UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

"EVALUACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA POR DEFORMACIÓN DE UN ACERO INOXIDABLE AISI 301 A TRAVÉS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA "

TESIS PRESENTADA POR EL MAESTRO: JUAN CARLOS NEGRON LOPEZ

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE: DOCTOR EN INGENIERÍA DE PROCESOS

ASESOR:

DR. EDGARD APAZA HUALLPA

AREQUIPA – PERU

2021

DEDICATORIA

A mis padres Eliseo y Celia por haberme dado la vida y enséñame a ser un buen ser humano

A Sandy por ser mi compañera de vida, por su compresión y apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por permitirme existir y todo lo bueno que ha puesto en mi camino

A todas las personas que apoyaron en la realización de la presente tesis doctoral en especial a mi asesor y amigo Dr Edgar Apaza Huallpa por su tiempo y dedicación al presente trabajo de investigación

INDICE

Resumen 1

Abstract 2

Introducción 3

1.1. Aceros inoxidables 5

1.2. Clasificación de los aceros inoxidables 6

1.2.1. Aceros Inoxidables Martensíticos 8

1.2.2. Aceros Inoxidables Ferríticos 9

1.2.3. Aceros Inoxidables Austeníticos 10

1.2.4. Aceros inoxidables Austeníticos metaestables 10

1.3. Influencia de los elementos de aleación 12

1.4. Microestructura 14

1.5. Morfología de la martensita 15

1.6. Generalidades de la cinética de la transformación martensítica 19

1.6.1. Martensita Atérmica 20

1.6.2. Martensita Isotérmica 20

1.7. Nucleación martensitica 21

1.8. Efectos mecánicos 24

1.8.1. Martensitas Inducidas por Esfuerzos y por Deformación 25

CAPITULO II METODOLOGÍA 28

2.1. Lugar de ejecución 28

2.2. Materiales 28

2.3. Equipos 29

2.4. Metodología Experimental. 34

2.4.1 Antes de la deformación en tracción 34

2.4.2. Durante de la deformación en tracción 35

2.4.3. Después de la deformación en tracción 35

2.4.4.- Caracterización de las probetas de acero austenitico AISI 301 37

2.4.5. Preparación de probetas metálicas de acero austenitico AISI 301 37

2.4.6. Determinación de la resistividad de los aceros AISI 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido antes de la deformación 38

2.4.7. Determinación de la dureza HRB del acero inoxidable 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido antes de la deformación 40

2.4.8. Análisis óptico metalográfico de las probetas antes de la deformación..... 41

2.4.9. Deformación mecánica de las probetas metálicas..... 44

2.4.10 Evaluación de la resistividad durante la deformación en tracción 45

2.4.11. Determinación de la resistividad después de la deformación. 46

2.4.12. Mediciones de campo magnético en las probetas de acero AISI 301, con y sin tratamiento, después de la deformación. 46

2.4.13. Elaboración del perfil de dureza (HRB) del acero inoxidable 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido 47

2.4.14.- Análisis Metalográfico. 47

2.4.15. Análisis morfológico de la rotura por microscopia electrónica de barrido 49

Capitulo III Resultados y discusión 51

3.1 Preparación de las probetas de acero inoxidables 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido..... 51

3.2. Deformación por tracción para las probetas de acero AISI 301 sin tratamiento y con tratamiento. 53

3.3. Medición de la resistividad de los aceros AISI 301 sin y con tratamiento de recocido 56

3.3.1. Medición de la resistividad antes y después de la deformación en tracción para el acero AISI 301 56

3.3.2. Medición de la resistividad antes y después de la deformación en tracción para el acero AISI 301 con tratamiento de recocido 59

3.4. Mediciones de campos magnéticos en las probetas de aceros AISI 301, y con acero 61

3.4.1. Mediciones de campos magnéticos para aceros AISI 301 sin tratamiento 61

3.5 Evaluación de la dureza de los aceros AISI 301 sin y contratamiento antes y después de la deformación 64

3.6 Análisis metalográfico 69

3.7. Análisis morfológico de la rotura por Microscopia electrónica de barrido (SEM) 73

Conclusiones 74

Bibliografía 77

Anexos 81

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Elementos alfagenos y Gammagenos.....14

Tabla 2 Composición química del acero austenitico AISI 301, sin tratamiento 37

Tabla 3 Medidas de las probetas metálicas de acero AISI 301 sin tratamiento antes de la eformación, norma ASTM E8..... 51

Tabla 4 Medidas de las probetas de acero AISI 301 sin tratamiento de acuerdo a la norma ASTM E8……..……52

Tabla 5 Mediciones de la resistividad promedio del acero AISI 301 sin tratamiento y antes de la deformación en tracción.....57

Tabla 6 Mediciones de la resistividad promedio del acero AISI 301 sin tratamiento, después de la deformación en tracción y por sección.....57

Tabla 7 Mediciones de la resistividad promedio del acero AISI 301 con tratamiento y antes de la deformación en tracción.....59

Tabla 8 Mediciones de la resistividad promedio del acero AISI 301 con tratamiento, después de la deformación en tracción y por sección.....59

Tabla 9 Mediciones de los campos magnético del acero AISI 301 sin tratamiento y por sección, después de la deformación 62

Tabla 10 Mediciones de los campos magnético del acero AISI 301 con tratamiento y por sección, después de la deformación 63

Tabla 11 Dureza promedio del acero AISI 301 sin tratamiento..... 65

Tabla 12 Perfil de dureza del acero AISI 301 sin trata miento posterior a la deformación 65

Tabla 13 Dureza promedio del acero AISI 301 con tratamiento..... 67

Tabla 14 Perfil de dureza del acero AISI 301 sin trata miento posterior a la deformación 67

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. El diagrama binario de Fe-C 5

Figura 2. Intervalos de formación de la martensita tipo entramas y tipo placa 6

Figura 3. Tipos de Aceros Austeníticos..... 7

Figura 4. Clasificación de las aleaciones férricas..... 8

Figura 5. Diagrama de Schaeffler..... 11

Figura 6. Microestructura bifásica - Aparición de martensita (agujas sombras) en una matriz Austenitica …..... 15

Figura 7. Modelo de la estructura de la intercala martensita-fase madre 16

Figura 8. Martensita a listonada 16

Figura 9. Micrografía de TEM martensita en listones..... 17

Figura 10. Imágenes de FE-SEM/EBSD de placas de martensita en una aleación Fe con 28,5. % Ni.....18

Figura 11. Martensita maclada 18

Figura 12. Distribución del carbón en las placas..... 19

Figura 13. Martensita atérmica en una aleación Fe-Ni-C..... 20

Figura 14. Formación de martensita en una aleación Fe- 32 % Ni - 0,4 % Cr 21

Figura 15. Diagrama de la energía libre de Gibbs para la transformación de austenita en martensítica 22

Figura 16. Análisis energético para una aleación con composición Co, ... 23

Figura 17. Evolución de la transformación martensítica inducida por deformación en un acero inoxidable AISI 304, deformado a temperatura ambiente..... 25

Figura 18. Esfuerzo aplicado vs temperatura 26

Figura 19. Máquina de ensayos universales marca INSTRON modelo 23 100 29

Figura 20. Computador táctil de la máquina de ensayos universales INSTRON con el software BLUE HILL …. 30

Figura 21. Equipo para medición de resistividad en 4 puntos 30

Figura 22. Microscopio metalográfico marca VERSAMET modelo UNITRON 31

Figura 23. Maquina pulidora de la marca Lecco modelo PX 300 31

Figura 24. Equipo para montaje en frio de probetas metalográficas 32

Figura 25. Equipo para medir la dureza por indentación de la marca INDENTEC 32

Figura 26. Microscopio electrónico marca THERMO SCIENTIFIC modelo SCIOS 2..... 33

Figura 27. Sonda marca LH modelo 516 60 para medición de campos magnéticos 33

Figura 28. Esquema de la metodología experimental a ser empleada 36

Figura 29. Esquema con las formas de las probetas a deformar en tracción. 38

Figura 30. Equipo para la medición de resistividad 39

Figura 31. Laboratorio de investigación del Departamento de Física de la UNSA..... 40

Figura 32. Durómetro INDENTEX del laboratorio de caracterización de materiales edificio Antonio Raimondi 41

Figura 33. Equipo de pulido de la marca Lecco 42

Figura 34. Resina metalográfica Lecoset 7008..... 42

Figura 35. Molde para probetas metalográficas 43

Figura 36. Microscopio VERSAMET modelo UNITRON 43

Figura 37. Máquina de ensayos universales para deformación en tracción..... 44

Figura 38. Sensores para medición de resistividad..... 45

Figura 39. Sonda LH para mediciones de intensidad de campo magnéticos..... 46

Figura 40. Durómetro INDENTEC 47

Figura 41. Máquina para pulido de probetas metalográficas de la marca Lecco..... 48

Figura 42. Microscopio Invertido trinocular de la marca VERSAMET modelo Unitron 48

Figura 43. Microscopio electrónico de barrido THERMO SCIENTIFIC SCIOS 2……..…49

Figura 44. Cámara del SEM con una probeta colocada en su interior..... 50

Figura 45. Probetas metalográficas de acero inoxidable AISI 301 sin tratamiento ya cortadas y preparadas para deformación en tracción..... 51

Figura 46. Probetas metalográficas de acero inoxidable AISI 301 con tratamiento ya cortadas y preparadas para deformación en tracción..... 52

Figura 47. Probeta lista para ser deformada en tracción con el sistema para medición de resistividad en simultaneo……..... 53

Figura 48. Probeta deformada en tracción hasta la rotura 54

Figura 49. Grafica esfuerzo – deformación para el acero AISI 301 sin tratamiento 54

Figura 50. Grafica esfuerzo – deformación para el acero AISI 301 con tratamiento 55

Figura 51. Grafica esfuerzo – deformación comparativa del acero AISI 301 sin tratamiento con el acero AISI 301 sin tratamiento……..... 56

Figura 52. Medida de la resistividad del acero AISI 301 sin tratamiento por segmentos en la probeta metálica 57

Figura 53. Medida de la resistividad del acero AISI 301 sin tratamiento durante la deformación en tracción de la probeta metálica..... 58

Figura 54. Medida de la resistividad del acero AISI 301 sin tratamiento por segmentos del acero AISI 301 con tratamiento de recocido..... 60

Figura 55. Medida de la resistividad del acero AISI 301 con tratamiento durante la deformación en tracción de la probeta metálica..... 60

Figura 56. Campos magnéticos para acero inoxidable AISI 301 sin tratamiento y deformados en tracción……..……61

Figura 57. Campos magnéticos para acero AISI 301 sin tratamiento, por cada sección de la probeta metálica 62

Figura 58. Campos magnéticos para acero AISI 301 con tratamiento de recocido y deformados en tracción 64

Figura 59. Campos magnéticos para acero AISI 301 con tratamiento de recocido, por cada sección de la probeta metálica..... 64

Figura 60. Perfil de dureza del acero AISI 301 sin tratamiento después de la deformación 66

Figura 61. Perfil de dureza del acero AISI 301 sin tratamiento después de la deformación comparado con la dureza inicial..... 66

Figura 62. Perfil de dureza del acero AISI 301 con tratamiento de recocido después de la deformación……68

Figura 63. Perfil de dureza del acero AISI 301 con tratamiento de recocido después de la deformación, comparado con la dureza inicial..... 68

Figura 64. Microfotografías antes del ensayo acero AISI 301 sin tratamiento a 200 aumentos…….....69

Figura 65. Microfotografías antes del ensayo acero AISI 301 sin tratamiento a 500 Aumentos…….69

Figura 66. Microfotografías después de la deformación en tracción del acero AISI 301 sin tratamiento a 200 aumentos 70

Figura 67. Microfotografías después de la deformación en tracción del acero AISI 301 sin tratamiento a 500 aumentos..... 70

Figura 68. Microfotografías antes del ensayo acero AISI 301 con tratamiento a 200 aumentos…….……..…..71

Figura 69. Microfotografías antes del ensayo acero AISI 301 con tratamiento a 500 aumentos……71

Figura 70. Microfotografías después de la deformación en tracción del acero AISI 301 con tratamiento a 200 aumentos ……..... 72

Figura 71. Microfotografías después de la deformación en tracción del acero AISI 301 con tratamiento a 500 aumentos 72

Figura 72. Fotografía del microscopio electrónico de barrido sobre la fractura del acero AISI 301 sin tratamiento 8000 aumentos……..... 73

Figura 73. Fotografía del microscopio electrónico de barrido sobre la fractura del acero AISI 301 con tratamiento de recocido a 8000 aumentos …..... 73

Resumen

En el presente trabajo de investigación de tesis doctoral se analiza la transformación martensitica por deformación en tracción, en el acero austenitico AISI 301, a temperatura ambiente, las probetas de los aceros AISI 301 son de dos tipos unas sin tratamiento alguno y otras con tratamiento de recocido, las formas y dimensiones fueron realizadas de acuerdo a la norma ASTM D8, la deformación en tracción se realizó en una máquina de ensayos universales y se hicieron las mediciones de resistividad en dichas probetas antes de la deformación, en simultaneo con la deformación mecánica y después de la deformación en tracción, observándose cambios en dichos valores de resistividad, los cuales fueron cuantificados, es por medio de estas mediciones de resistividad que se puede inferir cambios en la conductividad del material por transformación martensitica. Se realizaron mediciones de campos magnéticos a las probetas antes de ser deformadas y después de ser deformadas, pudiendo medirse los campos magnéticos delas probetas deformadas, también se realizaron mediciones de la dureza antes de la deformación y después de la deformación, observándose un incremento de las mismas por presencia de fases martensíticas, finalmente se llevaron a cabo las caracterizaciones morfológicas por SEM donde se aprecian los cambios por la zona de rotura de las probetas y por técnicas metalográficas se observan las fases martensíticas presentes solo en los aceros deformados.

Palabras Clave.

Deformación mecánica, martensita, ausentita, propiedades mecánicas, acero inoxidable, resistividad eléctrica, magnetismo

Abstract

In this doctoral thesis research work, the martensitic transformation by tensile deformation is analyzed in austenitic steel AISI 301, at room temperature, the specimens of AISI 301 steels are of two types, some without any treatment and others with treatment of annealed, the shapes and dimensions were made according to the ASTM D8 standard, the tensile deformation was carried out in a universal testing machine and resistivity measurements were made on said specimens before deformation, simultaneously with the mechanical deformation and After the tensile deformation, observing changes in said resistivity values, which were quantified, it is through these resistivity measurements that changes in the conductivity of the material can be inferred by martensitic transformation. Magnetic field measurements were made to the specimens before being deformed and after being deformed, being able to measure the magnetic fields of the deformed specimens, hardness measurements were also made before the deformation and after the deformation, observing an increase in the The same for the presence of martensitic phases, finally the morphological characterizations were carried out by SEM where the changes are appreciated by the breaking zone of the test tubes and by metallographic techniques the martensitic phases present only in the deformed steels are observed.

Keywords.

Mechanical deformation, martensite, austenite, mechanical properties, stainless steel, electrical resistivity, magnetism

Introducción

En la actualidad el principal problema es que los aceros Austeníticos presentan bajas propiedades de mecánicas, resistencia a la corrosión, tenacidad y otras, para ser usados en algunas aplicaciones de alta exigencia mecánica, se espera que con los procedimientos de deformación mecánica, las propiedades mecánicas como la dureza, la tenacidad y la de resistencia a la corrosión, aumenten en los aceros AISI 301.

Para comprender el mecanismo de transformación de fase de la Austenita a martensítica, por procedimientos diferentes a temple, tales como es el proceso de deformación mecánica por tracción, se hace necesaria una evaluación de este cambio de fase por técnicas metalográficas, pruebas de resistividad eléctrica y ensayos mecánicos en tracción y en dureza (Morito Et al 2006); (Kitahara et al 2006)

Adicionalmente, con estos procedimientos es de esperar un mejor comportamiento en las propiedades mecánicas, tales como incremento de la dureza, mejor capacidad de embutido, variación en los valores de resistividad eléctrica, así mismo se observa por las técnicas metalográficas y macrografías la aparición de la fase martensitica, lo cual comprueba la hipótesis "Que es factible obtener una fase martensitica por deformación mecánica en tracción en el acero austeníticos inoxidable AISI 301".(Talonem & Hanninen, 2007)

En el ámbito ambiental, el tratamiento por deformación mecánica y por enfriamiento del material, no se generan impactos ambientales porque son reciclables.

Estos tratamientos permiten obtener materiales con mejores propiedades mecánicas y hace posible que el uso de los mismos sea más general y la sociedad se beneficia por su utilidad, lo cual nos hace posible plantear la hipótesis que se puede obtener martensita por deformación mecánica en tracción de un acero inoxidable AISI

301 evaluando estos cambios de fase por resistividad eléctrica, campos magnéticos, ensayos de dureza, metalografía y microscopía electrónica. (Torres et al 2013)

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la transformación martensitica por deformación mecánica en tracción en el acero inoxidable AISI 301 por métodos experimentales

Objetivos específicos

Realizar el ensayo esfuerzo - deformación en el acero austenitico AISI 301 para producir su deformación en tracción a temperatura ambiente

Evaluar los cambios de resistividad eléctrica de los aceros AISI 301 deformados mecánicamente en tracción

Evaluar las variaciones de los campos magnéticos de los aceros AISI 301 deformados en tracción a temperatura ambiente

Evaluar la dureza del acero AISI 301 antes y después del proceso de deformación

Analizar metalográficamente el acero AISI 301 deformado mecánicamente, empleando microscopia óptica y técnicas metalográficas

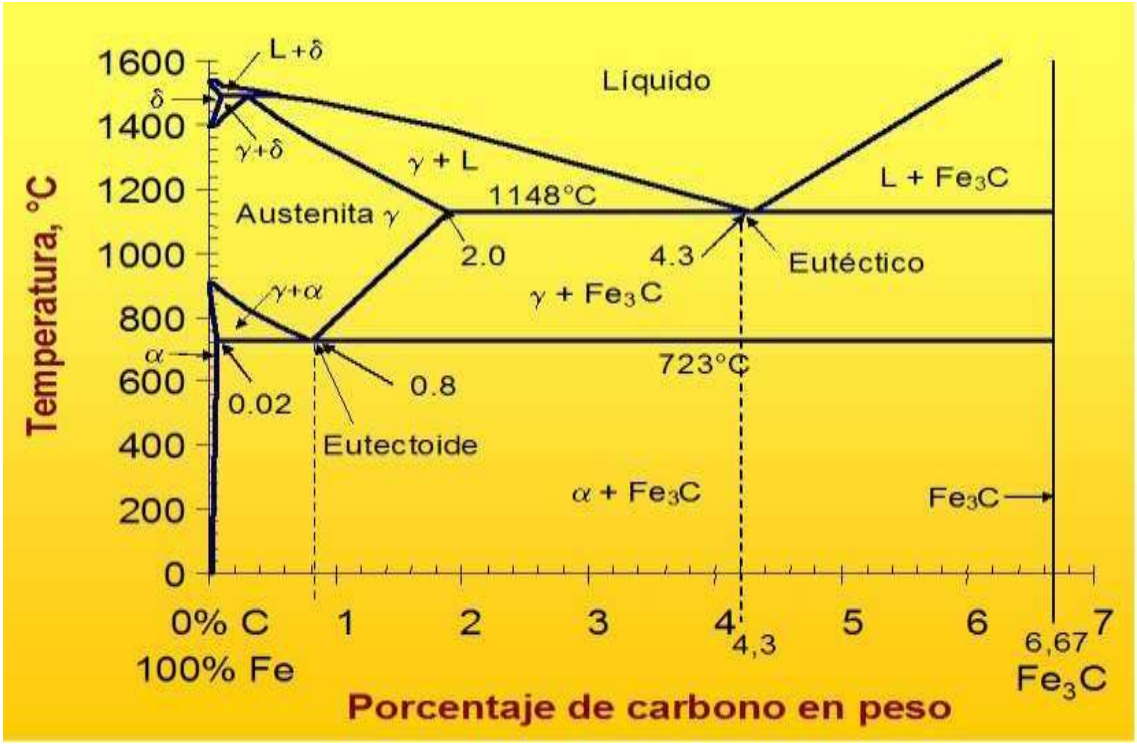
Evaluar la morfología en la rotura de las estructuras producidas por deformación mecánica de los aceros inoxidables AISI 301 mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1. Aceros inoxidables

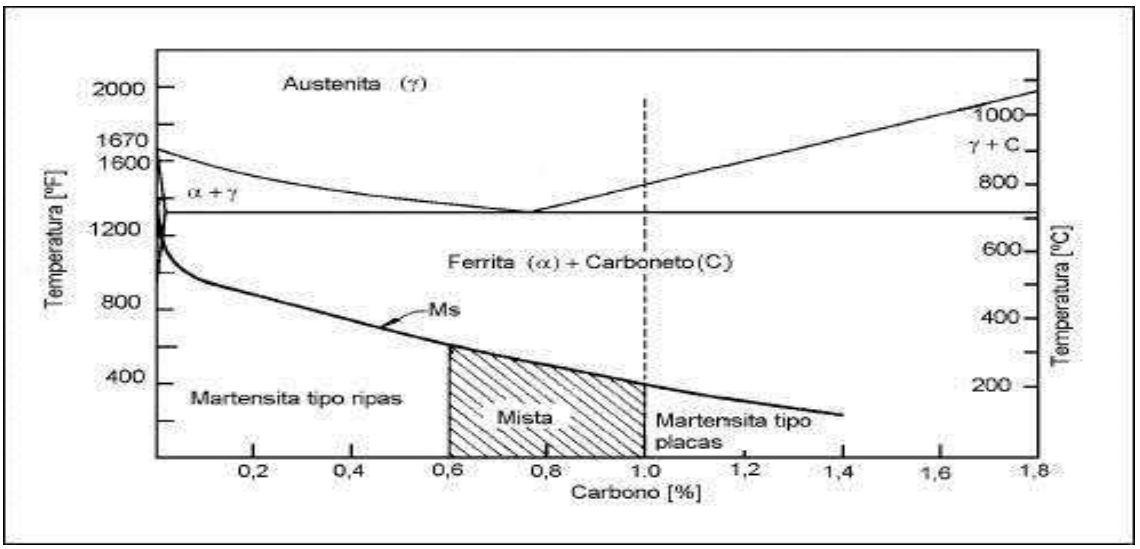
Los aceros son aleaciones base hierro con un contenido de carbón menor al 2.11 % en peso, como podemos apreciar en el diagrama de la figura 1. Para que un acero se considere como acero inoxidable, estos deben poseer una concentración mayor al 10.5% de Cromo, adicionalmente suelen estar presentes otros elementos como el níquel, el molibdeno, el manganeso, el silicio, y algunos otros. (Sacre, 2012)

Figura 1. El diagrama binario de Fe-C



Fuente: https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/Imagenes/Fig13-1.jpg

Figura 2. Intervalos de formación de la martensita tipo entramas y tipo placa



Fuente: https://www.monografias.com/trabajos87/aspectos-tener-presente-revenido-aceros/aspectos-tener-presente-revenido-aceros.shtml

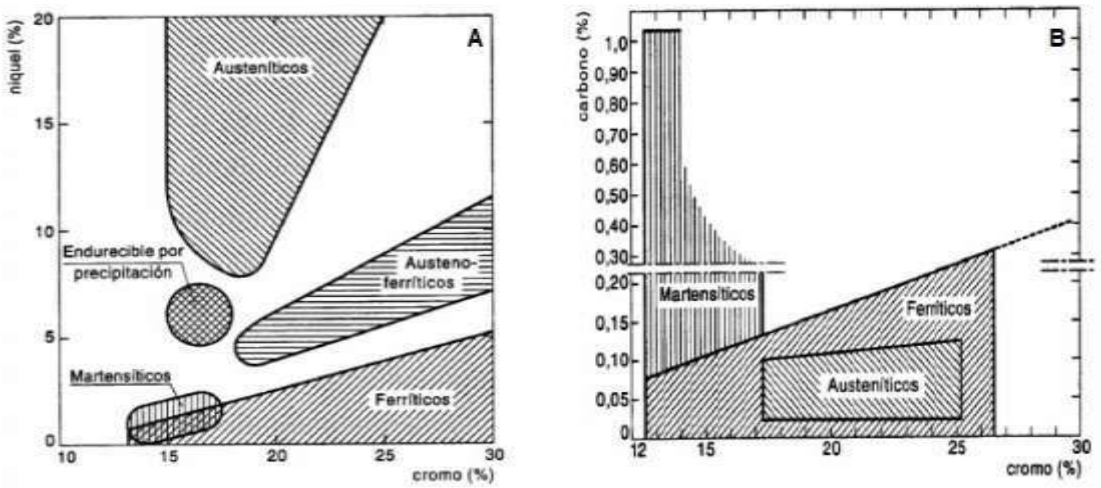
Los aceros inoxidables resisten muy bien a la corrosión; esto es por su capacidad de pasivarse en presencia del oxígeno formando Oxido de Cromo, en forma de una película superficial fina que recubre a toda la superficie del acero. Esta película de óxido de cromo está muy bien adherida al acero y es extremadamente protectora para una amplia gama de medios corrosivos, actuando como un blindaje protector, esta se regenera rápidamente en presencia del oxígeno, (Sacre, 2012)

1.2. Clasificación de los aceros inoxidables

Los aceros inoxidables, presentan un contenido mayor de 10.5% de Cr y por el contenido de sus aleantes presentes, se pueden clasificar en cinco diferentes tipos. austeníticos, ferríticos, Martensíticos, dúplex y las aleaciones por precipitación (ANFOR, 1995)

En la figura 3. Se puede apreciar los cinco tipos de aceros inoxidables, cuatro de estos tipos se basan más en la estructura cristalina de cada una de las aleaciones, (austeníticos, ferríticos, Martensíticos, y dúplex); y el quinto tipo de acero inoxidable que su clasificación se basa más en el tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina y es así como tenemos el quinto tipo de acero inoxidable que serían las aleaciones endurecidas por precipitación,

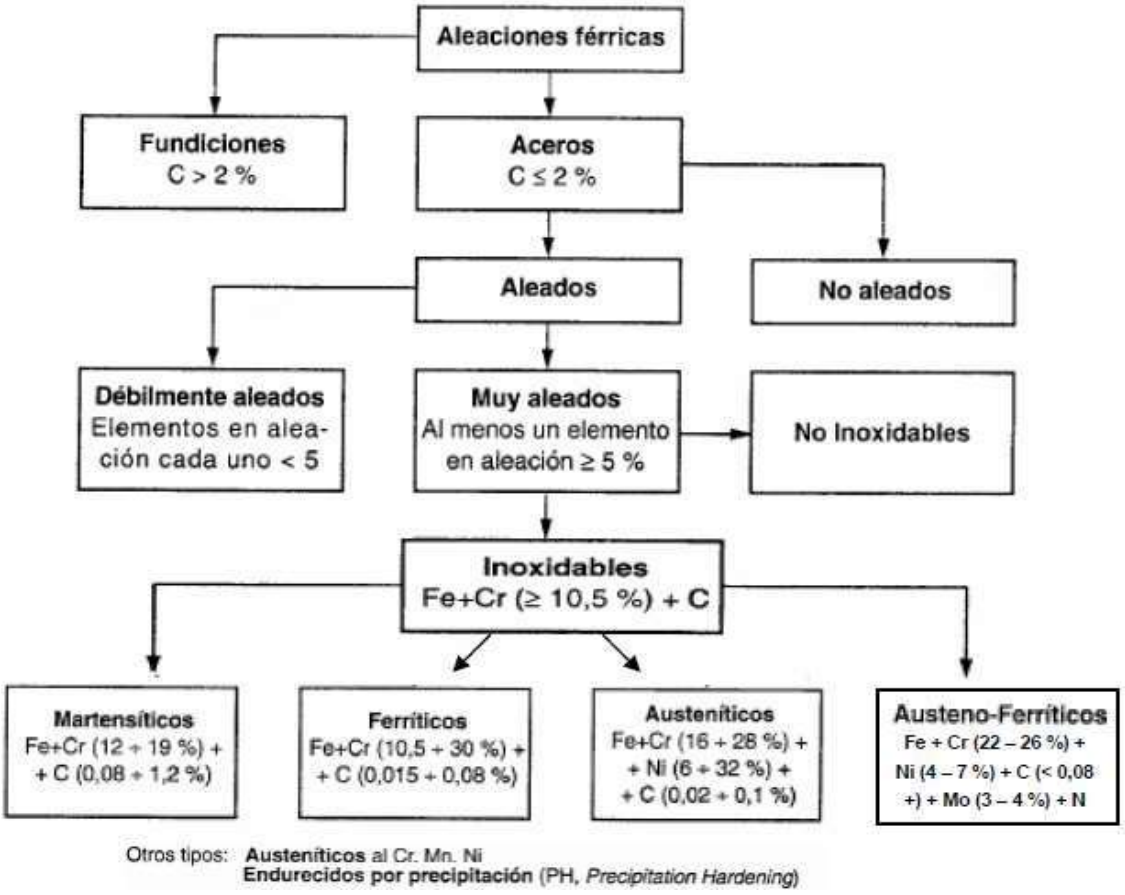
Figura 3. Tipos de Aceros Austeníticos



A. zona predominantemente de las fases con respecto al contenido de cromo y níquel B. zona predominantemente de las fases con respecto al contenido de cromo y carbono (Sacre, 2012)

La figura 3 describe la clasificación de los aceros en general. En ella podemos apreciar que para ser considerados como aceros el porcentaje de carbono tiene que ser muy bajo y luego depende de la cantidad de los aleantes principales que son el cromo, el níquel.

Figura 4. Clasificación de las aleaciones férricas



Fuete: (Hoepggner, 2008)

1.2.1. Aceros Inoxidables Martensíticos

Son aceros inoxidables con un contenido en carbono relativamente alto de 0.2 a 1.2%, (el más alto de todos los demás inoxidables) y el porcentaje de cromo en un rango de 12 a 18%, presentan las propiedades mecánicas más altas que los otros tipos de inoxidables, pero tienen menos resistencia a corrosión ya que por tener comparativamente mayores concentraciones de carbono tienden a formar carburos de Cromo, lo que disminuye la capacidad de la formación de la capa pasivante de óxido de cromo en la superficie, debido a esto se debe aumentar el porcentaje de cromo para compensar la formación de carburos A temperaturas elevadas, la estructura

inicialmente austenitica se vuelve fácilmente martensítica, esto por temple, gracias al alto contenido en cromo que permite incrementar la templabilidad del acero (baja la Ms), así desplaza las curvas TTT (Tiempo Temperatura Transformación) fuera de las zonas de transformación perlítica y bainítica, creando una estructura resultante totalmente martensítica, la transformación de fase se da por cizalladura de los planos cristalinos bloqueando los átomos de carbono y evitando entonces la formación de los carburos de cromo. Estos aceros son ferromagnéticos, tienen altos valores de dureza gracias a los importantes contenidos en carbono y son fáciles de maquinado. (Hoepggner, 2008)

1.2.2. Aceros Inoxidables Ferríticos

Estos aceros ferríticos son aleaciones básicamente hierro-cromo-carbono, y tienen carácter magnético, poseen una menor cantidad de carbono que los Martensíticos y son parcialmente o no endurecibles, contienen, un mayor porcentaje de cromo al de los Martensíticos, esto mejora la resistencia a la corrosión, pero va en detrimento de propiedades mecánicas, como la resistencia al impacto, la pérdida de ductilidad en las regiones soldadas, que son frágiles y de menor resistencia a la corrosión, el elevado crecimiento del tamaño de grano, la formación parcial de martensita y la precipitación de carbonitruros de cromo, son las principales causas generadoras de este problema, entre sus aplicaciones, se puede mencionar: cubiertos, vajillas, cocinas, piletas, monedas, revestimientos, mostradores frigoríficos. Con la introducción de níquel como elemento de aleación, mejoran estas propiedades, por tener la posibilidad de cambiar de una estructura ferrítica hacia austenitica. (López Quimes, 2008)

1.2.3. Aceros Inoxidables Austeníticos

Existen dos tipos de aleaciones calificados de aceros inoxidables austeníticos: la aleación Cr-Ni y la Cr-Mn-Ni. Presentan una estructura cristalografía cubica centrada en las caras (FCC), son muy dúctiles, no son magnéticos, algunos pueden transformarse a martensita por deformación y otros no se transforman ni a -196°C. Estos se llaman inoxidables austeníticos metaestables. Existen dos tipos de aceros inoxidables austeníticos metaestables, los de baja aleación que se pueden transformar a martensita por deformación, y los de alta aleación que no se transforman a martensita por deformación.

Sin embargo, al endurecer por deformación en frío, la estructura de los aceros inoxidables austeníticos metaestables cambia pasando de austenita a martensita y se convierten parcialmente en magnéticos. (López Quimes, 2008)

1.2.4. Aceros inoxidables Austeníticos metaestables

Estos aceros tienen buena resistencia a la corrosión y buenas características mecánicas (se alteran por la transformación martensitica por deformación).

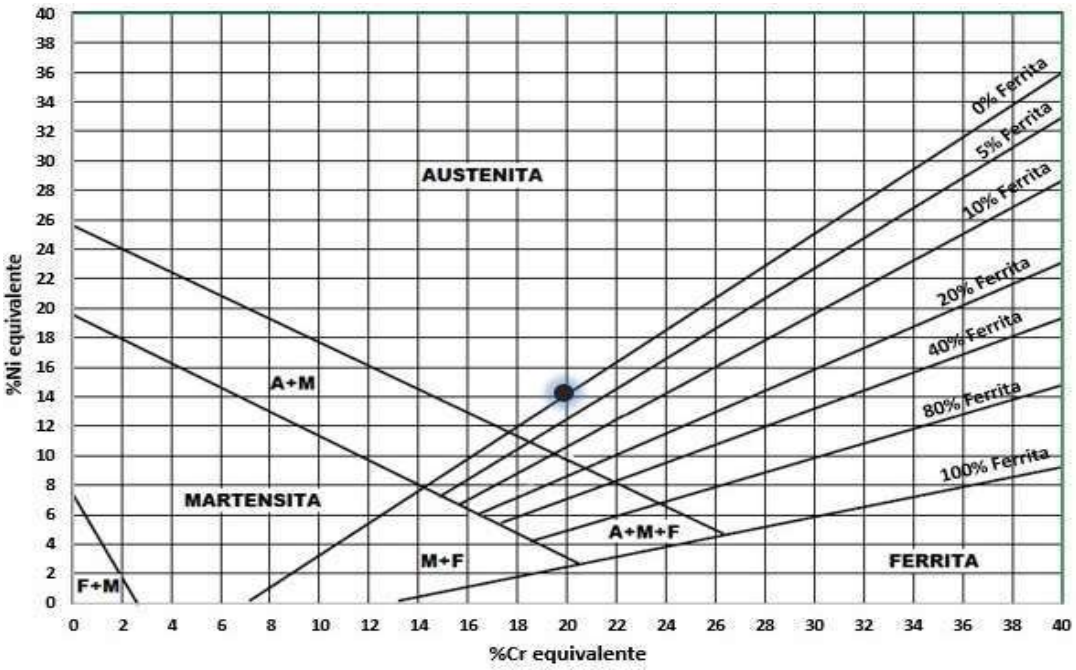
Tienen una estructura austenitica en la condición de recocido, pero se transforman parcialmente a martensita durante la deformación. La transformación de austenita a martensita crea una estructura de material compuesto que provoca un efecto de endurecimiento por deformación. Se utilizan principalmente en aplicaciones que requieren muchas operaciones de conformado, debido a su excelente ductilidad, están presentando interés debido a la combinación tanto de su gran deformabilidad y su alta resistencia después del conformado. Debido a su fuerte endurecimiento, permiten utilizar espesores de chapa menores en partes estructurales de la carrocería de vehículos de transporte llegando a reducciones de peso del 40 % .(El Ouali, 2013)

La principal desventaja es que las características mecánicas son imprevisibles, para predecir las características después del conformado y en servicio es necesario conocer la cantidad de martensita formada durante el conformado. Schaeffler y Delong han establecido en un diagrama que lleva su nombre y la influencia de los elementos alfágenos y gammágenos en la formación de los diversos tipos de aceros inoxidables. Este diagrama considera los elementos alfágenos en cromo equivalente, Cr(eq) y lo mismo para los elementos gammágenos en níquel equivalente Ni(eq). (El Ouali, 2013) Estos valores se calculan así:

$$\%Cr_{eq} = \%Cr + 5.5(\%Al) + 2(\%Si) + 1.75(\%Nb) + 1.5(\%Ti)$$

$$\%Ni_{eq} = \%Ni + \%Co + 30\%(\%C) + 25\ (\%N) + 0.3(\%Cu) + 0.5\ (\%Mn)$$

Figura 5. Diagrama de Schaeffler



Fuente : https://www.seas.es/blog/produccion-mantenimiento/uso-del-diagrama-de-shaeffler- para-el-soldeo-de-inoxidables/

En este diagrama se puede ver que los aceros austeníticos de baja aleación se encuentran más o menos en la zona superior izquierda. Esta zona es cerca de la zona de la martensita, y este grado se llama acero inoxidable austenítico

metaestable, que puede transformarse en martensita por deformación. Los aceros austeníticos de alta aleación son más estables pero no pueden transformarse en martensita durante la deformación. (El Ouali, 2013)

1.3. Influencia de los elementos de aleación

Se han desarrollado muchas aleaciones de acuerdo al tipo de aplicación, que responden a usos específicos, este desarrollo se basó en la influencia aislada o combinada de los aleantes sobre las propiedades del acero.

Los elementos gammágenos o estabilizadores de la fase gama son el carbono, níquel, manganeso, nitrógeno y cobre

El carbono, es fuertemente gammágeno, ayuda a estabilizar la austenita durante la deformación en frio. Pero tiene una gran afinidad con el cromo y puede formar carburos de cromo inter granulares

El níquel estabiliza la austenita tanto a bajas temperatura como a la temperatura ambiente favorece el procesamiento por deformación plástica.

El manganeso está clasificado como gammágeno por debajo del 7%, pero se vuelve alfágeno a tenores superiores a 7% reforzando la resistencia a la figuración en caliente durante solidificaciones rápidas (soldaduras).

El nitrógeno es un gammágeno poderoso, contribuye a estabilizar la austenita baja en carbono, permite alcanzar altos valores de limite elástica sin disminuir la resistencia a la corrosión intergranular.

El cobre promueve la estructura austenitica y aumenta la resistencia a la corrosión en presencia de ciertos ácidos.

Los elementos alfágenos o estabilizadores de la fase alfa α son: cromo, molibdeno, fosforo, azufre, aluminio, cobalto, silicio, vanadio, titanio

Cromo: Elemento de base de los aceros inoxidables, aumenta la resistencia a corrosión (salvo en medio sulfúrico) y la resistencia a oxidación a altas temperaturas.

Molibdeno: Es un elemento que aumenta la resistencia mecánica en caliente de los aceros austeníticos, incrementa la templabilidad y la resistencia a fluencia, disminuye el efecto oxidante necesario para la formación de una capa pasiva y la tendencia a la rotura de la capa pasiva ya formada, aumentar la resistencia a la corrosión por picadura.

Fósforo: Aumenta fuertemente la templabilidad, contribuye en la resistencia a la corrosión, pero puede causar una fragilidad del material durante el revenido

Azufre: Se añade en ciertos aceros inoxidables para mejorar la mecanización. Reduce sustancialmente la resistencia a la corrosión, ductilidad y propiedades de fabricación como la soldadura y procesos de deformación.

Aluminio: Mejora la resistencia a la oxidación impide la formación de burbujas y segregación en procesos de moldeo. El aluminio forma inclusiones de alúmina que se colocan en los bordes de granos limitando mecánicamente el crecimiento de los granos lo que aumenta la resiliencia del material de manera significativa.

Cobalto: Este elemento no tiene ningún efecto de endurecimiento, pero aumenta aleante que no aumenta la dureza del material después de un temple, hay que recurrir a velocidades de enfriamiento más altas. Este elemento es lo que permite al acero resistir al efecto del revenido. La desventaja del cobalto es que forma carburos durante el trabajo en caliente del acero.

Silicio: Mejora las propiedades de empleo en altas temperaturas, pero disminuye la resistencia a fisuradurante la soldadura.

Vanadio: como el cromo, el vanadio permite incrementar la templabilidad del acero. Así mismo, es posible conseguir efectos de sinergia muy importantes

cuando cromo y vanadio se utilizan combinados en lugar de por separado. El vanadio inhibe el crecimiento de granos durante el tratamiento térmico, al mismo tiempo que mejora la tenacidad de los aceros revenidos y endurecidos.

Titanio y Niobio: Tienen una gran avidez por el carbono, así forman carburos de titanio y de niobio preferencialmente, evitando la formación de carburos de cromo que harían perder inoxidabilidad al acero (El Ouali, 2013)

Tabla 1 Elementos alfagenos y Gammagenos

Elementos	
Alfágenos	Gammágenos
Cromo	Carbono
Molibdeno	Níquel
Fosforo	Manganeso <7%
Azufre	Nitrógeno
Aluminio	Cobre
Cobalto	
Silicio	
Vanadio	
Titanio	
Niobio	

Fuente: Elaboración propia

Los aceros inoxidables austeníticos contienen generalmente entre 0,02 y 0,10 % de carbono, 17 a 20 % de cromo, 7 a 25 % de níquel y 2 a 5 % de molibdeno.

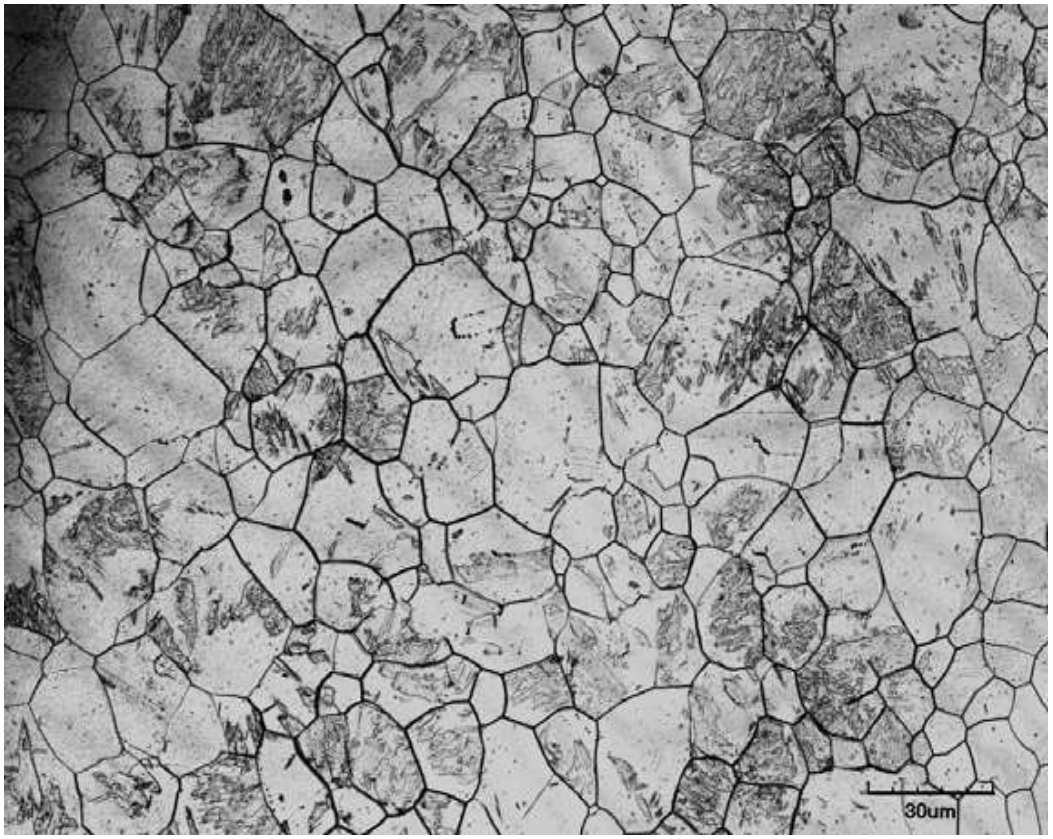
Por deformación plástica la austenita puede transformarse parcialmente en una estructura martensítica tetragonal, llamada martensita α'.

1.4. Microestructura

Los aceros austeníticos inoxidables tienen una microestructura compleja y por lo general se hace un temple sobre estos aceros para impedir la precipitación de fases no deseables, lo cual genera una estructura austenitica con poca densidad de dislocaciones, sin embargo, muchos carburos y fases intermetálicas pueden ser presentes y la austenita

puede ser parcialmente transformada en dos diferentes tipos de martensita épsilon y alfa. (Hedström, 2005)

Figura 6. Microestructura bifásica - Aparición de martensita (agujas sombras) en una matriz Austenitica

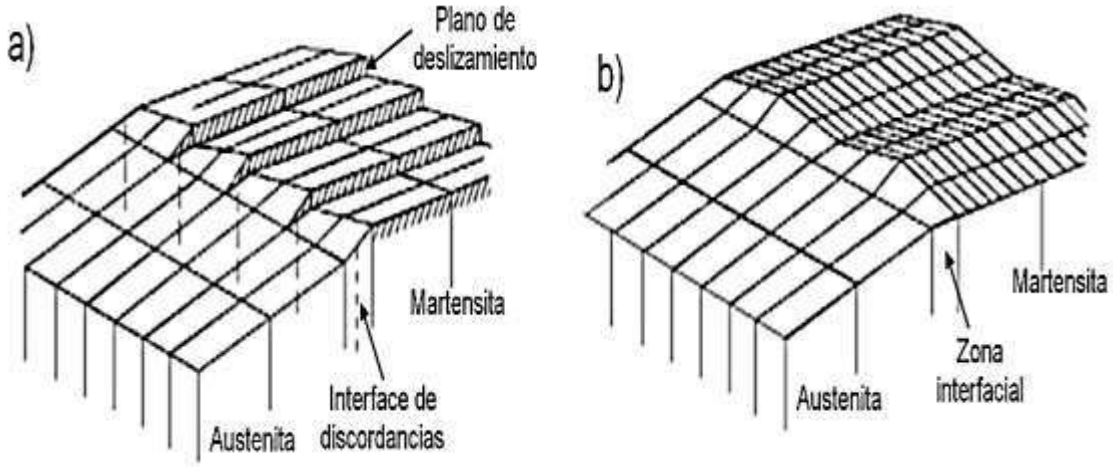


Fuente: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19629/Memoria_aicha_ELOUALI.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y

1.5. Morfología de la martensita

la martensita, se puede presentar como listones o placas (Christian, 1970). Estas microestructuras presentan en su interior una alta densidad de dislocaciones (Fig. 5a) o maclas (Fig. 5b), las cuales se denominan subestructura.(MA & Pond, 2008).

Figura 7. Modelo de la estructura de la intercala martensita-fase madre

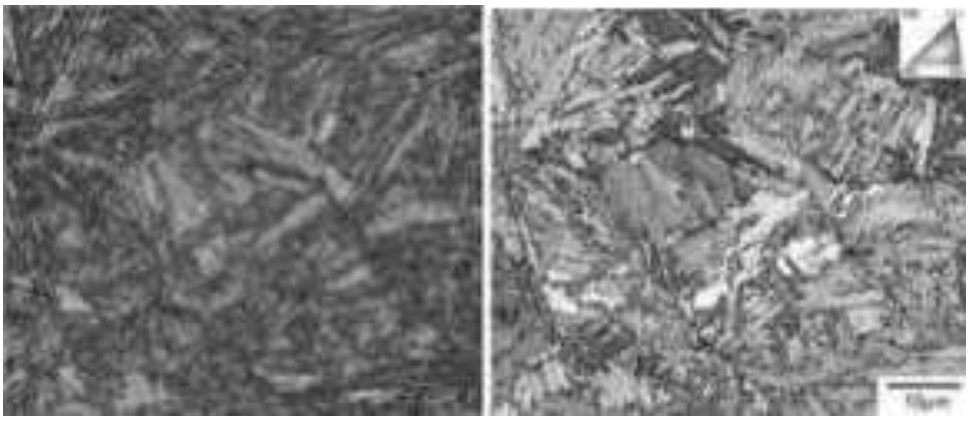


. Fuente: Christian, 1984 a) Martensita deslizada. b) Martensita maclada.

Por otro lado, la interface entre la martensita y la fase madre tiene la capacidad de moverse fácilmente a temperaturas menores a 200 ºC, además de desplazarse a velocidad alta, comparada con las velocidades de las intercaras en transformaciones por difusión. La martensita se puede presentar de las siguientes maneras:

Martensita en Listones. se asemeja a cilindros esbeltos agrupados en paquetes, como registra la Fig. 6a, donde cada listón del paquete tiene el mismo plano de hábito y relaciones de orientación (Morito et al., 2006)

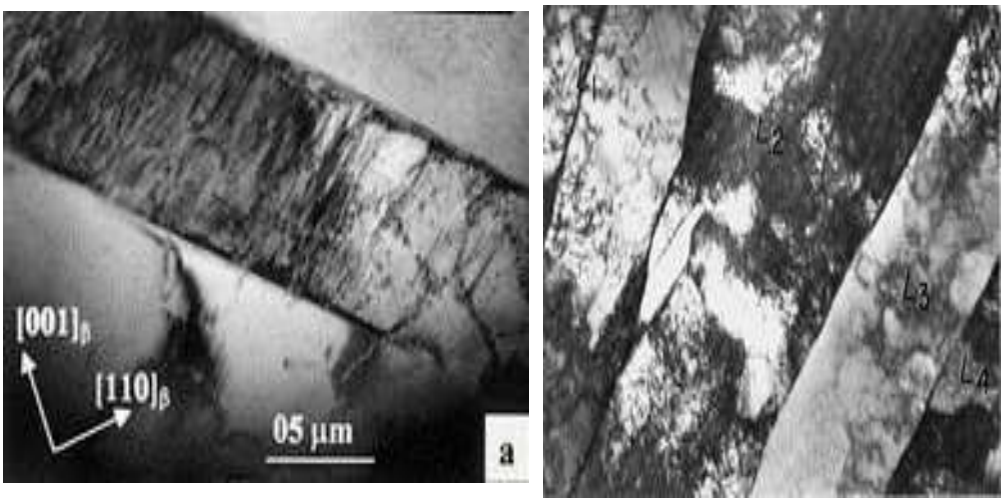
Figura 8. Martensita a listonada



Fuente: (Kitahara et al., 2006) a) Figura de calidad de imagen (IQ), b) Figura invertida de polo.

Como se muestra la Fig. 9 a, el interior de los listones presenta una subestructura con alta densidad de dislocaciones, entre 0,3 y 0,9 x 1012 cm/cm3. (Kitahara et al., 2006). El crecimiento en forma de paquetes obedece a la baja deformación de la matriz producida por cada listón, lo cual permite el crecimiento adyacente y paralelo de listones vecinos (Fig. 9).

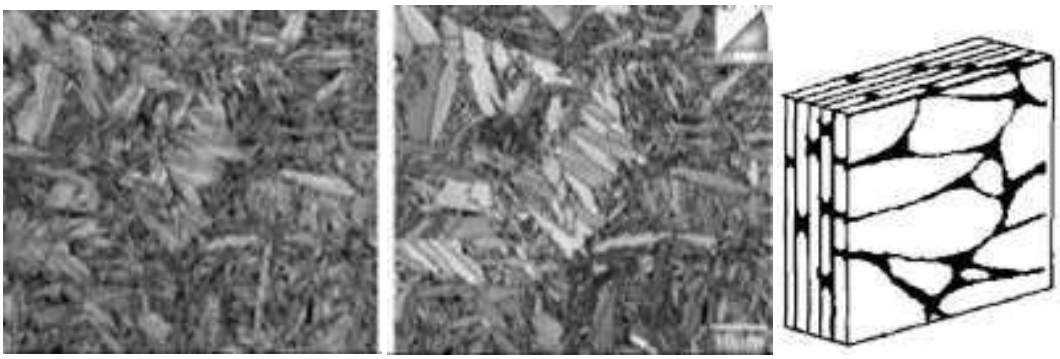
Figura 9. Micrografía de TEM martensita en listones



Fuente: (Condó & & Lovey, 2001) en a) una imagen de campo claro de un monocristal con Cu 6,4 at. % y Zn 23, 5 at. %. b) un acero al C-Mn mostrando dislocaciones en cuatro listones de martensita.

Las placas de martensita son microestructuras semejantes a lentes (Fig. 5a) que se producen tanto en aleaciones ferrosas, como en no ferrosas y cerámicos. Las placas, a diferencia de los listones, aparecen en distintos tamaños y direcciones (Fig. 8b-c), como resultado de su crecimiento en la fase madre justo hasta el encuentro con un límite de grano u otra placa que se interponga en su crecimiento ((Yue-jun et al., 2006)). La forma lenticular se atribuye a las restricciones impuestas por la matriz, la cual se resiste al cambio de forma producto de la transformación de fase (Wayman & Watanabe, 1971) (Kitahara et al., 2006)

Figura 10. Imágenes de FE-SEM/EBSD de placas de martensita en una aleación Fe con 28,5. % Ni.

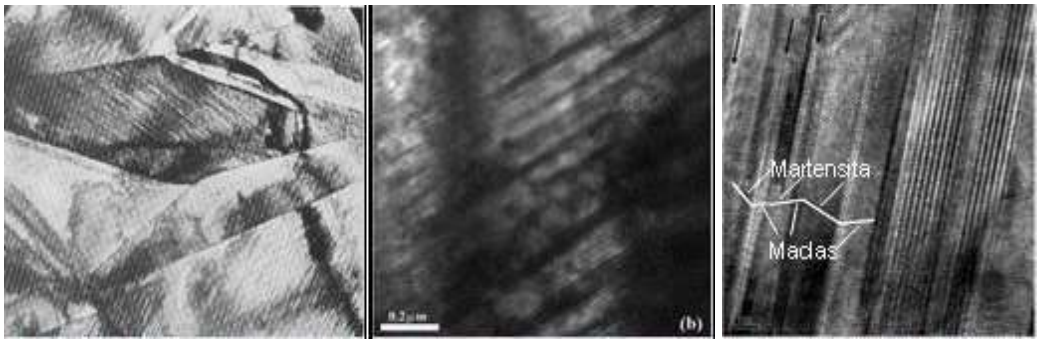


Fuente: Yue-jun *et al.*, 2006,

a) Calidad de imagen, b) figura invertida de polo. Fuente: Kitahara *et al.*, 2005, c) Esquema 3D de la distribución de las placas.

La martensita en placas presenta una subestructura de maclas paralelas (Fig. 11a-b) espaciadas de 5 a 10 nm ((Clancy et al., 2012)), como se observa en la Figura. 9 c, las cuales no se extienden fuera de las placas, pero degeneran en un complejo arreglo de dislocaciones en la interface (Habraken & de Brouwer, 1967).

Figura 11. Martensita maclada



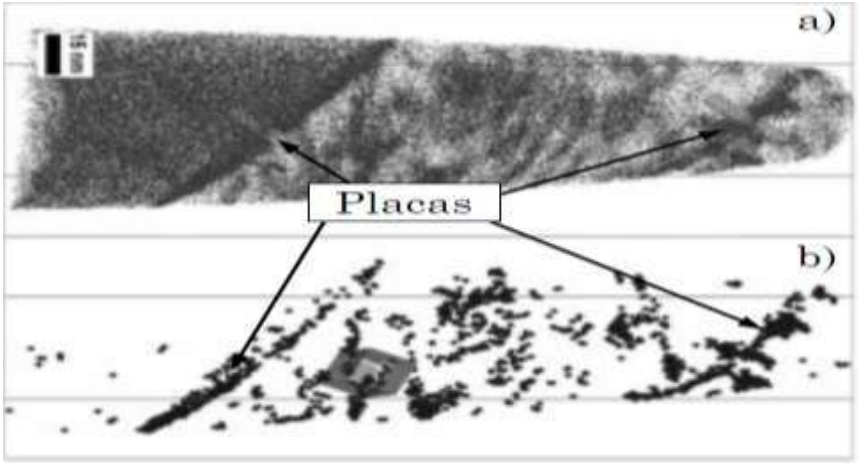
Fuente: (Shen et al., 2012)

. a) Maclas en placas de martensita en la aleación Fe-33,4 % Ni. Fuente: Habraken & Brouwer, 1967, b) Imagen de micro maclas en la aleación Ni - 40 at. % Al - 15 at. % Pt. Fuente: Clancy *et al.*, 2012, y c) Maclas en un acero inoxidable 304SS durante la transformación a martensita épsilon.

1.6. Generalidades de la cinética de la transformación martensítica

La transformación martensítica es un mecanismo no difusivo para la transformación de fases en estado sólido, donde las fases madre y producto tienen la misma composición, como fue evidenciado por (Lerchbacher et al., 2012), quienes determinaron la distribución del carbono dentro de la estructura (Fig. 12).

Figura 12. Distribución del carbón en las placas



Fuente: Adaptado de Lerchbacher *et al.* (2012)

. a) Mapa de distribución del carbono en un acero X38CrMoV5-1 determinado por reconstrucción espacial por espectroscopia de masa. b) Representación gráfica delos clúster de carbono en la muestra.

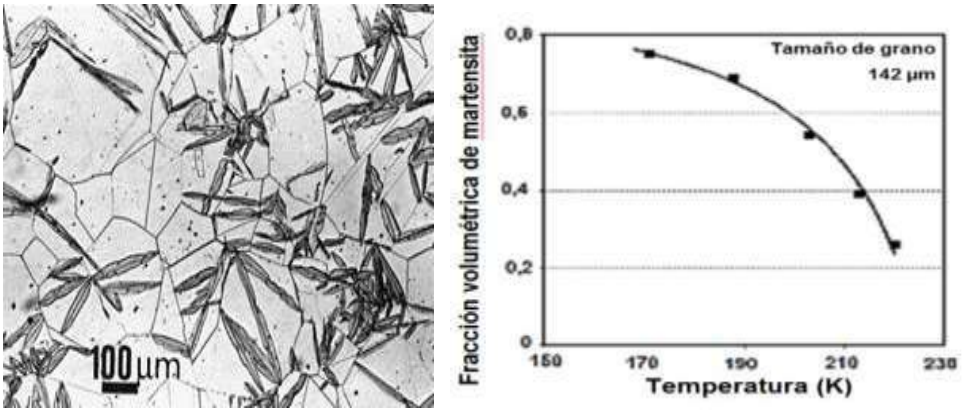
La conservación de la composición química no implica la necesidad de temperaturas bajas (por debajo de temperatura ambiente) o altas velocidades de enfriamiento.

La ausencia de difusión en la transformación martensítica es remplazada por el movimiento "*cooperativo*" de los átomos. Como se mencionó, la intercara se desplaza a alta velocidad, alrededor de los 105 cm/s Según su cinética, estas transformaciones se pueden clasificar como atérmicas e isotérmicas.

1.6.1. Martensita Atérmica

Estas martensita (Fig. 13 a) corresponden a placas que comienzan a transformase después de un enfriamiento por debajo de la temperatura de inicio de la transformación (Ms), pero su progreso solo se da si la temperatura es reducida continuamente hasta la temperatura de fin de la transformación (Mf). Por lo tanto, la fracción volumétrica de fase madre transformada a martensita es función únicamente de la temperatura (Wayman & Watanabe, 1971),(Günera et al., 2008)

Figura 13. Martensita atérmica en una aleación Fe-Ni-C



Fuente: (Guimaraes, 2008)

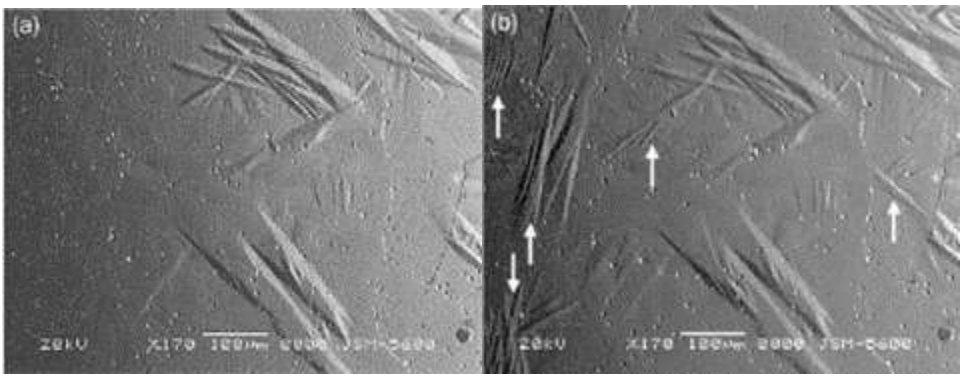
. a) Imagen de MO de la estructura, b) curva fracción volumétrica de la transformación.

1.6.2. Martensita Isotérmica

En algunas aleaciones, al sostenerse la temperatura en el rango Ms - Mf, la fase martensítica continúa generándose; por lo tanto la cantidad de martensita formada es función del tiempo de sostenimiento. Estas martensitas poseen curvas TTT y la típica curva en C, similar a la descrita por la ley de Avrami (Bowles & Mackenzie, 1954).

Un ejemplo es el de las aleaciones Fe-Ni-Cr (Fig. 14), donde las placas producto de la transformación isotérmica están indicadas con flechas en la Fig. 9b.

Figura 14. Formación de martensita en una aleación Fe- 32 % Ni - 0,4 % Cr



. Fuente: (Günera et al., 2008) a) Martensita atérmica, b) Martensita isotérmica.

1.7. Nucleación martensitica

La teoría de la nucleación para la transformación martensítica no está completamente desarrollada; a pesar de esto, se ha establecido varios modelos, algunos de los cuales aún tienen vigencia.

Uno de los primeros se desarrolló alrededor de la teoría clásica de la nucleación homogénea, pero los resultados obtenidos reñían con los datos registrados experimentalmente. La explicación de este modelo y el cómo se descartó, al compararlo con datos experimentales, es descrito por (Porter.D.A & Easterling, 1992). Como resultado de lo anterior, los modelos, a partir de esa fecha, se desarrollaron con base en la nucleación heterogénea en sitios preferenciales como dislocaciones y/o campos de esfuerzos internos. A pesar de la nucleación ser considerada heterogénea se descartaron los límites de grano como sitios preferenciales, ya que estos dificultan el desplazamiento coordinado de los átomos; además los núcleos claramente no se forman en las interfaces sino al interior de los granos

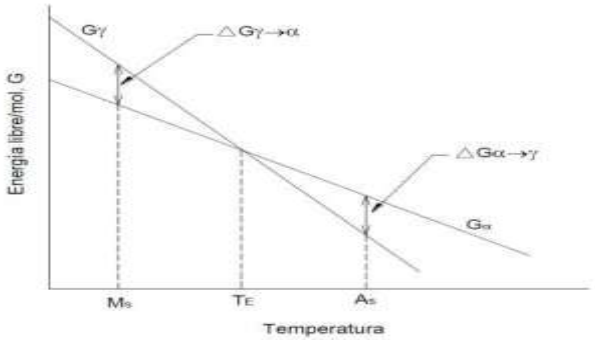
Hasta la fecha, el modelo más aceptado de nucleación, durante la transformación martensitica fue establecido por Olson y Cohen, el cual sugiere la pre-existencia de un arreglo de dislocaciones en los planos compactos de la estructura, los cuales se disocian generando fallas de apilamiento, siendo éstas los núcleos para la transformación (Olson

& Cohen, 1976) . Con base en este modelo fueron perfeccionados nuevos sistemas matemáticos que predicen la transformación en 2D y 3D, basados en la distribución de los de-fectos y la distribución local de esfuerzos en la matriz

Características Térmicas

Un concepto fundamental para el estudio de transformaciones de fase es el de energía libre de Gibbs (| G). Esta se define como la energía capaz de efectuar trabajo a medida que el sistema tiende al equilibrio, a presión y temperatura constantes. Cuando la temperatura en la aleación es inferior a la temperatura de equilibrio TE (Fig. 15), la energía libre de Gibbs de la martensita es menor a la de la fase madre. Sin embargo, sólo cuando la temperatura es menor a la de inicio de la transformación (Ms), se produce la transformación de fase.

Figura 15. Diagrama de la energía libre de Gibbs para la transformación de austenita en martensítica



Fuente: Adaptado de Bowles & Mackenzie Ms y As corresponden a las temperaturas de inicio de la trasformación martensítica y austenitica.

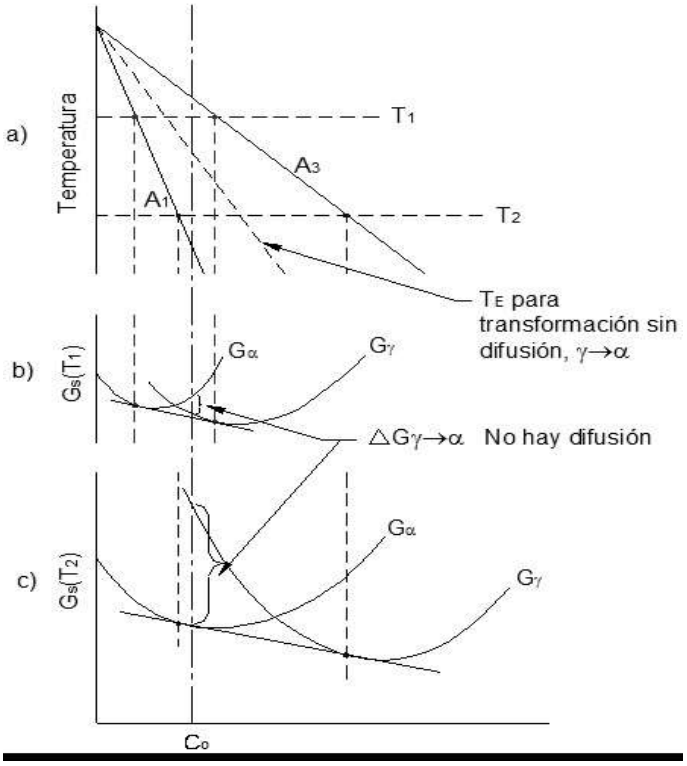
La fuerza impulsora de la transformación se expresa como 〖ΔG〗_Ms^(γ→α') la cual representa el cambio en la energía libre al pasar de γ a α' a la temperatura Ms . y es directamente proporcional al sub-enfriamiento y se relaciona con el cambio en la energía libre, donde el cambio total de energía libre se expresa matemáticamente como

〖ΔG〗_^(γ→α') Diferencia de energía libre entre la fase madre (γ) y la martensita (α')

〖ΔG〗_Q^(γ→α') Cambio de energía química asociado a la transformación γ—α' proporcional a la martensita.

〖ΔG〗_NQ^(γ→α') Cambio en la energía libre no química que se opone a la transformación (energía elástica y superficial)

Figura 16. Análisis energético para una aleación con composición Co,



Fuente: Adaptado de Bowles and Mackenzie, 1954 a) Parte superior del diagrama de fases Fe-C, b) Curva de energía libre de Gibbs contra composición química a la temperatura T1 y c) T2.

En este caso, como la transformación martensítica es no difusional, la composición de las fases madre y producto es la misma (Co). Considere una temperatura de partida T0 en la región austenítica, T1 y T2 como las temperaturas de enfriamiento, mientras TE es la temperatura de equilibrio en donde la energía libre de las fases madre y producto es igual

Si se producen dos enfriamientos diferentes: desde T0 a T1, y desde T0 a T2, para de-terminar los cambios durante cada uno de ellos, se emplean las curvas de energía libre contra composición de la Fig. 16 b y la Fig. 16 c.

En estas curvas se mide la variación de la energía libre para la composición Co en la fase madre (austenitica) y en la fase producto (martensita), la cual corresponde a la distancia definida como | G $\gamma \rightarrow \alpha'$ ´. Para T1 (Fig. 16 b) la energía libre de la fase producto (G alfa') es mayor que la de la fase madre (G gamma), inhibiendo la transformación $\gamma \rightarrow \alpha'$ sin difusión. Para T2 (Fig. 16 c) la fase de menor energía para la misma composición es □', entonces G□'<G□; por lo tanto, la transformación $\gamma \rightarrow \alpha'$ sin difusión es posible siempre y cuando el enfriamiento sea lo suficiente para disminuir drásticamente Gα

1.8. Efectos mecánicos

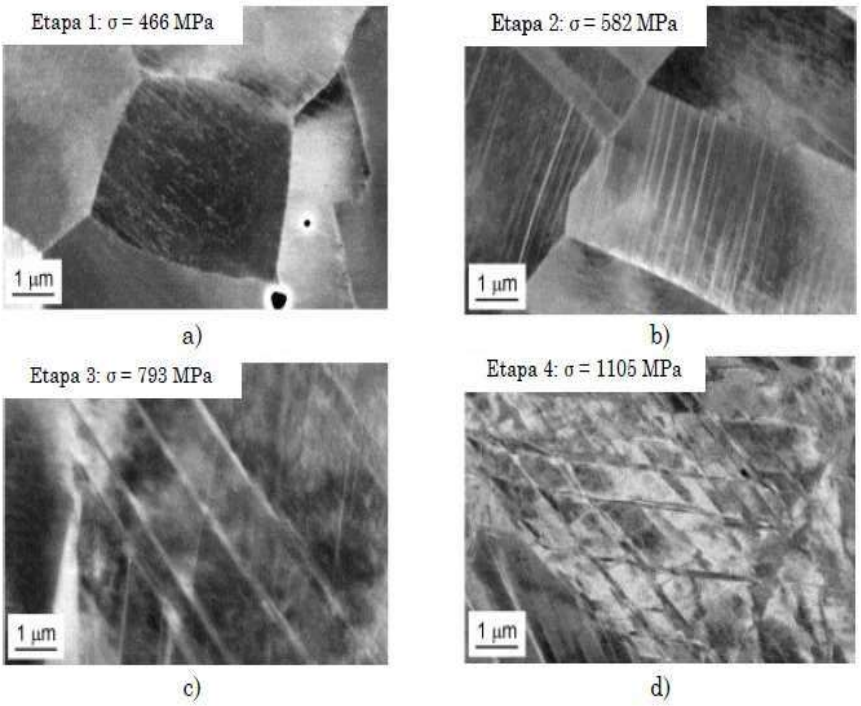
La transformación martensítica involucra un proceso de deformación descrito como una deformación plana invariante, la cual, en ocasiones, es favorecida cuando la trasformación es acompañada por esfuerzos externos.

En este caso se generan los fenómenos conocidos como transformaciones inducidas por tensión y deformación.

1.8.1. Martensitas Inducidas por Esfuerzos y por Deformación

Un ejemplo de esta transformación es la sufrida en los aceros inoxidables Austeníticos AISI 304 , (Talonen & Hanninen, 2007) mostrada en la Fig. 17. En esta secuencia se observa el crecimiento de placas de martensita a medida que el esfuerzo externo aplicado aumenta. Cuando se aplica un esfuerzo sobre la fase madre a una temperatura T1 entre Ms y TE , la fuerza impulsora mecánica ,$\Delta G_{Mec}^{\gamma \rightarrow \alpha}(T_1)$ debida al esfuerzo, es adicionada a la fuerza impulsora química , $\Delta G_{Q}^{\gamma \rightarrow \alpha}(T_1)$ como se presenta en (1). Entonces, la transformación martensítica da inicio cuando se alcanza un esfuerzo crítico donde la fuerza impulsora total ($\Delta G^{\gamma \rightarrow \alpha}$) iguala la energía de activación (Grosdidier & Philippe, 2000)

Figura 17. Evolución de la transformación martensítica inducida por deformación en un acero inoxidable AISI 304, deformado a temperatura ambiente, a una velocidad de 3 x 10-4 ms-1, para cuatro estados de tensión de



Fuente: (Talonen & Hanninen, 2007)

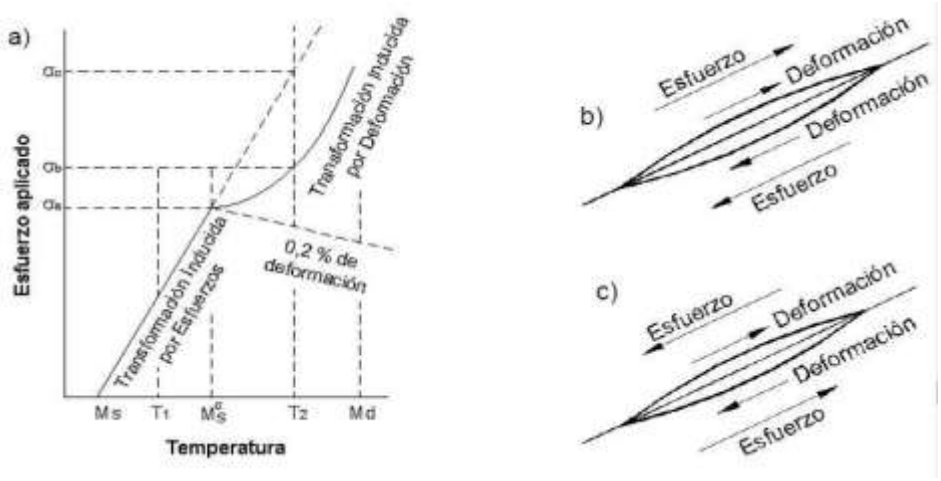
La fuerza impulsora mecánica es función del esfuerzo y de la orientación de la fase madre respecto a la dirección de mayores esfuerzos en el cristal. Ms corresponde a la temperatura de inicio de la transformación martensítica como consecuencia de la fuerza impulsora química, mientras Md es la temperatura por encima de la cual la fuerza impulsora química llega a ser tan pequeña que la nucleación de la martensita no puede producirse, inclusive con las sumas de la energía mecánica, aun en condición de régimen plástico. La Fig. 18 muestra como varía el esfuerzo crítico para iniciar la transformación

martensítica; además indica cómo cambia el mecanismo de trasformación pasando de

inducida por esfuerzo a inducida por deformación cuando se alcanza la temperatura.

Esta es la temperatura crítica para inicio de la transformación de la martensítica inducida por esfuerzos, siendo el esfuerzo necesario para esa condición igual a σ_a

Figura 18. Esfuerzo aplicado vs temperatura



Fuente: (Wayman & Bhadeshia, 1983) a) Diagrama esfuerzo-temperatura para la transformación martensítica asistida por esfuerzo y por deformación., b) Esquema de los esfuerzos que auxilian la transformación y c) los esfuerzos que la retardan

La martensita asistida por esfuerzos es aquella donde la transformación se ve favorecida por esfuerzo externos aplicados. En un poli cristal, cuyos granos presenten una orientación aleatoria, la región cuya orientación coincida con el máximo valor de ΔG_{Mec} será en donde primero se producirá la transformación (Fig. 18b), lo que redunda en el aumento de Ms; pero si en el grano los esfuerzos son contrarios a la dirección de cizallamiento de la transformación (Fig. 16c), estos se oponen al deslizamiento generado por la transformación martensítica, haciendo necesario un mayor enfriamiento, reduciendo la temperatura Ms . (Cueva, 1997)

A diferencia de las martensitas inducidas por esfuerzos, las inducidas por deformación plástica no son auxiliadas por el desplazamiento elástico de los átomos generado por el esfuerzo y sí por el aumento de los defectos cristalinos en la fase madre, en virtud del aumento en el número de sitios de nucleación, facilitando la transformación a temperaturas más elevadas. Como se observa en la Fig. 16a, entre Ms y M_S^{σ} la transformación martensítica es auxiliada por esfuerzos mientras que entre M_S^{σ} y M_d , el mecanismos es asistido por deformación (Torres et al., 2013)

CAPITULO II METODOLOGÍA

2.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación de tesis doctoral de llevo a cabo en el Laboratorio de Caracterización de Materiales de la Escuela de Ingeniería de Materiales, Edificio Antonio Raimondi de la Facultad de Ingeniería de Procesos. Universidad Nacional de San Agustín

Laboratorios de investigación del Departamento de Física. edifico de los hexágonos de la Facultad de Ciencias Naturales y Formales. Universidad Nacional de San Agustín

Centro de Microscopía Electrónica Departamento de Ingeniería de Materiales. Facultad de Ingeniería de Procesos.

2.2. Materiales

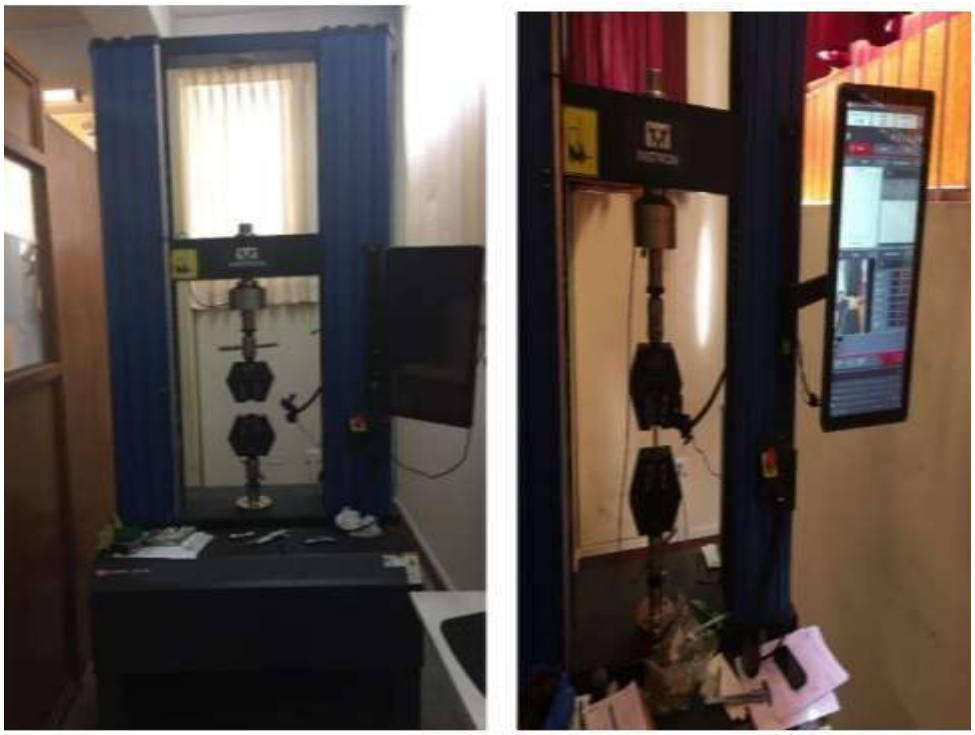
- Probetas estandarizadas de acero inoxidable AISI 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido
- Pasta de pulido metalográfico para la preparación de muestras metalográficas pasta de diamante para la preparación de muestras metalográficas
- Juegos de lijar para pulido metalográfico de 60, 200, 400 600 1000 para pulido metalográfico
- Resina acrílica metalográfica
- Juego de paños para pulido metalográfico hasta 0.1 micras

- Solución de visualización AV2 para aceros inoxidables austeníticos para microscopía óptica metalográfica (Ácido clorhídrico 100 ml, ácido nítrico 10 ml y agua destilada 100 ml)
- Software especializado en la máquina de detracción universal Blue Hill

2.3. Equipos

- Máquina de ensayo universales marca INSTRON potencia de 100 KNewton con toma de datos electrónico con el Software Blue Hill modelo modelo 23 100

Figura 19. Máquina de ensayos universales marca INSTRON modelo 23 100



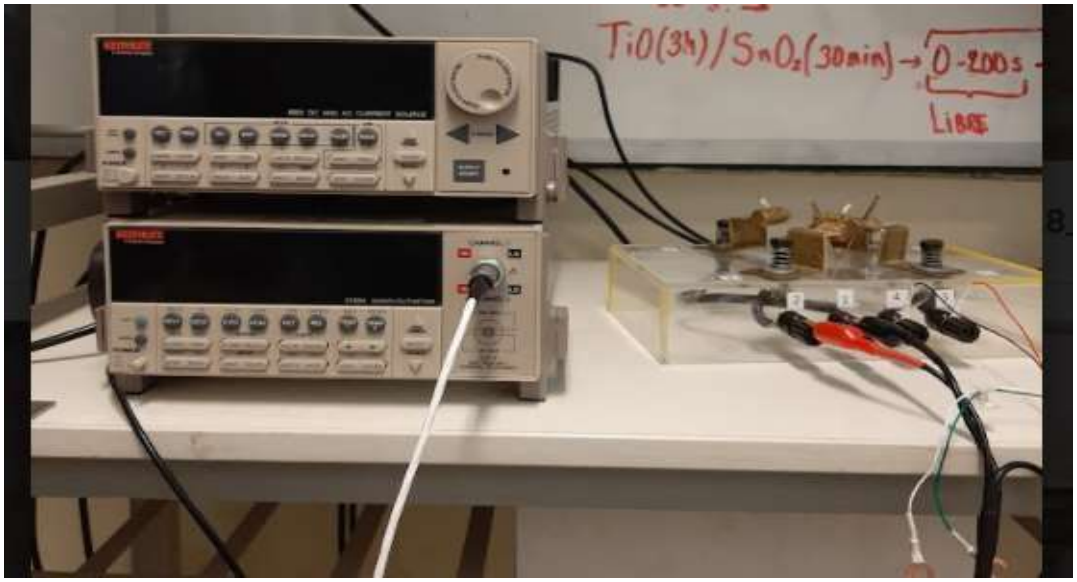
Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Computador tactil de la maquina de ensayos universales INSTRON con el software BLUE HILL

Fuente: Elaboración propia

- Equipo de medición de resistividad eléctrica en aceros a temperatura ambiente marca Keithley, modelo de 4 puntos

Figura 21. Equipo para medición de resistividad en 4 puntos



Fuente: Elaboración propia

- Microscopio metalográfico invertido trinocular de la marca VERSAMET modelo UNITRON de 500 aumentos.

Figura 22. Microscopio metalográfico marca VERSAMET modelo UNITRON

Fuente: https://es.bimedis.com/unitron-versamet-4-trinocular-inverted-metallurgical-m435194

- Equipo de preparación de muestras metalográficas por pulido de la marca Lecco semiautomática modelo PX 300

Figura 23. Maquina pulidora de la marca Lecco modelo PX 300

Fuente: https://eu.leco.com/images/Products/met/PX300/PX300_209-254-003.pdf

- Equipo para embutido metalográfico marca Lecco modelo Lecomat

Figura 24. Equipo para montaje en frio de probetas metalográficas

Fuente: Elaboración propia

- Equipo de medición de dureza de la marca INDENTEC

Figura 25. Equipo para medir la dureza por indentación de la marca INDENTEC

Fuente: Elaboración propia

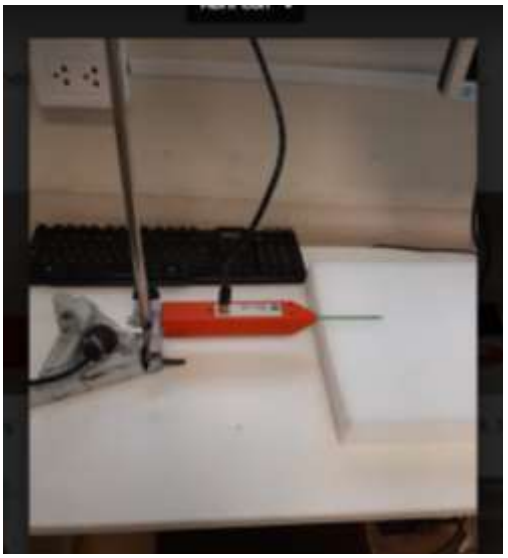
- Microscopio electrónico de barrido SEM marca THERMO SCIENTIFIC modelo Scios 2

Figura 26. Microscopio electrónico marca THERMO SCIENTIFIC modelo SCIOS 2

Fuente: Elaboración propia

- Equipo para medición de campo magnético Sonda marca LH modelo 516 60

Figura 27. Sonda marca LH modelo 516 60 para medición de campos magnéticos



Fuente Elaboración propia

- Computadoras personales

10 Material de vidrio. Pipetas

- Erlenmeyer
- Lunas de reloj
- Pisetas
- Pinzas y otros

11 Porta muestras de aluminio para SEM

2.4. Metodología Experimental.

Para poder establecer el método experimental para la transformación martensitica a partir de aceros inoxidables austeníticos se procedió experimentalmente de acuerdo a las siguientes etapas:

2.4.1 Antes de la deformación en tracción

a. Caracterización química del acero inoxidable austenitico AISI 301.

b. Preparación de las probetas de acero inoxidable AISI 301, de acuerdo a la norma ASTM E8

c. Medición de la resistividad de las probetas metálicas antes de la de deformación en tracción.

d. Determinación de la dureza HRB del acero inoxidable AISI 301 antes de la deformación.

e. Análisis óptico metalográfico de las probetas antes de la deformación para observación de las fases presentes.

2.4.2. Durante de la deformación en tracción

a.- Deformación de las probetas, de acero inoxidable AISI 301, en tracción a temperatura ambiente

b.- Medición de la variación de resistividad, de las probetas de acero inoxidable AISI 301, durante la deformación en tracción.

2.4.3. Después de la deformación en tracción

a.- Determinación de la resistividad en las probetas de acero AISI 301, después de la deformación en tracción

b.- Mediciones de campo magnético en las probetas de acero AISI 301, después de la deformación en tracción.

c.- Elaboración del perfil de dureza en las probetas deformadas por tracción

d.- Análisis morfológico de la rotura de las probetas de acero AISI 301, por microscopia electrónica de barrido (SEM)

e.-. Análisis óptico metalográfico de las probetas de acero AISI 301, después de la rotura para la observación de las fases presentes.

Figura 28. Esquema de la metodología experimental a ser empleada

Fuente: Elaboración propia

2.4.4.- Caracterización de las probetas de acero austenitico AISI 301

Las muestras de aceros austeníticos 301 sin tratamiento y con tratamiento fueron caracterizadas químicamente por la empresa Aperan South América, Research Center de Brasil, y los resultados se parecían en la tabla siguiente Composición química de aleantes en el acero inoxidable austenitico AISI 301

Tabla 2 Composición química del acero austenitico AISI 301, sin tratamiento

Elemento	C	Mn	Si	P	S	Cr	V	Nb	Ti	Ni	Mo	Al	Cu	Co	N
Porcentaje	0.0575	1.1888	0.512	0.0331	0.0009	17.0391	0.0506	0.0074	0.0029	7.354	0.1494	0.0035	0.2016	0.1726	300ppm

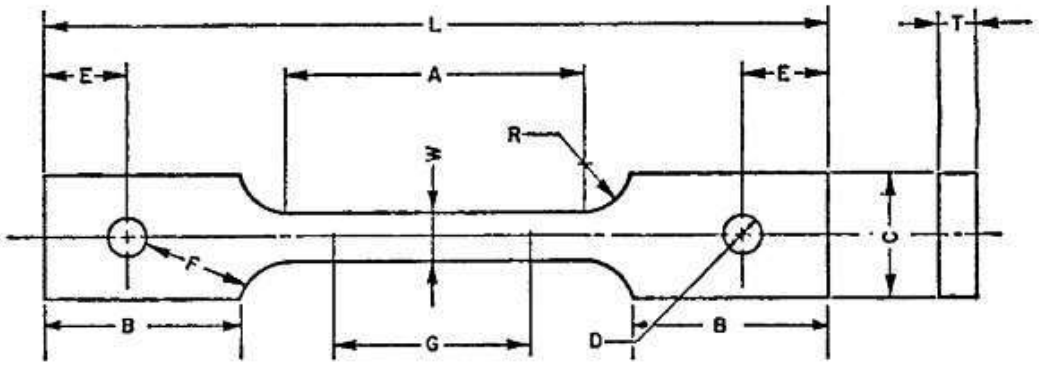
Fuente: Elaboración propia

2.4.5. Preparación de probetas metálicas de acero austenitico AISI 301

Las probetas metálicas de acero inoxidable AISI 301 fueron preparadas de acuerdo a la normal ASTM E8 la cual se aplica para materiales metálicos que serán sometidos a tracción a temperatura ambiente, estas probetas se preparan todas tanto en forma como dimensiones de acuerdo a lo que exige esta norma, las formas en las probetas que van a ser ensayadas pueden ser planas o cilíndricas, en nuestro caso empleamos probetas planas.

Esquema para la forma y dimensiones de las probetas planas a ser deformadas en tracción a temperatura ambiente

Figura 29. Esquema con las formas de las probetas a deformar en tracción.



j

Fuente: Norma ASTM E8

Las probetas de acero inoxidable AISI 301 sin tratamiento fueron cortadas a partir de una plancha de acero de x 0.69 mm de espesor, y las de acero AISI 301 con tratamiento a partir de una plancha con espesor de 1.63 mm, después se procedió a realizar las mediciones iniciales de cada una de las probetas (con vernier), en cuanto longitudes, para determinar las medias iniciales de cada una de ellas, antes de realizar el ensayo de tracción

2.4.6. Determinación de la resistividad de los aceros AISI 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido antes de la deformación

Se empleó para esto el método de resistividad en cuatro puntos, se midió la resistividad de las probetas antes de ser deformadas, se registran estas variaciones en la resistividad del material y se obtiene la resistividad ´promedio para el material

El método cosiste en colocar en cuatro puntos equidistantes por los cuales se hace pasar corriente eléctrica y se mide la resistividad entre un punto y otro

$\Delta R = \rho(dx/A)$ (ecuación 1)

Donde:

P es la medida de la resistividad

A es la sección transversal del material

Figura 30. Equipo para la medición de resistividad

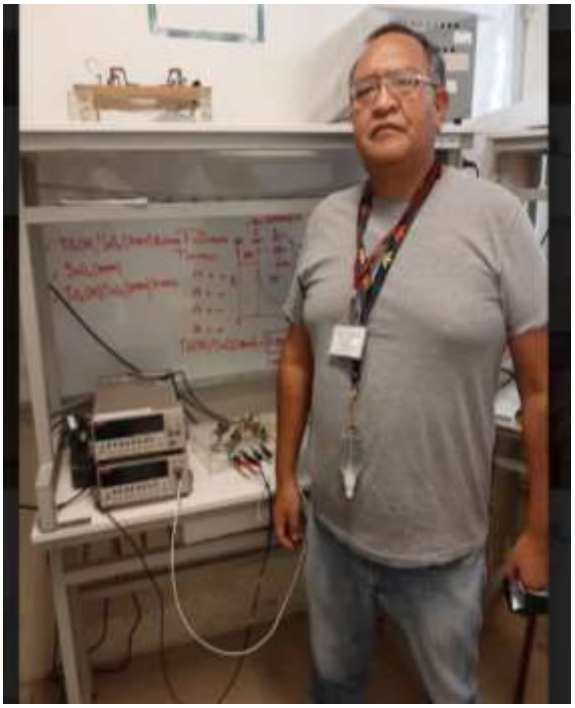
Fuente: Elaboración propia

Otra ecuación para medir la resistividad en función del espesor dela muestra (t), conociendo la intensidad de la muestra (I), la diferencia de potencial en tre los puntos centrales(V), la sección de la muestra (s) (QUIROGA, 2009).

$$\rho = 2\pi s \frac{V}{I}$$ ecuación 2

Para tal efecto se tiene un equipo experimental en el laboratorio de caracterización de materiales, y otro en los laboratorios de investigación del departamento de Física de la UNSA.

Figura 31. Laboratorio de investigación del Departamento de Física de la UNSA



Fuente: Elaboración propia

Las mediciones antes de la deformación, se realizaron en diferentes puntos de las probetas antes de ser deformadas y se sacan los promedios de dichas observaciones para tener los valores base y poder compararlos con los valores que se obtengan de las probetas ya deformadas.

2.4.7. Determinación de la dureza HRB del acero inoxidable 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido antes de la deformación

La determinación de la dureza fue realizada empleando la escala Rockwell B, (HRB) para los dos aceros AISI 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido se realizó de acuerdo a la norma ASTM E 18 con una billa de indentación de 1/16" a una carga de 100 kf y se empleó un equipo de indentación de la marca INDENTEX, se determinaron las durezas iniciales, antes de cada deformación en tracción, de cada uno

de los tipos de aceros AISI 301 analizados, la medición se realiza en 5 puntos descartándose el valor más alto y el más bajo obtenido y se sacó un promedio con las tres mediciones que quedan. (norma ASTM E 18)

Figura 32. Durómetro INDENTEX del laboratorio de caracterización de materiales edificio Antonio Raimondi

Fuente: Elaboración propia

2.4.8. Análisis óptico metalográfico de las probetas antes de la deformación

Antes de ser deformadas las probetas metálicas fueron preparadas parara el análisis metalográfico.

Las muestras de aceros AISI 301 sin deformación y con deformación, para este ensayo metalográfico fueron cortadas y preparas sobre una resina metalográfica de curado en frio específica para metalografía óptica, y luego son embutidas al vacío hasta su curado

El pulido de las probetas ya embutidas se da en una maquina pulidora semiautomática marca Lecco con lijares 60, 100, 200 400 1000, para completar el pulido se emplearon silicas, y oxido de aluminio hasta un diámetro de 0.3 micras

Figura 33. Equipo de pulido de la marca Lecco

Fuente: Elaboración propia

Después de ser pulidas las probetas fueron atacadas con un reactivo V2A (100 ml de ácido clorhídrico, 10 ml ácido nítrico y 100 ml de agua) para poder revelar las fases auténticas y martensíticas, del acero 301 sin tratamiento y con tratamiento con un tiempo de ataque promedio de 5 minutos

Figura 34. Resina metalográfica Lecoset 7008

Fuente: elaboración propia

Figura 35. Molde para probetas metalograficas

Fuente: Elaboración propia

La observación se realiza un microscopio metalográfico de luz reflejada y platina invertida para el análisis metalográfico respectivo, de las fases austenitica y martensitica presentes (Talonen et al., 2004)

Figura 36. Microscopio VERSAMET modelo UNITRON

Fuente: Elaboración propia

2.4.9. Deformación mecánica de las probetas metálicas

La transformación martensítica fue producida por deformación en tracción, este método produjo las dislocaciones, que serán necesarias para la generación de la fase martensítica, que generan los fenómenos inducidos por tensión y deformación. (Talonen & Hanninen, 2007).

La deformación por tracción se realiza en una maquia electromecánica de ensayos universales de la marca INSTRON modelo 23-100 de 100 KN de capacidad, empleando para la captura de datos en su programación el software Blue Hill que es un programa de ensayos de aplicación mundial utilizado para los ensayos de materiales.

Figura 37. Máquina de ensayos universales para deformación en tracción

Fuente elaboración propia

Los datos que estos ensayos en tracción nos proporcionan son la forma como se produce la deformación tanto en la zona elástica como plástica, nos dan información sobre la tención

máxima del material, así como la tensión de rotura, también permite correlacionar los esfuerzos de deformación en MPa versus la deformación, también nos dan información de la fluencia del material y el modulo elástico del mismo.

Se graficaron las curvas respectivas esfuerzo – deformación con ayuda del software Blue Hill para su posterior análisis.

2.4.10 Evaluación de la resistividad durante la deformación en tracción

Se empleó para esto el método de resistividad en cuatro puntos, pero a diferencia de las mediciones anteriores, se armó el equipo de acuerdo a la figura 37 donde se puede apreciar que se colocan los 4 sensores en la zona L, de la probeta, donde se producirá la deformación por tracción. En forma simultánea a la deformación producida por la tracción se miden los cambios de resistividad

Figura 38. Sensores para medicion de resistividad

Fuente: Elaboración propia

2.4.11. Determinación de la resistividad después de la deformación.

Concluido el ensayo de tracción y con las probetas deformadas y rotas, se procede a seccionarlas cada 2 cm y se realizan las respectivas mediciones de resistividad.

2.4.12. Mediciones de campo magnético en las probetas de acero AISI 301, con y sin tratamiento, después de la deformación.

La medición de la intensidad de los campos magnéticos se realizó con la sonda LH modelo 516 60, se hace una corrida sobre las probetas divididas en secciones de 2 cm con la sonda LH, por un determinado tiempo y se recogen las mediciones de intensidad de campo magnético en militeslas.

Antes de la deformación las probetas metálicas fueron sometidas a la medición de la intensidad de los campos magnéticos, no encontrándose lecturas para la intensidad de campos magnéticos en los aceros inoxidables AISI 301 sin tratamiento y con tratamiento.

Figura 39. Sonda LH para mediciones de intensidad de campo magnéticos

Fuente: Elaboración propia

2.4.13. Elaboración del perfil de dureza (HRB) del acero inoxidable 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido

Posteriormente a la deformación en tracción, para cada una de los dos tipos de aceros AISI 301, se elaboró un perfil de dureza en las probetas ya deformadas y dividas en secciones, empezando las medidas en las secciones cercanas a la zona de agarre de las mordazas y desplazándonos por las diferentes secciones de (2 cm), hasta la zona de rotura, también se realizó la elaboración de las gráficas de dureza respectivas para su análisis.

Figura 40. Durómetro INDENTEC

Fuente: Elaboración propia

2.4.14.- Análisis Metalográfico.

Después de ser deformadas las probetas metálicas fueron preparadas parara el análisis metalográfico, el embutido fue realizado en vacío de las probetas metálicas acero

301 con resina acrílicas de curado en frio específicas para metalografía óptica. el pulido de las probetas ya embutidas se realizó en una maquina pulidora semiautomática marca Lecco

con lijares 60, 100, 200 400 1000, para completar el pulido se empleó, oxido de aluminio hasta un diámetro de 0.3 micras

Figura 41. Máquina para pulido de probetas metalográficas de la marca Lecco

Fuente: Elaboración propia

Después de ser pulidas las probetas fueron atacadas con un reactivo V2A (100 ml de ácido clorhídrico, 10 ml ácido nítrico y 100 ml de agua) para poder revelar las fases auténticas y martensíticas, del acero 301 sin tratamiento y con tratamiento con un tiempo de ataque promedio de 5 minutos

La observación se realiza un microscopio metalográfico de luz reflejada y platina invertida para el análisis metalográfico respectivo, de las fases austenitica y martensitica presentes (Talonen et al., 2004)

Figura 42. Microscopio Invertido trinocular de la marca VERSAMET modelo Unitron

Fuente: Elaboración propia

2.4.15. Análisis morfológico de la rotura por microscopia electrónica de barrido

Este se realiza por medio de la microscopia electrónica de barrido (SEM) esta técnica de caracterización permite observar la morfología de la rotura en las muestras metálicas de aceros AISI 301 Se colocaron las muestras metálicas en porta muestras de aluminio para su observación en el SEM (Talonen et al., 2004)

Para este análisis se emplea el microscopio electrónico de barrido dela marca THERMO SCIENTIFIC modelo SCIOS 2

Figura 43. Microscopio electrónico de barrido marca THERMO SCIENTIFIC modelo SCIOS 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Cámara del SEM con una probeta colocada en su interior

Fuente: Elaboración propia

Capitulo III Resultados y discusión

3.1 Preparación de las probetas de acero inoxidables 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido

Las probetas fueron cortadas cuidadosamente con esmeril y enfriadas constantemente para evitar alteraciones

Probetas de acero inoxidable ASISI 301 sin tratamiento listas para ser deformadas en tracción

Figura 45. ***Probetas metalograficas de acero inoxidable AISI 301 sin tratamiento ya cortadas y preparasdas para deformacion en tracción***

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Medidas de las probetas metálicas de acero AISI 301 sin tratamiento antes de la deformación, norma ASTM E8

Medidas de las probetas de acero inoxidable AISI 301 sin tratamiento								
	CODIGO	L (mm)	B (mm)	A (mm)	G (mm)	W (mm)	C (mm)	T (mm)
Probeta 1	301 S-1	200	45,32	81,68	50	13,68	18,9	0.69
Probeta 2	301 S-2	200	49,30	82,00	50	12,60	19,72	0.69
Probeta 3	301 S-3	200	49,32	82,00	50	13,51	19,72	0.69
Probeta 4	301 S-4	200	48,42	79,90	50	12,99	20,00	0.69

Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Probetas metalograficas de acero inoxidable AISI 301 con tratamiento ya cortadas y preparasdas para deformacion en tracción

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Medidas de las probetas de acero AISI 301 sin tratamiento de acuerdo a la norma ASTM E8

Medidas de las probetas de acero inoxidable AISI 301 con tratamiento								
	CODIGO	L (mm)	B (mm)	A (mm)	G (mm)	W (mm)	C (mm)	T (mm)
Probeta 1	301 T-1	200	47,18	83,32	50	13,75	19,30	1.63
Probeta 2	301 T-2	200	47,90	81,42	50	17,99	20,30	1.63
Probeta 3	301 T-3	200	44,60	82,68	50	14,43	20,00	1.63
Probeta 4	301 T-4	200	49,46	79,10	50	13,49	19,42	1.63

Fuente: Elaboración propia

3.2. Deformación por tracción para las probetas de acero AISI 301 sin tratamiento y con tratamiento.

En la máquina de ensayos universales de la marca INSTRON, se coloca la probeta, previamente prepara, entre las mordazas y se arman los sensores para la medición de resistividad en la zona L, entre los cuellos de la probeta y se procede a tracciona las probetas hasta la rotura, logrando la mayor deformación.

Figura 47. Probeta lista para ser deformada en tracción con el sistema para medición de resistividad en simultaneo

Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Probeta deformada en tracción hasta la rotura

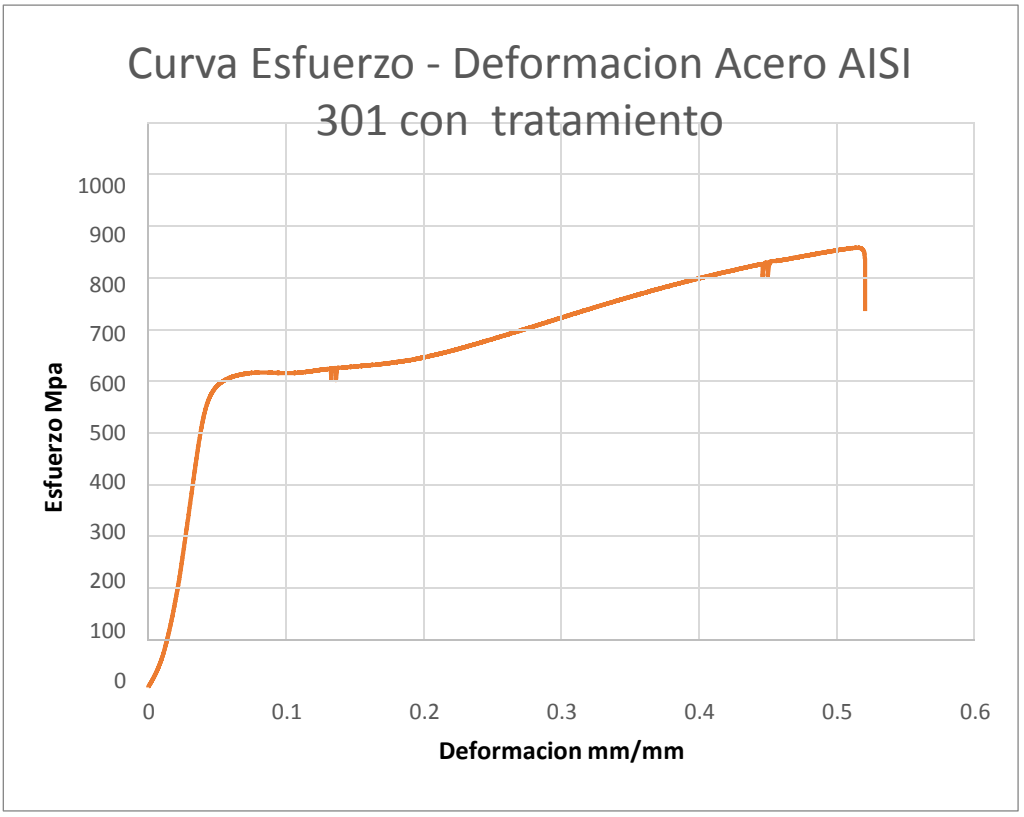
Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Grafica esfuerzo – deformación para el acero AISI 301 sin tratamiento

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica anterior donde se relaciona el esfuerzo aplicado a la probeta metálica con el desplazamiento que este esfuerzo produce en el acero AISI 301sin tratamiento, se aprecia una deformación pequeña a un esfuerzo bastante grande, también se lo que indica que este acero es también se puede apreciar que el esfuerzo máximo que soporta el material es de 1214.60 MPa, con un esfuerzo de rotura de 1035.24 MPa y una deformación máxima de 0.065 mm/mm

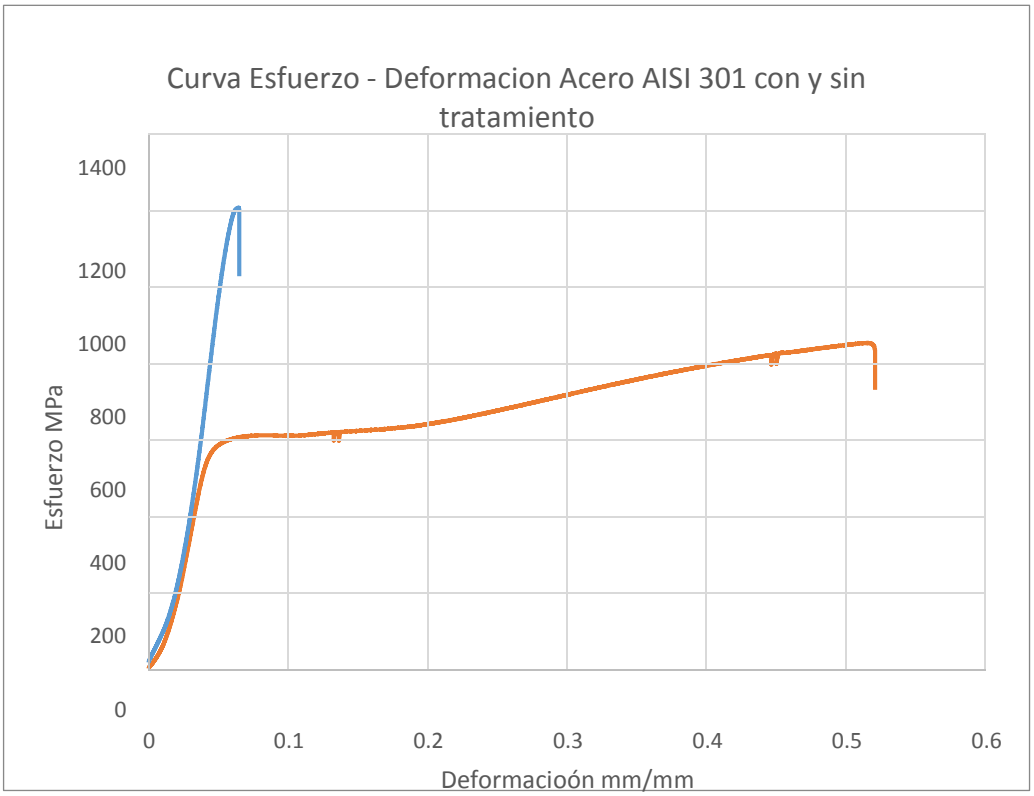
Figura 50. Grafica esfuerzo – deformación para el acero AISI 301 con tratamiento



Fuente: Elaboración propia

El acero AISI 301 con tratamiento de recocido, presenta una fluencia aproximada a los 600 MPa, y una tensión máxima de 860.73 MPa, tensión de rotura con un valor de 1035.2738.054 MPa, con una deformación superior a los 0.5 mm/mm

Figura 51. Grafica esfuerzo – deformación comparativa del acero AISI 301 sin tratamiento con el acero AISI 301 sin tratamiento



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 51 se pueden observar las diferencias en la deformación en tracción de cada tipo de acero 301, se parecía que el acero AISI 301 sin tratamiento presenta una deformación muchísimo menor que la del 301 con tratamiento de recocido, y presenta un esfuerzo en tracción muchísimo más alto que la del acero con tratamiento de recocido,

3.3. Medición de la resistividad de los aceros AISI 301 sin y con tratamiento de recocido

3.3.1. Medición de la resistividad antes y después de la deformación en tracción para el acero AISI 301

Tabla 5 Mediciones de la resistividad promedio del acero AISI 301 sin tratamiento y antes de la deformación en tracción

Resistividad del acero AISI 301 sin tratamiento				
Resistividad antes de la deformacion				
Seccion	Voltaje (mv)	Intensidad (A)	Resistencia (Ohm)	Resistividad
1	2.17E-05	0.1	2.17E-04	2.73E-06
2	2.39E-05	0.1	2.39E-04	3.00E-06
3	2.37E-05	0.1	2.37E-04	2.98E-06
			promedio	2.90283E-06

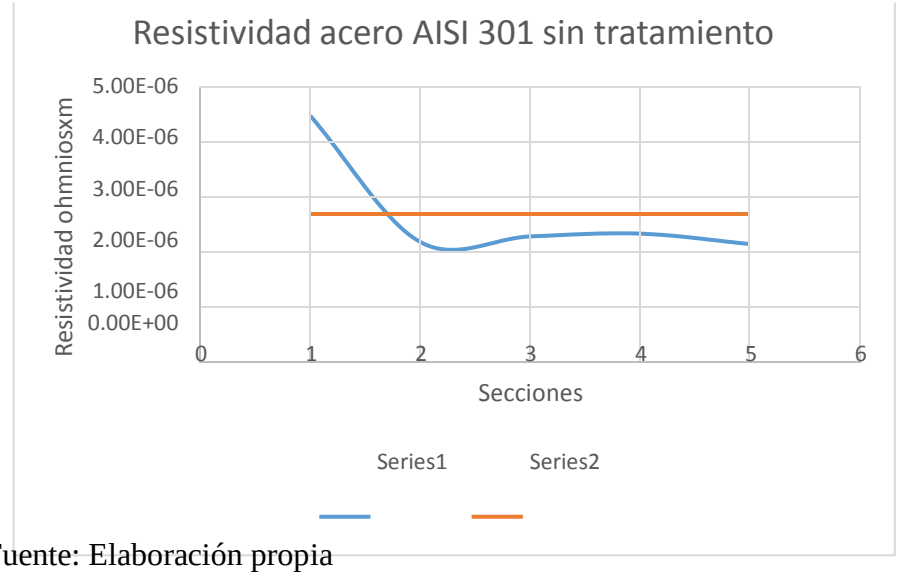
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Mediciones de la resistividad promedio del acero AISI 301 sin tratamiento, después de la deformación en tracción y por sección

Resistividad del acero AISI 301 sin tratamiento				
Resistividad despues de la deformacion				
Seccion	Voltaje (mv)	Intensidad (A)	Resistencia (Ohm)	Resistividad
1	3.77E-05	0.1	3.77E-04	4.74E-06
2	1.94E-05	0.1	1.94E-04	2.44E-06
3	2.02E-05	0.1	2.02E-04	2.54E-06
4	2.06E-05	0.1	2.06E-04	2.59E-06
5	1.91E-05	0.1	1.91E-04	2.40E-06

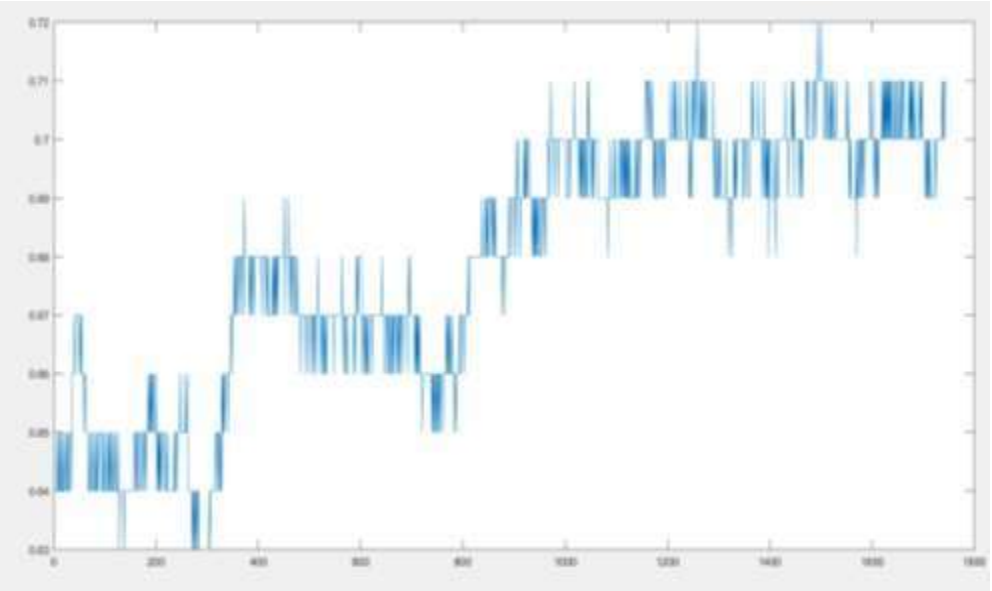
Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Medida de la resistividad del acero AISI 301 sin tratamiento por segmentos en la probeta metálica



Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Medida de la resistividad del acero AISI 301 sin tratamiento durante la deformación en tracción de la probeta metálica



Fuente: Elaboración propia.

De las tablas 5 y 6 se puede observar que la resistividad varia, notándose un incremento de la misma, después de la deformación, para este tipo de acero AISI 301 sin tratamiento, al graficar estos cambios podemos observar en la figura 52 la variación por segmentos de la resistividad, donde se nota más el incremento cuando nos acercamos a la zona de rotura, sección 1.

Podemos observar también en la figura 52 que los cambios de la resistividad entre los segmentos 3 y 2 una caída en la resistividad, pero posteriormente la resistividad se distara desde el segmento 2 hasta el 1 que es el más cercano a la rotura

En la figura 53 se parecía las variaciones de la resistividad en forma simultánea a la deformación, y en ella podemos apreciar, pese a la distorsión encontrada, una tendencia de subida de la resistividad, la cual se comprueba con las mediciones de resistividad por segmentos después de la deformación en la tabla 6

3.3.2. Medición de la resistividad antes y después de la deformación en tracción para el acero AISI 301 con tratamiento de recocido

Tabla 7 Mediciones de la resistividad promedio del acero AISI 301 con tratamiento y antes de la deformación en tracción

Resistividad del acero AISI 301 con tratamiento				
Resistividad antes de la deformacion				
Seccion	Voltaje (mv)	Intensidad (A)	Resistencia (Ohm)	Resistividad
1	7.00E-06	0.1	7.00E-05	8.80E-07
2	7.20E-06	0.1	7.20E-05	9.05E-07
3	7.10E-06	0.1	7.10E-05	8.92E-07
			promedio	8.92212E-07

Fuente: Elaboración propia

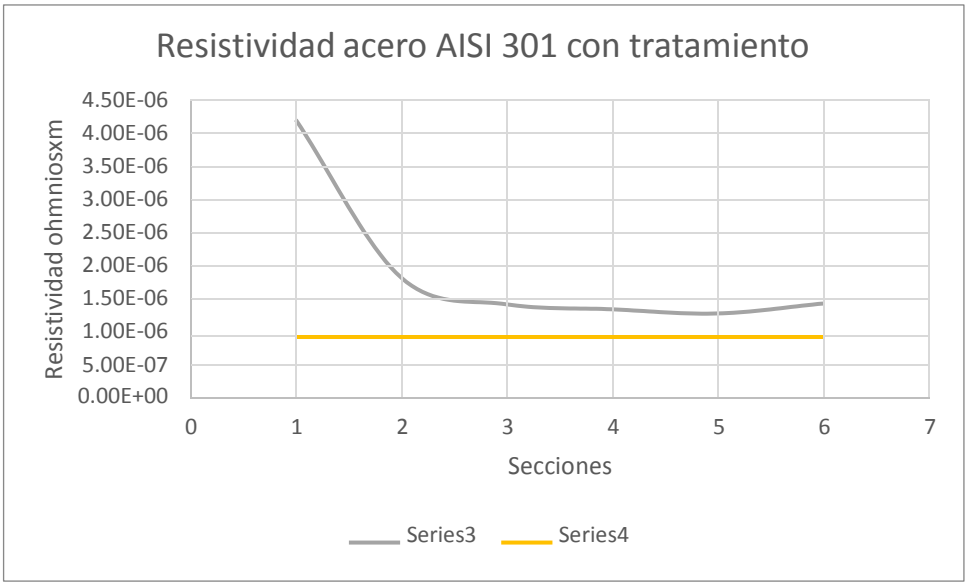
Tabla 8 Mediciones de la resistividad promedio del acero AISI 301 con tratamiento, después de la deformación en tracción y por sección

Resistividad del acero AISI 301 con tratamiento				
Resistividad despues de la deformacion				
Seccion	Voltaje (mv)	Intensidad (A)	Resistencia (Ohm)	Resistividad
Seccion	V	I(A)	R(Ohm)	Resistividad
1	3.39E-05	0.1	3.39E-04	4.26E-06
2	1.49E-05	0.1	1.49E-04	1.87E-06
3	1.17E-05	0.1	1.17E-04	1.47E-06
4	1.11E-05	0.1	1.11E-04	1.39E-06
5	1.06E-05	0.1	1.06E-04	1.33E-06
6	1.18E-05	0.1	1.18E-04	1.48E-06

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los resultados de la tabla 7 que es la medición de la resistividad antes de la deformación, de la cual se obtiene la resistividad promedio del acero, con la tabla 8 que es la que brinda los datos de resistividad después de la deformación y medida por secciones de las probetas metálicas, se observa un aumento de la misma, y este incremento de la resistividad no es uniforme a lo largo de las 6 secciones de la probeta, lo que se aprecia mejor en la figura 54.

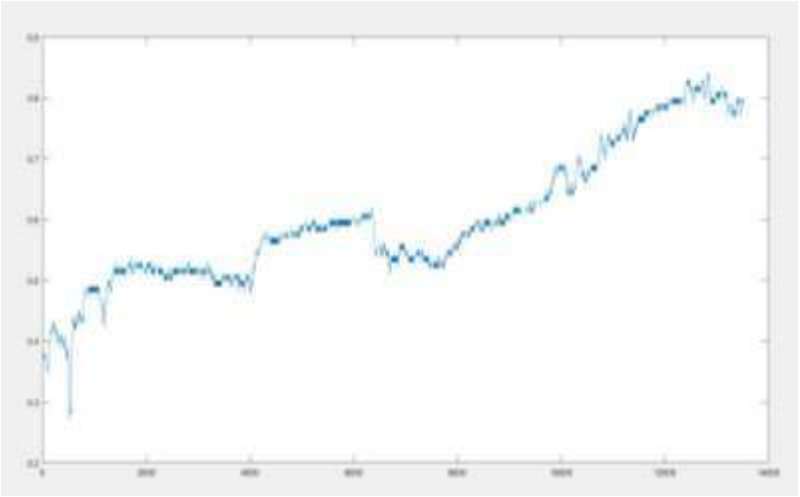
Figura 54. Medida de la resistividad del acero AISI 301 sin tratamiento por segmentos del acero AISI 301 con tratamiento de recocido



Fuente: Elaboración propia.

La figura 54 muestra los cambios de la resistividad después de la deformación por cada una de las secciones de la probeta metálica de acero inoxidable AISI 301 con tratamiento de recocido, en este tipo de acero la resistividad aumenta en todos los segmentos, y a partir del segmento 2 hacia la zona de rotura se eleva notoriamente.

Figura 55. Medida de la resistividad del acero AISI 301 con tratamiento durante la deformación en tracción de la probeta metálica



Fuente: Elaboración propia

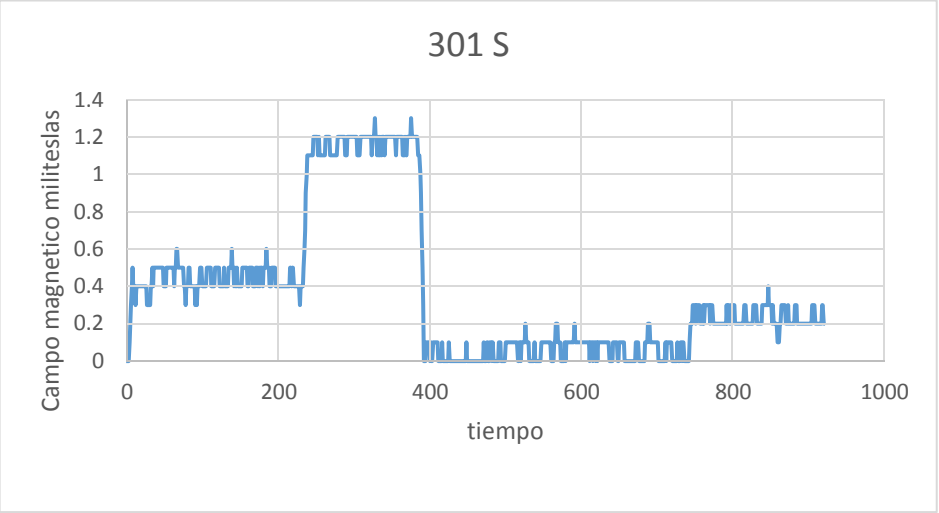
En la figura 55 se aprecia los cambios de resistividad medidos simultáneamente durante la deformación en tracción, las mediciones muestran una tendencia al incremento de los valores de resistividad, en este tipo de acero.

3.4. Mediciones de campos magnéticos en las probetas de aceros AISI 301, y con acero

AISI 301 con tratamiento de recocido

3.4.1. Mediciones de campos magnéticos para aceros AISI 301 sin tratamiento

Figura 56. ***Campos magnéticos para acero AISI 301 sin tratamiento y deformados en tracción***



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 56 se observa la medición de los campos magnéticos a lo largo de la probeta metálica, después de su deformación en tracción, la medición esta en militeslas por segundos.

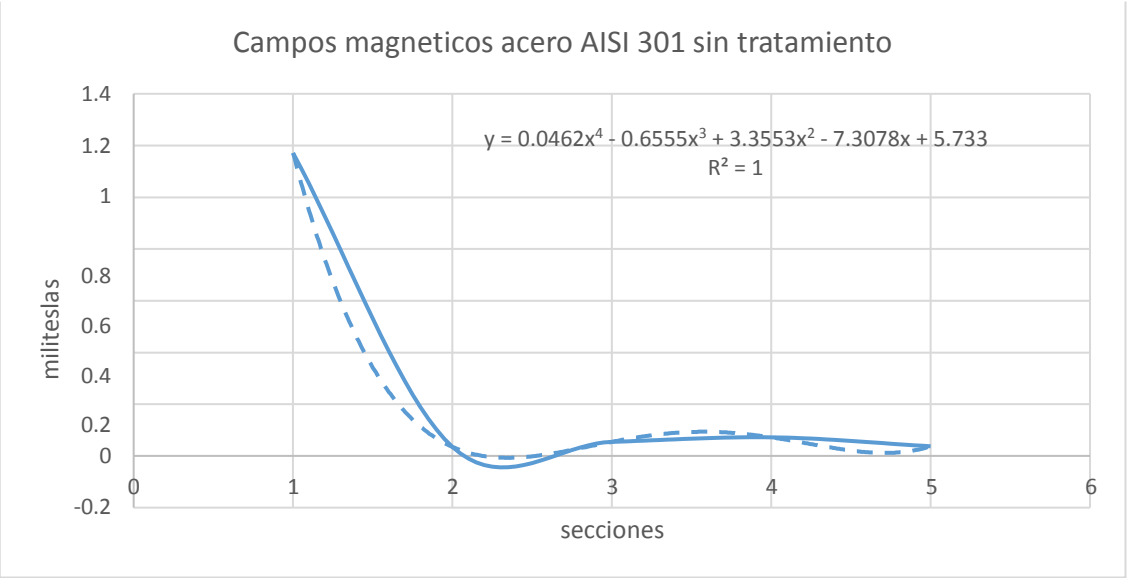
Posteriormente se sacan los valore promedio para cada sección de la probeta de acero y con estos valores se construye la tabla 9.

Tabla 9 Mediciones de los campos magnético del acero AISI 301 sin tratamiento y por sección, después de la deformación

Campos magnéticos	
Secciones	mili teslas
1	1.17132867
2	0.03467742
3	0.05454545
4	0.07196262
5	0.0375

Fuente: Elaboración propia

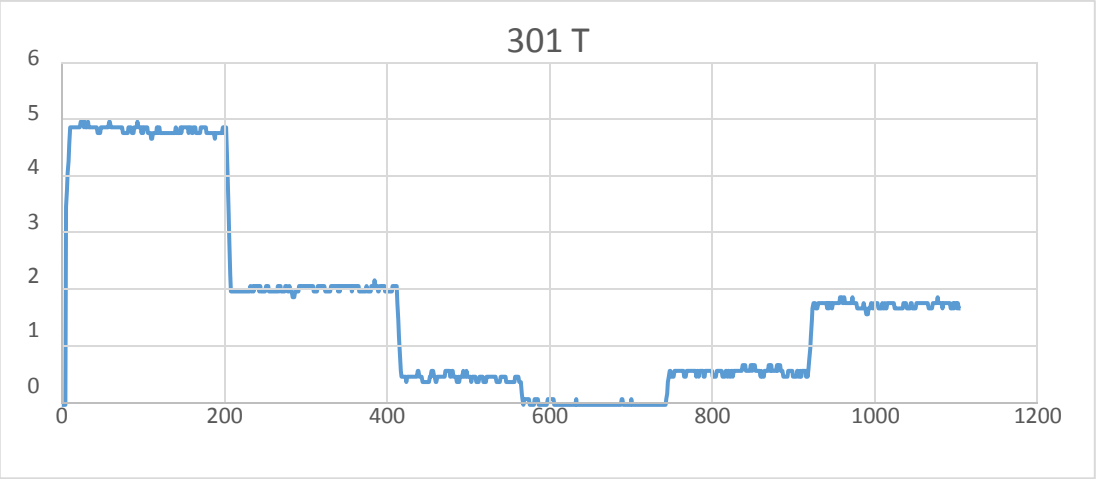
Figura 57. Campos magnéticos para acero AISI 301 sin tratamiento, por cada sección de la probeta metálica



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 57 se observa que los campos magnéticos se hacen presentes en toda la probeta después de la deformación, lo que indicaría la aparición de la fase martensitica en el acero AISI 301 sin tratamiento, pero es en la sección 2 y en dirección a la zona de rotura donde los campos magnéticos son mucho más fuertes.

Figura 58. Campos magnéticos para acero AISI 301 con tratamiento de recocido y deformados en tracción



Fuente: Elaboración propia

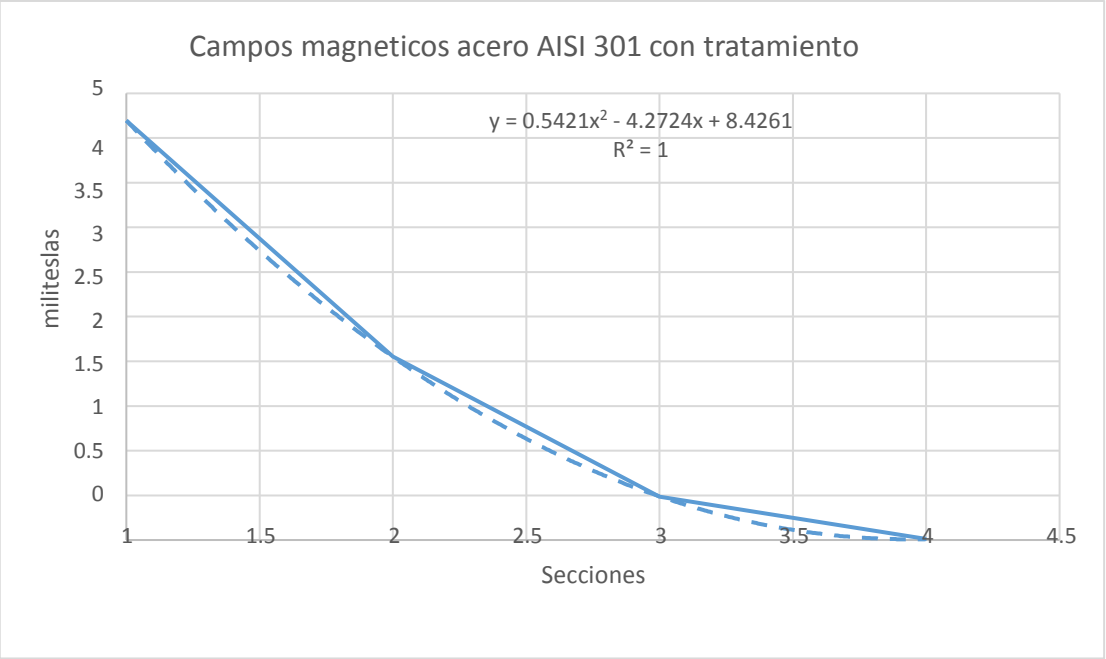
En la figura 58 los campos magnéticos son medidos también a través de toda la probeta de acero AISI 301 con tratamiento de recocido y se observa que estos están presentes en toda la probeta y con crecimiento constante hacia la zona de rotura, se obtienen los valores promedios porcada sección de probeta y con estos valores se construye la tabla 10

Tabla 10 Mediciones de los campos magnético del acero AISI 301 con tratamiento y por sección, después de la deformación

Campos magnéticos	
Segmentos	militeslas
1	4.69452736
2	2.05355191
3	0.48384615
4	0.01118421

Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Campos magnéticos para acero AISI 301 con tratamiento de recocido, por cada sección de la probeta metálica



Fuente: Elaboración propia

En la figura 59 comparando la intensidad de los campos magnéticos promedios por sección se observa un crecimiento constante hacia la zona de rotura.

3.5 Evaluación de la dureza de los aceros AISI 301 sin y contratamiento antes y después de la deformación

Esta medición se realizó mediante el ensayo de dureza de acuerdo a la norma ASTM E 18 siendo los resultados de la dureza antes de la deformación en tracción los siguientes

Se tomaron 5 mediciones descartándose según norma la más alta y la menor quedando tres mediciones de las cuales se caca el promedio

Dureza antes de la deformación

Tabla 11 Dureza promedio del acero AISI 301 sin tratamiento

Dureza acero AISI 301 sin tratamiento			Dureza acero AISI 301 sin tratamiento	
Mediciones	HRB		Mediciones	HRB
1	110.1		1	110.4
2	110.4		2	110.4
3	110.7		3	110.6
4	110.4			
5	110.6		PROMEDIO	110.47

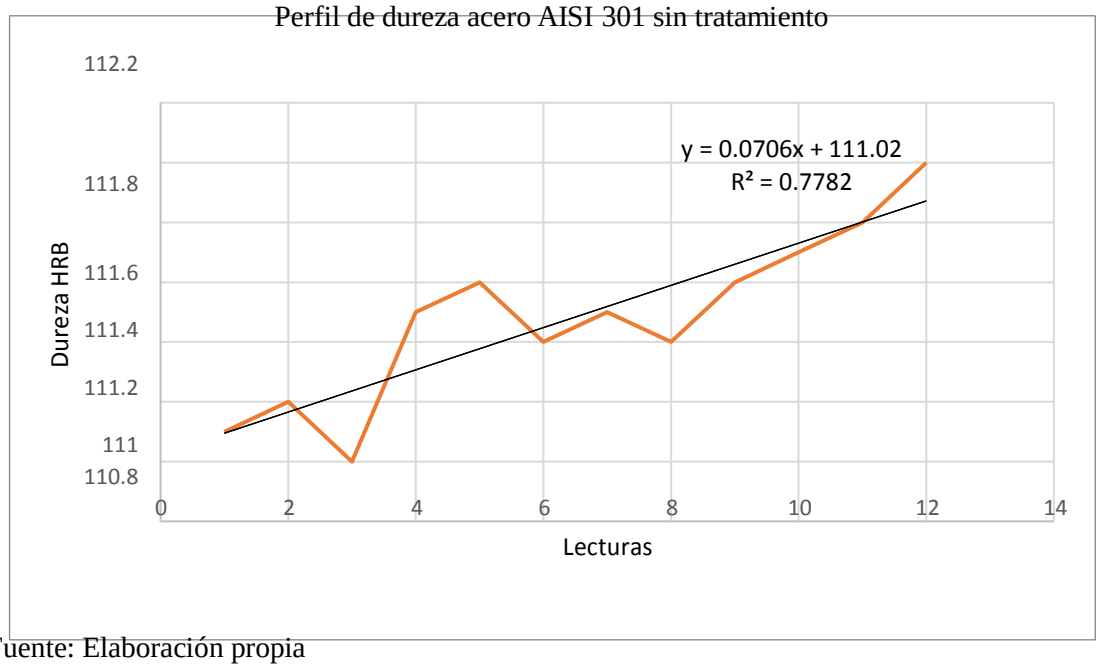
Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Perfil de dureza del acero AISI 301 sin trata miento posterior a la deformación

Dureza acero AISI 301 sin tratamiento	Lecturas
111.1	1
111.2	2
111	3
111.5	4
111.6	5
111.4	6
111.5	7
111.4	8
111.6	9
111.7	10
111.8	11
112	12

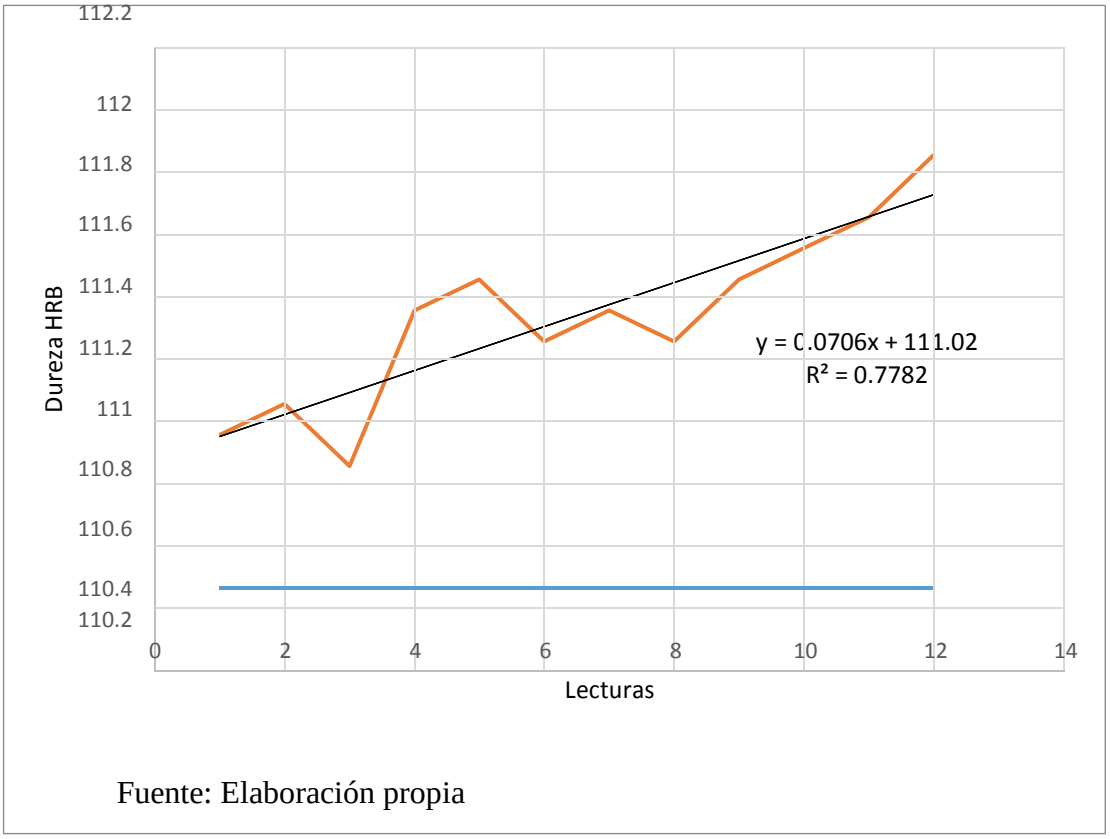
Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Perfil de dureza del acero AISI 301 sin tratamiento después de la deformación



Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Perfil de dureza del acero AISI 301 sin tratamiento después de la deformación comparado con la dureza inicial



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Dureza promedio del acero AISI 301 con tratamiento

Dureza acero AISI 301 con tratamiento			Dureza acero AISI 301 con tratamiento	
Mediciones	HRB		Mediciones	HRB
1	97.5		1	97.5
2	98.1		2	98.1
3	99.3		3	99.3
4	97.2			
5	99.4		PROMEDIO	98.3

Fuente: elaboración propia

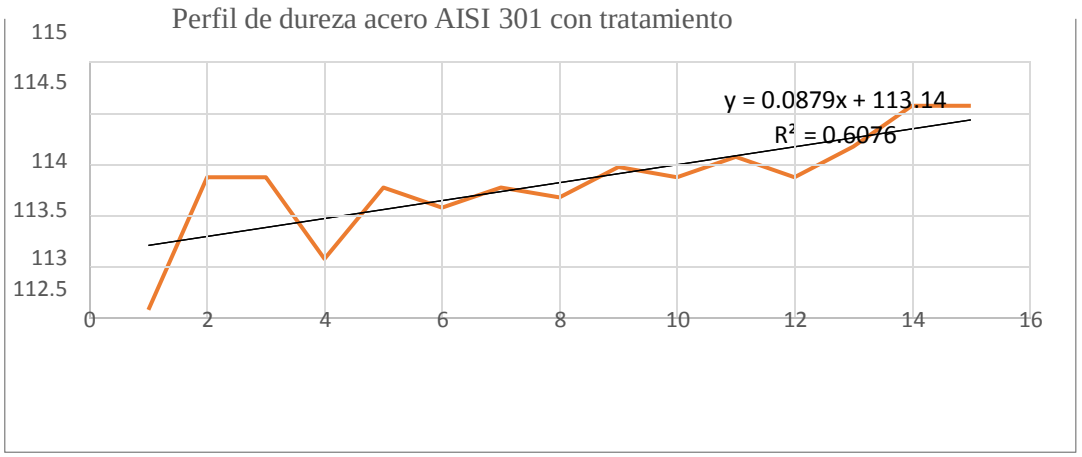
Perfil de dureza y su respectiva grafica acero AISI 301 con tratamiento de recocido después de la deformación en tracción

Tabla 14 Perfil de dureza del acero AISI 301 sin trata miento posterior a la deformación

301 T	Lecturas
112.6	1
113.9	2
113.9	3
113.1	4
113.8	5
113.6	6
113.8	7
113.7	8
114	9
113.9	10
114.1	1 1
113.9	12
114.2	13
114.6	14
114.6	15

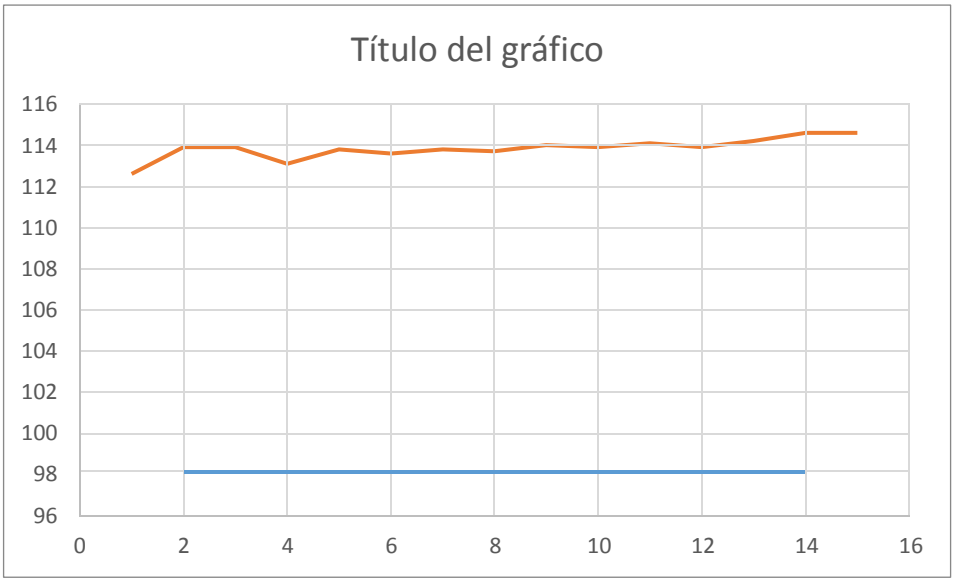
Fuente: Elaboraión propia

Figura 62. Perfil de dureza del acero AISI 301 con tratamiento de recocido después de la deformación



Fuente: Elaboración propia. En este perfil de dureza se puede apreciar que mientras mas nos acerquemos a la zona de rotura la dureza se incrementa

Figura 63. Perfil de dureza del acero AISI 301 con tratamiento de recocido después de la deformación, comparado con la dureza inicial



Fuente: Elaboración propia

Obteniéndose un promedio de dureza para el acero AISI 301 sin tratamiento de 110.47 HRB y para el AISI 304 con tratamiento 98.30 HRB

3.6 Análisis metalográfico

Figura 64. Microfotografías antes del ensayo acero AISI 301 sin tratamiento a 200 aumentos

Fuente Elaboración propia. Se aprecian los granos de austenita sin la presencia de martensita

Figura 65. Microfotografías antes del ensayo acero AISI 301 sin tratamiento a 500 aumentos

Fuente: Elaboración propia. Se observan los granos de austenita a 500 aumentos sin observarse la presencia de martensita en la microfotografía metalográfica

Figura 66. Microfotografías después de la deformación en tracción del acero AISI 301 sin tratamiento a 200 aumentos

Fuente: Elaboración propia. Se observa la presencia de martensita en la micrografía de acero AISI 301 sin tratamiento a 200 aumentos

Figura 67. Microfotografías después de la deformación en tracción del acero AISI 301 sin tratamiento a 500 aumentos

Fuente: Elaboración propia. La martensita se observa como líneas dentro los granos de austenita

Figura 68. Microfotografías antes del ensayo acero AISI 301 con tratamiento a 200 aumentos

Fuente: Elaboración propia. Se observan los granos de austenita sin presencia de martensita a 200 aumentos

Figura 69. Microfotografías antes del ensayo acero AISI 301 con tratamiento a 500 aumentos

Fuente: Elaboración propia. Se observan los granos de austenita sin presencia de martensita a 500 aumentos

Figura 70. Microfotografías después de la deformación en tracción del acero AISI 301 con tratamiento a 200 aumentos

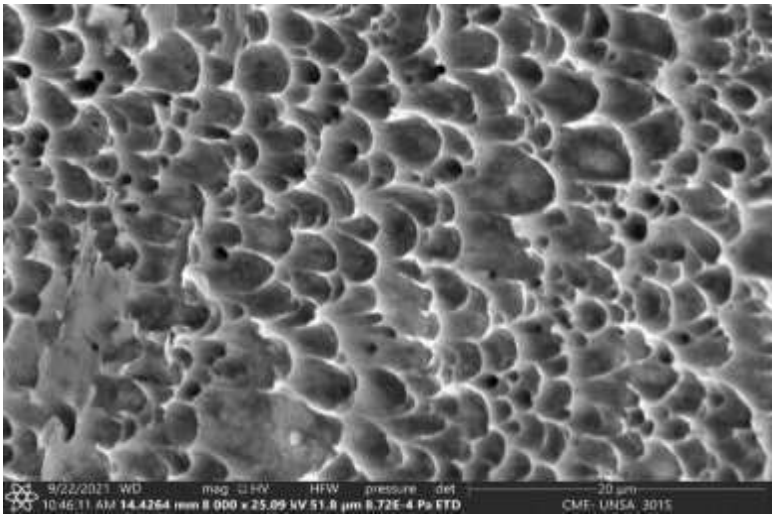
Fuente: Elaboración propia. En esta micrografía se observa la aparición de la fase martensitica a 200 aumentos

Figura 71. Microfotografías después de la deformación en tracción del acero AISI 301 con tratamiento a 500 aumentos

Fuente: Elaboración propia. Se observa muy claramente la aparición de la fase martensitica a 500 aumentos

3.7. Análisis morfológico de la rotura por Microscopia electrónica de barrido (SEM)

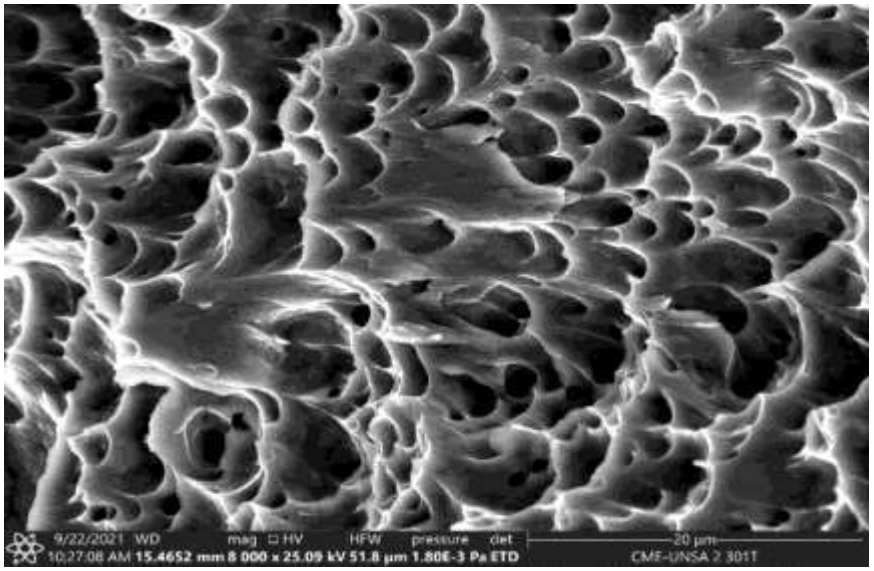
Figura 72. Fotografía del microscopio electrónico de barrido sobre la fractura del acero AISI 301 sin tratamiento 8000 aumentos



Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar una fractura muy poco dúctil en ese tipo de aceros AISI 301, de la figura 72 en comparación con otro acero como el AISI 301 con tratamiento de la figura 73

Figura 73. Fotografía del microscopio electrónico de barrido sobre la fractura del acero AISI 301 con tratamiento de recocido a 8000 aumentos



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Se logró deformar las probetas de los aceros 301 sin tratamiento y con tratamiento de recocido por medio del ensayo de tracción, concluyendo para el caso del acero ASI 301 sin tratamiento, la tensión máxima es de 1214.60 MPa, presenta una tensión de rotura con un valor de 1035.24 MPa, para los aceros AISI 301 con tratamiento de recocido presentan una fluencia aproximada a los 600 MPa, una tensión máxima de 860.73 MPa, tensión de rotura con un valor de 1035.2738.054 MPa

Se observan cambios apreciables en la resistividad de los dos aceros, lo que es indicación de la aparición de la fase martensitica, por la deformación en tracción, en el caso del acero AISI 301 sin tratamiento cambia de un valor de 2.40E-06 a un valor de 4.74 E-06, en el caso del acero AISI 301 con tratamiento de recocido se observa el cambio en la resistividad de 1.48 E-06 a 4.26 E-06

Al analizar las mediciones de los campos magnéticos de los aceros AISI 301 sin tratamiento y deformados en tracción a temperatura ambiente se aprecia un cambio desde el agarre de las mordazas con un valor de 0.0375 militeslas a un valor de 1.171328 militeslas en la zona de rotura, en el caso del acero AISI 301 con tratamiento de recocido se ve un cambio de los campos magnéticos de 0.01118421 militeslas en la zona del agarre de mordazas y cambia a un valor de 4.69452736 militeslas, estos cambios en los campos magnéticos indican y orientan como se a dado la formación de la fase martensitica

Los datos obtenidos al realizarse los perfiles de dureza marcan una tendencia al incrementó de la misma, en ambos aceros austeníticos, con y sin tratamiento de recocido, para el caso del 301 sin tratamiento se observa un aumento de la dureza gradual desde un valor inicial de110.47 HRB a un valor de 112 HRB, en el caso del 301 con tratamiento de recocido la dureza cambia de 98.30 HRB a 112.5 HRB.

En las microfotografías tomadas a diferentes aumentos (100, 200X y 500x), antes de la deformación en tracción solo se observa la fase austenitica, con ausencia de fase martensitica, después de la deformación las microfotografías evidencian la aparición de la martensita, dentro de los granos y los bordes de granos, hacen de barrera, esta martensita es de forma rayada y más oscura que la fase austenitica

Las fotografías del SEM muestran que el tipo de rotura del acero 301 sin tratamiento es muchísimo menos dúctil que la del 301 con tratamiento, siendo el desgarro o rotura de la probeta más alargado en el 301 con tratamiento, pero aun así ambas fracturas comparadas con otras como la del austenitico 304 sigue siendo muy poco dúctil

Recomendaciones

. Proseguir con investigaciones sobre la deformación en frio de aceros austeníticos por medio de técnicas experimentales como la resistividad eléctrica.

. Continuar con las investigaciones sobre los campos magnéticos producto de la transformación martensitica

. Desarrollar más investigaciones sobre la transformación martensíticas en aceros inoxidables austeníticos.

. Profundizar sobre los estudios de campos magnéticos después de la transformación martensitica

Bibliografía

ANFOR. (1995). *Norma Europeene NF 10088-3*.

Christian, J. . (1970). *Basic Crystallography and Kinetics. In: Marten-site: fundamentals and technology* (L. L. Petty, E.R. (ed.)). London, United Kingdom.

Clancy, M., Pomeroy, M. ., & Dickinson, C. (2012). Characterization of 3R Martensite in a Ni–40Al–15Pt Bulk Alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, *523*(0), 11–15.

Condó, A. M., & & Lovey, F. . (2001). The habit plane of Non-Twinned 2H Martensite in thin foils. *Scripta Materialia*, *45*(0), 669–675.

Cueva, E. . (1997). *Estado das condições de ocorrência de transformação martensítica induzida por deformação em ferros fundidos nodulares austemperados.* USP, São Paulo, Brasil.

El Ouali, A. (2013). Influencia del contenido de martensita en la vida a fatiga de aceros inoxidables austeníticos metaestables. *Universidad Politécnica de Cataluña*, 98. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19629/Memoria_aicha_ELOUALI.pdf.pdf?sequence=1

Grosdidier, T., & Philippe, M. . (2000). Deformation Induced Martensite and Superelasticity in a B-Metastable Titanium Alloy. *Materials Sci-ence and Engineering A*, *291*, 218–223.

Guimaraes, J. R. . (2008). Athermal Martensite: Genesis of microstruc-ture and transformation curves. *Materials Science and Engineering A*, *476*, 106–111.

Günera, M., Güler, E., & Aktas, H. (2008). Effect of homogenization tem-perature on the martensitic transformation kinetics in a Fe–32%Ni–0.4%Cr Alloy. *Materials*

Characterization, *59*, 498–502.

Habraken, L., & de Brouwer, J. . (1967). De Ferri Metallographia. Fun-damentals of Metallography,. *Académiques Européenes, Brussels, Belgium.*, *1*(0), 25–78.

Hedström, P. (2005). *Deformation induced martensitic transformation of metastable stainless steel AISI 301*. Luleå University of Technology.

Hoepggner, H. (2008). *Influencia de la transformacion martensitica en la vida a fatiga de los aceros inoxidables austeniticos metaestables*. Universida Politecnica de Cataluya.

Kitahara, H., Ueji, T. ., Tsuji, N., & Minamino, Y. (2006). Crystallograph-ic features of lath martensite in low-carbon steel. *Acta Materialia*, *54*(0), 1279–1288.

Lerchbacher, C., Zinner, S., & Leitner, H. (2012). Atom probe study of the carbon distribution in a hardened martensitic hot-work tool steel X38CrMoV5. *Micron*, *5*(43), 818–826.

López Quimes, L. A. (2008). *Determinación mediante el uso de los elementos finitos del comportamiento mecánico de un acero inoxidable austenítico AISI 309S con precipitados esferoidales*. Universidad de Oriente.

MA, X., & Pond, R. C. (2008). Defect Modelling of Martensitic Interfaces in Plate Martensite. *Materials Science and Engineering*, *A*(0), 481-482-404–408.

Morito, S., Huang, X., Furuhara, T., Maki, T., & Hansen, N. (2006). No TitleThe Morphology and Crystallography of Lath Martensite in Alloy Steels. *Acta Materialia*, *54*(0), 5323–5331.

Olson, G. ., & Cohen, M. (1976). A General Mechanism of Martensitic Nucleation: Part II. FCC → BCC and Other Martensitic Transfor-mations. *Metallurgical and*

Materials Transactions, *7(12)*, 1905–1914.

Porter.D.A, & Easterling, K. . (1992). *Phase Transformations in Metals and Alloys.* (C. & Hall (ed.)).

QUIROGA, M. (2009). *Estudio y medida de la resistividad eléctrica del acero 1045 después de un tratamiento térmico*.

Sacre, C. . (2012). *"Nuevos tratamientos para inducir aceros austenítico con granos ultrafinos"*.

Shen, Y. ., Li, X. ., Sun, X., Wnaga, Y. ., & Zou, L. (2012). Twinning and Martensite in a 304 Austenitic Stainless Steel. *Mat. Science and En-gineering A*, *552*, 514–522.

Talonen, J., Aspegren, P., & Hänninen, H. (2004). Comparison of different methods for measuring strain induced α′-martensite content in austenitic steels. *Materials Science and Technology*, *20*(12), 1506–1512. https://doi.org/10.1179/026708304X4367

Talonen, J., & Hanninen, H. (2007). Formation of Shear Bands and Strain-Induced Martensite During Plastic Deformation of Metastable Aus-tenitic Stainless Steels. *Acta Materialia*, *55*, 6108–6118.

Torres, E. ., Arbeláez-Toro, J., & Hincapié-Zuloaga, D. (2013). *Aspectos generales acerca de la trnasformacion martensitica*.

Wayman, C. ., & Bhadeshia, H. K. D. . (1983). Phase Transformations, Nondiffusive. *Physical Metallurgy*, *2*, 1507–1554.

Wayman, C. ., & Watanabe, M. (1971). Crystallography of the Martensite Transformations in Fe-Al-C Alloys. *Metall. Trans*, *2*(0), 2229–2236.

Yue-jun, L., Yi-min, L., Yu-hua, T., & Bo-yun, H. (2006). Apparent Mor-phologies and Nature of Packet Martensite in High Carbon Steels. *International Journal of Iron and Steel Research*, *13*(3), 40–46.

Anexos

Anexo 1. Mediciones de los campos magnéticos para el acero inoxidable austenitico AISI 301 sin tratamiento

Tiempo (s)	Señal (mT)	Lectura
0	0	0
0.376021	0	1
1.376078	0	2
2.423138	0	3
3.475198	0	4
4.37725	-0.1	5
5.398309	-0.2	6
6.448369	-0.3	7
7.376421	-0.4	8
8.376479	-0.5	9
9.424539	-0.4	10
10.474599	-0.4	11
11.380651	-0.4	12
12.401709	-0.3	13
13.452769	-0.4	14
14.376822	-0.4	15
15.376879	-0.4	16
16.426939	-0.4	17
17.476999	-0.4	18
18.380051	-0.4	19
19.404109	-0.4	20
20.45717	-0.4	21
21.377222	-0.4	22
22.37928	-0.4	23
23.43134	-0.4	24
24.4814	-0.4	25
25.380451	-0.4	26
26.40451	-0.4	27
27.45557	-0.3	28
28.380623	-0.3	29
29.383681	-0.3	30
30.431741	-0.3	31
31.481801	-0.3	32
32.376852	-0.4	33
33.40891	-0.4	34
34.459971	-0.5	35
35.380023	-0.4	36
36.38408	-0.5	37

Tiempo (s)	Señal (mT)	Lectura
307.37758	-1.1	308
308.42464	-1.1	309
309.4747	-1.2	310
310.38075	-1.2	311
311.40281	-1.2	312
312.45387	-1.2	313
313.37692	-1.2	314
314.37798	-1.2	315
315.43004	-1.2	316
316.4801	-1.2	317
317.37615	-1.2	318
318.40521	-1.2	319
319.45527	-1.2	320
320.37833	-1.2	321
321.38038	-1.2	322
322.43144	-1.2	323
323.4825	-1.2	324
324.37655	-1.1	325
325.40561	-1.2	326
326.45667	-1.2	327
327.38072	-1.2	328
328.38278	-1.3	329
329.43384	-1.2	330
330.4839	-1.2	331
331.37695	-1.1	332
332.40801	-1.2	333
333.45807	-1.1	334
334.37612	-1.2	335
335.38618	-1.1	336
336.43624	-1.2	337
337.3853	-1.1	338
338.37635	-1.2	339
339.41041	-1.2	340
340.46047	-1.2	341
341.37653	-1.1	342
342.38858	-1.2	343
343.43864	-1.2	344
344.3857	-1.2	345
345.37675	-1.2	346

Tiempo (s)	Señal (mT)	Lectura
615.4802	-0.1	616
616.38025	0	617
617.40431	-0.1	618
618.45537	-0.1	619
619.38043	-0.1	620
620.38248	0	621
621.43254	-0.1	622
622.4816	0	623
623.37666	-0.1	624
624.40671	-0.1	625
625.45677	-0.1	626
626.38083	-0.1	627
627.38488	-0.1	628
628.43294	-0.1	629
629.483	-0.1	630
630.37606	-0.1	631
631.41111	-0.1	632
632.46117	-0.1	633
633.38023	-0.1	634
634.38528	-0.1	635
635.43735	-0.1	636
636.3854	-0.1	637
637.37646	-0.1	638
638.41152	0	639
639.46158	0	640
640.37663	0	641
641.38969	0	642
642.43875	0	643
643.3858	-0.1	644
644.37686	-0.1	645
645.41392	-0.1	646
646.46398	-0.1	647
647.37603	-0.1	648
648.39109	-0.1	649
649.44315	0	650
650.3772	0	651
651.37626	-0.1	652
652.41532	-0.1	653
653.46638	-0.1	654

37.436141	-0.5	38

38.384195	-0.5	39
39.376252	-0.5	40
40.409311	-0.5	41
41.459371	-0.5	42
42.376424	-0.5	43
43.387481	-0.5	44
44.437541	-0.5	45
45.385596	-0.5	46
46.376653	-0.5	47
47.411712	-0.5	48
48.461772	-0.5	49
49.376824	-0.4	50
50.389882	-0.4	51
51.439942	-0.4	52
52.384996	-0.4	53
53.376052	-0.5	54
54.414112	-0.5	55
55.464172	-0.5	56
56.376224	-0.5	57
57.392282	-0.5	58
58.442342	-0.5	59
59.376396	-0.5	60
60.376452	-0.5	61
61.416512	-0.5	62
62.466573	-0.5	63
63.376625	-0.4	64
64.394683	-0.5	65
65.445743	-0.5	66
66.376797	-0.6	67
67.377853	-0.6	68
68.418913	-0.5	69
69.468973	-0.5	70
70.377026	-0.5	71
71.397083	-0.5	72
72.447144	-0.5	73
73.376196	-0.5	74
74.377254	-0.5	75
75.422313	-0.5	76
76.471374	-0.4	77
77.378426	-0.4	78
78.399484	-0.3	79
79.449544	-0.4	80
80.376596	-0.4	81

346.41281	-1.2	347
347.46287	-1.2	348
348.37793	-1.2	349
349.39098	-1.2	350
350.44104	-1.2	351
351.3761	-1.2	352
352.37615	-1.2	353
353.41621	-1.2	354
354.46527	-1.2	355
355.37633	-1.2	356
356.39238	-1.1	357
357.44345	-1.2	358
358.3775	-1.2	359
359.37756	-1.2	360
360.41761	-1.2	361
361.46767	-1.2	362
362.37673	-1.2	363
363.39478	-1.2	364
364.44585	-1.2	365
365.3769	-1.1	366
366.37796	-1.1	367
367.42002	-1.1	368
368.47008	-1.2	369
369.37713	-1.1	370
370.39719	-1.1	371
371.44825	-1.2	372
372.3773	-1.2	373
373.37636	-1.2	374
374.42242	-1.2	375
375.47248	-1.2	376
376.37953	-1.3	377
377.39959	-1.2	378
378.45065	-1.2	379
379.3777	-1.2	380
380.37676	-1.2	381
381.42482	-1.2	382
382.47488	-1.2	383
383.38093	-1.2	384
384.40199	-1.2	385
385.45205	-1.1	386
386.3761	-1.1	387
387.37716	-1.1	388
388.43022	-1	389

654.37643	-0.1	655
655.39349	-0.1	656
656.44455	-0.1	657
657.3776	-0.1	658
658.37766	0	659
659.41772	0	660
660.46878	0	661
661.37783	0	662
662.39589	0	663
663.44595	0	664
664.376	0	665
665.37706	0	666
666.42012	0	667
667.47018	0	668
668.37823	0	669
669.39829	0	670
670.45035	0	671
671.3774	0	672
672.37646	0	673
673.42252	-0.1	674
674.47358	-0.1	675
675.37963	-0.1	676
676.40069	-0.1	677
677.45075	0	678
678.3768	0	679
679.37786	0	680
680.42492	0	681
681.47598	0	682
682.38003	0	683
683.40309	0	684
684.45315	0	685
685.3772	-0.1	686
686.37826	-0.1	687
687.42932	-0.1	688
688.48038	-0.1	689
689.37643	-0.2	690
690.40549	-0.2	691
691.45655	-0.2	692
692.3806	-0.1	693
693.38266	-0.1	694
694.42972	-0.1	695
695.48178	-0.1	696
696.37683	-0.1	697

81.376654	-0.4	82
82.423714	-0.5	83
83.473774	-0.5	84
84.380826	-0.4	85
85.400885	-0.4	86
86.451945	-0.4	87
87.376997	-0.4	88
88.377054	-0.4	89
89.428115	-0.4	90
90.478175	-0.4	91
91.380226	-0.3	92
92.402285	-0.4	93
93.452344	-0.3	94
94.379398	-0.4	95
95.380455	-0.4	96
96.428515	-0.4	97
97.479575	-0.5	98
98.380627	-0.5	99
99.403686	-0.5	100
100.45375	-0.4	101
101.3808	-0.4	102
102.38286	-0.4	103
103.43192	-0.4	104
104.48098	-0.4	105
105.37603	-0.4	106
106.40809	-0.5	107
107.45915	-0.5	108
108.3802	-0.5	109
109.38326	-0.5	110
110.43532	-0.5	111
111.38337	-0.5	112
112.37643	-0.4	113
113.40849	-0.4	114
114.45955	-0.4	115
115.3776	-0.4	116
116.38766	-0.4	117
117.43772	-0.5	118
118.38577	-0.5	119
119.37683	-0.5	120
120.41089	-0.5	121
121.46195	-0.5	122
122.376	-0.5	123
123.39006	-0.4	124

389.48028	-0.9	390
390.38033	-0.7	391
391.40439	-0.5	392
392.45545	-0.3	393
393.3785	0	394
394.37956	0	395
395.43062	0	396
396.48168	-0.1	397
397.38073	-0.1	398
398.40479	-0.1	399
399.45485	-0.1	400
400.3809	-0.1	401
401.38396	0	402
402.43202	-0.1	403
403.48208	0	404
404.37613	0	405
405.40919	-0.1	406
406.45925	-0.1	407
407.3813	-0.1	408
408.38436	-0.1	409
409.43642	-0.1	410
410.38447	-0.1	411
411.37653	-0.1	412
412.40959	0	413
413.46065	0	414
414.3767	0	415
415.38776	0	416
416.43882	0	417
417.38587	-0.1	418
418.37693	0	419
419.41199	0	420
420.46205	0	421
421.3761	0	422
422.39016	0	423
423.44022	0	424
424.38527	0	425
425.37733	0	426
426.41439	-0.1	427
427.46445	0	428
428.3765	0	429
429.39256	0	430
430.44262	0	431
431.37667	0	432

697.40589	-0.1	698
698.45695	-0.1	699
699.38	-0.1	700
700.38306	-0.1	701
701.43412	-0.1	702
702.38317	-0.1	703
703.37623	0	704
704.40829	0	705
705.45835	0	706
706.3764	0	707
707.38646	0	708
708.43752	0	709
709.38557	0	710
710.37763	0	711
711.41069	0	712
712.46075	-0.1	713
713.3768	0	714
714.38886	-0.1	715
715.43992	-0.1	716
716.38497	-0.1	717
717.37603	-0.1	718
718.41309	-0.1	719
719.46315	-0.1	720
720.3762	-0.1	721
721.39126	0	722
722.44132	0	723
723.37637	0	724
724.37643	0	725
725.41649	0	726
726.46555	0	727
727.3766	0	728
728.39366	-0.1	729
729.44372	0	730
730.37678	0	731
731.37783	0	732
732.41789	-0.1	733
733.46795	-0.1	734
734.376	0	735
735.39606	-0.1	736
736.44612	-0.1	737
737.37618	0	738
738.37723	0	739
739.42029	0	740

124.43912	-0.4	125
125.38517	-0.4	126
126.37723	-0.4	127
127.41329	-0.4	128
128.46435	-0.4	129
129.3764	-0.5	130
130.39146	-0.4	131
131.44152	-0.4	132
132.37757	-0.4	133
133.37663	-0.4	134
134.41569	-0.4	135
135.46675	-0.5	136
136.3768	-0.5	137
137.39386	-0.5	138
138.44392	-0.5	139
139.37697	-0.6	140
140.37703	-0.5	141
141.41909	-0.5	142
142.46915	-0.4	143
143.3762	-0.5	144
144.39626	-0.4	145
145.44632	-0.4	146
146.37637	-0.5	147
147.37743	-0.4	148
148.42149	-0.4	149
149.47055	-0.4	150
150.3786	-0.4	151
151.39866	-0.4	152
152.44972	-0.4	153
153.37677	-0.5	154
154.37783	-0.5	155
155.42289	-0.5	156
156.47395	-0.5	157
157.38	-0.5	158
158.40106	-0.5	159
159.45312	-0.5	160
160.37617	-0.4	161
161.37723	-0.4	162
162.42529	-0.5	163
163.47535	-0.5	164
164.3804	-0.5	165
165.40346	-0.5	166
166.45452	-0.5	167

432.37673	0	433
433.41679	0	434
434.46785	0	435
435.3769	0	436
436.39496	0	437
437.44502	0	438
438.37607	0	439
439.37713	0	440
440.41919	0	441
441.46925	0	442
442.3773	0	443
443.39736	0	444
444.45042	0	445
445.37647	0	446
446.37853	0	447
447.42259	0	448
448.47165	0	449
449.3787	-0.1	450
450.39976	0	451
451.45282	0	452
452.37687	0	453
453.37693	0	454
454.42399	0	455
455.47405	0	456
456.3801	0	457
457.40216	0	458
458.45222	0	459
459.37627	0	460
460.37733	0	461
461.42839	0	462
462.47945	0	463
463.3805	0	464
464.40256	0	465
465.45262	0	466
466.37968	0	467
467.38173	0	468
468.42879	0	469
469.47885	0	470
470.3769	0	471
471.40696	0	472
472.45702	-0.1	473
473.38008	0	474
474.38113	0	475

740.47035	0	741
741.3774	0	742
742.39746	0	743
743.44852	0	744
744.37658	-0.1	745
745.37663	-0.2	746
746.42269	-0.2	747
747.47275	-0.2	748
748.37981	-0.3	749
749.40086	-0.3	750
750.45092	-0.3	751
751.37598	-0.3	752
752.37603	-0.2	753
753.42609	-0.3	754
754.47515	-0.3	755
755.38021	-0.3	756
756.40226	-0.3	757
757.45332	-0.3	758
758.37738	-0.2	759
759.37743	-0.2	760
760.42949	-0.2	761
761.48055	-0.2	762
762.37661	-0.3	763
763.40566	-0.2	764
764.45772	-0.3	765
765.38078	-0.3	766
766.38183	-0.3	767
767.42989	-0.3	768
768.48095	-0.3	769
769.37701	-0.3	770
770.40507	-0.3	771
771.45713	-0.2	772
772.38018	-0.3	773
773.38424	-0.3	774
774.43229	-0.3	775
775.48236	-0.2	776
776.37641	-0.2	777
777.41047	-0.2	778
778.45953	-0.2	779
779.38058	-0.2	780
780.38464	-0.2	781
781.4357	-0.2	782
782.38575	-0.2	783

167.37757	-0.4	168
168.37863	-0.4	169
169.42969	-0.4	170
170.48075	-0.4	171
171.3768	-0.5	172
172.40586	-0.5	173
173.45792	-0.5	174
174.37997	-0.4	175
175.38303	-0.5	176
176.43009	-0.4	177
177.48015	-0.5	178
178.3762	-0.5	179
179.40826	-0.5	180
180.45832	-0.4	181
181.38037	-0.5	182
182.38343	-0.5	183
183.43449	-0.5	184
184.38355	-0.5	185
185.3766	-0.6	186
186.40866	-0.5	187
187.45872	-0.5	188
188.37677	-0.5	189
189.38783	-0.4	190
190.43489	-0.4	191
191.38295	-0.4	192
192.376	-0.5	193
193.41306	-0.5	194
194.46312	-0.5	195
195.37617	-0.5	196
196.38723	-0.5	197
197.43829	-0.4	198
198.37635	-0.4	199
199.3764	-0.4	200
200.41546	-0.4	201
201.46552	-0.4	202
202.37658	-0.4	203
203.38963	-0.4	204
204.43969	-0.4	205
205.37675	-0.4	206
206.3778	-0.4	207
207.41786	-0.4	208
208.46792	-0.4	209
209.37598	-0.4	210

475.43319	0	476
476.48325	-0.1	477
477.3763	-0.1	478
478.40736	0	479
479.45842	0	480
480.37648	-0.1	481
481.38553	-0.1	482
482.43559	-0.1	483
483.38265	0	484
484.37671	-0.1	485
485.41176	0	486
486.46182	0	487
487.37688	0	488
488.38593	0	489
489.43699	0	490
490.38505	0	491
491.3761	0	492
492.41216	-0.1	493
493.46222	-0.1	494
494.37628	-0.1	495
495.39033	0	496
496.44039	0	497
497.38545	0	498
498.37651	0	499
499.41357	0	500
500.46462	0	501
501.37668	-0.1	502
502.39174	-0.1	503
503.4418	-0.1	504
504.37785	-0.1	505
505.37691	-0.1	506
506.41697	-0.1	507
507.46703	-0.1	508
508.37608	-0.1	509
509.39414	-0.1	510
510.4452	-0.1	511
511.37625	-0.1	512
512.37731	-0.1	513
513.41837	-0.1	514
514.46943	-0.1	515
515.37748	-0.1	516
516.39654	-0.1	517
517.4476	0	518

783.37681	-0.2	784
784.40987	-0.2	785
785.46093	-0.2	786
786.37598	-0.2	787
787.38904	-0.2	788
788.4391	-0.2	789
789.38515	-0.2	790
790.37721	-0.2	791
791.41227	-0.2	792
792.46333	-0.2	793
793.37638	-0.3	794
794.39044	-0.2	795
795.4415	-0.3	796
796.38055	-0.3	797
797.37761	-0.2	798
798.41467	-0.2	799
799.46573	-0.3	800
800.37678	-0.3	801
801.39284	-0.3	802
802.4429	-0.3	803
803.37695	-0.3	804
804.37701	-0.2	805
805.41707	-0.2	806
806.46713	-0.2	807
807.37618	-0.2	808
808.39524	-0.2	809
809.4453	-0.2	810
810.37635	-0.2	811
811.37741	-0.2	812
812.41947	-0.2	813
813.47053	-0.2	814
814.37658	-0.2	815
815.39764	-0.2	816
816.4487	-0.3	817
817.37675	-0.3	818
818.37781	-0.3	819
819.42287	-0.2	820
820.47293	-0.2	821
821.37998	-0.2	822
822.40004	-0.2	823
823.4501	-0.2	824
824.37615	-0.2	825
825.37621	-0.2	826

210.39203	-0.4	211
211.44209	-0.4	212
212.37615	-0.4	213
213.3772	-0.4	214
214.41926	-0.4	215
215.47032	-0.4	216
216.37638	-0.5	217
217.39443	-0.5	218
218.44449	-0.4	219
219.37655	-0.5	220
220.37661	-0.5	221
221.42367	-0.4	222
222.47272	-0.4	223
223.37678	-0.4	224
224.39683	-0.4	225
225.44689	-0.4	226
226.37695	-0.4	227
227.37601	-0.4	228
228.42507	-0.4	229
229.47512	-0.3	230
230.37818	-0.4	231
231.39824	-0.4	232
232.4493	-0.4	233
233.37735	-0.4	234
234.37741	-0.5	235
235.42547	-0.6	236
236.47553	-0.7	237
237.38058	-0.9	238
238.40264	-1	239
239.4537	-1.1	240
240.37675	-1.1	241
241.37781	-1.1	242
242.43087	-1.1	243
243.48093	-1.1	244
244.37598	-1.1	245
245.40604	-1.1	246
246.4571	-1.1	247
247.38015	-1.2	248
248.38221	-1.2	249
249.42927	-1.2	250
250.48133	-1.2	251
251.37638	-1.2	252
252.40544	-1.2	253

518.37765	0	519
519.37771	-0.1	520
520.42077	-0.1	521
521.47183	0	522
522.37888	-0.1	523
523.39894	-0.1	524
524.449	-0.1	525
525.37605	-0.1	526
526.37611	-0.1	527
527.42317	-0.2	528
528.47423	-0.1	529
529.38028	-0.1	530
530.40134	-0.1	531
531.4534	-0.1	532
532.37745	0	533
533.37651	0	534
534.42757	0	535
535.47863	0	536
536.38068	0	537
537.40174	0	538
538.4528	0	539
539.37985	-0.1	540
540.38091	0	541
541.42897	0	542
542.47903	0	543
543.37608	0	544
544.40614	0	545
545.4562	0	546
546.38025	0	547
547.38131	0	548
548.43337	-0.1	549
549.48343	-0.1	550
550.37648	-0.1	551
551.40654	-0.1	552
552.4566	-0.1	553
553.38065	-0.1	554
554.38571	-0.1	555
555.43277	-0.1	556
556.48383	-0.1	557
557.37688	-0.1	558
558.41094	-0.1	559
559.462	-0.1	560
560.37605	-0.1	561

826.42427	-0.2	827
827.47533	-0.2	828
828.38038	-0.3	829
829.40244	-0.3	830
830.4525	-0.3	831
831.37655	-0.3	832
832.37761	-0.3	833
833.42867	-0.2	834
834.47873	-0.2	835
835.38078	-0.2	836
836.40284	-0.2	837
837.4529	-0.2	838
838.38095	-0.2	839
839.38201	-0.2	840
840.42907	-0.3	841
841.48013	-0.3	842
842.37618	-0.3	843
843.40524	-0.3	844
844.4563	-0.3	845
845.38035	-0.3	846
846.38241	-0.3	847
847.43447	-0.3	848
848.48353	-0.4	849
849.37658	-0.3	850
850.40764	-0.3	851
851.4587	-0.3	852
852.37675	-0.3	853
853.38681	-0.2	854
854.43487	-0.3	855
855.38193	-0.2	856
856.37598	-0.2	857
857.41204	-0.2	858
858.4621	-0.2	859
859.37615	-0.2	860
860.38621	-0.1	861
861.43727	-0.1	862
862.38133	-0.1	863
863.37638	-0.2	864
864.41444	-0.2	865
865.4645	-0.3	866
866.37655	-0.3	867
867.38861	-0.3	868
868.43867	-0.3	869

253.4585	-1.1	254
254.37955	-1.2	255
255.38261	-1.1	256
256.43467	-1.1	257
257.38372	-1.1	258
258.37678	-1.1	259
259.40784	-1.1	260
260.4589	-1.1	261
261.37795	-1.1	262
262.38701	-1.1	263
263.43607	-1.2	264
264.38512	-1.2	265
265.37618	-1.2	266
266.41024	-1.2	267
267.4613	-1.2	268
268.37735	-1.2	269
269.38941	-1.1	270
270.43947	-1.1	271
271.38552	-1.1	272
272.37658	-1.1	273
273.41264	-1.1	274
274.4637	-1.1	275
275.37675	-1.1	276
276.39081	-1.1	277
277.44087	-1.1	278
278.38592	-1.1	279
279.37598	-1.2	280
280.41504	-1.2	281
281.4661	-1.2	282
282.37615	-1.2	283
283.39321	-1.2	284
284.44327	-1.2	285
285.37632	-1.2	286
286.37738	-1.2	287
287.41744	-1.2	288
288.4675	-1.2	289
289.37655	-1.1	290
290.39561	-1.1	291
291.44567	-1.1	292
292.37672	-1.2	293
293.37778	-1.2	294
294.41984	-1.2	295
295.4709	-1.2	296

561.38611	0	562
562.43717	0	563
563.38522	0	564
564.37628	0	565
565.41134	-0.1	566
566.4614	-0.1	567
567.37645	-0.2	568
568.38951	-0.2	569
569.43957	-0.2	570
570.38562	-0.1	571
571.37668	-0.1	572
572.41374	-0.1	573
573.4638	-0.1	574
574.37685	0	575
575.39191	0	576
576.44197	0	577
577.37602	0	578
578.37608	0	579
579.41614	-0.1	580
580.4662	0	581
581.37625	-0.1	582
582.39431	-0.1	583
583.44837	-0.1	584
584.37642	-0.1	585
585.37748	-0.1	586
586.41954	-0.1	587
587.4686	-0.1	588
588.37665	-0.1	589
589.39671	-0.1	590
590.44677	-0.1	591
591.37682	-0.1	592
592.37788	-0.2	593
593.42094	-0.1	594
594.471	-0.1	595
595.37805	-0.1	596
596.39911	-0.1	597
597.44917	-0.1	598
598.37623	-0.1	599
599.37628	-0.1	600
600.42334	-0.1	601
601.4734	-0.1	602
602.38045	-0.1	603
603.40151	-0.1	604

869.37673	-0.3	870
870.37678	-0.3	871
871.41684	-0.2	872
872.4669	-0.2	873
873.37695	-0.2	874
874.39001	-0.3	875
875.44107	-0.2	876
876.37613	-0.2	877
877.37718	-0.2	878
878.41924	-0.2	879
879.4693	-0.2	880
880.37635	-0.2	881
881.39341	-0.2	882
882.44347	-0.2	883
883.37653	-0.3	884
884.37758	-0.3	885
885.42164	-0.3	886
886.4717	-0.2	887
887.37676	-0.2	888
888.39581	-0.2	889
889.44887	-0.2	890
890.37693	-0.2	891
891.37598	-0.2	892
892.42404	-0.2	893
893.4741	-0.2	894
894.37716	-0.2	895
895.39821	-0.2	896
896.44827	-0.2	897
897.37633	-0.2	898
898.37638	-0.2	899
899.42744	-0.2	900
900.4745	-0.2	901
901.38056	-0.2	902
902.40161	-0.2	903
903.45567	-0.2	904
904.37673	-0.2	905
905.37678	-0.2	906
906.42884	-0.3	907
907.47991	-0.3	908
908.38096	-0.3	909
909.40501	-0.3	910
910.45608	-0.2	911
911.37813	-0.2	912

296.37795	-1.2	297
297.39801	-1.2	298
298.44907	-1.2	299
299.37612	-1.2	300
300.37718	-1.2	301
301.42224	-1.2	302
302.4723	-1.2	303
303.38035	-1.2	304
304.40041	-1.2	305
305.45047	-1.1	306
306.37652	-1.1	307

604.45157	-0.1	605
605.37663	-0.1	606
606.37668	-0.1	607
607.42674	-0.1	608
608.4758	-0.1	609
609.38085	-0.1	610
610.40391	-0.1	611
611.45397	-0.1	612
612.37703	0	613
613.37808	-0.1	614
614.43014	-0.1	615

912.37919	-0.2	913
913.43024	-0.2	914
914.48131	-0.2	915
915.37636	-0.2	916
916.40442	-0.2	917
917.45548	-0.2	918
918.38053	-0.2	919
919.38359	-0.3	920
920.43265	-0.3	921
921.48171	-0.2	922
922.37676	-0.2	923
923.40882	-0.2	924

Anexo 2. Mediciones de los campos magnéticos para el acero inoxidable austenitico AISI 301 sin tratamiento

Tiempo (s)	Señal (mT)	Lectura
0	0	0
0.17301	0	1
1.103063	0	2
2.103121	0	3
3.15118	0	4
4.201241	0	5
5.106292	-3.5	6
6.12635	-3.8	7
7.177411	-4.1	8
8.102463	-4.3	9
9.102521	-4.6	10
10.151581	-4.9	11
11.201641	-4.9	12
12.106693	-4.9	13
13.128751	-4.9	14
14.179811	-4.9	15
15.103864	-4.9	16
16.103921	-4.9	17
17.156982	-4.9	18
18.207042	-4.9	19
19.103093	-4.9	20
20.131151	-4.9	21
21.181212	-4.9	22
22.105265	-4.9	23
23.106322	-5	24
24.157382	-5	25
25.208443	-5	26
26.102493	-5	27
27.131552	-4.9	28
28.184612	-5	29
29.106665	-4.9	30
30.108723	-4.9	31
31.160782	-4.9	32
32.109837	-5	33
33.102894	-4.9	34
34.133953	-4.9	35
35.185013	-4.9	36
36.103065	-4.9	37
37.113123	-4.9	38
38.162183	-4.9	39

Tiempo (s)	Señal (mT)	Lectura
368.14906	-2	369
369.19912	-2	370
370.10317	-2	371
371.12323	-2	372
372.17429	-2	373
373.10234	-2	374
374.1024	-2	375
375.15146	-2.1	376
376.20152	-2	377
377.10557	-2	378
378.12563	-2	379
379.17569	-2	380
380.10374	-2	381
381.1048	-2.1	382
382.15186	-2.1	383
383.20192	-2.1	384
384.10697	-2.1	385
385.13003	-2.2	386
386.18009	-2.1	387
387.10414	-2.1	388
388.1042	-2.1	389
389.15626	-2	390
390.20632	-2	391
391.10637	-2.1	392
392.13043	-2.1	393
393.18049	-2.1	394
394.10654	-2.1	395
395.1086	-2.1	396
396.15866	-2.1	397
397.20672	-2.1	398
398.10277	-2	399
399.13483	-2	400
400.18689	-2	401
401.10694	-2	402
402.109	-2	403
403.16406	-2	404
404.11011	-2	405
405.10217	-2	406
406.13523	-2	407
407.18529	-2.1	408

Tiempo (s)	Señal (mT)	Lectura
737.17516	0	738
738.10222	0	739
739.10327	0	740
740.14734	0	741
741.1984	0	742
742.10545	0	743
743.12551	0	744
744.17557	0.1	745
745.10262	0.2	746
746.10367	0.4	747
747.14973	0.5	748
748.2008	0.6	749
749.10685	0.6	750
750.12791	0.5	751
751.17897	0.5	752
752.10302	0.5	753
753.10308	0.5	754
754.15314	0.6	755
755.2022	0.6	756
756.10625	0.6	757
757.13031	0.6	758
758.18037	0.6	759
759.10342	0.6	760
760.10548	0.6	761
761.15654	0.6	762
762.2076	0.6	763
763.10565	0.6	764
764.13071	0.6	765
765.18077	0.6	766
766.10682	0.5	767
767.10988	0.5	768
768.15694	0.5	769
769.207	0.6	770
770.10405	0.6	771
771.13511	0.6	772
772.18517	0.6	773
773.10622	0.6	774
774.11028	0.6	775
775.16434	0.6	776
776.11039	0.6	777

39.111238	-4.9	40
40.102294	-4.9	41
41.136353	-4.9	42
42.187413	-4.9	43
43.102466	-4.9	44
44.115523	-4.8	45
45.164583	-4.8	46
46.111638	-4.8	47
47.102695	-4.8	48
48.138754	-4.9	49
49.188814	-4.9	50
50.102866	-4.9	51
51.116924	-4.9	52
52.166984	-4.9	53
53.112038	-4.9	54
54.104095	-4.9	55
55.141155	-4.9	56
56.192214	-4.9	57
57.102266	-4.9	58
58.119324	-5	59
59.169385	-5	60
60.102438	-4.9	61
61.103495	-4.9	62
62.143555	-4.9	63
63.194614	-4.9	64
64.103667	-4.9	65
65.121725	-4.9	66
66.171785	-4.9	67
67.102839	-4.9	68
68.103895	-4.9	69
69.146955	-4.9	70
70.196015	-4.9	71
71.104067	-4.9	72
72.124126	-4.9	73
73.174186	-4.9	74
74.102239	-4.9	75
75.102296	-4.8	76
76.148356	-4.8	77
77.198415	-4.8	78
78.105467	-4.8	79
79.126526	-4.8	80
80.177587	-4.8	81
81.102639	-4.8	82

408.10234	-2.1	409
409.1134	-2.1	410
410.16546	-2.1	411
411.11152	-2.1	412
412.10257	-2.1	413
413.13763	-1.8	414
414.18769	-1.5	415
415.10274	-1.2	416
416.1158	-0.9	417
417.16686	-0.6	418
418.11192	-0.5	419
419.10297	-0.5	420
420.14003	-0.5	421
421.19009	-0.5	422
422.10314	-0.5	423
423.1172	-0.5	424
424.16926	-0.4	425
425.10231	-0.5	426
426.10237	-0.5	427
427.14143	-0.5	428
428.19249	-0.5	429
429.10254	-0.5	430
430.1196	-0.5	431
431.17066	-0.5	432
432.10272	-0.5	433
433.10377	-0.5	434
434.14483	-0.5	435
435.19489	-0.5	436
436.10394	-0.5	437
437.122	-0.5	438
438.17306	-0.6	439
439.10312	-0.6	440
440.10317	-0.5	441
441.14723	-0.5	442
442.19629	-0.5	443
443.10434	-0.5	444
444.1244	-0.4	445
445.17546	-0.4	446
446.10352	-0.4	447
447.10257	-0.4	448
448.14863	-0.4	449
449.19969	-0.4	450
450.10675	-0.4	451

777.10245	0.6	778
778.13551	0.6	779
779.18557	0.6	780
780.10262	0.6	781
781.11368	0.5	782
782.16374	0.6	783
783.11179	0.6	784
784.10285	0.5	785
785.13791	0.6	786
786.18797	0.6	787
787.10302	0.6	788
788.11608	0.6	789
789.16614	0.6	790
790.11119	0.5	791
791.10225	0.5	792
792.14031	0.6	793
793.19037	0.6	794
794.10242	0.6	795
795.11748	0.6	796
796.16854	0.6	797
797.10259	0.6	798
798.10265	0.6	799
799.14271	0.6	800
800.19277	0.6	801
801.10282	0.5	802
802.12088	0.5	803
803.17094	0.5	804
804.10299	0.5	805
805.10405	0.5	806
806.14511	0.6	807
807.19517	0.6	808
808.10322	0.6	809
809.12328	0.6	810
810.17434	0.6	811
811.10239	0.6	812
812.10345	0.6	813
813.14851	0.5	814
814.19757	0.5	815
815.10462	0.5	816
816.12568	0.5	817
817.17574	0.6	818
818.10379	0.6	819
819.10285	0.5	820

82.102696	-4.9	83
83.151756	-4.9	84
84.200816	-4.9	85
85.106868	-4.9	86
86.128927	-4.8	87
87.178987	-4.8	88
88.103039	-4.8	89
89.104097	-4.9	90
90.156157	-4.9	91
91.206217	-4.9	92
92.102268	-4.9	93
93.131327	-5	94
94.182387	-4.9	95
95.10644	-4.9	96
96.108497	-4.9	97
97.155557	-4.9	98
98.206617	-4.8	99
99.102669	-4.9	100
100.13173	-4.8	101
101.18279	-4.9	102
102.10684	-4.9	103
103.1089	-4.9	104
104.15996	-4.9	105
105.21002	-4.9	106
106.10307	-4.8	107
107.13413	-4.8	108
108.18419	-4.8	109
109.10224	-4.8	110
110.1123	-4.7	111
111.16236	-4.7	112
112.11141	-4.8	113
113.10247	-4.8	114
114.13653	-4.8	115
115.18659	-4.8	116
116.10264	-4.8	117
117.1147	-4.9	118
118.16576	-4.8	119
119.11181	-4.9	120
120.10287	-4.9	121
121.13893	-4.8	122
122.18899	-4.8	123
123.10304	-4.8	124
124.1171	-4.8	125

451.1268	-0.4	452
452.17686	-0.4	453
453.10292	-0.5	454
454.10397	-0.5	455
455.15203	-0.6	456
456.20209	-0.6	457
457.10715	-0.6	458
458.1292	-0.5	459
459.17926	-0.5	460
460.10332	-0.4	461
461.10437	-0.4	462
462.15644	-0.5	463
463.2075	-0.5	464
464.10255	-0.5	465
465.1316	-0.5	466
466.18366	-0.5	467
467.10672	-0.5	468
468.10878	-0.5	469
469.15584	-0.5	470
470.20789	-0.5	471
471.10295	-0.5	472
472.13201	-0.6	473
473.18307	-0.6	474
474.10712	-0.6	475
475.10918	-0.6	476
476.16024	-0.6	477
477.10929	-0.6	478
478.10235	-0.5	479
479.13441	-0.5	480
480.18447	-0.6	481
481.10252	-0.6	482
482.11258	-0.5	483
483.16264	-0.5	484
484.11169	-0.5	485
485.10375	-0.5	486
486.13681	-0.4	487
487.18687	-0.4	488
488.10292	-0.5	489
489.11498	-0.4	490
490.16604	-0.5	491
491.11209	-0.5	492
492.10315	-0.5	493
493.13921	-0.5	494

820.15291	0.6	821
821.19997	0.6	822
822.10702	0.5	823
823.12808	0.5	824
824.17814	0.6	825
825.10219	0.6	826
826.10325	0.5	827
827.15431	0.6	828
828.20537	0.6	829
829.10642	0.6	830
830.13048	0.6	831
831.18054	0.6	832
832.10359	0.6	833
833.10465	0.6	834
834.15671	0.6	835
835.20677	0.6	836
836.10682	0.6	837
837.12988	0.6	838
838.18094	0.7	839
839.107	0.7	840
840.11005	0.7	841
841.15711	0.7	842
842.20717	0.6	843
843.10222	0.6	844
844.13528	0.6	845
845.18534	0.6	846
846.1064	0.6	847
847.10945	0.6	848
848.16151	0.7	849
849.10957	0.7	850
850.10262	0.6	851
851.13468	0.7	852
852.18574	0.7	853
853.1028	0.7	854
854.11385	0.6	855
855.16391	0.6	856
856.11197	0.6	857
857.10402	0.6	858
858.13708	0.6	859
859.18714	0.6	860
860.1022	0.5	861
861.11525	0.6	862
862.16631	0.5	863

125.16816	-4.8	126
126.10221	-4.8	127
127.10227	-4.8	128
128.14233	-4.8	129
129.19139	-4.8	130
130.10244	-4.8	131
131.1185	-4.8	132
132.16956	-4.8	133
133.10261	-4.8	134
134.10367	-4.8	135
135.14473	-4.8	136
136.19379	-4.8	137
137.10284	-4.8	138
138.1219	-4.8	139
139.17196	-4.8	140
140.10301	-4.9	141
141.10407	-4.8	142
142.14613	-4.8	143
143.19619	-4.8	144
144.10324	-4.8	145
145.1233	-4.8	146
146.17636	-4.9	147
147.10241	-4.8	148
148.10247	-4.9	149
149.14853	-4.9	150
150.19859	-4.9	151
151.10564	-4.9	152
152.1257	-4.9	153
153.17676	-4.9	154
154.10282	-4.9	155
155.10287	-4.9	156
156.15093	-4.8	157
157.20099	-4.9	158
158.10704	-4.9	159
159.1281	-4.9	160
160.17816	-4.8	161
161.10322	-4.8	162
162.10327	-4.9	163
163.15733	-4.9	164
164.20639	-4.9	165
165.10644	-4.8	166
166.1305	-4.8	167
167.18256	-4.8	168

494.18927	-0.6	495
495.10232	-0.5	496
496.11738	-0.5	497
497.16944	-0.5	498
498.10249	-0.6	499
499.10355	-0.5	500
500.14261	-0.5	501
501.19167	-0.5	502
502.10272	-0.5	503
503.11978	-0.5	504
504.16984	-0.4	505
505.10289	-0.5	506
506.10395	-0.5	507
507.14401	-0.5	508
508.19407	-0.5	509
509.10312	-0.5	510
510.12218	-0.4	511
511.17224	-0.4	512
512.10229	-0.4	513
513.10335	-0.4	514
514.14641	-0.5	515
515.19647	-0.5	516
516.10352	-0.5	517
517.12358	-0.5	518
518.17564	-0.5	519
519.10269	-0.4	520
520.10275	-0.4	521
521.14881	-0.4	522
522.19887	-0.4	523
523.10592	-0.5	524
524.12698	-0.5	525
525.17704	-0.5	526
526.10309	-0.5	527
527.10315	-0.5	528
528.15121	-0.5	529
529.20127	-0.5	530
530.10632	-0.5	531
531.12938	-0.5	532
532.18044	-0.5	533
533.10349	-0.5	534
534.10355	-0.5	535
535.15561	-0.4	536
536.20667	-0.4	537

863.11137	0.5	864
864.10342	0.5	865
865.13948	0.6	866
866.19054	0.6	867
867.1036	0.6	868
868.11765	0.6	869
869.16871	0.6	870
870.10277	0.7	871
871.10283	0.7	872
872.14288	0.6	873
873.19294	0.7	874
874.103	0.6	875
875.12006	0.6	876
876.17312	0.6	877
877.10317	0.6	878
878.10323	0.6	879
879.14428	0.6	880
880.19535	0.7	881
881.1024	0.6	882
882.12246	0.7	883
883.17251	0.7	884
884.10257	0.7	885
885.10363	0.6	886
886.14669	0.6	887
887.19775	0.6	888
888.1048	0.5	889
889.12486	0.5	890
890.17492	0.5	891
891.10297	0.5	892
892.10303	0.5	893
893.14909	0.5	894
894.20015	0.6	895
895.1062	0.6	896
896.12726	0.6	897
897.17732	0.6	898
898.10237	0.6	899
899.10243	0.6	900
900.15349	0.5	901
901.20355	0.5	902
902.1066	0.5	903
903.12766	0.5	904
904.17772	0.5	905
905.10477	0.6	906

168.10462	-4.8	169
169.10567	-4.8	170
170.15673	-4.8	171
171.20679	-4.9	172
172.10684	-4.9	173
173.1309	-4.9	174
174.18196	-4.9	175
175.10702	-4.9	176
176.11007	-4.9	177
177.15813	-4.9	178
178.20819	-4.8	179
179.10224	-4.8	180
180.1353	-4.8	181
181.18636	-4.8	182
182.10642	-4.8	183
183.11047	-4.8	184
184.16153	-4.8	185
185.11059	-4.8	186
186.10265	-4.8	187
187.1357	-4.8	188
188.18676	-4.7	189
189.10382	-4.8	190
190.11387	-4.8	191
191.16494	-4.8	192
192.11199	-4.8	193
193.10305	-4.8	194
194.1381	-4.8	195
195.18816	-4.8	196
196.10322	-4.8	197
197.11627	-4.8	198
198.16634	-4.9	199
199.11139	-4.8	200
200.10245	-4.9	201
201.14051	-4.9	202
202.19057	-4.9	203
203.10262	-4.6	204
204.11868	-4	205
205.16874	-3.4	206
206.10279	-2.9	207
207.10285	-2.3	208
208.14291	-2	209
209.19297	-2	210
210.10402	-2	211

537.10272	-0.4	538
538.13178	-0.4	539
539.18284	-0.4	540
540.10689	-0.5	541
541.10795	-0.5	542
542.15601	-0.5	543
543.20707	-0.5	544
544.10312	-0.5	545
545.13218	-0.5	546
546.18224	-0.5	547
547.10629	-0.4	548
548.11035	-0.4	549
549.15841	-0.4	550
550.20847	-0.4	551
551.10252	-0.4	552
552.13658	-0.4	553
553.18664	-0.4	554
554.10669	-0.4	555
555.11075	-0.4	556
556.16281	-0.4	557
557.11187	-0.4	558
558.10292	-0.5	559
559.13598	-0.5	560
560.18704	-0.5	561
561.10309	-0.5	562
562.11515	-0.5	563
563.16721	-0.4	564
564.11127	-0.4	565
565.10232	-0.4	566
566.13838	-0.2	567
567.18944	-0.1	568
568.10249	0	569
569.11655	0.1	570
570.16761	0.1	571
571.10667	0.1	572
572.10272	0.1	573
573.14078	0.1	574
574.19184	0.1	575
575.10289	0.1	576
576.11895	0	577
577.16901	0	578
578.10307	0	579
579.10312	0	580

906.10683	0.6	907
907.15489	0.5	908
908.20395	0.5	909
909.103	0.6	910
910.13206	0.5	911
911.18312	0.6	912
912.10617	0.6	913
913.10923	0.6	914
914.15729	0.6	915
915.20635	0.6	916
916.1034	0.5	917
917.13446	0.6	918
918.18552	0.5	919
919.10657	0.6	920
920.10963	0.8	921
921.16369	1	922
922.10974	1.2	923
923.1028	1.5	924
924.13486	1.7	925
925.18492	1.8	926
926.10297	1.8	927
927.11303	1.8	928
928.16309	1.7	929
929.11114	1.7	930
930.1022	1.7	931
931.13726	1.8	932
932.18732	1.8	933
933.10237	1.8	934
934.11543	1.8	935
935.16749	1.8	936
936.11154	1.8	937
937.1026	1.8	938
938.13966	1.8	939
939.18972	1.8	940
940.10277	1.8	941
941.11783	1.8	942
942.16789	1.7	943
943.10294	1.8	944
944.103	1.7	945
945.14206	1.8	946
946.19212	1.8	947
947.10217	1.8	948
948.11923	1.7	949

211.12108	-2	212
212.17214	-2	213
213.10219	-2	214
214.10325	-2	215
215.14531	-2	216
216.19537	-2	217
217.10342	-2	218
218.12348	-2	219
219.17454	-2	220
220.10259	-2	221
221.10365	-2	222
222.14871	-2	223
223.19777	-2	224
224.10482	-2	225
225.12588	-2	226
226.17594	-2	227
227.10299	-2	228
228.10405	-2	229
229.15011	-2	230
230.20017	-2	231
231.10622	-2	232
232.12828	-2.1	233
233.17834	-2	234
234.10239	-2	235
235.10345	-2.1	236
236.15451	-2	237
237.20457	-2.1	238
238.10662	-2.1	239
239.12868	-2.1	240
240.17874	-2.1	241
241.10579	-2.1	242
242.10685	-2.1	243
243.15491	-2	244
244.20497	-2.1	245
245.10302	-2	246
246.13308	-2	247
247.18314	-2	248
248.10619	-2	249
249.10725	-2	250
250.15931	-2	251
251.20937	-2.1	252
252.10242	-2.1	253
253.13348	-2.1	254

580.14318	0	581
581.19324	0	582
582.10229	0.1	583
583.12135	0.1	584
584.17141	0.1	585
585.10247	0.1	586
586.10352	0.1	587
587.14558	0	588
588.19664	0	589
589.1037	0	590
590.12375	0	591
591.17681	0	592
592.10287	0	593
593.10392	0	594
594.14898	0	595
595.19904	0	596
596.1061	0	597
597.12615	0	598
598.17621	0.1	599
599.10227	0.1	600
600.10232	0.1	601
601.15038	0.1	602
602.20144	0.1	603
603.1065	0.1	604
604.12855	0.1	605
605.17862	0.1	606
606.10267	0	607
607.10373	0	608
608.15479	0	609
609.20685	0	610
610.1069	0	611
611.13096	0	612
612.18302	0	613
613.10507	0	614
614.10613	0	615
615.15719	0	616
616.20725	0	617
617.1033	0	618
618.13136	0	619
619.18242	0	620
620.10647	0	621
621.10853	0	622
622.15959	0	623

949.17029	1.8	950
950.10234	1.8	951
951.1034	1.8	952
952.14446	1.8	953
953.19452	1.8	954
954.10257	1.8	955
955.12263	1.8	956
956.17269	1.8	957
957.10274	1.8	958
958.1038	1.9	959
959.14686	1.9	960
960.19692	1.9	961
961.10397	1.8	962
962.12503	1.8	963
963.17609	1.9	964
964.10314	1.8	965
965.1022	1.8	966
966.14926	1.8	967
967.19932	1.8	968
968.10637	1.8	969
969.12743	1.8	970
970.17849	1.8	971
971.10254	1.8	972
972.1026	1.8	973
973.15266	1.9	974
974.20172	1.8	975
975.10677	1.8	976
976.12883	1.8	977
977.18089	1.8	978
978.10295	1.8	979
979.104	1.7	980
980.15706	1.7	981
981.20712	1.7	982
982.10217	1.7	983
983.13123	1.7	984
984.18329	1.7	985
985.10635	1.7	986
986.1084	1.7	987
987.15646	1.8	988
988.20752	1.7	989
989.10257	1.7	990
990.13163	1.6	991
991.18369	1.6	992

254.18454	-2.1	255
255.10259	-2	256
256.11265	-2	257
257.16171	-2	258
258.10876	-2	259
259.10282	-2	260
260.13788	-2	261
261.18794	-2	262
262.10299	-2	263
263.11205	-2	264
264.16411	-2	265
265.11116	-2	266
266.10222	-2.1	267
267.13828	-2	268
268.18834	-2.1	269
269.10239	-2.1	270
270.11545	-2	271
271.16651	-2	272
272.11156	-2	273
273.10262	-2	274
274.14068	-2	275
275.19074	-2.1	276
276.10279	-2.1	277
277.11785	-2.1	278
278.16891	-2	279
279.10396	-2	280
280.10302	-2.1	281
281.14308	-2	282
282.19314	-2	283
283.10219	-2	284
284.12025	-1.9	285
285.17231	-1.9	286
286.10236	-1.9	287
287.10342	-2	288
288.14548	-2	289
289.19554	-2	290
290.10359	-2	291
291.12265	-2	292
292.17371	-2.1	293
293.10277	-2.1	294
294.10382	-2.1	295
295.14688	-2.1	296
296.19794	-2.1	297

623.20965	0	624
624.1027	0	625
625.13376	0	626
626.18382	0	627
627.10287	0	628
628.11293	0	629
629.16099	0	630
630.10804	0	631
631.1031	0	632
632.13816	0	633
633.18822	0.1	634
634.10227	0	635
635.11233	0	636
636.16239	0	637
637.10744	0	638
638.1025	0	639
639.14056	0	640
640.19062	0	641
641.10267	0	642
642.11473	0	643
643.16479	0	644
644.10284	0	645
645.1029	0	646
646.14296	0	647
647.19302	0	648
648.10307	0	649
649.11613	0	650
650.16819	0	651
651.10224	0	652
652.1033	0	653
653.14536	0	654
654.19542	0	655
655.10247	0	656
656.11953	0	657
657.16959	0	658
658.10264	0	659
659.1037	0	660
660.14776	0	661
661.19782	0	662
662.10287	0	663
663.12193	0	664
664.17199	0	665
665.10304	0	666

992.10675	1.6	993
993.1088	1.7	994
994.16086	1.7	995
995.10892	1.7	996
996.10297	1.8	997
997.13403	1.8	998
998.18409	1.7	999
999.10315	1.7	1000
1000.1132	1.8	1001
1001.1643	1.8	1002
1002.1113	1.8	1003
1003.1024	1.8	1004
1004.1364	1.8	1005
1005.1875	1.7	1006
1006.1035	1.7	1007
1007.1156	1.7	1008
1008.1657	1.7	1009
1009.1117	1.7	1010
1010.1028	1.8	1011
1011.1388	1.7	1012
1012.1899	1.7	1013
1013.1029	1.8	1014
1014.117	1.7	1015
1015.1671	1.7	1016
1016.1121	1.8	1017
1017.1022	1.8	1018
1018.1412	1.8	1019
1019.1923	1.8	1020
1020.1023	1.8	1021
1021.1194	1.8	1022
1022.1695	1.8	1023
1023.1035	1.8	1024
1024.1036	1.8	1025
1025.1436	1.7	1026
1026.1937	1.7	1027
1027.1027	1.7	1028
1028.1218	1.7	1029
1029.1729	1.7	1030
1030.1029	1.7	1031
1031.104	1.7	1032
1032.146	1.7	1033
1033.1961	1.7	1034
1034.1041	1.7	1035

297.10499	-2.1	298
298.12505	-2.1	299
299.17511	-2.1	300
300.10217	-2.1	301
301.10222	-2.1	302
302.15128	-2.1	303
303.19934	-2.1	304
304.1064	-2.1	305
305.12745	-2.1	306
306.17851	-2.1	307
307.10257	-2.1	308
308.10362	-2.1	309
309.15468	-2.1	310
310.20374	-2	311
311.10679	-2	312
312.12785	-2	313
313.17791	-2	314
314.10597	-2	315
315.10702	-2.1	316
316.15408	-2.1	317
317.20514	-2.1	318
318.10219	-2.1	319
319.13225	-2.1	320
320.18231	-2.1	321
321.10637	-2.1	322
322.10742	-2.1	323
323.15848	-2.1	324
324.20954	-2	325
325.1026	-2	326
326.13265	-2	327
327.18371	-2	328
328.10677	-2	329
329.11182	-2	330
330.15888	-2	331
331.20994	-2.1	332
332.103	-2.1	333
333.13705	-2.1	334
334.18712	-2.1	335
335.10217	-2.1	336
336.11223	-2.1	337
337.16129	-2.1	338
338.10834	-2.1	339
339.1024	-2.1	340

666.1031	0	667
667.15016	0	668
668.20022	0	669
669.10327	0	670
670.12433	0	671
671.17439	0	672
672.10244	0	673
673.1035	0	674
674.15156	0	675
675.20062	0	676
676.10667	0	677
677.12873	0	678
678.17779	0	679
679.10284	0	680
680.1039	0	681
681.15596	0	682
682.20502	0	683
683.10707	0	684
684.12913	0	685
685.17919	0	686
686.10624	0	687
687.1073	0	688
688.15436	0	689
689.20642	0.1	690
690.10247	0.1	691
691.13153	0	692
692.18159	0	693
693.10664	0	694
694.1097	0	695
695.15776	0	696
696.20782	0	697
697.10287	0	698
698.13493	0	699
699.18699	0	700
700.10704	0	701
701.1101	0.1	702
702.16216	0	703
703.11022	0	704
704.10227	0	705
705.13533	0	706
706.18639	0	707
707.10244	0	708
708.1145	0	709

1035.1242	1.7	1036
1036.1743	1.8	1037
1037.1023	1.8	1038
1038.1024	1.8	1039
1039.1484	1.8	1040
1040.1985	1.7	1041
1041.1065	1.7	1042
1042.1266	1.7	1043
1043.1767	1.7	1044
1044.1027	1.7	1045
1045.1028	1.8	1046
1046.1518	1.8	1047
1047.2009	1.7	1048
1048.1069	1.7	1049
1049.129	1.7	1050
1050.1791	1.7	1051
1051.1031	1.7	1052
1052.1042	1.8	1053
1053.1562	1.8	1054
1054.2063	1.8	1055
1055.1023	1.8	1056
1056.1314	1.8	1057
1057.1855	1.8	1058
1058.1065	1.8	1059
1059.1086	1.8	1060
1060.1556	1.8	1061
1061.2067	1.8	1062
1062.1027	1.8	1063
1063.1318	1.8	1064
1064.1829	1.8	1065
1065.1069	1.8	1066
1066.109	1.8	1067
1067.16	1.7	1068
1068.2101	1.7	1069
1069.1032	1.7	1070
1070.1342	1.7	1071
1071.1843	1.7	1072
1072.1023	1.8	1073
1073.1124	1.8	1074
1074.1624	1.8	1075
1075.1105	1.8	1076
1076.1026	1.8	1077
1077.1356	1.8	1078

340.13946	-2	341
341.19052	-2.1	342
342.10257	-2	343
343.11363	-2.1	344
344.16469	-2.1	345
345.10274	-2.1	346
346.1038	-2.1	347
347.14186	-2.1	348
348.19192	-2.1	349
349.10297	-2.1	350
350.11603	-2.1	351
351.16609	-2.1	352
352.10314	-2.1	353
353.1032	-2.1	354
354.14426	-2.1	355
355.19432	-2.1	356
356.10237	-2.1	357
357.11843	-2	358
358.16849	-2.1	359
359.10254	-2.1	360
360.1036	-2.1	361
361.14666	-2.1	362
362.19672	-2.1	363
363.10277	-2.1	364
364.12083	-2.1	365
365.17089	-2.1	366
366.10294	-2	367
367.104	-2	368

709.16356	0	710
710.11162	0	711
711.10267	0	712
712.13773	0	713
713.18879	0	714
714.10285	0	715
715.1159	0	716
716.16696	0	717
717.11202	0	718
718.10307	0	719
719.14013	0	720
720.19019	0	721
721.10225	0	722
722.1183	0	723
723.16836	0	724
724.10242	0	725
725.10347	0	726
726.14253	0	727
727.19359	0	728
728.10265	0	729
729.1207	0	730
730.17176	0	731
731.10282	0	732
732.10388	0	733
733.14593	0	734
734.19599	0	735
735.10305	0	736
736.1231	0	737

1078.1867	1.9	1079
1079.1027	1.8	1080
1080.1148	1.8	1081
1081.1668	1.8	1082
1082.1119	1.8	1083
1083.103	1.8	1084
1084.139	1.7	1085
1085.1891	1.8	1086
1086.1031	1.8	1087
1087.1172	1.8	1088
1088.1672	1.8	1089
1089.1023	1.8	1090
1090.1024	1.8	1091
1091.1414	1.8	1092
1092.1915	1.8	1093
1093.1025	1.8	1094
1094.1186	1.7	1095
1095.1696	1.7	1096
1096.1027	1.7	1097
1097.1038	1.8	1098
1098.1438	1.7	1099
1099.1939	1.8	1100
1100.1029	1.8	1101
1101.122	1.8	1102
1102.172	1.7	1103
1103.1041	1.8	1104
1104.1042	1.7	1105
1105.1472	1.7	1106
1106.1963	1.7	1107

Anexo 3. Análisis químico del acero AISI 301

Correo de Universidad Nacional de San Agustín - Amostras do aço 301 12/12/20

Universidad Nacional SAN AGUSTIN

EDGAR APAZA HUALLPA <eapazahu@unsa.edu.pe>

Amostras do aço 301

Geovane Martins Castro <geovane.castro@aperam.com> 20 de noviembre de 2020, 14:21
Para: EDGAR APAZA HUALLPA <eapazahu@unsa.edu.pe>

Prezado professor Edgar,

Coletei 5 peças do tamanho de uma folha de papel de aço AISI 301 de espessura 0,69 mm e encruado 7/8 duro (extra duro conforme ASTM). A composição química é:
- C: 0,0575%
- Mn: 1,1888%
- Si: 0,512%
- P: 0,0331%
- S: 0,0009%
- Cr: 17,0391%
- V: 0,0506%
- Nb: 0,0074%
- Ti: 0,0029%
- Ni: 7,354%
- Mo: 0,1494%
- Al: 0,0035%
- Cu: 0,2016%
- Co: 0,1726%
- N: 300 ppm

Favor informar o endereço para que eu possa enviar o pacote de amostras via mail (Correios no Brasil).

Vou coletar amostras recozidas e enviarei posteriormente. Te manterei informado.

Aguardo retorno.

Abraços,
Best regards,
Dr Geovane Martins Castro | Pesquisador - *Researcher*

Aperam South America
CPD - Centro de Pesquisas - Research Center

Praça 1º de Maio, 9 - Centro - 35180-018 - Timóteo - MG
T +55-31-3849-7037 | M +55-31-98702-0230 | F +55-31-3849-7531
geovane.castro@aperam.com | www.aperam.com