



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

NOMBRE DEL PROYECTO

APLICACIÓN DE ESTUDIOS R&R PARA MÁQUINAS DE TENSIÓN DE LA
MARCA DANIELI Y TINIUS OLSEN

OPCIÓN DE TITULACIÓN

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

FATIMA MEJIA GARCIA

NOMBRE DEL ASESOR:

ALEJANDRA TORRES LÓPEZ



APIZACO, TLAX., OCTUBRE 2024

Apizaco, Tlax. 17/octubre/2024

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación integral

**CÉSAR REYNALDO RAMOS GÓMEZ
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE**

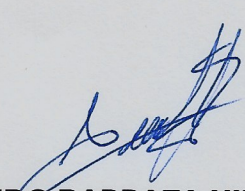
Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación integral:

Nombre del Egresado:	FATIMA MEJÍA GARCÍA
Carrera:	INGENIERÍA INDUSTRIAL
No. De control:	19370636
Nombre del proyecto:	"APLICACIÓN DE ESTUDIOS R&R PARA MÁQUINAS DE TENSIÓN DE LA MARCA DANIELI Y TINIUS OLSEN"
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

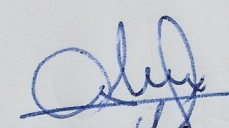
EXCELENCIA EN EDUCACION TECNOLOGICA. ®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®



**ARMANDO BARRAZA HINIESTA
JEFE DEL DEPTO. INGENIERÍA INDUSTRIAL**



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLOGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL



**ALEJANDRA TORREZ LÓPEZ
ASESOR INTERNO**

c.c.p._ Div. Est. Prof. (interesado)
c.c.p._ Archivo



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Apizaco, Tlaxcala, 22/octubre/2024

MEJÍA GARCÍA FATIMA.
EGRESADA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL.
CON NÚMERO DE CONTROL 19370636.
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** cuyo tema es: **APLICACIÓN DE ESTUDIOS R&R PARA MÁQUINAS DE TENSIÓN DE LA MARCA DANIELI Y TINIUS OLSEN** conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar 2 USB del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepcion Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica-
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CÉSAR REYNALDO RAMOS GÓMEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo
CRRG/rls



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto.

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a mi madre, María Cristina García. Su apoyo incondicional ha sido el fruto de mi éxito. Desde los primeros días de mi carrera, ha estado a mi lado, brindándome su amor, comprensión y motivación. Sus palabras de aliento y sus innumerables sacrificios me han dado la fuerza para superar cada obstáculo y alcanzar mis metas. Mamá, tu dedicación y tu cariño han sido mi mayor inspiración.

A la ing. Mariela Hernández, ella ha sido mucho más que una maestra para mí, gracias a ella no solo he fortalecido mis conocimientos, sino que también he tenido la oportunidad de explorar y dominar nuevos campos. Su dedicación y su habilidad para enseñarme cosas nuevas han sido fundamentales en mi desarrollo profesional.

Me gustaría expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a los ingenieros Sergio Torres y Héctor A. García laboratoristas de planta 2, así como a Azael Castillo y Aaron Escorza laboratoristas de planta 1, su guía y apoyo incondicional han sido fundamentales para mi desarrollo. A lo largo de toda mi estadía me brindaron su experiencia, paciencia y sabiduría, lo que fue crucial para la resolución exitosa de mi proyecto, ofreciendo su ayuda desinteresada y creyendo en mí cuando más lo necesitaba.

Finalmente, y no menos importante, quiero expresar mi infinita gratitud a mi casa de estudios, el Instituto Tecnológico de Apizaco (ITA). Su dedicación sin igual para formar ingenieros capacitados y su invaluable ayuda en nuestro desarrollo profesional son motivo de gran orgullo para mí. En particular, me han dejado una gran enseñanza: "Pensar para servir, servir para triunfar".

¡Gracias de todo corazón!

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN.....	7
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	8
1.1 Introducción.....	8
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante	9
1.2.1 Nombre de la empresa	9
1.2.2 Ubicación	9
1.2.3 Historia	9
1.2.4 Giro	10
1.2.5 Misión	11
1.2.6 Visión	11
1.2.7 Política de calidad	11
1.2.8 Área de trabajo del estudiante y puesto	12
1.3 Problemas a resolver, priorizándolos	13
1.4 Objetivos.....	13
1.5 Justificación	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1 ¿Qué es la IATF?	15
2.2 Norma IATF 16949.....	15
2.3 ¿Qué son las Core Tools?	16
2.4 ¿Qué es el MSA?	17
2.5 ¿Qué es el estudio R&R?	18
2.6 Métodos comunes para estudios R&R	21
2.7 Método Análisis de Varianza (ANOVA)	22
2.8 Pruebas destructivas	23
2.9 Estudio Anidado	24
2.10 Norma ASTM E8 “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”	25
2.11 Pruebas de tensión	27
3. DESARROLLO	33
3.1 Selección de las muestras (probetas) que serán sometidas a pruebas de tensión 33	

3.2 Elección del número de corridas y laboratoristas que participaran en el estudio	35
3.3 Realización de las pruebas de tensión en las máquinas de la marca DANIELI y TINIUS OLSEN	37
3.4 Captura de los resultados en los softwares GAGEtrak Y MINITAB	49
3.4.1 GAGEtrak	49
3.4.2 MINITAB	52
4. RESULTADOS	55
4.1 Planta 1	56
4.2 Planta 2	59
4.3 Análisis de las fuentes de variación	62
4.3.1 Defectos en la materia prima	64
4.3.2 Calibración de los equipos	66
4.3.3 Habilidades de los laboratoristas	67
4.4 Propuestas de mejora	68
5. CONCLUSIÓN	70
6. RECOMENDACIONES	71
7. COMPETENCIAS DESARROLLADAS	72
8. GLOSARIO	73
9. FUENTES DE INFORMACIÓN	74
10. ANEXOS	76

Índice de tablas

Tabla 1 Datos correspondientes a la colada elegida para el estudio en planta 1	33
Tabla 2 Datos correspondientes a la colada elegida para el estudio en planta 2	34
Tabla 3 criterios de aceptación del estudio GRR según el manual MSA	55

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Ubicación de la empresa SIMEC INTERNATIONAL S.A DE C.V.	9
Ilustración 2 Organigrama del departamento de calidad y puesto de trabajo del estudiante	12
Ilustración 3 Diagrama que muestra los métodos comunes para la realización de estudios R&R	21
Ilustración 4 Tabla de ANOVA para un sistema de medición con dos factores	23
Ilustración 5 Ejemplo del modelo anidado para un caso de estudio	24
Ilustración 6 Extensómetro tipo LVDT para pruebas de tensión	28
Ilustración 7 Curva de tensión-deformación de ingeniería	30
Ilustración 8 Probeta maquinada por el proveedor Maquinados "D FORTI" y que será utilizada para el estudio	34

Ilustración 9 Material de tipo alambroón en su forma original	35
Ilustración 10 Probeta enderezada y cortada de acuerdo con especificaciones de la norma ASTM E8	35
Ilustración 11 Formato utilizado para recabar los datos provenientes de las pruebas de tensi3n... 36	36
Ilustración 12 Cronograma que presenta el periodo de tiempo establecido para las pruebas de tensi3n en cada planta	36
Ilustración 13 M3quina de tensi3n de la marca TINIUS OLSEN.....	37
Ilustraci3n 14 M3dulo de control que energiza la m3quina de tensi3n.....	37
Ilustraci3n 15 Display de la m3quina de tensi3n que muestra el encendido de la bomba.....	38
Ilustraci3n 16 Extens3metro que utiliza la maquina universal de pruebas.....	38
Ilustraci3n 17 Plantillas que se pueden ocupar de acuerdo con el n3mero de norma de cada colada	39
Ilustraci3n 18 Marcaci3n de las probetas para definici3n del gage length	39
Ilustraci3n 19 Posici3n del extens3metro en la probeta.....	40
Ilustraci3n 20 Mensaje de alarma para remover el extens3metro	41
Ilustraci3n 21 Medici3n de la longitud final que necesita el software para la realizaci3n de los c3lculos correspondientes.....	41
Ilustraci3n 22 Visualizaci3n de las gr3ficas y el m3todo para guardar los resultados.....	42
Ilustraci3n 23 Datos correspondientes a las pruebas de tensi3n de la maquina TINIUS OLSEN	43
Ilustraci3n 24 M3quina de tensi3n de la marca DANIELI	44
Ilustraci3n 25 M3quina utilizada para enderezar las probetas para el estudio	44
Ilustraci3n 26 Panel de control de la m3quina universal de pruebas	45
Ilustraci3n 27 Colocaci3n de la probeta en las mordazas de la m3quina de tensi3n.....	46
Ilustraci3n 28 Especificaci3n de las pestañas que se deben se oprimir en el software	47
Ilustraci3n 29 Especificaci3n del bot3n Start en el software	47
Ilustraci3n 30 Medici3n de la longitud final que necesita el software para la realizaci3n de los c3lculos correspondientes.....	47
Ilustraci3n 31 Datos correspondientes a las pruebas de tensi3n de la maquina DANIELI	48
Ilustraci3n 32 Ventana del software GAGetrak para la realizaci3n del estudio R&R	49
Ilustraci3n 33 Modificaci3n de los datos de acuerdo al estudio y al equipo a evaluar.....	50
Ilustraci3n 34 Especificaci3n interna de las pruebas de tensi3n de la norma 41001/20/01	50
Ilustraci3n 35 Especificaci3n interna de las pruebas de tensi3n de la norma E124/01.....	50
Ilustraci3n 36 Captura de los resultados obtenidos de las pruebas de tensi3n.....	51
Ilustraci3n 37 Identificaci3n del bot3n CALC que realiza el c3lculo de los resultados	51
Ilustraci3n 38 Captura de los resultados de la maquina TINIUS OLSEN.....	52
Ilustraci3n 39 Elecci3n del m3todo de estudio R&R que se aplicara	53
Ilustraci3n 40 Campos rellenos que pide el programa para la realizaci3n del estudio	53
Ilustraci3n 41 Captura de los limites de especificaci3n de acuerdo a la norma 410001/20/01	54
Ilustraci3n 42 Datos correspondientes al an3lisis del estudio GRR por el software MINITAB para planta 1.....	56
Ilustraci3n 43 Datos correspondientes al an3lisis del estudio GRR por el software GAGetrak para planta 1.....	56
Ilustraci3n 44 Dictamen sobre los estudios R&R de las pruebas de tensi3n para planta 1	56

Ilustración 45 Gráficos R por N. operador proporcionados por MINITAB y GAGetrak que muestra la consistencia de los operadores para planta 1	57
Ilustración 46 Grafica Xbarra proporcionados por MINITAB y GAGetrak que compara la variación entre las partes con el componente de repetibilidad	57
Ilustración 47 Graficas proporcionados por MINITAB que muestra las diferencias en los niveles de los factores	58
Ilustración 48 Datos correspondientes al análisis del estudio GRR por el software MINITAB para planta 2.....	59
Ilustración 49 Datos correspondientes al análisis del estudio GRR por el software GAGetrak para planta 2.....	59
Ilustración 50 Dictamen sobre los estudios R&R de las pruebas de tensión para planta 2	60
Ilustración 51 Gráficos R por N. operador proporcionados por MINITAB y GAGetrak que muestra la consistencia de los operadores para planta 2	60
Ilustración 52 Grafica Xbarra proporcionados por MINITAB y GAGetrak que compara la variación entre las partes con el componente de repetibilidad	61
Ilustración 53 Graficas proporcionados por MINITAB que muestra las diferencias en los niveles de los factores	61
Ilustración 54 Diagrama de Ishikawa que presenta las posibles causas y efectos de las fuentes de variación de las pruebas de tensión.....	62
Ilustración 55 Profundidad de la descarburación para la colada 12434140	65
Ilustración 56 Especificaciones referentes a la descarburación por la norma interna 41001/20/01	65
Ilustración 57 Profundidad de la descarburación para la colada 07874523	65
Ilustración 58 Especificaciones referentes a la descarburación por la norma interna E-124/01	66
Ilustración 59 Parametros faltantes del manual sobre velocidad y posición de la máquina con ID 0163-A-MP	69
Ilustración 60 Certificado de la maquina universal de pruebas con ID interno: 0163-A-MP	76
Ilustración 61 Certificado de la maquina universal de pruebas con ID interno: 0002-A2-MP	77

RESUMEN

El presente proyecto titulado "Aplicación de Estudios R&R para Máquinas de Tensión de la Marca DANIELI Y TINIUS OLSEN" tiene como objetivo llevar a cabo estudios de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) en las máquinas universales de pruebas ubicadas en los laboratorios de la empresa SIMEC INTERNATIONAL. Estos estudios son esenciales para asegurar la precisión y confiabilidad de las mediciones de tensión realizadas en aceros, garantizando así que los productos cumplan con las especificaciones requeridas por los clientes.

El proyecto se desarrollará en varias etapas clave:

1. **Selección de Muestras y Probetas:** Se seleccionarán las coladas de acuerdo con el plan de fabricación para asegurar que representen adecuadamente los lotes de producción para el estudio.
2. **Planeación del Estudio:** Se definirá el número de corridas y laboratoristas que participarán en el estudio, siguiendo las directrices de la norma ASTM E8 y el manual de Análisis de Sistemas de Medición (MSA).
3. **Realización de Pruebas de Tensión:** Las pruebas se llevarán a cabo en las máquinas de las marcas DANIELI y TINIUS OLSEN. Los resultados serán capturados y analizados utilizando los softwares GAGetrak y MINITAB.
4. **Análisis de Resultados:** Los resultados del estudio R&R proporcionarán un criterio de aceptación basado en el manual MSA. Se evaluarán las fuentes de variación mediante el uso de un diagrama de Ishikawa, identificando puntos críticos como defectos en la materia prima, calibración de equipos y habilidades de los laboratoristas.

En las propuestas de mejora, se destacó la importancia de actualizar los manuales utilizados en el proceso de pruebas de tensión, así como la incorporación de ayudas visuales que faciliten una comprensión más clara del proceso. Además, se subrayó la importancia de que los laboratoristas participen activamente en estas actividades para la realización efectiva de las pruebas.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 Introducción

En entornos industriales y de manufactura, la precisión de las mediciones es crucial para garantizar la calidad del producto final y optimizar los procesos operativos. Los estudios de Repeatability and Reproducibility (R&R) son herramientas esenciales diseñadas para evaluar y asegurar la fiabilidad de las mediciones realizadas por instrumentos y operadores. Además de identificar la variabilidad en las mediciones, estos estudios ofrecen la oportunidad de detectar áreas de mejora mediante el análisis de las fuentes de variación, permitiendo identificar y corregir malas prácticas en todo el proceso, especialmente en los puntos críticos.

En SIMEC INTERNATIONAL, la realización de estudios R&R es un componente esencial del aseguramiento de la calidad, ya que estas pruebas son críticas para la liberación del producto terminado, asegurando que el material cumpla con las especificaciones del cliente en términos de propiedades mecánicas. El presente proyecto tiene como objetivo principal identificar el porcentaje de GRR y compararlo con los criterios de aceptación del manual MSA, esto permite evaluar si las mediciones obtenidas son confiables para liberar el producto terminado. En caso de encontrar, que los criterios no son aceptables, se realiza un análisis de las posibles fuentes de variación para proponer mejoras.

Para lograr esto, se han utilizado dos softwares estadísticos clave: GAGEtrak, utilizado en el área de metrología para la gestión de calibración de equipos de medición y la generación de informes detallados sobre el estado y desempeño de los instrumentos, incluyendo los resultados de calibraciones y estudios MSA como GRR, linealidad, sesgo, y más; y MINITAB, utilizado para obtener gráficos adicionales que permiten analizar las fuentes de variabilidad entre la maquinaria y los operadores. Ambos softwares han sido utilizados para realizar comparativas de resultados y para tomar decisiones informadas y proponer mejoras.

Este proyecto se llevó a cabo en los laboratorios físicos de las plantas 1 y 2, utilizando equipos de máquinas universales de pruebas de las marcas TINIUS OLSEN y DANIELI. A continuación, se presenta en detalle el siguiente proyecto.

1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área del trabajo del estudiante

1.2.1 Nombre de la empresa

SIMEC INTERNATIONAL S.A DE C.V

1.2.2 Ubicación

Km-123, carretera Federal México-Texcoco-Veracruz S/N Int. D, San Cosme Xaloztoc

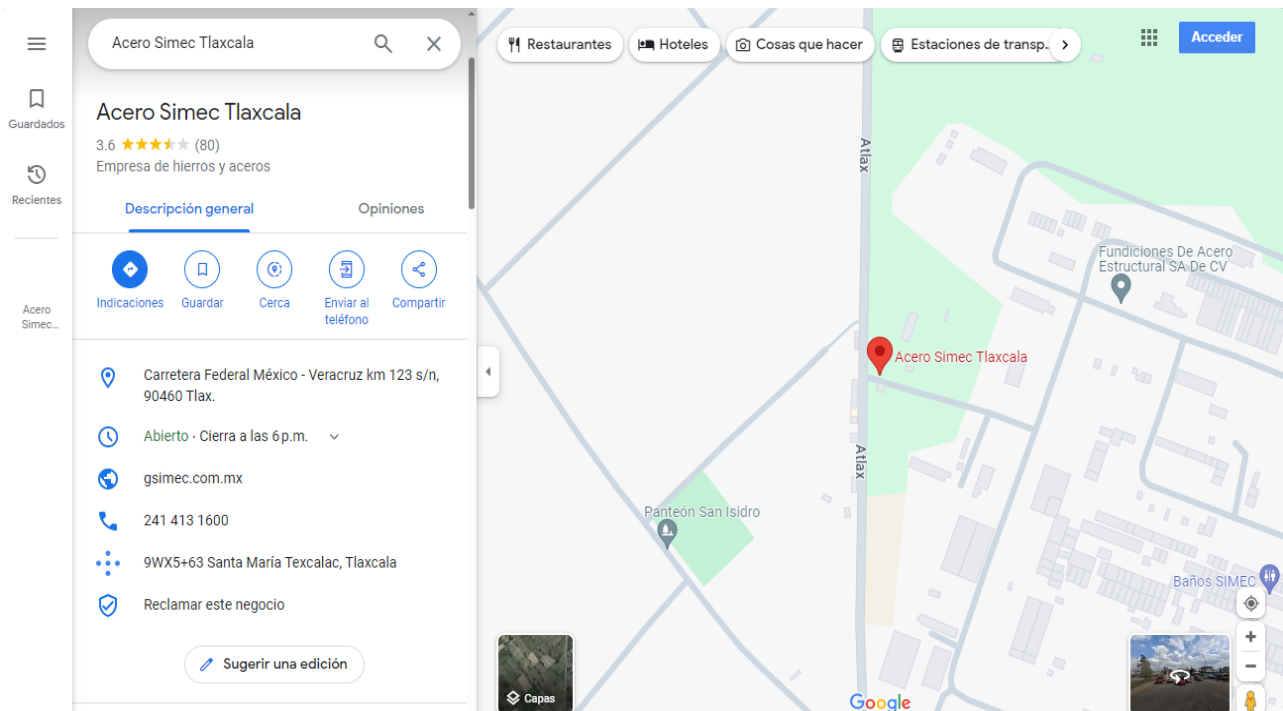


Ilustración 1 Ubicación de la empresa SIMEC INTERNATIONAL S.A DE C.V

1.2.3 Historia

SIMEC Internacional S.A de C.V, se constituye en el año de 1969, por un grupo de familias de Guadalajara, con la visión de fabricar producto de acero (perfiles estructurales) para la industria de la construcción, aeroespacial, minera, naval, del transporte y automotriz. Grupo SIMEC, ha desempeñado un papel clave en el proceso de industrialización del país, siendo la empresa mexicana productora y procesadora de acero con un crecimiento constante en los últimos años. Actualmente es la principal productora de aceros especiales en Norteamérica, y de perfiles comerciales y perfiles estructurales en México.

En 1991 fue adquirida por la actual administración, cuya estrategia ha sido efficientizar procesos y diversificarse con productos de mayor valor agregado, a través de la adquisición de empresas de la industria del acero dentro y fuera de México. En 2001 ICH adquiere el 82.5% de las acciones de Grupo SIMEC, S.A. de C.V., que cuenta con plantas fundidoras de acero ubicadas en Guadalajara, Jalisco, y Mexicali, Baja California, ambas dedicadas a fabricar perfiles estructurales, aceros especiales, perfiles comerciales y varilla. En 2004, SIMEC, adquiere los activos en México de Grupo Sidenor: dos plantas ubicadas en Apizaco, Tlaxcala, y Cholula, Puebla, dedicadas a la fabricación de aceros especiales, perfiles comerciales y varilla. Con esta operación, se incrementaron en forma significativa la capacidad instalada y las ventas, y consolidó su posición líder como fabricante de aceros especiales en México.

Las plantas 1 y 2 de grupo SIMEC, se dedican a la fabricación de aceros especiales, enfocándose en el proceso de barras de aceros especiales, varilla y perfiles comerciales. Esta planta cuenta con hornos de fundición y trenes de laminación para barras, fabrica barra redonda laminada en caliente, hexágono laminado en caliente, barra cuadrada laminada en caliente, solera muelle, varilla recta corrugada, redondo y solera comercial como promover en todos los niveles de la organización la mejora continua, los objetivos de calidad y la prevención de defectos y desperdicios. La empresa cuenta con una capacidad instalada de producción: 500,000 toneladas de acro líquido y 450,000 toneladas de laminación, más su capacidad de producción y por su volumen de embarques y ventas netas, se ha ido posicionando como una de las compañías siderúrgicas mexicanas con mayor crecimiento, además de identificar las oportunidades que le permitan mejorar su posición en el mercado.

1.2.4 Giro

Planta de Grupo SIMEC, dedicada a la fabricación de aceros especiales, varilla y perfiles comerciales. Esta planta cuenta con hornos de fundición y trenes de laminación para barras. Fabrica barra redonda laminada en caliente, hexágono laminado en caliente, barra cuadrada laminada en caliente, solera muelle, varilla

recta corrugada, redondo y solera comercial. Capacidad instalada de producción: 500,000 toneladas de acero líquido y 450,000 toneladas de laminación.

1.2.5 Misión

Satisfacer en forma rentable, confiable y permanente, las necesidades de productos de aceros largos, tomando ventaja de nuestra localización geográfica y aprovechando las oportunidades que presenta el sector.

1.2.6 Visión

Ser la compañía líder en la fabricación y ventas de productos siderúrgicos en América y una referencia del mercado a nivel global.

1.2.7 Política de calidad

Grupo SIMEC, busca el cumplimiento y la satisfacción de las necesidades de sus clientes en la fabricación de productos con calidad derivados de alambrón, contando con una relación efectiva con cada uno de sus proveedores. Siendo una empresa rentable para beneficio de sus accionistas, mediante la implementación de un sistema de calidad y mejora continua en los diferentes procesos de la organización, enfocado en el desarrollo y seguridad de sus empleados, comprometidos en el medio ambiente y responsabilidad social.

1.2.8 Área de trabajo del estudiante y puesto

Área de trabajo: Departamento de Calidad subdivisión Metrología

Organigrama de Calidad y puesto de trabajo del estudiante



ORGANIGRAMA

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PLANTA 1

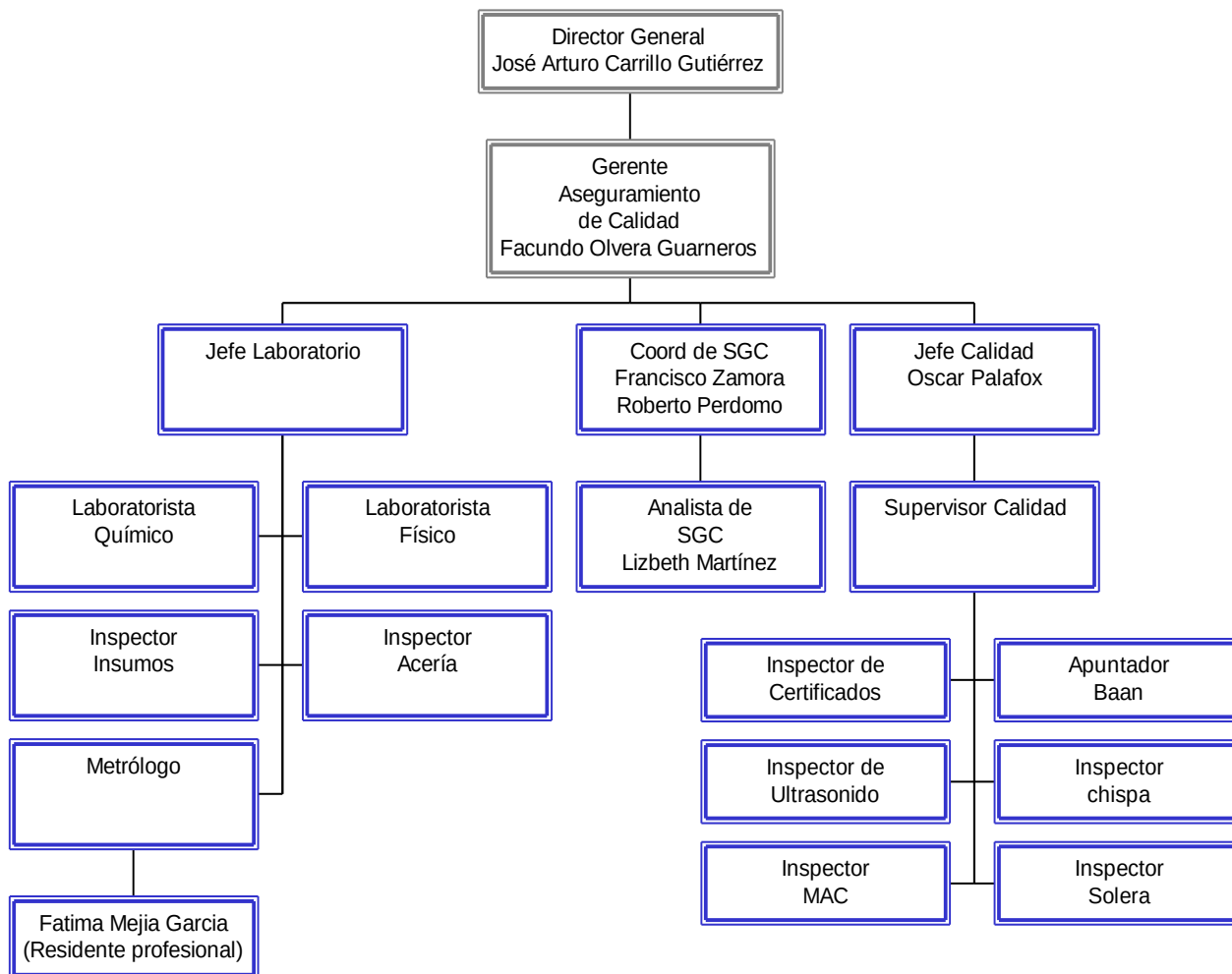


Ilustración 2 Organigrama del departamento de calidad y puesto de trabajo del estudiante

1.3 Problemas a resolver, priorizándolos

La falta de datos históricos adecuados en la empresa SIMEC INTERNATIONAL obstaculiza la implementación de estudios R&R en las máquinas de tensión de ambas plantas. Este problema surge debido a que las pruebas de tensión se realizan con un número limitado de muestras que varían de 3 a 5 de diferentes coladas y sólo se llevan a cabo si son requeridas por normas internas o especificaciones del cliente. Esta situación plantea un desafío, porque hay un mínimo número de datos, es decir, no se tiene al menos 20 datos por operador, dificultando la evaluación precisa de la variabilidad y la fiabilidad de las máquinas y/o laboratoristas. Sin embargo, se identifica una oportunidad para abordar este problema, dado que se cuenta con los equipos, materiales necesarios (probetas), mano de obra y el tiempo requerido para llevar a cabo los estudios R&R con los datos obtenidos de las pruebas, además de seguir las directrices establecidas en el manual MSA y la norma ASTM E8 con la finalidad de conocer el porcentaje de aceptación del estudio GRR.

1.4 Objetivos

General

Efectuar estudios R&R a las máquinas de tensión que se encuentran en los laboratorios físicos de planta 1 y 2 para conocer el criterio de aceptación.

Específicos

1. Examinar los manuales 1-I037-CA y 2-I014-CA para conocer el procedimiento interno estipulado para la realización de pruebas de tensión en las máquinas de planta 1 y 2.
2. Aplicar la norma ASTM E8 "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials" que describe las normativas aplicadas a las pruebas de tensión y la fabricación de las muestras (probetas).
3. Examinar el manual de Análisis de sistemas de medición (MSA) para la elaboración de desarrollo del procedimiento del estudio R&R para las pruebas de tensión.

4. Observar las técnicas empleadas por cada uno de los laboratoristas durante las pruebas de tensión y documentar la información que pueda ser relevante para el estudio, análisis y mejora.
5. Realizar los estudios R&R con los datos obtenidos de las pruebas de tensión de las tres máquinas que se encuentran en planta 1 y 2 utilizando probetas maquinadas y probetas de alambrón respectivamente.
6. Analizar los resultados obtenidos de los estudios R&R para determinar la variabilidad entre el sistema de medición y los laboratoristas, con base al criterio de aceptación marcado por el manual MSA

1.5 Justificación

La realización de estudios R&R es un componente esencial del aseguramiento de la calidad en la planta. Contar con equipos de medición confiables y precisos es crucial para la toma de decisiones basada en datos, especialmente en los análisis de pruebas de tensión del acero. Estas pruebas son críticas para liberar producto terminado y es imperativo que el material cumpla con las especificaciones del cliente en términos de esfuerzo de tracción, dado que el acero producido en la empresa SIMEC INTERNATIONAL sirve como materia prima o es el primer eslabón en la cadena de suministro de otras manufacturas, como por ejemplo el sector automotriz, por tal razón, la precisión en las mediciones es de suma importancia para no generar producto no conforme, perdidas, retrasos o retrabajos.

Por lo tanto, los estudios R&R proporcionan la información necesaria para confiar en las mediciones, además de que ayuda a identificar las fuentes de variabilidad en el proceso de medición, ya sea debido al equipo, al operador o a otros factores externos. La identificación de estas fuentes de variabilidad permite conocer áreas de oportunidad en donde se implementen acciones correctivas y preventivas haciendo uso de la mejora continua.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ¿Qué es la IATF?

“La IATF es un grupo de fabricantes de automóviles y sus respectivas Asociaciones Nacionales de la Industria Automotriz, formado para proporcionar productos de mejor calidad a los clientes de automóviles en todo el mundo. En concreto, los fines para los que se creó la IATF son:

- Desarrollar un consenso sobre los requisitos fundamentales del sistema de calidad internacional, principalmente para los proveedores directos de materiales de producción, piezas de productos o servicios o servicios de acabado (por ejemplo, tratamiento térmico, pintura y enchapado) de las empresas participantes. Estos requisitos también estarán disponibles para otras partes interesadas de la industria automotriz.
- Desarrollar políticas y procedimientos para el esquema común de registro de terceros de la IATF para garantizar la coherencia en todo el mundo.
- Proporcionar capacitación adecuada para respaldar los requisitos de la IATF 16949 y el esquema de registro de la IATF.
- Establecer enlaces formales con organismos apropiados para apoyar los objetivos de la IATF.

Los miembros de la IATF incluyen los siguientes fabricantes de vehículos: BMW Group, Ford Motor Company, Geely Holding Group, General Motors, IVECO Group, Jaguar Land Rover (JLR) Limited, Mercedes-Benz Group AG, Renault Group, Stellantis (ex FCA), Stellantis (ex PSA), Volkswagen AG, Volvo Group y sus respectivas asociaciones nacionales de la industria automotriz: AIAG (EE. UU.), ANFIA (Italia), FIEV (Francia), SMMT (Reino Unido) y VDA (Alemania).”¹

2.2 Norma IATF 16949

“La norma IATF 16949:2016 establece los requisitos para un sistema de gestión de la calidad en organizaciones que participan en la cadena de suministro automotriz.

¹ International Automotive Task Force. (2024). About IATF. Recuperado de: <https://www.iatfglobaloversight.org/about-iatf/>

estos requisitos están diseñados para mejorar la calidad de los productos, aumentar la satisfacción del cliente y fomentar la mejora continua. Impulsa la mejora continua de los productos a mejores precios, así como la investigación y desarrollo de nuevos componentes que influyen en la seguridad del propio vehículo y su entorno. La norma IATF 16949:2016, unida a los correspondientes requisitos específicos de cliente aplicables, los requisitos de ISO 9001:2015, define los requisitos fundamentales del sistema de gestión de la calidad para empresas fabricantes de automoción y piezas de recambio. La IATF 16949, fue creada por el INTERNATIONAL AUTOMOTIVE TASK FORCE (IATF) con el fin de armonizar las diferentes evaluaciones y sistemas de certificación en la cadena de suministro global del sector automotriz.

2.3 ¿Qué son las Core Tools?

“Core Tools son un conjunto de herramientas para diseñar, desarrollar, medir, controlar, analizar, aprobar productos y servicios de calidad que satisfagan las necesidades y expectativas del cliente. Las herramientas Core Tools fueron desarrolladas originalmente en la industria automotriz y forman parte integral de los requerimientos de la especificación técnica IATF 16949:2016 Sistemas de Gestión de la Calidad en la Industria del Automóvil.

¿Cuáles son las Core Tools?

Las Core Tools son:

- APQP: Advanced Product Quality Planning (Planeación Avanzada de la Calidad de Producto)
- PPAP: Production Part Approval Process (Proceso de Aprobación de Partes de Producción)
- FMEA: Potential Failure Mode and Effects Analysis (AMEF: Análisis del Modo y Efecto de Falla)
- SPC: Statistical Process Control (Control Estadístico del Proceso)
- MSA: Measurement Systems Analysis (Análisis de Sistemas de Medición)

- CP: Control Plan (Plan de Control)”²

2.4 ¿Qué es el MSA?

“El propósito del Manual MSA es proporcionar una guía para evaluar la calidad de un sistema de medición. Esta herramienta al igual que el APQP, PPAP, AMEF y SPC es considerada parte de las Core Tools del sector automotriz y es un requerimiento de la especificación técnica

Aplicación del MSA

- Los equipos y sistemas de medición pueden no ser confiables aun cuando se encuentren debidamente calibrados y verificados,
- Puede ser necesario entonces ejecutar, estudios estadísticos básicos como Estabilidad, Repetibilidad, Sesgo, Linealidad, Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R), y sobre todo en los equipos y sistemas de medición referenciados en los planes de control, que pueden ser de mayor importancia que otros, para fines de monitoreo y control del producto o el proceso,
- El manual MSA es una buena guía o referencia para análisis, evaluación y control de equipos y sistemas de medición replicables.”³

Terminología

- “Medición: es definida como la asignación de números o valores a cosas materiales que representan relaciones entre ellas con respecto a propiedades particulares.
- Gage: Es cualquier dispositivo usado para obtener mediciones, frecuentemente usado para referirse específicamente a dispositivos usados en el piso de producción, incluye dispositivos pasa/no pasa.
- Sistema de medición: es el conjunto de instrumentos o gages, patrones, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal o medio ambiente y

² Rodriguez, J. (2019). Core Tools - ¿Qué son, cuales son y para que se utilizan?. Recuperado de: <https://spcgroup.com.mx/las-herramientas-core-tools/>

³ Ovalle, N. (2019). AIAG CORE TOOLS: Measurement Systems Analysis MSA. Recuperado de: <https://morganonline.com.mx/wp-content/uploads/2020/08/CORE-TOOLS-MSA-Y-SPC-.pdf>

supuestos usados para cuantificar una unidad de medida o prepara la evaluación de una característica o propiedad a ser medida.

- Patrón/estándar: Valor conocido dentro de los límites de incertidumbre establecidos y aceptados como un valor verdadero.
- Valor de referencia: valor aceptado de un artefacto usado como el equivalente para un valor verdadero.
- Valor verdadero: valor actual de un artefacto desconocido e irreconocible,
- Exactitud: cercanía con el valor verdadero o con un valor de referencia aceptable.
- Sesgo: diferencia entre el promedio de las mediciones observado y el valor de referencia.
- Estabilidad: el cambio de sesgo en el tiempo.
- Linealidad: correlación de errores de sesgo múltiples independientes sobre el rango de operación, es decir, el cambio de sesgo sobre el rango de operación normal.
- Precisión: cercanía de lecturas repetidas una de otra.
- Consistencia: el grado del cambio de la repetibilidad en el tiempo.
- Uniformidad: el cambio en repetibilidad sobre un rango de operación normal.
- Habilidad: variabilidad en las lecturas tomadas en un periodo de tiempo corto.
- Desempeño: variabilidad en las lecturas tomada sobre un período de tiempo largo.
- Incertidumbre: un rango estimado de valores acerca del valor medido en el cual el valor verdadero se crea esté contenido.”⁴

2.5 ¿Qué es el estudio R&R?

“La repetibilidad de un instrumento de medición se refiere a la variabilidad de varias mediciones del mismo objeto en condiciones similares. Cuando un operador mide la misma unidad varias veces, los resultados muestran cierta variabilidad que se capturan de acuerdo con las cifras significativas de la medición. La repetibilidad o

⁴ AIAG. (2010). *Análisis de Sistema de Medición MSA*. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motor Corporation.

variación del equipo es la variación en varias mediciones realizadas por una persona que utiliza el mismo instrumento. Esta medida indica cuán exacto y preciso es el equipo y por lo tanto determina el impacto de la medición en la magnitud del valor obtenido.

La repetibilidad es influenciada por una serie de elementos como son:

- Tipo de instrumentos de medición
- Nivel de calibración
- Condiciones de almacenamiento del instrumento
- Condiciones ambientales durante la medición (ruido, luminosidad, limpieza, visión, etc.)
- Procedimiento utilizado para tomar las mediciones

La reproducibilidad o variación del operador es la variación en el mismo instrumento de medición cuándo lo usan distintos individuos para medir las mismas partes e indica cuán robusto es el proceso de medición en cuanto el operador y las condiciones ambientales, es decir, qué tan bueno es el instrumento para evitar el sesgo humano. La reproducibilidad es influenciada por elementos tales como:

- Capacitación de los operadores
- Uso del instrumento
- Claridad de las instrucciones o procedimientos en el proceso de medición
- Rangos de calibración entre operadores
- Mantenimiento
- Almacenamiento del instrumento
- Salud o condición física del operador

En un estudio R&R se evalúa en forma experimental qué parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición cuantificando si este error es mucho o poco comparado con la variabilidad del producto y con las tolerancias de las características de calidad que se mide. Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en un estudio de repetibilidad y reproducibilidad son:

- Variabilidad del producto
- Variabilidad del instrumento
- Variabilidad de los operadores”⁵

“Diferentes condiciones para realizar estudios de reproductibilidad

Se debe variar al tiempo solo una condición.

- Entre métodos: diferencia de promedio entre las mediciones, causada por cambio en las densidades de punto, sistemas manuales vs automático, ajuste del cero, métodos de agarre o sujeción, entre otros. Las demás condiciones deben permanecer constantes.
- Entre Observadores: (operadores) diferencia de promedio entre las mediciones, de los observadores A, B, C, etc. causada por entrenamiento, técnica, habilidad y experiencia. Las demás condiciones deben permanecer constantes.
- Entre instrumentos: diferencia promedio entre las mediciones, usando los instrumentos A, B, C, etc., para las mismas piezas, operadores y ambiente.
- Entre estándares: Influencia en el promedio entre las mediciones, de diferentes estándares de ajuste en el proceso de medición. Las demás condiciones deben permanecer constantes.
- Entre partes (muestras): diferencia promedio entre las mediciones, cuando se miden tipos de piezas A, B, C, etc. utilizando el mismo instrumento, operador y método.
- Entre ambientes: diferencia promedio entre las mediciones sobre el tiempo 1, 2, 3. etc. causadas por ciclos ambientales; éste es el estudio más común para sistemas altamente automatizados en cualificaciones de producto y proceso.

Cuando la Reproducibilidad es la fuente principal de variabilidad, los esfuerzos se deben enfocar a:

⁵ Acuña, J. (2012). Control de calidad un enfoque integral y estadístico. Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica.

- Estandarizar los procedimientos de medición.
- Entrenar a los operadores para que se apeguen a los procedimientos de medición.
- Para tener efectividad en el entrenamiento del operador, se debe tener en cuenta la aplicación: tamaño de la parte, posición, error de observación (legibilidad, paralaje).

Los problemas de falta de reproducibilidad se deben a que, por lo general, se encontrará que los operadores usan métodos distintos, carecen de entrenamiento en el uso del equipo o se tiene un diseño inapropiado del instrumento, que permite evaluaciones subjetivas. Este estudio es recomendado para cualificación de productos y procesos con un instrumento manual de medición.”⁶

2.6 Métodos comunes para estudios R&R

“Existe una diversidad de métodos para realizar análisis y estudios de repetibilidad vs reproducibilidad tanto para variables como atributos, en la siguiente imagen se muestran los métodos más usuales para realizar estos estudios y los recomendados por la AIAG (Automotive Industry Action Group):

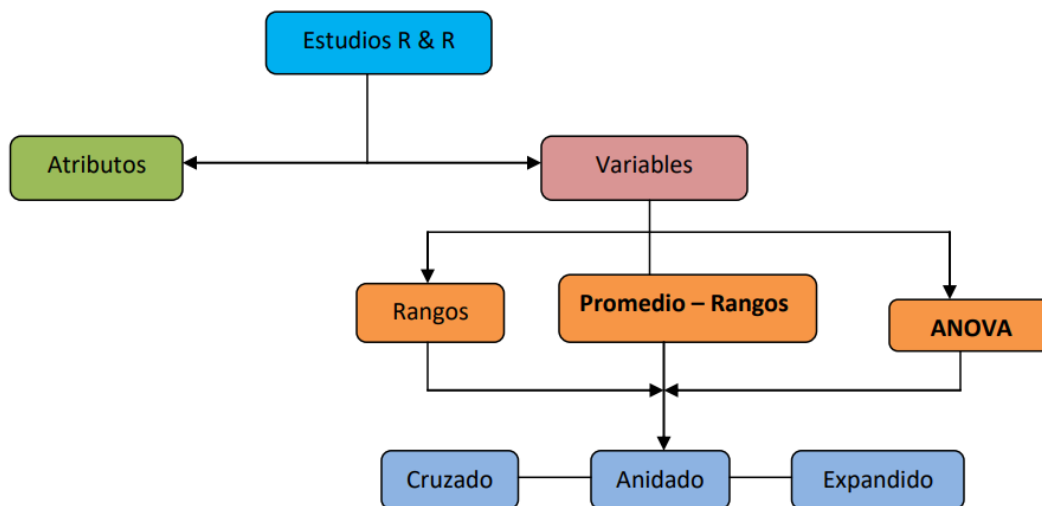


Ilustración 3 Diagrama que muestra los métodos comunes para la realización de estudios R&R

⁶ Vinasco, E. (2019). Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad R&R. Colombia: Centro de ingeniería de la Calidad.

- El método de rangos es apropiado cuando se requiere una aproximación rápida de la variabilidad del sistema, el método muestra solo una gráfica global del sistema de medición. No secciona la variabilidad en repetibilidad y reproducibilidad.
- El método de promedio-rango brinda un estimativo de la repetibilidad y reproducibilidad, resulta sencillo el cálculo manual y la evaluación del sistema se obtienen relativamente rápido.
- El método de evaluación del sistema de medición por atributos puede llegar usar gages pasa-no pasa o patrones visuales y los resultados tendrían de 5 hasta 7 categorías tales como: muy bueno, bueno, aceptable, pobre y muy pobre. Los análisis de riesgos de decisión se pueden evaluar con: análisis de pruebas de hipótesis y teoría de detección de señales (para este proyecto no se consideran estos métodos ya que se evaluaron variables)”⁷

2.7 Método Análisis de Varianza (ANOVA)

“Método ANOVA conocido también como análisis de varianza es el método más exacto para calcular la variabilidad de un sistema de medición porque posee la ventaja de cuantificar la variación debida a la interacción entre los operadores y las partes. Este método está basado en la misma técnica estadística utilizada para analizar los efectos de los diferentes factores en el diseño de experimentos. Para un sistema de medición, el método ANOVA debe realizarse para estudiar simultáneamente los efectos de dos fuentes de variación: Operadores y Partes.”⁸

⁷ Colin, I. (2017). Análisis y evaluación de un sistema de medición por medio de un estudio R&R. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería.

⁸ Botero, M., Arbeláez, O. & Mendoza, J. (2007). Método ANOVA utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproductibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición. Universidad Tecnológica de Pereira.

En la siguiente ilustración se muestra la tabla ANOVA para dos factores.

Fuente de variación	Suma cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
Operador	SSA	$a - 1$	$MSA = \frac{SSA}{a - 1}$
Partes	SSB	$b - 1$	$MSB = \frac{SSB}{b - 1}$
Interacción	$SSAB$	$(a - 1)(b - 1)$	$MSAB = \frac{SSAB}{(a - 1)(b - 1)}$
Error	SSE	$ab(n - 1)$	$MSE = \frac{SSE}{ab(n - 1)}$
Total	SST	$N - 1$	

Ilustración 4 Tabla de ANOVA para un sistema de medición con dos factores

2.8 Pruebas destructivas

“Las pruebas destructivas son pruebas que dañan o destruyen la parte que se somete a prueba. Puesto que las pruebas destructivas modifican la parte, o incluso la destruyen, no es posible hacer réplicas. Por ejemplo, las pruebas de impacto en la industria automotriz son pruebas destructivas porque el vehículo queda destruido y no se puede someter a prueba de nuevo.

Por el contrario, las pruebas no destructivas no dañan la parte. Por lo tanto, con las pruebas no destructivas, los operadores pueden hacer mediciones repetidas con la misma parte.

Si utiliza pruebas destructivas durante un estudio R&R del sistema de medición, debe poder presuponer que todas las partes de un mismo lote son tan idénticas como para afirmar que son la misma parte. Si no puede utilizar ese supuesto, entonces la variación entre las partes de un mismo lote ocultará la variación del sistema de medición.

Si puede utilizar ese supuesto, entonces la elección entre un estudio R&R del sistema de medición cruzado o anidado para las pruebas destructivas depende del proceso de medición. Si todos los operadores miden partes de cada lote, utilice un estudio cruzado o expandido. Si cada lote es medido por un operador solamente,

utilice un estudio anidado o expandido. Cada vez que los operadores midan partes únicas, usted tendrá un diseño anidado.

Si necesita incluir otros factores además de Operador y Parte, tiene factores fijos, una mezcla de factores cruzados y anidados o un diseño no balanceado, debe utilizar un estudio expandido.”⁹

2.9 Estudio Anidado

“Anidado significa que un modelo es un subconjunto de otro. Los modelos anidados se utilizan para varias pruebas y análisis estadísticos, incluida la regresión múltiple, las pruebas de razón de verosimilitud, el análisis conjunto y las alternativas independientes de las irrelevantes (IIA). Si bien la definición anterior debería darle una idea general de lo que es un modelo anidado, la definición se vuelve un poco más técnica dependiendo de dónde esté usando. Por ejemplo:

En la regresión múltiple y el modelado de ecuaciones estructurales (SEM), la idea es la misma: que un modelo está anidado dentro de otro. Más técnicamente, ambos modelos deben tener términos idénticos y uno de los modelos debe tener uno o más términos adicionales. Como recordatorio, un factor es un conjunto de variables observadas que tienen patrones de respuesta similares. Dos factores A y B están anidados si hay un conjunto completamente diferente de valores de B para cada valor de A, es decir, todo valor de B existe para uno y sólo un valor de A.

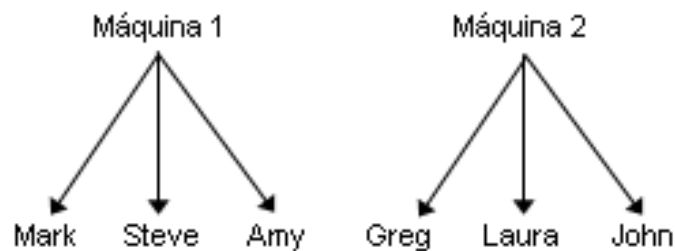


Ilustración 5 Ejemplo del modelo anidado para un caso de estudio

⁹ MINITAB. (2021). Estudios R&R del sistema de medición con pruebas destructivas. Recuperado de: Estudios R&R del sistema de medición con pruebas destructivas - Minitab

¿Qué es un ANOVA anidado?

Un ANOVA anidado (también llamado ANOVA jerárquico) es una extensión de un ANOVA simple para experimentos en los que cada grupo se divide en dos o más subgrupos aleatorios. Comprueba si hay variación entre grupos o dentro de subgrupos anidados de la variable de atributo. Se debe usar ANOVA anidado cuando tenga:

- Una variable de medida
- Dos o más variables nominales anidadas (factores).

Un modelo I ANOVA (también llamado modelo de efectos fijos) es donde el experimentador fija los tratamientos. Por ejemplo, si está comparando cómo los diferentes pesos afectan la salud, puede elegir rangos de peso específicos. Si un ANOVA anidado tiene el nivel más alto del Modelo I, se denomina ANOVA anidado de modelo mixto.

Los ANOVA del modelo II son aquellos en los que los tratamientos son aleatorios y no fijos. Por ejemplo, en lugar de que el investigador elija los pesos, estos se elegirían al azar. Si un ANOVA anidado tiene un nivel más alto de modelo II, se denomina ANOVA anidado de modelo II puro.”¹⁰

2.10 Norma ASTM E8 “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”

“ASTM E8/E8M es uno de los métodos de ensayo más comunes para determinar las propiedades de tracción de los materiales metálicos, siendo el otro ASTM A370. Lanzado por primera vez en 1924, originalmente se llamaba ASTM E8-24T y es el estándar más antiguo utilizado activamente para las pruebas de metales. Al igual que con la mayoría de los estándares, ASTM E8 a menudo ha sufrido cambios frecuentes y menores. Recientemente, sin embargo, uno de estos cambios ha sido significativo.

¹⁰ Bentler, P. y Satorra, A. (2010). Pruebas de anidamiento y equivalencia de modelos . Métodos Psicológicos. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2929578/>.

ASTM E8/E8M mide las propiedades de tracción de materiales metálicos en cualquier forma a una temperatura ambiente entre 10 – 38 grados Celsius (50 – 100 grados Fahrenheit). Aunque ASTM E8/E8M mide muchas propiedades de tracción diferentes, las siguientes son las más comunes:

- Límite elástico : la tracción a la que un material se deforma permanentemente
- Alargamiento del punto de elasticidad : la fase durante la cual un material está pasando del comportamiento elástico al comportamiento plástico.
- Resistencia a la tracción : la fuerza o tensión máxima que un material es capaz de soportar
- Reducción del área : medida de la ductilidad de un material”¹¹

“En la norma ASTM E8 se hace referencia a una variedad de tipos de muestras diferentes, tales como probetas tipo placa, probetas tipo lámina, probetas redondas, probetas para lámina, tira, alambre plano y placa, probetas para alambre, varilla y barra, probetas para barra rectangular, probetas para tubería y tubo, probetas para piezas forjadas, probetas para fundición, probetas para fundición maleable, probetas para fundición a presión y probetas para pulvimetalurgia.

La norma ASTM E8/E8M hace referencia a varios estilos diferentes de mordazas en función del tipo de muestra que se está ensayando, incluyendo mordazas de cuña, mordazas para probetas roscadas y con hombros y materiales frágiles, mordazas para materiales en lámina y mordazas para alambre.

El extensómetro debe ser conforme a la norma ASTM E83. Dependiendo de la dimensión de la muestra que se quiera ensayar, hay que tener en cuenta especialmente la longitud de calibre del extensómetro que se piense utilizar.

Este es un paso crítico para realizar correctamente el procedimiento de prueba ASTM E8/E8M y a menudo es el que más se pasa por alto. La preparación inadecuada o descuidada de los exámenes es una de las principales causas de los resultados incoherentes de los mismos. Los diferentes tipos de probetas a los que

¹¹ Spiret, M. (2021). ASTM E8 Ensayo de tracción de los materiales metálicos. Recuperado de: ASTM E8 Ensayo de tracción de materiales metálicos (Instron)

hace referencia la norma ASTM E8/E8M son las de tipo placa, las de tipo lámina, las de tipo tira, las de tipo alambre plano y las redondas. Dadas las tolerancias especificadas en la norma ASTM E8/E8M, normalmente se requiere un mecanizado de precisión o dispositivos de corte para garantizar la correcta preparación de la muestra.”¹²

2.11 Pruebas de tensión

“Máquinas de prueba

Hay muchos tipos de sistemas de pruebas actualmente, los más comunes son las máquinas de prueba universales que están diseñadas para probar muestras en tensión, compresión o flexión. Las máquinas de detención están diseñadas para aplicar una fuerza a un material para determinar su resistencia y su resistencia a la deformación. Independientemente del método de aplicación de fuerza las máquinas de prueba universal están diseñadas para accionar una probeta a una velocidad controlada aplicando así una carga de tracción o con presión a una muestra. Estas máquinas de prueba miden e indican la fuerza aplicada en:

- Libras-fuerza (lbf)
- Kilogramo-fuerza (kgf)
- Newtons (N)

Extensómetros

Extensómetro: el alargamiento de una muestra durante la aplicación de carga se puede medir directamente con varios tipos de dispositivos, como extensómetros de clip, galgas extenso métricas montadas directamente en la muestra y varios dispositivos ópticos. Estos dispositivos proporcionan un alto grado de precisión en la medición de la deformación.

La elección de un dispositivo para medir la deformación depende de varios factores:

- El rango utilizable y la precisión del medidor

¹² Industrial Physics. (2021). ASTM E8/E8M Métodos de prueba estándar para el ensayo de tensión de materiales metálicos. Recuperado de: ASTM-E8 - Industrial Physics

- Técnicas para montar el medidor
- Tamaño de la muestra (probetas)
- Condiciones de prueba ambientales
- Configuración y análisis de circuitos electrónicos para el procesamiento de señales

Extensómetros promediadores: normalmente los extensómetros son del tipo promediado o no promediado, un extensómetro no promediado tiene un borde de cuchilla fijo o punto central inmóvil y un borde de cuchilla móvil o punto central en el mismo lado de la muestra, este da como resultado mediciones que se toman de un solo lado de la muestra dichas medidas no tienen en cuenta que el alargamiento puede ser ligeramente diferente en el otro lado.



Ilustración 6 Extensómetro tipo LVDT para pruebas de tensión

Para la mayoría de las muestras especialmente aquellas que son mecanizadas o tienen planos de longitud reducidas no cuentan con una diferencia significativa en el alargamiento entre los 2 lados, sin embargo, hay muestras como piezas forjadas y especímenes hechos de tubos donde puede existir una diferencia en el kg alargamiento en lados opuestos del espécimen cuando se somete a una carga de tensión, esto puede ser provocado por la naturaleza de la pieza o la desalineación de las mordazas. Para estas situaciones se utilizan extensómetros promediadores estos utilizan elementos de medición dual que miden el alargamiento en ambos lados de la muestra luego se promedian las mediciones para obtener una deformación media.

Curva de tensión-deformación

En la prueba de tensión de ingeniería convencional se construye una curva de tensión-deformación a partir de las mediciones de carga-alargamiento realizadas en las muestras. La forma y magnitud de la curva de tensión-deformación de un metal depende de su composición, tratamiento térmico, historia previa a la deformación plástica, tasa de deformación, temperatura y estado de tensión impuestos durante la prueba. Los parámetros que se utilizan para describir la curva de tensión-deformación de un metal son:

- Resistencia a la tracción
- El límite elástico
- El porcentaje de alargamiento
- Reducción de área

Los 2 primeros son parámetros de resistencia, mientras que los 2 últimos indican ductilidad. En la curva de deformación, la región elástica la tensión es linealmente proporcional a la deformación cuando la tensión excede un valor correspondiente al límite elástico la muestra sufre una gran deformación plástica, si la carga se reduce a cero la muestra permanecerá permanentemente deformada. La tensión requerida para producir una deformación plástica continúa aumentando al aumentar la deformación plástica, es decir, la deformación del metal se endurece.

La resistencia a la tracción es la carga máxima dividida por el área de la sección transversal original de la muestra. Es un valor de poca importancia con respecto a la resistencia de un metal, para metales dúctiles la resistencia a la tracción debe considerarse como una medida de la carga máxima que un metal puede soportar las condiciones muy estrictas. Tiene relación con la resistencia útil del metal bajo condiciones de tensión complejas.

Medidas de rendimiento la tensión a la que se observa donde comenzó la deformación plástica depende de la sensibilidad de las mediciones de deformación. Con la mayoría de los materiales hay una transición gradual del comportamiento

elástico al plástico y el punto en el que comienza la deformación plástica es difícil de definir con precisión.

Límite elástico es la mayor tensión que el material puede soportar sin que quede ninguna tensión permanentemente medible después de la liberación completa de la carga, es decir, es la región del material que se comporta elásticamente en la curva de tensión frente a la deformación.

Límite proporcional es la tensión más alta en la que la tensión es directamente proporcional a la deformación se obtiene observando la desviación de la parte en línea recta en la curva de tensión-deformación.

El porcentaje de alargamiento también conocido como elongación es una magnitud que mide el aumento de la longitud que experimenta un material cuando se le somete a un esfuerzo de tracción antes de producirse su ruptura, el alargamiento se expresa en porcentaje con respecto a la longitud inicial.

Reducción de área es la diferencia entre el área de la sección transversal original dada de una muestra de ensayo antes de ser sometida a atención y el área dada de su sección transversal más pequeña después de la ruptura al final de la prueba. La reducción de área es una medida de ductilidad que se usa para pruebas de tracción y para determinar la idoneidad de un material para una aplicación determinada. Las medidas de ductilidad son propiedades cualitativas y subjetivas de un material, indican hasta qué punto un metal puede deformarse sin fracturarse en operaciones de trabajo y sirve como indicador de cambios en el nivel de impurezas o en las condiciones de procesamiento.

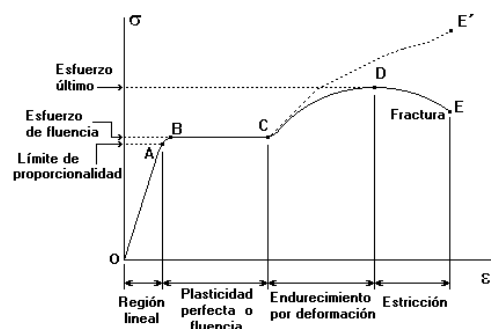


Ilustración 7 Curva de tensión-deformación de ingeniería

Terminología

Fuerza: la fuerza suele expresarse en unidades de libra-esfuerzo (ibf) en el sistema inglés; en el sistema métrico la fuerza es expresada en unidades de newton (N) dónde un newton y la fuerza necesaria para dar a una masa de 1 kg una aceleración de 1 m/s^2 ($1\text{ N} = 1\text{ kgm/s}^2$).

Aunque en newton es la unidad métrica preferida, la fuerza también se expresa como kilogramo de fuerza (kgf) qué es la fuerza gravitacional sobre una masa de 1 kg en la superficie de la Tierra. Las conversiones numéricas entre las distintas unidades de fuerza son las siguientes:

- $1\text{ ibf} = 4.448222\text{ N}$
- $1\text{ kgf} = 9.80665\text{ N}$

Tensión: la tensión es simplemente la cantidad de fuerza que actúa sobre un área transversal determinada. Así la tensión se expresa en unidades de fuerza por unidad de área y se obtiene dividiendo la fuerza aplicada por el área de la sección transversal sobre la que actúa. La tensión es un parámetro importante porque permite comparar la resistencia entre pruebas realizadas utilizando piezas de prueba (probetas) de diferentes tamaños y formas. Cuando se analicen los valores de resistencia en términos de fuerza la capacidad de carga (fuerza) de una pieza es función al tamaño de la pieza, sin embargo, cuando la resistencia del material se define en términos de tensión el tamaño o la forma de la pieza tiene poca o ninguna influencia en las mediciones de resistencia.

Las unidades de tensión suelen ser típicamente:

- ibf/in^2 (psi) o ksi en el sistema ingles
- Pascal (pa) en el sistema métrico
- N/m^2 o N/mm^2 Newtons por área
- Kilopascales (kpa)
- Megapascales (Mpa)

La deformación: es el cambio por unidad de longitud debido a la fuerza en una dimensión lineal original, este cambio en la longitud se puede expresar en términos generales como una deformación o un alargamiento de la longitud calibrada.

La elongación (alargamiento): es un término que describe la cantidad que existirá la pieza a prueba durante una prueba de tensión este estiramiento o alargamiento se puede definir como la cantidad total del estiramiento que sufre la pieza o el aumento en la longitud calibrada por la longitud inicial.

Esfuerzo de ingeniería (s): es la fuerza en cualquier momento durante la prueba dividida por el área inicial de la pieza de prueba $s = F/A_0$, donde F es la fuerza y A_0 es la sección transversal inicial de una pieza de prueba.

Esfuerzo verdadero (σ): es la fuerza en cualquier momento dividida por el área instantánea de la pieza de prueba $\sigma = F/A_i$, donde F es la fuerza y A_i es la sección transversal instantánea de una pieza de prueba.

Debido a que una fuerza creciente estira una pieza de prueba disminuyendo así su área de sección transversal el valor de la tensión verdadera siempre será mayor que la tensión nominal o de ingeniería. Estas 2 definiciones de tensión están más relacionadas entre sí en términos de deformación que ocurre cuando se supone que la deformación ocurre a un volumen constante.”¹³

¹³ Chait, R., & Papirno, R. (1983). *Compression Testing of Homogeneous Materials and Composites: A Symposium*. ASTM International.

3. DESARROLLO

3.1 Selección de las muestras (probetas) que serán sometidas a pruebas de tensión

Se reunieron el jefe de calidad; el jefe de laboratorio; la metróloga y practicante, con el fin de definir la selección de muestras a utilizar en el estudio considerando los planes de fabricación de cada planta. A continuación, se presentan en las tablas los datos correspondientes a las coladas seleccionadas para cada máquina de tensión teniendo en cuenta la capacidad de cada una de ellas.

Considerando que en el laboratorio físico de planta 1, se dispone de una máquina de 1200 KN de la marca TINIUS OLSEN que corresponde al plan de producción de acero especial y comercial tipo redondo, tomándose la decisión de seleccionar la siguiente colada.

Tabla 1 Datos correspondientes a la colada elegida para el estudio en planta 1

Concepto	Especificaciones
Numero de colada	12434140
Grado de acero	4140T
Tipo de muestra	Maquinadas
Medida	∅ 3.00 pulgadas
Perfil	Redondo
Norma	41001/35/01
Numero de fabricación	TR30003025
Numero de solicitud	095

Dado el tipo de material, es necesario que las muestras sean mecanizadas y cumplan con las especificaciones establecidas por la norma ASTM E8. Dado que no se dispone del equipo necesario para llevar a cabo el proceso de mecanizado es indispensable subcontratar a un proveedor externo, en este caso, Maquinados “D FORTI”. En la siguiente ilustración se muestra la pieza mecanizada por el proveedor de acuerdo con las especificaciones de la norma.



Ilustración 8 Probeta maquinada por el proveedor Maquinados "D FORTI" y que será utilizada para el estudio

En relación con planta 2, se dispone de una máquina de tensión en el laboratorio físico de 1200 kN de la marca DANIELI. Considerando el plan de fabricación, se optó por seleccionar la siguiente colada para el estudio.

Esta primera tabla muestra los datos correspondientes a la maquina DANIELI de 1200 kN.

Tabla 2 Datos correspondientes a la colada elegida para el estudio en planta 2

CONCEPTO	ESPECIFICACIONES
Número de colada	07874523
Grado de acero	C60R
Tipo de muestra	Estirado
Medida	∅ 8.20 mm
Perfil	Redondo
Norma	E124/01
Numero de fabricación	TR30104053
Numero de solicitud	048

Debido a la naturaleza en espiral del material en cuestión (véase ilustración 9), no es factible emplear esta forma para realizar la prueba de tensión. Por lo tanto, es fundamental que el material pase por un proceso de enderezado y corte en el laboratorio físico antes de proceder con el estudio correspondiente.



Ilustración 9 Material de tipo alambρόn en su forma original

Es imprescindible llevar a cabo este proceso para garantizar que el material cumpla con las especificaciones establecidas en la norma ASTM E8. La siguiente ilustración presenta la probeta preparada y lista para el estudio.



Ilustración 10 Probeta enderezada y cortada de acuerdo con especificaciones de la norma ASTM E8

3.2 Elección del número de corridas y laboratoristas que participaran en el estudio

Se acordó que para estudio R&R contará con la participación de 3 laboratoristas en 3 corridas para cada planta, por lo que en cada corrida se llevarán a cabo 10 mediciones lo que resultará en un total de 90 mediciones por máquina de tensión,

en la siguiente ilustración se muestra el formato que se ocupará para recabar la información resultante de las pruebas de tensión.

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD									
PLANTA ____									
FECHA:					ESTUDIO:	Estudio de repetibilidad y reproductibilidad (R&R)			
COLADA:					GAGE:				
GRADO DE ACERO:					NUM. DE GAGE:				
ORDEN DE FABRICACIÓN:					NORMA:				
EVALUADOR:					UNIDAD DE MEDIDA:				
Número de parte	Laboratorista 1			Laboratorista 2			Laboratorista 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Ilustración 11 Formato utilizado para recabar los datos provenientes de las pruebas de tensión

En la planificación de los ensayos, se utilizó un cronograma que detalla quiénes llevarán a cabo las pruebas, en qué turno trabajarán, la estimación del tiempo necesario para cada evaluación, las fechas de inicio y finalización por semana. Este gráfico considera los turnos de trabajo, los periodos de descanso y la carga laboral prevista para cada laboratorista, adaptándose a las necesidades específicas de cada planta.

		ASEGURAMIENTO DE CALIDAD							
PROYECTO:		Aplicación de estudios R&R para máquinas de tensión de la marca DANIELI y TINIUS OLSEN							
Empresa:		SIMEC INTERNATIONAL S.A DE C.V							
Responsable:		Fatima Mejia Garcia							
Periodo de realización:		Del 25 de Marzo al 13 de Abril del 2024							
Actividad	Duración	Responsable	Turno		Marzo	Abril	Abril		
					Semana 4 (25 al 30)	semana 1 (1 al 6)	semana 2 (8 al 13)		
Realización de pruebas de tensión para planta 1 en la máquina de la marca TINIUS OLSEN de 1200 Kn	12 horas	Aaron Escorza Mistrán (laboratorista 1)	Turno 2 (Mañana)	P					
	12 Horas	Hans Joshep Rodriguez (laboratorista 2)	Turno 3 (Tarde)	P					
	12 Horas	Azael Castillo (laboratorista 3)	Turno 2 (Mañana)	P					
Realización de pruebas de tensión para planta 2 en las maquinas de la marca DANIELI	12 Horas	Luis Ramírez (laboratorista 1)	Turno 3 (Tarde)	P					
	12 Horas	Hector Alfonso Cortes (laboratorista 2)	Turno 2 (Mañana)	P					
	12 Horas	Sergio López (laboratorista 3)	Turno 3 (Tarde)	P					

Ilustración 12 Cronograma que presenta el periodo de tiempo establecido para las pruebas de tensión en cada planta

3.3 Realización de las pruebas de tensión en las máquinas de la marca DANIELI y TINIUS OLSEN

Una vez establecido los parámetros anteriormente descritos, se realizarán las pruebas de tensión de acuerdo con el plan propuesto. La primera evaluación comenzara en planta 1 en la máquina de tensión TINIUS OLSEN.



Ilustración 13 Máquina de tensión de la marca TINIUS OLSEN

Para llevar a cabo las pruebas de tensión, se consultó el manual 1-I037-CA, el cual detalla los procedimientos necesarios para realizar dichas pruebas. Este manual se organiza en 2 bloques:

Siendo el primer bloque la preparación de las maquina universal de pruebas

1. Verificar que las mordazas estén alineadas y sean las adecuadas según el tipo de muestra y que las manijas “LOAD” y “UNLOAD” estén cerradas antes de iniciar la prueba
2. Presionar el botón verde del control que se encuentra en la pared atrás de la máquina para energizarla



Ilustración 14 Módulo de control que energiza la máquina de tensión

3. Encender la máquina a oprimiendo el botón de encendido del módulo de la parte trasera. Con esto encenderá el Display y deberá aparecer en la pantalla la leyenda “Tinius Olsen model 602” y posteriormente aparecerá la leyenda “602 posición de inicio, encender bomba, oprimir retorno para inicializar pistón”

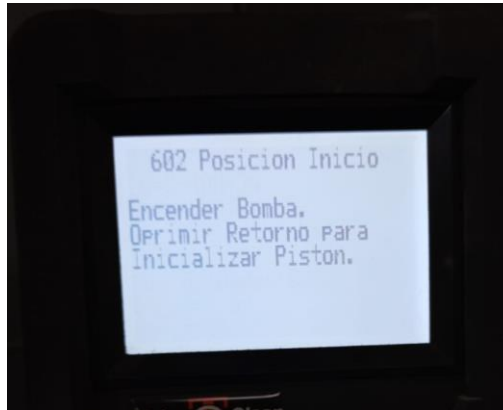


Ilustración 15 Display de la máquina de tensión que muestra el encendido de la bomba

4. Para arrancar la bomba, primero asegurarse de que el botón de paro de emergencia no esté presionado, oprimir el botón “START” de la máquina, en este momento encenderá la bomba y después se deberá presionar el botón “PUMP” y después “RETURN” en el Display, esperar aquí aparezcan los 3 canales qué hacen referencia a fuerza, posición y auxiliar.
5. Verificar que el pistón está en su posición de inicio de prueba.
6. Conectar el extensómetro con el cable que se encuentra en la parte izquierda de la máquina.



Ilustración 16 Extensómetro que utiliza la maquina universal de pruebas

7. Encender la pc, iniciar el programa llamado “NAVIGATOR” en el escritorio

8. Una vez abierto el software, presionar “EDIT” y desplegará un submenú, en donde se debe seleccionar la plantilla de acuerdo con el material a evaluar (esta plantilla dependerá de la norma que aplica para el material) una vez seleccionada la plantilla se presionará “DONE” y en ese momento la máquina está lista para iniciar la prueba.

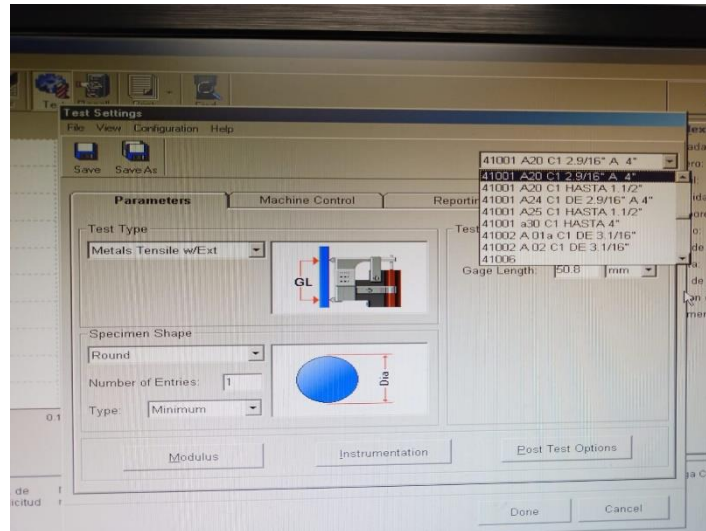


Ilustración 17 Plantillas que se pueden ocupar de acuerdo con el número de norma de cada colada

El segundo bloque habla sobre la realización de la prueba

1. Para probetas de acero especial y comercial las muestras se marcarán con un marcador de probetas de apertura de 2 pulgadas en el centro de la probeta golpeando con el martillo para que así se queden marcados los puntos posteriormente con un plumón de aceite marcar los puntos que se hicieron anteriormente.



Ilustración 18 Marcación de las probetas para definición del gage length

2. Una vez marcada la muestra se coloca en las mordazas de tal forma que los puntos marcados queden separados de las mordazas 1 cm aproximadamente, se aprietan las mordazas manualmente con la ayuda de las manivelas de tal forma que cuando se efectúe la prueba no se resbale la muestra.
3. Poner el extensómetro y verificar que este se encuentre en posición cero, además de que se encuentre alineado con la muestra.

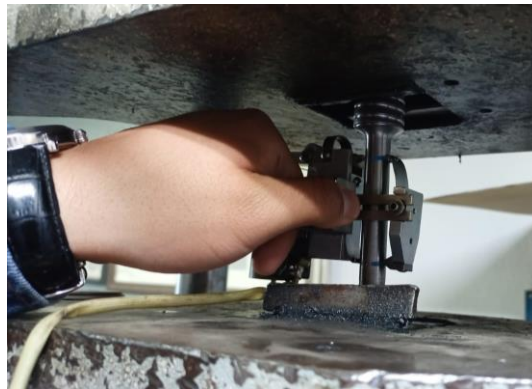


Ilustración 19 Posición del extensómetro en la probeta

4. Una vez seleccionada la plantilla, insertar los datos requeridos para la identificación de la muestra los cuales son:
 - Colada
 - Acero
 - Perfil
 - Medida
 - Elaboró
 - Turno
 - Número de muestra
 - Número de solicitud
 - Orden de fabricación
 - Diámetro inicial (mm)
5. Presionar “ZERO FORCE”, “ZERO POS.” “ZERO AUX.” Que están en el Display

6. Se presiona el icono de “TEST NOW” y se sujetan las mordazas para evitar que se te patinen en este momento el cabezal empezará a subir para llevar a cabo la prueba.
7. La lectura del límite de excedencia la marcará la gráfica y en la pantalla aparecerá el mensaje “REMOVE INSTRUMENT ON CHANNEL 3” en este momento se deberá retirar el extensómetro

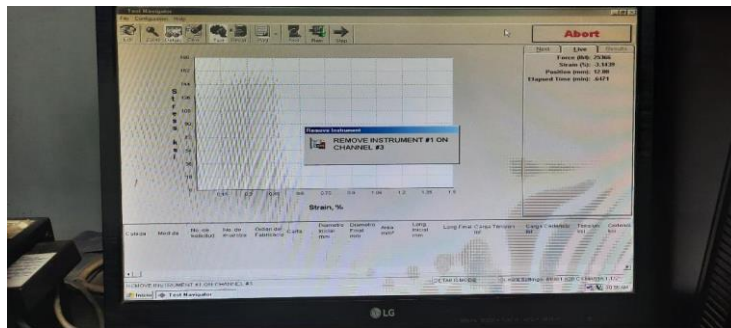


Ilustración 20 Mensaje de alarma para remover el extensómetro

8. La lectura de resistencia máxima se registra cuando se produce la fractura de la muestra y queda registrado automáticamente
9. Aparecerá un recuadro “POST TES DATA ENTRY” e introducir los datos que se requieren
 - Diámetro final (mm)
 - Longitud final (mm)

Presionar “DONE” y retirar la muestra aflojando a las mordazas.

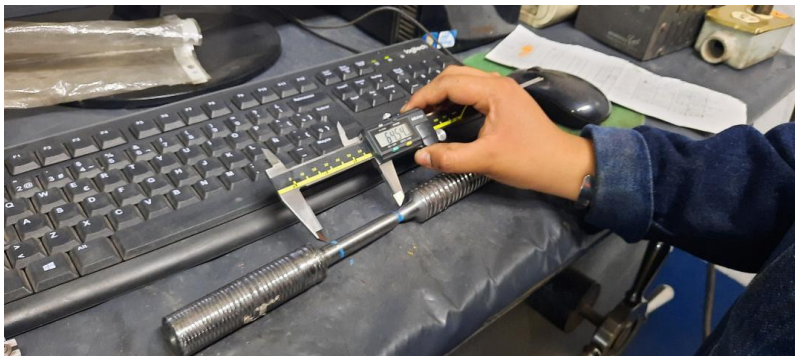


Ilustración 21 Medición de la longitud final que necesita el software para la realización de los cálculos correspondientes

10. Aparecerá un recuadro “RETURN CROSSHEAD” y presionar “ACCEPT”
11. Posteriormente aparecerá un recuadro “PLEASE WAIT WHILE THE CROSSHEAD RETURNS ABORT” en este momento se deberá abrir la válvula “UNLOAD” girando hacia la izquierda en este momento el pistón

empezará a descender a su posición inicial hasta que en el Display aparezca en ceros entonces se cerrará la válvula.

12. Una vez esto se seleccionará la pestaña “FILE” y después “PRINT PREVIEW” seguido de “GRAPH” para guardar la gráfica y los cálculos obtenidos de la prueba de tensión.

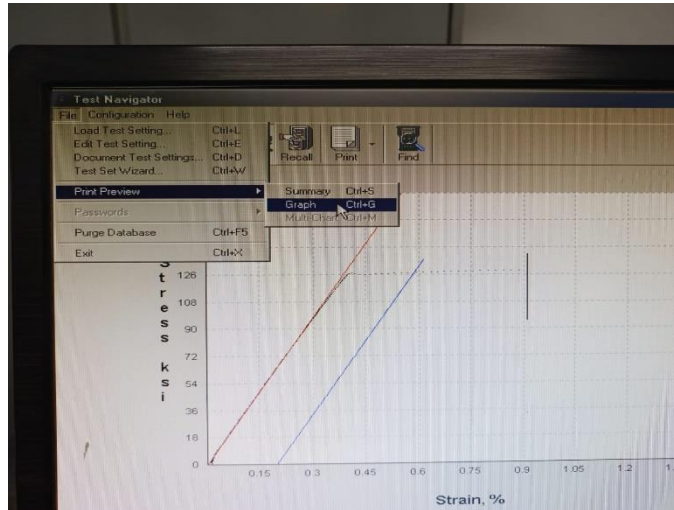


Ilustración 22 Visualización de las gráficas y el método para guardar los resultados

13. Una vez guardada los datos se seleccionará el icono “CLEAR” para limpiar los datos y queda lista para correr otra prueba.

Se observaron las técnicas utilizadas por cada laboratorista durante cada prueba, reconociendo su potencial influencia en las mediciones y considerando su relevancia en la investigación de posibles causas subyacentes que podrían afectar la aceptación del estudio. Al concluir las pruebas de tensión conforme al programa establecido, se obtuvieron los siguientes resultados de la máquina de tensión de planta 1, que serán utilizados posteriormente en el estudio R&R.

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD									
PLANTA 1									
FECHA:		DEL 25 DE MARZO AL 06 DE ABRIL			ESTUDIO:		Estudio de repetibilidad y reproductibilidad (R&R)		
COLADA		12434140			GAGE		TINIUS OLSEN		
GRADO DE ACERO		4140T			NUM. DE GAGE		0163-A-MP		
ORDEN DE FABRICACIÓN		TR30003025			UNIDAD DE MEDIDA		KSI		
Número de parte	Aaron Escorza			Hans J. Rodriguez			Azael Castillo		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	119.4	119.3	119.4	119.4	119.4	119.4	119.5	119.4	119.4
2	118.6	118.6	118.6	118.5	118.6	118.6	118.6	118.5	118.6
3	118.1	118.1	118.2	118.1	118.1	118.1	118.2	118.1	118.1
4	119.2	119.1	119.2	119.2	119.2	119.2	119.3	119.2	119.1
5	119.6	119.5	119.6	119.6	119.7	119.6	119.6	119.5	119.6
6	119.6	119.6	119.5	119.6	119.6	119.5	119.6	119.6	119.6
7	118.9	118.9	118.8	118.9	118.8	118.9	118.8	118.9	118.9
8	118.6	118.6	118.5	118.5	118.6	118.6	118.6	118.5	118.6
9	118.5	118.5	118.4	118.5	118.5	118.4	118.5	118.4	118.5
10	119.6	119.6	119.6	119.6	119.5	119.6	119.6	119.7	119.6

Ilustración 23 Datos correspondientes a las pruebas de tensión de la maquina TINIUS OLSEN

A continuación, se llevarán a cabo las pruebas de tensión en la planta 2, utilizando la maquina DANIELI. Del mismo modo que en planta 1, se seguirá el manual 2-I014-CA, el cual se estructura en tres bloques para la ejecución de las pruebas.



Ilustración 24 Máquina de tensión de la marca DANIELI

En el primer bloque se encuentra la preparación de las muestras teniendo lo siguiente

1. La prueba se debe realizar a temperatura ambiente, esto implica que la muestra a ensayar no deberá estar más caliente que la temperatura ambiente.
2. Si se va a ensayar alambre, enderezar la muestra con ayuda de la máquina de enderezar alambre y cortar la muestra a una longitud de 30cm.



Ilustración 25 Máquina utilizada para enderezar las probetas para el estudio

3. Trazar o marcar el Gage a 2”.

En el segundo bloque se tiene la preparación de la maquina universal de pruebas

1. Abrir el tablero principal ubicado en el cuarto de máquinas y mover el switch No. Q8 y Q19 a la posición “ON”, con esta acción la maquina universal queda energizada al igual que la computadora.
2. Verificar que las mordazas a utilizar sean las adecuadas según el perfil y el diámetro de la muestra a ensayar, si es necesario cambiarlas, utilizando una llave Allen No.6, aflojar los tornillos que sujetan las mordazas, quitar el seguro y retirar las mordazas, seleccionar las que se van a colocar, engrasarlas ligeramente y colocarlas, poniendo el seguro y apretando el tornillo que las sujeta
3. Encender la PC y abrir el programa “Max Test”
4. Medir diámetro y longitud del gage inicial de la probeta y alimentarlo en software.
5. Quitar el paro de emergencia y posteriormente presionar el botón verde para empezar a trabajar.

Paro de
emergencia



Botón de
encendido

Ilustración 26 Panel de control de la máquina universal de pruebas

6. Con la muestra lista para ser ensayada, abrir la mordaza del cabezal superior, colocar al menos $\frac{3}{4}$ partes de la muestra y entonces cerrar la mordaza asegurándose de que la muestra quede lo suficientemente bien asegurada y luego abrir la mordaza del cabezal inferior y con ayuda del “Control Box” subir

el cabezal inferior hasta una altura en la que se pueda sujetar al menos 3/4 partes de la muestra, cierre la mordaza y asegúrese de que la muestra quede firme.

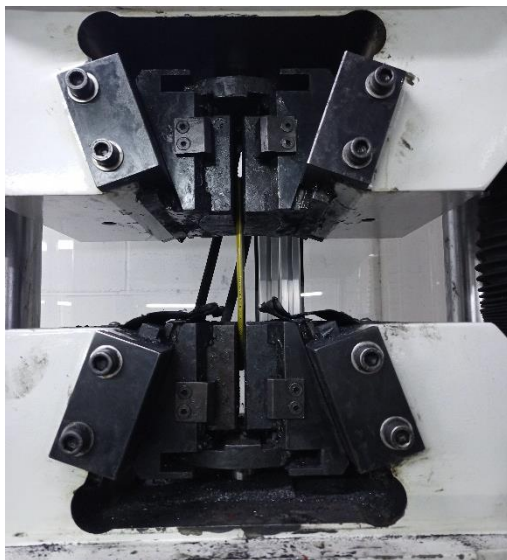


Ilustración 27 Colocación de la probeta en las mordazas de la máquina de tensión

En el tercer bloque tenemos la realización de las pruebas sin la colocación del extensómetro

1. Con la muestra colocada, se proceder a operar el Software, presionar la pestaña “Data” luego presionar “Input Specimen”, alimentar los datos de:
 - Número de colada
 - Fecha
 - Grado + número de rollo
 - Perfil
 - Distancia del gage
 - Diámetro inicial
2. Una vez colocado los datos, se seleccionará la pestaña “Pruebas de modo” donde se deberá poner en cero “Máximo”, “Extensómetro” y “Desplazamiento”.

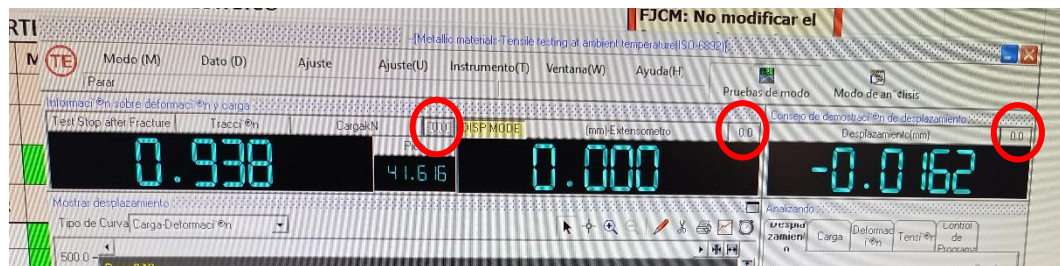


Ilustración 28 Especificación de las pestañas que se deben oprimir en el software

3. Presionar “start”, para iniciar la prueba, cada prueba se corre automáticamente y la maquina se para en automático al presentarse la rotura de la probeta

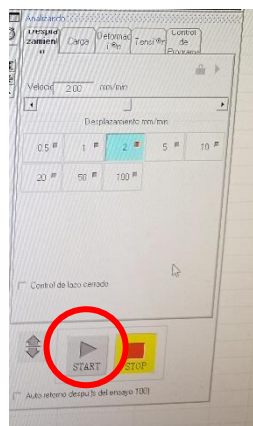


Ilustración 29 Especificación del botón Start en el software

4. Quitar la probeta, medir el diámetro y la longitud final y registrarlas en el software



Ilustración 30 Medición de la longitud final que necesita el software para la realización de los cálculos correspondientes

5. Hacer clic en “data”, luego en “Print” luego se selecciona el reporte(tipo de plantilla o formato), luego se da clic en “Preview”, se crea la carpeta de la colada o se guarda en alguna carpeta ya preestablecida, se le da el nombre de archivo al que corresponde la prueba y se guarda, al hacer esto último en la pantalla se despliega la gráfica de la prueba junto con el formato que previamente se seleccionó, entonces se procede a guardar el archivo como tipo BMP (“Save as

BMP(B'') y se tiene que volver a guardar, se busca la carpeta y una vez encontrada se procede a darle el nombre de la prueba y se procede a guardar.

Del mismo modo que en planta 1, se examinaron las técnicas empleadas por cada laboratorista durante las pruebas, considerándose su importancia en la investigación de causas que podrían afectar la aceptación del estudio. Una vez concluidas las pruebas de tensión según el programa establecido, se obtuvieron los siguientes resultados de la máquina de tensión de planta 2, los cuales se utilizarán más adelante en el estudio R&R.

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD									
PLANTA 2									
FECHA:		DEL 01 DE ABRIL AL 13 DE ABRIL			ESTUDIO:		Estudio de repetibilidad y reproductibilidad (R&R)		
COLADA		7874523			GAGE		DANIELI		
GRADO DE ACERO		C60R			NUM. DE GAGE		0002-A2-MP		
ORDEN DE FABRICACIÓN		TR30104053			UNIDAD DE MEDIDA		N/mm^2		
Número de parte	Hector A. Garcia			Luis G. Ortiz			Sergio Torres		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	858	857	858	854	855	858	855	855	858
2	847	846	840	834	846	843	847	847	845
3	805	801	804	805	806	801	805	801	805
4	807	806	803	807	807	810	807	801	807
5	779	779	778	780	771	771	776	776	777
6	769	761	769	769	769	764	764	769	767
7	775	770	774	785	776	773	775	770	773
8	784	784	780	792	780	783	780	784	784
9	848	846	848	840	848	845	846	848	847
10	788	787	786	788	786	787	788	787	782

Ilustración 31 Datos correspondientes a las pruebas de tensión de la maquina DANIELI

Una vez obtenidos los datos detención de las máquinas universales de pruebas de planta 1 y 2, se procede a ingresar los resultados en los programas GAGetrak y MINITAB. La razón de utilizar ambos softwares es realizar una comparación de los resultados. Además, MINITAB ofrece la ventaja de proporcionar gráficos más claros, lo que facilita la observación detallada de la variabilidad presente en el proceso.

3.4 Captura de los resultados en los softwares GAGetrak Y MINITAB

3.4.1 GAGetrak

Para llevar a cabo el estudio de GRR en el software utilizado por la empresa, se debe hacer clic en la pestaña “Navigation” en la parte superior izquierda. Luego, se selecciona “MSA suite” y finalmente “GAGE R&R”. Esto abrirá una ventana similar a la que se muestra en la siguiente ilustración.

The screenshot shows the GAGetrak software interface for setting up a Gage R&R study. The window has a title bar with 'Tools' and 'Output' tabs. On the left, there is a 'Navigation' pane with a tree view showing 'Dashboard', 'Gage R&R', and 'Gages'. The main area is titled 'Information' and contains several input fields and checkboxes. The 'Study Date' is set to '5/14/2024'. The 'Gage ID' is a dropdown menu. The 'Gage Desc' is a text field. The 'Appraisers' are set to '2', 'Trials' to '2', and 'Parts' to '10'. The 'Study Type' is 'Long-AIAG'. The 'MSA Version' is '4', and the 'Nested ANOVA' checkbox is checked. The 'Approved' checkbox is also checked. The 'Co. Part No.' is a text field. The 'Part No.' is a dropdown menu. The 'Part Desc' is a text field. The 'Characteristic' is a text field. The 'Specification Limits' are 'Min' and 'Max'. The 'Pp (or Ppk) Target' is a text field. The '6-Sigma Proc Var' is a text field. There is a 'Comments' text area. Below the 'Comments' area, there are two dropdown menus for 'Number Format' (set to '#.000000') and 'Percentage Format' (set to '#.0'). Below these, there is a table with columns: 'Std. Dev.', '% Contribution', '% of TV', '% of Tol', and 'R bar'. The rows are: 'Repeatability (EV)', 'Reproducibility (AV)', 'Appraiser x Part (INT)', 'GRR', and 'Part-to-Part (PV)'. To the right of the table, there are input fields for 'UCL-R', 'Study Variation', 'Total Variation (TV)', and 'Tolerance/6 (Tol)'. At the bottom, there are buttons for 'Prefill', 'Calc', 'Charts', and 'Print'. The status bar at the bottom shows 'Records: 14', '577 of 577', 'No Filter', and a 'Search' button.

Ilustración 32 Ventana del software GAGetrak para la realización del estudio R&R

En esta pestaña, se empiezan a rellenar los campos correspondientes, el “GAGE ID” hace referencia al código interno con el que se identifican los equipos y/o instrumentos de medición que se ocupan en el proceso. Una vez identificado de acuerdo con el caso de estudio, se procede a cambiar los datos correspondientes para este, como lo son el número de replicas, de operadores y el tipo de estudio (véase ilustración 33)

Ilustración 33 Modificación de los datos de acuerdo al estudio y al equipo a evaluar

Después se rellenan los datos correspondientes a la colada evaluada, el grado de acero y la norma, también se especifican las unidades de medida de los resultados, así como los límites de especificación.

En este caso, los límites de especificación se obtienen de las normativas internas establecidas para cada grado de acero.

Para el caso de planta 1, de acuerdo con el grado de acero la norma es 41001/20/01, el cual describe las siguientes especificaciones con respecto a pruebas mecánicas.

Tabla 1 Propiedades mecánicas

Medidas	Resistencia a la tensión (KSI) mín.	Límite de cedencia (KSI) mín.	Elongación en 2" (%) mín.	Reducción de área (%) mín.
2.9/16" a 4"	115 a 142	95	16	50

Ilustración 34 Especificación interna de las pruebas de tensión de la norma 41001/20/01

Para el caso de planta 2, del mismo modo, la norma es E124/01, el cual describe las siguientes especificaciones con respecto a pruebas mecánicas.

PROPIEDADES MECANICAS (ASTM A-370)

Tabla 3

RESISTENCIA A LA TENSIÓN	LÍMITE DE CEDENCIA	%REDUCCIÓN DE ÁREA	% ELONGACIÓN
650- 920 N/mm ²	380 N/mm ² mín	NO REQUERIDO	10.0% mín.

Ilustración 35 Especificación interna de las pruebas de tensión de la norma E124/01

Una vez completado los datos básicos y de identificación del estudio, se procede a la captura manual de los resultados de las pruebas de tensión, por laboratorista en los apartados "Appraiser A, B y C", como se muestra en la siguiente ilustración.

Tools Output

Dashboard Gage R&R Gages

Information Appraiser A Appraiser B Appraiser C

Study Date 5/10/2024 Co. Part No. COLADA 07874523 C60R NORMA E124/01

Gage ID 0002-A2-MP Part No.

Gage Desc MAQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS Part Desc PRUEBAS DE TENSION

Appraisers 3 Trials 3 Parts 10 Characteristic Nmm2

Study Type ANOVA Specification Limits Min 650 Max 920

MSA Version 4 Nested ANOVA Approved Pp (or Ppk) Target 1.33 6-Sigma Proc Var

Appr A HECTOR ALONSO GARCIA

1	858	857	858
2	847	846	840
3	805	801	804
4	807	806	803
5	779	779	778
6	769	761	769
7	775	770	774
8	784	784	780
9	846	846	848
10	788	787	786

Records: 575 of 576 No Filter Search

Ilustración 36 Captura de los resultados obtenidos de las pruebas de tensión

Debido a la naturaleza de las pruebas de tensión, estas se convierten en pruebas destructivas a causa de que se daña o se destruye la parte que se someterá a prueba, en este caso el “Gage length”, por lo que no es posible hacer replicas, en vista de que estas pruebas son destructivas, se procede a activar la opción de “Nested ANOVA” en el software. Finalmente se procede a la realización del estudio presionando en el botón “Calc”.

Tools Output

Dashboard Gage R&R Gages

Information Appraiser A Appraiser B Appraiser C

Study Date 5/10/2024 Co. Part No. COLADA 07874523 C60R NORMA E124/01

Gage ID 0002-A2-MP Part No.

Gage Desc MAQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS Part Desc PRUEBAS DE TENSION

Appraisers 3 Trials 3 Parts 10 Characteristic Nmm2

Study Type ANOVA Specification Limits Min 650 Max 920

MSA Version 4 Nested ANOVA Approved Pp (or Ppk) Target 1.33 6-Sigma Proc Var

Comments

CRITERIO PARA GRR

GRR < 10%	ACEPTABLE
GRR 10 AL 30%	PUEDEN SER ACEPTABLE PARA ALGUNAS APLICACIONES
GRR > 30%	NO ACEPTABLE

El estudio GRR es aceptable tiene un TV=9.3 % y un % of Tol. 9.1%

utiliza al menos 4 datos para evaluar como un estudio aceptable. Comentario: number of distinct categories is 15.4

Number Format #.000000 Percentage Format #.0

	Std. Dev.	% Contribution	% of TV	% of Tol	R bar
Repeatability (EV)	3.082207	0.9%	9.3%	9.1%	5.217006
Reproducibility (AV)	0.000000	0.0%	0.0%	0.0%	13.459875
Appraiser x Part (INT)					33.215849
GRR	3.082207	0.9%	9.3%	9.1%	33.215849
Part-to-Part (PV)	33.072535	99.1%	99.6%	99.6%	33.834566
number of distinct categories			15.1	15.4	

UCL-R 13.459875

Study Variation 33.215849

Total Variation (TV) 33.215849

Tolerance/6 (Tol) 33.834566

Records: 575 of 576 No Filter Search

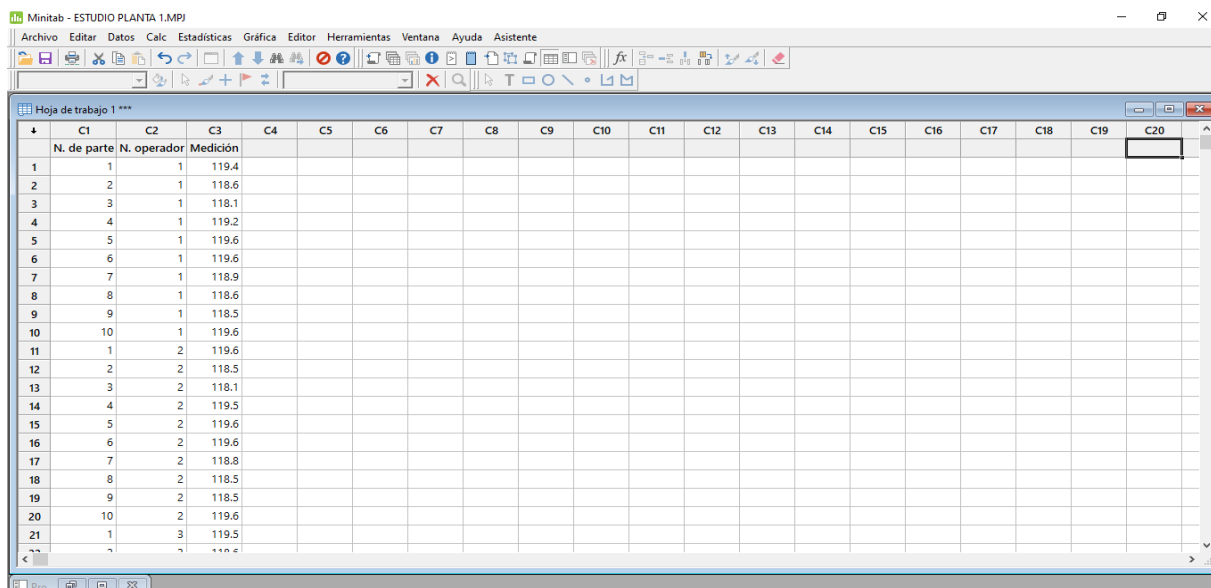
Ilustración 37 Identificación del botón CALC que realiza el cálculo de los resultados

Con esto se obtienen los resultados que serán analizados posteriormente para identificar el grado de aceptación de los estudios y en caso de ser necesario, realizar propuestas de mejora.

A continuación, se muestra el proceso de la captura de los resultados de las pruebas de tensión en el software de MINITAB.

3.4.2 MINITAB

Los datos se ingresan en MINITAB desde Excel, donde previamente se han desglosado por planta. Para la captura de los resultados, en la primera columna se tiene el número de parte que corresponde al número de mediciones que realiza un operador que va desde el 1 al 10, seguido por el número de operador, por último, se presenta la medición realizada por cada uno de los operadores, como se muestra a continuación.



	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
1	1	1	119.4																	
2	2	1	118.6																	
3	3	1	118.1																	
4	4	1	119.2																	
5	5	1	119.6																	
6	6	1	119.6																	
7	7	1	118.9																	
8	8	1	118.6																	
9	9	1	118.5																	
10	10	1	119.6																	
11	1	2	119.6																	
12	2	2	118.5																	
13	3	2	118.1																	
14	4	2	119.5																	
15	5	2	119.6																	
16	6	2	119.6																	
17	7	2	118.8																	
18	8	2	118.5																	
19	9	2	118.5																	
20	10	2	119.6																	
21	1	3	119.5																	

Ilustración 38 Captura de los resultados de la maquina TINIUS OLSEN

Al haber introducidos los resultados en el programa, se elige el tipo de estudio más apropiado para el análisis. Al igual que en GAGEtrak, se selecciona el “Estudio R&R del sistema de medición (anidado)” como se observa en la siguiente ilustración.

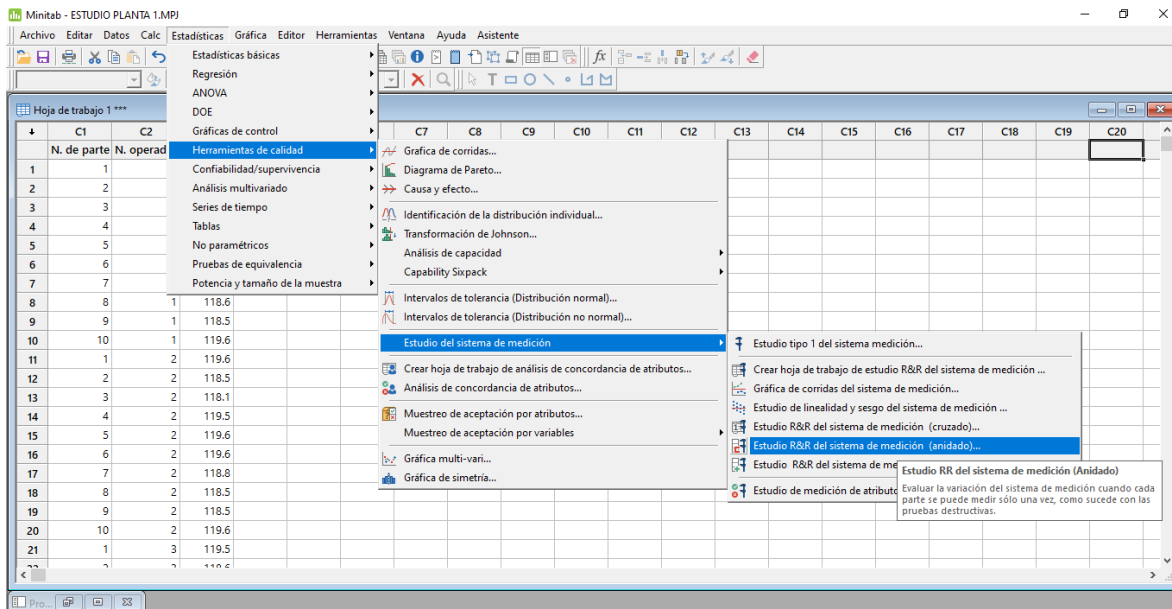


Ilustración 39 Elección del método de estudio R&R que se aplicara

Al seleccionar el tipo de estudio, se completan los datos requeridos por MINITAB como el número de parte, operadores y datos de medición; que es la información necesaria para llevar a cabo el análisis, como se ilustra a continuación.

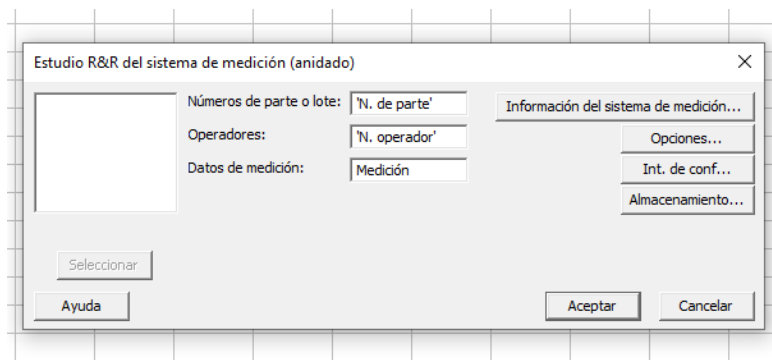


Ilustración 40 Campos rellenos que pide el programa para la realización del estudio

Además, en la pestaña “Opciones” se proporciona la información sobre los límites de especificación, los cuales son necesarios para comparar la precisión del Sistema de medición con el intervalo de especificación o tolerancia. De la misma manera que en el Software GAGetrak, se ocuparan las normas 41001/20/01 para planta 1 y la norma E124/01 para planta 2 (véase ilustración 41).

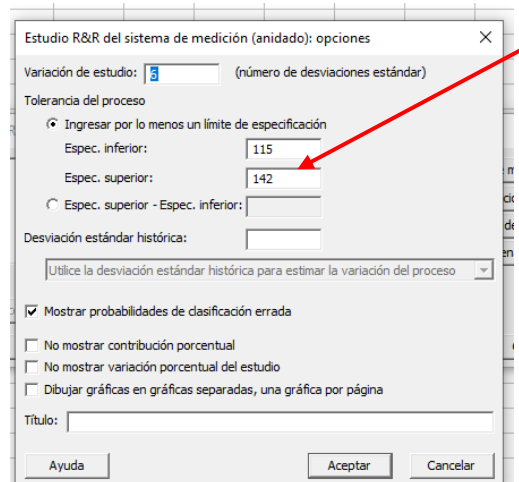


Ilustración 41 Captura de los límites de especificación de acuerdo a la norma 410001/20/01

Una vez establecidos estos límites de acuerdo con normativas correspondientes a cada grado de acero, se inicia el análisis de los resultados utilizando la información proporcionada por MINITAB para las plantas 1 y 2.

4 RESULTADOS

Una vez que se obtienen los resultados del estudio, se compara la información con las especificaciones establecidas por la norma. Para este propósito, se utiliza el manual “Measurement Systems Analysis (MSA)”, que establece criterios para evaluar el grado de aceptación del estudio GRR (véase tabla 3).

Tabla 3 criterios de aceptación del estudio GRR según el manual MSA

GRR	DECISIÓN	COMENTARIOS
Abajo del 10%	Considerado como un sistema de medición aceptable	Recomendado, especialmente útil cuando se trate de separar o clasificar partes o cuando se requiere cerrar el control del proceso.
Del 10% al 30%	Puede ser aceptable para algunas aplicaciones	La decisión deberá de tomarse en importancia de las mediciones en la aplicación, costos de dispositivos de medición, costos de retrabajos o reparaciones.
Arriba del 30%	Se considera inaceptable	Debiera hacerse todo esfuerzo por mejorar el sistema de medición.

Además, se tomó en cuenta el número de categorías distintas, este parámetro nos permite identificar la capacidad de un sistema de medición ya que detecta una diferencia en la característica medida. La AIAG señala en el manual MSA que 5 o más categorías indican un sistema de medición aceptable.

A continuación, se procede al análisis y comparativa de los resultados obtenidos por los softwares GAGetrak y MINITAB para cada planta respectivamente.

4.1 Planta 1

En lo que respecta a la planta 1, MINITAB ofrece los datos correspondientes a la evaluación del sistema de medición, los cuales se detallan en la ilustración 42.

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	0.053748	0.32249	9.82	1.19
Repetibilidad	0.053748	0.32249	9.82	1.19
Reproducibilidad	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Parte a parte	0.544603	3.26762	99.52	12.10
Variación total	0.547249	3.28349	100.00	12.16

Número de categorías distintas = 14

Ilustración 42 Datos correspondientes al análisis del estudio GRR por el software MINITAB para planta 1

Por otro lado, GAGetrak ofrece la siguiente información (véase ilustración 43).

	Std. Dev.	% Contribution	% TV	% Tol
Repeatability (EV):	0.053748	1.0%	9.8%	1.6%
Reproducibility (AV):	0.000000	0.0%	0.0%	0.0%
Appraiser x Part (INT):				
GRR:	0.053748	1.0%	9.8%	1.6%
Part-to-Part (PV):	0.544603	99.0%	99.5%	100.0%
number of distinct categories:			14.3	88.7

Ilustración 43 Datos correspondientes al análisis del estudio GRR por el software GAGetrak para planta 1

Como se observa, los resultados de ambos softwares no tienen una variación significativa que sesgue los resultados y la toma de decisiones. Por ende, se procede al dictamen final del estudio para planta 1.

Para validar el estudio, se consideraron datos como “%TV”, “%Tol” y el “número de categorías distintas”, los cuales se contrastaron con los criterios de aceptación establecidos en el manual MSA. El veredicto se presenta en la siguiente tabla.

ESTUDIO				MANUAL MSA		
Software	%TV	%TOL	N. Categorías distintas	%GRR	N. de categorías	Dictamen
MINITAB	9.82%	1.19%	14	✓	✓	APROBADO
GAGetrack	9.8	1.60%	14.3	✓	✓	APROBADO

Ilustración 44 Dictamen sobre los estudios R&R de las pruebas de tensión para planta 1

En los gráficos proporcionados por MINITAB y GAGetrak muestran lo siguiente con referente a las variaciones de las partes y los operadores:

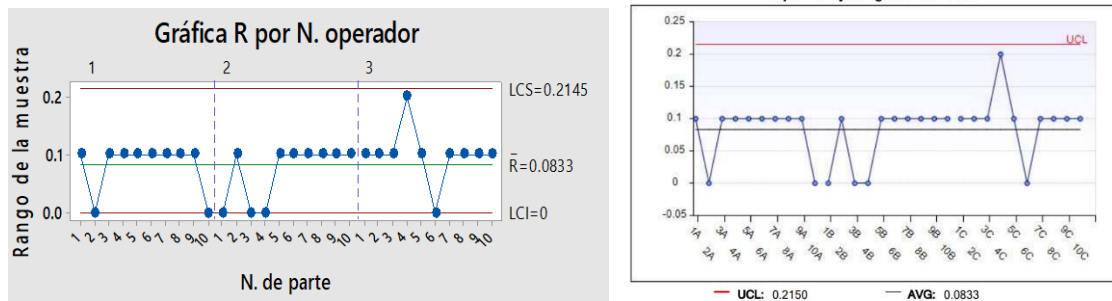


Ilustración 45 Gráficos R por N. operador proporcionados por MINITAB y GAGetrak que muestra la consistencia de los operadores para planta 1

En la gráfica R se muestra la diferencia entre las mediciones máximas y mínimas de cada parte, así como los puntos por operador para evaluar su consistencia. Un rango promedio pequeño indica poca variación en el sistema de medición, con mediciones máxima y mínima cercanas y puntos dentro de control. Sin embargo, se observan variaciones en las partes 2 y 10 para el operador 1, en las partes 1, 3 y 4 para el operador 2, y en las partes 4 y 6 para el operador 3.

Para la gráfica Xbarra por N. operador MINITAB y GAGetrak proporcionan la siguiente información:

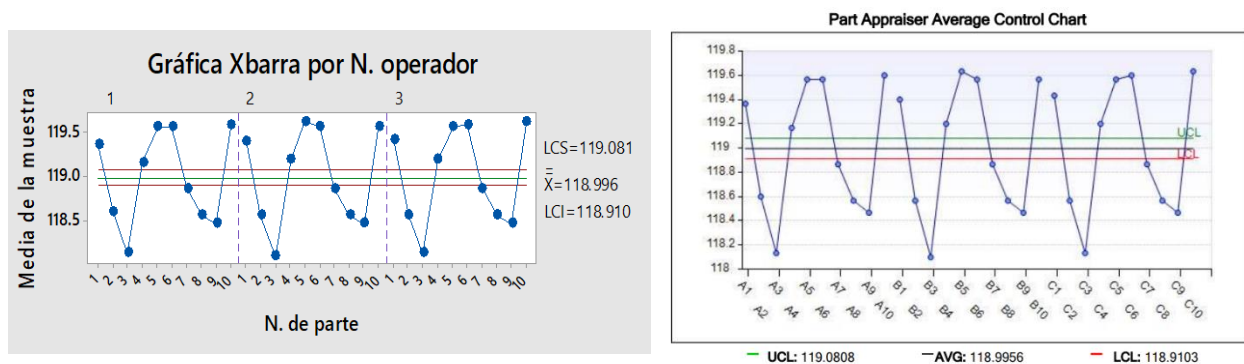


Ilustración 46 Grafica Xbarra proporcionados por MINITAB y GAGetrak que compara la variación entre las partes con el componente de repetibilidad

Estas graficas presentan la medición promedio de cada parte, graficado por operador. Para este caso, La grafica tiene límites de control estrechos con muchos puntos fuera de control que indican un sistema de medición con poca variación,

debido a que los límites de control se basan en la estimación de la repetibilidad y el número de mediciones en cada promedio.

Minitab proporciona otras graficas siendo Medicion por N. de parte (N. operador) y Medicion por N. operador (vease ilustracion 47).

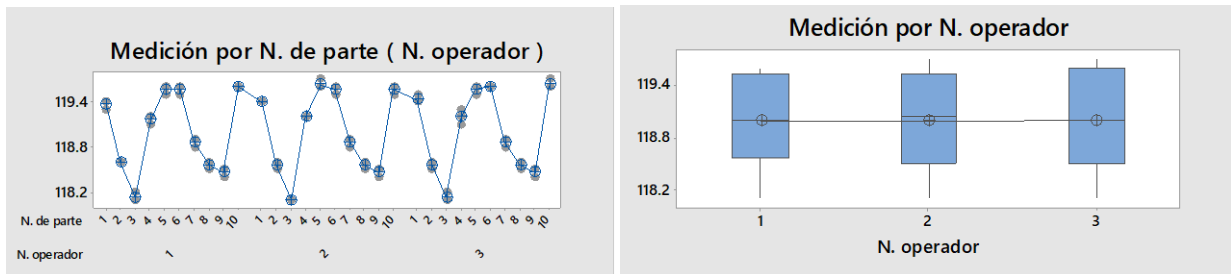


Ilustración 47 Graficas proporcionados por MINITAB que muestra las diferencias en los niveles de los factores

En la gráfica “Medición por N. de parte (N. operador)” los puntos representan las mediciones y los símbolos de cruz en un círculo representan las medias. Para este caso, cada parte tiene múltiples mediciones que varían lo menos posible por lo que presenta poca variación.

Por último, se tiene la gráfica “Medición por N. operador”, la línea que pasa entre los operadores indica que las medias de cada operador son similares, sin embargo, se observa una ligera inclinación en el operador 2, sugiriendo que este tiene una media diferente a los otros operadores.

4.2 Planta 2

En planta 2, MINITAB proporciona la siguiente información con respecto a la evaluación del sistema de medición (véase ilustración 48).

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
Gage R&R total	3.1358	18.815	9.43	6.97
Repetibilidad	3.1358	18.815	9.43	6.97
Reproducibilidad	0.0000	0.000	0.00	0.00
Parte a parte	33.1040	198.624	99.55	73.56
Variación total	33.2522	199.513	100.00	73.89

Número de categorías distintas = 14

Ilustración 48 Datos correspondientes al análisis del estudio GRR por el software MINITAB para planta 2

Mientras tanto, GAGetrak proporciona la siguiente información, la cual se puede consultar en la ilustración 49.

	Std. Dev.	% Contribution	% TV	% Tol
Repeatability (EV):	3.082207	0.9%	9.3%	9.1%
Reproducibility (AV):	0.000000	0.0%	0.0%	0.0%
Appraiser x Part (INT):				
GRR:	3.082207	0.9%	9.3%	9.1%
Part-to-Part (PV):	33.072535	99.1%	99.6%	99.6%
number of distinct categories:			15.1	15.4

Ilustración 49 Datos correspondientes al análisis del estudio GRR por el software GAGetrak para planta 2

Como se observa, los resultados de ambos softwares tienen una variación en el porcentaje de tolerancia (% Tol), pero esta no llega a ser significativa en la toma de decisiones, este realiza la comparativa de la variación del sistema de medición con las especificaciones y se utiliza para evaluar las partes en relación con las especificaciones.

Al igual que en planta 1, se tomaron en cuenta los datos tales como “%TV”, “%Tol” y “numero de categorías distintas” y se compararon con los criterios de aceptación que marca el manual MSA anteriormente descritos. En la siguiente imagen se muestra el dictamen.

ESTUDIO				MANUAL MSA		
Software	%TV	%TOL	N. Categorías distintas	%GRR	N. de categorías	Dictamen
MINITAB	9.43%	6.97%	14	✓	✓	APROBADO
GAGETrack	9.30%	9.10%	15	✓	✓	APROBADO

Ilustración 50 Dictamen sobre los estudios R&R de las pruebas de tensión para planta 2

Con referente a las gráficas para planta 2, MINITAB y GAGETrak proporcionan la siguiente información (véase ilustración 51).

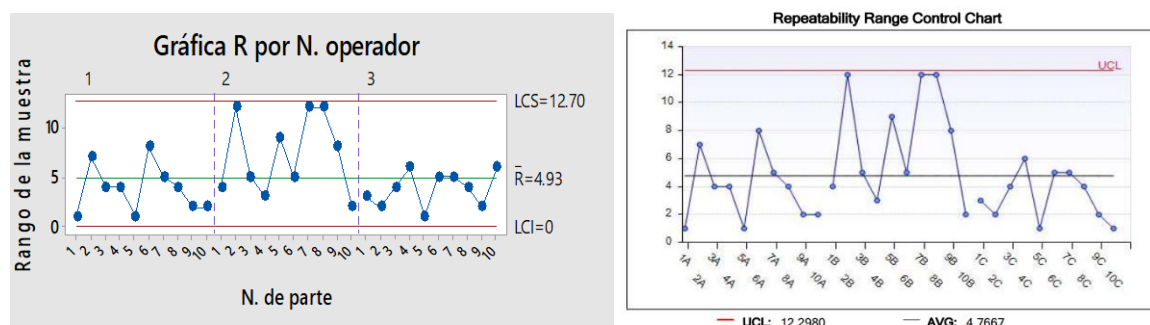


Ilustración 51 Gráficos R por N. operador proporcionados por MINITAB y GAGETrak que muestra la consistencia de los operadores para planta 2

La gráfica R se utiliza para evaluar la consistencia de los puntos por operador. En este análisis, se observa una inconsistencia en los puntos en comparación con los de la planta 1. Aunque esta inconsistencia no es significativa ya que los puntos no se salen de las especificaciones, sugiere una variabilidad entre las partes medidas, ya que están más dispersas.

Para la gráfica Xbarra por N. operador MINITAB y GAGETrak proporcionan la siguiente información:

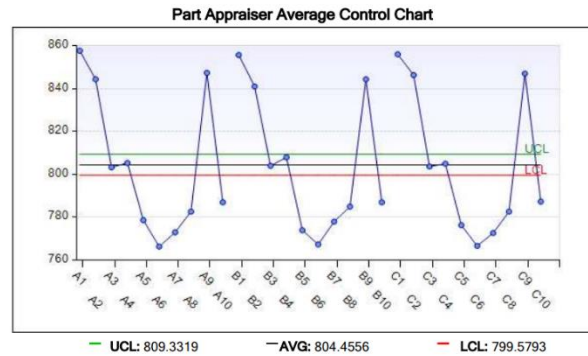
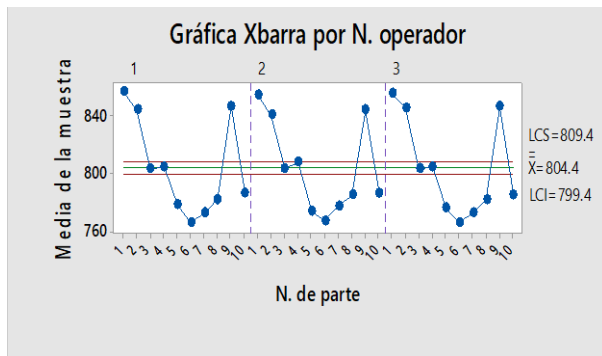


Ilustración 52 Grafica Xbarra proporcionados por MINITAB y GAGetrak que compara la variación entre las partes con el componente de repetibilidad

En este escenario, la gráfica muestra límites de control estrechos con numerosos puntos fuera de control, lo que señala un sistema de medición con baja variación. Esto se debe a que los límites de control se determinan en función de la estimación de la repetibilidad y la cantidad de mediciones en cada promedio.

Minitab ofrece otras gráficas, como la de Medición por Número de Parte (Número de Operador) y la de Medición por Número de Operador (consulte la ilustración 53).

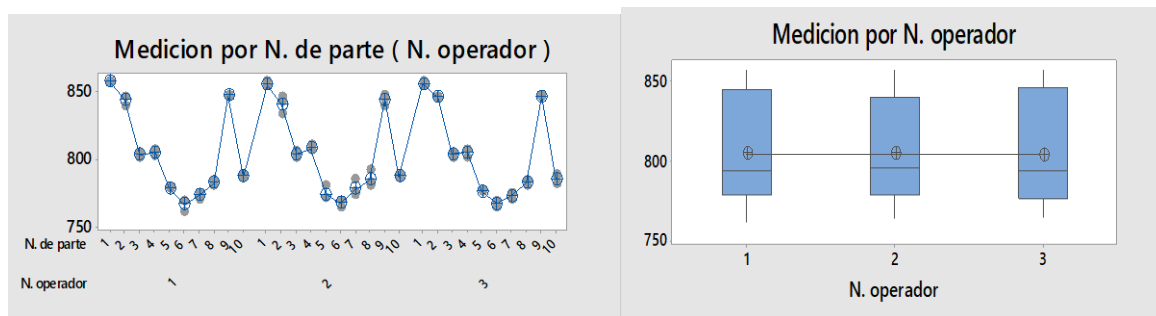


Ilustración 53 Graficas proporcionados por MINITAB que muestra las diferencias en los niveles de los factores

En la gráfica "Medición por Número de Parte (Número de Operador)", se aprecia que cada parte muestra múltiples mediciones con variaciones mínimas, lo que indica una baja variabilidad. Por otro lado, en la gráfica "Medición por Número de Operador", lo óptimo sería que la línea que conecta los operadores refleje medias similares entre ellos. Sin embargo, se observa una variación entre los operadores, lo que sugiere que cada uno no es consistente en sus mediciones, presentando ligeras discrepancias.

En teoría, los estudios previamente presentados han sido aprobados al cumplir con los parámetros aceptables establecidos por el manual MSA. Sin embargo, ambos

estudios están aproximándose a los límites permisibles de aceptación (consulte las ilustraciones 45 y 51), lo que subraya la necesidad de identificar posibles causas de variación y proponer medidas preventivas o correctivas para evitar que el porcentaje de Rango de Repetibilidad y Reproducibilidad (GRR) supere las especificaciones. A partir de las gráficas, se observa que los laboratoristas presentan ligeras variaciones en sus mediciones, lo que podría sugerir fácilmente que son la causa principal. No obstante, atribuirles toda la responsabilidad podría sesgar la toma de decisiones, ya que no se consideran otros factores que podrían influir en la variación de las mediciones. Por ello, se propone la realización de un diagrama de Ishikawa para explorar nuevas perspectivas sobre las posibles fuentes de variación.

4.3 Análisis de las fuentes de variación

Para elaborar este diagrama de Ishikawa, se plantea como hipótesis nula que la principal causa de las variaciones en las mediciones se debe a los laboratoristas, mientras que la hipótesis alternativa considera que las fuentes de variación son atribuibles a factores distintos de la mano de obra.

Para explorar las potenciales causas de variación en las mediciones, se presenta el diagrama de Ishikawa adjunto (ver ilustración 54), el cual detalla las causas y los efectos relevantes. En su elaboración, se emplearon cinco categorías primordiales de factores influyentes en la variabilidad: "Mano de obra", "Materia prima", "Método", "Maquinaria" y "Medio ambiente".

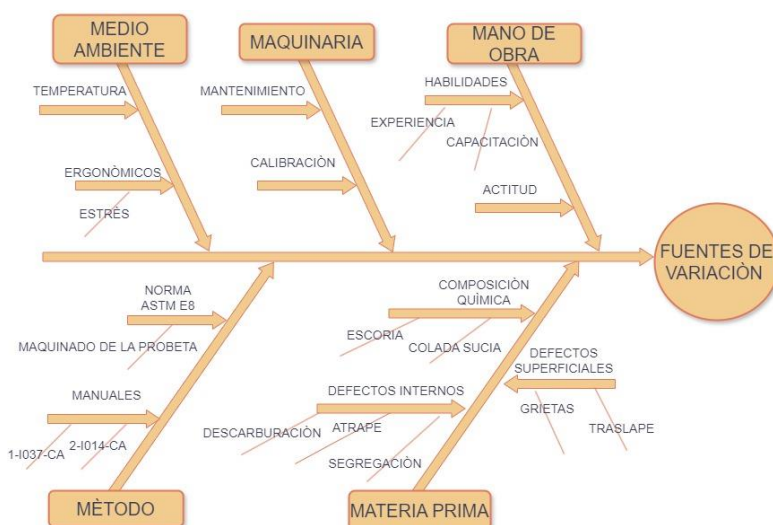


Ilustración 54 Diagrama de Ishikawa que presenta las posibles causas y efectos de las fuentes de variación de las pruebas de tensión

A continuación, se exponen las razones por las cuales se consideraron las siguientes causas y efectos en las fuentes de variación:

En la materia prima, diversas causas pueden influir en la calidad de las coladas producidas, siendo una de ellas la composición química. Esta tiene efectos significativos, como la extracción adecuada de la escoria. Si esta no se lleva a cabo de manera apropiada, la escoria puede permanecer en el metal fundido, dando lugar a inclusiones no metálicas. Estas inclusiones, a su vez, pueden debilitar la dureza del acero, disminuir su resistencia mecánica y afectar su calidad en general. Además, el término "colada sucia" se refiere a la contaminación de los materiales empleados en la fabricación del acero, así como a la composición química no deseada del mismo. También se pueden originar defectos internos y superficiales durante el proceso de laminación, tales como grietas, traslapes, atrapes, segregación y descarburación. La descarburación es especialmente común en los aceros y ocurre debido a la pérdida de carbono durante el recalentamiento en el horno para el proceso de laminación, lo que puede resultar en una mayor fragilidad del acero.

En el parámetro método, se hace referencia a la norma ASTM E8, la cual establece las especificaciones necesarias que deben cumplir las probetas destinadas a las pruebas de tensión. Por lo tanto, es crucial que las probetas mecanizadas por el proveedor externo cumplan con estas especificaciones. Además, se toman en consideración los manuales internos 1-I037-CA y 2-I014-CA, los cuales detallan los procedimientos a seguir para llevar a cabo las pruebas de tensión en las máquinas correspondientes a cada laboratorio.

En cuanto a la maquinaria, es crucial considerar el mantenimiento y la calibración. Sin estos procesos, los instrumentos de medición pueden desviarse de sus valores de referencia debido al desgaste, la fatiga de los materiales o la variabilidad inherente del instrumento. Esta situación puede resultar en mediciones inexactas y poco confiables, lo que a su vez puede llevar a la toma de decisiones erróneas basadas en datos incorrectos.

Se tiene el medio ambiente, la temperatura puede ser una variable relevante, especialmente en pruebas de resistencia mecánica, ya que puede influir en la ductilidad, fragilidad y otras propiedades del material, impactando directamente en los resultados de las mediciones. Además, aspectos ergonómicos, como el estrés, deben considerarse. Este puede afectar la concentración y enfoque del operador durante las pruebas, lo que potencialmente puede dar lugar a errores en las mediciones.

Finalmente, en cuanto al factor humano, se han incluido aspectos como las habilidades y la actitud. Esto se traduce en efectos como la experiencia acumulada por los laboratoristas y la relevancia de la capacitación que reciben. Esta capacitación resulta fundamental para mitigar posibles variaciones en las mediciones. Contar con operadores debidamente entrenados no solo garantiza el manejo adecuado de los equipos de medición, sino también la aplicación correcta de los procedimientos, lo que asegura mediciones precisas y consistentes, indispensables para la validación del producto final.

En la elección de la causa que puede afectar en las fuentes de variación, se tienen 3 elecciones primordiales siendo estas las siguientes:

4.3.1 Defectos en la materia prima

Para planta 1 y 2, se decidió rastrear las coladas para obtener información sobre defectos en la composición química del acero, así como defectos internos y superficiales.

En planta 1 para la composición química, el laboratorio no reportó ningún rechazo en las coladas, y los inspectores de las líneas MAC no identificaron defectos internos ni superficiales. Desafortunadamente, las líneas MAC no pueden detectar la descarburación en los aceros, por lo que se requirió una inspección en el laboratorio físico de planta 1. La siguiente imagen muestra la profundidad de la descarburación para la colada 12434140, utilizada en las pruebas de tensión para la planta 1.

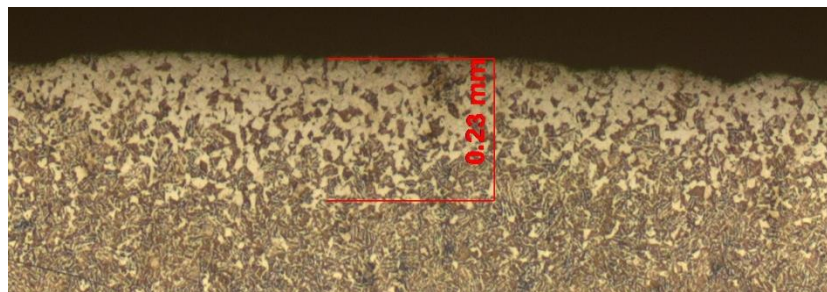


Ilustración 55 Profundidad de la descarburación para la colada 12434140

Para determinar si la profundidad de la descarburación está dentro de los estándares permisibles, se ha consultado la norma interna 41001/20/01, que proporciona la siguiente información (ver ilustración 56).

Tabla 5 DESCARBURACIÓN (CONFORME A SAE J419).

Medida	Profundidad máx.	Tipo
Redondos menores ó igual a 1"	0.25 mm	Parcial
Redondos mayores a 1"	1% con respecto al diámetro.	Parcial

Ilustración 56 Especificaciones referentes a la descarburación por la norma interna 41001/20/01

Dado que el material tiene un diámetro de 3.00 pulgadas y la profundidad máxima permitida es del 1% respecto al diámetro, la descarburación máxima debe ser inferior a 0.762 milímetros. Considerando esto, la descarburación del material que se ocupó para planta 1 se encuentra dentro de las especificaciones teniendo una profundidad en la descarburación de 0.23 milímetros.

En el caso de la planta 2, el laboratorio químico tampoco reportó ningún rechazo en la composición química de la colada 07874523, y las líneas de inspección OLYMPUS no identificaron defectos internos ni superficiales. Al igual que en la planta 1, estos equipos no pueden detectar la profundidad de la descarburación, por lo que se realizó la inspección en el laboratorio físico de la planta 2. La siguiente imagen muestra la profundidad de la descarburación de la colada.

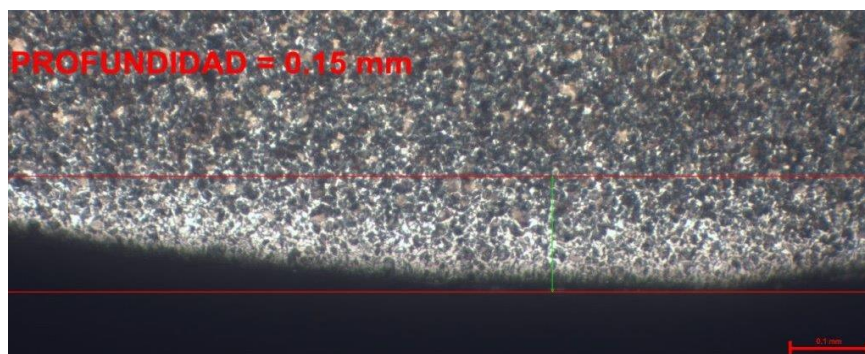


Ilustración 57 Profundidad de la descarburación para la colada 07874523

En este caso, se tomó en cuenta la norma interna E-124/01, que proporciona la siguiente información sobre la profundidad de la descarburación del material.

PROPIEDADES METALURGICAS		
MICROESTRUCTURA	MACROESTRUCTURA	DESCARBURACIÓN PARCIAL (SAE J419)
Perlita + Ferrita	No requerido	0.25 mm Máx de Profundidad

Ilustración 58 Especificaciones referentes a la descarburación por la norma interna E-124/01

Según la información proporcionada, la profundidad de la descarburación se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma interna teniendo una profundidad de 0.15 milímetros.

De acuerdo con la información, la materia prima, en este caso el acero utilizado para las pruebas de tensión queda descartada como una fuente de variación, ya que no presenta defectos significativos que puedan influir en las fuentes de variación del estudio GRR.

4.3.2 Calibración de los equipos

La calibración se ha elegido porque es crucial para los estudios R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad). Esta garantiza la precisión y consistencia de las mediciones, minimizando las fuentes de error y variación. Un equipo correctamente calibrado asegura que los resultados obtenidos sean confiables y reflejen con exactitud las características del material evaluado.

Por ejemplo, en la planta 2, el uso continuo del equipo puede provocar la descalibración de la celda debido a las fracturas de las probetas. Los filamentos que realizan las lecturas pueden romperse o deformarse, lo que causa variaciones en las mediciones.

En planta 1, el uso inadecuado del extensómetro puede provocar su descalibración, por lo que es importante calibrarlo regularmente para evitar mediciones incorrectas.

Debido a la importancia de que los equipos estén calibrados para la liberación del producto, el departamento de Metrología se encarga de gestionar proveedores

certificados por la Entidad Mexicana Acreditación (EMA), para la calibración de los equipos. Una vez realizadas las calibraciones pertinentes por los proveedores, tienen la obligación de enviar certificados que avalen que los equipos están calibrados. Se adjuntan los certificados de ambos equipos para su validación (ver anexo 1 y 2).

Con esto, la falta de calibración queda descartada de las posibles fuentes de variación del estudio.

4.3.3 Habilidades de los laboratoristas

De acuerdo con el análisis anteriormente realizado, se descarta la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto, la causa principal de la variación en las mediciones es atribuibles al personal.

Uno de los objetivos específicos de este proyecto era documentar las técnicas de cada laboratorista en la realización de las pruebas de tensión para poder realizar una comparación con los manuales correspondientes a las pruebas de tensión.

Para el caso de planta 1, los laboratoristas no realizan completamente las actividades ni en el orden que marca el manual 1-I037-CA. Pues en este, marca que primero debe prepararse el equipo debido a que debe estabilizarse, siendo estos los puntos clave:

- “4.1.7: Conectar el extensómetro, verificar que el pistón este en la posición de inicio de prueba, para comprobar esto abrir la válvula LOAD unos segundos y cerrarla y dejarla así aproximadamente 20 minutos.” En este punto, los laboratoristas no dejan estabilizar la maquina por 20 minutos como lo marca el manual.
- “4.1.8: Una vez que se estabilicen los números presionar uno a la vez los botones en el DISPLAY del zero force, zero pos y zero aux.” En este punto realizan esta operación sin dejar que se estabilice.

En la comparación de las técnicas de los laboratoristas con el manual, también se observó que este último carece de información importante, como la revisión de los parámetros de velocidad y posición, que no están descritos en él. Si estos

parámetros se capturan incorrectamente o se modifican, los resultados de las pruebas de tensión pueden ser incorrectos o, en casos extremos, el equipo puede no realizar las mediciones.

En el caso de la planta 2, los laboratoristas siguen los procedimientos en el orden establecido por el manual 2-I014-CA sin omitir pasos. Sin embargo, se encontró una discrepancia en el manual en el laboratorio físico, hay dos máquinas de tensión de la misma marca, pero con diferencias en cuanto a su operabilidad debido al alcance de cada una. El equipo de 300 kN es más manual en comparación con el equipo de 1200 kN, lo que requiere realizar más actividades. El manual cubre ambas máquinas, por lo que, si no se presta atención, podría haber confusiones en la operabilidad de cada una de ellas.

En el análisis de las habilidades de los laboratoristas, se ha identificado otra fuente de variación, los manuales utilizados en las pruebas de tensión. Es crucial que estos manuales establezcan procedimientos uniformes y comprensibles para asegurar que las tareas se realicen de manera consistente y correcta, pues proporcionan instrucciones paso a paso que ayudan a los empleados a comprender cómo deben llevar a cabo sus funciones, además de facilitar la comprensión del personal fuera de los laboratorios sobre lo que ocurre.

Los manuales son herramientas fundamentales en la formación y capacitación de nuevos empleados, ya que les proporcionan los conocimientos y habilidades necesarios para desempeñar su trabajo de manera efectiva.

4.4 Propuestas de mejora

Como se mencionó, el porcentaje del GRR para ambas plantas está dentro de lo permisible. Sin embargo, es necesario tomar medidas para evitar que salga de especificación. Gracias al análisis de las fuentes de variación, se identificó que la principal causa de variación es el personal, además de la inconsistencia en los manuales utilizados para las pruebas de tensión en las máquinas universales de pruebas de las marcas TINIUS OLSEN y DANIELI, con ID interno 0163-A-MP y 0002-A2-MP.

Por lo que se tiene dos áreas de oportunidad en el departamento de calidad siendo estas:

- **Reestructuración de los manuales:** Los manuales actuales presentan incongruencias con las actividades realizadas por los laboratoristas, ya que no se cumplen en su totalidad o se realizan actividades no establecidas en ellos. Por ejemplo, falta documentar información crucial como los parámetros de posición y la velocidad de la máquina (véase ilustración 59).



Ilustración 59 Parámetros faltantes del manual sobre velocidad y posición de la máquina con ID 0163-A-MP

Es esencial reconstruir estos manuales para cada máquina de tensión, sumando un total de tres manuales, lo cual evitaría errores de operabilidad y confusiones al saber en qué manual consultar de acuerdo con el ID interno del equipo.

La importancia de esta reestructuración radica en mejorar significativamente la operabilidad de las máquinas, asegurando que todos los procedimientos sean claros y precisos. La participación de los laboratoristas en la reestructuración ayudará a identificar las actividades extras que se deben eliminar y cuáles deben modificarse. Además, incluir ayudas visuales en los manuales facilitará una mejor comprensión de la operabilidad de las máquinas, permitiendo una capacitación más efectiva y eficiente.

- **Capacitación de los laboratoristas:** Es imperativo formular un plan de capacitación para los laboratoristas utilizando los manuales reestructurados, lo que permitirá una mejor sincronización entre las actividades que se realizan y las documentadas en los manuales. Esta iniciativa no solo mejorará la operabilidad, cuidado y mantenimiento de las máquinas al evitar errores, sino

que también destacará la importancia del rol de los laboratoristas en la liberación del producto final. Es crucial que comprendan que la ejecución precisa de las actividades según lo estipulado es fundamental para evitar informes incorrectos y la liberación de productos no conformes.

5. CONCLUSIÓN

Para concluir, este proyecto ha tenido como objetivo principal la realización de estudios R&R a las máquinas de tensión en los laboratorios físicos, con el fin de determinar su criterio de aceptación según los estándares del manual MSA. Este análisis ha sido crucial para identificar posibles fuentes de variación en los datos obtenidos, lo cual es fundamental para garantizar la liberación del producto terminado.

Durante el proyecto, se abordaron otros objetivos clave, como la revisión del manual MSA y la aplicación del método ANOVA-ANIDADO para los estudios GRR, debido a que las probetas son destruidas durante las pruebas. Además, se aplicó la norma ASTM E8, que establece las normativas para las pruebas de tensión y la fabricación de las probetas, asegurando que los resultados sean fiables y se adapten a las necesidades específicas de cada tipo de acero y las máquinas utilizadas.

La utilización de los softwares GAGETrak y MINITAB en la realización de los estudios GRR permitió comparativas detalladas entre ambos. GAGETrak proporcionó información precisa sobre el grado de aceptación de los estudios, siendo más estricto con los resultados y evitando modificaciones intencionadas. Por otro lado, MINITAB ofreció una amplia variedad de gráficos que facilitaron la evaluación de la variabilidad, permitiendo un análisis integral de los resultados obtenidos.

La revisión de los manuales internos 1-I037-CA y 2-I014-CA fue fundamental para conocer el procedimiento interno para la realización de las pruebas mecánicas y facilitó la comparación con las técnicas documentadas empleadas por los laboratoristas.

Las pruebas se realizaron en las máquinas de tensión TINIUS OLSEN y DANIELI en sus respectivas plantas, utilizando una plantilla para registrar los datos de 3

réplicas por 3 laboratoristas, obteniendo así 90 mediciones. Al analizar los resultados y compararlos con los valores permisibles según el manual MSA, se observó que la planta 1 obtuvo un GRR del 9.80% y la planta 2 del 9.43%, ambos dentro de los límites permitidos pero cercanos al umbral del 10%.

Para identificar las fuentes de variación que contribuyen a esta variabilidad, se utilizó un diagrama de Ishikawa. Las inspecciones en los laboratorios permitieron descartar las fuentes menos críticas y destacar dos áreas de oportunidad importantes: la reestructuración de los manuales y la capacitación de los laboratoristas.

6. RECOMENDACIONES

Para evitar el incremento de los porcentajes de GRR, es necesario considerar las siguientes recomendaciones basadas en el análisis de las fuentes de variación:

- **Actualización continua de los manuales:** Mantener los manuales actualizados mejorará significativamente la operatividad de las máquinas, asegurando que todos los procedimientos sean claros y precisos. Esto reducirá los errores operativos y aumentará la eficiencia del trabajo en el laboratorio.
- **Enfatizar la importancia del rol de los laboratoristas:** Es crucial que los laboratoristas comprendan la importancia de ejecutar las actividades de acuerdo con las especificaciones. Una ejecución precisa es fundamental para evitar informes incorrectos y la liberación de productos no conformes.
- **Incluir ayudas visuales en los manuales:** Incorporar diagramas y fotografías en los manuales facilitará una mejor comprensión de la operabilidad de las máquinas, ayudando a los laboratoristas a seguir los procedimientos correctamente.
- **Implementar evaluaciones periódicas:** Realizar evaluaciones periódicas asegurará que los laboratoristas sigan las prácticas documentadas, manteniendo un alto estándar de operabilidad y precisión en las pruebas.

7. COMPETENCIAS DESARROLLADAS

En la empresa SIMEC INTERNATIONAL pude desarrollar las siguientes competencias:

- **Laboratorio físico:** Conocimiento y práctica de diversos métodos de inspección de este laboratorio, incluyendo pruebas de durómetro utilizando los métodos Rockwell y Brinell, así como pruebas de tensión para diferentes grados y dimensiones de acero. Además, el proceso de metalografía para determinar el tamaño de los defectos internos y superficiales presentes en el acero a lo largo de su proceso de laminación.
- **Laboratorio químico:** Conocimiento del proceso de inspección de las 'paletas' para asegurar que la colada estudiada tenga los componentes químicos adecuados según el grado de acero fabricado en equipos de espectrometría de emisión óptica.
- **Laboratorio de insumos:** Conocimiento y práctica en pruebas y análisis de los insumos ferrosos, cal y granos utilizados en la fabricación del acero, así como la inspección de las escorias de los hornos EAF y LF.
- **Inspección por ultrasonido MAC:** Conocimiento sobre la inspección de los aceros en dispositivos MAC para la determinación de defectos internos, superficiales y dimensionales que se presentan en el proceso de laminación.
- **Conocimiento en Estudios GRR:** Dominio de los fundamentos teóricos y prácticos de los estudios de Repeatability and Reproducibility (GRR) aplicados a pruebas de tensión.
- **Competencia en Uso de Software Especializado:** Familiaridad y habilidad en el uso de software especializado como GAGetrak y MINITAB para la realización de estudios GRR y análisis de datos.
- **Competencia en Calibración de Equipos:** Experiencia en la calibración y verificación de equipos de medición utilizados en pruebas de tensión, como micrómetros, calibradores y flexómetros.
- **Habilidades de Comunicación y Colaboración:** Competencia para comunicar efectivamente los resultados del estudio GRR y colaborar con otros miembros del equipo para implementar mejoras en los procesos de calidad.

8. GLOSARIO

1-I037-CA: Manual sobre la Prueba de tensión para la maquina universal de pruebas de la marca TINIUS OLSEN con ID interno 0163-A-MP

2-I014-CA: Manual sobre la Prueba de tensión para las maquinas universales de pruebas de la marca DANIELI con ID interno 0002-A2-MP y 0001-A2-MP

Gage length: se refiere a la longitud de una sección específica de un material o muestra que está siendo evaluada en una prueba de tensión (o tracción). Es la distancia inicial medida entre dos puntos de referencia en la muestra antes de que se aplique cualquier carga.

GRR: se refiere a "Gauge Repeatability and Reproducibility" (Repetibilidad y Reproducibilidad del Medidor). Es una metodología utilizada en el control de calidad y en la ingeniería industrial para evaluar la precisión de un sistema de medición

%TV: Es una métrica en el análisis del sistema de medición pues proporciona una comprensión de cuánto de la variabilidad observada en los datos de medición proviene del propio sistema de medición, en lugar de la variabilidad natural del proceso o producto que se está midiendo.

%Tol: se refiere al porcentaje de la tolerancia del proceso que es atribuible a la variabilidad del sistema de medición. Es una medida de cuán significativa es la variabilidad del sistema de medición en comparación con las especificaciones de tolerancia del producto o proceso.

EMA: es responsable de evaluar y acreditar la competencia técnica de organismos de evaluación de la conformidad, como laboratorios de ensayo y calibración, organismos de certificación y verificación

9. FUENTES DE INFORMACIÓN

Acuña, J. (2012). Control de calidad un enfoque integral y estadístico. Costa Rica: Editorial tecnológica de Costa Rica.

AIAG. (2010). Analisis de Sistema de Medición MSA. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motor Corporation.

Bentler, P. y Satorra, A. (2010). Pruebas de anidamiento y equivalencia de modelos . Métodos Psicológicos. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2929578/>.

Botero, M., Arbeláez, O. & Mendoza, J. (2007). Método ANOVA utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproductibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición. Universidad Tecnológica de Pereira.

Chait, R., & Papirno, R. (1983). *Compression Testing of Homogeneous Materials and Composites: A Symposium*. ASTM International.

Colin, I. (2017). Análisis y evaluación de un sistema de medición por medio de un estudio R&R. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de ingeniería.

Industrial Physics. (2021). ASTM E8/E8M Métodos de prueba estándar para el ensayo de tensión de materiales metálicos. Recuperado de: ASTM-E8 - Industrial Physics

International Automotive Task Force. (2024). About IATF. Recuperado de: <https://www.iatfglobaloversight.org/about-iatf/>

MINITAB. (2021). Estudios R&R del sistema de medición con pruebas destructivas. Recuperado de: Estudios R&R del sistema de medición con pruebas destructivas - Minitab

Ovalle, N. (2019). AIAG CORE TOOLS: Measurement Systems Analysis MSA. Recuperado de: <https://morganonline.com.mx/wp-content/uploads/2020/08/CORE-TOOLS-MSA-Y-SPC-.pdf>

Rodriguez, J. (2019). Core Tools - ¿Qué son, cuales son y para que se utilizan?
Recuperado de: <https://spcgroup.com.mx/las-herramientas-core-tools/>

Spiret, M. (2021). ASTM E8 Ensayo de tracción de los materiales metálicos.
Recuperado de: ASTM E8 Ensayo de tracción de materiales metálicos (Instron)

Vinasco, E. (2019). Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad R&R. Colombia:
Centro de ingeniería de la Calidad.



COMERCIALIZADORA Y SERVICIOS TÉCNICOS
SUPER "L", S.A. DE C.V.

FT-12.01

Leandro Valle No. 36 Ciudad López Mateos
Atzacapán de Zaragoza Edo. de México C.P. 52 900
Tel. 56-22-88-96 / 58-22-85-90 / 85-22-86-45, Fax Dir. 58-25-12-72

HOJA 2 DE 2

INFORME DE CALIBRACIÓN No. 23-7393
FECHA DE CALIBRACIÓN: 2023-07-27
FECHA DE EMISIÓN: 2023-08-06

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN No.
NORMAS APLICADAS: NMX-CH-7500-1-ANNC-2008 ISO 7500-1:2018

TÍTULO: COMPARACIÓN DIRECTA

CLIENTE: SIMEC INTERNACIONAL

CEDIDA DE CARGA

DOMICILIO: Km. 123 CARR. FEDERAL LIBRE MINCO-1 VERACRUZ INT. "Q"
C.P. 90 460 SAN COSME XALOSTOC, TLAX.

IDENTIFICACIÓN: CST-P-01 (SISTEMA A) 911 2004 - 960 2008 - 911 2004 - 911 2040

ORDEN DE SERVICIO No. 23-7393

STRAINSENSE
SSI010NGC2 - SSI020NGC2 - SSI030NGC2 - SSI040NGC2

EQUIPO: MÁQUINA UNIVERSAL DE PRIETAS FÍSICAS

INTERVALO DE MEDICIÓN: 98066.5N A 98066.5N - 98066.5N A 98066.5N

MARCA: TUNIS OLSEN

EXACTITUD: 0.25% E.P.

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN: 0163-A-MP

VENGIMIENTO: 2024-12

SERIE: 303 336

CENAM

MODELO: SUPERA 60/602

INCERTIDUMBRE: 0.020% - 2.05N - 51.34N - 247.10N

ALCANCE DE MEDICIÓN: 508.40N A 235 359.60N

PATRÓN DE TEMPERATURA: TEMOMETRO DIGITAL

DIVISIÓN MINCO: N/A

CODIGO: CST-CEM-02

FECHA DE RECEPCIÓN: 2023-07-27

SERVICIOS METROLÓGICOS ESPECIALIZADOS

INTENTADO DE MEDICIÓN: 274 506.20 N

RESOLUCIÓN: 0.0098 N

CLASE DE EXACTITUD +/-: UNO %

FIERZA REAL

LECTURA PRENSA

LECTURAS DEL PATRÓN

SERIE 1

SERIE 2

SERIE 3

PROMEDIO APLICADA

ERROR RELATIVO

ERROR RELATIVO

INCERTIDUMBRE

INCERTIDUMBRE

TEMPERATURA INICIAL: 22.6 °C

TEMPERATURA FINAL: 23.1 °C

ERROR MÁX. DE CERO: 4.24 N

ERROR MÁXIMO: 0.37 % E.P.

NOTAS: Este Informe de Calibración no debe ser reproducido excepto en su totalidad, sin la aprobación por escrito del Laboratorio.

INCERTIDUMBRE: LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA SE OBTUVO MULTIPLICANDO LA INCERTIDUMBRE ESTANDAR COMBINADA POR UN FACTOR DE K=2.

CONDICIONES AMBIENTALES ADECUADAS.

A PETICIÓN DEL CLIENTE LA PRÓXIMA CALIBRACIÓN SE REALIZARÁ CONFORMIDAD CON LA NORMA NMX-EC-17025-ANNC-2018 ISO/IEC 17025:2017 VIGENTE A PARTIR DEL 2023-02-15

"SEGÚN PROGRAMA ISO/IR"

VERIFICACIÓN DE LA ENTIDAD MEXICANA DE ACREDITACIÓN, S.C. (CMA S.C.) EN EL ÁREA DE FIERZA CON NÚM. DE ACREDITACIÓN P-31 DE

CALIBRO

SUPERVISOR

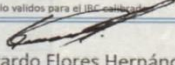
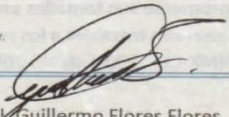
JOSÉ LUIS RIVERA I.

VÍCTOR RAÚL MARTÍNEZ R.

DEPTO. DE SERVICIOS

GERENCIA DE SERVICIOS

Anexo 2

	ASISTENCIA EN METROLOGÍA DE LABORATORIOS, S. A. DE C. V.		Registro No.: AM-RE-14
			Versión: 00
			Fecha aplicación:
			2018-04-18
		No. de Certificado: AM-CC-080-2022	
Nombre del Cliente: Aceros Especiales SIMEC Tlaxcala, S. A. de C. V.			
Domicilio: Carretera Federal México - Texcoco - Veracruz km 123 S/N, Int Q, Planta 2 San Cosme Xaloztoc, Tlaxcala, C. P. 90460			
Fecha de recepción: 2022-05-12		Fecha de Calibración: 2022-05-12	Fecha de emisión: 2022-05-13
Instrumento Calibrado (IBC): Máquina Universal			
Marca: DANIELI			
Modelo: WAW-1200E		Modo de calibración: Tracción	
Serie: 011171		Id del Cliente: 0002-A-MP	
Intervalo de indicación: 1 200 kN		Res: 0,001 kN	Intervalo de calibración: (30 a 270) kN
Indicador: Software	Marca: MaxTest	Versión: 6.9(2017.8.15)	Serie: No aplica
Lugar de Calibración: Calidad Laboratorio Físico Carretera Federal México - Texcoco - Veracruz km 123 S/N, Int Q, Planta 2 San Cosme Xaloztoc, Tlaxcala, C. P. 90460			
Condiciones ambientales:		Temperatura Inicial 25,2 °C	Temperatura Final 25,7 °C
Resultados de la calibración:		Anexo en la hoja 2 y 3	
Incertidumbre de la medición:		Anexo en la hoja 2 y 3	
Patrón Utilizado: Sistema de transferencia de fuerza con:			
Celda de carga:		id: AM-CCC-04	AM-CCC-07
		Marca: AM	HBM
		Modelo: AMC200 000-02	C16AC3/20t
		Serie: 2011200000001	M48138A
		Indicador: HBM SCOUT 55	HBM Mod. SCOUT55
Intervalo de Medición:		1 961,34 kN	196,13 kN
Trazabilidad:		SAS - CENAM 21-0486	SAS-CENAM 21-0487
Procedimiento Utilizado: AM-PR-15		Método: Comparación directa	
"Calibración de Máquinas e Instrumentos de Medición de Fuerza"			
Este certificado consta de 3 hojas, prohibida su reproducción total o parcial sin autorización de Asistencia en metrología de laboratorios, S. A. de C. V.			
Estos resultados de calibración son solo validos para el IBC calibrado.			
 Ing. Gerardo Flores Hernández Calibró		 Ing. Guillermo Flores Flores Autorizó y aprobó	
Privada Río Panuco No. 712, Col. Geo villas de la Independencia, C. P. 50228, Toluca Estado de México. Teléfono: 01 722 7064389 y 706 5650 - ventas@amimexico.net			

Página: 1 -3

Ilustración 61 Certificado de la maquina universal de pruebas con ID interno: 0002-A2-MP