



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

TEMA:

**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS EN EL MODELO DE JOHNSON-
COOK PARA METALES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA
AUTOMOTRIZ Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES DEL
MATERIAL.**

AUTOR: CRISTHIAN ERICK GRAMAL SANTANA

DIRECTOR: ING. FERNANDO RENATO RAMÍREZ PAREDES PhD

IBARRA, ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100370860-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	GRAMAL SANTANA CRISTHIAN ERICK		
DIRECCIÓN:	ATAHUALPA S/N QUITO, OTAVALO		
EMAIL:	cegramals@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0962732664

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS EN EL MODELO DE JOHNSON-COOK PARA METALES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES EL MATERIAL
AUTOR (ES):	GRAMAL SANTANA CRISTHIAN ERICK
FECHA: DD/MM/AAAA	09/01/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	ING. FERNANDO RENATO RAMIREZ PAREDES

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 09 días del mes de enero de 2020

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: GRAMAL SANTANA CRISTHIAN ERICK

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DE DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es **“ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS EN EL MODELO DE JOHNSON-COOK PARA METALES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL”** presentado por el señor: Cristhian Erick Gramal Santana con número de cédula 100370860-7, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 09 días del mes 01 de 2020.

Atentamente



PhD. Fernando Renato Ramirez Paredes
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre cuyo ejemplo hacia la diligencia del trabajo, infinita paciencia conmigo y la entereza mostrada a lo largo de los años de mi preparación académica, ha inspirado en mí el ánimo para continuar preparándome dentro del ámbito universitario. Por estos motivos y muchos otros, a ella es la dedicación completa de este trabajo, que si bien es cierto esté no puede retribuirla en forma alguna, aun así, quiero entregarlo como el primero de los logros académicos que he logrado culminar. Lamento profundamente el haberme tardado tanto.

AGRADECIMIENTOS

Estoy muy agradecido con el todo personal docente, aquellos que dejaron muchos consejos útiles a medida que impartían sus enseñanzas y otros cuya dedicación a su materia lograron transmitir sus enseñanzas tal vez no al grado que ellos esperaban, pero aun así agradezco su intento de transmitirme algo de su conocimiento.

Agradezco al personal universitario que me ayudaron a medida que transcurría mi carrera ya sea como parte del personal administrativo, bibliotecarios o de limpieza que mantuvieron del mejor modo posible el ambiente académico dentro del cual me desarrolle.

Gracias a mis asesores de tesis, MSc. Segovia y MSc. Tapia por darse el tiempo para revisar mi tesis y darme las observaciones pertinentes.

Un agradecimiento especial a mi tutor de tesis PhD. Fernando Ramírez que supo orientarme de manera precisa en la ejecución de este trabajo por no mencionar la tolerancia para lidiar con las correcciones del trabajo aquí presentado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA.
RESUMEN	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 TEMA	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 SITUACIÓN ACTUAL.....	3
1.4 PROSPECTIVA.....	4
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.6 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.6.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.7 HIPÓTESIS	5
1.8 ALCANCE.....	6
1.9 JUSTIFICACIÓN	6
1.10 CONTEXTO	7
1.11 DISEÑO MECÁNICO	8
1.12 MATERIALES	9
1.12.1 TIPOS DE MATERIALES	9
1.12.2 PROCESOS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE METALES.....	13
1.12.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	16
1.12.4 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES	20
1.12.5 SELECCIÓN DE MATERIALES	24
1.13 HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS	25
1.13.1 REGRESIÓN LINEAL	25
CAPÍTULO II	33
2. MATERIALES Y MÉTODOS	33
2.1 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA	33
2.2 INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL.....	39
CAPÍTULO III	51

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
CAPÍTULO IV	67
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
4.1 CONCLUSIONES	67
4.2 RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1.1	Pieza de pruebas para diversas cargas	17
1.2	Cuadro de selección de materiales	24
2.3	Cuadro de Dispersión lineal de datos	27
1.4	Operaciones básicas de Software R	31
2.1	Flujograma de recolección de datos	34
2.2	Ingreso de vectores en la interfaz de R	40
2.3	Regresión Lineal entre A y la dureza	41
2.4	Regresión Lineal entre B y la dureza	41
2.5	Regresión Lineal entre C y la dureza	42
2.6	Regresión Lineal entre n y la dureza	42
2.7	Regresión Lineal entre m y la dureza	43
2.8	Regresión Lineal entre A y la maquinabilidad	43
2.9	Regresión Lineal entre B y la maquinabilidad	44
2.10	Regresión Lineal entre C y la maquinabilidad	44
2.11	Regresión Lineal entre n y la maquinabilidad	45
2.12	Regresión Lineal entre m y la maquinabilidad	45
2.13	Regresión Lineal entre A y la tenacidad	46
2.14	Regresión Lineal entre B y la tenacidad	46
2.15	Regresión Lineal entre C y la tenacidad	47
2.16	Regresión Lineal entre n y la tenacidad	47
2.17	Regresión Lineal entre m y la tenacidad	48
3.1	Comparación del Al 7050 a $\epsilon=0.0001$	55
3.2	Comparación del Al 7050 a $\epsilon=0.01$	56
3.3	Comparación del Al 7050 a $\epsilon=2500$	57
3.4	Comparación del Al 7050 a $\epsilon=4000$	58
3.5	Comparación del Al 7050 a $\epsilon=7500$	59
3.6	Comparación del Al 7050 a $\epsilon=10000$	60
3.7	Rango de errores del Al 7050 por velocidades de deformación	62
3.8	Comparación del Ti IMI834 a $\epsilon=2000$ y $\epsilon=3000$	63
3.9	Rango de errores del Ti IMI834 por velocidades de deformación	65

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1.1	Sistema UNS de aceros	20
2.1	Agrupación en bloques de modelos Johnson-Cook	35
2.2	Compilación de materiales metálicos	37
2.3	Recopilatorio de propiedades mecánicas y tecnológicas	38
3.1	Compilación de valores resultantes del modelamiento de datos	51
3.2	Regresión de variables múltiples	52
3.3	Ecuaciones de parámetros J-C.	55
3.4	Valores promedio de la tensión de flujo del Al 7050	61
3.5	Comparación de valores promedio de la tensión del Ti IMI834	64
A.I	Compendio de información de artículos de Johnson- Cook	90

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
1.1	Dureza en Brinell	17
1.2	Ley de Hooke-Módulo de Young	21
1.3	Esfuerzo cortante para vigas en flexión	22
1.4	Modelo matemático de Johnson-Cook	23
1.5	Fórmula Regresión Lineal Simple	26
1.6	Método de los mínimos cuadrados(b_2)	26
1.7	Método de los mínimos cuadrados(b_1)	26
1.8	Coefficiente lineal	28
1.9	Coefficiente de correlación lineal	29
1.10	Fórmula Regresión Lineal Múltiple	29

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
I.	Compilatorio de consultas del modelo J-C	90
II.	Líneas de Programación en la graficación del Ti y Al	100

RESUMEN

En el trabajo presentado se propuso la posibilidad de establecer un factor de correlación entre los parámetros del modelo de Johnson – Cook (A, B, C, n, m) y las propiedades tecnológicas de los materiales metálicos usados en la industria automotriz (Dureza, Maquinabilidad y Tenacidad). Dentro de este marco, se recopiló valores tanto de los parámetros del modelo matemático expuestos en diversos artículos científicos, como de las propiedades tecnológicas dispuestas en varios recursos bibliográficos y digitales. Con relación a esto, se ejecutó la investigación correlacional lineal simple y múltiple mediante el uso del software estadístico R. El factor de correlación lineal resultó en un grado de correlación moderado-bajo de 0.478, con respecto a su límite elástico(A). Posteriormente con los niveles de correlación en el análisis multivariable mostró un aumento de forma significativa, en donde se obtuvo factores de correlación de 0.8, especialmente para los parámetros relacionados al endurecimiento por deformación (B, n). Este nivel de correlación fue considerado aceptable y reflejo la complejidad del problema establecido dentro de este trabajo. Posteriormente se empleó los modelos de estimación con mayor grado de correlación múltiple, de esta manera se obtuvo los valores correspondientes de los parámetros del modelo. Con los valores estimados, se graficó las curvas de tensión del Al 7050 y TiIMI834 según el modelo de Johnson- Cook. Se observó que el comportamiento mecánico de los materiales metálicos simulados en términos de tensión - deformación, bajo este modelo, tiene una estrecha relación con la velocidad de deformación. En este sentido, se reflejó las tendencias de los errores obtenidos. Se cotejó los resultados experimentales con las estimaciones de los modelos que se realizó en el trabajo. El grado de correlación entre los parámetros del modelo y las propiedades del material, que se observó en la investigación, se ubicó en el rango de moderado-alto. De esta manera se aceptó de modo estadístico la hipótesis establecida en el trabajo investigativo. Este resultado fue satisfactorio, sin embargo, se tomó en cuenta que los resultados pueden ser mejorados; por medio de otras variables dentro de futuros estudios.

ABSTRACT

In the work presented, the possibility of establishing a correlation factor between the parameters of the Johnson-Cook model (A, B, C, n, m) and the technological properties of the metallic materials used in the automotive industry was proposed (Hardness, Machinability, and Tenacity). Within this framework, values are collected both from the parameters of the mathematical model analyzed in various scientific articles, as well as from the technological properties arranged in various bibliographic and digital resources. In this regard, simple and multivariable linear correlational research was carried out using the statistical software R. The linear correlation factor resulted in a moderate-low degree of correlation of 0.478, with respect to its elastic limit (A). Subsequently, with the correlation levels in the multivariable analysis, it showed a significant increase, where correlation factors of 0.8 were obtained, especially for the parameters related to strain hardening (B, n). This level of correlation was considered acceptable and reflected the complexity of the problem established within this work. Subsequently, the modification models with the highest degree of multiple correlations will be used, in this way the corresponding values of the model parameters will be obtained. With the estimated values, the tension curves of Al 7050 and Ti6Al4V were plotted according to the Johnson-Cook model. The mechanical behavior of the simulated metal materials in terms of stress-strain is observed, under this model, it has a close relationship with the strain rate. In this sense, the trends of the errors detected were reflected. The experimental results were checked against the modifications of the models that were carried out in the present work. The degree of correlation between the parameters of the model and the properties of the material, which is modified in the investigation, is in the moderate-high range. In this way, the hypothesis established in the research work was statistically accepted. This result was satisfactory; however, it could be considered that the results can be improved; through other variables within future studies.

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz y en general varias industrias crecen paulatinamente a lo largo de los años, de esta manera se satisface la demanda por parte de los consumidores y sus procesos con respecto al tema de los materiales también avanza a pasos agigantados. Por ello se han elaborado muchos modelos de predicción en el campo del mecanizado de los materiales metálicos, para así evitar costos de producción de piezas, atendiendo a la eficiencia de los recursos disponibles. Uno de los modelos más aceptados actualmente dentro de este campo es el modelo matemático de Johnson- Cook, que describe el comportamiento del mecanizado de materiales a velocidades y temperaturas relativamente elevadas; lo cual puede ahorrar grandes sumas de dinero a las empresas fabricantes de elementos metálicos, ya sean del campo automotriz entre muchas otras. En este sentido la necesidad de modelos o correlaciones, que expliquen con certeza el comportamiento de los materiales a variadas condiciones a las que sean expuestas durante su mecanizado, es de imperiosa necesidad para cualquier tipo de industria dentro de su manufacturación. El desarrollo teórico de este documento parte de los preceptos necesarios para comprender el subsecuente procedimiento que toma la investigación. Observando los puntos importantes como: la regresión lineal simple y múltiple; los materiales y el modelo matemático de Johnson- Cook, así como el software estadístico utilizado. De este modo se obtiene los valores necesarios para continuar con los respectivos análisis de los resultados de las correlaciones, observando de forma evidente el comportamiento del fenómeno de tensión- deformación y cuáles pueden ser sus posibles explicaciones.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La revisión bibliográfica de una investigación se centra en un modelo cuantitativo, al recaudar información de manera sistemática y ordenada, para la elaboración del trabajo presentado a continuación (Ruth & al, 2017, pág. 34).

1.1 TEMA

Análisis de los parámetros en el modelo de Johnson-Cook para metales utilizados en la industria automotriz y su relación con las propiedades del material.

1.2 ANTECEDENTES

Hoy en día es de gran importancia simular la mayor parte de los procesos. Esto hace entrever que la simulación de procesos es una herramienta de suma utilidad. Los métodos numéricos han ido ganando cada vez más importancia juntamente con el análisis del mecanizado simulado, obteniéndose resultados muy aproximados a la realidad (Valerii & Michael, 2017, pág. 44).

Dentro de la modelización se pretende establecer las particularidades del material en forma concreta, para ello se implementa modelos a fin de determinar sus características o propiedades en función de distintas variables, por ejemplo la temperatura. (Weidong, Jianguo, Xiaonan, & Huiping, 2013, pág. 280). En la actualidad se desarrollan modelos que priorizan otras variables físicas del material como la deformación elástica y la probabilidad de fallo (Beatrice, Stefania, Andrea, & Rajiv, 2017, pág. 94). Otros estudios se enfocan en la fractura mecánica en su microestructura, dentro del uso de materiales como el acero estructural o partes automotrices (Prawoto, Fanone, S., Ismail, & Nik, 2012, pág. 48). Además del acero, algunos materiales se utilizan frecuentemente en la industria automotriz como por ejemplo, aleaciones de aluminio (Xiao, Wu, Fang, Zhang, & Kong, 2017, pág. 237).

La simulación del mecanizado ofrece una atractiva y rentable alternativa para los materiales difíciles de cortar, sin embargo, vale la pena notar que la precisión para predecir el rendimiento de mecanizado es muy limitada. (Yanhua, Jie, Jianfeng, Yuqin,, & Ping, 2017, pág. 179). Esto se debe a que algunos metales son de utilización poco frecuente y con propiedades de comportamiento complejo a ciertas temperaturas, por lo cual se realizan estudios exhaustivos con el fin de predecir su el comportamiento del material a mecanizar (Martina, y otros, 2017, pág. 191). Los resultados de la modelización de procesos dependen en gran medida de las constantes del modelo. Un uso incorrecto de estas constantes llevará a resultados significativamente sesgados. El modelado de materiales es muy importante para las simulaciones numéricas de los procesos de fabricación (Nikolaos & Angelos, 2018, pág. 107). Se observa en muchos casos en los que se produce un fallo inesperado, esto se debe a la presencia de tensiones residuales que no han sido correctamente modeladas y que, combinadas con las tensiones de servicio acortan seriamente la vida útil de los componentes (Sujit, Aniket, Satish, Atul, & Ganesh, 2017, pág. 2350). Como consecuencia, la investigación en modelos de material es muy activa. Esto se debe al creciente interés en predecir la integridad de la superficie mecanizada, muchos investigadores se centran en obtener variados parámetros de acuerdo a su campo de interés (Denguir, Outeiro, Fromentin, Vignal, & Besnard, 2017, pág. 143).

Hasta ahora, no hay un modelo constitutivo que tome todos los fenómenos presentes en cuenta y logre simplificarlos. Muchos investigadores se centran en la optimización de los procesos usando varios modelos, siendo de gran utilidad el modelo JC en modelización de procesado de materiales (Yancheng, Outeirob, & Tarek, 2015, pág. 112). Los modelos de daño más utilizados en el corte de metales son el modelo de falla de corte de Johnson-Cook, que se utiliza típicamente en conjunción con la ecuación constitutiva J-C (Mohamed & Mohamed, 2017, pág. 134).

El modelo Johnson-Cook (J-C) es, por lo tanto, muy adecuado para el modelado continuo y sigue siendo adoptado a menudo en investigaciones (Ducobu, Rivière-Lorphèvre, & Filippi, 2017, pág. 143). Por ello el modelo Johnson-Cook (J-C) es un modelo constitutivo de amplia utilización, por su implementación simple, pocos parámetros y la idoneidad para un amplio rango de posibilidades (Lia, Zhana, Fana, & Tan, 2017, pág. 155). El modelo de Jhonson-

Cook se usa sobre todo para el modelado de metales, pero en su estudio no se contempla la posible relación de sus parámetros con las propiedades mecánicas y tecnológicas. El modelo J-C se revalúa constantemente para tener una mayor aproximación al estado real del material durante el mecanizado y de esa manera, obtener así una ecuación constitutiva definitiva (Tounsi, Vincenti, Otho, & Elbestawi, 2002, pág. 1373). De estos estudios destaca debido su facilidad de implementación en códigos numéricos, al criterio de Johnson-Cook (Amir, Noamen, & Khaled, 2016, pág. 608).

La revisión de la literatura ilustra que la ley constitutiva Johnson-Cook ha sido ampliamente utilizada en la simulación de corte de metal, sin embargo sus constantes han sido un tema crítico (Daoud, Chatelain, & Bouzid, 2017, pág. 392). La simplicidad del modelo JC puede dar como consecuencia algunas desviaciones en su resultado de predicción sobre el comportamiento de los materiales. (Luca & Egidio, 2016, pág. 231).

1.3 SITUACIÓN ACTUAL

El uso de materiales compuestos en la manufacturación de automóviles va más allá de la reducción de peso y cumplimiento de las normativas anticontaminantes. El conocimiento ampliado de sus propiedades da camino a mejores prestaciones en el uso y procesamiento de los materiales (Guerra Tornero, 2015, pág. 131). Asimismo, el mejoramiento del diseño de los nuevos vehículos es progresivo en concordancia con los materiales; sean de acero reforzado, aluminio o incluso magnesio. (Jambor & Beyer, 1997, pág. 203).

Si bien es cierto que el acero es el principal componente en la fabricación actual de vehículos, los nuevos requerimientos de sostenibilidad y emisiones requieren el uso de nuevos materiales (Jones & Ashby, 2019, pág. 531). Pero antes de emplearlos en el diseño y construcción, se requiere saber cómo se comportan los materiales en los procesos de mecanizado y conformado a los que son sometidos.

1.4 PROSPECTIVA

La investigación relativa al presente trabajo está enfocada en determinar el grado de relación entre determinadas propiedades de los materiales usados en el campo automotriz y los parámetros del modelo Johnson – Cook. El establecimiento de una conexión permite visualizar el comportamiento de un material en función de los mencionados parámetros. La aplicación práctica de estos resultados cubre los procesos de mecanizado de varios metales. De este modo se aporta un criterio práctico a la hora de estudiar y diseñar procesos de fabricación, con mayor certidumbre en cuanto al grado de certeza de las propiedades finales pertenecientes a los materiales trabajados. Esta posible relación se tendrá en cuenta para futuras investigaciones en el campo de los materiales.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para tratar sobre el estudio de los materiales es necesario remontarse hasta el año de 1638, en el que Galileo Galilei publicó su “Discorsi e dimostrazioni matematiche” y dio un origen formal a este campo. El estudio de los materiales tiene amplias aplicaciones dentro de la industria, aunque es necesario mencionar que hay un grado significativo de incertidumbre que debe tomarse en cuenta dentro del diseño en la ingeniería (Richard & Keith, 2008 , pág. 34). Por esto el estudio de materiales siempre es una cuestión de gran importancia dentro del campo de la ingeniería. Entre los tópicos más significativos está la modelización del comportamiento termo-mecánico de los metales y la predicción de falla bajo distintas condiciones de trabajo. Este es el punto central del presente trabajo, que se enfoca estadísticamente con respecto a los parámetros del modelo matemático y las propiedades del material. Actualmente el grado de correlación estadística entre los parámetros y propiedades tecnológicas de los materiales metálicos usados en la industria automotriz no ha sido planteado. Dentro de los antecedentes, se denota la importancia para la industria en general de establecer la relación existente entre los distintos parámetros y las propiedades de los metales a la hora de entender y predecir el comportamiento del material.

1.6 OBJETIVO GENERAL

Determinar el grado de correlación existente entre los parámetros presentes en ecuaciones constitutivas de material metálico y sus propiedades mecánicas y tecnológicas, observadas experimentalmente. El campo que se va a cubrir comprende materiales metálicos usados en la industria automotriz, sometidos a distintas condiciones de deformación.

1.6.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información de la literatura especializada, basándose en modelos de material que describan de forma coherente el comportamiento termo-mecánico de metales sometidos a distintas condiciones de deformación. El universo de trabajo serán los materiales metálicos usados en el campo automotriz.
- Procesar la información obtenida referente a los parámetros implicados en los modelos de material mediante el uso de herramientas estadísticas, de modo que se pueda observar las tendencias y establecer los grados de correlación existentes.
- Analizar los resultados obtenidos luego del procesamiento estadístico de los datos de partida, estableciendo modelos correlacionales y predictivos de ser el caso.
- Validar las observaciones realizadas en el análisis de resultados, comparando las tendencias de comportamiento y correlaciones establecidas, con información experimental distinta a la usada en el modelamiento.

1.7 HIPÓTESIS

La hipótesis planteada para el presente trabajo es: ¿Existe un grado de correlación entre los principales parámetros del modelo matemático Johnson-Cook (J-C) y las propiedades

mecánicas más utilizadas de los materiales metálicos usados en la industria automotriz? ¿De existir, cuál es el valor de dicha correlación?

1.8 ALCANCE

El presente trabajo se enfoca en el estudio de materiales metálicos usados en la industria automotriz. El carácter de este trabajo es cuantitativo, tratado con herramientas estadísticas de correlación y regresión entre variables. Para el análisis de los datos se cuenta con software estadístico de acceso libre, específicamente R 3.5.3 Las regresiones y correlaciones se establecen entre los parámetros utilizados en el modelo matemático de Johnson – Cook y las propiedades mecánicas y tecnológicas de los metales en estudio. El objetivo final es establecer de forma coherente el grado de correlación entre los parámetros del modelo y propiedades tecnológicas publicadas en literatura científica. De este modo se entiende de mejor manera el comportamiento de los materiales desde un punto de vista estadístico para su aplicación tecnológica.

1.9 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se justifica por la matriz de transformación productiva en su eje número 2 “Agregación de valor en la producción existente mediante la incorporación de tecnología y conocimiento...”, aquí se incorpora el conocimiento de varios estudios previos de artículos científicos que agrega cognición de materiales metálicos en el campo de la industria automotriz, en el eje 3 se encuentra “Sustitución selectiva de bienes y servicios...”, ya que en el campo de servicios, la epistemología sobre metales es de suma importancia dentro de la industria nacional, por ello, en teoría se puede optimizar varios procesos en la industria ecuatoriana (SENPLADES, 2016, pág. 5).

Dentro del Plan de Desarrollo Nacional en su objetivo 5, en su política 5.6 “Promover la investigación...” (Senplades, 2017, pág. 80). Se brinda un pase abierto para la mejora del

conocimiento, ya sea por medio de investigación analítica o estadística y en el presente trabajo se investiga mediante la ayuda de herramientas estadísticas.

En la política 5.8 “Potenciando el manejo eficiente de recursos...” en esta investigación al centrar la atención en los materiales metálicos y llegar a una posible correlación con sus propiedades, concede una mejor comprensión de ellos, por lo tanto un mejor manejo al reducir posibles fallas que estén presentes en el mecanizado del material (Senplades, 2017, pág. 80).

Toda esta investigación se lleva a cabo con una metodología descriptiva-correlacional y con ayuda de métodos estadísticos para observar su grado de correlación entre los parámetros del modelo Johnson-Cook y las propiedades intrínsecas de los materiales metálicos del campo automotriz.

1.10 CONTEXTO

El modelo matemático de Johnson -Cook se usa de forma constante en varios estudios por su simplicidad, así como también su adaptabilidad a varias modificaciones pudiéndose aplicar de forma más coherente de acuerdo con el campo de investigación. En lo que compete a la industria automotriz el modelo J- C es de gran ayuda, ya que al modelar las piezas previamente antes del mecanizado; se corrigen los parámetros para que el elemento cumpla con los requerimientos adecuados al trabajo que ha de desempeñar (Mustapha, y otros, 2017, pág. 549).

Aunque en algunos casos de experimentación muy rigurosos (nano procesados), se ha comprobado que el modelo J-C tiende a producir errores notables en cuanto a sus predicciones (Patxi & Shreyes, 2017, pág. 535). Es importante destacar que, en muchas investigaciones que se realizan actualmente no se busca la correlación entre los parámetros establecidos en el modelo matemático y su posible relación con las propiedades tecnológicas de los metales. Por este motivo se da cabida al presente trabajo.

1.11 DISEÑO MECÁNICO

El diseño mecánico es una herramienta para solventar de forma eficiente una necesidad determinada. Los problemas que han aparecido a lo largo de la historia, especialmente aquellos de construcción o diseño dentro del campo de la ingeniería, han permitido que se desarrolle el diseño mecánico. De este modo se puede resolver problemas puntuales que se presentan al momento de mejorar los diseños originales de maquinarias y/o construcciones (Díaz, Vicente, & al., 2018, pág. 15).

Dentro de la ingeniería, el proceso de diseño mecánico está relacionado con varias áreas del conocimiento que influyen de manera relevante en el desarrollo de un producto. En el proceso de creación entran principalmente: la necesidad, que es lo que no funciona debidamente o causa alguna incomodidad en el usuario; la definición de esta necesidad, es decir, saber cuál es exactamente el problema que causa dicha incomodidad. Sintetizar el problema, ver cómo afecta al todo y de ese modo poder solucionarlo. Se analiza el diseño final desde lo más sencillo, abstraer su diseño en forma que sea entendible. Posteriormente se evalúa el diseño de modo que se concluya, si realmente fue una buena solución (Besa, Besa, & Valero, 2016, pág. 28). Para diseñar cualquier elemento se considera su funcionalidad y esfuerzo al que va a estar sometido, la rigidez, entre muchos otros factores, varias de estas propiedades están relacionadas con su geometría, su conformado o como están conectados a la maquinaria final. En el diseño de dichos elementos se usa varias herramientas tales como, las computacionales que reemplazan el diseño a mano que anteriormente era utilizado y la información necesaria para el diseño del elemento, ya sean especificaciones técnicas ligadas al campo de trabajo o algunas regulaciones del gobierno del país en que se desarrolle.

Dentro de las tareas del ingeniero diseñador esta, el entender el problema para revisar la información conocida que ayude en la solución. Posteriormente pasa a la información desconocida del problema, es decir ahondar en otras fuentes para analizar la causa del problema y pensar cómo solucionarlo usando distintos enfoques. Finalmente se evalúa de forma concreta si su solución fue acertada y presentarlo ante los principales interesados (Askeland, Fulay, & Wrigth, 2012, pág. 4).

En el proceso de diseño el uso de normas y códigos es importante a la hora de establecer procesos y especificaciones con las que deberá cumplir los elementos diseñados. Algunas de estas normas son: AA (Automobile Association), AGMA (American Gear Manufacturers Association), AISC (American Institute of Steel Construction), AISI (American Iron and Steel Institute), ASME (American Society of Mechanical Engineers). La economía es un punto fundamental del diseño ya que, si una pieza es muy costosa de producir aun contando con unas excelentes especificaciones, su manejo es limitado o inservible a un nivel comercial útil. Debido a esto se utiliza los tamaños estándar, para masificar el uso y por ende disminuir los costes, las tolerancias mientras más amplias son, es más sencilla su manufacturación y sus costos de producción menores (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 12).

Respecto a la seguridad que el elemento elaborado garantiza, la responsabilidad recae en la empresa que lo fabrique. Ante la eventualidad de cualquier accidente debidamente comprobable de fallo del elemento, el factor de seguridad y diseño del elemento es un método seguro para corroborar si el elemento se usa bajo sus debidas especificaciones, sin contar con la incertidumbre que el elemento posea. Los elementos, así como sus tolerancias entraran dentro del campo específico del análisis de modo teórico para que las piezas cumplan los requisitos pertinentes con su función a desempeñar (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 15).

1.12 MATERIALES

El diseñador o ingeniero tendrá en cuenta las propiedades a las que está sujeta la pieza final según las necesidades de sus futuras prestaciones. Para hacerlo tiene que tomar en consideración los aspectos geométricos o el material del que debe estar fabricado el artefacto (Newell, 2011, pág. 32).

1.12.1 TIPOS DE MATERIALES

Dado que los materiales del que se dispone dentro de cualquier tipo de industria son de suma importancia, su clasificación es necesaria puesto que son usados de acuerdo con sus

prestaciones y especificaciones, para obtener su versión más eficiente dentro del campo en el cual se desarrollen (Kazanas, Baker, & Gregor, 1983, pág. 52).

1.12.1.1 Aceros Aleados

Los aceros por lo general son más que una combinación de hierro y carbono a menudo se le agregan más componentes para darle propiedades extras o mejorarlas en sus respectivos tratamientos térmicos posteriores (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 47). Estos son:

- Cromo. - Aumenta la dureza del acero al formar carburos de cromo, da mayor tenacidad y ductilidad en comparación a un acero al carbono.
- Níquel. – Aumenta la resistencia del acero, pero deja intacta su ductilidad.
- Manganeso. – Tiene propiedades desoxidantes y desulfurizantes. Da mayor rango en su temperatura crítica.
- Silicio. – Es desoxidante y actúa como un estabilizador de carburos.
- Molibdeno. – Agrega dureza y tenacidad, contribuye a un mejor refinado del grano en la estructura del acero.
- Vanadio. – Es desoxidante, tiende a formar carburos por lo que su cantidad es pequeña en aleaciones, da un mejor intervalo de temperatura crítica por lo cual puede tratarse a mayor temperatura.
- Tungsteno. – Da tenacidad y dureza aun al rojo vivo, su aleación produce estructuras de grano fino y denso.

1.12.1.2 Aceros resistentes a la corrosión

Estos contienen un 12% de cromo, lo que los hace resistentes a la corrosión, dentro de ellos tenemos a los aceros al cromo-níquel, aceros inoxidables martensíticos, los aceros al cromo ferríticos (Askeland, Fulay, & Wrigth, 2012, pág. 519).

1.12.1.3 Metales no ferrosos

Llámesese a estos metales que no contienen hierro dentro de su composición, pero pueden llegar a dar características usables tanto en sus propiedades mecánicas como electrónicas (Askeland, Fulay, & Wrigth, 2012, pág. 539). Entre las más usadas se tienen:

- Aluminio. – Es uno de los materiales más versátiles, muy maquinable, por ello es muy usado en la industria y dependiendo de sus aleantes pueden obtener muchas características útiles para sus propósitos como por ejemplo un aluminio reforzado usado para ingeniería aeronáutica.
- Magnesio. – Se usa principalmente en la industria aeronáutica y automotriz, porque sus aleaciones son ligeras, pero no soporta altas temperaturas.
- Titanio. – Es resistente a la corrosión, a temperaturas elevadas y posee baja conductividad térmica pero su principal desventaja yace en su alto costo comparado con el acero y aluminio.
- Aleaciones con base de cobre. – Esta aleación se denomina latón, si esta aleado con zinc o bronce si tiene algún otro aleante entre ellos se tiene; al latón con 5 a 15 por ciento de zinc, el latón con 20 a 36 por ciento de zinc, el latón con 36 a 40 por ciento de zinc y el bronce.

1.12.1.4 Plásticos

Los plásticos o polímeros son un conjunto de cadenas de largas o redes moleculares basados en compuestos orgánicos principalmente formados de carbono. Existen dos clases de polímeros, los termoplásticos que se pueden moldear al aplicar temperatura y los termofijos cuya formación solo se da una vez por temperatura y presión, sus características y propiedades son variadas (Smith & Hashemi, 2006, pág. 41).

1.12.1.5 Materiales compuestos

En lo que se diferencia de las aleaciones es que estos tienen un material que actúa como matriz, que mantiene todo junto y el otro como relleno que aporta la resistencia y rigidez al producto final. Pero muchos materiales compuestos están en capas (laminado) para aportar correctamente las propiedades por direccionalidad lo que complica su análisis estructural (Askeland, Fulay, & Wrigth, 2012, pág. 653).

1.12.1.6 Tipos de Fundiciones

Las fundiciones son aleaciones de hierro, carbono y silicio, que tienen 2-4% de carbono, 0.5-3% de silicio y el resto de su composición es de hierro (Appold & Feiler, 2018, pág. 129).

Las fundiciones más comunes son:

- Hierro fundido gris. – Su costo es bajo y es de fácil maquinabilidad (o mecanizado es el volumen de material que se eliminara para sacar la forma final de la pieza (Changqing, Yingguang, & Zhongyu, 2018, pág. 16). Pero sus desventajas son su fragilidad (es la capacidad de un material a fracturarse debido a esfuerzos que sobrepasen su deformación máxima) y debilidad en tensión.

- Hierro fundido dúctil y nodular. – Este es una combinación entre el hierro maleable y la fundición gris, en el cual el grafito forma esferas de pequeño tamaño de ahí su nombre. Su resistencia a la compresión es mayor que a la tensión.
- Hierro fundido blanco. – Esta fundición solo contiene cementita y perlita (cementita es un compuesto de Fe_2C duro y frágil que da refuerzo al acero y la perlita es un microconstituyente de ferrita y cementita, se considera un nanocompuesto de metal-cerámica), tiende a ser más resistente al desgaste (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 50).
- Hierro fundido maleable. – Esta fundición libera el carbono de forma nodular, pero este proceso lleva alrededor de 6 días, por ello suele ser más costoso que la fundición gris.
- Hierros fundidos aleados. – El níquel, cromo, molibdeno son los aleantes presentes, mejora algunas propiedades como su dureza o maquinabilidad.
- Aceros fundidos. – La elevada temperatura para fundirlo lo hace un proceso complejo, pero su proceso de soldadura es más aplicable.

1.12.2 PROCESOS Y TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN MATERIALES METÁLICOS

El conjunto de procedimientos que trata a los metales bajo ciertos rangos de temperatura y la velocidad de enfriamiento en los mismos es a lo que se llama tratamientos térmicos. Debido a estos, se puede modificar las propiedades tanto físicas como químicas de los materiales especialmente de los metales (Molera, 1991, pág. 5).

1.12.2.1 Fundición de metales

La fundición de los metales viene desde la antigüedad hasta nuestros días, con el tiempo se perfecciono estas técnicas para lograr una mejor refinación y utilización de dichos metales. Dicho esto, la fundición es el proceso de aumentar la temperatura del material por encima del

punto de fusión. Para así lograr su fase líquida y de este modo manejar el material de acuerdo con las necesidades e intereses del usuario, estos materiales fundidos se solidifican a medida que su temperatura baja hasta su temperatura de solidificación (Appold & Feiler, 2018, pág. 51).

- Fundición en arena: Esta fundición vacía el metal derretido en el molde previamente hecho, el cual es un negativo en tres dimensiones de algún elemento, se debe tomar en cuenta que este molde deberá contar con canales de salida y entrada para llenar la forma en su totalidad y de manera uniforme. El espesor mínimo de cualquier parte de su sección deberá ser de 5mm (Palacios, 2016, pág. 109).
- Moldeo en cascarón: El patrón del elemento es calentado y puesto en una mezcla de arena y resina lo cual toma la forma del patrón y se guarda para su posterior uso (Enciclopedia de la OIT, 2012, pág. 15).
- Fundición de revestimiento: El elemento para copiar en este caso está elaborado de un material fundible y se rodea con algún elemento que resista el metal fundido como yeso o cerámica (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 43).
- Proceso de metalurgia de polvos: En este proceso realiza una mezcla de polvos en preformas y se someten a grandes presiones con una temperatura elevada, se fabrica cojinetes e imanes permanentes con este proceso (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 43).
- Procesos de trabajo en caliente: En estos procesos el metal se calienta para variados procesos de mecanización, como la extrusión o el forjado (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 43).
- Procesos de trabajo en frío: La formación del metal se hace a temperatura ambiente por procesos como el laminado y estirado, estos procesos no cambian el tamaño de grano del material solo lo moldea, también provoca un incremento en su última resistencia y dureza, pero a cambio disminuye su ductilidad (Billigmann, 2018, pág. 76).

- Resistencia y trabajo en frío: Este es un proceso que se hace por debajo de la temperatura de recristalización y aquí se obtienen diferentes propiedades que en el proceso de trabajado en caliente. Aquí el material da muestra de su ductilidad que absorbe las sobrecargas para poder ser trabajado en frío (Gil & Manero, 2005, pág. 74).

1.12.2.2 Tratamientos térmicos del acero

Por tratamientos térmicos del acero se entiende a los procesos de tiempo-temperatura a los que es sometido este material para modificar sus propiedades originales (Askeland, Fulay, & Wrigth, 2012, pág. 498). Dentro de estos tratamientos se tiene:

- Recocido: Se calienta el elemento para eliminar el estrés residual producido por el proceso de mecanizado o por algún tratamiento previo. El recocido se usa como un tratamiento final del acero.
- Templado: En este tratamiento, la temperatura del material se eleva hasta el punto de rojo vivo, para después enfriarlo en un corto periodo de tiempo sumergiéndolo en aceites para templado o en soluciones químicas. Para mejorar sus propiedades dependiendo del tipo de acero y las sales que se usen en la solución líquida del enfriado (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 45).
- Revenido: Después del endurecimiento el acero queda muy frágil por lo cual se vuelve a calentar cerca de su temperatura crítica (la temperatura crítica es la temperatura a la cual el material alcanza su punto de fusión, al rojo vivo) y se deja enfriar de modo más lento para obtener una martensita revenida (es una estructura cristalina dura y quebradiza semejante a la cerámica, formada por las estructuras de hierro altamente saturadas de carbono) (Askeland, Fulay, & Wrigth, 2012, pág. 510).
- Endurecimiento superficial: Se trata de darle una capa dura sobre un núcleo suave, entre los procesos más comunes está la nitruración, cianurado o endurecimiento por flama. En la cianuración el acero se sumerge en cianuro líquido lo que permite al carbono y al nitrógeno difundirse superficialmente. En la nitruración el acero es

sometido a un gas de nitrógeno lo cual le da un acabado martensítico al final del templado. El endurecimiento por flama se aplica en aceros altos en carbono de manera localizada (Askeland, Fulay, & Wrigth, 2012, pág. 516).

- Estimación cuantitativa de las propiedades de aceros tratados térmicamente: Se usa el método de adición de Crafts y Lamont, permite calcular la dureza o en su defecto el ablandamiento del objeto con su respecto a su templado, se toma en cuenta varios parámetros como son los aleantes del material y la temperatura a la que fue sometida (Tarín, Salamanca, & Pérez, 2005).
- La prueba de Jominy para aceros simples: En este procedimiento se temple una probeta de AISI 1045 por lo general y esta se enfría con un flujo constante de agua a una temperatura fija longitudinalmente. Al finalizar este proceso se continúa raspando la superficie a 0.40 mm y se comprueba su dureza a lo largo de la probeta por unos 50 mm. Para finalizar se presenta su dureza en función de la distancia en una gráfica (Contreras & Zúñiga, 2016).

1.12.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Llámesese propiedades de los materiales a las características que presenta cada material (dureza, ductilidad, etc.), debido a su composición (la formación el material o cuáles son sus componentes de los cuales está compuesto), estructura (como están dispuestos los átomos o iones del material), síntesis y procesamiento (Newell, 2011, pág. 69).

1.12.3.1 Resistencia y rigidez del material

Para la prueba de materiales se usa un patrón común para pruebas, donde se mide la deflexión al ponerla expuesta a cargas, al acabar la prueba o durante ella se mide la longitud final, para sacar un diagrama esfuerzo-deformación, la pendiente de la gráfica es el módulo de elasticidad cuyas unidades se dan en términos de presión. El límite elástico se da cuando la pieza es sobrecargada y su deformación se vuelve permanente en el material. Su punto de fluencia

viene dado por el punto donde la carga ya no es aplicada, pero su deformación unitaria continua. En el caso de las pruebas de compresión se usa otro patrón debido a ciertas consideraciones como el pandeo entre otras y finalmente en las pruebas de torsión se toma en cuenta el esfuerzo de torsión y el ángulo de giro, graficándose los resultados en una gráfica torsión-giro (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 28).

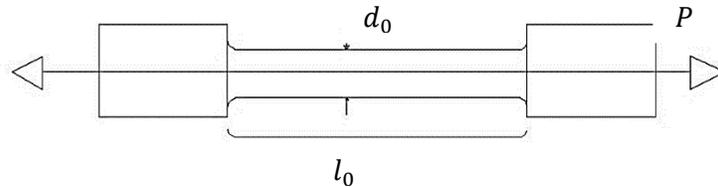


Figura 1.1 Pieza de pruebas para diversas cargas

En la Figura 1.1 se muestra una pieza de prueba o preforma, que consta con medidas que van de 10, 25,50 mm de largo y alrededor de 2,5, 6,25 y 12,5 mm en su diámetro, para que pueda cumplir con las respectivas pruebas. Y de ese modo esta normalizado para los diversos centros de investigación (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 28).

1.12.3.2 Dureza

Esta propiedad es la resistencia a la penetración, sus pruebas más usadas son la de Rockwell y la Brinell para cuantificar su dureza, siendo la última la que más tiempo conlleva en realizarse. Asimismo, ambas pruebas no son destructivas.

El procedimiento de la dureza Rockwell se lleva a cabo según la normativa ASTM 18-19. Se usan esferas del material contra un penetrador de diamante, por lo que las durezas resultantes son relativas. La dureza Brinell se especifica como la carga aplicada en el patrón dividida para la huella esférica dejada por el penetrador, que se representa por la siguiente ecuación (Richard G & J. Keith, 2008, pág. 36):

$$DB = \frac{2F}{\pi * D [D - \sqrt{D^2 - D_i^2}]} \quad [1.1]$$

Donde:

F es la carga en kilogramos-fuerza

D es el diámetro de la punta penetradora en milímetros

D_i es el diámetro de la huella dejada en el material a prueba en milímetros

Y su resultante está en kilogramos fuerza sobre milímetros cuadrados (Askeland, Fulay, & Wrigth, 2012, pág. 222).

1.12.3.3 Propiedades de impacto

Los ensayos de Charpy e Izod dan datos para condiciones dinámicas con respecto a la tenacidad del material, pero los datos de impacto dependen mucho de la geometría por ello será más factible usar otros datos de referencia para ver la posibilidad de fracturas en el material a baja temperatura. Según las normas ASTM D6110 e ISO 179-1 que da el procedimiento para determinar la resistencia a la rotura, por medio del impacto usando un péndulo con un martillo de dimensiones adecuadas (Newell, 2011, pág. 84).

El método se lo realiza en una configuración de flexión a tres puntos, siendo dos que están sujetos a un apoyo y el tercero el del impacto del martillo. Cabe mencionar que todos los materiales tienen su propio procedimiento especificado (Instron, 2018).

1.12.3.4 Maquinabilidad

El termino maquinado es un enorme compilado de procesamiento principalmente en los metales para eliminar o deshacerse del material no deseado de la preforma para la obtención de la pieza final. La mayoría de estos procesos se hace mediante el arranque de viruta en materiales como fundiciones, materiales forjados entre otros, para llegar a la forma final de la pieza requerida con especificaciones precisas (Adams & al, 1995, pág. 12). Cabe recalcar que el mecanizado de los metales es uno de los procesos más importantes y costosos debido a la complejidad manejada en el análisis del resultado final de la pieza y su posterior procesado dándole de este modo un valor agregado a la pieza dentro de la industria de procesos de corte de metal.

- Fuerzas de corte: Las fuerzas de corte en el mecanizado pueden dividirse en dos subsecciones sencillas. En fuerzas horizontales y fuerzas verticales las cuales pueden denominarse con otros nombres según el autor, pero en este trabajo se les denomina así, para facilitar su comprensión y que su concepto general este claro.

El movimiento de avance o fuerza horizontal radica en el desplazamiento del corte de acuerdo con el punto de aplicación dado, también se le puede identificar a este parámetro como la velocidad de avance de la herramienta sobre el material a trabajar. Por supuesto la fuerza horizontal tendrá mucho que ver con el tipo de herramienta usada, así como el material a mecanizar (Nápoles & Xavier, 2000, pág. 161).

Fuerza vertical o movimiento de alimentación, es el parámetro de profundidad de pasada que se aplica a la pieza de trabajo. Básicamente es el factor que corta el espesor del material para conformar su forma deseada, arrancando la cantidad de material necesario de la pieza (Nápoles & Xavier, 2000, pág. 162). La pieza y la herramienta de corte estarán fijos en la maquina durante el maquinado siendo esta la que le entregue el movimiento de alimentación y avance, obviando el tipo de maquina o el trabajo que se requiera realizar sobre la pieza. Depende de la maquina proporcionar dichas fuerzas sobre el elemento según su diseño.

- Efectos de la temperatura: La temperatura afecta a las propiedades de los materiales directamente de modo, que su ductilidad aumenta cuando la temperatura sube, por ello el cuidado con las soldaduras, que modifican las características de modo localizado y causan fracturas si no se tratan adecuadamente (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 39).

1.12.3.5 Sistemas de numeración

La SAE es una de las primeras instituciones que normaliza la numeración de los aceros, más tarde el AISI, UNS, implementan un sistema similar en hierros y aleaciones generales, como ejemplo tenemos al G23 un acero al níquel según la norma UNS (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 40). Dicho esto, los sistemas sirven para fomentar la masificación de cómo se denominan a los metales dentro de la industria.

En la Tabla 1.1 se observa claramente una ejemplificación de manera abreviada de las denominaciones del acero de acuerdo con el sistema UNS (Unified Numbering System). Como se observa solo se utiliza unos cuantos ejemplos de las denominaciones de estos, se abarca varios aceros desde el acero más básico (acero al carbono simple) que se nombra con la letra G mayúscula seguido de un número que indica el tipo de acero que se representa, con los aluminios se coloca la letra A seguido de un código alfanumérico que indica las proporciones de sus aleantes.

Tabla 1.1 Sistema UNS de aceros

Sistema UNS	
G10	Acero al carbono simple
G11	Acero de carbono de corte libre
Ax1xxx	Aluminio 99% puro y mayor
Ax6xxx	Aleaciones de Magnesio Silicio

(Budynas & Nisbeth, 2008, pág. 41)

1.12.4 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS MATERIALES

El comportamiento mecánico de los materiales se estudia principalmente para que los elementos respondan de determinadas maneras a los esfuerzos que le son requeridos. Por ello siempre se tiene en cuenta los factores a los que se ve sometido, si estos son variables o constantes a lo largo del tiempo de vida útil de la pieza (Víctor & al, 2014, pág. 141).

1.12.4.1 Esfuerzo

En un cuerpo cualquiera al aislarse una superficie interna, las fuerzas y momentos que actúan sobre el mismo se distribuyen a través de toda su área. Pero al tomarse en cuenta el punto donde estas actúan se dividirán en esfuerzo normal y esfuerzo cortante tangencial identificados por σ y τ respectivamente. Si el esfuerzo normal sale de la superficie hacia afuera

se considera esfuerzo de tensión, si por el contrario esta entra en la superficie se considera esfuerzo de compresión hacia el objeto (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 75).

Por lo tanto, se considera de modo unitario las fuerzas que actúan sobre el cuerpo de tal forma que se pueda realizar a modo de diagrama de cuerpo libre para estos casos.

- Componentes cartesianos: Son las superficies ortogonales ubicadas en un punto interior del cuerpo y se establecen los planos cartesianos x, y, z. por lo general en cada plano se tendrá un esfuerzo nominal y un esfuerzo cortante (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 75).

1.12.4.2 Esfuerzo tridimensional general

Como existe el esfuerzo plano, también existe el esfuerzo tridimensional del objeto por cual para este análisis primero se toma en cuenta las direcciones y los esfuerzos principales normales en cada plano (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 82). En el diseño se toma en cuenta los esfuerzos tridimensionales realizados en esfuerzo plano, por lo que pueden describirse de forma unidimensional o bidimensionalmente con respecto a los ejes que ocupen.

- Deformación unitaria elástica: Es la deformación que se produce en una probeta de prueba con lo que tomamos medidas para su elongación final de modo que obedezca a la ley de Hooke (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 83). Así:

$$\sigma = E\epsilon \quad [1.2]$$

Donde:

E es el módulo de Young,

ϵ es la deformación adimensional

σ el esfuerzo.

- Esfuerzos uniformemente distribuidos: En este caso este esfuerzo se llama tensión, compresión o cortante pura. Este solo se logra si la barra es recta y homogénea, la línea

de acción va por el centroide de la sección, no existe ningún abrupto en la sección transversal. En la práctica no se encuentra muchos de estos casos, pero se puede usar estos supuestos para facilitar los cálculos (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 84).

- Esfuerzos normales en vigas en flexión: Se basa en ciertos criterios los cuales son: estar sometidos a flexión pura, que el material sea homogéneo, que el material cumpla con la ley de Hooke, que la viga sea recta y de sección constante, que sus secciones permanezcan planas durante la flexión (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 85).
- Esfuerzos cortantes para vigas en flexión: En la mayoría de las vigas en pocos casos se ve la flexión pura, sin embargo, sus ecuaciones se desarrollan bajo ese supuesto, por lo que no presenta un problema difícil incluir la fuerza cortante en el desarrollo de cualquier problema (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 90).

Para este caso se usa el cálculo integral para sacar el esfuerzo cortante en cada eje y reducirlo a la ecuación:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \quad [1.3]$$

Donde:

b es el ancho de la sección.

V es el momento flexionante.

Q es el área.

I es el segundo momento del área de toda la sección alrededor del eje neutro.

1.12.4.3 Modelo matemático de deformación Johnson –Cook

Según el modelo Johnson-Cook el desarrollo de la tensión de los materiales, está relacionado con tres fenómenos específicos los cuales son: el endurecimiento isotrópico, el endurecimiento según la velocidad de deformación y el ablandamiento térmico, cabe recalcar que cada uno

de estos fenómenos puede estudiarse de forma independiente del otro por lo que la ecuación puede ser usada sin alguno de ellos según la investigación. (Limbadri, y otros, 2017, pág. 966). Esta forma simplista de tomar en cuenta los parámetros de deformación, hace que el modelado de elementos finitos según Johnson –Cook, sea uno de los modelos para predecir el comportamiento de materiales a altas velocidades de deformación más usados dentro del ámbito científico. Su flexibilidad al momento de prescindir de algún fenómeno implicado en la experimentación, ha permitido que los distintos estudios sobre materiales se puedan centrar en averiguar cómo actúa bajo ciertos cambios, ya sea en la velocidad de maquinado o su temperatura de trabajo inicial o final (Limbadri, y otros, 2017, pág. 968).

Y su ecuación es:

$$\sigma = [A + B * \varepsilon^n][1 + C \ln \varepsilon^*] \left[1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melting} - T_{room}} \right)^m \right] \quad [1.4]$$

Donde:

ε es la deformación plástica equivalente

ε^* es una tasa de tensión plástica adimensional, esta es formada por la división de la velocidad de deformación y la velocidad referencial del material

T es la temperatura homóloga

T room es la temperatura ambiental

T melting es la temperatura a la cual el material alcanza su punto de fundición

Las constantes A, B, C, m y n son específicas del material. (Kupchellaa, Stowe, Xiao, Algosu, & Cogar, 2015, pág. 318).

A es el límite elástico del material

B es el módulo de endurecimiento por deformación

C es el coeficiente de sensibilidad a la velocidad de deformación

n es el coeficiente de endurecimiento por deformación

m es el coeficiente de sensibilidad a la temperatura

σ es la tensión efectiva (Von Mises) (Daoud, Chatelain, & Bouzid, 2017, pág. 392). En algunos casos los valores son similares o iguales a otros materiales.

Otra importancia de la simplicidad de este modelo es la de poder ser modificado de acuerdo con la investigación que se lleve a cabo. En varios estudios el modelo Johnson-Cook, se modificó para que abarque ciertas instancias adicionales en cada investigación individual, desarrollado principalmente para predecir de mejor manera el comportamiento de los materiales, de acuerdo con los requerimientos de dichos estudios.

1.12.5 SELECCIÓN DE MATERIALES

Para seleccionar un material es crucial considerar las propiedades que el elemento posea para su posterior aplicación, existen varios parámetros para su selección ya sean físicos o económicos. El diseñador a cargo de la realización de la pieza tendrá en cuenta, que propiedades deberá ocupar mayor prioridad dentro del diseño, lo cual podría ser geométrico, de composición, entre otros. Por medio de software dedicado a la ingeniería, actualmente se hace más sencilla esta tarea, asimismo existen variados gráficos, que si bien pueden ser algo básico dentro de la carrera de cualquier ingeniería; son aquellos que suelen ser de suma importancia dentro de la práctica. Estos gráficos sobreponen variadas propiedades dependiendo de las posibilidades o requerimientos del elemento de variados materiales para que la elección en base de sus propiedades sea más sencilla (Budynas & Nisbett, 2008, pág. 56). Ejemplo:

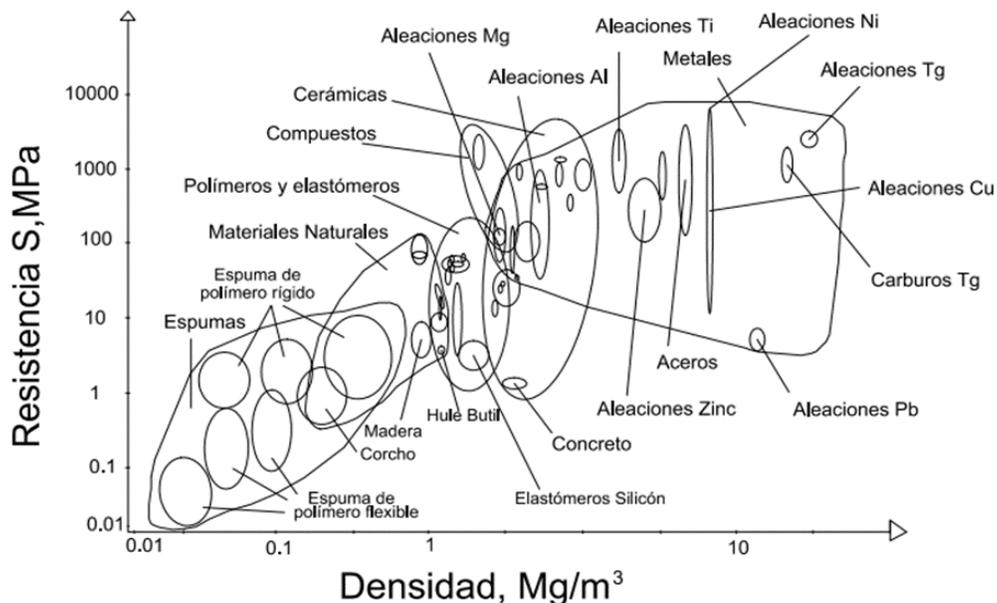


Figura 1.2 Cuadro de selección de materiales
(Budynas & Nisbett, 2008, pág. 62)

En la Figura 1.2 se observa un gráfico de la resistencia contra la densidad de varios materiales. La misma brinda una visión total de los materiales que se pueden usar acorde a las necesidades del diseñador, para un elemento de acuerdo con las especificaciones necesarias de las prestaciones de la maquinaria.

1.13 HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

Como el título lo menciona, las herramientas de las que se hace uso en el presente trabajo corroboran o desechan la hipótesis propuesta. La recolección de los datos tiene en cuenta dos aspectos principales que son la confiabilidad de la información recaudada y la validez que los ensayos han tenido (Chávez, 2019, pág. 121).

Como se menciona en las diferentes citas expuestas en el documento, cada una de ellas es tomada de varios estudios, trabajos y bibliografía especializada, por lo cual ambos parámetros mencionados son cumplidos a cabalidad. En cuanto a las herramientas usadas en la investigación son ampliamente aceptadas en el campo investigativo. Aquí se hace uso de la relación lineal como principal herramienta estadística, se toma como apoyo el software estadístico para facilitar el procesado de datos.

1.13.1 REGRESIÓN LINEAL

La palabra regresión se acuña por Francis Galton (1822-1911), al describir el fenómeno hereditario de las estaturas de padres a hijos, que daba como resultado que los hijos eran en mayor o menor cantidad de mayor estatura que sus progenitores; poco después el término se comenzó a utilizar en un contexto más estadístico (Viedma C. d., 2018, pág. 229).

En términos generales la regresión lineal es una técnica estadística, que permite conocer la relación entre una variable dependiente (Y) y una o varias variables independientes (X). (Gutiérrez & Vladimirovna, 2016, pág. 272). Mediante su análisis y modelización, ayuda a entender cómo influyen los cambios producidos de las variables independientes, en la variable dependiente.

Es necesario decir que la variable dependiente es la más importante, ya que con ella se obtienen los valores para entender y explicarlos mediante las otras variables. En tanto las variables independientes son la causa de otras variables. (Santana, 2018, pág. 100).

Los niveles de las variables son los siguientes:

- Variable dependiente cuantitativa: En este caso se usa la regresión lineal para su análisis.
- Variable dependiente cualitativa: Aquí se utiliza la regresión no lineal.
- Variable dependiente ordinal: Se usa la regresión logístico ordinal.
- Variable dependiente nominal: Aquí se usa la regresión multinomial, la regresión logística condicional.
- Variable dependiente dicotómica: Lo mejor es usar un análisis de regresión logístico.

1.13.1.1 Regresión lineal simple

Se usa para entender fenómenos aleatorios, analizando estadísticamente la posible regresión lineal entre dos características cuantitativas X e Y. (Horra N. , 2018, pág. 161).

$$y = b_1 + b_2x \quad [1.5]$$

Donde sus valores se calculan por métodos de mínimos cuadrados (Evans & Rosenthal, 2015, pág. 572). Y son:

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad [1.6]$$

$$b_1 = \bar{y} + b_2 * \bar{x} \quad [1.7]$$

- Diagrama de dispersión: Se trata de una representación gráfica de valores cuantitativos, en el que se observa simultáneamente X e Y de modo no lineal (ya que su grafica solo es representada en puntos en el plano) y por lo tanto no los une ningún tipo de recta. Siempre se deberá tomar en cuenta que tanto los valores del eje de las abscisas como de las ordenadas tengan una escala adecuada para facilitar su montaje en la imagen producida (Horra J. d., 2018, pág. 5). Ejemplo:

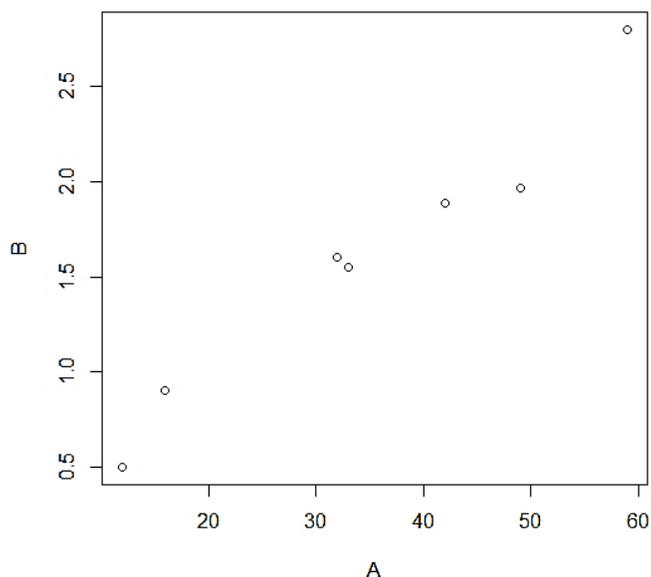


Figura 1.3 Cuadro de Dispersión lineal de datos

En la Figura 1.3 se establece que, si tanto X como Y crecen es una creciente lineal. Pero si aumenta X y disminuye Y es decreciente lineal, si tanto X como Y están muy dispersos es que no existe una correlación entre ellos y cuando X e Y forman curvas marcadas existe una relación no lineal entre ellos (Viedma C. d., 2018, pág. 229).

- Supuestos de la variable dependiente en el análisis de la regresión: Es necesario tener muy cuenta que los objetivos y suposiciones del modelo que se desarrolla y el objetivo principal es el de predecir de modo fiable la variable dependiente en base a las variables independientes asociadas (Horra N. , 2018, pág. 161).

- Supuestos del error en un modelo lineal: Este muestra el error posible determinado aleatoriamente, este error se toma en cuenta ya que al ocupar variables independientes para pronosticar variables dependientes puede desviarse un poco de su valor real y este es un error de modelo debido a que las independientes precisas no se tomaron en cuenta o error aleatorio que se produce normalmente en cualquier cálculo estadístico (Gutiérrez & Vladimirovna, 2016, pág. 277).

Por ello el error producido en datos estadísticos siempre ira aumentado a medida que más datos se utilicen en el estudio o investigación.

- Coeficiente de correlación y determinación: Este parámetro explica la tendencia de correlación de linealidad que poseen tanto la variable independiente como dependiente. Dando de ese modo una idea más general del comportamiento de ambas variables en especial de la variable dependiente que proporcionara determinado comportamiento respecto a la variable independiente (Salazar, 2018, pág. 132).
- Coeficiente lineal: Mide en forma cuantitativa el grado de relación entre las variables del modelo. Siendo r la fuerza de la relación entre X e Y, también conocido como el coeficiente de correlación de Pearson (Gutiérrez & Vladimirovna, 2016, pág. 291).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad [1.8]$$

Cabe recalcar que el valor de r esta entre los valores de -1 y 1, siendo ± 1 una negativa o positiva perfecta lo que indica una firme relación entre ambas variables. Y si el valor resultase cero esto se tomará como la inexistencia de relación entre la variable dependiente con respecto a la variable independiente.

- Coeficiente de determinación de correlación: El coeficiente de determinación está definido como r^2 y se expresa en porcentaje. Ejemplo:

$$r = 0.98$$

$$r^2 = 0.96 = 96\%$$

Y su ecuación esta expresada como:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad [1.9]$$

Siendo \hat{y}_i los valores sacados por medio de la ecuación, y_i las muestras tomadas, \bar{y} siendo el promedio de las muestras de Y (Gutiérrez & Vladimirovna, 2016, pág. 297).

1.13.1.2 Regresión lineal múltiple

Esta regresión es básicamente como la regresión lineal simple, pero incluye el factor de m+1 parámetros (Gutiérrez & Vladimirovna, 2016, pág. 305).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \varepsilon \quad [1.10]$$

- Interpretación de parámetros: Los modelos de regresión lineal no son exactamente una muestra de causa efecto entre las variables, en cambio se muestra comportamientos predictores que explican la respuesta promedio de la variable dependiente. La explicación de la relación causa efecto entre fenómenos es una experimentación adecuada bajo rigurosos ambientes controlados, por ello en esta técnica estadística solo se maneja variables lo que queda fuera del alcance predictivo del trabajo presentado (Gutiérrez & Vladimirovna, 2016, pág. 325).
- Multicolinealidad y modelos parsimoniosos: A medida que se trabaja con más variables predictoras, puede darse el caso de que dos o más variables independientes muestren un nivel de correlación fuerte entre ambos en este caso se dirá que existe la multicolinealidad y esta deberá ser corregida, ya que interfiere con el principio de parsimonia que indica que todo modelo debe ser expresado de la forma más sencilla y concreta, para su fácil entendimiento y manejo (Gutiérrez & Vladimirovna, 2016, pág. 326).

1.13.1.3 Software estadístico

Se entiende por programa estadístico a una librería de paquete informático que analiza uno o varios archivos desde el punto de vista estadístico (Moriña, Utzet, Nedel, Martín, & Navarro, 2016, pág. 1). El software estadístico es un programa informático que se usa para; mejorar la graficación, interpretación, o análisis de un compilado de datos estadísticos. Sirve para aumentar la efectividad del procesamiento de dichas cantidades facilitando la parte del procesamiento de información. Es deber del investigador o usuario saber interpretar sus resultados, así como discriminar la información que es fútil, en caso de que aparezca dentro del trabajo realizado.

También cabe mencionar que estos programas son una herramienta y por lo tanto solo se usa en la justa medida para lo necesario, ya que, al tratar con software estadístico, se cuenta que demuestre una posible predicción que posteriormente (de ser necesario), se evidencia de modo experimental bajo los parámetros establecidos según la normativa actual de cualquier campo al que este sujeto el trabajo (Moriña, Utzet, Nedel, Martín, & Navarro, 2016, pág. 2). Al aclarar esto, la aplicación estadística que se utiliza en el presente trabajo es el software estadístico R.

- Software Estadístico R: Como su definición se tiene que R es un lenguaje de programación que permitirá al usuario usar variadas herramientas algorítmicas, dentro del campo de la estadística es casi ilimitado, ya que el uso que se le puede dar es muy amplio. Este programa es capaz de manejar el cálculo y manejar técnicas estadísticas complejas, se puede usar paquetes elaborados por los usuarios en la web o siendo desarrolladas por el mismo usuario. (Liviano & Jover, 2017, pág. 19). Existe cierta desventaja en el aprendizaje de este software ya que requiere que se aprenda programación para su ejecución.
- Sintaxis y programación: R está dispuesto para la información modulada por ello maneja datos numéricos como números reales y complejos, caracteres y comandos lógicos como pueden ser, verdadero y falso. Se tiene en cuenta las diferenciaciones de estos datos, R puede convertir los datos e información en otros como por ejemplo pasar de matrices a vectores y viceversa (Liviano & Jover, 2017, pág. 25). Entre ellos se tienen:

Data frame: Datos bidimensionales en forma de columnas.

Vector: Información con una longitud propuesta.

Array: Datos que poseen dimensión.

Matrix: Array de dos dimensiones en filas y columnas.

List: Objetos que pueden ser de distintas clases recogidas.

Function: Pieza del código cualquiera que es una estructura matemática o lógica.

Factor: vector que especifica a otro vector de igual longitud.

Formula: Relación funcional entre una variable con el resto de sus variables.

- Operaciones básicas: Se cuenta además de la aritmética básica, la estadística básica y si se desea tener más operaciones de modo sencillo se puede instalar “paquetes” de la propia página de R, que brindan mayores posibilidades en cuanto a operaciones realizadas (Moriña, Utzet, Nedel, Martín, & Navarro, 2016, pág. 3).

```
v4 <- c(-2,3,5,0,0,3)
v5 <- c(20,14,51,76,21,30)
```

Descripción	Instrucciones	Resultado
Longitud	<code>length(v4)</code>	6
Máximo	<code>max(v4)</code>	5
Mínimo	<code>min(v4)</code>	-2
Suma	<code>sum(v4)</code>	9
Producto	<code>prod(v4)</code>	0
Media	<code>mean(v4)</code>	1.5
Mediana	<code>median(v4)</code>	1.5
Desviación estándar	<code>sd(v4)</code>	2.58
Varianza	<code>var(v4)</code>	6.7
Covarianza	<code>cov(v4,v5)</code>	5.8
Correlación	<code>cor(v4,v5)</code>	0.09
Producto escalar	<code>sum(v4,v5)</code>	347

Figura 2.4 Operaciones básicas de Software R
(Liviano & Jover, 2017, pág. 29)

En la figura 2.4 se observa una muestra de operaciones básicas que posee R, en su biblioteca básica de instalación, si se llegase a desear mayor complejidad en los cálculos de los valores que se desee realizar en el software, se instala paquetes acordes con las necesidades del usuario.

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se enfocó en dar a conocer de la manera más concisa posible el camino a tomar, para la demostración del nivel de correlación existente entre los parámetros del modelo matemático de Johnson- Cook y las propiedades tecnológicas de los materiales. Se divide en dos enfoques principales los cuales se describieron a continuación.

2.1 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

En el trabajo presentado se usó la investigación descriptiva para la recopilación de datos tanto de los parámetros del modelo Johnson-Cook que se encuentran en distintos artículos publicados en revistas científicas y cuyos valores se obtuvieron por medio de experimentación. Como también fue compilado valores correspondientes a las propiedades tecnológicas de los metales usados en la industria automotriz. Entre las propiedades que se tomó en cuenta están: el índice de maquinabilidad, el grado de tenacidad y la dureza.

Se comenzó por la recolección de datos acerca del modelo Johnson-Cook, leyendo varios artículos del tema para familiarizarse con su terminología. Además de la comprensión del concepto que representaba dentro del campo de la mecanización. Se continuó recogiendo los datos de cada parámetro de metales usados en la industria automotriz; como lo son los aceros de diversos tipos, titanio, cobre, aluminio y sus respectivas aleaciones dentro de las publicaciones. Al identificar estos datos se prosiguió a su respectiva organización en una hoja de Excel, para una vista clara de los parámetros que los artículos tenían en ellos, debido a que en algunos casos se trató de variantes de la ecuación en algunos estudios, por lo que fue necesario colocar casillas adicionales en caso del manejo de parámetros adicionales, en concordancia con lo que el investigador considero pertinente a su trabajo. Se procedió a buscar en literatura especializada de propiedades mecánicas de los metales tales como su dureza, maquinabilidad y tenacidad, tanto en la biblioteca física como virtual que la universidad tiene a disposición. Posterior a ello se cotejo contra los parámetros del modelo J-C. A continuación, se colocó un flujograma que resume este proceso de modo más práctico para el lector.

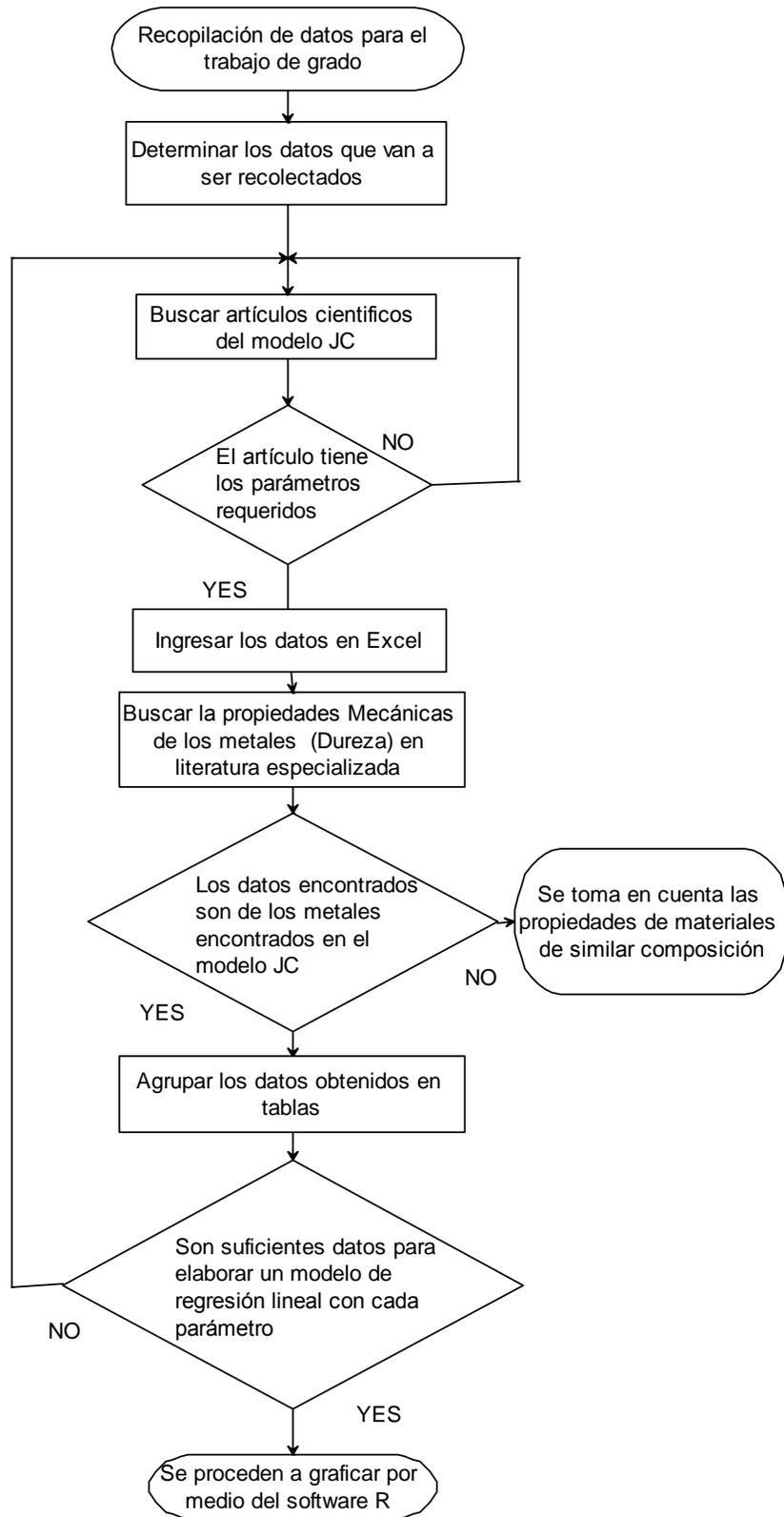


Figura 2.1 Flujograma de recolección de datos para el trabajo de investigación

En la Figura 2.1 se esquematizó un flujograma para resumir de manera breve el proceso seguido para la compilación de valores pertinentes en la elaboración del trabajo presentado.

En la Tabla 2.1 se agrupo las ecuaciones de los distintos materiales metálicos expuestos acorde a su ecuación, esto fue debido a que en los diversos artículos del modelo de Johnson-Cook, esté sufría algunas variaciones de acuerdo con el estudio realizado en el artículo publicado. Por lo cual se continuó la investigación correlacional, en función de los materiales que cumplieren el modelo matemático básico de Johnson-Cook representado por el grupo I.

Tabla 2.1 Agrupación en bloques por similitud de modelos Johnson-Cook

Material	Ecuación del artículo	Grupo
Aleación de aluminio 2024	$\sigma=[A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_r}{T_m-T_r} \right)^m \right]$	I
Composición	Cu Mg Mn Fe Si Zn Ti Cr Al 4.76 1.38 0.65 0.22 0.08 0.07 0.03 0.01 Balance	
Aleación de aluminio 7075	$\sigma_{flow}=[A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_r}{T_m-T_r} \right)^m \right] + C_p p$	II
Composición	N/A	
Ti6Al4V	$\sigma_i=[A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_r}{T_m-T_r} \right)^m \right]$	I
Composición	N/A	
Acero 4340	$\sigma^0=[A+B(\varepsilon^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	III
Composición	N/A	
350 acero Martensítico (2Cr12Ni4Mo3VNbN Steel(martensita))	$\sigma_i(T, \varepsilon, \dot{\varepsilon})=[A+B\varepsilon_e^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^p \right] \left[1-\left(\frac{T-T_r}{T_m-T_r} \right)^m \right]$	IV
Composición	C Cr Ni Mo Nb V N Fe 0.02% 12.09% 3.46% 3.80% 0.38% 0.47% 1.43% Balance	
17-7 H Acero (H13)	$\sigma=[A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_r}{T_m-T_r} \right)^m \right]$	I
Composición	C Si Mn Cr Mo V P S Fe 0.32–0.45 0.8–1.25 0.2–0.6 4.75–5.5 1.1– 1.75 0.8–1.2 ≤0.03 ≤0.03 Balance	
Níquel	$\sigma_{JC}=[A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_0}{T_m-T_0} \right)^m \right]$	I
Composición	N/A	

Tabla 2.1 Agrupación en bloques por similitud de modelos Johnson-Cook (Continuación...)

Acero 304 L	$\sigma^0 = [A+B(\varepsilon^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	III
Composición	N/A	
Titanio III	$\sigma^0 = [A+B(\varepsilon^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	III
Composición	N/A	
Cobre	$\bar{\sigma} = [A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{room}}{T_m-T_{room}} \right)^m \right]$	I
Composición	N/A	
Acero blando o bajo en carbono	$\bar{\sigma} = [A+B(\bar{\varepsilon}^{pl})^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\bar{\varepsilon}^{pl}}{\varepsilon_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	I
Composición	C 0.188 Si 0.1855 Mn 0.8375 S 0.0342 Cr 0.0213 Ni 0.0217 A 0.0762 Fe Bal.	
Acero 316	$\sigma_{eq} = [A+B\varepsilon_{eq}^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\varepsilon_{eq}}{\varepsilon_{eq}^0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	I
Composición	Cr (%) Ni (%) Mo (%) C (%) Mn (%) Si (%) P (%) S (%) N (%) Fe (%) 16-18 2-3 <0.03 2 0.75 0.045 0.03 0.1 Base	
Aluminio (20-41) (6061)	$\sigma_i^p = [A+B(\varepsilon_i^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{room}}{T_{melting}-T_{room}} \right)^m \right]$	I
Composición	N/A	

(Iturbe, y otros, 2017, pág. 450)

(Prawoto, Fanone, Shahedi, Ismail, & Wan Nik, 2012, pág. 55)

(Zhang, Outeiro, & Mabrouki, 2015, pág. 118)

(Denguir, Outeiro, Fromentin, Vignal, & Besnard, 2017, pág. 155)

(Iqbal, Senthil, Bhargava, & Gupta, 2015, pág. 105)

(Karkalos & Markopoulos, 2018, pág. 112)

(Zhenguo, Wang, Jianchao, Liu, & Yiming, 2016, pág. 168)

(Li, Zhang, Zhang, Chen, & Zhang, 2018, pág. 249)

(Reza & Saeid, 2019, pág. 126)

(Daoud, Chatelain, & Bouzid, 2017, pág. 397)

(Florando, y otros, 2015, pág. 406)

En el primer grupo (I) de ecuaciones se visualizó la ecuación del modelo de deformación de Johnson-Cook en su forma más básica tomándose en cuenta los parámetros seleccionados (A, B, C, n, m). Y en los casos donde aparecen tanto p de presión constante y el superíndice pl fue una abreviatura que se refería a una denominación (plastic).

En la ecuación del segundo grupo (II) se observó que estaba constituida por un término adicional Cp. Es la dependencia a la presión, pero en el artículo todos resultaron uno,

nulificando el valor (p) de la presión cualquiera que esta sea. En el tercer grupo (III) de ecuaciones se observó una p que está incluida dentro de la ecuación y esta fue la presión sometida al material, pero no se aclaró el valor exacto por lo que se sobreentiende que deberá estar aplicada en un valor constante a lo largo de la investigación y donde el superíndice pl es una denominación del autor con el parámetro.

En el cuarto grupo (IV) de ecuaciones se mostró una p que es lo similar a C , un coeficiente de sensibilidad a la velocidad de deformación. Aquí se empleó el modelo modificado de la ecuación, en el que se vio el comportamiento tanto en una fase del material martensítica y austenítica.

En la Tabla 2.2 subsecuente se colocó los datos recopilados de varios artículos que tenía como principal objeto en sus estudios el mecanizado de materiales apoyándose en la ecuación de Johnson-Cook, como se pudo observar los parámetros de la ecuación original sin tomar en cuenta sus variaciones, debido a la especialidad en las que se centraron dichos estudios. De ser necesario se colocó varios materiales extras dentro del Anexo 1, de esa manera se mostró una idea más amplia de los materiales manejados dentro de las del trabajo investigativo.

Tabla 2.2 Compilación de materiales metálicos usados en la industria automotriz actual

Material	A (MPa)	B (MPa)	C	n	m	ϵ_0	Tipo
Níquel	1377	1243,5	0,005	0,677	1,29	1	1
Acero 304 L	310	1000	0,07	0,65	1	0,01	3
Titanio	863	331	0,012	0,34	0,8	1	3
Ti6Al4V	1098	1092	0.014	0.93	1,1	1	1
Cobre	125	316	0,014	0,44	0,7	0,1	1
Acero blando o bajo en carbono	304,33	422,01	0,015	0,345	0,87	0,0001	1
Acero 316	310,8	881,38	0,19	0,178	1,25	1	1
Acero 4340	792	509	0.014	0.26	1	1	3
350 acero Martensítico (martensita)	1107,9	444,56	3,1	0,117	1,05	0,001	4
17-7 H Acero (H13)	1469	321,39	0,028	0,278	1,18	1	1
Aluminio 6061	324	114	0,002	0,42	1,34	1	1
Aleación de aluminio 2024	265	426	0,015	0,34	1	1	1
Aleación de aluminio 7075	480	370	0,007	0,43	0,74	1	2

(Iturbe, y otros, 2017, pág. 448)

(Prawoto, Fanone, Shahedi, Ismail, & Wan Nik, 2012, pág. 52)

(Zhang, Outeiro, & Mabrouki, 2015, pág. 115)

(Denguir, Outeiro, Fromentin, Vignal, & Besnard, 2017, pág. 155)
 (Iqbal, Senthil, Bhargava, & Gupta, 2015, pág. 102)
 (Karkalos & Markopoulos, 2018, pág. 110)
 (Zhenguo, Wang, Jianchao, Liu, & Yiming, 2016, pág. 167)
 (Li, Zhang, Zhang, Chen, & Zhang, 2018, pág. 248)
 (Reza & Saeid, 2019, pág. 125)
 (Daoud, Chatelain, & Bouzid, 2017, pág. 397)
 (Florando, y otros, 2015, pág. 405)

En la Tabla 2.3 se ordenó la información compilada sobre las propiedades mecánicas y tecnológicas de los materiales metálicos, que en este caso fueron; la dureza, la tenacidad y la maquinabilidad de los metales que coincidieran con los metales encontrados en el modelo matemático de Johnson-Cook. Tanto las unidades de la tenacidad como de la dureza se las denominó según las unidades más usadas dentro de las fuentes consultadas y la maquinabilidad es adimensional debido a que su valor representa un porcentaje.

Tabla 2.3 Recopilatorio de propiedades mecánicas y tecnológicas de los metales

Material	Dureza (Brinell)	Tenacidad ($MPa\sqrt{m}$)	Maquinabilidad	Tipo
Níquel	90	51	0,3	1
Acero 304 L	165	62	0,4	3
Titanio	160	100	0,3	3
Ti6Al4V	363,54	119	0,2	1
Cobre	35	30	0,6	1
Acero blando o bajo en carbono	135	33	0,5	1
Acero 316	205	64	0,35	1
Acero 4340	250	60,4	0,57	3
350 acero Martensítico	290	55	0,38	4
17-7 H Acero (H13)	500	76,9	0,48	1
Aluminio 6061	25	27	1,9	1
Aleación de aluminio 2024	36	26,4	1,5	1
Aleación de aluminio 7075	60	24,2	1,2	2

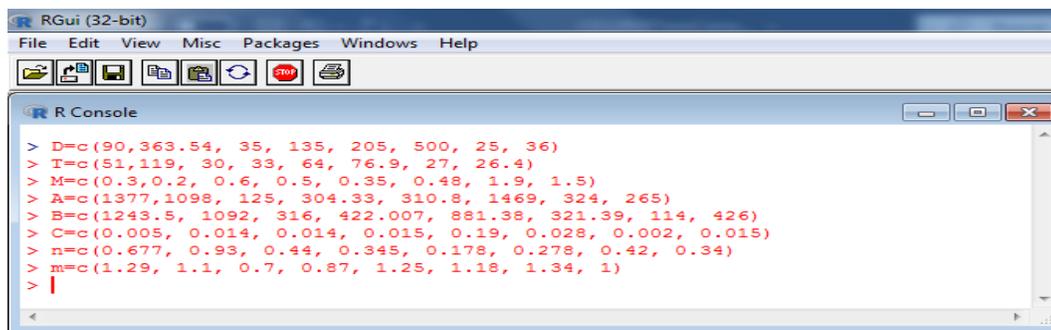
(Nickel Institute, 2018)
 (Rodríguez, 2019)
 (Groover, 2007, págs. 54, 576)
 (Smith & Hashemi, 2006, pág. 28)
 (Anonimo, 2003, pág. 13)
 (Troshchenko & Pokrovskii, 2003, pág. 5)
 (Matthews, 1973, pág. 85)
 (AZO Materials, 2019)
 (Quaker Chemical, 2019, pág. 3)
 (AIT, 2019)
 (Mirage, 2019, pág. 1)

2.2 INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL

Una pregunta sobre los datos recopilados en serie a lo largo del tiempo es si las mediciones consecutivas se correlacionan entre sí (Hoffman, 2019, pág. 445). Por ello en esta parte de la investigación, se concentró en determinar el nivel de correlación existente entre los parámetros del modelo JC y las propiedades mecánicas de los metales en estudio. Si bien es cierto que pudiese existir algún grado de relación entre las variables investigadas, un estudio correlacional a través de herramientas estadísticas permitió determinar con certeza el grado de correlación existente entre estas variables (Sampieri, Fernandez, & Baptista, 2014, pág. 99). En este tipo de investigación se dio validez a la hipótesis planteada, se usó herramientas estadísticas como lo son la regresión lineal, pasando de comprobaciones empíricas a tener resultados cuantitativos. Los resultados que se obtuvieron en esta parte de la investigación fueron de ayuda para establecer las ecuaciones necesarias y de ese modo se implanto su correlación cuantitativamente entre los valores estudiados.

A continuación, se representó con los datos recolectados, las tablas y gráficos correspondientes. Se estableció las respectivas ecuaciones del capítulo siguiente para determinar el nivel de correlación existente entre los parámetros J-C y las propiedades mecánicas de los materiales metálicos usados en el campo automotriz. Dentro del procedimiento seguido se ingresó los datos de las tablas a continuación expuestas, en el programa R como vectores de coeficientes. Posteriormente se procedió a graficar los puntos de dispersión de los datos ingresados. Se colocó los datos dentro de un campo de linealidad con lo que se logró realizar su regresión lineal simple. Siguiendo este proceso se continuó ingresando las líneas adecuadas. De ese modo se graficó sus respectivas regresiones quedando las figuras como se observó a continuación. Para tener una idea más clara de las líneas de contenido del programa R, se procedió de la siguiente manera:

- Se ingresó los datos de los parámetros como vectores de coeficientes para que de ese modo el programa reconociera sus valores:



```

RGui (32-bit)
File Edit View Misc Packages Windows Help
R Console
> D=c(90,363.54, 35, 135, 205, 500, 25, 36)
> T=c(51,119, 30, 33, 64, 76.9, 27, 26.4)
> M=c(0.3,0.2, 0.6, 0.5, 0.35, 0.48, 1.9, 1.5)
> A=c(1377,1098, 125, 304.33, 310.8, 1469, 324, 265)
> B=c(1243.5, 1092, 316, 422.007, 881.38, 321.39, 114, 426)
> C=c(0.005, 0.014, 0.014, 0.015, 0.19, 0.028, 0.002, 0.015)
> n=c(0.677, 0.93, 0.44, 0.345, 0.178, 0.278, 0.42, 0.34)
> m=c(1.29, 1.1, 0.7, 0.87, 1.25, 1.18, 1.34, 1)
>

```

Figura 2.2 Ingreso de vectores en la interfaz de R

En la Figura 2.2 se observó un ejemplo de cómo deberán ingresarse los valores de en la interfaz del programa R, esto podría variar dependiendo de cómo desea ingresar los valores el usuario dependiendo de sus necesidades y de acuerdo con los paquetes que maneje.

- Siguiendo ese paso, se graficó cada vector de parámetro del modelo de Jonhson-Cook, con respecto a una propiedad tecnológica de los metales en este caso su dureza.

plot (D, A)

- Después se realizó un modelamiento lineal dentro de sus coeficientes por medio del comando (lm), guardándolo en otro vector (uno).

uno= lm (A~D)

- Posteriormente se procedió a graficar la recta por medio de los comandos de R, que ajustan los datos previamente linealizados en una recta visible dentro del mismo gráfico.

abline (lsfit (D, A))

- Una vez se obtuvo el gráfico, por medio del comando (coef) se calculan los principales puntos de intersección de la recta con sus respectivos ejes.

coef (uno)

- El ultimo comando se usó para el análisis posterior en su respectivo capítulo, pero aquí mostro el nivel de correlación existente entre cada parámetro con la propiedad tecnológica usada, en datos cuantitativos.

summary (uno)

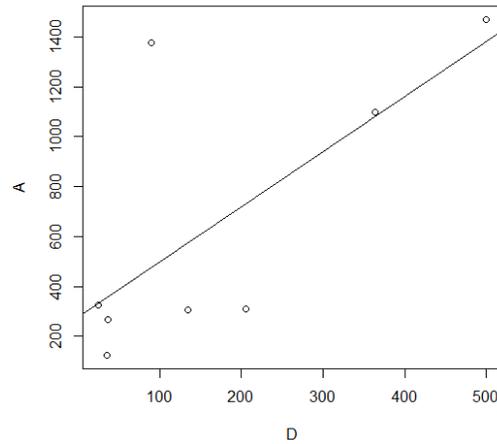


Figura 2.3 Regresión Lineal entre A (límite elástico) y la dureza de varios metales

En la Figura 2.3 se observó la tendencia de los parámetros de A contra la dureza. Ambos valores mostraron una tendencia a cierto grado de correlación entre ellos, por lo cual se aplicó un modelamiento lineal. Los puntos que estuvieron alineados con la recta son tres por lo cual hace que el valor de correlación sea moderado.

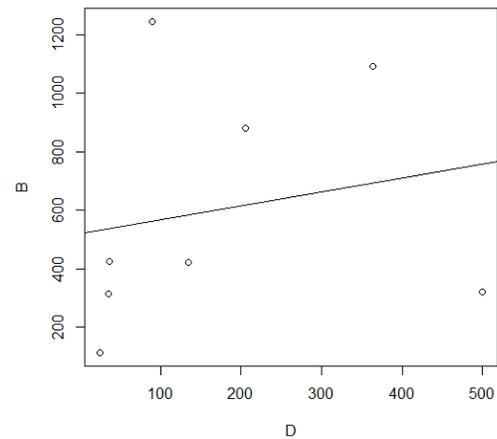


Figura 2.4 Regresión Lineal entre B (módulo de endurecimiento por deformación) y la dureza de varios metales

En la Figura 2.4 se observó la tendencia de los parámetros del módulo de endurecimiento por deformación contra la dureza (B) enfrentado contra la dureza. Como se graficó la recta

producida en el modelamiento esta no intercepto con ninguno de los puntos de valores por lo cual su grado de correlación fue bajo.

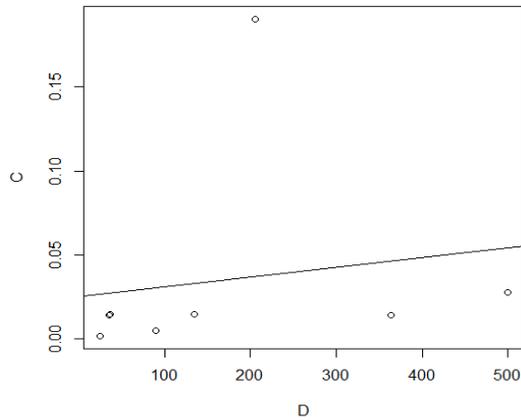


Figura 2.5 Regresión Lineal entre C (módulo de endurecimiento por deformación) y la dureza de varios metales

En la Figura 2.5 se observó la tendencia de los parámetros del coeficiente de sensibilidad a la velocidad de deformación contra la dureza de diversos metales usados en la industria automotriz. Los puntos por debajo de la recta del modelamiento lineal se hallaron más cercanos a la misma pero debido a un punto anormal sobre la recta su valor de correlación fue menor al esperado.

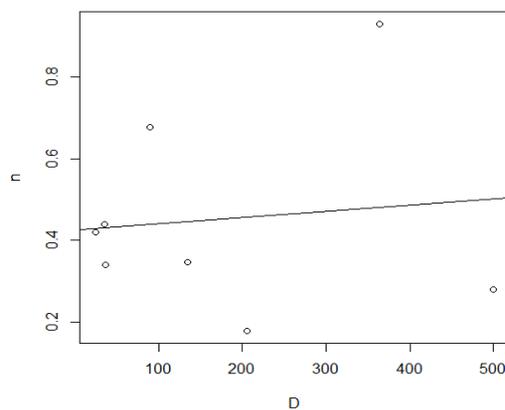


Figura 2.6 Regresión Lineal entre n (coeficiente de endurecimiento por deformación) y la dureza de varios metales

En la Figura 2.6 se observó la tendencia de los parámetros del coeficiente de endurecimiento por deformación contra la dureza. Los valores aplicados formaron un modelamiento de bajo rango de correlación, esto se produjo por la dispersión de los puntos tan alejados de la recta.

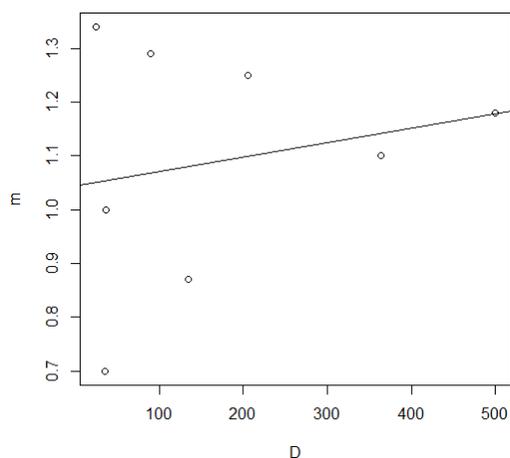


Figura 2.7 Regresión Lineal entre m (coeficiente de sensibilidad a la temperatura) y la dureza de varios metales

En la Figura 2.7 se observó la tendencia de los parámetros de m contra la dureza de diversos. Sus puntos estuvieron dispersos con respecto a la recta trazada por lo que sus valores se denotaron con grado de correlación baja.

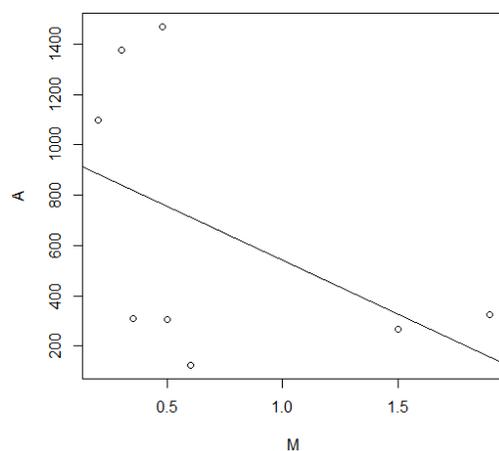


Figura 2.8 Regresión Lineal entre A y la maquinabilidad de varios metales

En la Figura 2.8 se observó la tendencia de los parámetros del límite elástico contra la maquinabilidad. En el modelado de la recta se notó que su pendiente era negativa, pero su grado de correlación fue moderado bajo debido a que fue cercano con algunos puntos.

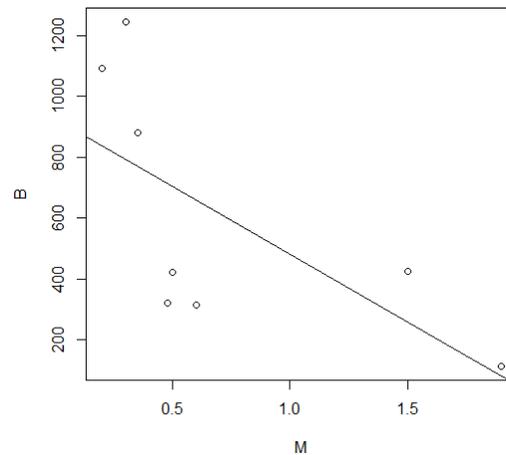


Figura 2.9 Regresión Lineal entre B y la maquinabilidad de varios metales

En la Figura 2.9 se observó la tendencia de los parámetros B contra la maquinabilidad. La figura que se produjo en el lineamiento de igual modo mostro un grado de correlación moderado bajo ya que su resta fue cercana a tres puntos.

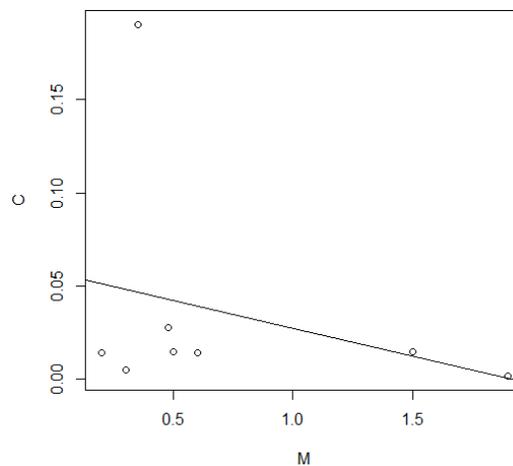


Figura 2.10 Regresión Lineal entre C (módulo de endurecimiento por deformación) y la maquinabilidad de varios metales

En la Figura 2.10 se observó la tendencia de los parámetros del parámetro de sensibilidad a la velocidad de deformación (C) contra la maquinabilidad de diversos metales usados en la industria automotriz. Según su cercanía se esperó un grado de correlación, pero debido a cierto punto anómalo el valor de correlación resultó en un valor bajo.

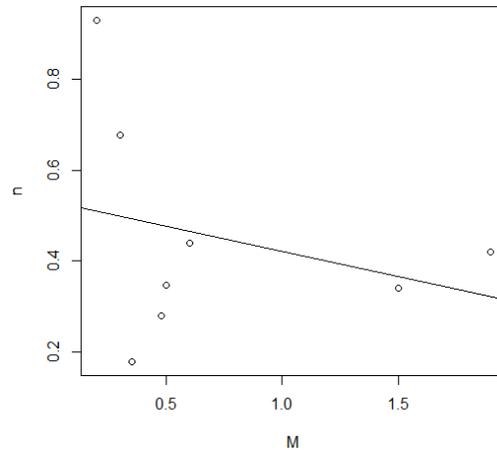


Figura 2.11 Regresión Lineal entre n y la maquinabilidad de varios metales

En la Figura 2.11 se observó la tendencia de los parámetros del coeficiente de endurecimiento por deformación contra la maquinabilidad de diversos metales usados en la industria automotriz. Los valores para formarlo fueron muy dispersos por lo cual, el grado de correlación obtenido fue de rango bajo.

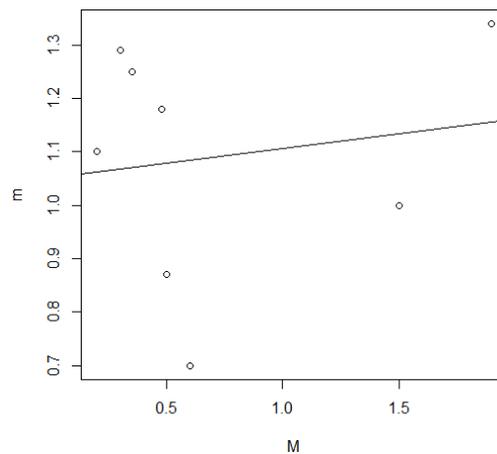


Figura 2.12 Regresión Lineal entre m y la maquinabilidad de varios metales

En la Figura 2.12 se observó la tendencia de los parámetros del coeficiente de sensibilidad a la temperatura contra la maquinabilidad de diversos metales usados en la industria automotriz. Los puntos en el gráfico mostrado fueron discontinuos, por ello el grado de correlación logrado fue de rango bajo.

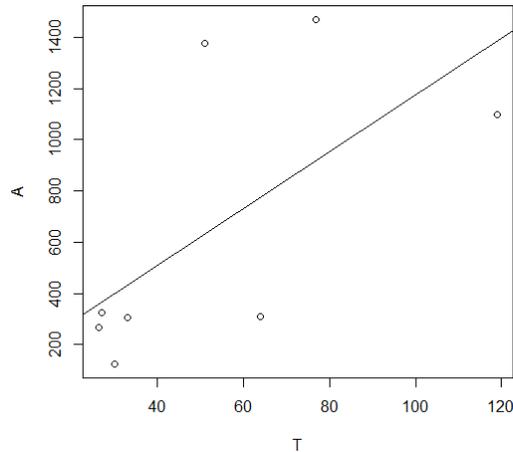


Figura 2.13 Regresión Lineal entre A y la tenacidad de varios metales

En la Figura 2.13 se observó la tendencia de los parámetros de A contra la tenacidad. Los puntos que se acercaron a la recta con mayor proximidad estaban ubicados cerca al origen. En tanto el resto de puntos se mostraron disperso por lo cual, el grado de correlación entre ambos datos fue moderado bajo.

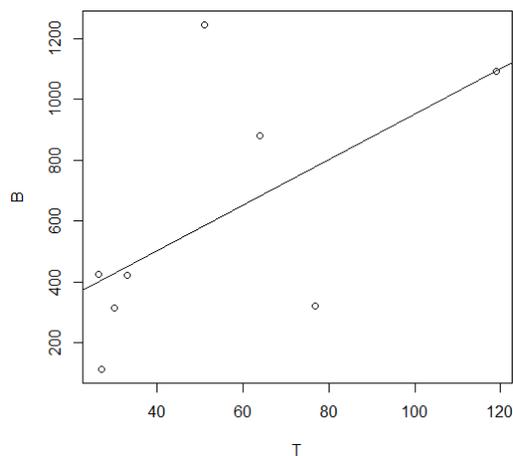


Figura. 2.14 Regresión Lineal entre B y la tenacidad de varios metales

En la Figura 2.14 se observó la tendencia de B contra la tenacidad. Los puntos de manera similar a la figura anterior se agruparon cerca del origen, sin embargo continuaron muy dispersos con respecto a la recta formada. Su grado de correlación fue bajo.

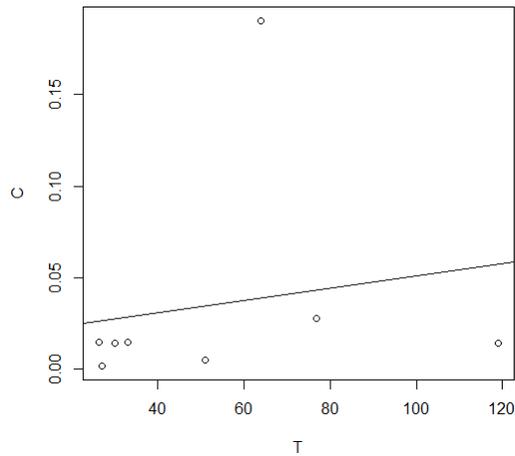


Figura. 2.15 Regresión Lineal entre C y la tenacidad de varios metales

En la Figura 2.15 se observó la tendencia de los parámetros del coeficiente de sensibilidad a la velocidad de deformación contra la tenacidad de diversos metales usados en la industria automotriz. Los datos se ubicaron en su mayoría bajo la recta, pero el punto de dato anormal disminuyó el grado de correlación a un nivel bajo.

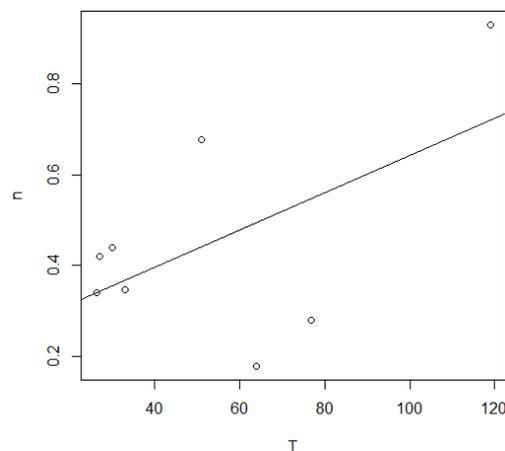


Figura 2.16 Regresión Lineal entre n (coeficiente de endurecimiento por deformación) y la tenacidad de varios metales

En la Figura 2.16 se observó la tendencia de los parámetros de n contra la tenacidad de diversos metales usados en la industria automotriz. Su datos estuvieron de modo más cercano a la recta por lo que su resultado fue de un rango moderado bajo.

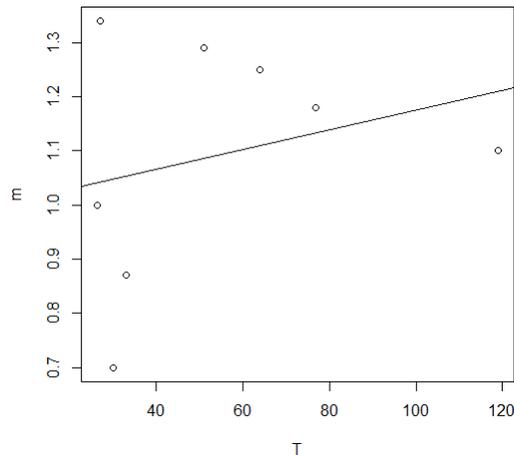


Figura 2.17. Regresión Lineal entre m (coeficiente de sensibilidad a la temperatura) y la tenacidad de varios metales

En la Figura 2.17 se observó la tendencia de los parámetros del coeficiente de sensibilidad a la temperatura contra la tenacidad de diversos metales usados en la industria automotriz. Se advirtió que los puntos estaban realmente dispersos en aquel caso, por lo cual su grado de correlación se vio afectado hasta un nivel bajo.

Dado que los valores que se obtuvieron de la regresión lineal simple fueron moderados bajos en ciertos parámetros como el coeficiente de sensibilidad a la velocidad de deformación (C), con un valor moderado-medio de nivel de correlación. Se continuó realizando regresiones lineales de variables múltiples. Se usó las variables del modelo matemático de Johnson-Cook enfrentado a las propiedades tecnológicas compiladas y estas a su vez utilizadas como valores de logaritmo natural, raíces cuadradas y funciones inversas. Se procedió de la siguiente manera:

- Primero se ingresó los valores de las propiedades tecnológicas en una hoja de Excel junto con los parámetros del modelo de Johnson-Cook de las Tablas 3.2 y 3.3 respectivamente.

- Se procedio a elaborar otra columna de datos de cada una de las operaciones fundamentales (logaritmos, raices e inversos), con los valores de las propiedades tecnológicas.
- Una vez se calcularon los datos completos, se seleccionaron acorde a su ordenamiento(M,T-A; D,M-A;D,M, T- A; etc.).
- Se abrio la pestaña de datos dentro del programa Excel, se selecciono el “Análisis de datos” y se tomo la opción de “Regresión”.
- Posteriormente se selecciono los bloques de datos pertinentes y se obtuvieron los resultados del nivel de correlación múltiple.
- Los valores obtenidos se mostraran ordenadamente en el siguiente capítulo del presente trabajo.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de los datos se tomó los valores de los modelamientos de las regresiones lineales simples de cada una de las figuras expuestas en el capítulo anterior.

En la Tabla 3.1 se coloca los datos resultantes del modelamiento lineal simple, pero se toma como punto principal el nivel de correlación arrojado por el software R. La intercepción en ambos ejes sirve para la formación de las ecuaciones bajo los valores.

Tabla 3.1 Compilación de valores resultantes del modelamiento de los datos

Gráfico	Intercepción abscisas	Intercepción ordenadas	Error estándar abscisas	Error estándar ordenadas	Nivel de correlación resultante
2.2 (A vs D)	2.207	275.842	0.942	224.297	0.478
	$A = 275.842 + 2.207 D$				
2.3 (B vs D)	0.471	520.267	0.948	225.739	0.039
	$B = 520.267 + 0.471 D$				
2.4 (C vs D)	5.859e-05	2.520e-02	1.456e-04	3.468e-02	0.026
	$C = 2.520e - 02 + 5.859e - 05 D$				
2.5 (n vs D)	0.0001	0.424	0.0006	0.134	0.012
	$n = 0.424 + 0.0001 D$				
2.6 (m vs D)	0.0003	1.044	0.0005	0.121	0.045
	$m = 1.044 + 0.0003 D$				
2.7 (A vs M)	-427.4	970.6	320.8	299.1	0.228
	$A = 970.6 - 427.4 M$				
2.8 (B vs M)	-443.5	925.3	201.6	188	0.446
	$B = 925.3 - 443.5 M$				
2.9 (C vs M)	-0.029	0.057	0.039	0.037	0.084
	$C = 0.057 - 0.029 M$				
2.10 (n vs M)	-0.111	0.532	0.152	0.142	0.081
	$n = 0.532 - 0.111 M$				
2.11 (m vs M)	0.055	1.05	0.144	0.134	0.024
	$m = 1.05 + 0.055 M$				
2.12 (A vs T)	11.086	67	5.338	327.915	0.418
	$A = 67 + 11.086 T$				
2.13 (B vs T)	7.465	203.288	4.205	258.327	0.344
	$B = 203.288 + 7.465 T$				
2.14 (C vs T)	0.0003	0.017	0.0008	0.048	0.03
	$C = 0.017 + 0.0003 T$				
2.15 (n vs T)	0.004	0.232	0.002	0.156	0.3
	$n = 0.232 + 0.004 T$				
2.16 (m vs T)	0.002	0.993	0.003	0.165	0.07
	$m = 0.993 + 0.002 T$				

Los resultados que se obtuvieron dependen en gran medida de la recolección de los datos ingresados en el software estadístico R y estos resultados pudieron verse afectados por los siguientes factores:

- Recopilación de los datos de las propiedades mecánicas de los metales; si bien es cierto que las fuentes son verificables y presentan un grado de tecnicismo adecuado, pero debido a los posibles errores por impurezas dentro del patrón usado en las pruebas, así como los errores acumulativos de los valores promedio en las mediciones, paulatinamente se aglomeran los errores. Esto fue reflejado en el valor final de la propiedad tecnológica, lo que significó una inexactitud relevante en su valor final.
- Dado que sus valores de correlación simple fueron muy bajas para establecer una clara tendencia de correlación entre los valores presentados, se procedió a establecer la regresión lineal múltiple entre las propiedades tecnológicas de los diversos materiales como variables independientes y colocando al grupo de parámetros de Johnson- Cook del mismo tipo como la variable dependiente.

En la Tabla 3.2 se compila los valores obtenidos de la regresión lineal múltiple de las distintas propiedades tecnológicas del material que enfrentaron tanto en valores de números naturales como también, del resultado de aplicar operaciones fundamentales en ellas, contra cada uno de los parámetros del modelo de Johnson- Cook y de ese modo se obtuvo los valores presentados. El procedimiento con que se obtuvieron los datos se muestra al final del capítulo anterior.

Tabla 3.2 Recopilación de regresión de variable múltiple con sus respectivas operaciones fundamentales de las propiedades tecnológicas de los materiales

Regresión Multivariable	Coefficiente de Correlación	Intercepción	X1	X2	X3
D, M, T- A	0,504	278,550	1,532	-86,751	3,327
Ln M, Ln T-A	0,504	-2295,594	64,631	780,499	
Ln D, Ln T-A	0,504	-1944,671	47,023	621,964	
Ln D, Ln M, Ln T-A	0,507	-2198,317	54,367	71,927	690,348

Tabla 3.2 Recopilación de regresión de variable múltiple con sus respectivas operaciones fundamentales de los propiedades tecnológicas de los materiales (Continuación...)

1/M, 1/T-A	0,551	1965,050	-91,404	-45031,473	
1/D, 1/T-A	0,544	1588,988	6843,773	-42475,028	
1/D,1/M,1/T-A	0,558	2030,021	6651,765	-90,057	-52062,085
D, ln M- A	0,516	248,626	1,786	-170,091	
D, ln M, T- A	0,516	225,391	1,678	-152,443	0,967
D, ln T- A	0,530	-1186,699	1,023	434,980	
M, ln T- A	0,503	-2223,954	45,501	743,157	
D, M, ln T- A	0,530	-1232,343	1,015	10,285	445,297
D, M ^{1/2} - A	0,503	588,477	1,869	-319,215	
D, M ^{1/2} , T- A	0,508	438,699	1,570	-236,221	2,541
D, T ^{1/2} - A	0,512	-215,252	1,282	92,487	
D, M, T ^{1/2} - A	0,514	-107,589	1,293	-48,663	81,973
D, 1/M- A	0,532	120,379	1,731	105,006	
1/D, 1/M, 1/T- A	0,558	2030,021	6651,765	-90,057	-52062,085
D, T- B	0,583	80,934	-2,011	16,296	
D, M, T- B	0,765	567,115	-2,148	-362,537	12,585
ln D, ln M- B	0,691	933,594	-146,062	-584,896	
ln M, ln T- B	0,624	456,145	-439,960	-30,131	
Ln D, ln M, ln T- B	0,748	-57,808	-287,241	-478,505	446,175
1/D, 1/M-B	0,726	-40,411	3098,096	262,160	

Tabla 3.2 Recopilación de regresión de variable múltiple con sus respectivas operaciones fundamentales de los propiedades tecnológicas de los materiales (Continuación...)

1/M, 1/T-B	0,737	-297,091	300,285	8954,261	
1/D, 1/M, 1/T-B	0,737	-305,575	-868,574	300,109	9872,305
D ^{0.5} , M ^{0.5} - B	0,578	1737,570	-18,849	-1149,686	
D, 1/M, T- A	0,548	178,437	2,458	208,981	-7,863
D, 1/T- A	0,556	1113,030	0,838	-24566,265	
M, 1/T- A	0,558	1577,346	213,008	-43994,962	
D, M, 1/T- A	0,548	1263,914	0,623	163,925	-34117,284
M ^{0.5} , T ^{0.5} - B	0,544	952,454	-748,811	34,807	
D ^{0.5} , T ^{0.5} - B	0,575	-694,075	-58,959	281,989	
D ^{0.5} , M ^{0.5} , T ^{0.5} - B	0,777	591,443	-63,585	-817,464	199,545
D, T- n	0,648	0,146	-0,001	0,010	
D, M, T- n	0,648	0,129	-0,001	0,013	0,010
Ln D, ln T- n	0,534	-0,922	-0,277	0,694	
Ln D, ln M, ln T- n	0,600	-0,422	-0,292	-0,142	0,559
1/D, 1/M-n	0,789	-0,272	14,454	0,219	
ln D, ln M, ln T- A	0,507	-2198,317	54,367	71,927	690,348
1/M, 1/T-n	0,668	-0,546	0,239	18,611	
1/D, 1/M, 1/T-n	0,800	-0,427	12,125	0,242	5,795
D ^{0.5} , T ^{0.5} - n	0,640	-0,316	-0,048	0,189	
D ^{0.5} , M ^{0.5} , T ^{0.5} - n	0,643	-0,218	-0,049	-0,062	0,183

En la Tabla 3.3 se expone los distintos valores de los niveles de correlación múltiple con sus respectivas ecuaciones acorde al nivel de correlación que existe para cada parámetro del modelo de Johnson-Cook, estas ecuaciones se colocaron de mayor a menor nivel de correlación existente entre el parámetro y las propiedades tecnológicas consultadas.

Tabla 3.3 Ecuaciones para obtener los valores de parámetros J-C según el nivel de correlación multivariable.

Ecuación de parámetros	Nivel de correlación
$n = 12.125 \frac{1}{D} + 0.242 \frac{1}{M} + 5.975 \frac{1}{T} - 0.427$	0.8
$B = -63.585\sqrt{D} - 817.464\sqrt{M} + 199.545\sqrt{T} + 591.443$	0.777
$A = 6651.765 \frac{1}{D} - 90.057 \frac{1}{M} - 52062.086 \frac{1}{T} + 2030.021$	0.558
$m = 12.498 \frac{1}{D} - 0.094 \frac{1}{M} - 30.498 \frac{1}{T} + 1.854$	0.397
$C = -1.094 \frac{1}{D} - 0.022 \frac{1}{M} - 3.118 \frac{1}{T} + 0.178$	0.204

Con estos valores se procedió a realizar las gráficas del modelo de Johnson- Cook con la variación de los parámetros en función de los valores obtenidos de las ecuaciones. Con los datos experimentales del comportamiento del material sometido a diferentes velocidades de deformación como a variadas escalas de temperaturas y se observaron los siguientes gráficos:

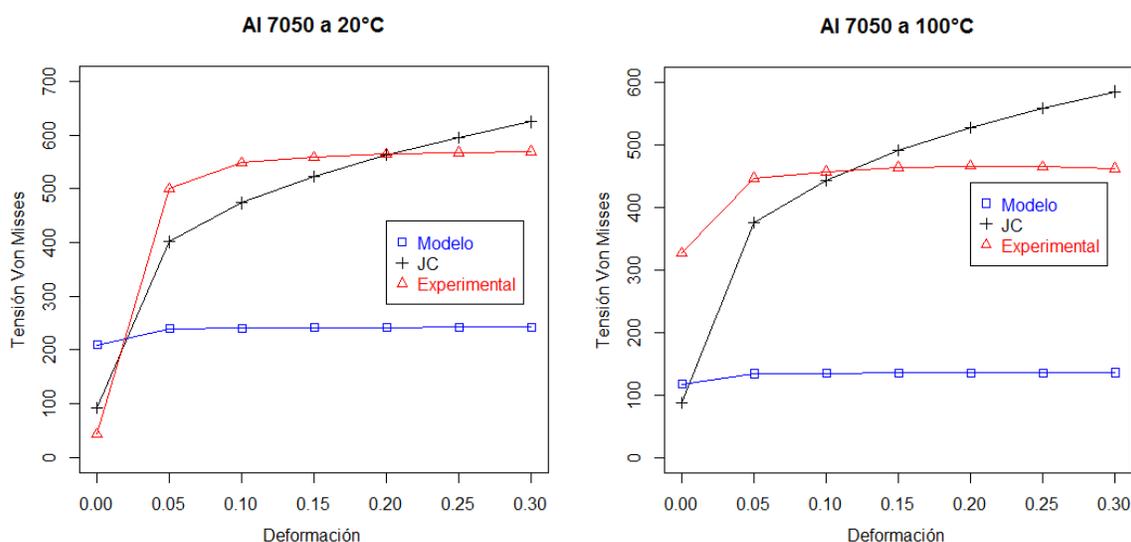


Figura 3.1 Comparación de modelo, J – C y datos experimentales del Al 7050 a $\dot{\epsilon}=0.0001$ a diferentes temperaturas

En la Figura 3.1 se observa en la curva descrita por el modelo J-C a $\dot{\epsilon} = 0.0001/s$, la gráfica del modelo tiende a distanciarse de los valores experimentales del Al 7050 a medida que la temperatura se eleva. Se visualiza a los 20°C se aproxima a mayor grado, en tanto que a los 100°C aumenta la diferencia de los datos establecidos experimentalmente dentro del artículo. Cabe aclarar que todas las gráficas se realizaron siguiendo líneas del programa R (Anexo II), pero variando en sus vectores de coeficientes de entrada acorde a su velocidad de deformación y temperatura aplicada dentro del modelamiento de Johnson- Cook.

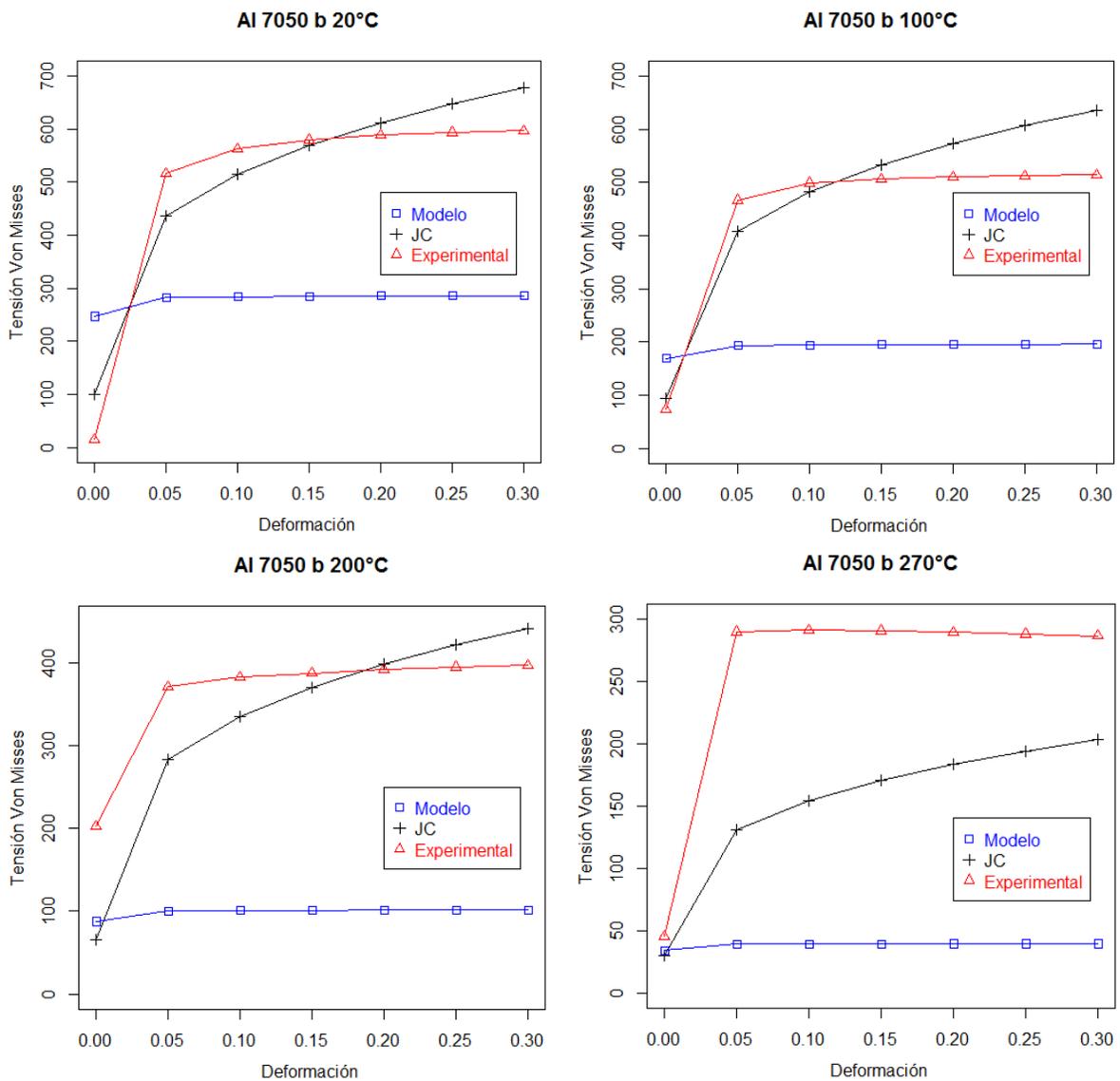


Figura 3.2 Comparación de modelo, J – C y datos experimentales del Al 7050 a $\dot{\epsilon}=0.01$ a diferentes temperaturas

En la Figura 3.2 del material Al 7050 se coloca el conjunto de modelizaciones a variadas temperaturas con una velocidad de deformación constante $\dot{\epsilon}=0.01/s$ y se puede replicar el comportamiento de la curva del modelo en concordancia con la tendencia de la anterior Figura. En la cual la curva del modelo fue presentando una mayor variación con respecto al modelo de Johnson – Cook y a los datos experimentales a medida que la temperatura aumenta paulatinamente.

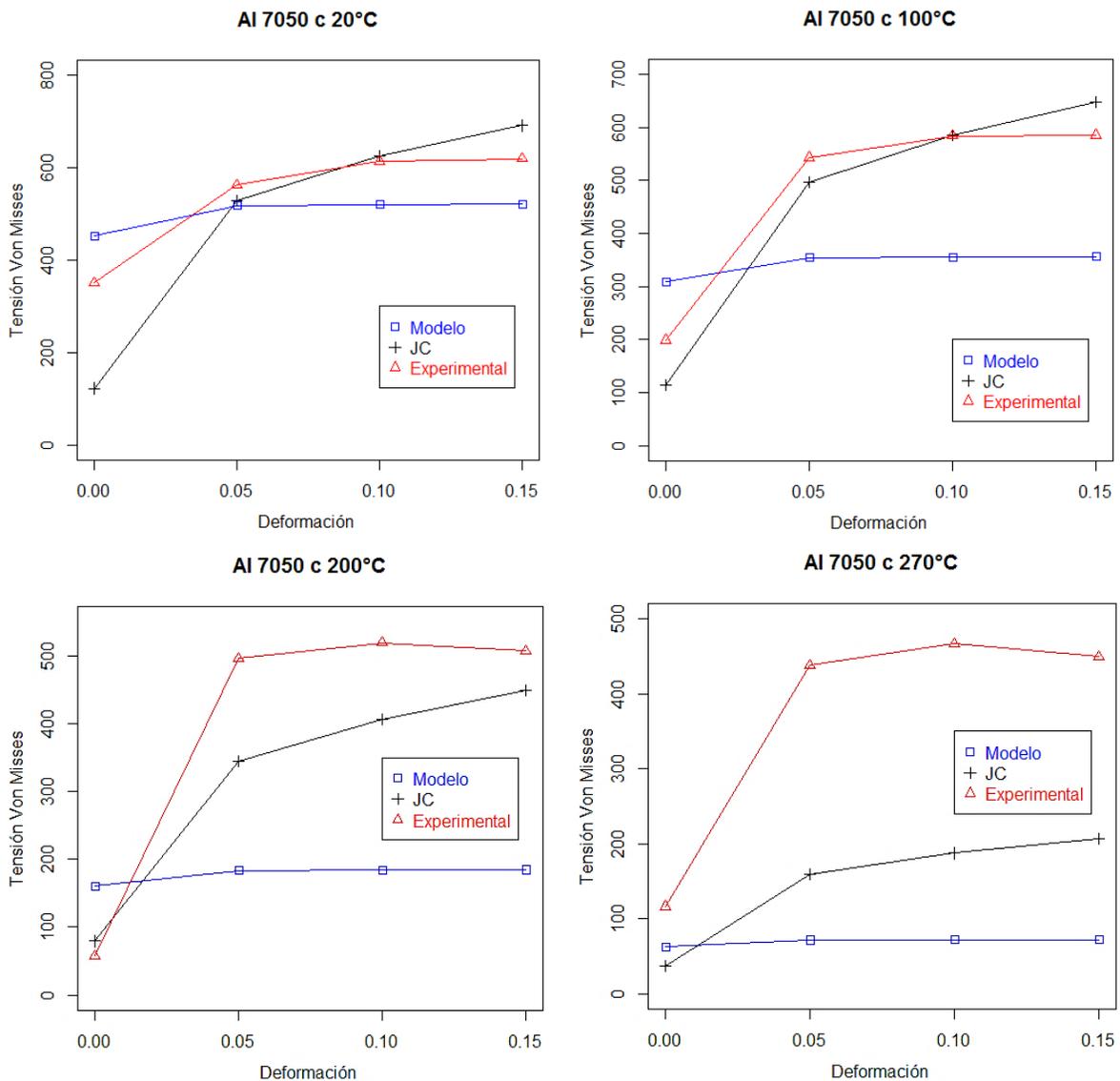


Figura 3.3 Comparación de modelo, J – C y datos experimentales del Al 7050 a $\dot{\epsilon}=2500$ a diferentes temperaturas

En la Figura 3.3 se compendia el conjunto de modelizaciones a variadas temperaturas del Al 7050 con una velocidad de deformación constante de 2500/s. Se puede replicar el comportamiento en concordancia con la tendencia de figuras anteriores. Presenta una mayor variación con respecto al modelo de Johnson – Cook y a los datos experimentales a medida que la temperatura de mecanizado se adiciona.

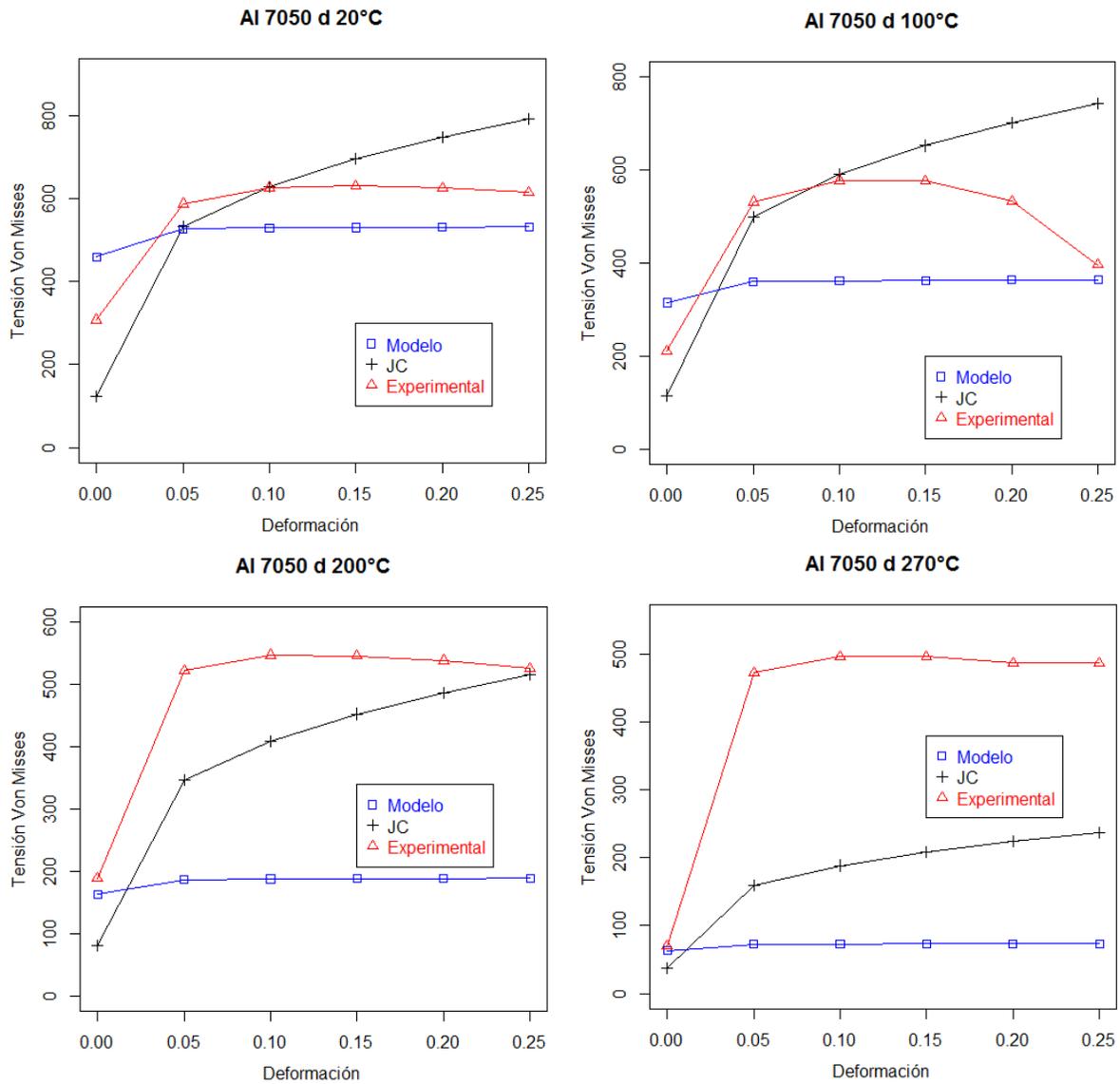


Figura 3.4 Comparación de modelo, J – C y datos experimentales del Al 7050 a $\dot{\epsilon}=4000$ a diferentes temperaturas

En la Figura 3.4 del Al 7050, se aprecia el conjunto de modelizaciones con los parámetros calculados a variadas temperaturas con una velocidad de deformación constante de 4000/s y se observa un comportamiento en concordancia con la tendencia de figuras anteriores. En la cual el modelo usado en este trabajo presenta una mayor variación con respecto a los valores del modelo de Johnson – Cook y a los datos experimentales a medida que la temperatura aumenta.

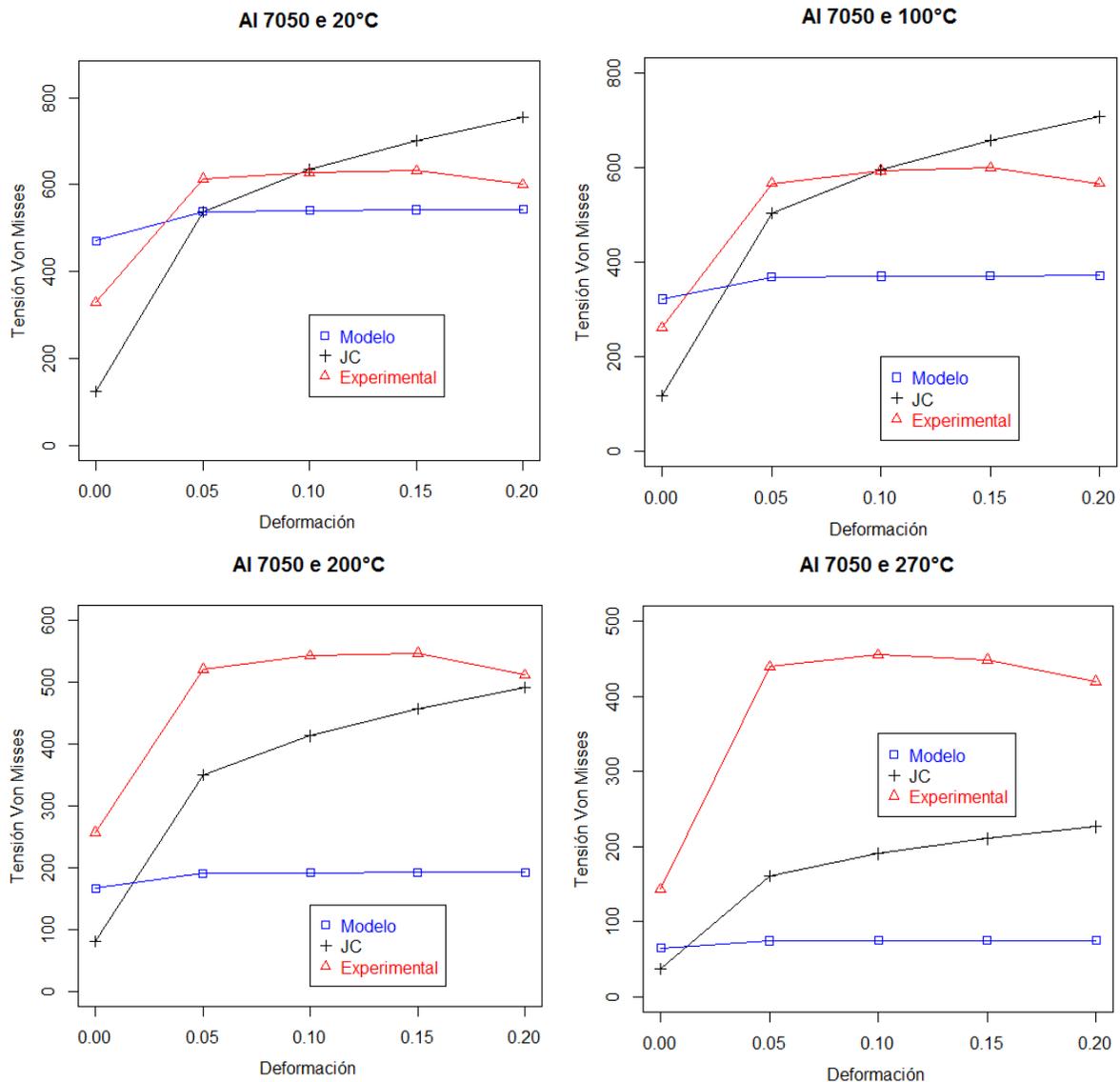


Figura 3.5 Comparación de modelo, J – C y datos experimentales del Al 7050 a $\dot{\epsilon}=7500$ a diferentes temperaturas

En la Figura 3.5 del Al7050 se mantiene el conjunto de modelizaciones a variadas temperaturas con una velocidad de deformación constante de 7500/s y se observa que los lineamientos presentados continúan con un comportamiento similar al del resto de figuras del mismo material. Presenta una mayor variación con respecto al modelo de Johnson – Cook con sus parámetros intactos y a los valores experimentales a medida que la temperatura se acrecienta.

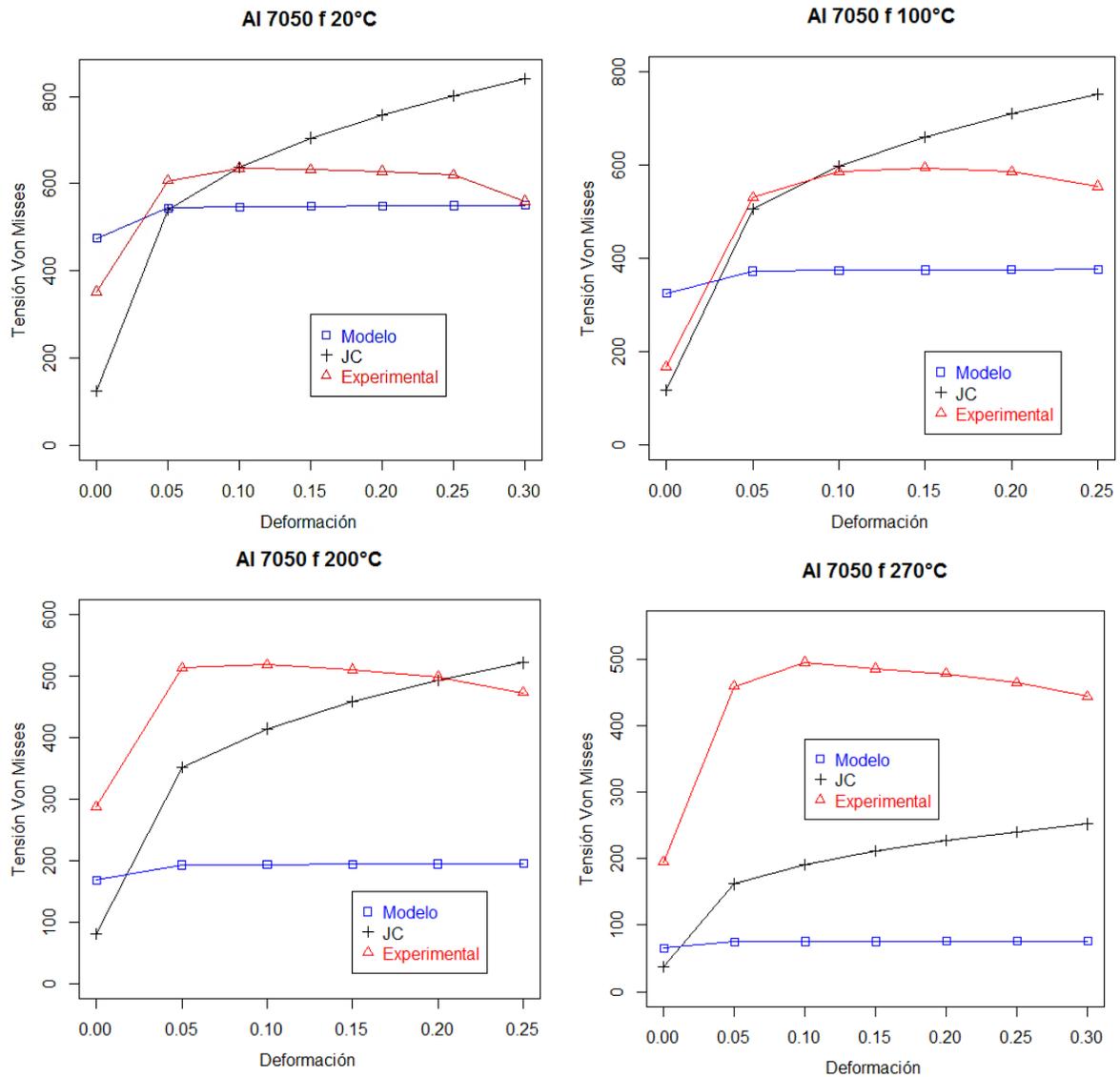


Figura 3.6 Comparación de modelo, J – C y datos experimentales del Al 7050 a $\dot{\epsilon}=10000$ a diferentes temperaturas

En la Figura 3.6 del material Al 7050 se tiene el conjunto de modelizaciones a variadas temperaturas con una velocidad de deformación constante de 10000/s y se observa un que la curva descrita en cada caso, a medida que la temperatura incrementa se advierte una mayor variación con respecto al modelo de Johnson – Cook con sus parámetros originales y a los datos experimentales.

En la Tabla 3.4 se coloca los datos promedios expuestos del Al 7050 para el modelo que se obtuvo en el trabajo, el modelo matemático de Johnson- Cook y los datos experimentales expuestos en los artículos. Así como sus respectivos errores que resultaron del modelo contra los datos experimentales para conocer el porcentaje de error que presento ambos valores.

Tabla 3.4 Comparación de valores promedio de la tensión de flujo del Al 7050 a distintas temperaturas y velocidades de deformación

Material Al 7050	Temperatura			
$\dot{\epsilon}=0.0001$				
Valores Promedio (MPa)	20°C	100°C	200°C	270°C
σ (Modelo)	236.722	132.572	-----	-----
J-C	467.904	438.468	-----	-----
Experimental	503.023	451.775	-----	-----
Error Absoluto	52.9%	70%	-----	-----
$\dot{\epsilon}=0.01$				
σ (Modelo)	279.640	191.290	99.139	38.555
J-C	508.339	476.359	330.618	152.314
Experimental	519.847	474.607	374.573	275.666
Error Absoluto	46.2%	59.6%	73.5%	86%
$\dot{\epsilon}=2500$				
σ (Modelo)	502.657	346.846	178.203	69.303
J-C	492.012	461.059	319.999	147.422
Experimental	536.56	518.22	466.338	408.777
Error Absoluto	6.3%	33%	61.7%	83%
$\dot{\epsilon}=4000$				
σ (Modelo)	518.005	354.345	183.644	71.419
J-C	586.86	549.941	381.687	175.841
Experimental	589.23	515.05	508.001	457.956
Error Absoluto	12%	31.2%	63.8%	84.4%
$\dot{\epsilon}=7500$				
σ (Modelo)	526.842	360.39	186.777	72.637
J-C	550.696	516.052	358.167	165.006
Experimental	559.843	550.089	507.824	415.717
Error Absoluto	5.8%	34.4%	63.2%	82.5%
$\dot{\epsilon}=10000$				
σ (Modelo)	537.153	365.981	189.675	74.059
J-C	629.645	557.059	386.628	188.661
Experimental	588.505	536.991	466.927	453.706
Error Absoluto	8.7%	31.8%	59.3%	83.6%

Como consecuencia de los valores calculados con las diferentes velocidades de deformación descritas en el artículo. Se graficó en el software estadístico R y se observó de mejor manera el cómo se acercaban estos valores entre sí.

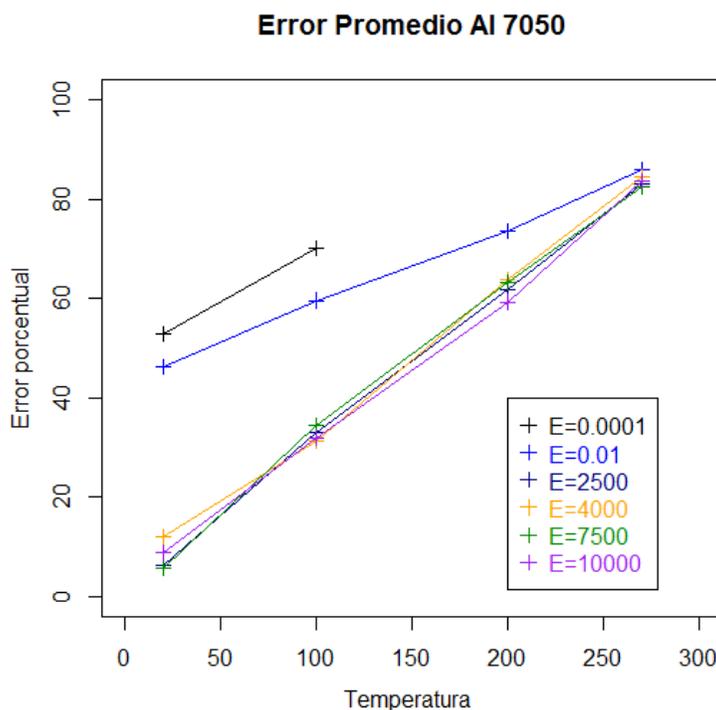


Figura 3.7 Rango de errores del Al 7050 a diferentes velocidades de deformación

En la Figura 3.7 se observa de manera conjunta la graficación de los errores del Al 7050. Dentro de este gráfico es significativo el modo en que se aglomera los resultados del error, a relativamente altas velocidades de deformación como se repara desde los 2500/s hasta los 10000/s. De esta Figura se denota una tendencia del Aluminio 7050 en que los parámetros calculados por los modelos establecidos, por correlación lineal múltiple se aproximan a los valores experimentales cuando su velocidad de deformación tiende a ser relativamente alta. Lo cual puede significar otro posible enfoque para futuras investigaciones de este tema en particular.

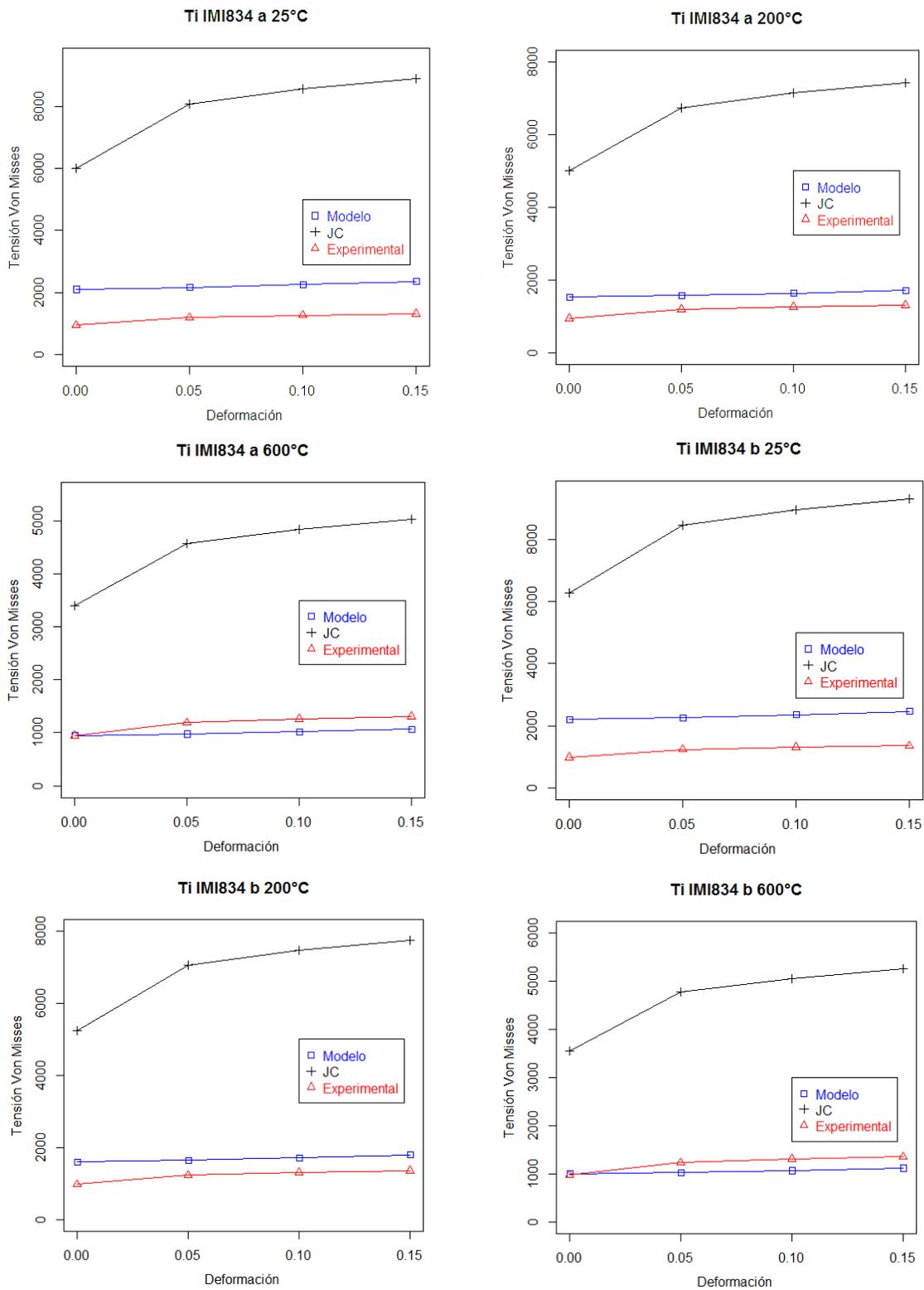


Figura 3.8 Comparación de modelo, J – C y datos experimentales del Ti IMI834 (a) $\dot{\epsilon}=2000$ y (b) $\dot{\epsilon}=3000$ a diferentes temperaturas

En la Figura 3.8 se coloca en conjunto la modelación del Ti IMI 834 a varias temperaturas y dos distintas velocidades de deformación (a) y (b) las cuales son 2000/s y 3000/s respectivamente. En lo observado se puede decir que este a diferencia de la aleación de aluminio anterior, a medida que su temperatura en la experimentación aumenta, la sintonización entre los datos experimentales y los valores de modelo de Johnson-Cook, usando los valores calculados de los modelos obtenidos, concuerdan en mayor medida.

En la Tabla 3.5 se expone valores promedio de la tensión, así como el error porcentual entre los resultados del modelo y los datos experimentales. Se describe las curvas a diferentes temperaturas y velocidades de deformación de la aleación de titanio IMI 834.

Tabla 3.5 Comparación de valores promedio de la tensión de flujo del Ti IMI834 a distintas temperaturas y velocidades de deformación

Material Ti-IMI 834	Temperatura		
$\dot{\epsilon}=2000$			
Valores Promedio (MPa)	25°C	200°C	600°C
σ	2213.629	1612.190	1003.114
J-C	7889.751	6579.063	4454.492
Experimental	1168.498	1168.498	1168.498
Error Absoluto	89.4%	37.9%	1.4%
$\dot{\epsilon}=3000$			
σ	2315.214	1686.174	1049.147
J-C	8251.817	6881.012	4658.911
Experimental	1210.992	1210.992	1210.992
Error Absoluto	91.1%	39.2%	9.8%

Como se menciona dentro de los antecedentes fue claro que algunos materiales metálicos presentaban ciertos comportamientos anómalos durante su procesado. Por lo cual abre la cuestión, si los materiales que dan resultados atípicos durante su procesado incluyen al titanio debido a que su comportamiento fue opuesto al del aluminio en cuanto a los resultados obtenidos con respecto a su modelado con los datos del artículo, los datos experimentales del mismo y el modelo con los valores calculados en este trabajo.

Se recalcó que los datos de error absoluto son menores, con respecto a su valor más bajo en el aluminio 7050 se tuvo un valor de 5.8% en tanto del titanio IMI 834 fue de 1.4%. Lo cual hizo que la diferencia en el error de la aleación de titanio fuera de menor margen por lo cual sus líneas de error fueron más próximas. Como se muestra a continuación:

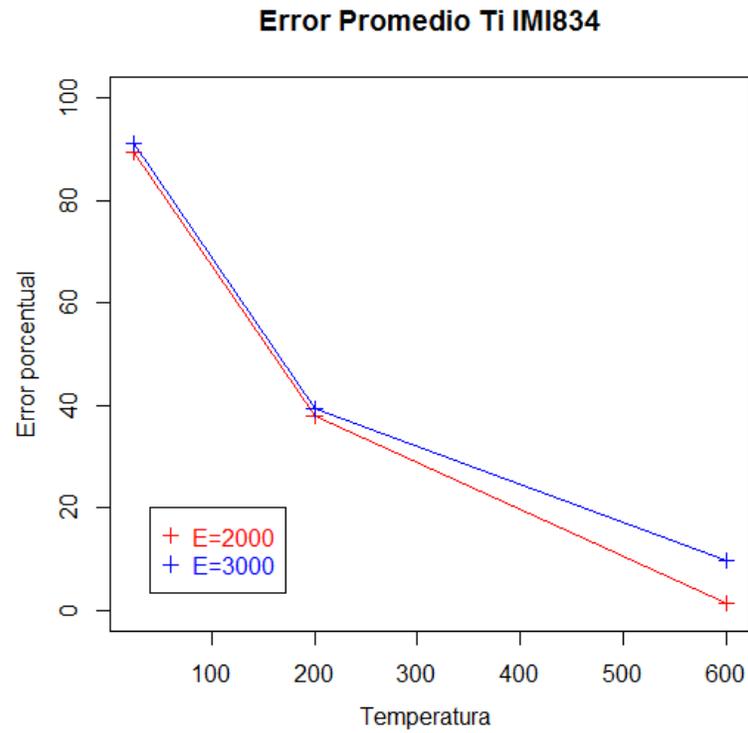


Figura 3.9 Rango de errores del Ti IMI834 a diferentes velocidades de deformación

En la Figura 3.9 se observa graficados los datos del error promedio del Ti IMI 834 a diferentes velocidades de deformación y como sucedió con la aleación de aluminio estas se aglomeraron acorde a la relativamente alta velocidad de deformación. Lo cual puede mostrar indicios de una posible relación de la velocidad de deformación y el comportamiento del material con sus propiedades tecnológicas.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones que se presentaron se realizaron desde la perspectiva del estudiante, así como también las observaciones sugeridas por parte del tutor. Estas se enuncian del modo más breve y conciso posible.

4.1 CONCLUSIONES

- Se recopiló información relativa a los modelos de Johnson- Cook y Johnson- Cook modificado, tomando como base 49 artículos científicos de alto impacto (Tabla A.I). En esta fase del trabajo se pudo evidenciar la importancia que tiene la investigación acerca del comportamiento termo-mecánico de materiales en la actualidad.
- Los valores resultantes de la regresión lineal simple mostraron un rango moderado para A de 0.478 y B de 0.446. La regresión lineal múltiple dio como resultado un rango alto, para los parámetros de B fue de 0.777 y de n fue de 0.8. Los parámetros que fueron menores eran: C con 0.204, m con 0.397 y A con 0.558.
- Los niveles de correlación múltiple que se obtuvieron entre los parámetros B, n y las propiedades del material utilizadas reflejan la relación práctica existente entre dichos parámetros y propiedades. El grado de dureza de un material afecta de forma significativa a las propiedades usadas en la correlación y los parámetros B, n están relacionados al endurecimiento de un material sometido a distintos grados de deformación.
- Los bajos niveles de correlación múltiple de C, m y A podrían explicarse por las condiciones experimentales bajo las que se obtienen tanto de las variables como de las propiedades del material. Así, las propiedades tecnológicas usadas en la correlación son estimadas a velocidades de deformación relativamente bajas y a temperatura ambiente, en tanto que los parámetros en el modelo de Johnson-Cook

describen el comportamiento del material a altas velocidades de deformación y altas temperaturas.

- Los valores de los parámetros J-C, obtenidos en este trabajo permitió representar de mejor modo el comportamiento termo-mecánico de la aleación de Titanio IMI834 a altas temperaturas, en tanto que para la aleación de aluminio 7050 el mejor resultado se observó a una temperatura cercana a la temperatura ambiente. Esto podría sugerir que el modelo de estimación describió de mejor manera el comportamiento de materiales con una dureza similar a la del grupo de los aluminios (140 HB).
- Las tendencias de error porcentual observadas para el Al 7050 y Ti IMI834 con la variación de la velocidad de deformación, a partir de 2000 [1/s], convergen. Esto sugiere que a partir de esta velocidad de deformación el error de estimación de la tensión en el material se estabiliza.

4.2 RECOMENDACIONES

- Adquirir por parte de la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte el ASM Hadbook. Esta herramienta es una base fundamental para el estudio de materiales en ingeniería.
- Profundizar esta investigación usando distintas estructuras matemáticas diferentes a las utilizadas en el presente trabajo de investigación. Como ejemplo podría proponerse otros modelos de material como el de Zerilli-Armstrong.
- Aplicar los resultados de esta investigación para distintos materiales en su análisis, como pueden ser el latón, bronce o estaño para denotar si los modelos pudieran ser utilizados con materiales de menor dureza que los usados en este trabajo.
- Enfocar este trabajo desde otros puntos de vista, tales como reemplazar las propiedades tecnológicas propuestas y utilizar otras magnitudes físicas con los cuales relacionar los parámetros del modelo Johnson - Cook. Como ejemplo podría usarse la maleabilidad.
- Tomar en consideración este trabajo como una base de información para futuras investigaciones con respecto al modelo de Johnson- Cook con sus variantes de ecuaciones y parámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abbassi, F., Srinivasan, M., Loganathan, C., Narayanasamy, R., & Gupta, M. (2016). Experimental and numerical analyses of magnesium alloy hot workability. *Journal of Magnesium and Alloys*, 295-301. doi:10.1016/j.jma.2016.10.004
2. Adams, G., & al, e. (1995). *ASM HANDBOOK* (Vol. 16). ASM INTERNATIONAL.
3. AIT. (2019). *Advanced Integrated Technologies*. Obtenido de Advanced Integrated Technologies © 2019: <https://www.a-i-t.com/cnc-machining-services/machinability-rating-chart>
4. Amir, B., Noamen, G., & Khaled, E. (2016). On the erosive wear of 304L stainless steel caused. *Tribology International*, 608-619. doi:10.1016/j.triboint.2016.06.020
5. Anónimo. (2003). *Materials Data Book*. Cambridge University Engineering Department.
6. Appold, H., & Feiler, C. (2018). *tecnología de los metales para profesiones técnico-mecánica*. Editorial Reverté. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5809951>.
7. Appold, H., & Feiler, C. (2018). *Tecnología de los metales para profesiones técnico-mecánicas*. Editorial Reverté. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5809951>.
8. Araujo, P. (9 de Noviembre de 2014). MANUAL INTRODUCTORIO AL USO DEL PROGRAMA PSPP PARA EL. *Biblioteca las casas*. Obtenido de <http://www.indexf.com/lascasas/documentos/lc0773.php>
9. Arisoy, Y. M., Guo, C., Kaftanoğlu, B., & Özel, T. (2016). Investigations on microstructural changes in machining of Inconel 100 alloy using face turning experiments and 3D finite element simulations. *International Journal of Mechanical Sciences*, 80-92. doi:10.1016/j.ijmecsci.2016.01.009
10. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e ingeniería de materiales*. Mexico: Cengage Learning Editores S.A. Obtenido de <http://latinoamerica.cengage.com>

11. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
12. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
13. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
14. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales*. Mexico: Cengage Learning Editores.
15. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
16. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
17. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
18. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
19. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
20. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
21. Askeland, D., Fulay, P., & Wrigth, W. (2012). *Ciencia e Ingenieria de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
22. AZO Materials. (2019). *AZoM.com* . (AZoNetwork, Editor) Obtenido de An AZoNetwork Site: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1341>
23. Beatrice, V., Stefania, B., Andrea, G., & Rajiv, S. (2017). Johnson-Cook based criterion incorporating stress triaxiality and deviatoric. *International Journal of Mechanical Sciences*, 94-105. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.02.005>

24. Besa, A. J., Besa, C., & Valero, F. J. (2016). *Diseño de máquinas*. Valencia, España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4721922>
25. Bhopale, S., Jagatap, K., Lamdhade, G., & Darade, P. (2017). Cutting Forces during Orthogonal Machining Process of AISI 1018 Steel: Numerical and Experimental Modeling. *materialstoday:PROCEEDINGS*, 8454-8462. doi:10.1016/j.matpr.2017.07.191
26. Billigmann, J. (2018). *Estampado y prensado a máquina: manual sobre conformado en frío y en caliente de aceros y metales no férricos* (Segunda ed.). Editorial Reverté. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5809945>.
27. Bobbili, R., Ramakrishna, B., & Madhu, V. (2017). Dynamic compressive behavior and fracture modeling of Titanium alloy IMI 834. *Journal of Alloys and Compounds*, 225-231. doi:10.1016/j.jallcom.2017.04.228
28. Bobbili, R., Ramakrishna, B., Madhu, V., & Gogia, A. (2015). Prediction of flow stress of 7017 aluminium alloy under high strain rate compression at elevated temperatures. *Defence Technology*, 93-98. doi:10.1016/j.dt.2014.08.004
29. Boutene, F., Delhomme, M., Velay, V., & Boman, R. (Agosto de 2018). Finite element modelling of cold drawing for high-precision tubes. *Comptes Rendus Mécanique*, 665-677. doi:10.1016/j.crme.2018.06.005
30. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
31. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
32. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
33. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

34. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
35. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
36. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
37. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
38. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
39. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
40. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Sexta ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
41. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
42. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
43. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
44. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
45. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
46. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

47. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
48. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
49. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
50. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
51. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
52. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Ciencia e Ingeniería de materiales* (Sexta ed.). Mexico: Cengage Learning Editores.
53. Budynas, R., & Nisbeth, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
54. Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
55. Cadoni, E., Dotta, M., Forni, D., & Kaufmann, H. (2016). Effects of strain rate on mechanical properties in tension of a commercial aluminium alloy used in armour applications. *Procedia Structural Integrity*, 986-993. doi:10.1016/j.prostr.2016.06.126
56. Changqing, L., Yingguang, L., & Zhongyu, L. (2018). A machining feature definition approach by using two-times unsupervised. *Journal of Manufacturing Systems*, 16-24. doi:10.1016/j.jmsy.2018.08.003
57. Chávez, C. (2019). *Metodología de la investigación: así de fácil*. El Cid Editor. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5635734>.
58. Chen, G., Ren, C., Ke, Z., Li, J., & Yang, X. (2016). Modeling of flow behavior for 7050-T7451 aluminum alloy considering microstructural evolution over a wide range of strain rates. *Mechanics of Materials*, 146-156. doi:10.1016/j.mechmat.2016.01.006

59. Chunzheng, D., Wei, S., Cheng, F., & Fangyuan, Z. (2018). Modeling and simulation of tool-chip interface friction in cutting Al/SiCp composites based on a three-phase friction model. *International Journal of Mechanical Sciences*, 384-396.
doi:10.1016/j.ijmecsci.2018.05.014
60. Contreras, J., & Zúñiga, S. (3 de Septiembre de 2016). *Acerca de nosotros: Academia.Edu*.
Obtenido de Academia Edu website:
<https://repositorio.itc.edu.co/bitstream/001/229/1/Jominy.pdf>
61. Costa, S. L., Mendonça, J. P., & Peixinho, N. (2016). Study on the impact behaviour of a new safety toe cap model made of ultra-high-strength steels. *Materials & Design*, 143-154.
doi:10.1016/j.matdes.2015.11.082
62. Daoud, M., Chatelain, J., & Bouzid, A. (11 de Enero de 2017). Effect of rake angle-based Johnson-Cook material. *International Journal of Mechanical Sciences*, 392-404.
doi:10.1016/j.ijmecsci.2017.01.020
63. Daoud, M., Chatelain, J., & Bouzid, A. (2017). Effect of rake angle-based Johnson-Cook material. *International Journal of Mechanical Sciences*, 392-404.
doi:10.1016/j.ijmecsci.2017.01.020
64. Daoud, M., Chatelain, J., & Bouzid, A. (2017). Effect of rake angle-based Johnson-Cook material constants on the prediction of residual stresses and temperatures induced in Al2024-T3 machining. *International Journal of Mechanical Sciences*, 392-404.
doi:10.1016/j.ijmecsci.2017.01.020
65. Deng, H., Mao, Y., Li, G., & Cui, J. (2019). A study of electromagnetic free forming in AA5052 using digital image correlation method and FE analysis. 595-605.
doi:10.1016/j.jmapro.2018.12.033
66. Denguir, L., Outeiro, J., Fromentin, G., Vignal, V., & Besnard, R. (2017). A physical-based constitutive model for surface integrity prediction in machining of OFHC. *Journal of Materials Processing Technology*, 143-160. doi:10.1016/j.jmatprotec.2017.05.009
67. Denguir, L., Outeiro, J., Fromentin, G., Vignal, V., & Besnard, R. (Octubre de 2017). A physical-based constitutive model for surface integrity prediction in machining of OFHC copper.

- Journal of Materials Processing Technology*, 143-160.
doi:10.1016/j.jmatprotec.2017.05.009
68. Díaz, d. L., Vicente, M., & al., e. (2018). *Mecánica de materiales: teoría y aplicaciones*. Mexico: Grupo Editorial Patria. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5635861>
69. Dorogoy, A., & Rittel, D. (2017). Dynamic large strain characterization of tantalum using shear-compression and shear-tension testing. *Mechanics of Materials*, 143-153.
doi:10.1016/j.mechmat.2017.06.003
70. Ducobu, F., Rivière-Lorphèvre, E., & Filippi, E. (2017). On the importance of the choice of the parameters. *International Journal of Mechanical Sciences*, 143-155.
doi:10.1016/j.ijmecsci.2017.01.004
71. Dussailant, C. J. (2006). *Consejos al investigador: guía práctica para hacer una tesis*. RIL editores. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3224127>
72. Elek, P. M., Jaramaz, S. S., Micković, D. M., & Miloradović, N. M. (2016). Experimental and numerical investigation of perforation of thin steel plates by deformable steel penetrators. *Thin-Walled Structures*, 58-67. doi:10.1016/j.tws.2016.01.022
73. Elwasli, F., Zenzemi, F., Mkaddem, A., Mzali, S., & Mezlini, S. (2015). A 3D multi-scratch test model for characterizing material removal regimes in 5083-Al alloy. *Materials & Design*, 352-362. doi:10.1016/j.matdes.2015.07.121
74. Enciclopedia de la OIT. (2012). *metalurgia y metalistería*. D - INSHT. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3204501>
75. Evans, M., & Rosenthal, J. (2015). *Probabilidad y estadística: la ciencia de incertidumbre*. Barcelona: Editorial Reverté. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5635468>
76. Fei, G., Xianfeng, Z., Ahmad, S., Mingyang, W., Lei, L., Wei, X., & Jiang, Z. (2017). Dynamic Behavior and Constitutive Model for Two Tantalum-Tungsten Alloys under Elevated Strain

- Rates. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2753-2762. doi:10.1016/S1875-5372(18)30002-X
77. Florando, J., Margraf, J., Reus, J., Anderson, A., McCallen, R., LeBlanc, M., . . . Lowdermilk, H. (Julio de 2015). Modeling the effect of laser heating on the strength and failure of 7075-T6 aluminum. *Materials Science and Engineering: A*, 402-407. doi:10.1016/j.msea.2015.05.105
78. Fraga daSilva, T., Soares, R., Jesus, A., Rosa, P., & Reis, A. (2017). Simulation Studies of Turning of Aluminium Cast Alloy Using PCD Tools☆. *Procedia CIRP*, 555-560. doi:10.1016/j.procir.2017.03.270
79. Gil, M. F., & Manero, J. (2005). *Metalografía, Universitat Politècnica de Catalunya*. ProQuest Ebook Central. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3430613>
80. Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna : materiales, procesos y sistemas*. España: McGraw-Hill España. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4585363>
81. Guerra Tornero, R. (junio de 2015). Composite materials are more present. *Reinforced Plastics*, 131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.repl.2015.01.004>
82. Gutiérrez, G. E., & Vladimirovna, P. (2016). *Estadística inferencial 1 para ingeniería y ciencias*. Mexico: Grupo editorial Patria. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4849828>.
83. Gutiérrez, G. E., & Vladimirovna, P. (2016). *Estadística inferencial 1 para ingeniería y ciencias*. Mexico: Grupo editorial Patria. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4849828>
84. Gutiérrez, G. E., & Vladimirovna, P. (2016). *Estadística inferencial 1 para ingeniería y ciencias*. Mexico: Grupo editorial Patria. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4849828>

85. Gutiérrez, G. E., & Vladimirovna, P. (2016). *Estadística inferencial 1 para ingeniería y ciencias*. Mexico: Grupo editorial Patria. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4849828>
86. Gutiérrez, G. E., & Vladimirovna, P. (2016). *Estadística inferencial 1 para ingeniería y ciencias*. Mexico: Grupo editorial Patria. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4849828>
87. Gutiérrez, G. E., & Vladimirovna, P. (2016). *Estadística inferencial 1 para ingeniería y ciencias*. Mexico: Grupo editorial Patria. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4849828>
88. Gutiérrez, G. E., & Vladimirovna, P. (2016). *Estadística inferencial 1 para ingeniería y ciencias*. Mexico: Grupo editorial Patria. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4849828>
89. Hafizoğlu, H., & Durlu, N. (2018). Effect of sintering temperature on the high strain rate-deformation of tungsten heavy alloys. *International Journal of Impact Engineering*, 44-54. doi:10.1016/j.ijimpeng.2018.07.001
90. Hoffman, J. (2019). Basic Biostatistics for Medical and Biomedical Practitioners. En J. Hoffman, *Basic Biostatistics for Medical and Biomedical Practitioners* (págs. 445-489). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-817084-7.00027-9
91. Horra, J. d. (2018). *Estadística aplicada* (Tercera ed.). Ediciones Díaz de Santos. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5426001>
92. Horra, N. (2018). *Estadística aplicada* (Tercera ed.). Madrid: Ediciones Díaz de Santos. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5426001>
93. Hu, D., Meng, K., Jiang, H., Xu, J., & Liu, R. (2015). Strain rate dependent constitutive behavior investigation of AerMet 100 steel. *Materials & Design*, 759-772. doi:10.1016/j.matdes.2015.08.063
94. Instron. (1 de septiembre de 2018). *Illinois Tool Works Inc*. Obtenido de Instron : <https://www.instron.es/es-es/testing-solutions/by-material/plastics/impact/astm-d6110-charpy-impact-properties>

95. Iqbal, M., Senthil, K., Bhargava, P., & Gupta, N. (Abril de 2015). The characterization and ballistic evaluation of mild steel. *International Journal of Impact Engineering*, 98-113. doi:10.1016/j.ijimpeng.2014.12.006
96. Iturbe, A., Giraud, E., Hormaetxe, E., Garay, A., Germain, G., Ostolaza, K., & Arrazola, P. (Enero de 2017). Mechanical characterization and modelling of Inconel 718 material behavior for machining process assessment. *Materials Science and Engineering: A*, 441-453. doi:10.1016/j.msea.2016.11.054
97. Jambor, A., & Beyer, M. (1 de Diciembre de 1997). New cars — new materials. *Materials & Design*, 203-209. doi:10.1016/S0261-3069(97)00049-6
98. Jing, L., Su, X., & Zhao, L. (2017). The dynamic compressive behavior and constitutive modeling of D1 railway wheel steel over a wide range of strain rates and temperatures. *Results in Physics*, 1452-1461. doi:10.1016/j.rinp.2017.04.015
99. Jones, D., & Ashby, M. (2019). Chapter 33 - Final Case Study: Materials and Energy in Car Design. 531-541. doi:10.1016/B978-0-08-102051-7.00028-2
100. Karkalos, N. E., & Markopoulos, A. P. (2018). Determination of Johnson-Cook material model parameters by an optimization approach using the fireworks algorithm. *Procedia Manufacturing*, 107-113. doi:10.1016/j.promfg.2018.03.017
101. Kazanas, H., Baker, G., & Gregor, T. (1983). *Procesos Básicos de Manufactura*. Mexico: MacGraw-HILL. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/reader.action?docID=3195062&ppg=61&query=tipos+de+materiales>
102. Kupchellaa, R., Stowe, D., Xiao, X., Algosó, A., & Cogar, J. (2015). Incorporation of Material Variability in the Johnson Cook Model. *Procedia Engineering*, 318-325. doi:10.1016/j.proeng.2015.04.053
103. Li, B., Zhang, S., Zhang, Q., Chen, J., & Zhang, J. (Diciembre de 2018). Modelling of phase transformations induced by thermo-mechanical loads considering stress-strain effects in hard milling of AISI H13 steel. *International Journal of Mechanical Sciences*, 241-253. doi:10.1016/j.ijmecsci.2018.10.010

104. Li, T., Wang, W., Yuan, F., & Wu, X. (2019). An engineering model and its numerical validation for a malevolent aircraft impinging against a rigid target: Force and impulse estimations. *Nuclear Engineering and Design*, 1-9. doi:10.1016/j.nucengdes.2018.11.034
105. Lia, Z., Zhana, M., Fana, X., & Tan, J. (2017). A modified Johnson-Cook model of as-quenched AA2219. *Procedia Engineering*, 155-160. doi:10.1016/j.proeng.2017.10.754
106. Lia, Z., Zhana, M., Fana, X., & Tana, J. (2017). A modified Johnson-Cook model of as-quenched AA2219 considering negative to positive strain rate sensitivities over a wide temperature range. *Procedia Engineering*, 155-160. doi:10.1016/j.proeng.2017.10.754
107. Limbadri, K., Hansoge, Nitin, K., A. Maruthi, R., N, S., V.V, K. R., . . . Swadesh, K. S. (2017). Development of Johnson Cook Model for Zircaloy-4 with Low Oxygen Content. *materialstoday: PROCEEDINGS*, 966-974. doi:10.1016/j.matpr.2017.01.108
108. Liu, W.-h., He, Z.-t., Chen, Y.-q., & Tang, S.-w. (2014). Dynamic mechanical properties and constitutive equations of 2519A aluminum alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2179-2186. doi:10.1016/S1003-6326(14)63330-6
109. Liviano, S. D., & Jover, M. (2017). *Análisis cuantitativo con R: matemáticas, estadística y econometría*. Barcelona: Editorial UOC. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5308383>
110. Liviano, S. D., & Jover, M. (2017). *Análisis cuantitativo con R: matemáticas, estadística y econometría*. Barcelona: Editorial UOC. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5308383>
111. Liviano, S. D., & Jover, M. (2017). *Análisis cuantitativo con R: matemáticas, estadística y econometría*. Barcelona: Editorial UOC. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5308383>
112. Luca, G., & Egidio, R. (2016). An enhanced Johnson–Cook strength model for splitting strain rate. *Computational Materials Science*, 231-265. doi:10.1016/j.commatsci.2015.11.034
113. Luk-Cyr, J., El-Bawab, R., Lanteigne, J., Champiaud, H., & Vadean, A. (2016). Mechanical properties of 75% Ar /25% CO2 flux-cored arc welded E309L austenitic stainless steel. 197-203. doi:10.1016/j.msea.2016.09.099

114. Martina, S., Lorenzo, P., Claudio, T., Antonio, P.-M., Marco, C., Laura, G. P., . . . Mickaël, M.(2017). Experimental Results And Strength Model Identification Of Pure. *International Journal of Impact Engineering*, 191-201. doi:10.1016/j.ijimpeng.2017.03.019
115. Matthews, W. T. (1973). *PLANE STRAIN FRACTURE TOUGHNESS (KIC) DATA HANDBOOK*. (A. M. CENTER, Ed.) NTIS.
116. Mirage. (2019). *Mirage Machines*. Obtenido de 2019 Mirage Machines Limited:
<https://info.miragemachines.com/hubfs/metal-machinability-chart.pdf>
117. Mohamed, N., & Mohamed, A. (2017). An evaluation of different damage models when simulating the cutting. *Procedia CIRP*, 134 – 139 . doi:10.1016/j.procir.2017.03.202
118. Mohammed, A. M., Shrikrishana, K. A., & Sathiya, P. (2015). Finite element modelling and characterization of friction welding on UNS S31803 duplex stainless steel joints. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 704-712.
doi:10.1016/j.jestch.2015.05.002
119. Mokhtari, M., & Nia, A. (2015). A parametric study on the mechanical performance of buried X65 steel pipelines under subsurface detonation. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 668-679. doi:10.1016/j.acme.2014.12.013
120. Molera, S. P. (1991). *Tratamientos térmicos de los metales*. ProQuest Ebook Central. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3181698>
121. Moriña, D., Utzet, M., Nedel, F., Martín, M., & Navarro, A. (2016). *Introducción a la estadística para ciencias de la salud con R-Commander*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Obtenido de
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5045375>.
122. Moriña, D., Utzet, M., Nedel, F., Martín, M., & Navarro, A. (2016). *Introducción a la estadística para ciencias de la salud con R-Commander*. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Obtenido de
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5045375>
123. Moriña, D., Utzet, M., Nedel, F., Martín, M., & Navarro, A. (2016). *Introducción a la estadística para ciencias de la salud con R-Commander*. Barcelona: Universitat Autònoma de

- Barcelona. Obtenido de
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5045375>
124. Murugesan, M., Lee, S., Kim, D., Kang, Y.-H., & Kim, N. (2017). A Comparative Study of Ductile Damage Models Approaches for Joint Strength Prediction in Hot Shear Joining Process. *Procedia Engineering*, 1689-1694. doi:10.1016/j.proeng.2017.10.923
125. Mustapha, A., Gottfried, L., Viktor, K., Andre, T., Jens, D., Ulrich, P., & Fritz, K. (2017). Cutting simulations of two gear steels with microstructure. *Procedia CIRP*, 549 – 554. doi: 10.1016/j.procir.2017.03.332
126. Nápoles, A., & Xavier, S. (2000). Mecanizado por arranque de viruta. (*Modulo*).
127. Nápoles, A., & Xavier, S. (2000). *Mecanizado por arranque de viruta*. (Módulo).
128. Nemetz, A. W., Werner, D., Klünsner, T., Ecker, W., Teppernegg, T., Czettel, C., & Krajinović, I. (2018). FE temperature- and residual stress prediction in milling inserts and correlation with experimentally observed damage mechanisms. *Journal of Materials Processing Technology*, 98-108. doi:10.1016/j.jmatprotec.2018.01.039
129. Newell, J. (2011). *Ciencia de materiales. Aplicaciones en Ingeniería*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
130. Newell, J. (2011). *Ciencia de materiales. Aplicaciones en Ingeniería*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
131. Newell, J. (2011). *Ciencia de materiales. Aplicaciones en Ingeniería*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
132. Nickel Institute. (2018). *Nickel Institute*. Obtenido de © Nickel Institute:
https://www.nickelinstitute.org/media/1771/propertiesofsomealloys_297_.pdf
133. Nikolaos, E. K., & Angelos, P. M. (2018). Determination of Johnson-Cook material model parameters. *Procedia Manufacturing*, 107-113. doi:10.1016/j.promfg.2018.03.017

134. Palacios, L. (2016). *Ingeniería de métodos: movimientos y tiempos* (Segunda ed.). Ecoe Ediciones. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4870547>
135. Palacios, L. (2016). *Ingeniería de métodos: movimientos y tiempos* (Segunda ed.). Ecoe Ediciones.
136. Palacios, L. (2016). *Ingeniería de métodos: movimientos y tiempos* (Segunda ed.). Ecoe Ediciones. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=4870547>
137. Patxi, F.-Z., & Shreyes, N. M. (2017). Validation of Material Models for Machining Simulation Using Mechanical. *Procedia CIRP*, 535 – 538. doi:doi: 10.1016/j.procir.2017.03.265
138. Pawar, S., Salve, A., Chinchankar, S., Kulkarni, A., & Lamdhade, G. (2017). Residual Stresses during Hard Turning of AISI 52100 Steel: Numerical Modelling with Experimental Validation. *materialstoday:PROCEEDINGS*, 2350-2359. doi:10.1016/j.matpr.2017.02.084
139. Plumeri, J. E., Madej, L., & Misiolek, W. Z. (2017). Development of extrusion technology for magnesium alloy ZE20. *Procedia Engineering*, 389-394. doi:10.1016/j.proeng.2017.10.793
140. Prawoto, Y., Fanone, M., S. S., Ismail, M., & Nik, W. W. (2012). Computational approach using Johnson–Cook model on dual phase steel. *Computational Materials Science*, 48-55. doi:10.1016/j.commatsci.2011.10.021
141. Prawoto, Y., Fanone, M., Shahedi, S., Ismail, M., & Wan Nik, W. (Marzo de 2012). Computational approach using Johnson–Cook model on dual phase steel. *Computational Materials Science*, 48-55. doi:10.1016/j.commatsci.2011.10.021
142. Quaker Chemical. (2019). *Quaker*. Obtenido de ©2019 Quaker Chemical Corporation: https://pl.quakerchem.com/wp-content/uploads/pdf/skill_builders/no10_machineability_ratings.pdf
143. Reza, T., & Saeid, A. (Febrero de 2019). Analytical modeling of ultrasonic surface burnishing process: Evaluation of through depth localized strain. *International Journal of Mechanical Sciences*, 118-132. doi:10.1016/j.ijmecsci.2018.11.008

144. Richard G, B., & J. Keith, N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
145. Richard, B., & Keith, N. (2008). *Diseño en mecánica de Shigley*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
146. Rodríguez Galbarro, H. (16 de Junio de 2019). *Ingemecánica*. Obtenido de Ingemecánica: https://ingemecanica.com/tutoriales/tabla_dureza.html#brinell
147. Rodríguez, H. (6 de Julio de 2019). *Ingemecánica*. Obtenido de © Hermenegildo Rodríguez Galbarro: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html>
148. Ruth, S., & al, e. (2017). *Recorridos de la indagación social empírica: cómo construimos el problema de investigación y elaboramos el marco teórico*. D - IIGG. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5634534>
149. Salazar, G. L. (2018). *Probabilidad y estadística: para bachilleratos tecnológicos*. Grupo Editorial Patria. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5635862>
150. Saleh, M., Kariem, M. M., Luzin, V., Toppler, K., Li, H., & Ruan, D. (2018). High strain rate deformation of ARMOX 500T and effects on texture development using neutron diffraction techniques and SHPB testing. *Materials Science and Engineering: A*, 30-39. doi:10.1016/j.msea.2017.09.022
151. Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, d. P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA, S.A de C.V.
152. Santana, L. A. (2018). *Análisis cuantitativo: técnicas para describir y explicar en ciencias sociales*. España: Editorial UOC. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5426329>.
153. Scapin, M. (2015). Mechanical characterization and modeling of the heavy tungsten alloy IT180. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 258-268. doi:10.1016/j.ijrmhm.2015.01.018

154. Scapin, M., Peroni, L., Torregrosa, C., Perillo-Marccone, A., Calviani, M., Gomez, L., . . . Meyer, M. (2017). Experimental results and strength model identification of pure iridium. *International Journal of Impact Engineering*, 191-201.
doi:10.1016/j.ijimpeng.2017.03.019
155. SENPLADES. (2016). Transformación de la Matriz Productiva. *Revolución productiva a través del conocimiento y el talento humano* (págs. 5-25). Quito: © SENPLADES, 2012. Obtenido de www.planificacion.gob.ec
156. Senplades. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades 2017. Obtenido de www.planificacion.gob.ec
157. Singh Parihar, R., Kumar Sahu, R., & Gangi Setti, S. (2018). Finite Element Modelling of Functionally Graded Cemented Tungsten Carbide Compaction with Flow Stress Estimation. *materialstoday:PROCEEDINGS*, 7009-7018. doi:10.1016/j.matpr.2017.11.364
158. Smith, W. F., & Javad, H. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3217207>
159. Smith, W., & Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (Cuarta ed.). Mexico: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S. A. DE C.V.
160. Software, G. P. (2016). *Free Software Foundation*. Obtenido de Free Software Foundation: <https://www.gnu.org/software/pspp/manual/pspp.pdf>
161. Sujit, P., Aniket, S., Satish, C., Atul, K., & Ganesh, L. (2017). Residual Stresses during Hard Turning of AISI 52100 Steel:. *Materials Today: Proceedings*, 2350–2359.
doi:10.1016/j.matpr.2017.02.084
162. Tarín, P., Salamanca, A., & Pérez, J. (8-10 de Junio de 2005). *Laccei.org*. Obtenido de http://www.laccei.org/LACCEI2005-Cartagena/Papers/EM016_TarinRemohi.pdf
163. Tounsi, N., Vincenti, J., Otho, A., & Elbestawi, M. (2002). From the basic mechanics of orthogonal metal cutting toward the. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 1373–1383.

164. Troshchenko, V. T., & Pokrovskii, V. V. (2003). FATIGUE FRACTURE TOUGHNESS OF METALS AND ALLOYS. *Strength of Materials*, 5-23.
165. Valerii, K., & Michael, S. (2017). Modelling the material resistance to cutting. *International Journal of Mechanical Sciences*, 44-54. doi:10.1016/j.ijmecsci.2017.03.024
166. Víctor, M., & al, e. (2014). *Ingeniería y ciencia de los materiales metálicos*. Dextra Editorial. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=3229126>
167. Viedma, C. d. (2018). *Estadística descriptiva e inferencial*. Ediciones IDT. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5486569>
168. Viedma, C. d. (2018). *Estadística descriptiva e inferencial*. Ediciones IDT. Obtenido de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/detail.action?docID=5486569>
169. Weidong, S., Jianguo, N., Xiaonan, M., & Huiping, T. (2013). A modified Johnson–Cook model for titanium matrix composites reinforced. *Materials Science & Engineering A*, 280-289. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2013.04.014>
170. Xiao, Y., Tang, Q., Hu, Y., Peng, J., & Luo, W. (2018). Flow and fracture study for ZK60 alloy at dynamic strain rates and different loading states. *Materials Science and Engineering: A*, 208-219. doi:10.1016/j.msea.2018.03.050
171. Xiao, Y., Wu, H., Fang, Q., Zhang, W., & Kong, X. (2017). Hemispherical nosed steel projectile high-speed penetration into. *Materials and Design*, 237–254. doi:10.1016/j.matdes.2017.08.002
172. Yancheng, Z., Outeirob, J., & Tarek, M. (2015). On the selection of Johnson-Cook constitutive model parameters for. *Procedia CIRP*, 112-117. doi: 10.1016/j.procir.2015.03.052
173. Yanhua, Z., Jie, S., Jianfeng, L., Y. Y., & Ping, W. (2017). A comparative study on Johnson-Cook and modified Johnson-Cook. *Journal of Alloys and Compounds*, 179-187. doi:10.1016/j.jallcom.2017.06.251

174. YuHou, Q., & TaoWang, J. (2010). A modified Johnson–Cook constitutive model for Mg–Gd–Y alloy extended to a wide range of temperatures. *Computational Materials Science*, 147-152. doi:10.1016/j.commatsci.2010.07.018
175. Zhang, Y., Outeiro, J., & Mabrouki, T. (2015). On the Selection of Johnson-cook Constitutive Model Parameters for Ti-6Al-4 V Using Three Types of Numerical Models of Orthogonal Cutting. *Procedia CIRP*, 112-117. doi:10.1016/j.procir.2015.03.052
176. Zhao, Y., Sun, J., Li, J., Yan, Y., & Wang, P. (2017). A comparative study on Johnson-Cook and modified Johnson-Cook constitutive material model to predict the dynamic behavior laser additive manufacturing FeCr alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 179-187. doi:10.1016/j.jallcom.2017.06.251
177. Zhenguo, N., Wang, G., Jianchao, Y., Liu, D., & Yiming, (. (Octubre de 2016). Phase-based constitutive modeling and experimental study for dynamic mechanical behavior of martensitic stainless steel under high strain rate in a thermal cycle. *Mechanics of Materials*, 160-169. doi:10.1016/j.mechmat.2016.08.003

ANEXOS

Anexo I

RECOPIULATORIO DE MODELOS DE JOHNSON-COOK DE METALES PARÁMETROS Y ECUACIONES

En la Tabla del anexo A.I, se colocó los parámetros del modelo matemático de Johnson-Cook de los distintos metales usados en la industria automotriz, para tener una clara observación de las respectivas ecuaciones usadas en cada investigación. Como se pudo observar las ecuaciones son similares a un elevado nivel, dando de esta manera una idea general de similitud de parámetros usados en la presente investigación.

Tabla A.I Compendio de información de artículos de Johnson- Cook

Material	Ecuación del artículo	N°
Aleación de aluminio 2024	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right]$	
Sinopsis. En este estudio se tomó en cuenta los efectos que producían las temperaturas de corte a diferentes ángulos de incidencia se usó el modelo JC para tener los parámetros en cada caso de los materiales, en esta compilación se tomó en cuenta el grupo de parámetros que daba mejor la predicción cercana al material de corte.		
Siendo: A=265 MPa; B=426 MPa; C=0.015; n=0.34; m=1		
Aleación de aluminio 7075	$\sigma_{flow} = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] + C_p p$	
En este trabajo la resistencia y la falla del material se modelaron utilizando la resistencia de Johnson-Cook y modelos de daños. Para capturar la respuesta del material bajo el cortado laser, se utilizó un criterio de condición dual que calibró un conjunto de parámetros a datos de tasa de deformación casi estática a baja temperatura y el otro a alta temperatura.		
Siendo: A=480 MPa; B=370 MPa; C=0.0072; n=0.43, m=0.74		
Ti6Al4V	$\sigma_i = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right]$	
En esta investigación se toma en cuenta las fracturas del material al momento de mecanizarlo de modo que además del modelo Johnson-Cook se agrega por medio de la formulación de Lagrangian (LAG) considerara el estrés triaxial al cual está sometido durante el proceso por ello se incluyen D1 a D5 que son sus fallas por fractura del material.		
Siendo: A=1098 MPa; B=1092 MPa; C=0.014; n=0.93, m=1.1		
Acero 4340	$\sigma^0 = [A + B(\varepsilon^p)^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_{ref}}{T_m - T_{ref}} \right)^m \right]$	
En el trabajo de investigación presentan relación entre el contenido de aceros de fase dual (Ferrita y Martensita), tanto en su microestructura y como afectaba el contenido de una o de otro de los elementos si estaba mayormente presente en el acero. Los aceros al carbono muestran una mejor distribución de ferrita y los aleados muestran más martensita distribuida. Y con ello elaboraron un modelo computacional de predicción de estas características.		
Siendo: A=792 MPa; B=509 MPa; C=0.014; n=0.26, m=1		

Tabla A.I Compendio de información de artículos de Johnson- Cook (Continuación...)

350 acero Martensítico (2Cr12Ni4Mo3VNbN Steel(martensita))	$\sigma_i(T, \varepsilon, \dot{\varepsilon}) = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^p \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right]$	
En este estudio se aplica un enfoque hacia los elementos constituyentes del acero en este caso la martensita y la austenita que son estructuras formadas en el acero durante su procesado en este caso p viene a ser un coeficiente de sensibilidad a la deformación, aquí el modelo JC es usado de modo que pueda predecir su comportamiento en cada fase ya sea martensítica o austenítica que este más presente.		
Siendo A=1107.9 MPa; B=444.56 MPa; C=3.1; n=0.117; m=1.05; p=4.86		
17-7 H Acero (H13)	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right]$	
Aquí se centra en el fresado duro de materiales difíciles de mecanizar se ha convertido en una tecnología de fabricación popular en el mercado, Industrias de forja y fabricación de moldes, el modelo de elemento finito acoplado metal-termo mecánico propuesto es verificado comparando los resultados simulados con datos experimentales.		
Siendo A=1469 MPa; B=321.39 MPa; C=0.028; n=0.278; m=1.18		
Níquel	$\sigma_{JC} = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_m - T_0} \right)^m \right]$	
En este trabajo, se estudió la reología de la Inconel 718 se realizó durante una amplia gama de temperaturas y velocidades de deformación característicos de los procesos de mecanizado. Dos diferentes comportamientos fueron identificados como una función de la temperatura, por encima y por debajo de la crítica temperatura se ajustó a 700°C. Siendo en esta temperatura donde se estabilizaban sus características deseadas.		
Siendo A=1377 MPa; B=1243.5 MPa; C=0.0045; n=0.6767; m=1.29		
Acero 304 L	$\sigma^0 = [A + B(\varepsilon^p)^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_{ref}}{T_m - T_{ref}} \right)^m \right]$	
En el trabajo de investigación presentan relación entre el contenido de aceros de fase dual (Ferrita y Martensita), tanto en su microestructura y como afectaba el contenido de una o de otro de los elementos si estaba mayormente presente en el acero. Los aceros al carbono muestran una mejor distribución de ferrita y los aleados muestran más martensita distribuida. Y con ello elaboraron un modelo computacional de predicción de estas características.		
Siendo A=310 MPa; B=1000 MPa; C=0.07; n=0.65; m=1		
Titanio III	$\sigma^0 = [A + B(\varepsilon^p)^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_{ref}}{T_m - T_{ref}} \right)^m \right]$	
En el trabajo de investigación presentan relación entre el contenido de aceros de fase dual (Ferrita y Martensita), tanto en su microestructura y como afectaba el contenido de una o de otro de los elementos si estaba mayormente presente en el acero. Los aceros al carbono muestran una mejor distribución de ferrita y los aleados muestran más martensita distribuida. Y con ello elaboraron un modelo computacional de predicción de estas características.		
Siendo A=863 MPa; B=331 MPa; C=0.012; n=0.34; m=0.8		
Cobre	$\bar{\sigma} = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_m - T_{room}} \right)^m \right]$	

Tabla A.I Compendio de información de artículos de Johnson- Cook (Continuación...)

<p>Aquí se estudia el comportamiento mecánico de un cobre altamente libre de oxígeno en su conformación, los estudios van desde su respuesta al corte rápido como los resultados en los modelos utilizados para su estudio, se hace hincapié en el modelo JC, que la tensiones superficiales se sobreestiman en un 25% y las subyacentes pueden proporcionar datos menores a los estimados.</p>		
Siendo A=125 MPa; B=316MPa; C=0.014; n=0.44; m=0.7		
Acero blando o bajo en carbono	$\bar{\sigma} = [A+B(\bar{\epsilon}^{pl})^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\bar{\epsilon}^{pl}}{\epsilon_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	
<p>El manuscrito presenta un estudio sistemático de la caracterización de acero suave, variando el estrés triaxial, la velocidad de deformación y temperatura. Se estudió el efecto de la tensión triaxialidad mediante la realización de ensayos de tracción sobre muescas cilíndricas en el material, realizados por pruebas de proyectiles sobre el acero dulce.</p>		
Siendo: A=304.33 MPa; B=422.007 MPa; C=0.015; n=0.345; m= 0.87		
Acero 316	$\sigma_{eq} = [A+B\epsilon_{eq}^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}_{eq}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	
<p>Este artículo presenta un modelo que predice las dimensiones finales del tubo con muy alta exactitud. Se valida gracias a pruebas experimentales. Además, se realizan estudios con este modelo, como investigar la influencia del ángulo del troquel en la fuerza de estirado o la influencia del espesor relativo sobre la deformación del tubo.</p>		
Siendo: A=310.8 MPa; B=881.38 MPa; C=0.19; n=0.178; m=1.25		
Aluminio (20-41) (6061)	$\sigma_i^p = [A+B(\epsilon_i^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_{room}}{T_{melting}-T_{room}} \right)^m \right]$	
<p>Este artículo habla sobre la experimentación analítica mediante un modelo 3D de una esfera de algún material para bruñir a otro material mediante un contacto entre a velocidades ultrasónicas el material de la bola era de acero o nitruro de silicio en tanto el material elegido a bruñir era el aluminio.</p>		
Siendo A=324 MPa; B=114 MPa; C=0.002; n=0.42; m=1.34		
Aluminio 2219 (AA2219)	$\sigma(\epsilon_p, \dot{\epsilon}_p, T) = [A+B\epsilon_p^n] [1-\psi(\dot{\epsilon}_p, T)] [1-\Phi(T^*, \epsilon)]$	
<p>Como es bien sabido el modelo JC es muy utilizado pero su ecuación toma por separado los procesos térmicos ocurridos en el material por cual no tiene en cuenta su relación en el endurecimiento y ablandamiento térmico dinámico, en este modelo se determinó de forma más precisa como se desactivo la tensión de flujo para el material AA2219.</p>		
Siendo A=162.33 MPa; B=1069.56 MPa; C0=-4.133; C1=22.907; C2=-33.961; C3=16.733; K0=135; n=0.781; P1=0.606; P2=-2.117; P3=0.579; P4=0.109; P5=0.906; P6=-1.343; P7=1.758; P8=-0.667; P9=6.597; P10=-12.784; E0=0.1		
Aleación LAM FeCr	$\sigma = [727.48 + 17254\epsilon - 8162\epsilon^2 + 118124\epsilon^3] [1+C_1 \ln \epsilon^*] [1-T^{*0.7231}]$	
<p>En este trabajo se recalca la ineficacia del uso tradicional del modelo JC puesto que este no toma en cuenta la acumulación de los efectos de cualquier factor y trata a los únicos tres que constan en su ecuación de forma independiente, en el modelo modificado denota que las dislocaciones del material a diferentes velocidades de deformación especialmente en las etapas de ablandamiento.</p>		
Siendo A=935.47 MPa; B=1110.76 MPa; C=0.002; n=0.033; m=0.701; E0=1		
Weldox 460E	$\sigma^0 = [A+B(\epsilon^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}^{pl}}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[1-\left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	
<p>En el trabajo de investigación presentan relación entre el contenido de aceros de fase dual (Ferrita y Martensita), tanto en su microestructura y como afectaba el contenido de una o de otro de los elementos si estaba mayormente presente en el acero. Los aceros al carbono muestran una mejor distribución de ferrita y los aleados muestran más martensita distribuida. Y con ello elaboraron un modelo computacional de predicción de estas características.</p>		

Tabla A.I Compendio de información de artículos de Johnson- Cook (Continuación...)

Siendo A=992 MPa; B=364 MPa; C=0.008; n=0.568; m=1.131; E0=1		
Superalación de acero base níquel	$\sigma^0 = [A+B(\varepsilon^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	
En el trabajo de investigación presentan relación entre el contenido de aceros de fase dual (Ferrita y Martensita), tanto en su microestructura y como afectaba el contenido de una o de otro de los elementos si estaba mayormente presente en el acero. Los aceros al carbono muestran una mejor distribución de ferrita y los aleados muestran más martensita distribuida. Y con ello elaboraron un modelo computacional de predicción de estas características.		
Siendo A=1138 MPa; B=1324 MPa; C=0.009; n=0.5; m=1.27; E0=1		
42CrMo	$\sigma^0 = [A+B(\varepsilon^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	
En el trabajo de investigación presentan relación entre el contenido de aceros de fase dual (Ferrita y Martensita), tanto en su microestructura y como afectaba el contenido de una o de otro de los elementos si estaba mayormente presente en el acero. Los aceros al carbono muestran una mejor distribución de ferrita y los aleados muestran más martensita distribuida. Y con ello elaboraron un modelo computacional de predicción de estas características.		
Siendo A=724 MPa; B=683 MPa; C=0.035; n=0.47; m=1; E0=10 ⁻⁵		
Nitronic 33	$\sigma^0 = [A+B(\varepsilon^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	
En el trabajo de investigación presentan relación entre el contenido de aceros de fase dual (Ferrita y Martensita), tanto en su microestructura y como afectaba el contenido de una o de otro de los elementos si estaba mayormente presente en el acero. Los aceros al carbono muestran una mejor distribución de ferrita y los aleados muestran más martensita distribuida. Y con ello elaboraron un modelo computacional de predicción de estas características.		
Siendo A=455 MPa; B=2289 MPa; C=0.066; n=0.834; m=0.258; E0=1		
AISI 1006 Acero	$\sigma^0 = [A+B(\varepsilon^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	
En el trabajo de investigación presentan relación entre el contenido de aceros de fase dual (Ferrita y Martensita), tanto en su microestructura y como afectaba el contenido de una o de otro de los elementos si estaba mayormente presente en el acero. Los aceros al carbono muestran una mejor distribución de ferrita y los aleados muestran más martensita distribuida. Y con ello elaboraron un modelo computacional de predicción de estas características.		
Siendo A=350 MPa; B=275 MPa; C=0.022; n=0.36; m=1; E0=1		
S7 Acero Herramientas	$\sigma^0 = [A+B(\varepsilon^p)^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{ref}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	
En el trabajo de investigación presentan relación entre el contenido de aceros de fase dual (Ferrita y Martensita), tanto en su microestructura y como afectaba el contenido de una o de otro de los elementos si estaba mayormente presente en el acero. Los aceros al carbono muestran una mejor distribución de ferrita y los aleados muestran más martensita distribuida. Y con ello elaboraron un modelo computacional de predicción de estas características.		
Siendo A=1539 MPa; B=476 MPa; C=0.012; n=0.18; m=1; E0=1		
AISI 1045	$\sigma = [A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{ref}} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{room}}{T_m-T_{ref}} \right)^m \right]$	
Esta investigación se centra en el proceso de unión de acero AISI por medio de cizalladura y se toma en cuenta el modelo JC por sus altas temperaturas alcanzadas en este proceso.		
Siendo A=108.294 MPa; B=744.428 MPa; C=0.161; n=0.302; m=0.354; E0=0.2		
Aleación de Titanio IMI 834	$\sigma = [A+B\varepsilon^n][1+C \ln \varepsilon^*][1-T^{*m}]$	

Tabla A.I Compendio de información de artículos de Johnson- Cook (Continuación...)

En este estudio se presenta una serie de pruebas utilizando métodos de predicción numéricos entre los cuales está el JC, el material que es una aleación de titanio es sometido a pruebas de resistencia contra balas, que asemejan mucho deformaciones rápidas adiabáticas con lo cual prueban que el modelo JC da los mejores resultados semejantes a los resultados reales en cuanto a su tracción de alta tensión.		
Siendo A=840 MPa; B=712 MPa; C=0.81; n=0.3; m=0.81		
AISI 52100	$\bar{\sigma} = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right]^m$	
Este trabajo se centra en las tensiones creadas al tornejar una pieza de acero AISI 52100, para ver en qué medida afecta la velocidad de corte y la velocidad de alimentación su posible desgaste prematuro. Como conclusiones obtuvieron que a medida que la velocidad de corte aumenta hay un aumento en las tensiones residuales de tracción.		
Siendo A=2482.4 MPa; B=1498.5 MPa; C=0.027; n=0.19; m=0.66; E0=1		
Iridio	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right]$	
Esta investigación se centró en ver cual modelo se acercaba más a las características reales del iridio de modo que se pueda usar en futuras investigaciones y con más versatilidad en su uso. En base a sus diferentes ensayos constataron que el modelo JC es aplicable hasta ciertas temperaturas donde la recristalización se hace presente en el material.		
Siendo A=1054 MPa; B=1632 MPa; C=0.013; n=0.401; m=1.25; E0=0.001		
Acero D6A	$\sigma = [A + B\varepsilon_p^n] [1 + C \ln \varepsilon^*] [1 - T^{*m}]$	
En este trabajo se investiga el rendimiento balístico del acero D6A contra una aleación de aluminio por su rápida deformación se usa el modelo JC entre los modelos usados en esta investigación. Las pruebas hechas a diferentes temperaturas concuerdan con el modelo JC con una corrección del algoritmo de Lagrange.		
Siendo A=1210 MPa; B=1071 MPa; C=0.014; n=0.6; m=1; E0=4.5*10^-4		
WC-12Co	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_{room}}{T_{melt} - T_{room}} \right)^m \right]$	
En el presente trabajo, para la preparación de WC-Co donde la fuerza se correlaciona directamente con la densidad. El método de elementos finitos se implementa para la simulación de la compactación a conocer la naturaleza deformación del material. Esta naturaleza de deformación es útil para la predicción de la densidad final y se estima por "modelo de Johnson-Cook".		
Siendo A=1550 MPa; B=22000 MPa; C=0.016; n=0.45; m=1; E0=1		
Al 7017	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] [1 + C \ln \varepsilon^*] [1 - T^{*m}]$	
Este estudio comparativo sobre Johnson-Cook y el modelo de red neural. Se observó que el modelo de red neuronal desarrollada podía predecir el estrés de flujo bajo diferentes velocidades de deformación y temperaturas.		
Siendo A=410 MPa; B=528 MPa; C=0.01; n=0.88; m=0.6; E0=1		
Ta-2.5W	$\sigma_e = [A + B(\varepsilon_e^p)^n] [1 + C \ln \varepsilon^*] [1 - T^{*m}]$	
En este trabajo los esfuerzos del material (Ta-W) aleaciones, exhiben muy alta sensibilidad a la velocidad de deformación, mientras que su endurecimiento se ha encontrado para ser insensible a las bajas temperaturas o a altas velocidades de deformación, por ello se usó del modelo JC para pronosticar su posible deformación comparándolo con otros modelos matemáticos.		
Siendo A=238 MPa; B=565 MPa; C=0.063; n=0.743; m=1; E0=1		
Ta-10W	$\sigma_e = [A + B(\varepsilon_e^p)^n] [1 + C \ln \varepsilon^*] [1 - T^{*m}]$	
En este trabajo los esfuerzos del material (Ta-W) aleaciones, exhiben muy alta sensibilidad a la velocidad de deformación, mientras que su endurecimiento se ha encontrado para ser insensible a las bajas temperaturas o a altas velocidades de deformación, por ello se usó del modelo JC para pronosticar su posible deformación comparándolo con otros modelos matemáticos.		
Siendo A=550 MPa; B=380 MPa; C=0.049; n=0.618; m=1; E0=1		

Tabla A.I Compendio de información de artículos de Johnson- Cook (Continuación...)

Aleación Mg-10Gd-2Y-0.5Zr	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] [1 + C \ln \varepsilon^*] \left[1 - \lambda \frac{e^{T/T_m} - e^{T_r/T_m}}{e - e^{T_r/T_m}} \right]$	
En esta investigación se plantea un nuevo modelo constitutivo Johnson-Cook, el nuevo modelo se puede usar para describir o predecir la relación tensión-deformación de los metales deformados en un amplio intervalo de temperaturas a pesar de las temperaturas actuales era más baja que la temperatura de referencia. La nueva variable es una constante del material. Se obtiene un buen acuerdo entre el predicho y las curvas de esfuerzo-deformación.		
Siendo A=176 MPa; B=428 MPa; C=0.014; n=0.424; E0=0.003; λ=0.437		
7.62 AP	$\bar{\sigma} = [A + B(\bar{\varepsilon}^{pl})^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\bar{\varepsilon}^{pl}}{\varepsilon_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_{ref}}{T_m - T_{ref}} \right)^m \right]$	
El manuscrito presenta un estudio sistemático de la caracterización de acero suave, variando el estrés triaxial, la velocidad de deformación y temperatura. Se estudió el efecto de la tensión triaxialidad mediante la realización de ensayos de tracción sobre muescas cilíndricas en el material, realizados por pruebas de proyectiles sobre el acero dulce.		
Siendo: A=2700 MPa; B=11 MPa; C=0.005; n=0.065; m= 1.17; E0=0.0001		
Al 2519A	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] [1 + C \ln \varepsilon^*] [1 - T^{*m}]$	
En este estudio el material a cuestión se probó hasta altas temperaturas y se observa un número de estructuras de deformación pasando los 350°C. De esto se concluye que el material sufre principalmente un gran deslizamiento y deformación plástica bajo impacto dinámico a elevadas temperaturas.		
Siendo: A=424.3 MPa; B=264.88 MPa; C=0.015; n=0.42; m= 0.74; E0=0.01		
Acero 2Cr12Ni4Mo3VNbN (austenita)	$\sigma_i(T, \varepsilon, \dot{\varepsilon}) = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right)^p \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right]$	
En este estudio se aplica un enfoque hacia los elementos constituyentes del acero en este caso la martensita y la austenita que son estructuras formadas en el acero durante su procesado en este caso p viene a ser un coeficiente de sensibilidad a la deformación, aquí el modelo JC es usado de modo que pueda predecir su comportamiento en cada fase ya sea martensítica o austenítica que este más presente.		
Siendo A=377.63 MPa; B=699.57 MPa; C=2.95; n=0.397; m=1.49; p=4.12; E0=0.001		
ARMOX 500T	$\sigma_{eq} = [A + B\varepsilon^n] [1 + C \ln \varepsilon^*] [1 - (T^*)^m]$	
Esta investigación se realizó para medir la deformación y la evolución microestructural de placas de blindaje ARMOX 500T a velocidades de deformación elevadas, por ello el uso del modelo JC, para ver que durante el proceso de laminación en caliente que se utiliza en la fabricación de estos aceros conduce a una variación a través de la textura de espesor que conduce a una textura de transición asimétrico en el régimen de deformación.		
Siendo A=1540 MPa; B=3320 MPa; C=0.013; n=0.266; m=1.202; E0=1		
Aleación ZK60	$\sigma_e = [A + B\varepsilon^{pn}] [1 + C \ln \varepsilon^*]$	
En este documento, se llevó a cabo una serie de pruebas para analizar los comportamientos de fractura de la aleación ZK60 incorporan estado de tensión y velocidad de deformación, por ello no se toma en cuenta las temperaturas ya que el estudio se centró en los esfuerzos uniaxiales.		
Siendo A=220.7 MPa; B=316.4 MPa; C=0.028; n=0.43; E0=0.1		
Aleación Mart1200	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] [1 + C \ln \dot{\varepsilon}] [1 - T^{*m}]$	
En este trabajo se estudian estas aleaciones ligeras de acero para ver su resistencia a la deformación se compara el modelo JC con otro para averiguar cuál predice mejor sus deformaciones a altas velocidades los resultados arrojaron que ambas son válidas dentro del margen de error para estas aleaciones.		
Siendo A=1111 MPa; B=513 MPa; C=0.009; n=0.2; E0=1*10^-4		
Aleación Mart1400	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] [1 + C \ln \dot{\varepsilon}] [1 - T^{*m}]$	
En este trabajo se estudian estas aleaciones ligeras de acero para ver su resistencia a la deformación se compara el modelo JC con otro para averiguar cuál predice mejor sus deformaciones a altas velocidades los resultados arrojaron que ambas son válidas dentro del margen de error para estas aleaciones.		
Siendo A=1313 MPa; B=513 MPa; C=0.008; n=0.27; E0=1*10^-4		

Tabla A.I Compendio de información de artículos de Johnson- Cook (Continuación...)

Tantalio	$\sigma_{eq} = [A+B(\varepsilon_p)^n] \left[1+C \log \left(\frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_p^r} \right) \right] [1-(\Theta)^m]$	
En esta investiga se prueba la deformación del tantalio policristalino para ver su resistencia a la deformación a altas velocidades y la acumulación de daño de esta, sus resultados demostraron que el material falla a altas tasas de deformación lo cual afecta su ductilidad de modo significativo.		
Siendo A=575 MPa; B=75 MPa; C=0.1; n=0.82; m=0.8; E0=1000		
Al 5083	$\sigma = [A+B\varepsilon^{pln}] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{\Theta - \Theta_{ref}}{\Theta_{melt} - \Theta_{ref}} \right)^m \right]$	
En este estudio se centran en el material y cómo influyen los ángulos de ataque, así como la carga de presión a la que esté sometido durante el maquinado, el modelo JC es usado para predecir su comportamiento mientras se lleva a cabo estos procesos en el material.		
Siendo A=167 MPa; B=596 MPa; C=0.001; n=0.551; m=0.859; E0=1		
Acero AerMet 100	$\sigma = [A+B\varepsilon^n] [1+C*\ln \dot{\varepsilon}^*]$	
En esta investigación ser utiliza un modelo simplificado de Jonhson Cook por lo que no se toma en cuenta los estados de tensión del material dejando a un lado la variable de temperatura.		
Siendo A=1724.61 MPa; B=90.92 MPa; C=0.018; n=0.002; E0=0.001		
Aleación de Mg ZE20	$\sigma = [A+B\varepsilon^n] [1+C \ln \dot{\varepsilon}^*] [D-ET^{*m}]$	
En este estudio se evalúa el comportamiento de deformación de esta aleación. Particularmente se centra entre los resultados obtenidos en los ensayos experimentales y las simulaciones numéricas, así como, las predicciones que dan los modelos usados entre ellos el modelo JC de flujo de estrés.		
Siendo A=68 MPa; B=45 MPa; C=0.104; n=0.126; m=2.39; E0=0.1; D=1; E=1.738 /C°		
AISI 1018	$\bar{\sigma} = [A+B(\bar{\varepsilon})^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \frac{T-T_{room}}{T_{melt}-T_{room}} \right]^m$	
Este artículo trata sobre el modelado de elementos finitos 2D de tensión simple del acero laminado en frío AISI 1018 bajo un proceso de mecanizado ortogonal. En este estudio, las causas de los parámetros de mecanizado como la velocidad de corte, la profundidad de corte y la alimentación de las fuerzas de corte.		
Siendo A=520 MPa; B=269 MPa; C=0.048; n=0.282; m=0.053; E0=1		
Aleación 7050-T7451	$\bar{\sigma} = \left[A+B\varepsilon^n \left(\frac{1 - (\dot{\varepsilon}/\dot{\varepsilon}_{max})^{p2} * \tanh(\varepsilon)}{\exp(\varepsilon^{pl})} \right) \left(\frac{T_m}{T} \right)^{p3} \right] [1+C \ln \dot{\varepsilon}^*] \left[1 - \left(\left(1 - \frac{\ln \dot{\varepsilon}_{max} - \ln \dot{\varepsilon}}{\ln \dot{\varepsilon}_{max} - \ln \dot{\varepsilon}_{min}} \right) \right)^q (T^*)^m \right]$	
En esta investigación se usó un modelo modificado de JC para estudiar tanto la compresión como el comportamiento de recristalización del material a varias temperaturas lo cual dio como resultado este modelo ajustándose para revelar su comportamiento en rango de temperaturas y varias tasa de tensión.		
Siendo A=108.648 MPa; B=899.99 MPa; C=0.016; P1=0.917; P2=0.064; P3=0.043; q=1.938; n=0.304; m=2.115; E0=1		
Acero Rim	$\sigma_{dyn} = [A_0+B_0\varepsilon^n] \left[1+C_0 \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_r}{T_m-T_r} \right)^m \right]$	
El estudio se realizó evaluando por varios modelos: modelo de Cowper-Symonds, el modelo de Johnson-Cook y un estudio de base física. Los resultados experimentales muestran que la tensión verdadera compresiva versus la tensión real. La respuesta del acero de la rueda D1 depende de la velocidad de deformación y la velocidad de endurecimiento por deformación durante el flujo de plástico.		
Siendo A=583 MPa; B=926 MPa; C=0.024; n=0.26; m=0.77; E0=0.001		

Tabla A.I Compendio de información de artículos de Johnson- Cook (Continuación...)

AlSi9Cu3	$\bar{\sigma} = [A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_{room}}{T_{melt}-T_{room}} \right)^m \right]$	
En este estudio con ayuda de herramientas PCD se llevó a cabo un modelo numérico para saber el rango de susceptibilidad del material al maquinado lo cual se basó en el modelo JC para su predicción en parte de su trabajo.		
Siendo A=120 MPa; B=330 MPa; C=0.08; n=0.12; m=1.01; E0=1		
Acero	$\sigma = [A+B\varepsilon_p^n] [1+C \ln \varepsilon^*] [1-T^{*m}]$	
Este estudio se basó en estudiar acerca de las propiedades del material del que está compuesto un avión para poder modelar sus posibles problemas se usó el modelo JC para ver si en algún punto podía haber un sobrecalentamiento y por ende una falla dentro de su estructura.		
Siendo A=350 MPa; B=275 MPa; C=0.022; n=0.36; m=1; E0=1		
Al	$\sigma = [A+B\varepsilon_p^n] [1+C \ln \varepsilon^*] [1-T^{*m}]$	
Este estudio se basó en estudiar acerca de las propiedades del material del que está compuesto un avión para poder modelar sus posibles problemas se usó el modelo JC para ver si en algún punto podía haber un sobrecalentamiento y por ende una falla dentro de su estructura.		
Siendo A=369 MPa; B=648 MPa; C=0.08; n=0.73; m=1.07; E0=1		
Aleación Mg AZ31B	$\sigma = [A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] [1-T^{*m}]$	
En este estudio se busca determinar la trabajabilidad de esta aleación debido a su composición estructural natural, para ver sus posibles fallos a través de simulación y ver en que concordancia se iguala a sus fallos reales con diferentes mecanizados.		
Siendo A=172 MPa; B=360.73 MPa; C=0.092; n=0.456; m=0.95; E0=0.01		
SAE 1008	$\bar{\sigma} = [A+B(\varepsilon^{pl})^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] [1-\hat{T}^m]$	
En esta investigación se centra en la simulación de fragmentos, el cual ayudado por el modelo termoplástico JC se usó para definir los datos relevantes. Y se ha demostrado que las simulaciones reproducen correctamente los principales mecanismos del proceso de penetración - indentación, abultamiento y taponamiento de un acero duro contra el acero suave.		
Siendo A=304.3 MPa; B=422 MPa; C=0.016; n=0.345; m=0.87; E0=1*10^-4		
SAE 1060	$\bar{\sigma} = [A+B(\varepsilon^{pl})^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}^{pl}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] [1-\hat{T}^m]$	
En esta investigación se centra en la simulación de fragmentos, el cual ayudado por el modelo termoplástico JC se usó para definir los datos relevantes. Y se ha demostrado que las simulaciones reproducen correctamente los principales mecanismos del proceso de penetración - indentación, abultamiento y taponamiento de un acero duro contra el acero suave.		
Siendo A=553.1 MPa; B=600.8 MPa; C=0.013; n=0.234; m=1; E0=1		
Al 6063	$\sigma = [A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_r}{T_m-T_r} \right)^m \right]$	
En esta investigación se centra en el mecanizado compuesto de Al / SiCp es considerablemente difícil debido a la presencia de partículas duras que resultan en fricción compleja en la interfaz herramienta-escama. Por ello hacen uso del modelo JC para evaluar de forma predictiva su comportamiento y su mecanizado.		
Siendo A=176.45 MPa; B=63.99 MPa; C=0.004; n=0.07; m=0; E0=1		
Aleación Tg IT180	$\sigma_y = [A+B\varepsilon^n] \left[1+C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T-T_r}{T_m-T_r} \right)^m \right]$	
En este trabajo se aborda una inspección analítica en cuanto al tungsteno puro y sus aleaciones debido a su uso en muchos campos de la industria aeroespacial y automotriz y se examinan de forma teórica con varios modelos de fallas entre ellos el modelo JC.		
Siendo A=647 MPa; B=1337 MPa; C=0.064; n=0.562; m=0.494; E0=1		

Tabla A.I Compendio de información de artículos de Johnson- Cook (Continuación...)

UNS S31803	$\sigma = [A + B\varepsilon^n] * \left[1 + C \ln \left(1 + \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] * \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right]$	
En este trabajo se utilizó la simulación de elementos finitos en ANSYS para ver la soldadura entre dos placas de acero inoxidable, por ello se usó el modelo JC para complementar esta simulación.		
Siendo A=731 MPa; B=840.5 MPa; C=0.012; n=0.19; m=0.965; E0=1		
AISI 309L	$\sigma = [A + B\bar{\varepsilon}^p] [1 - \hat{\theta}^m]$	
En este trabajo se centra en el estudio sobre la soldadura por arco de modo que el acero 309L se utiliza de modo de relleno, aquí se le toma en cuenta sus resultados expuestos en la realidad y compararlos con las predicciones presentadas por el modelo JC.		
Siendo A=440 MPa; B=700 MPa; C=0.01; n=0.55; m=1; E0=0.001		
Acero X65	$\sigma_y = [A + B\bar{\varepsilon}^p] [1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*]$	
En esta investigación se buscó la resistencia contra explosiones en las tuberías de acero, de modo que se utiliza el modelo de simplificado a dos criterios de JC para predecir su deformación plástica en cuanto a los efectos de la guerra.		
Siendo A=500 MPa; B=857 MPa; C=0.033; n=0.343; E0=1		
42CrMo4	$\sigma_{eq} = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right]$	
En las aplicaciones de fresado, las cargas térmicas y mecánicas están afectando el comportamiento de daños de los insertos de fresado, se hace uso del modelado finito de elementos usando JC para simular el fresado y tras validar los resultados se obtienen mediante dos configuraciones experimentales de fresado recientemente informadas.		
Siendo A=600 MPa; B=643 MPa; C=0.004; n=0.41; m=0.957; E0=0.001		
Aleación Tg densa	$\sigma = [A + B\varepsilon_p^n] \left[1 + C \ln \left(1 + \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] [1 - T^{*m}]$	
En este trabajo se enfocó en la sinterización del material a diferentes temperaturas lo cual ayudada por el modelo JC ayuda a la predicción de fracturas por cizallamiento.		
Siendo A=200 MPa; B=177 MPa; C=0.019; n=0.137; m=1.697; E0=1		
Inconel 100	$\sigma = \left[A + B\varepsilon^n \left(\frac{1}{\exp(\varepsilon^a)} \right) \right] \left[1 - C \ln \left(1 + \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] * \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \\ \times \left[D + (1 - D) \left[\tanh \left(\frac{1}{(\varepsilon + p)^r} \right) \right]^5 \right]$	
Esta investigación investiga los efectos de la micro geometría de herramienta, recubrimiento y velocidad de corte en los cambios microestructurales durante el mecanizado. Se han realizado simulaciones para predecir el tamaño de grano promedio al implementar la temperatura modificada ablandamiento de flujo dependiente basado en material y modelos de cristalización de Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov.		
Siendo A=1350 MPa; B=1750 MPa; C=0.017; n=0.65; m=1.3; E0=1; A=1.5; b=10; d=0.01; r=1.5; s=-0.4		
AA7081	$\sigma_{JC} = [A + B\varepsilon_p^n] [1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*]$	
En este trabajo, ya que el aluminio se está usando más en vehículos blindados, se estudia los efectos de la tasa de deformación en las propiedades mecánicas en tensión de una aleación de aluminio comercial AA7081 en varios rangos de deformación cuasi estático, medio y alto.		
Siendo A=533 MPa; B=613 MPa; C=0.004; n=0.707; E0=1		
AA5052	$\sigma_y = [A + B\varepsilon^n] \left[1 + C \log \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right]$	
En esta investigación se dio énfasis en la captación de imágenes de alta velocidad de la deformación de las placas del material. Desplazamiento de campo completo, velocidad, tensión y velocidad de tensión fueron calculado por un sistema de correlación de imagen digital (DIC). Y se usó JC para la predicción de dichas deformaciones.		
Siendo A=1350 MPa; B=1750 MPa; C=0.017; n=0.65; m=1.3; E0=1		

(Daoud, Chatelain, & Bouzid, 2017, pág. 392)

- (Florando, y otros, 2015, pág. 402)
(Zhang, Outeiro, & Mabrouki, 2015, pág. 112)
(Prawoto, Fanone, Shahedi, Ismail, & Wan Nik, 2012, pág. 48)
(Zhenguo, Wang, Jianchao, Liu, & Yiming, 2016, pág. 160)
(Li, Zhang, Zhang, Chen, & Zhang, 2018, pág. 241)
(Iturbe, y otros, 2017, pág. 441)
(Denguir, Outeiro, Fromentin, Vignal, & Besnard, 2017, pág. 143)
(Iqbal, Senthil, Bhargava, & Gupta, 2015, pág. 98)
(Karkalos & Markopoulos, 2018, pág. 107)
(Reza & Saeid, 2019, pág. 118)
(Lia, Zhana, Fana, & Tana, 2017, pág. 155)
(Zhao, Sun, Li, Yan, & Wang, 2017, pág. 179)
(Murugesan, Lee, Kim, Kang, & Kim, 2017, pág. 1689)
(Bobbili, Ramakrishna, & Madhu, 2017, pág. 225)
(Pawar, Salve, Chinchani, Kulkarni, & Lamdhade, 2017, pág. 2350)
(Scapin, y otros, 2017, pág. 191)
(Xiao, Wu, Fang, Zhang, & Kong, 2017, pág. 237)
(Singh Parihar, Kumar Sahu, & Gangi Setti, 2018, pág. 7009)
(Bobbili R. , Ramakrishna, Madhu, & Gogia, 2015, pág. 93)
(Fei, y otros, 2017, pág. 2753)
(YuHou & TaoWang, 2010, pág. 147)
(Iqbal, Senthil, Bhargava, & Gupta, 2015, pág. 98)
(Liu, He, Chen, & Tang, 2014, pág. 2179)
(Zhenguo, Wang, Jianchao, Liu, & Yiming, 2016, pág. 160)
(Saleh, y otros, 2018, pág. 30)
(Xiao, Tang, Hu, Peng, & Luo, 2018, pág. 208)
(Costa, Mendonça, & Peixinho, 2016, pág. 143)
(Dorogoy & Rittelm, 2017, pág. 143)
(Elwasli, Zemzemi, Mkaddem, Mzali, & Mezlini, 2015, pág. 352)
(Hu, Meng, Jiang, Xu, & Liu, 2015, pág. 759)
(Plumeri, Madej, & Misiolek, 2017, pág. 389)
(Bhopale, Jagatap, Lamdhade, & Darade, 2017, pág. 8454)
(Chen, Ren, Ke, Li, & Yang, 2016, pág. 146)
(Jing, Su, & Zhao, 2017, pág. 1452)
(Fraga daSilva, Soares, Jesus, Rosa, & Reis, 2017, pág. 555)
(Li, Wang, Yuan, & Wu, 2019, pág. 1)
(Abbassi, Srinivasan, Loganathan, Narayanasamy, & Gupta, 2016, pág. 295)
(Elek, Jaramaz, Micković, & Miloradović, 2016, pág. 58)
(Chunzheng, Wei, Cheng, & Fangyuan, 2018, pág. 384)
(Scapin, 2015, pág. 258)
(Mohammed, Shrikrishana, & Sathiya, 2015, pág. 704)
(Luk-Cyr, El-Bawab, Lanteigne, Champlaud, & Vadean, 2016, pág. 197)
(Mokhtari & Nia, 2015, pág. 668)
(Nemetz, y otros, 2018, pág. 98)
(Hafizoğlu & Durlu, 2018, pág. 44)
(Arisoy, Guo, Kaftanoğlu, & Özel, 2016, pág. 80)
(Cadoni, Dotta, Forni, & Kaufmann, 2016, pág. 986)
(Deng, Mao, Li, & Cui, 2019, pág. 595)

Anexo II

LÍNEAS USADAS EN LA GRAFICACIÓN DEL ANÁLISIS DEL AL 7050, TI IMI 834.

EJEMPLO

- Con este comando se eliminó los posibles valores guardados anteriormente
rm (list=ls ())
- Se estableció los valores de los vectores de coeficientes
x=c (0, 0.05, 0.1, 0.15)
y=c (6011.654033, 8086.021479, 8565.499925, 8895.832065)
z=c (2097.551973, 2155.913205, 2246.321829, 2354.732536)
a=c (942.875, 1190.476, 1261.905, 1307.143)
- Se graficó dos vectores, eliminando los ejes, colocando un límite de 9500 y eligiendo tipo de línea color y su leyenda superior
plot (x, y, axes=F, ylim=c (0,9500), xlab="", ylab="", type="o", pch=3, col="black", main="Ti IMI834 a 25°C")
- Se colocó el eje x con su límite y color
axis (2, ylim=c (0,300), col="black")
- Se nombro al eje y del gráfico
mtext ("Tensión Von Misses", side=2, line=2.5)
- Aquí se colocó el cuadro que contiene al gráfico
box ()
- En este comando se almaceno la imagen para superponerla con la siguiente
par(new=T)
- Se graficaron los siguientes valores

```
plot(x, z, xlab="", ylab="", ylim=c(0,9500), axes=F, type="o", col="blue", pch=0)
par(new=T)
plot(x, a, xlab="", ylab="", ylim=c(0,9500), axes=F, type="o", col="red", pch=2)
axis(1, x)
```

- Se colocó el título del eje x

```
mtext("Deformación ", side=1, line=2.5)
```

- Se colocó un cuadro con las leyendas respectivas para mayor entendimiento del gráfico

```
legend(0.1,5000, legend=c("Modelo", "JC", "Experimental"), text.col=c("blue", "black", "red"),
pch=c(0,3,2), col=c("blue", "black", "red"))
```