continuo aplicado a ellas las cuales son punzonadas y posteriormente nervadas hasta el ensamble de las juntas ya terminadas.



Figura III.12.- Diseño actual de dados de nervado [III.5].

III.3.3.-Problemas presentes en el proceso de nervado de una Junta MLS.

Los problemas que se presentan con este proceso es que los bordes de corte resultantes producidos en el proceso de punzonado permanecen sin recubrir y por lo tanto ;

a) Son susceptibles a corrosión.

b) En el borde de corte se encuentren puntos de ataque de líquidos y gases que pueden ocasionar que el recubrimiento elastomérico de la superficie de la lamina se desprenda. (Figura III.13) [III.5].



Figura III.13.- Corrosión en una Junta MLS [III.5].

c) En el proceso de nervado de la junta se produce la deformación de la misma debido al recubrimiento de elastómero que tiene en las superficies inferior y superior, y a las fuerzas de compresión y tracción presentes que ocasionan esfuerzos residuales entre las capas de la junta y se manifiestan en una deformación considerable de la junta (Figura III.14).



Figura III.14.- Deformación de junta después de nervado [III.5].

III.4.-Propuesta de diagrama de flujo de las juntas tipo MLS

Si se realiza el troquelado en materiales que ya tienen el recubrimiento los esfuerzos residuales afectan las propiedades mecánicas más importantes en un recubrimiento como son los mencionados por Mordfin[1992] y Masubuchi[1980]:

- a) Adhesión.
- b) Resistencia al desgaste.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

- c) Resistencia a la fatiga.
- d) Dureza.

Debido a los problemas mencionados en este capítulo y con la finalidad de eliminar estos defectos se propone que el recubrimiento de elastómero se aplique a las piezas después de ser punzonadas y nervadas en un proceso de recubrimiento por pulverización, (Figura III.15).

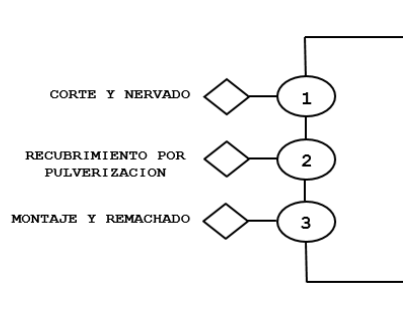


Figura III.15.- Propuesta de diagrama de flujo de Juntas tipo MLS.

Esto nos facilitará el proceso de nervado y disminuirá los efectos de deformación en la junta además de garantizar que la junta este recubierta totalmente eliminando posibles desprendimientos. El recubrimiento tiene una influencia considerable sobre el valor de fricción de la junta.

III.4.1.- Proceso de corte y nervado.

Previamente que se realizó el sliteado de los rollos de la lámina de acero inoxidable, el cual consiste en hacer rollos de lámina de acero a una dimensión previa para poder montarlos en los alimentadores del proceso siguiente (Figura III.16).



Figura III.16.- Sliteado de la lámina de acero inoxidable.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Partiendo de rollos de acero inoxidable sin recubrir se montan a un alimentador y se realiza la operación de troquelado de cuerpo donde se producen los punzonados y perforaciones requeridas en el diseño de producto (Figura III.17). En algunos casos esta operación se realiza por medio de una máquina de corte laser. (Figura III.17a)



Figura III.17.- Proceso de Punzonado de Juntas tipo MLS.



Figura III.17a.- Proceso de Corte de cuerpo por láser de Juntas tipo MLS.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Posteriormente se realiza el nervado de la junta de motor pero la nueva condición es que la lámina de acero inoxidable no presenta ningún recubrimiento (Figura III.18) [III.5]. Además de que el diseño de los dados de nervado será a 90° para facilitar el proceso y concentrar los esfuerzos en las zonas donde se debe de realizar el nervado (Figura III.18a)



Figura III.18.- Proceso de nervado en Junta tipo MLS sin recubrimiento.



Figura III.18a.- Forma de los dados de nervado sin ángulos en los bordes.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Si tomamos en cuenta que los principales factores que afectan a la rigidez del nervado son la geometría, la calidad del acero, espesor de la lámina y el proceso de producción [Chen, et al, 2002]. Y además las capas de juntas se componen generalmente de acero inoxidable endurecido. En un estado recocido, el acero inoxidable se compone principalmente de material austenítico. Con el fin de obtener las propiedades de resorte adecuadas del material debe ser endurecido, lo que se puede lograr mediante laminación en frío. Este proceso de laminación en frío introduce una fase de martensita en el material. El resultado es un tamaño de grano más pequeño, una estructura de grano alterada, una elongación disminuida y unas propiedades mecánicas incrementadas. Cuando las perlas son estampadas en las chapas metálicas, se realiza un trabajo adicional en frío y la dureza y las propiedades mecánicas en estas áreas aumentan debido a la deformación plástica. Esto ocurre en solamente un lado de la hoja de metal. En el otro lado existe un alargamiento disminuido que aumenta la probabilidad de que el cordón fatigüe la fisura con la adición de esfuerzo de tracción. Bajo el ensamblaje del motor, se induce tensión de tracción mientras se comprime el talón [Kestly, et al, 2000].

En la figura siguiente (Figura III.19) se observa una estructura constituida por granos alargados de austenita (claro) distribuidos en una matriz de martensita (oscuro). Los granos están deformados en el sentido de laminación.

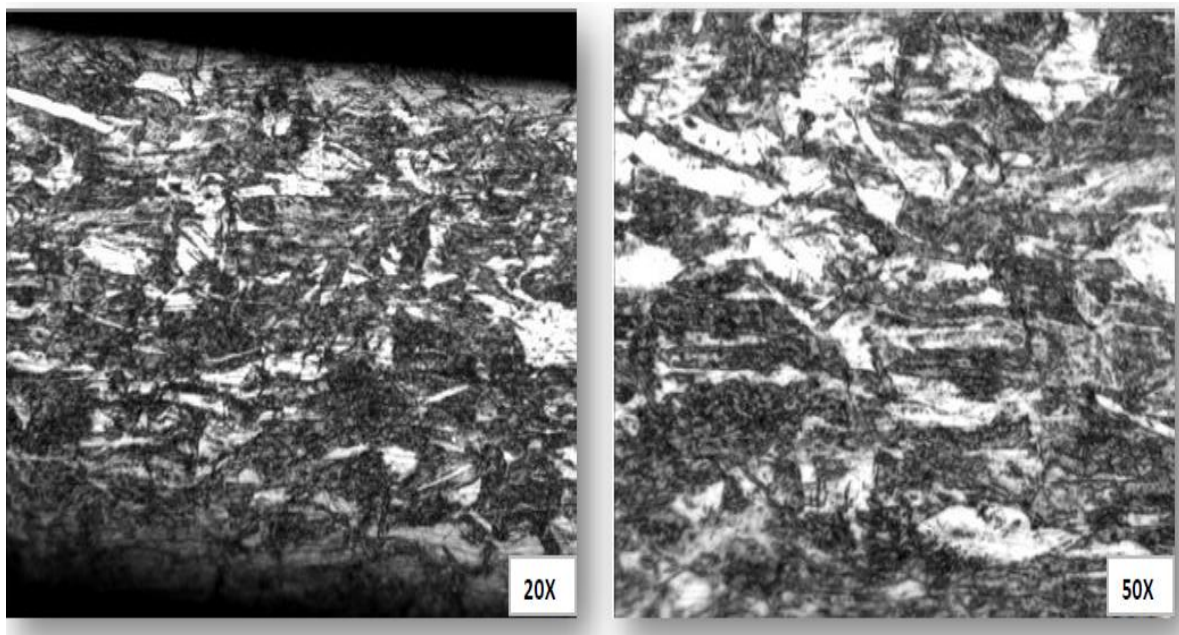


Figura III.19.- Metalografía de una junta MLS.

III.4.2.-Recubrimiento por Pulverización.

El material de acero inoxidable tipo 301 alta dureza es el sustrato, El recubrimiento de elastómero es principalmente de caucho nitrilo butadieno (NBR) y caucho del flúor (FKM) , la calidad del recubrimiento y el espesor está determinada principalmente por la aplicación de los compuestos , los pasos principales para la aplicación del recubrimiento son:

- 1.-Limpieza del acero
- 2.-El pretratamiento químico.
- 3.-Secado.
- 4.- Primer.
- 5.-Revestimiento del metal con NBR en uno o ambos lados.
- 6.-Vulcanización.

Donde el acero inoxidable es pre tratado de la manera usual (desengrasado convencional por tratamiento de temperatura, limpieza de plasma o desengrasado alcalino, chorreado con arena, fosfatado, zincado o grabado, aplicando adhesivo convencional).

Después de realizar la operación de recubrimiento por pulverización la junta metálica revestida se secó a 30-200°C durante 10 minutos y se curó simultáneamente, prevalece una temperatura de 30°C en la zona de evaporación, mientras que se alcanzó una temperatura de 200°C en el horno. El espesor de recubrimiento es de 25 µm y este se logra en una sola operación. (Figura III.20).



Figura III.20.- Proceso de recubrimiento por Pulverización.

Este proceso puede ser particularmente económico si la sustancia de recubrimiento se recupera por los medios donde la junta metálica es transportada a través de la instalación de

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

revestimiento por pulverización, esto es una cinta transportadora en particular se recuperan las porciones de la sustancia de recubrimiento que pasa a través de las aberturas de la cámara de combustión en las juntas, ello es posible debido a que la vida útil de la sustancia de recubrimiento está adaptada para durar más de una hora de esta forma solo se pierden pequeñas cantidades de elastómero y el proceso alcanza particularmente un rendimiento elevado. (Figura III.21).

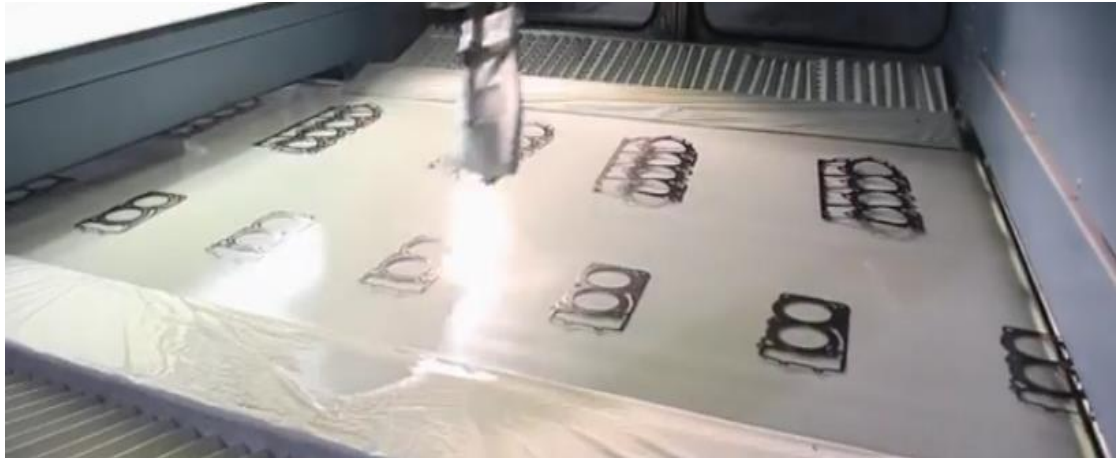


Figura III.21.- Proceso de recubrimiento por Pulverización en bandas transportadoras.

Con esta forma de producir se pueden hacer las aberturas necesarias antes de la operación de recubrimiento. Con el proceso de recubrimiento por pulverización se asegura que no se produzcan acumulaciones inaceptables de recubrimiento en áreas problemáticas durante la operación de recubrimiento de elastómero esto tiene además la gran ventaja de que los bordes perforados de las juntas de motor están revestidos también de elastómero y por lo tanto no ofrecen ningún punto de ataque por las corrientes de lubricantes, refrigerantes etc., que puedan dar como resultado elastómero desprendiéndose de la lámina de acero inoxidable (Figura III.22).



Figura III.22.- Junta de cabeza totalmente recubierta y libre de residuos.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

III.4.3.-Montaje y remachado.

En esta parte del proceso se realiza el ensamble de las juntas ya sea 2 o 3 hasta 5 láminas según sea el modelo o número de parte, además de una revisión general para detectar posibles problemas o fallas de calidad de producto. Se remachan o se realiza un clinchado (Figura III.23) de las láminas y posteriormente se empacan para su venta (Figura III.23a).



Figura III.23.- Junta de cabeza clinchada o remachada.



Figura III.23a.- Empaque de juegos de Juntas.

III.5.-Sumario.

En este capítulo se analizó el proceso de fabricación de las juntas en todas sus versiones además se llevó a cabo el análisis del proceso de las juntas tipo MLS que se lleva actualmente y una nueva propuesta de flujo de proceso para realizar el proceso de nervado en la lámina de acero inoxidable sin recubrimiento para solucionar problemas de calidad del producto y posteriormente realizar el proceso de recubrimiento con elastómero.

III.6.- Bibliografía

- 1.- http://glaser.es/img_cpm/004/files/certificates/Declaracion_Ambiental_2013.pdf
- 2.- Chen, T. Y., Zwick, J., Tripathy B. y Novak, G., 3D Engine Analysis and MLS Cylinder Head Gaskets Design, *SAE paper No 2002-01-0663*, 2002.
- 3.- Mochenhaupt, M., The 1D CAE Program for Cylinder Head Gasket Design, *SAE paper No 2003-01-0479*, 2003.
- 4.- Popielas, F., Chen, C. y Obermaler, S., CAE Approach for Multi-Layer Steel Cylinder Head Gaskets, *SAE paper No 2000-01-1348*, 2000.
- 5.- Dacomsa, *Información Técnica*, <http://www.dacomsa.com.mx>, consultada en Abril del 2017.
- 6.-Patente US6361830.

CAPÍTULO IV

“ANÁLISIS NUMÉRICO DEL PROCESO DE NERVADO DE UNA JUNTA DE MOTOR POR MEDIO DEL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO”

En este capítulo se presenta el análisis numérico del proceso de nervado.

IV.1-Introducción.

Las necesidades actuales de los mercados están obligando cada día más a que las empresas mejoren sus procesos de fabricación, maquinaria y herramienta, que les permita ser más competitivos y con mínimos desperdicios.

La tecnología de simulación de procesos ofrece la oportunidad de experimentar con las variables que se presentan en los procesos productivos dentro de una computadora para encontrar la siguiente mejora a realizar.

Actualmente una empresa dedicada a la fabricación de Juntas de Cabeza para motor, realiza de 3 a 4 pruebas de funcionamiento a sus troqueles de nervado, debido a que no logran el trabajo requerido en la primera prueba, por lo cual, se produce el mismo número de re-maquinados de dados formadores. (Figura IV.1).

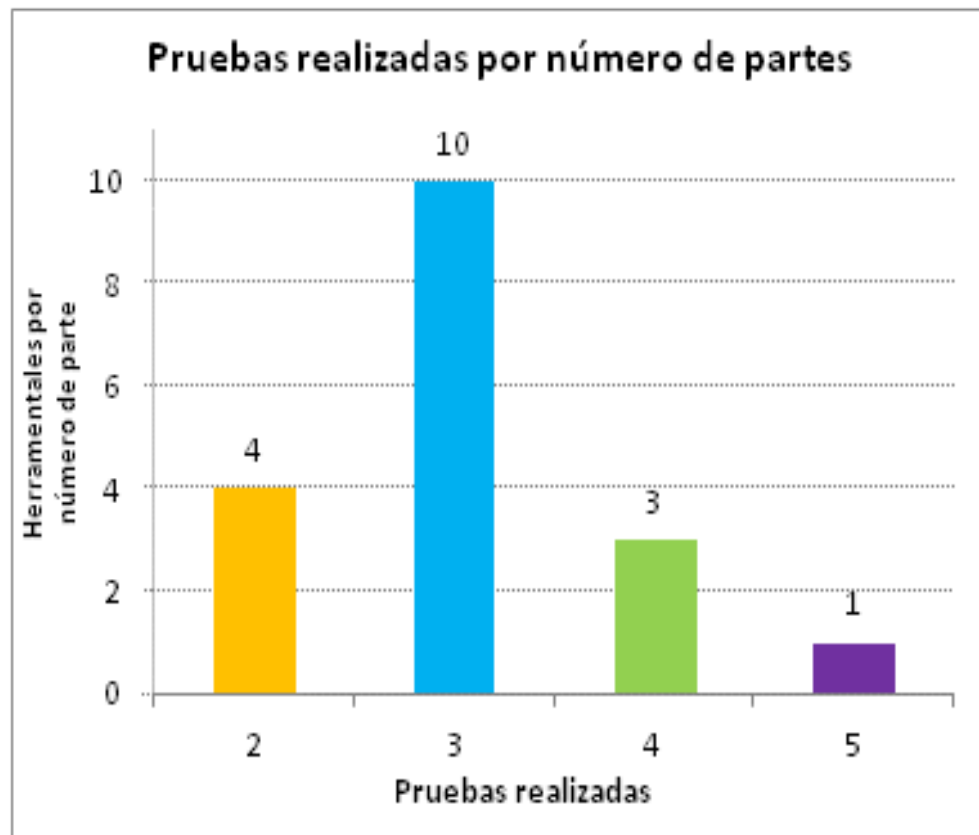


Figura IV.1.- Grafica de Pruebas de nervado de Diferentes Números de Parte.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Debido a este problema los proyectos que se están desarrollando sufren de atrasos en las fechas programadas, así como, saturación en el programa de trabajo del taller mecánico, área de diseño y pérdidas de tiempo de producción así como el costo de fabricación de los troqueles. (Figura IV.2).

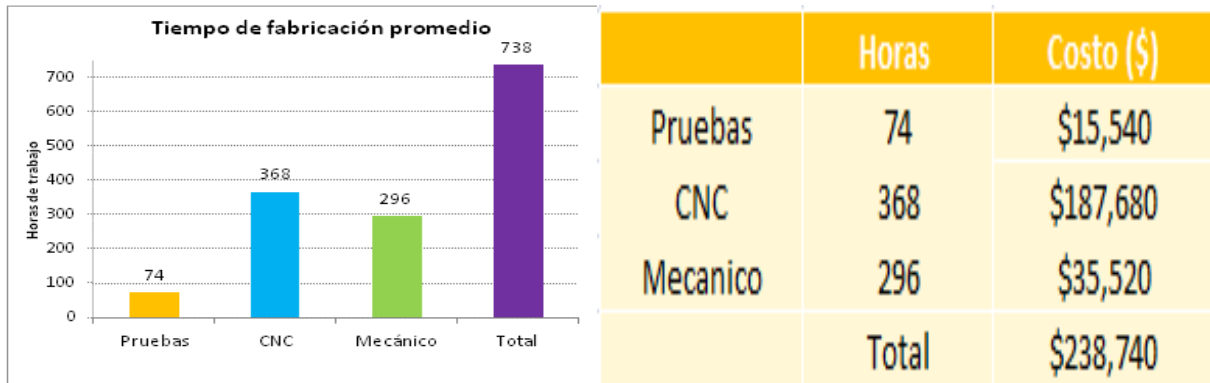


Figura IV.2- Gráfica de Pruebas, Horas de maquinado y Ensamble.

El nuevo ámbito industrial demanda que las empresas agreguen contenido y valor técnico a sus productos y procesos, dentro de los cuales los fabricantes indican las especificaciones que debe de cumplir un ensamble y la empresa por lo tanto es responsable del desarrollo del producto y proceso. Los altos costos de desarrollo de productos y procesos de manufactura de la manera convencional, (prueba y error) generan que las empresas manufactureras no puedan competir exitosamente, por lo tanto es necesario adoptar tecnologías que permitan mejorar la elaboración de productos y procesos a ritmos acelerados y menores costos.

Se tiene como objetivo analizar el diseño de los dados formadores actuales para obtener una metodología de diseño y alternativa de solución para disminuir y evitar re-maquinado y pruebas de funcionamiento para todos los nuevos desarrollos de troqueles de nervado de juntas MLS, con la consecuente eliminación de costos generados por los retrasos ocasionados en los proyectos.

Con el Análisis de Elemento Finito del comportamiento del material durante el proceso de nervado se pretende validar los diseños de las herramientas, por lo que además de este análisis se desarrollara un troquel prototipo con la finalidad de corroborar los datos obtenidos en el análisis numérico.

Para la realización del análisis por Método de Elemento Finitos se siguieron las siguientes etapas.



IV.2. Bases del Análisis.

Para la aplicación confiable de modelación de procesos al menor costo es necesario considerar el efecto de las propiedades de material, la representación geométrica, el tiempo de cálculo y la capacidad de discretización del programa de simulación. En general es necesario eliminar todas las características geométricas menores, como pequeños radios de filete en los herramientas, que no tienen un efecto significativo en el flujo del material. En casos como el microformado, hidroformado de tubos o embutido profundo, los efectos de tamaño deben de tomarse en cuenta en la simulación [IV.1].

Para iniciar en análisis de la junta de motor se revisó el plano del producto, observando las características de los nervados que para este caso es de 0.010” de altura con un tolerancia de +0.002 -.001. En un material de Acero inoxidable tipo 301 alta dureza (Figura IV.3).

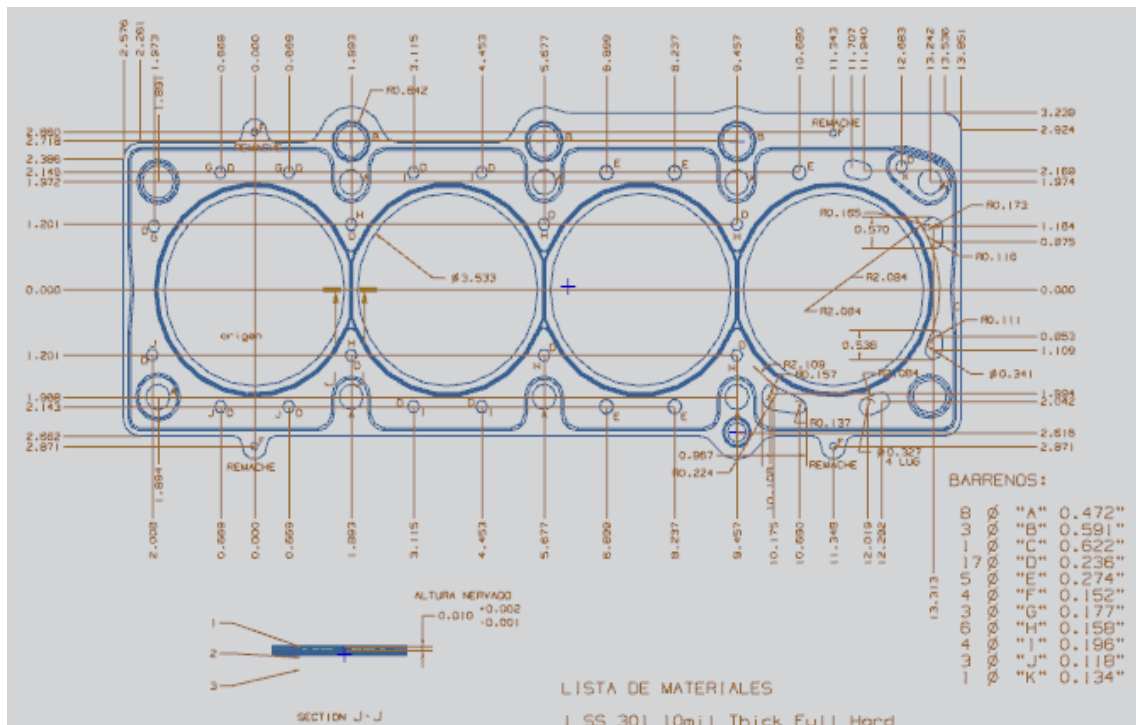


Figura IV.3.- Plano del producto (Junta de cabeza tipo MLS).

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Como primera etapa de análisis para llevar a cabo la simulación se utilizó superficies en dos dimensiones que representan una sección en el espesor del material y una sección de los dados de nervado tanto superior como inferior con las forma y dimensión marcada en el plano de producto, eliminando todos los demás componentes del troquel para disminuir el tiempo de solución, además de definir un análisis estructural transitorio (Figura IV.4).

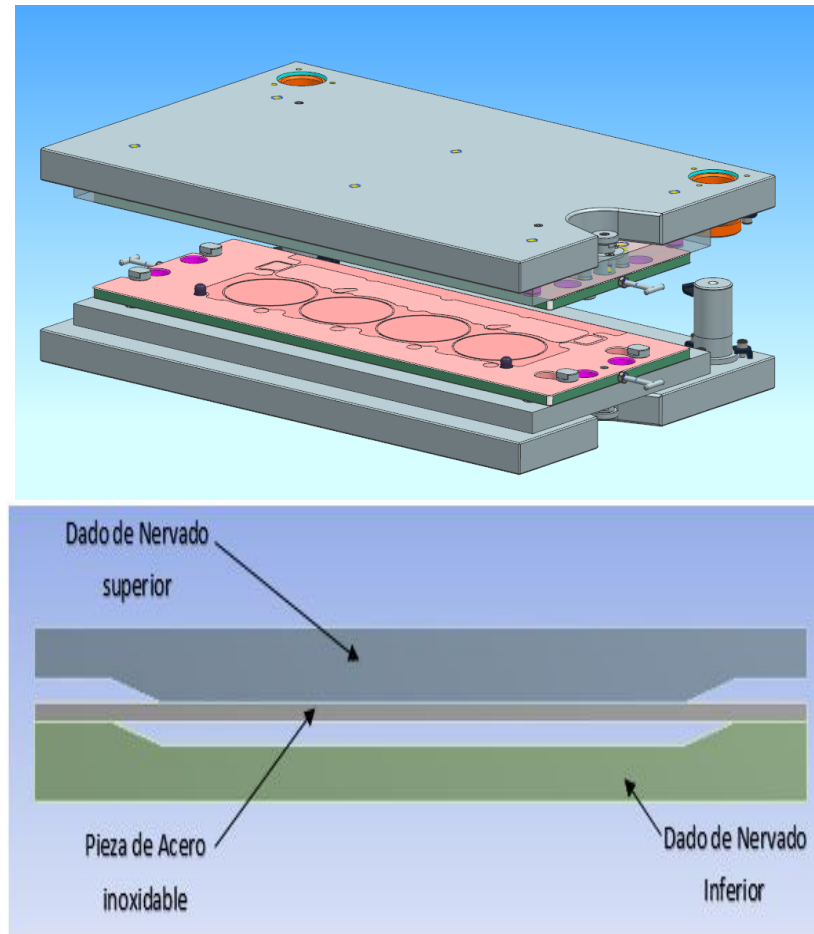


Figura IV.4.- Modelo de troquel de nervado para el análisis de elemento finito.

Se define un análisis estructural transitorio ya que el objetivo es la predicción del comportamiento bajo las diferentes acciones para las que se establezca y su capacidad de respuesta.

Sobre una estructura actúan varios tipos de acciones exteriores cuya naturaleza determina el método a seguir, la respuesta a estas variables depende del tiempo pero su respuesta es en general de tipo transitorio es decir que es dependiente del tiempo.

Tipos de elementos finitos: los elementos finitos tienen diferentes y variadas formas las cuales son relativamente fáciles de formular y analizar. Los tres tipos de elementos finitos básicos son Vigas (Barras), Shell (Placas) y sólidos.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

En el proceso actual de desarrollo de la herramienta, se diseñaron los dados con ángulos iguales al producto más un 20% de altura debido a la recuperación elástica del material (Spring back), según la experiencia adquirida por el fabricante al realizar desarrollos experimentales (prueba y error) según las geometrías que presenta el producto, para este caso se consideró 0.012" de altura total ya que la altura requerida en el plano de producto es de 0.010" (Figura IV.5).

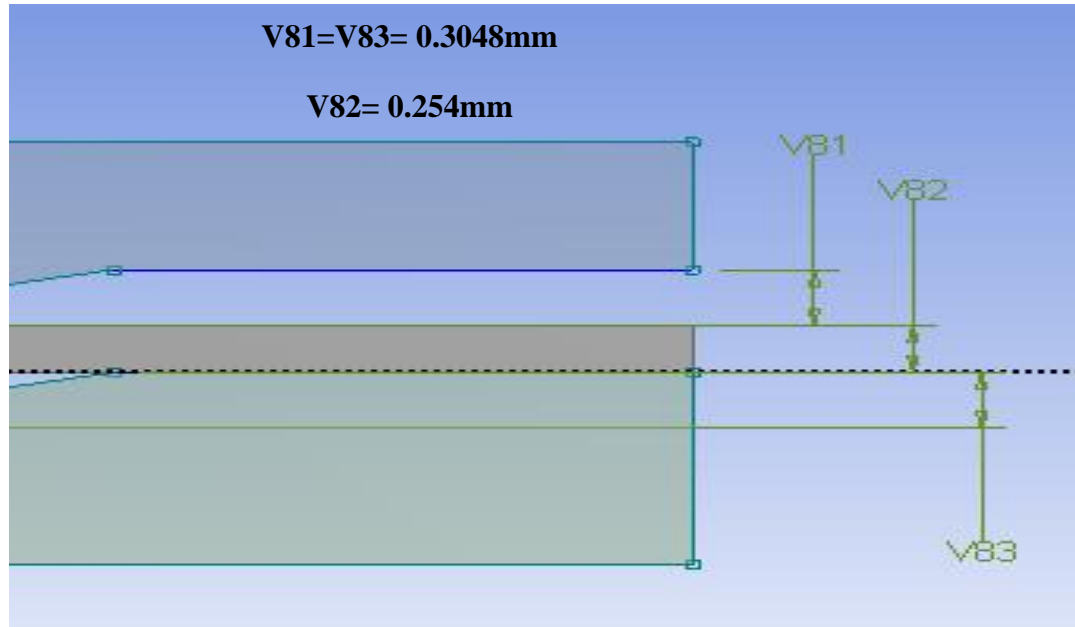


Figura IV.5- Dimensiones de altura de dados de nervado.

V.2.-Pre proceso.



Para poder simular los procesos es necesario discretizar los objetos en unidades regulares, llamados elementos. En el caso de modelos bidimensionales se utilizan elementos cuadriláteros o triangulares. En el caso de problemas tridimensionales se utilizan elementos tetraedros o prismas rectangulares, el conjunto de elementos recibe el nombre de genérico de Malla, el tamaño de los elementos, debe de conformarse con las características geométricas de la pieza de trabajo y los gradientes de las variables de proceso para cada paso del proceso de manufactura. [IV.2].

El proceso de simulación requiere la discretización del medio continuo a través de elementos finitos cuyas características y grados de libertad dependen del tipo de elemento seleccionado.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

El número de elementos para el discretizado de la lámina y los datos impactara directamente el tiempo de solución, así como el requerimiento de capacidad de memoria de la máquina, por lo que para definir el discretizado, se estableció solo con el número de elementos necesarios para obtener resultados confiables, considerando las reglas de discretizado los elementos son de 0.2mm de tamaño y por tratarse de un modelo bidimensional se utilizaron elementos cuadrados y triangulares (Figura V.6).

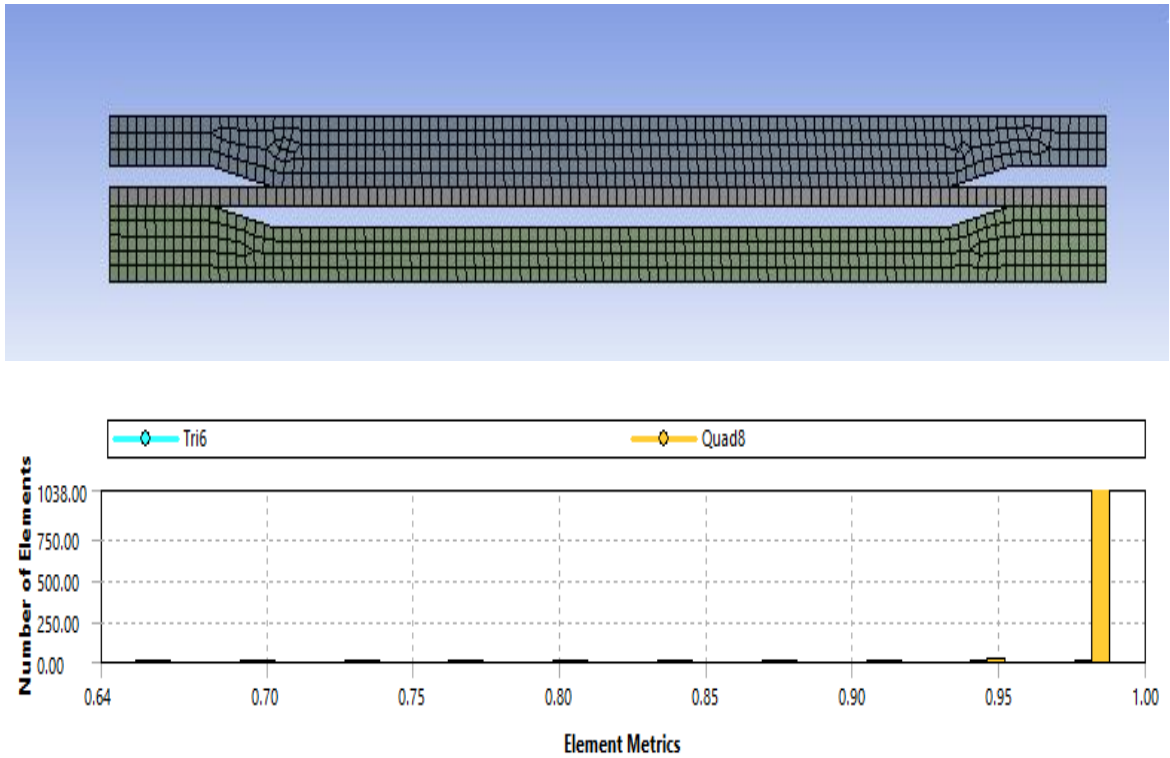


Figura IV.6- Discretizado de modelo bidimensional de dados Nervadores y lámina.

V.3.1.- Propiedades de la pieza de trabajo y de los materiales de la herramienta.

Para predecir exactamente el flujo del material, las fuerzas de conformado o las presiones, es necesario usar datos de entrada confiables, en la mayoría de las simulaciones los herramientas se consideran rígidos, sin embargo en algunos procesos como forja la deformación del herramental puede influenciar tanto las condiciones de carga mecánica y la distribución de presiones de contacto en la interface herramental-pieza de trabajo. Por lo tanto las deformaciones elásticas de las matrices deben de considerarse. Para este análisis se consideran cuerpos flexibles basándose en lo expresado en el párrafo anterior.

En la figura se muestra las propiedades mecánicas del material de la junta de cabeza de motor tipo MLS y su grafica de Esfuerzo – Deformación necesaria para la realización del análisis. (Figura IV.7).

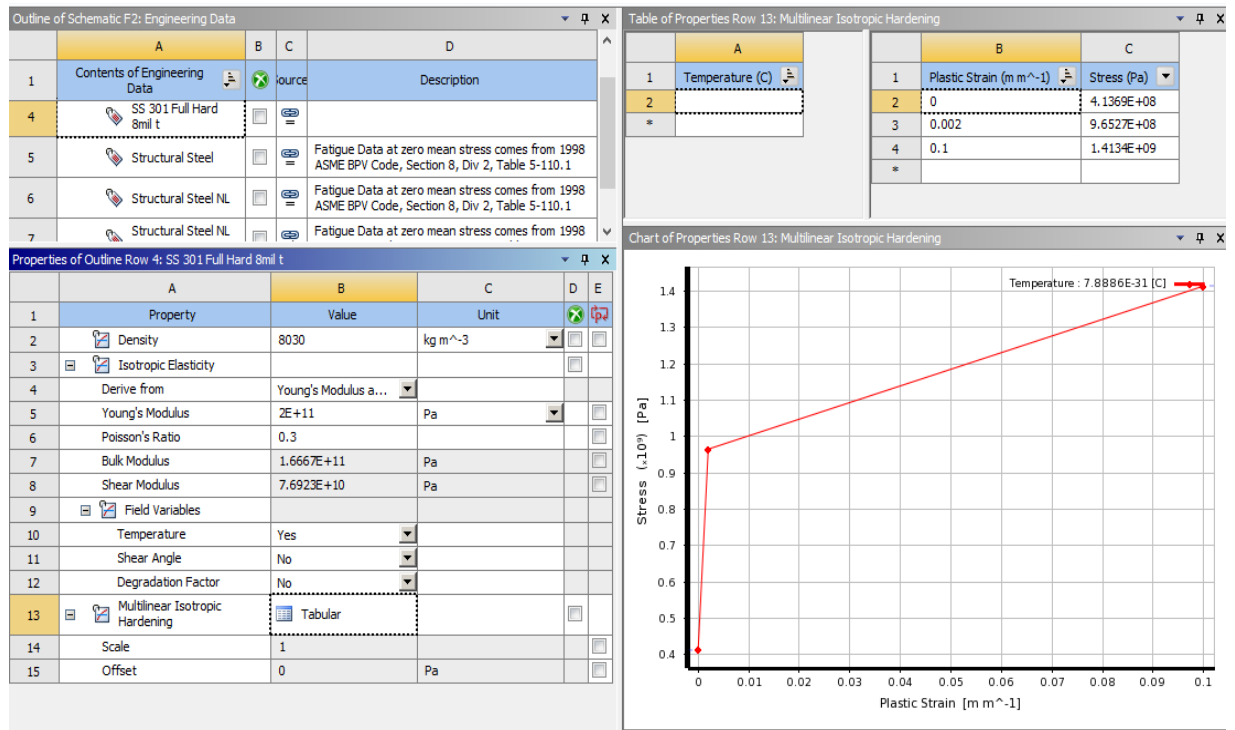


Figura IV.7.- Datos de propiedades mecánicas del acero 301 SS alta dureza.

IV.3.2.- Aplicación de desplazamientos y soportes.

Para este análisis se estableció que al dado de nervado superior se le aplicará un desplazamiento en el eje Y tabulado conforme al tiempo determinado de aplicación (Figura V.8).

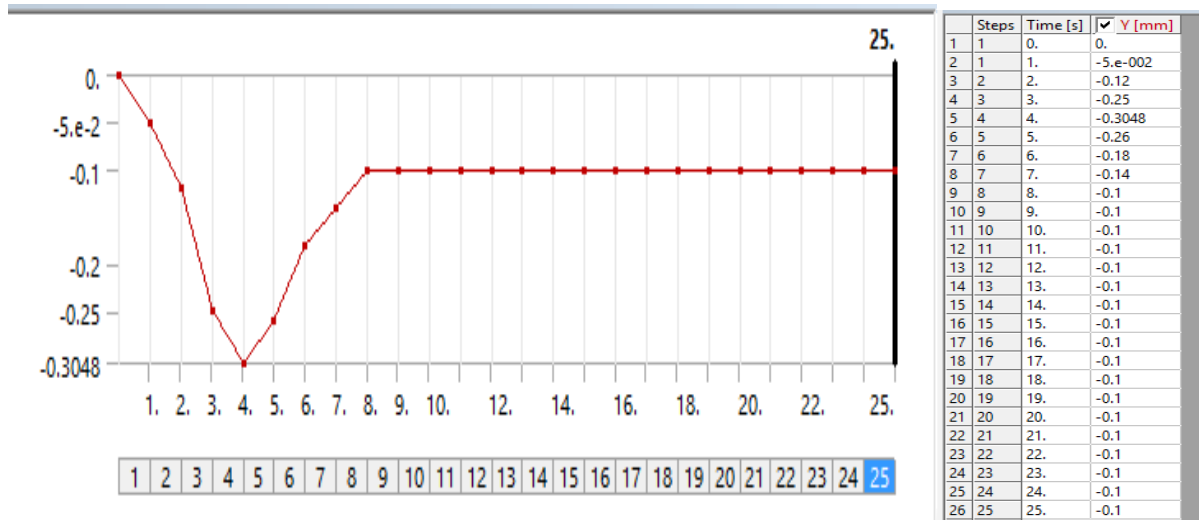


Figura V.8.- Tabla de desplazamientos conforme a tiempo determinado.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Además se agregó un soporte fijo (fixed support) en la superficie inferior del dado de nervado inferior simulando que efectúa la acción de la platina inferior de la máquina que soporta las cargas producidas por la acción del trabajo de la prensa (Figura IV.9).

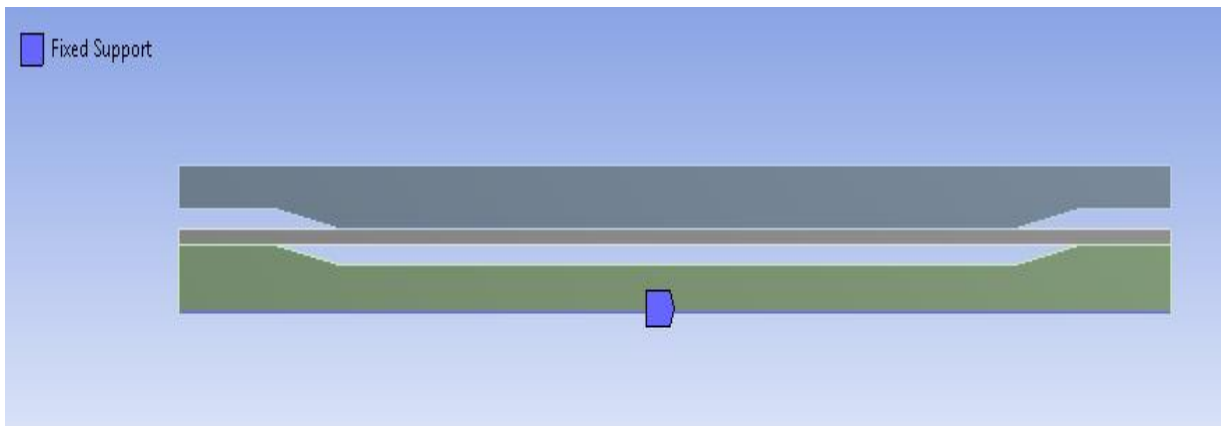


Figura IV.9 – Soporte fijo para el análisis del proceso de nervado.

IV.4.- Solución de modelo.

En esta etapa se definen los resultados que deseamos obtener de nuestro análisis y se activa la solución.



Es importante conocer el comportamiento de un elemento mecánico y su diseño en función de las cargas externas que se le aplican y sus propiedades mecánicas.

Muchos materiales, cuando son utilizados para alguna función, están sometidos a fuerzas o cargas, en tales situaciones es necesario conocer las características del material y diseñar las piezas de tal manera que cualquier deformación resultante no sea excesiva y no se produzca la rotura, las propiedades mecánicas y el comportamiento del material reflejan la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material (o sea su deformación).

IV.4.1. Concepto de esfuerzo y deformación.

Si una fuerza o carga cambia de forma relativamente lenta con el tiempo y es aplicada uniformemente sobre una sección o superficie de una pieza el comportamiento mecánico del material puede ser estimado mediante un ensayo esfuerzo deformación, por lo cual para obtener esta relación se realiza solamente experimentalmente mediante ensayos en laboratorios.

La alteración de la forma y dimensiones de un cuerpo como resultado de los esfuerzos se denomina deformación.

Los esfuerzos de tensión causan en la pieza una elongación perpendicular a su propia dirección, mientras que los de compresión dan lugar a una contracción.

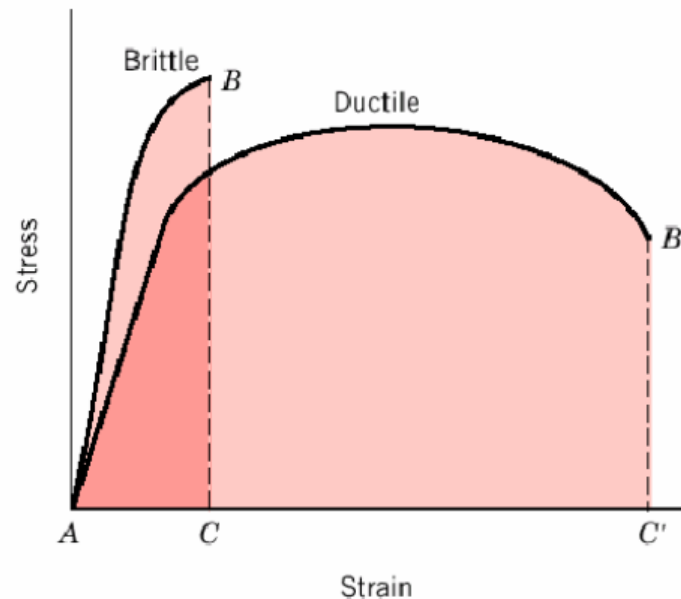


Figura IV.10 – Representación esquemática de los diagramas de tracción de materiales frágiles y dúctiles ensayados hasta la fractura.

En la (Figura IV.10) se puede observar la forma general de la curva Tensión-deformación de un material dúctil (como el acero) y uno frágil (como el Hormigón) se ve que los materiales dúctiles se rompen después de experimentar una deformación apreciable, mientras que los materiales frágiles rompen después de pequeñas deformaciones.

Deformación total: Se refiere al cambio de las dimensiones de un elemento estructural debido a que se encuentra sometido a cargas externas.

Deformación direccional en el eje Y. Se refiere a la deformación que se presenta en el sentido del nervado.

Esfuerzos máximos: Es la máxima cantidad de esfuerzo que el material puede soportar a partir de esta magnitud la probeta comienza a deformarse a un ante la aplicación de cargas menores.

Esfuerzos cortantes: es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal.

Esfuerzos residuales: Los esfuerzos residuales se pueden definir como los esfuerzos que se generan en un componente después de su fabricación, procesamiento o ensamble. Estos esfuerzos se inducen dentro del material cuando se transforma de materia prima a un producto final, permanecen aún en ausencia de cargas externas y gradientes térmicos, se les conoce también como esfuerzos internos o esfuerzos inducidos generalmente son el resultado a la aplicación de una deformación plástica no homogénea, que puede ser consecuencia de un sin fin de procesos de manufactura [Treuting y Read,1950],[masubuchi,1980 y Mordfin,1992].

Los esfuerzos residuales se encuentran en equilibrio estático, es decir, el total de fuerzas presentes en la sección transversal de un cuerpo es cero, los esfuerzos residuales son inducidos en un material cuando se deforma permanentemente (Figura IV.10).



Figura IV.10a– Esfuerzos residuales generados en el proceso de conversión del material.

IV.5 Análisis de Resultados.

En esta etapa se evalúan los resultados del análisis realizado y sus observaciones.



Deformación total.

Esta es la deformación total en el dado superior, lámina de acero inoxidable y dado inferior. Se observa una deformación total de 0.27143mm de la lámina de acero inoxidable (Figura IV.11).

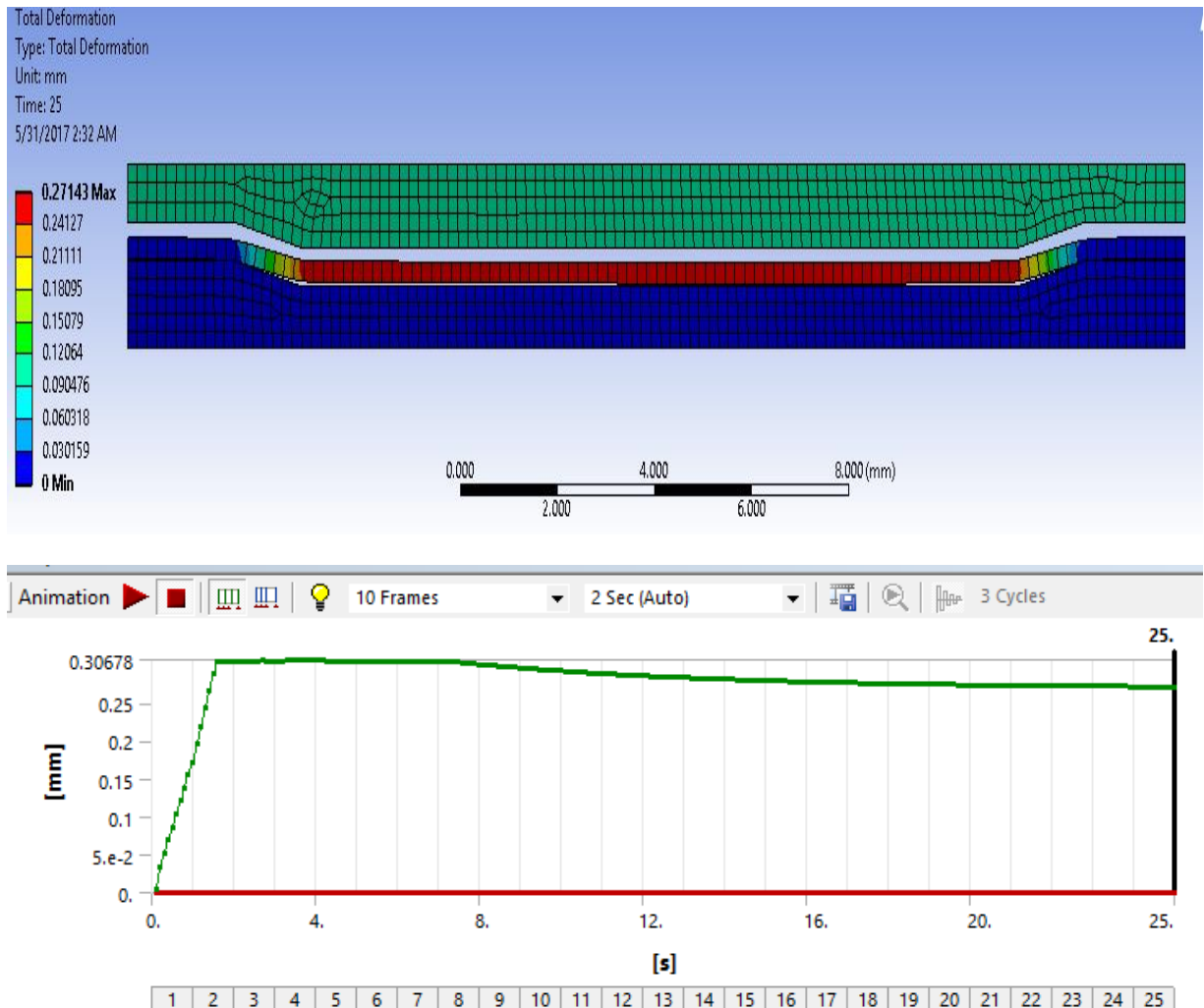


Figura IV.11 – Deformación total.

Deformación direccional eje Y (Directional Deformation).

Esta es la deformación direccional en el eje Y, verticalmente en la cara superior de la lámina el efecto de la recuperación elástica del material es visto más claro en ambas líneas verde y roja en la parte inferior de la gráfica. Observa una deformación remanente de 0.27137mm. (Figura IV.12).

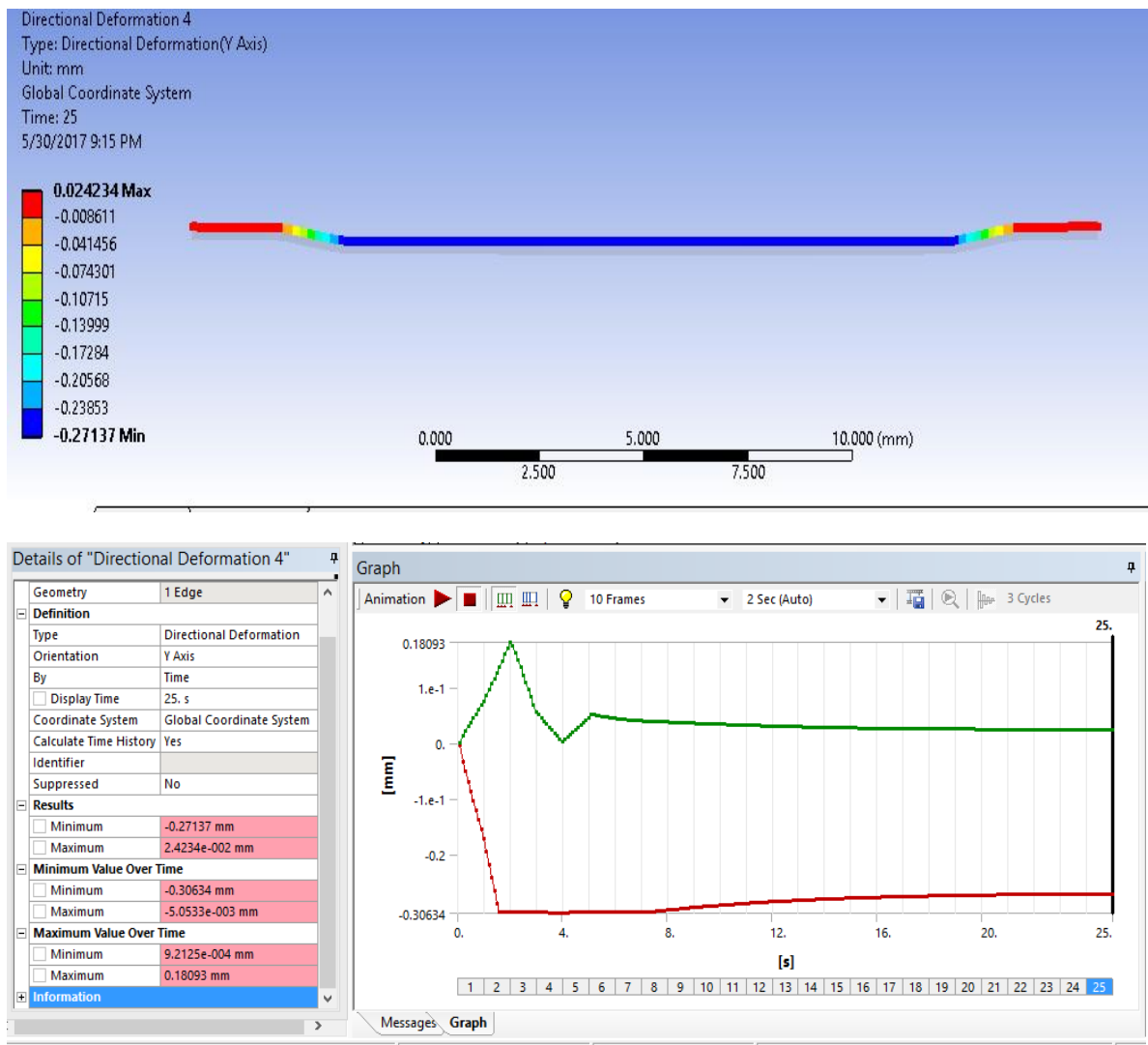


Figura V.12.- Deformación Direccional.

Esfuerzos equivalentes. (Equivalent Stress Von -Mises).

Este es el esfuerzo en la lámina de acero inoxidable observa esfuerzos residuales de 292.51 MPa durante la plasticidad (Figura IV.13).

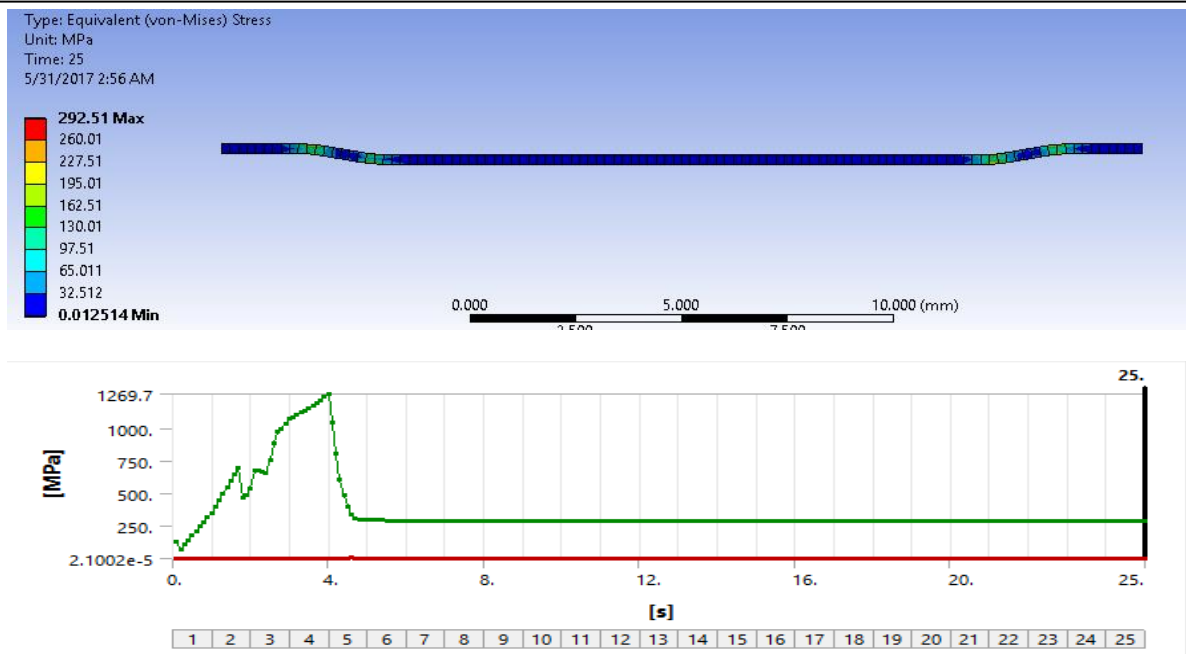


Figura IV.13.- Esfuerzo equivalente.

Esfuerzo principal Máximo.

Son los esfuerzos normales a tensión (Figura IV.14).

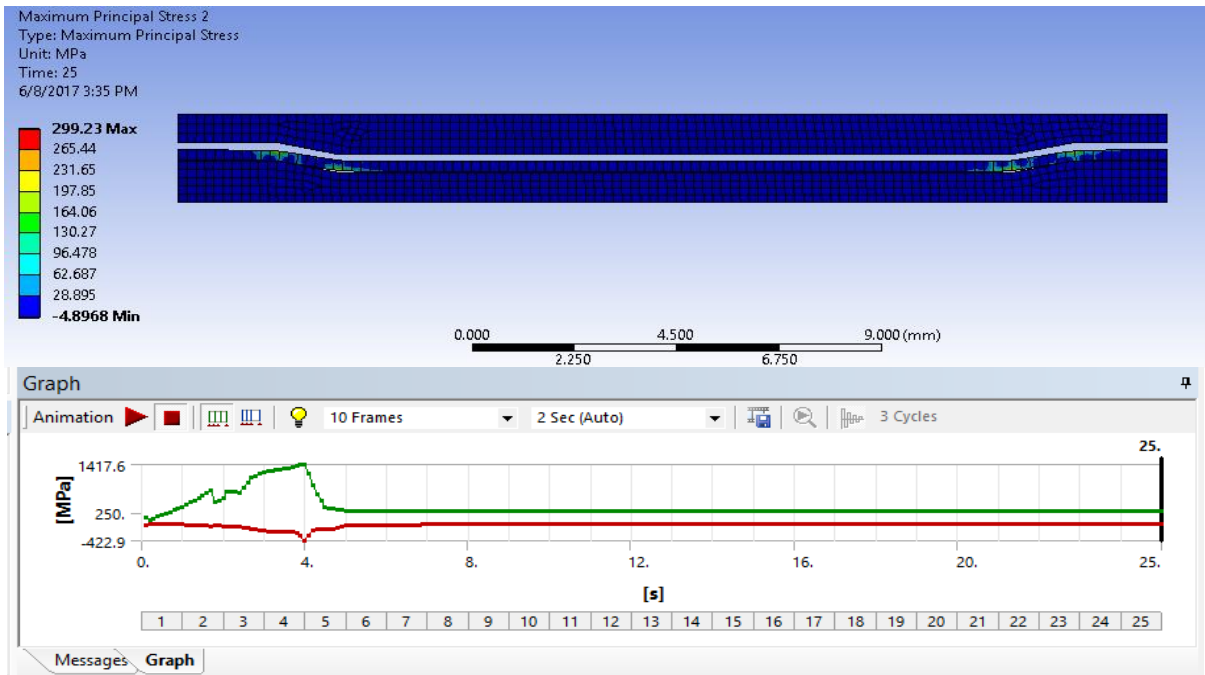


Figura IV.14.- Esfuerzo principal máximo.

Esfuerzo principal mínimo.

Son esfuerzos normales a compresión (Figura IV.15).

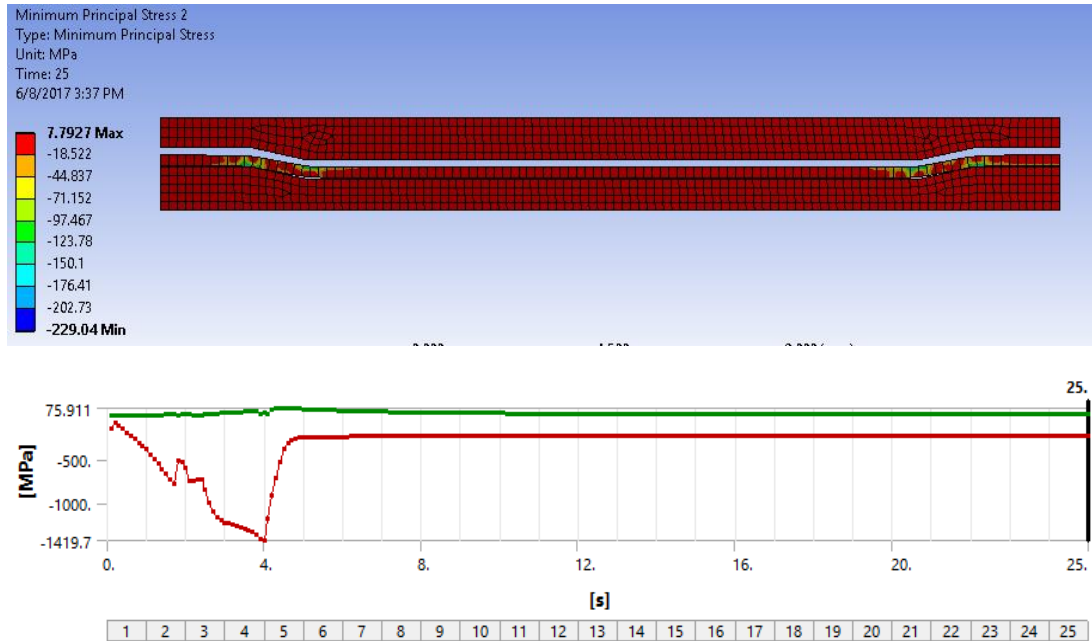


Figura IV.15.- Esfuerzo principal mínimo.

Esfuerzo cortante.

Son los esfuerzos que producen las fallas en los materiales (Figura IV.16).

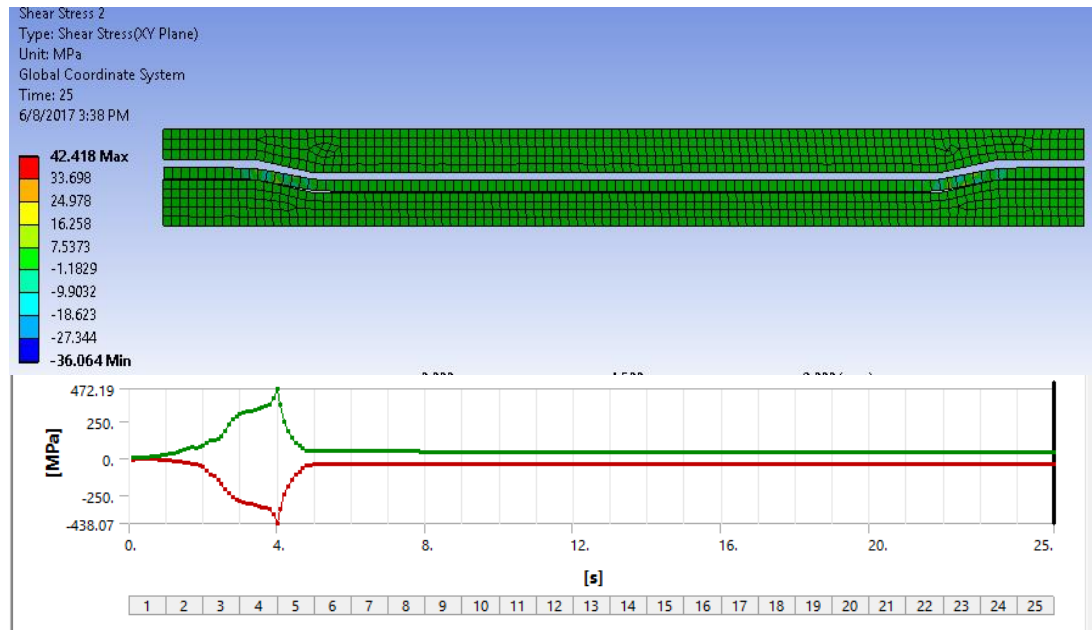


Figura IV.16.- Esfuerzo cortante.

IV.6.- Propuesta de mejora del diseño de los dados del proceso de nervado para una junta de cabeza tipo MLS.

IV.6.1.- Introducción.

Debido a las necesidad de mejorar la calidad de la fabricación de las juntas de cabeza de motor MLS y la importancia que tiene la altura de los nervados en la misma además de los problemas descritos al inicio de este capítulo se propone modificar el diseño de los dados eliminando el ángulo de los dados para concentrar la carga en los puntos iniciales de los nervados y obtener un mejor control dimensional.

Para la realización del análisis por Método de Elemento Finitos se siguieron las mismas etapas que el anterior.



IV.6.2. Bases de Análisis.

Para iniciar el análisis de la junta de motor se utilizó el mismo plano de producto. (Figura IV.3). Y se tomaron las mismas consideraciones que el primer análisis solo con la variante de la forma de los dados de nervado (Figura IV.17).

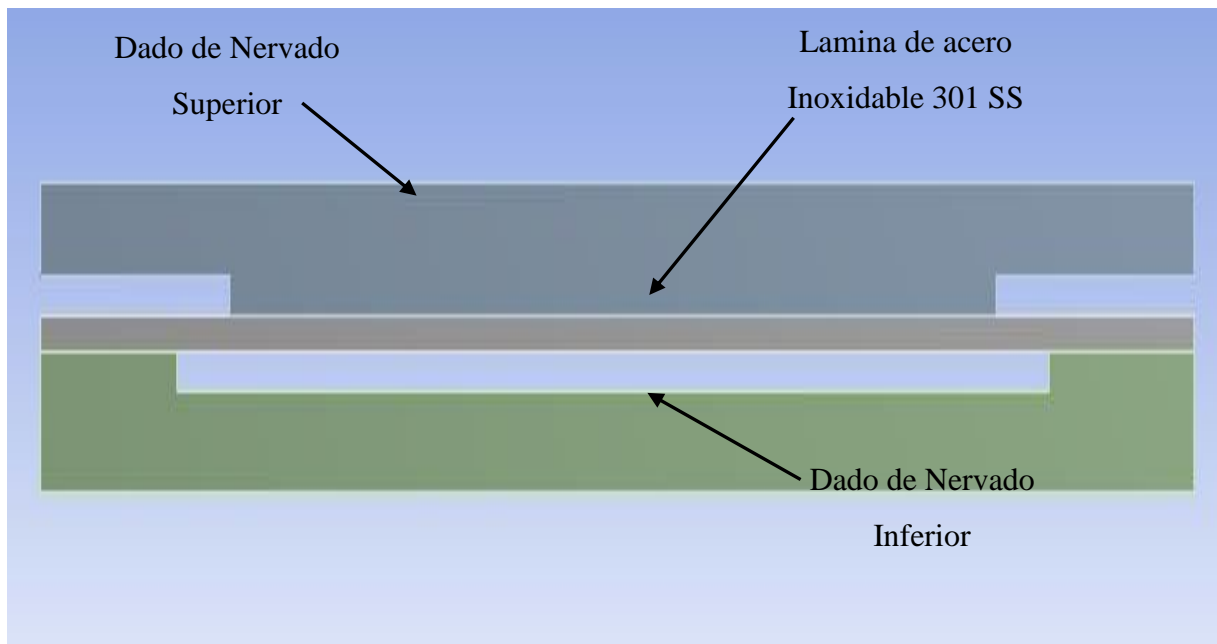


Figura V.17.- Modelo de troquel de nervado para el Análisis de elemento finito.

Se define un análisis estructural transitorio, se propone eliminar los ángulos y se consideró 0.012” de altura total ya que la altura requerida en el plano de producto es de 0.010” (Figura IV.18).

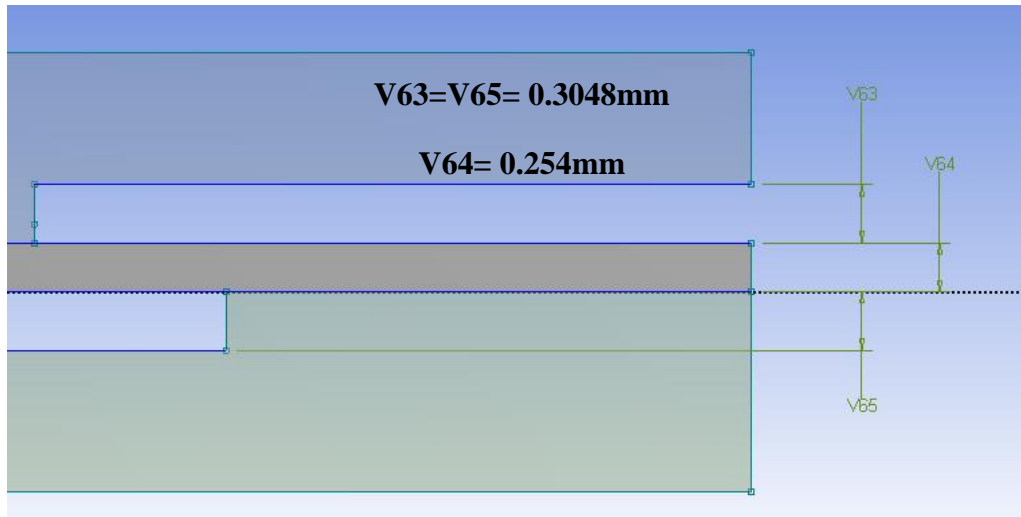


Figura V.18- Dimensiones de altura de dados de nervado.

IV.6.3.-Pre proceso.



Se estableció un discretizado solo con el número de elementos necesarios para obtener resultados confiables, considerando las reglas de discretizado. Los elementos son de 0.2mm de tamaño y por tratarse de un modelo bidimensional se utilizaron elementos cuadrados y triangulares (Figura IV.19).

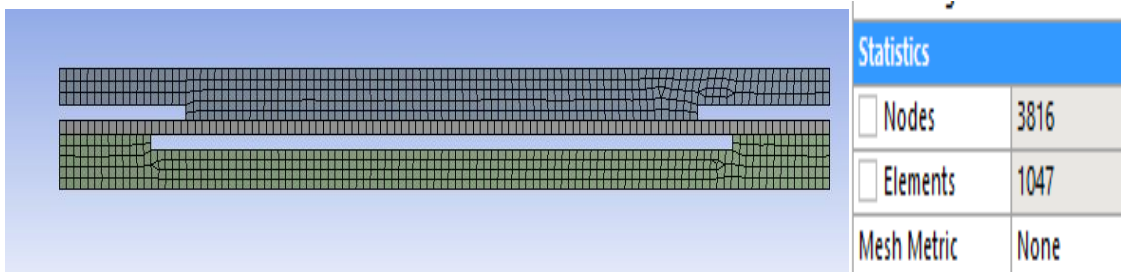


Figura IV.19.- Discretizado de modelo bidimensional de dados Nervadores y lámina.

V.6.4.- Propiedades de la pieza de trabajo y de los materiales de la herramienta.

se consideran las mismas propiedades mecánicas del material de la junta de cabeza de motor tipo MLS y su gráfica de esfuerzo – deformación del caso anterior (Figura V.7).

IV.6.5.- Aplicación de desplazamientos y soportes.

Se utilizó la misma grafica de desplazamientos conforme al tiempo (Figura IV.8), así como la del soporte fijo en el dado de nervado inferior (Figura IV.20).

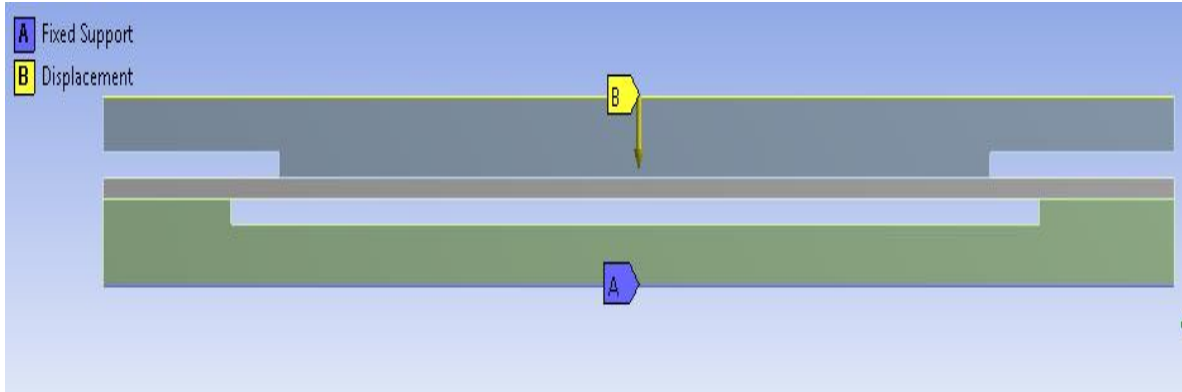


Figura IV.20 – Soporte fijo y aplicación de carga para el análisis del proceso de nervado.

IV.6.6.- Solución de modelo y Análisis de Resultados.

Dentro de los resultados que se requieren se toman los mismos solicitados en el análisis anterior.

Deformación total.

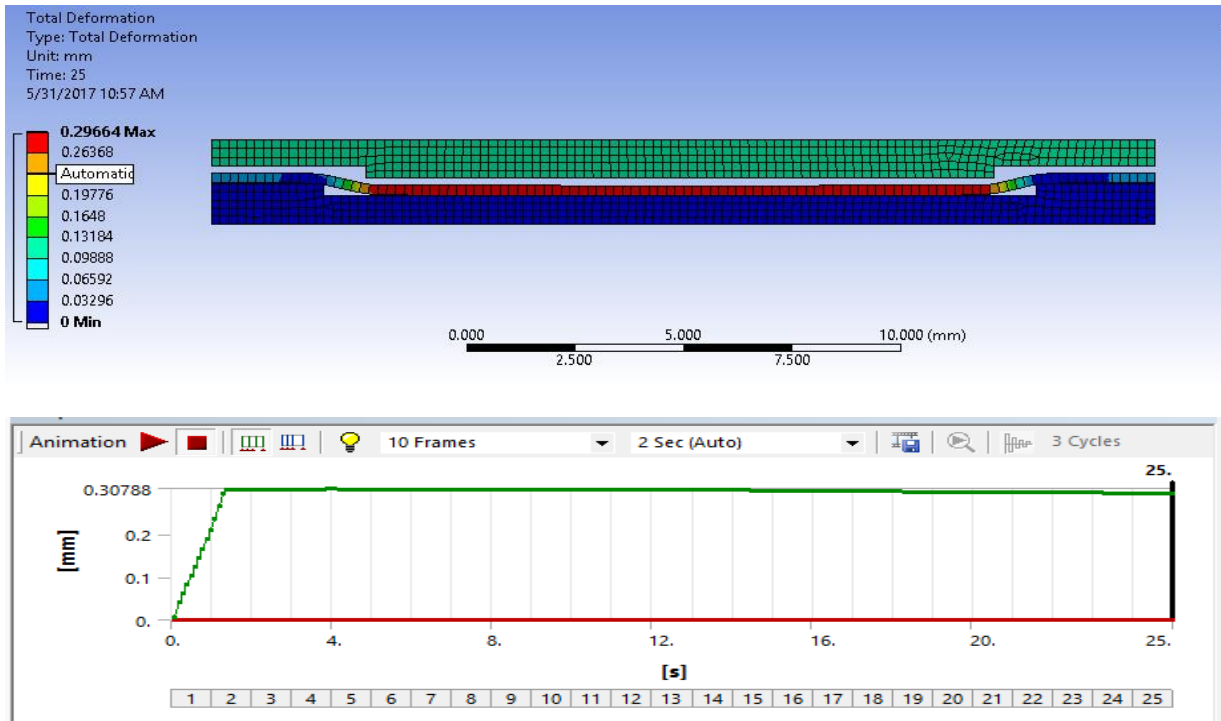


Figura IV.21.- Deformación total.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

Esta es la deformación total en el dado superior, lámina de acero inoxidable y dado inferior Se observa una deformación total de 0.29664mm de la lámina de acero inoxidable (Figur IV.21).

Deformación direccional eje Y (Directional deformation).

Esta es la deformación direccional en el eje Y, verticalmente en la cara superior de la lámina el efecto de la recuperación elástica del material es visto más claro en ambas líneas verde y roja en la parte inferior de la gráfica. Observa una deformación remanente de 0.2965mm (Figura IV.22).

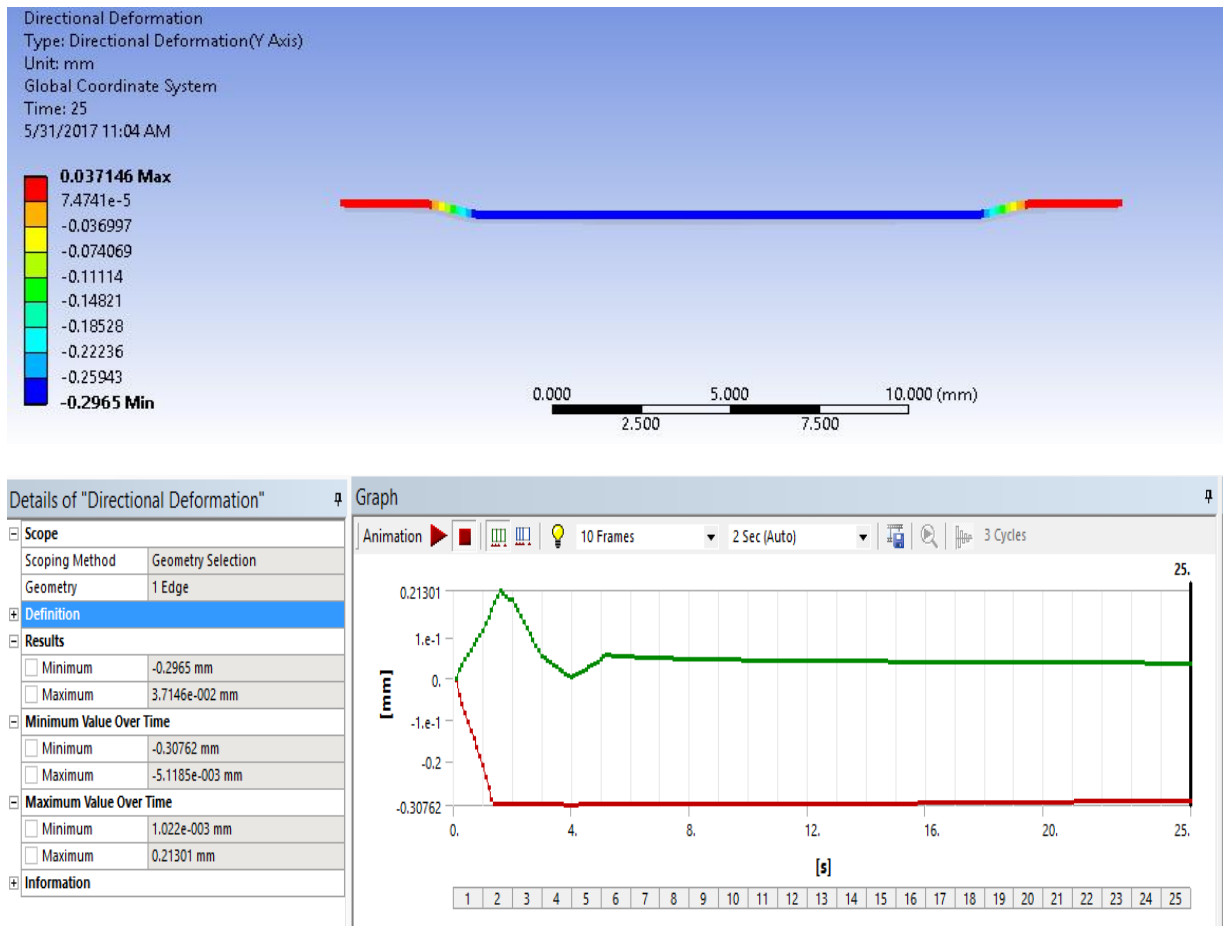


Figura IV.22.- Deformación Direccional.

Esfuerzos equivalentes. (Equivalent Stress Von -Mises).

Este es el esfuerzo en la lámina de acero inoxidable al último segundo/paso observa esfuerzos residuales de 291.01MPa durante la plasticidad (Figura IV.23).

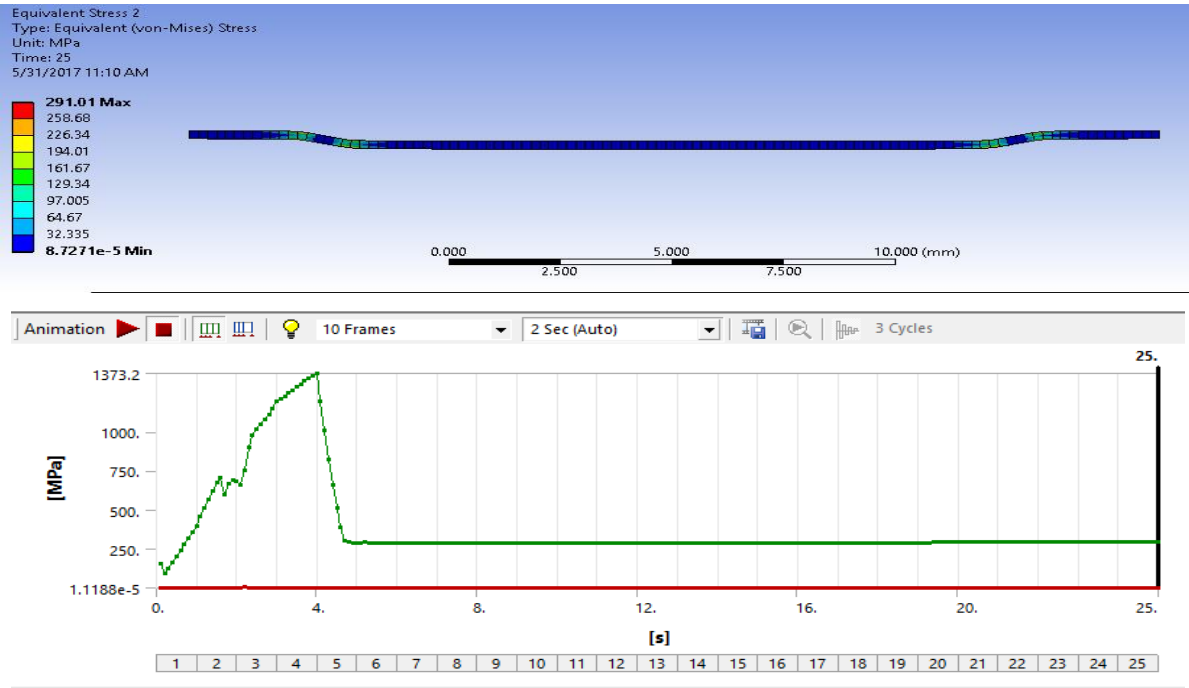


Figura IV.23.- Esfuerzos equivalentes (Von Mises).

Esfuerzo principal Máximo.

Son los esfuerzos a tensión (Figura IV.24).



Figura IV.24.- Esfuerzos equivalentes (Von Mises).

Esfuerzo principal mínimo.

Son los esfuerzos a compresión (Figura IV.25).

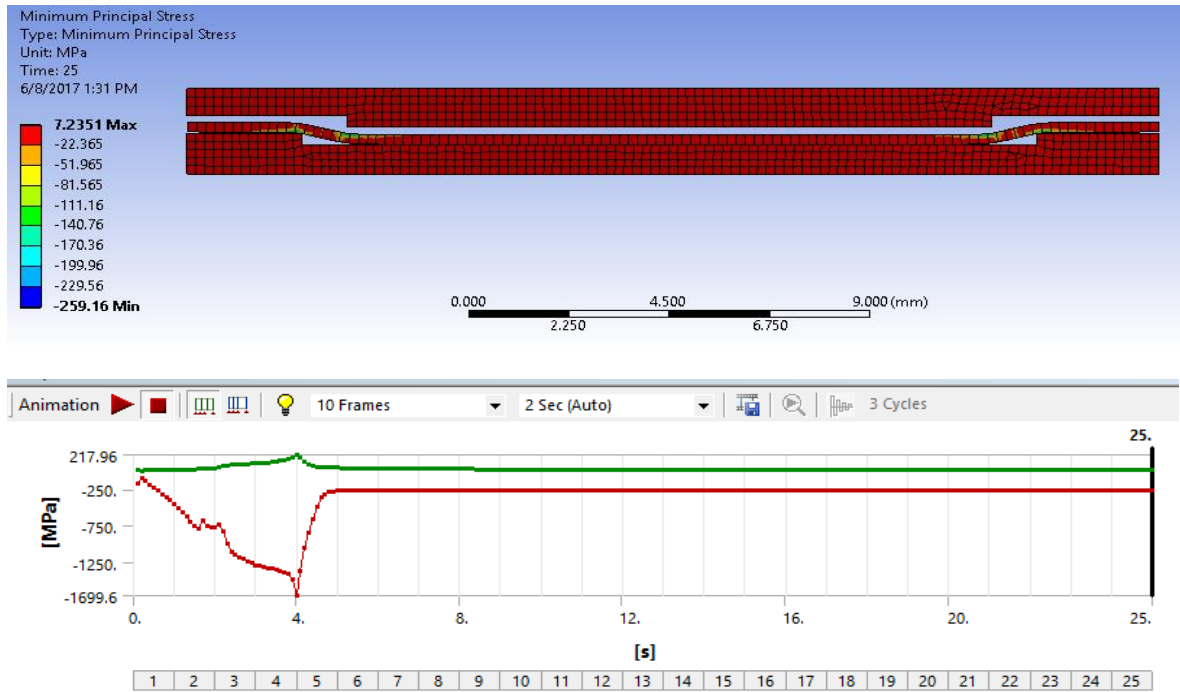


Figura IV.25.- Esfuerzo principal Mínimo.

Esfuerzo cortante.

Son los que causan las fisuras en los materiales (Figura IV.26).

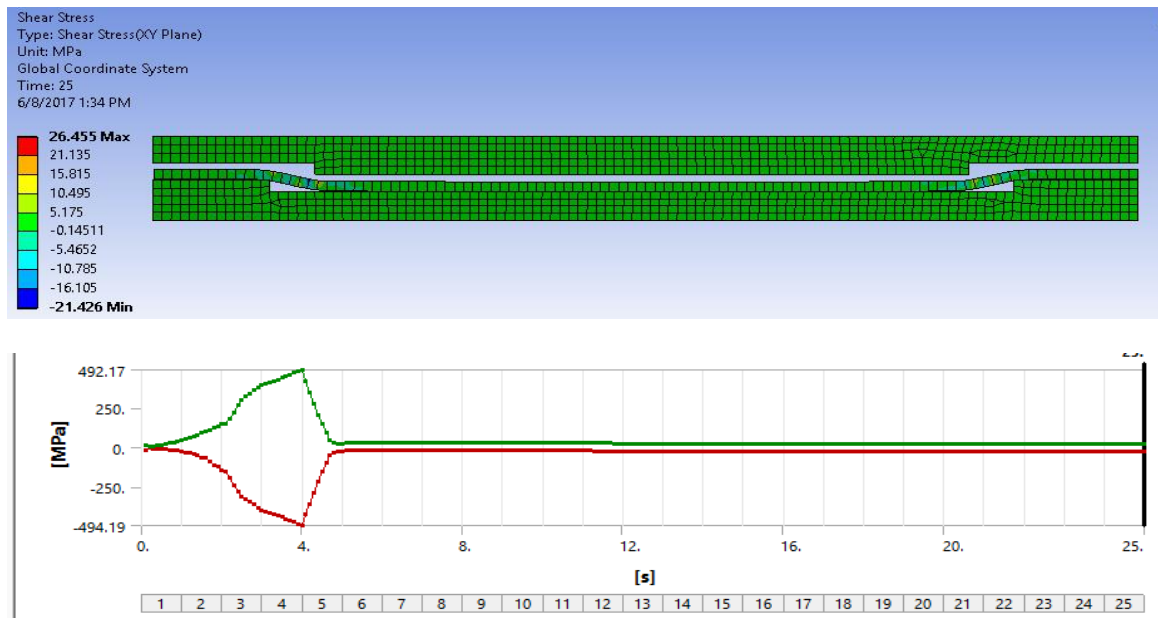


Figura IV.26.- Esfuerzo Cortante.

IV.7.-Comparación de resultados de análisis diseño actual- Diseño Propuesto.

La deformación total de los elementos muestran que en el diseño propuesto se mantiene un mejor comportamiento dimensional debido a que la acción de recuperación de material es menor que en el diseño actual mejorando con ello la calidad de la pieza y el control de la fabricación del producto, ya que se ha mencionado que la altura de los nervados es muy importante para el funcionamiento final de la pieza (.Figura IV.6.1). Si se considera que la tolerancia marcada en el plano (ver figura IV.3). Indica que las dimensiones son de 0.009” (0.228mm) a 0.012” (0.3048mm) y los valores resultantes para el diseño actual están sobre el límite inferior de tolerancia y los del diseño propuesto tienden hacia la media de la tolerancia. Es importante considerar que el objetivo de este análisis es asegurar la dimensión de altura de nervado en un sistema controlado de proceso (Figura IV.27).

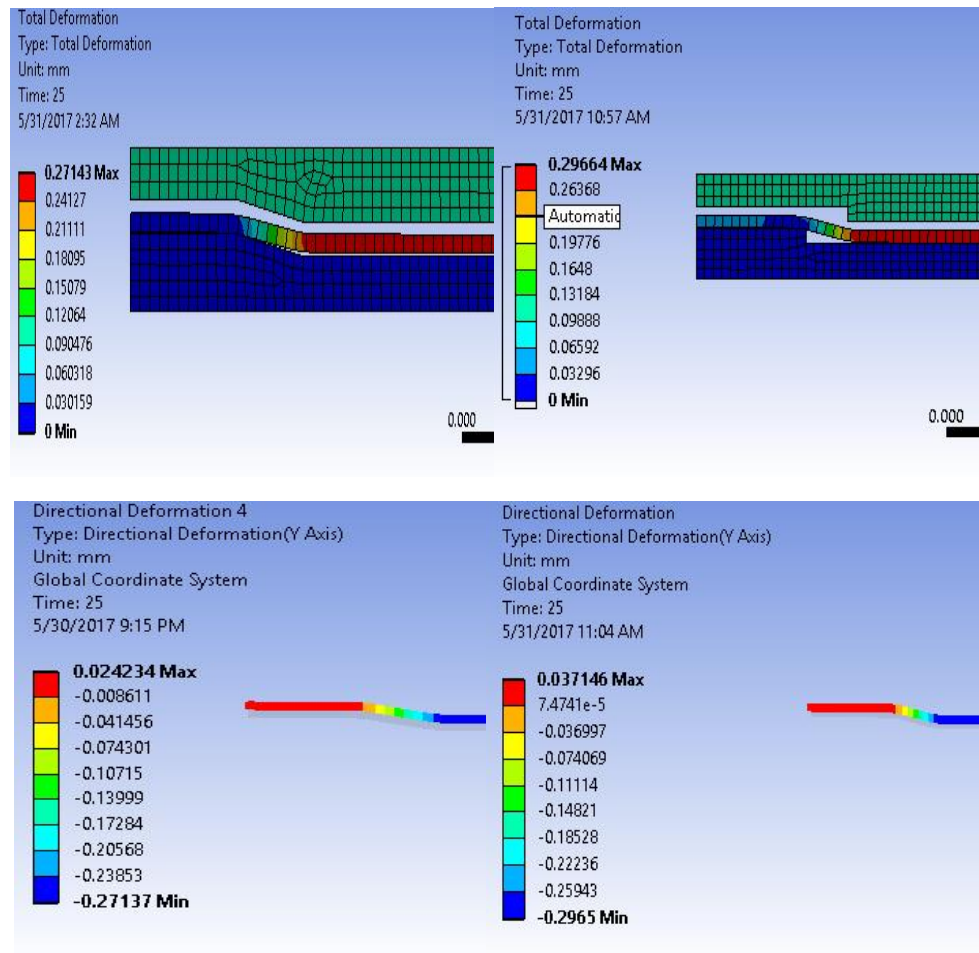


Figura IV.27 – Comparación de resultado deformación total y deformación direccional.

Con respecto a los Esfuerzos equivalentes. (Equivalent Stress Von -Mises) Se observa una disminución de los esfuerzos residuales generados por el trabajo en frio al que ha sido sometido el material de la Junta de motor de hasta 1.5 MPa, esto indica que al disminuir los esfuerzos residuales la probabilidad de falla del material por fatiga, debido a estos esfuerzos disminuya además de retrasar la aparición de fisuras (Figura IV.28).

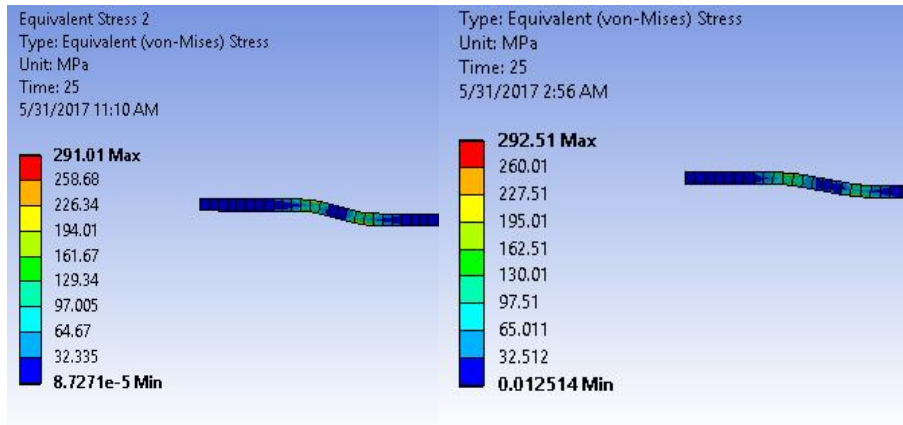


Figura IV.28 – Esfuerzos equivalentes (von-Mises).

Se observa que en la forma de los dados propuestos existe un mayor esfuerzo en el punto 4 que es el de mayor desplazamiento, por lo tanto los esfuerzos principales son mayores y ambos sobrepasan el límite elástico del material, al retirar poco el dado superior se reduce el esfuerzo máximo en ambos casos, obteniendo así un menor esfuerzo en los dados con el diseño propuesto (Figura IV.29).

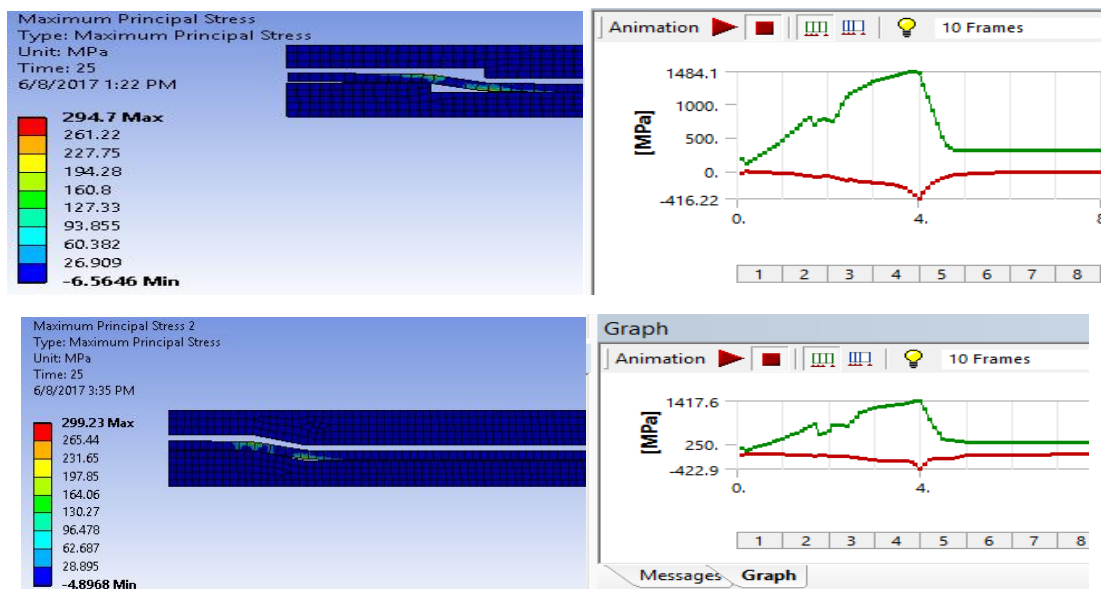


Figura IV.29 – Esfuerzos Principales Máximos.

Según la teoría de los esfuerzos principales mínimos, estos actúan en sentido contrario a los esfuerzos principales máximos. En compresión se observa que ha una mínima variación en los resultados en el punto 4. En ambos casos se supera el valor del punto de fluencia, tabulado en la gráfica esfuerzo-deformación del material de acero tipo 301 alta dureza (Figura IV.30).

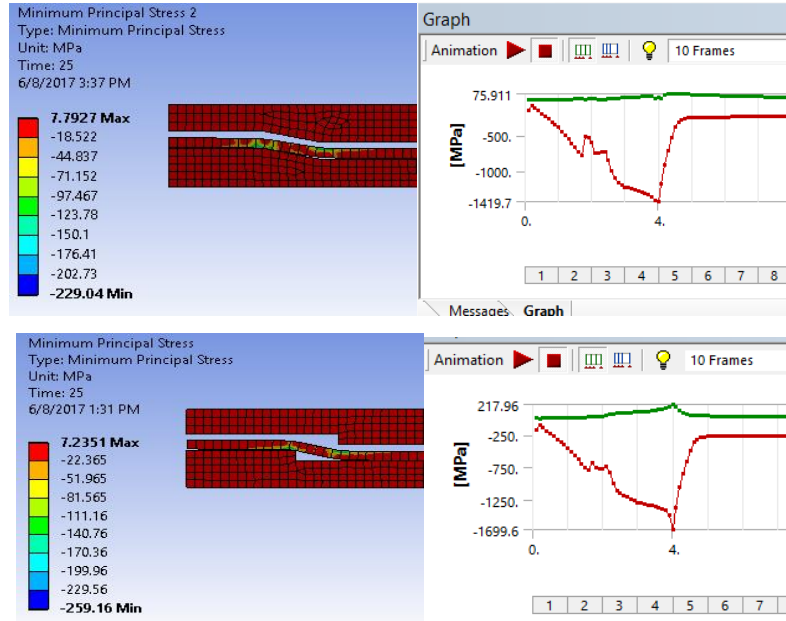


Figura V.30 – Esfuerzos Principales Mínimos.

Los esfuerzos cortantes que actúan en las caras para ambos casos no rebasan los establecidos en las propiedades del material, al eliminar los desplazamientos disminuyen los esfuerzos residuales observándose menores en el diseño de dados propuestos (Figura IV.31).

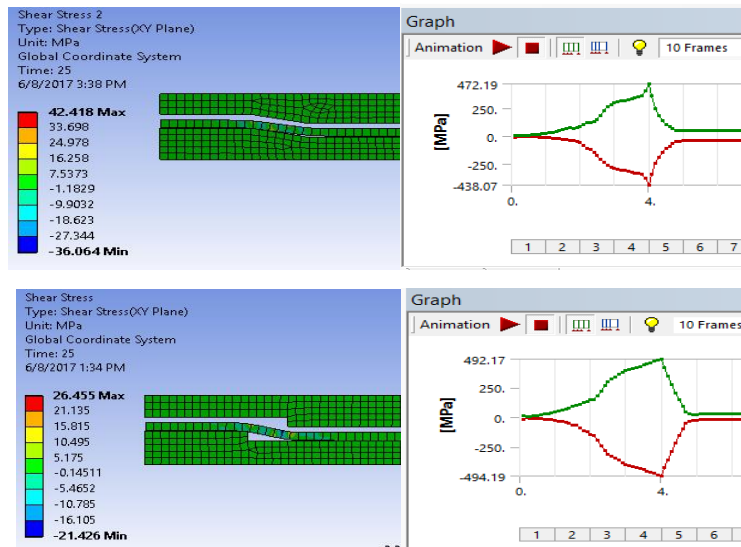


Figura IV.31 – Esfuerzos cortantes

IV.8.-Ventaja de fabricación de los dados Nervadores con diseño propuesto.

Dentro del análisis de diseño propuesto de los Dados Nervadores se observa una gran ventaja con respecto a su fabricación, debido a que no tienen ángulo en cada una de las esquinas, el tiempo de maquinado se reduce notoriamente hasta un 40% logrando con esto una disminución en el costo de fabricación y tiempos de Maquinado (Figura IV.32).

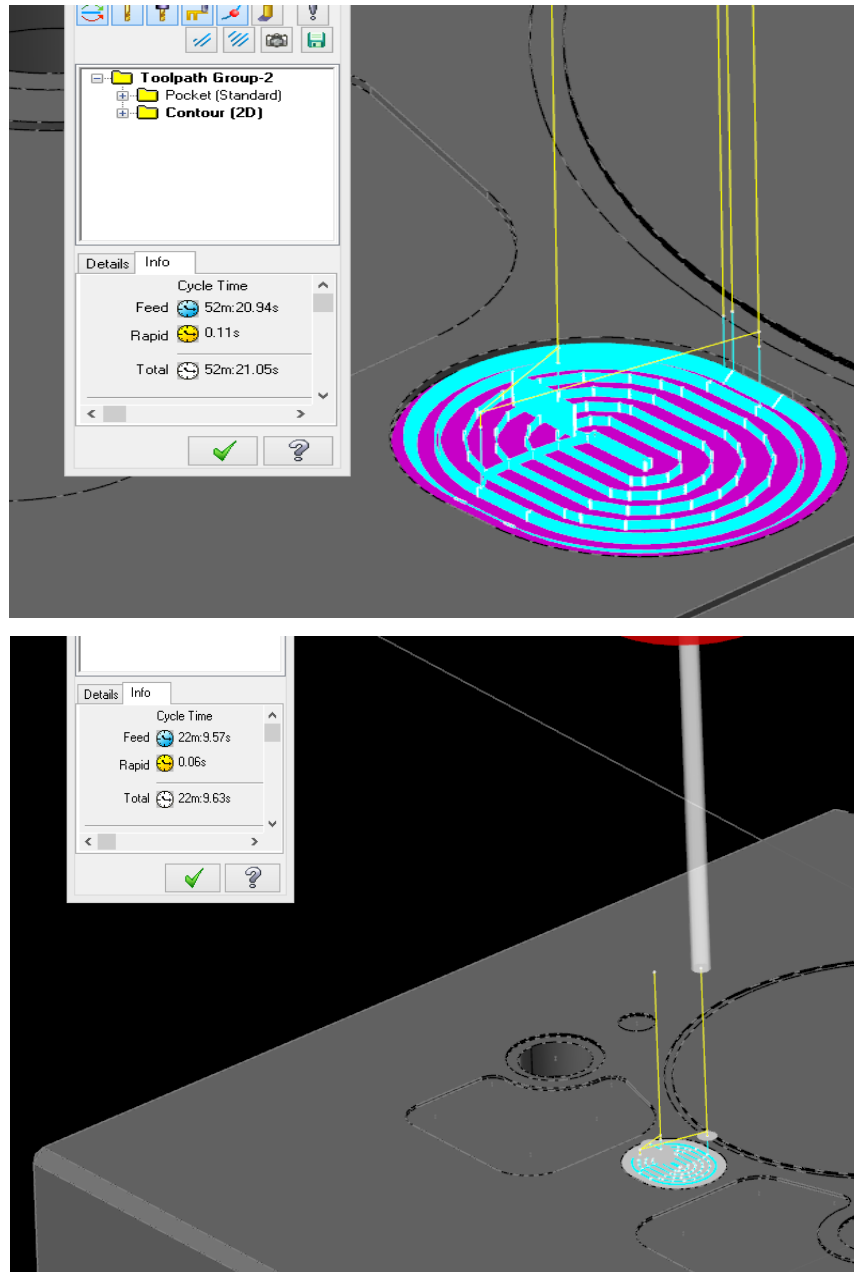


Figura IV.32 –Maquinado en menor tiempo.

IV.9.- Fabricación de prototipo de una Junta de cabeza tipo MLS.

Con los resultados obtenidos en el análisis por elemento finito se realizó un prototipo de dados nervadores considerando una sección de la forma propuesta (Figura IV.33).



Figura IV.33 –dados Nervadores prototipos.

Se procedió a fabricar piezas prototipos para analizar los resultados de altura de nervados en la Junta, obteniendo las alturas de nervado en las dimensiones indicadas en el plano de producto (.010 a .012”) y con una forma homogénea (Figura IV.34).



Figura IV.34 –Junta Nervada con dados prototipo.

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

IV.10.- Sumario.

En este capítulo se desarrolló primero una introducción sobre los motivos por los cuales se realizó el presente trabajo, además de los pasos para realizar un análisis por medio del método de elemento finito, algunas definiciones que ayudarían a comprender mejor los resultados de los análisis, un comparativo de los resultados que se obtuvieron del análisis del diseño actual con el diseño propuesto, así mismo, la ventaja de maquinar de la forma propuesta los dados Nervadores con el consecuente ahorro de tiempo de maquinados y finalmente el resultado del troquel prototipo.

IV.11. - Referencias

- IV.1.-**Messner, A., Engel, U., Kals, R., and Vollertsen, F. (1994) Size Effect in the FE Simulation of Microforming Processes. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 33, no. 1-2, p.75.
- IV.2.-**Wu, W., Oh, S.I., Altan; T., and Miller, R.A. (1992) Optimal Mesh Density Determination for the FEM Simulation of Forming Processes. NUMIFORM 92. September 14-18 1992. France
- IV.3.-** *Propiedades Mecánicas de los Materiales*

CONCLUSIONES

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se presentó de una manera cronológica los avances tecnológicos relevantes presentes a través de la historia, particularmente al surgimiento de las máquinas y su importancia, hasta la aparición del motor de combustión interna, además de mencionar el desarrollo de las primeras juntas de máquinas, hasta las actuales y variadas juntas de motor que se tienen con diferentes tipos de materiales y para cada aplicación específica la relevancia que tiene el escoger el material adecuado para la función que el producto va a desempeñar.

Con el avance de la industria automotriz, en lo referente a la innovación tecnológica, que genera que cada día se requiera que los conocimientos de los ingenieros de la función que realizan los componentes de los automóviles sea perfectamente comprendida, a fin de minimizar cualquier posible falla potencial de las partes, debido a omisión o desconocimiento de sus características principales, es por ello que en esta investigación se estudiaron las funciones que lleva a cabo una Junta de cabeza de motor, los diferentes tipos de juntas que hay según su ubicación en los motores y el conocimiento del comportamiento mecánico además de la teoría de sellado, que permitieron el desarrollo de las Juntas de cabeza tipo MLS.

Para cubrir las necesidades de sellado de un motor, la junta contiene diversos elementos de sellado como los sellos nervados, los cuales, sellan anticongelante y pasajes de aceite. El sello de combustión es usualmente una combinación de dos elementos; El limitador, el cual crea la primer línea de sellado. El nervado completo, el cual define la segunda línea de sellado del sello de combustión. Los sellos nervados son creados basados en la estructura y tipo del motor, Estos elementos de sellado solo pueden formar un sello macro debido al acabado superficial de los componentes del motor (cabeza del motor y bloque de cilindros). Por lo tanto, un recubrimiento superficial es utilizado para crear el micro sellado entre las superficies de contacto *NBR* (Hule Nitrilo Butadieno). El cual es más ligero que los sellos metálicos. El recubrimiento tiene la capacidad de adaptarse a las imperfecciones de la superficie y mantener un sello en esas regiones de contacto, el macro sellado es debido al rígido comportamiento de

Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable generadas en su proceso de nervado por medio del Método de Elemento Finito

los nervados, debido a lo anterior, sabemos la importancia que tienen el nervado en la función de la junta.

Los costos de los materiales que conforman una junta para motor, inciden directamente en los precios que el usuario final debe pagar por ésta, lo cual genera la necesidad de trabajar en mejoras a proceso, negociación de precios de materia prima, pero sobre todo en el desarrollo de materiales que además de cumplir este importante rubro, sean parte del acervo tecnológico de las empresas.

Si concluimos que la altura de los nervados y el recubrimiento de elastómero NBR (Hule Nitrilo Butadieno) de las juntas de cabeza son de vital importancia para realizar el sellado en los motores, por lo cual su proceso de fabricación toma gran relevancia.

Al realizar el análisis del proceso de nervado, se encontró que se podrían hacer mejoras al proceso, lo cual se logró al realizar el proceso de recubrimiento de elastómero, después de haber realizado las operaciones de troquelado y nervado, logrando así eliminar los defectos de falta de recubrimiento en las zonas de corte de la lámina, la apariencia del producto final sin manchas y la junta sin deformaciones que ocasionan que las partes planas de la junta se vean afectadas con ello se obtuvo una junta de mayor calidad para el usuario final.

Al realizar la simulación numérica de procesos se demostró que asiste al ingeniero para establecer y optimizar las variables del proceso y el diseño del herramental, como resultado el tiempo y costos de desarrollo se reducen. Al realizar simplificaciones basadas en suposiciones las simulaciones pueden proporcionar la información de diseño requerida en una fracción de tiempo necesario por una simulación detallada, en un futuro será posible analizar el proceso de manufactura por completo en la computadora, esto permitirá a los diseñadores incluir los esfuerzos residuales y el flujo de grano en su análisis de diseño.

La simulación de procesos también permite a través del uso de casos resueltos en la misma compañía en entrenamiento de ingenieros novatos tanto en proceso como en la tecnología de simulación.

El cambio y la innovación en el sector automotriz es siempre una constante para toda la cadena de cliente-proveedor, por lo cual con base en la necesidad de diversificar la aplicación de productos, manteniendo y mejorando el desempeño de los mismos con costos competitivos, se puede desarrollar la manufactura de un material con base de acero inoxidable y el proceso de recubrimiento de elastómero utilizado para formar el cuerpo de una junta de motor. Este último con el involucramiento de un fabricante nacional para contribuir al desarrollo tecnológico de las empresas mexicanas.

La necesidad específica de enfocarse en estos procesos, es debido a que las empresas que compiten en el mercado de las Juntas de cabeza para equipo original y para el mercado de repuesto (Aftermarket), cuentan con un producto cuyo acabado superficial es atractivo y útil para el usuario final, aspecto que comercial y tecnológicamente es importante para ingresar o mantenerse en nuevos nichos de mercado con productos menos convencionales.

Al realizar el análisis de la junta en su proceso de nervado por medio del método de elemento finito se revisaron dos diferentes formas de dados nervadores con la finalidad de saber cuál forma sería la más adecuada para producir las juntas de cabeza, encontrando que la mejor es la forma a 90 grados ya que según los resultados se generan menores esfuerzos residuales en la pieza los cuales no afectan su funcionamiento así como los esfuerzos cortantes máximos y mínimos, así mismo al producirse la deformación de la lámina en este caso la recuperación elástica es menor logrando con ello poder controlar la altura de los nervados en sus tolerancias especificadas en los planos.

Al realizar la fabricación de los prototipos de los dados se encontró que la forma propuesta de dados nervadores a 90° y analizar su proceso productivo se obtuvo que su fabricación es más rápida ocasionando un ahorro significativo en su costo de producción.

Si se recuerda el objetivo principal propósito de este trabajo se concluye que si a al realizar el proceso de diseño y fabricación de algún producto se realiza un análisis de elementos finitos donde se incluyen todas las cargas a las cuales será sometido el producto en todo su proceso de fabricación y funcionamiento por lo cual fue creado se sabrá los efectos producidos en ellos y a su vez si el diseño de tal producto es el adecuado para cumplir con la función para lo cual fue creado, de no ser así se podrá cambiar tanto dimensiones como tipo de materiales o proceso de fabricación sin necesidad de realizar un prototipo físico lo cual se reflejaría en un incremento en los costos de los proyectos.

RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.

Debido a los avances tecnológicos actuales se tiene la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías enfocadas a la restauración del medio ambiente, por lo cual es importante seguir investigando de qué manera podemos rediseñar componentes de los automóviles que sean más amigables al medio ambiente para así lograr eliminar posibles residuos que impacten a este.

Cabe señalar que se necesita una mayor investigación con respecto a problemas no lineales debido a que en la fase de contactos, al realizar el análisis crea conflictos en la solución lo cual hace muy difícil la convergencia del problema.

