

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
VICERECTORIA DE DOCENCIA.



ESCUELA DE CIENCIA E  
INGENIERÍA DE LOS MATERIALES.

COMPORTAMIENTO DE LAS ALEACIONES FERROSAS Y  
REPARACIÓN DE MATRICES DE ESTAMPADO, UTILIZADAS EN EL  
FORMADO DE BANDA EN LA EMPRESA TERRAMIX S.A.

PRESENTADO POR:

WLBRICH RAMÍREZ GÓMEZ  
200029111

NOVIEMBRE, 2006

## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA

Proyecto final de graduación, requisito para optar por el título de Ingeniero en Materiales con énfasis en Procesos Industriales, con el grado académico de Licenciatura.

### Tribunal Evaluador

\_\_\_\_\_ Ing. Mario Conejo Solís  
(Profesor Guía)

\_\_\_\_\_ Ing. José L. Debriones Botella  
(Lector)

\_\_\_\_\_ Ing. Ronald Jiménez Salas  
(Lector)

\_\_\_\_\_ Dr. Benito A. Stradi Granados  
(Miembro invitado)

\_\_\_\_\_ Sr. Wilbrich Ramírez Gómez

Cartago, 29 de Noviembre de 2006

# DEDICATORIA

*A NOHELIA*

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres Rosa y Víctor por todo el apoyo y confianza que me han dado a lo largo de mi vida, gracias por creer en mí y darme la oportunidad de ser mejor.*

*A mis hermanos, por toda la ayuda que me han dado en el tiempo de vida universitaria.*

*Al Ing. Mario Conejo S., profesor guía del Proyecto Final de Graduación, por su acertada orientación y espíritu crítico durante el desarrollo del proyecto.*

*A todo el personal de la empresa TERRAMIIX S.A. por la oportunidad de desarrollar este proyecto en tan distinguida empresa. En especial agradecer al Ing. Herberth Mora, por la desinteresada colaboración en el desarrollo de este proyecto.*

*A todos los miembros de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica, que forman un grupo de excepcional calidad humana e intelectual, por su amistad y desinteresada colaboración en diferentes aspectos de mi formación profesional. En especial agradecer al Dr. Benito Stradi Granados por su permanente disponibilidad y amabilidad conmigo, sus enseñanzas han sido muy valiosas.*

*A mis compañeros de carrera José, Douglas, los Alvaros, Pablo Murillo, Steven por ser amigos de verdad.*

*En especial agradecerte a ti Frannia por todo tu amor y comprensión, gran parte de mis logros son tuyos...*

*En Cartago a los 29 días de Noviembre del 2006*

## INTRODUCCION.

El desarrollo de las organizaciones hace indispensable la evaluación de procesos de fabricación y materias primas en los sistemas de producción, estas evaluaciones llevan a la obtención de resultados que maximizan la producción.

En esta investigación se desarrollan dos partes, en la primera se analizan los comportamientos y se caracterizan las aleaciones ferrosas utilizadas en el proceso de formado de banda y en la segunda se evalúan los comportamientos de las matrices de estampado que se utilizan en este mismo proceso.

La caracterización de los materiales utilizados en el formado de banda permite tener un panorama más amplio del tipo de aceros que se pueden utilizar en este proceso, además brinda alternativas para materiales alternativos que pueden llegar a cubrir las necesidades del proceso.

Por otro lado, las evaluaciones a las matrices de estampado permitirán definir tiempos de vida útil, funcionamientos de las técnicas empleadas en la reparación de estos componentes y ayudarán a desarrollar nuevas técnicas de reparación que permitirán maximizar los tiempos de producción evitando paros de producción por matrices dañadas. Además las nuevas técnicas de reparación permiten aumentar la vida útil de las herramientas del proceso de formado de bandas.

La implementación de estas evaluaciones ayuda a la compañía a llevar a cabo una investigación sobre sus problemas de producción. La identificación de fuentes de defectos o limitantes de proceso son esenciales para tener un máximo aprovechamiento de la producción, y ayuda a determinar si las causas de fallo en los procesos son internos o hay proveedores externos implicados en los fallos por concepto de materias primas defectuosas.

## I. INDICE

CAPÍTULO I.....	7
1.1 PRESENTACION .....	8
1.2 TERRAMIX S.A. ....	9
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y CAUSAS. ....	10
1.4 OBJETIVOS GENERALES .....	11
1.4.1 OBJETIVO GENERAL # 1 .....	11
1.4.2 OBJETIVO GENERAL #2.....	11
1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	12
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES .....	13
CAPÍTULO II.....	14
2. MARCO DE REFERENCIA.....	15
2.1. ACEROS AL CARBONO.....	15
2.1.1 CARBONO CONTENIDO EN EL ACERO .....	16
2.1.2 INFLUENCIA DE LOS CONSTITUYENTES SECUNDARIOS.....	18
2.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS ACEROS.....	24
2.2.1 Proceso de laminado .....	24
2.2.1.1 Laminado en caliente.....	25
2.2.1.2 Laminado en frío.....	25
2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS METALES .....	28
2.3.2 Ensayo de Tensión y Diagramas de Tensión-Deformación .....	28
2.3.2.2 Limite elástico .....	30
2.3.2.3 Porcentaje de elongación .....	31
2.3.2.4 Porcentaje de reducción de área .....	31
2.3.3 DUREZA Y ENSAYOS DE DUREZA .....	32
2.3.3.1 Resistencia a la Indentación .....	32
2.3.3.2 Prueba o ensayo de dureza Rockwell.....	32
2.4 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS AL CARBONO .....	34
CAPÍTULO III.....	37
3. METODOLÓGIA.....	38
3.1 ALEACIONES FERROSAS.....	38
3.1.2 Metodología .....	38
3.2 MATRICES DE ESTAMPADO.....	39
3.2.1 Metodología.....	39
3.3 FORMADO DE PRODUCTO .....	40
3.3.1 LÍNEA TRADICIONAL .....	41
3.3.1.2 Desembobinado y corte de material.....	41
3.3.1.3 Primer rolado del Fleje metálico .....	42
3.3.1.4 Soldadura.....	42
3.3.1.5 Segundo rolado del fleje metálico.....	43
3.3.1.6 Estampado del fleje en matriz de formado.....	43
3.3.2 Línea Automatizada.....	43
3.3.2.1 Desembobinado.....	44
3.4 METAL JACKET.....	46
3.5 DISEÑO Y REPARACIÓN DE MATRICES DE ESTAMPADO .....	49

CAPÍTULO IV .....	53
4. RESULTADOS OBTENIDOS .....	54
4.1. ANÁLISIS QUÍMICOS.....	54
4.1.1 COMPARACIÓN DE PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN PARA LOS ACEROS Y PROVEEDORES.....	56
4.2. PRUEBAS FÍSICAS .....	61
4.2.1. Ensayos de Tensión .....	61
4.2.2. Medición de dureza.....	73
4.3 COMPORTAMIENTO DE LOS ACEROS EN METAL JACKET.....	74
4.3.2 Análisis Metalográfico. ....	75
4.4 COSTOS DE LOS ACEROS UTILIZADOS EN EL FORMADO DE BANDA EN DISTINTOS MERCADOS.....	81
4.5 MATRICES DE ESTAMPADO .....	83
4.5.1 Identificación de defectos en productos formados .....	83
4.5.2 Identificación de los materiales de fabricación de las matrices.....	83
4.5.6 Evaluación de las soldaduras aplicadas a las matrices de estampado .....	85
CAPÍTULO V .....	87
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	88
5.1. ALEACIONES FERROSAS .....	88
5.1.1 Análisis Químicos y Físicos .....	88
5.1.2 Comportamiento de las aleaciones ferrosas en el proceso METAL JACKET.....	90
5.1.3. Costos de materia prima en distintos mercados .....	91
5.1.4. Propuesta de una aleación ferrosa alternativa .....	92
5.2. MATRICES DE ESTAMPADO .....	93
5.2.1. Identificación de los defectos en productos formados.....	93
5.2.2. Materiales de fabricación de las matrices de estampado.....	93
5.2.3. Evaluación de la vida útil de las matrices de estampado .....	94
5.2.4. Evaluación de las soldaduras antidesgaste de las matrices. ....	94
CAPÍTULO VI .....	95
6. CONCLUSIONES .....	96
CAPÍTULO VII .....	97
7. RECOMENDACIONES .....	98
CAPÍTULO VIII .....	99
8. BIBLIOGRAFIA.....	100
ANEXOS.....	101

## II. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CONTENIDO DE CARBONO DE LOS ACEROS AL CARBONO PARA DIFERENTES ALEACIONES.....	23
TABLA 2. ESCALAS DE DUREZA ROCKWELL. ....	33
TABLA 3. CLASIFICACIÓN Y SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS AL CARBONO. ....	35
TABLA 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ALEACIONES FERROSAS ANALIZADAS. ....	55
TABLA 5. VALORES DE LA PROPIEDADES MECÁNICAS OBTENIDAS DEL ENSAYO DE TENSIÓN PARA ACEROS DE DISTINTOS PROVEEDORES .....	61
TABLA 6. VALORES OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TENSIÓN EN EL ÁREA DE LA SOLDADURA. ....	64
TABLA 7. VALORES OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE TENSIÓN REALIZADO AL FLEJE CHINO Q195, PROVENIENTE DE YIEH CORP. ....	67
TABLA 8. DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TENSIÓN REALIZADO AL FLEJE CHINO Q195 LAMINADO EN FRÍO, PROVENIENTE DE QIYUANG GROUP. ....	70
TABLA 9. DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TENSIÓN REALIZADO AL FLEJE CHINO Q195 LAMINADO EN CALIENTE. ....	70
TABLA 10. DUREZA PROMEDIO DE LOS ACEROS UTILIZADOS EN EL FORMADO DE BANDA. ....	73
TABLA 11. TIEMPOS DE OPERACIÓN EN EL PROCESO DE RECUBRIMIENTO METAL JACKET .....	74
TABLA 11. COSTOS POR ACERO EN DISTINTOS MERCADOS. ....	81
TABLA 12. COSTOS POR ACERO EN RELACIÓN A SUS PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN. ....	82
TABLA 13. MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE MATRICES DE ESTAMPADO EN TERRAMIX S.A. ....	84
TABLA 14. MATRICES Y TIEMPOS DE OPERACIÓN Y DUREZAS PARA LAS SOLDADURAS EVALUADAS. ....	86



### III. ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA DE FASES HIERRO-CARBONO. ....	17
FIGURA 2. EFECTO DEL CARBONO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL ACERO TRABAJADO EN CALIENTE .....	20
FIGURA 3.VARIAS CONFIGURACIONES UTILIZADAS EN LAS OPERACIONES DE LAMINADO .....	25
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCESO DE LAMINADO EN CALIENTE .....	26
FIGURA 5. EFECTO DEL RECOCIDO SOBRE LA ESTRUCTURA Y CAMBIOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN METAL TRABAJADO EN FRÍO .....	27
FIGURA 6. DIAGRAMA ESFUERZO- DEFORMACIÓN USUAL EN INGENIERÍA PARA ACERO DE BAJO CARBONO (0.25% DE CARBONO MÁXIMO). ....	29
FIGURA 7. DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA UN MATERIAL QUE NO TIENE BIEN DEFINIDO EL PUNTO DE FLUENCIA.....	30
FIGURA 8. A) PERFIL DE EMPAQUE 4” C900 RIEBER; B) PLANO DE PRODUCTO 4” C900 RIEBER.....	40
FIGURA 9. ESQUEMA DEL PROCESO DE FORMADO DE BANDA EN LA LÍNEA TRADICIONAL .....	41
FIGURA 10. ESQUEMA DEL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA APLICADO AL ... FLEJE METÁLICO .....	42
FIGURA 12. ESQUEMA DEL PROCESO DE FORMADO DE BANDA EN LA LÍNEA AUTOMATIZADA .....	44
FIGURA 13. ESQUEMA DE LA SUJECIÓN DEL MATERIAL, LA SOLDADURA A TOPE APLICADA Y EL ENSANCHAMIENTO EN LA ZONA SOLDADA.....	45
FIGURA 14. ESQUEMA DE LA ACTUACIÓN DEL RECUBRIMIENTO EN LA MATRIZ METÁLICA .....	48
FIGURA 15. DETALLE DEL APORTE DE SOLDADURA QUE SE DA A LA MATRÍZ DE ESTAMPADO 16” C905 RIEBER .....	50
FIGURA 16. POROSIDADES EN EL ÁREA DE SOLDADURA EN LA MATRÍZ DE 400 METRIC PRESSURE.....	51
FIGURA 17. DEFECTOS EN LA MATRÍZ DE ESTAMPADO 400 METRIC PRESSURE.....	52
FIGURA 18. COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN PARA EL FLEJE PROVENIENTE DE ARMCO. ....	56
FIGURA 19. COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN PARA EL FLEJE PROVENIENTE DE BRAS METAL.....	57
FIGURA 20. COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN PARA EL FLEJE PROVENIENTE DE MANGELS.....	58
FIGURA 21. COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN PARA EL FLEJE PROVENIENTE DE YIEH CORPORATION.....	59
FIGURA 22. COMPARACIÓN DE LOS PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN PARA EL FLEJE PROVENIENTE DE QIYUANG GROUP.....	60

FIGURA 23. GRAFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN. ANÁLISIS DE TENSIÓN PARA EL FLEJE, MUESTRA LOS PORCENTAJES DE ELONGACIÓN.....	62
FIGURA 24. GRAFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN. ANÁLISIS DEL FLEJE EN EL ÁREA TRANSVERSAL.....	63
FIGURA 25. GRAFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN. ANÁLISIS DEL FLEJE EN EL ÁREA DE LA SOLDADURA.....	65
FIGURA 26. GRAFICO ESFUERZO-DEFORMACIÓN. ANÁLISIS DEL FLEJE EN EL ÁREA DE LA SOLDADURA.....	66
FIGURA 27. GRÁFICO DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL FLEJE Q195, PROVENIENTE DE YIEH CORP.....	68
FIGURA 28. GRÁFICO DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL FLEJE Q195, PROVENIENTE DE YIEH CORP.....	69
FIGURA 29. GRÁFICO DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL FLEJE Q195 LAMINADO EN FRÍO, PROVENIENTE DE QIYUANG GROUP.....	71
FIGURA 30. GRÁFICO DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL FLEJE Q195 LAMINADO EN CALIENTE, PROVENIENTE DE QIYUANG GROUP.....	72
FIGURA 31. FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA DE FLEJE PROVENIENTE DE ARMCO... ..	75
FIGURA 32. FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA DE FLEJE PROVENIENTE DE BRAS METAL.....	76
FIGURA 33. FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA DE FLEJE PROVENIENTE DE MANGELS.....	77
FIGURA 34. FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA DE FLEJE PROVENIENTE DE YIEH CORP.....	78
FIGURA 35. FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA DE ACERO LAMINADO EN CALIENTE PROVENIENTE DE QIYUANG GROUP.....	79
FIGURA 36. FOTOMICROGRAFÍA DE LA MUESTRA DE ACERO LAMINADO EN FRÍO PROVENIENTE DE QIYUANG GROUP.....	80

# Capítulo I



## 1.1 PRESENTACION

En este proyecto se presentan los resultados del estudio del comportamiento de las aleaciones ferrosas y las técnicas empleadas en la reparación de matrices de estampado utilizadas en la empresa TERRAMIX S.A. líder mundial en empaques de hule para tubería.

Los análisis son derivados de las referencias citadas y los procedimientos de producción descritos representan lo último y más reciente en el desarrollo de empaques de hule para tubería.

El proyecto se divide en dos partes. La primera es el estudio del comportamiento de las aleaciones ferrosas utilizadas en la fabricación de bandas metálicas que son un componente muy importante en la fabricación del empaque de hule para tubería, y la segunda parte consiste en la reparación de matrices de estampado utilizadas en el formado de las bandas metálicas.

Mediante el estudio de los aceros utilizados en la fabricación de bandas se logra tener un panorama de cuales materiales son los más recomendables para las necesidades del proceso sin afectar las propiedades del producto de formado (banda) y las propiedades del producto final, el empaque de hule, además de buscar una reducción de costos por materia prima.

La caracterización de los materiales en las matrices de estampado, tipos de fallas y técnicas de reparación buscan un aumento en la vida útil de la matriz, una disminución en costos de reparación, y la reducción de paros de producción por matrices defectuosas y producto no conforme.

## 1.2 TERRAMIX S.A.

TERRAMIX S.A. es una empresa transnacional que hasta 1998, funcionó con el nombre de Hules Técnicos S.A.

Se distingue por una sólida experiencia en la producción de empaques o sellos de hule para tubería. Cuenta con el respaldo desde hace más de nueve años, de un Sistema de Calidad certificado bajo la norma ISO 9000.

Los sellos o empaques de hule que se producen se utilizan principalmente en tubería PVC o de concreto, que a su vez se emplea en el transporte de agua potable, aguas negras o desechos.

Se fabrican diferentes tipos de sellos, con variedad de diámetro, dureza, flexibilidad, etc.; según los requerimientos o especificaciones de los clientes, de ahí que la empresa tenga que hacer los ajustes necesarios para proveerle al cliente lo que solicita, de forma que quede satisfecho con el producto recibido.

Los productos son principalmente para la exportación, siendo los principales mercados: Estados Unidos de Norteamérica, Europa y Latinoamérica.<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Tomado del Manual de Inducción TERRAMIX S.A.

### **1.3 Definición del problema, Antecedentes y Causas.**

En TERRAMIX S.A. durante muchos años se ha trabajado en la fabricación de bandas metálicas, las cuales son un componente muy importante en la fabricación del empaque de hule para tubería. Estas bandas metálicas se fabrican de un tipo de acero en particular.

El proyecto planea determinar si el material utilizado actualmente, SAE 1008, es el más adecuado para el proceso de formado de banda. Se debe determinar si se puede cambiar por otro material con características similares sin afectar el proceso, ni variar la calidad del producto formado (banda), y además generando una reducción en los costos.

Actualmente el consumo de acero para la fabricación de banda metálica alcanza las 2200 toneladas anuales, por lo tanto disminución en el costo de materia prima se verá traducido en un ahorro sustancial para la empresa, siempre y cuando no se afecte negativamente el proceso de fabricación de bandas.

Una caracterización de los materiales de fabricación, defectos y técnicas de reparación de las matrices de estampado utilizadas en el formado de banda metálica es necesaria para hacer recomendaciones técnicas.

Las variables del proceso que deben tomarse en cuenta son:

- Propiedades mecánicas del material: tensión, dureza, maleabilidad, etc.
- Soldabilidad del material
- Comportamiento del material en la operación de recubrimiento (METAL JACKET) que se realiza posterior al formado de la banda
- Proveedores
- Costos

## **1.4 OBJETIVOS GENERALES**

### **1.4.1 Objetivo General # 1**

*Estudiar el comportamiento de las aleaciones ferrosas utilizadas en la empresa Terramix S.A. para la fabricación de bandas, de manera que permita plantear su sustitución por aleaciones ferrosas alternativas que satisfagan las propiedades físico-químicas requeridas y las condiciones de funcionamiento; propiciando mantener o mejorar sus propiedades de servicio y lograr una reducción sustancial de los costos de materia prima.*

### **1.4.2 Objetivo General #2**

*Analizar el funcionamiento y los materiales empleados en la fabricación y reparación de las matrices de estampado utilizadas en el formado de bandas en la empresa Terramix S.A.*

## 1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Proponer una aleación ferrosa que se ajuste a los parámetros del proceso de formación de bandas.
- Analizar la soldabilidad de las aleaciones ferrosas actualmente utilizadas.
- Determinar el comportamiento de las aleaciones ferrosas utilizadas actualmente y la aleación propuesta en la operación de recubrimiento METAL JACKET.
- Analizar las propiedades mecánicas de las aleaciones utilizadas actualmente y la aleación propuesta, bajo las que se da el proceso de formado de banda.
- Analizar las variables de operación: desgaste, apariencia, características dimensionales, tiempos de operación, presentes en matrices de estampado utilizadas en el formado de bandas.
- Analizar y determinar las soldaduras, materiales de aporte, operaciones de corte, utilizadas en la reparación de matrices de formado de banda.
- Determinar el proceso de recuperación de las dimensiones de las matrices de estampado que presentan daño.



## **1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.6.1 Alcances**

Se realizarán ensayos mecánicos para comprobar si el material utilizado actualmente y el propuesto proveen un producto final satisfactorio.

También se analizará el comportamiento del recubrimiento que se realiza conocido como METAL JACKET en el material utilizado y en el material propuesto y qué tanto se puede ver afectado el proceso de recubrimiento por un eventual cambio de material.

Los costos por materia prima también son analizados para lograr una disminución en los gastos por materia prima consumida en el proceso de formado de fleje.

### **1.6.2 Limitaciones:**

Las limitaciones del proyecto se relacionan específicamente con el material propuesto y hasta que medida puede conseguirse este para hacer las pruebas necesarias y comprobar que la aleación ferrosa propuesta se ajusta efectivamente a los parámetros del proceso productivo y no afecta las propiedades del producto formado.

# Capítulo II



## 2. MARCO DE REFERENCIA.

### 2.1. Aceros al carbono:

Aunque todos los aceros contienen carbono, el término *acero al carbono* se usa para distinguir un acero al cual no se añade ningún elemento aleado especial, tal como el níquel (Ni), Wolframio (W) o cromo (Cr), en cantidades apreciables y donde el carbono esta presente en cantidades pequeñas no mayores de 0.3% aproximadamente.

En los aceros al carbono, así como en los aceros aleados o especiales, el constituyente carbono es el actor principal. El carbono más que cualquier otro constituyente, determina las propiedades y aplicaciones del acero.

Según *Johnson et al. (1961)*; el carbono se disuelve fácilmente en hierro sólido cuando se calienta este por encima de los 737.7 °C (1360 °F); la cantidad de carbono disuelto depende de la temperatura máxima. Sin embargo, con un enfriamiento lento por debajo del rojo, 698.8 °C (1290 °F), el hierro pasa desde la forma gamma a otra alfa (Figura 1), y el nuevo el nuevo hierro alfa sólo puede disolver poquísimos carbono.

De este modo, todo carbono disuelto en el hierro por encima de los 737.7 °C se libera, o precipita, cuando se enfría por debajo del rojo. El carbono precipitado del hierro forma un carburo o compuesto de hierro: cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Es esta cementita más que el hierro, la que cambia grandemente las propiedades del acero.

La cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) es relativamente dura y frágil, y actúa como un endurecedor de la estructura cristalina del hierro. La acción endurecedora y fortalecedora de la cementita puede explicarse mecánicamente considerando que las partículas de cementita dura actúan como pequeñas claves mecánicas entre los planos débiles dentro de los cristales de hierro; de este modo aumenta la resistencia de los cristales de hierro a la deformación.

La influencia total del carbono en el acero depende:

- 1) De la cantidad de carbono, la cual determina la cantidad de cementita dura.
- 2) El tamaño y la forma de las partículas de cementita, y
- 3) La distribución de la cementita en el hierro.

### **2.1.1 Carbono contenido en el acero.**

El contenido de carbono en el acero puede variar desde unas pocas centésimas porcentuales a 2.1%. Los porcentajes mas bajos están casi en el límite del hierro puro, y las propiedades que posee el acero con un porcentaje de carbono muy bajo son las del hierro casi puro.

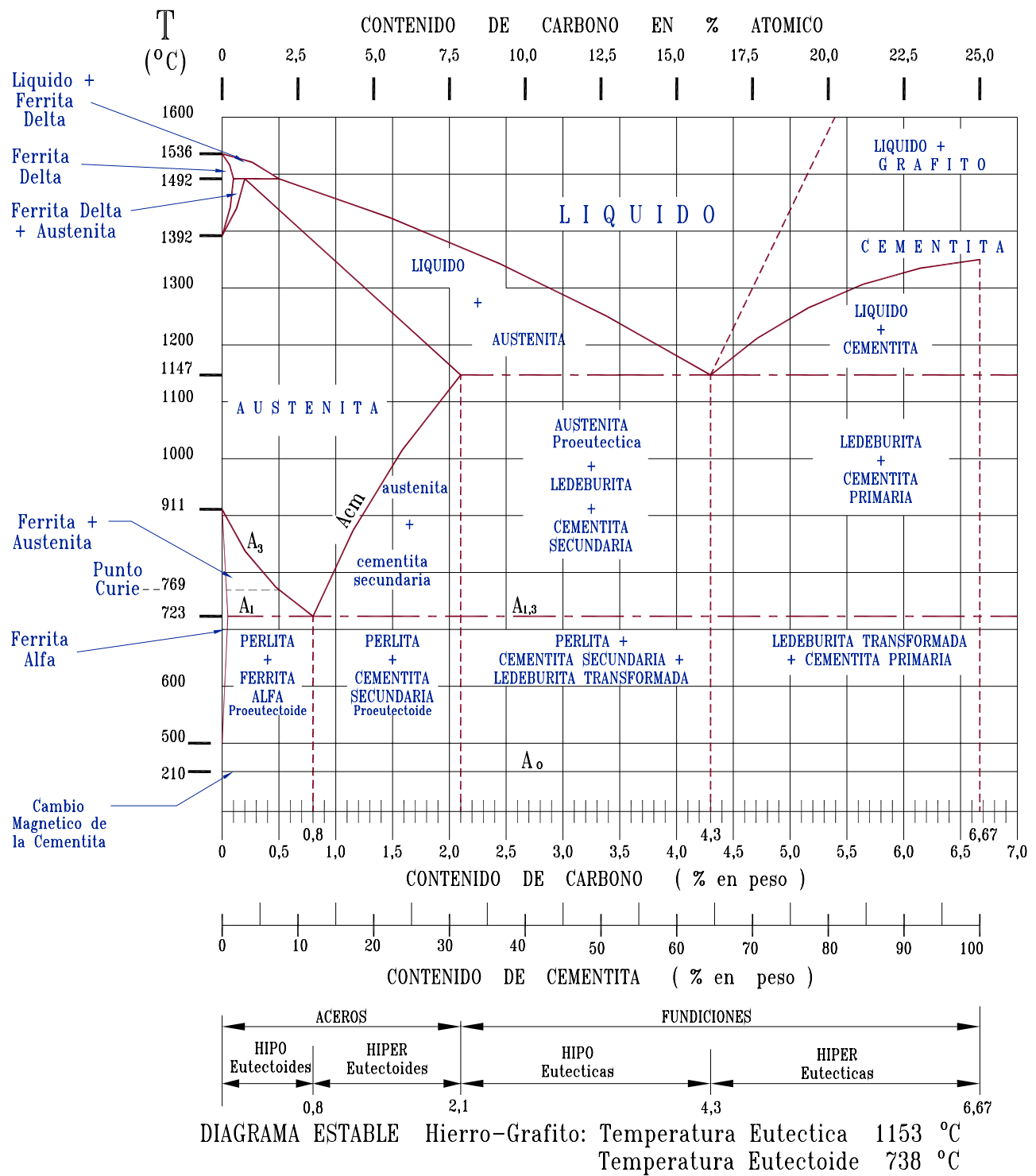


Figura 1. Diagrama de fases Hierro-Carbono. (Fuente: Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Instituto Tecnológico de Costa Rica)

El límite superior del carbono (2.1%) ha sido determinado prácticamente, y este límite se controla por dos efectos:

- 1) La disminución en plasticidad y fragilidad resultante para los porcentajes más elevados de carbono;
- 2) El peligro de la descomposición de la cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) en grafito y ferrita.

Con el contenido de carbono superior al 2.1%, resulta un acero débil y frágil, que posee propiedades parecidas al hierro colado. El objeto de incrementar el porcentaje de carbono es aumentar la dureza del acero. En estas circunstancias, si el carbono pasase de la cementita a grafito, el objetivo de aumentar el contenido de carbono no sería alcanzado. El grafito, es una forma de carbono blanda y deleznable, y actúa como un ablandador, disminuyendo la dureza y la resistencia mecánica del hierro. La tendencia de la cementita a grafitizar crece con la cantidad de carbono o cementita; por lo tanto, los aceros que contienen los límites superiores de carbono son más propensos a la grafitización que los que tienen los porcentajes inferiores de carbono.

Sin embargo, con un calentamiento y enfriamiento normales, pueden trabajarse aceros que contienen menos del 2.1% de carbono sin la formación de grafito. Con todo el carbono combinado en forma de cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), las propiedades que pueden obtenerse de los aceros trabajados en caliente, con contenidos de carbono variables, se ilustran en la figura 2.

### **2.1.2 Influencia de los constituyentes secundarios.**

Hasta el momento tenemos una idea del marcado cambio que el carbono produce sobre la estructura del hierro, cambiando éste de un metal simple a una aleación muy compleja, aumentando la dureza y resistencia mecánica y reduciendo la plasticidad. Junto con el carbono todos los aceros contienen cantidades variables de manganeso, silicio, azufre, fósforo y otras impurezas.

Estos elementos influyen en el comportamiento del acero, aumentando, por lo tanto, las variables que se consideran cuando se eligen aceros para algunos usos específicos.

Brevemente se exponen algunos de los efectos que (*Johnson et al., 1961*) son producidos por los constituyentes secundarios:

**Manganeso:** El fabricante de aceros no puede obtenerlos de buena calidad sin la ayuda del manganeso, éste permite hacer lingotes de acero sanos debido a su efecto desoxidante y por impedir la formación perjudicial del sulfuro de hierro, con lo cual promueve la forjabilidad del acero. El manganeso contenido en aceros corrientes varia casi de 0.30 a 0.80%, pero en aceros especiales puede llegar hasta 2.50%. se combina fácilmente con todo el azufre del acero, formando sulfuro de manganeso ( $MnS$ ); de este modo impide que el azufre se combine con el hierro. Si el azufre se deja combinar con el hierro y forma sulfuro de hierro, se producirá un acero que será frágil en caliente, resultando difícil de forjar e incluso de utilizar. Todo exceso de manganeso (por encima de la cantidad necesaria para neutralizar todo el azufre) se combina con el carbono que esta presente, formando un carburo de manganeso ( $Mn_3C$ ); este carburo se asocia con el ( $Fe_3C$ ) en la cementita. El  $Mn_3C$  tiene propiedades parecidas al  $Fe_3C$ , aumentando la dureza y la resistencia mecánica y reduciendo la plasticidad del acero. El manganeso es un elemento aleado muy importante en muchos de los aceros especiales.

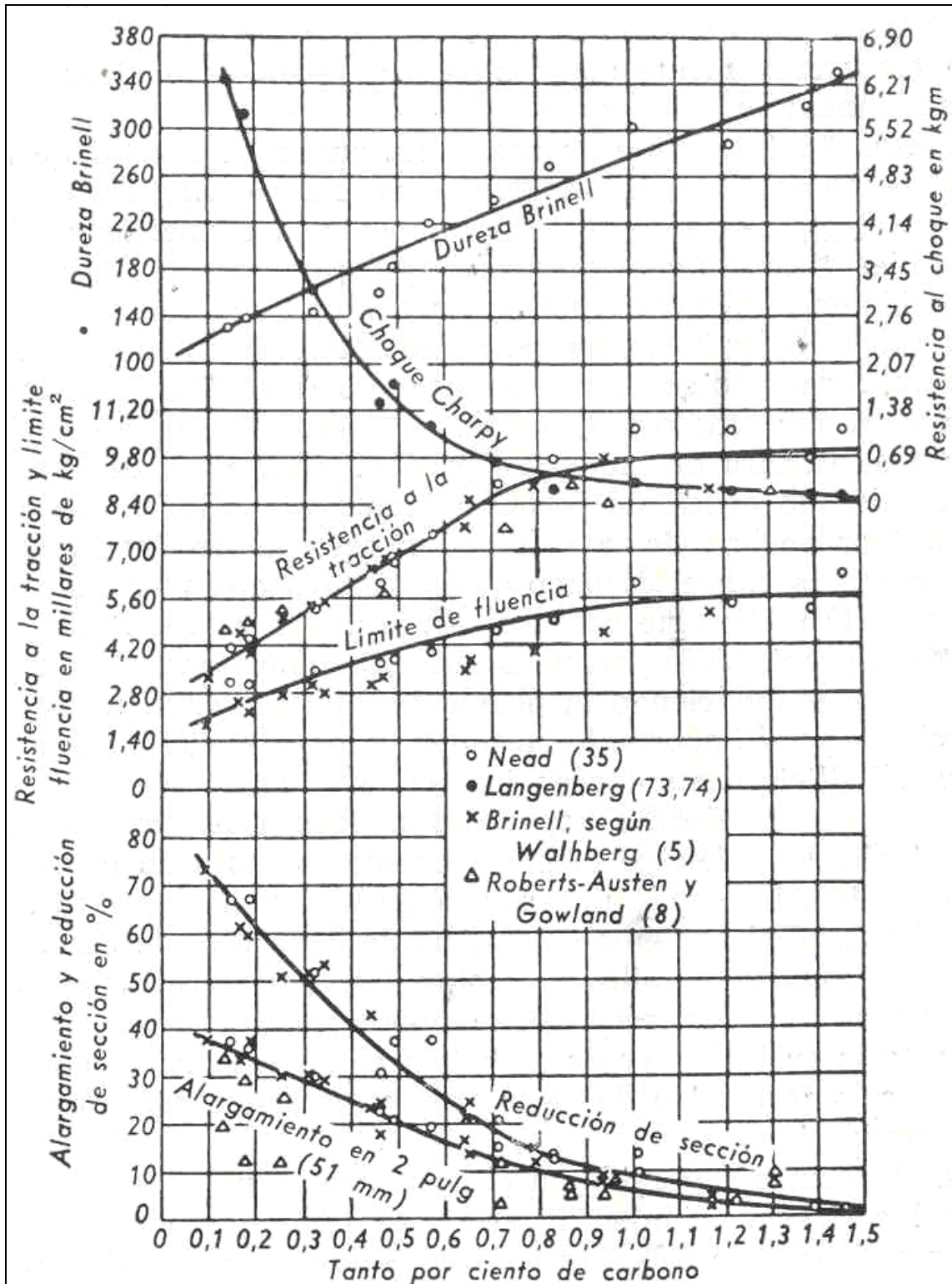


Figura 2. Efecto del carbono sobre las propiedades del acero trabajado en caliente (Johnson; 1961)



**Silicio:** El silicio contenido en los aceros al carbono varia desde 0.05% a 0.30%. Los aceros aleados especiales pueden contener por encima del 2.25% de silicio. El silicio se disuelve en hierro tanto en el estado líquido como sólido, formando una solución sólida con el hierro a la temperatura ambiente.

Si el contenido de silicio de los aceros de carbono es 0.3%, el silicio tiene muy poca influencia sobre las características estructurales o mecánicas del acero. Sin embargo, la presencia del silicio en el acero durante la fusión aumenta la buena calidad de los lingotes de acero oponiéndose a la formación de sopladuras y actuando como una ayuda durante la desoxidación.

**Azufre:** El azufre contenido en el acero puede variar desde trazas hasta 0.30%. En los tipos corrientes de acero, el tanto por ciento se mantiene por debajo de 0.06%. El azufre siempre se combina con el manganeso, con el cual tiene una gran afinidad, para formar sulfuro de manganeso, MnS. Este se presenta como partículas alargadas pálidas, vetas o hilos en los aceros forjados o tochos laminados. El sulfuro de manganeso debilita el acero, rompiendo la continuidad y en la forma de partículas alargadas comunica propiedades direccionales. Sin embargo, el sulfuro de manganeso tiene un efecto lubricante grasiento y rompe las virutas formadas durante el corte a máquina del acero, aumentando así la facilidad de mecanización. Los aceros que son de fácil corte tienen un contenido de azufre mas elevado que los aceros ordinarios.

**Fósforo:** El fósforo contenido en los aceros satisfactorios varia desde trazas a casi 0.05%. Como en el caso del silicio, el fósforo permanece disuelto en el hierro sólido y forma una solución sólida a la temperatura ambiente. Se cree que el fósforo aumenta la tendencia a la formación de grano grueso y, por lo tanto, debilita al acero. Además, el fósforo tiene una marcada tendencia a segregar las partes que son las ultimas en solidificarse en una pieza colada, produciendo una

estructura dendrítica heterogénea. El efecto del fósforo (de producir una estructura segregada) puede dar como resultado operaciones de trabajo en caliente, desarrollando como consecuencia marcadas propiedades direccionales en un forjado.

**Óxidos en el acero:** Los óxidos de hierro (FeO), manganeso (MnO), silicio (SiO<sub>2</sub>), aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y otros pueden quedar atrapados en el acero al solidificarse. Estas impurezas se denominan frecuentemente impurezas en el acero. En general estas impurezas se consideran perjudiciales, porque están asociadas con el hierro de una manera mecánica y se hallan esparcidas en toda la estructura. Estas partículas de óxido rompen la continuidad la estructura y comunican propiedades direccionales al acero forjado. Asimismo, como puede esperarse, forman puntos de debilitación en el acero y pueden ser la causa del principio de una fractura o fallo. La mayoría de los fallos de las piezas de acero son debidos a partículas de impurezas contenidas en el mismo.

Aunque la calidad del acero no se determina solamente por el contenido de carbono, este constituye una guía de sus aplicaciones. La calidad de cualquier acero al carbono viene determinada grandemente por el control exacto usado por el fabricante; es decir, el control metalúrgico empleado durante las operaciones de fabricación y el ensayo e inspección aplicados al acero semiacabado o acabado. El control exacto de la cantidad de carbono y de las impurezas, óxidos y escorias, constituye un factor que contribuye a que el acero resulte bueno. En la elección de un acero al carbono para cualquier uso específico influye tanto el contenido de carbono como la cantidad de constituyentes secundario. La Tabla 1 detalla la influencia del porcentaje de carbono con los usos del material final..

**Tabla 1. Contenido de Carbono de los aceros al carbono para diferentes aleaciones.**

% de carbono	Usos del acero al carbono
0.05 - 0.12	Cadenas, estampados, remaches, clavos, alambre, tubos, cuando se necesita un acero plástico muy blando.
0.10 -0.20	Acero tenaz muy blando; aceros para perfiles; piezas de maquina; tornillos: acerosa para piezas de maquina cementada.
0.20 – 0.30	Aceros para perfiles y máquinas, de mejor calidad; engranajes, ejes, barras, apoyos, palancas, etc.
0.30 – 0.40	Responde a los tratamientos térmicos. Bielas, ejes, ganchos de agua, árboles.
0.40 – 0.50	Cigüeñales, engranajes, ejes, árboles y piezas de maquinas tratadas térmicamente
0.60 – 0.70	Aceros para herramientas con bajo contenido de carbono, utilizadas cuando no es necesario un borde afilado, pero en cambio se necesita resistencia al choque. Matrices de martinets, pernos de fijación, llantas de locomotoras, destornilladores.
0.70 – 0.80	Acero duro y tenaz. Yunques, sierras de cinta, martillos, llaves inglesas, alambres para cables, etc.
0.80 – 0.90	Punzones para metal, cuchillas para cizallas, cinceles, sufrideras y muchas herramientas de mano.
0.90- 1.00	Empleados cuando se precisa dureza y elevada resistencia a la tracción; muelles, alambre con elevada resistencia a la tracción, ejes, matrices para todas las aplicaciones.
1.00 -1.10	Brocas, machos, fresas, cuchillas, etc.
1.10 – 1.20	Empleados para toda clase de herramientas cuando se requiere principalmente dureza; por ejemplo, cojinetes de bolas, troqueles, brocas, herramientas para trabajar madera, herramientas de torno.
1.20 – 1.30	Limas, mandriles, cuchillas, herramientas para cortar latón y madera.
1.25 – 2.1	Empleado cuando se necesita un borde cortante afilado; navajas, sierras, piezas de instrumentos y maquinas en que se requiere una resistencia máxima al desgaste. Herramientas para mandrilar y acabado.

### **2.1.3 Aceros para herramientas:**

Estos aceros contienen de 0.65%-2.1% de carbono, dependiendo de la aplicación a la cual se destinan. Los martillos y matrices para estampar se fabrican con aceros de bajo contenido de carbono, ya que pueden ser frágiles y no necesitan ser excepcionalmente duros. En cambio, las navajas, útiles de torno y brocas se fabrican con aceros de contenido de carbono mas elevado.

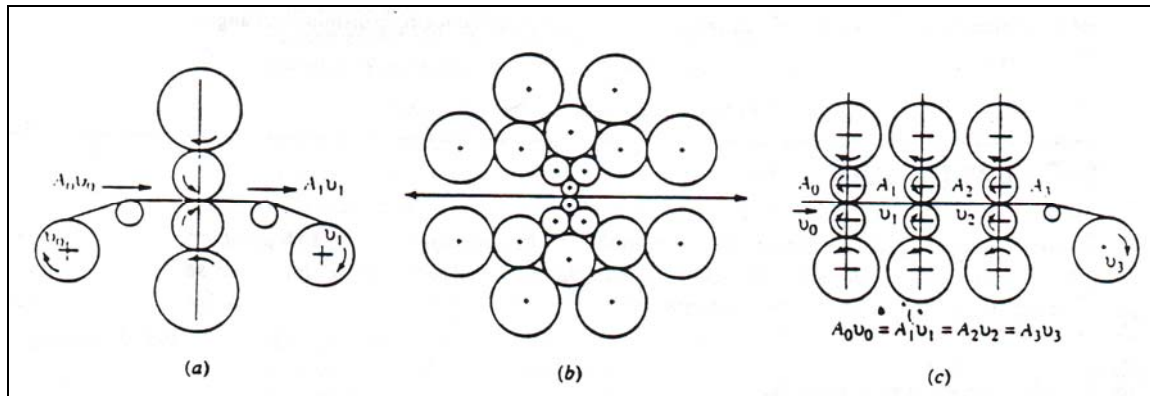
Los aceros para herramientas, incluso recocidos, son más bien difíciles de mecanizar en ciertos tipos de operaciones; sin embargo, se ha demostrado que con un recocido especial, la cementita de estos aceros se esferoidiza mejorando la facilidad de mecanizado.

## **2.2 Proceso de fabricación de los aceros.**

### **2.2.1 Proceso de laminado:**

El proceso de laminado es simple pero requiere de cuidado. Dos rodillos cilíndricos impulsados (rodillos de trabajo) reducen la pieza plana de trabajo a un calibre más delgado. Los rodillos se soportan en bastidores y su separación se puede ajustar por medios mecánicos o hidráulicos. Casi siempre se realizan reducciones sucesivas. Después de varias reducciones la tira se hace muy larga y se enrolla en tambores de acumulación bajo tensión (*Askeland, 1998*).

El producto terminado debe tener un espesor uniforme en longitud y ancho, una forma plana, un acabado superficial controlado y uniforme y propiedades mecánicas reproducibles.



**Figura 3.** Varias configuraciones utilizadas en las operaciones de laminado: a) molino cuádruple; b) molino Cluster; c) molino Tándem

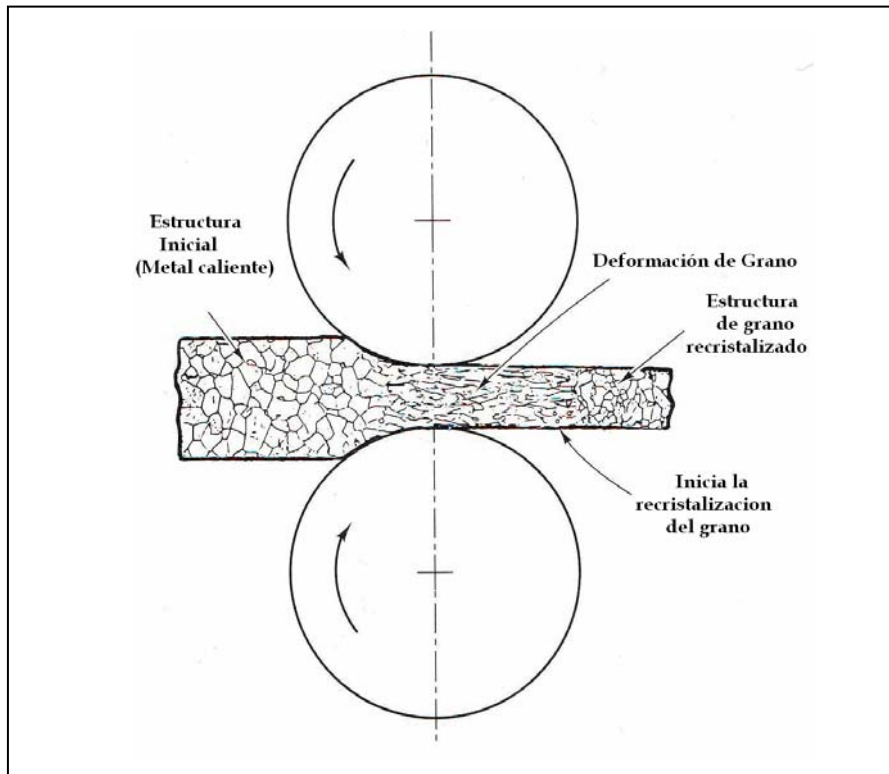
### 2.2.1.1 Laminado en caliente

La lamina o banda laminada en caliente (*Hot Rolling*) con espesores de 0.8 a 6 mm y hasta 2300 mm de ancho, se lamina en rodillos tandem (Figura 3) El material inicial a menudo es una plancha fundida continuamente.

El laminado en caliente continúa hasta que la temperatura de los desbastes planos cae tan bajo que hace muy difícil que la laminación prosiga. Entonces la lámina tratada se calienta en hornos hasta que se alcanzan las temperaturas de trabajo adecuadas y se prosigue con el laminado hasta que el fleje es lo suficientemente delgado. En el laminado en caliente la temperatura final de trabajo se mantiene de 50 a 100 °C por debajo de la temperatura de recristalización del material. A temperaturas mas bajas no es posible asegurar la uniformidad del material, (*Degarmo et al., 2003*).

### 2.2.1.2 Laminado en frío.

Después del laminado en caliente, los rollos de metal se vuelven a calentar en un proceso denominado como recocido, que ensuavisa el material con el fin de eliminar cualquier acumulación de esfuerzos producto del laminado en caliente (Figura 5).

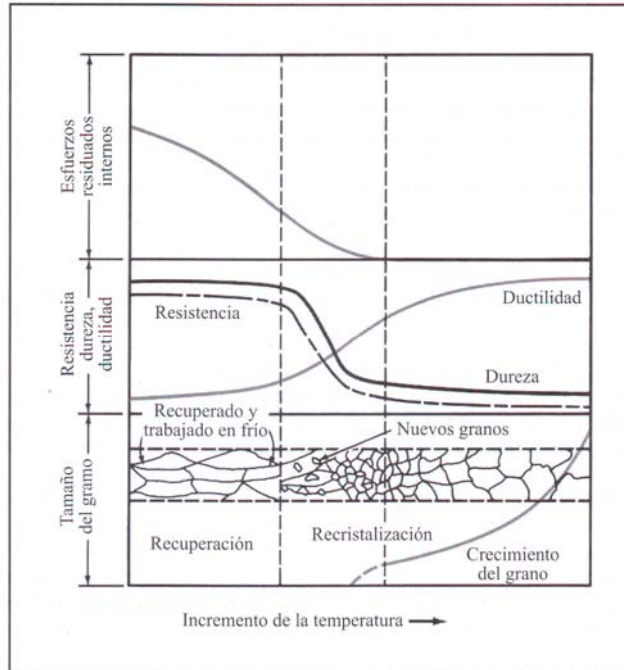


**Figura 4. Representación esquemática del proceso de laminado en caliente, muestra la deformación y recrystalización durante el proceso de laminado**

El laminado en frío (*cold rolling*) de lámina o tira se pueden obtener varias condiciones para el material, las cuales se refieren directamente a la dureza y al acabado de la superficie del material trabajado en frío (*Degarmo et al., 2003*).

Estas condiciones son:

- *Skin-rolled*
- *Quarter-hard*
- *Half-hard*
- *Full-hard*



**Figura 5. Efecto del recocido sobre la estructura y cambios de propiedades mecánicas de un metal trabajado en frío. (Smith, W. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Mc Graw Hill; 3 ed, España, 2002, P. 234)**

Los parámetros de dureza, ángulo de doblado, tensión, entre otros están especificados en la norma ASTM A 109.

## **2.3 Propiedades Mecánicas de los Metales.**

### **2.3.1 Deformación elástica y plástica.**

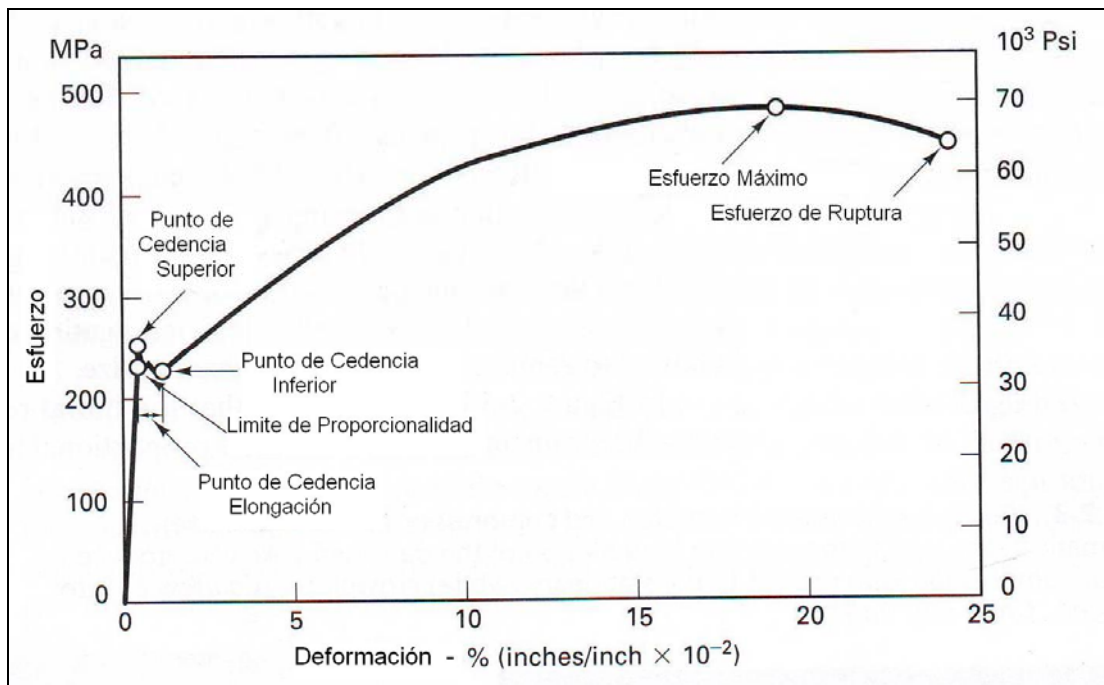
Cuando una pieza es sometida a una fuerza de tensión uniaxial, se produce una deformación del metal. *Degarmo et al., 2003*; menciona que si el metal vuelve a sus dimensiones originales cuando la fuerza aplicada a cesado se dice que el metal ha experimentado una *deformación elástica*. El número de deformaciones que un metal puede soportar es pequeño, puesto que durante la deformación elástica los granos del metal son desplazados de su posición original, pero no hasta el extremo de que tomen posiciones fijas. De esta manera, cuando la fuerza sobre el metal que ha sido deformado cesa, los átomos del metal vuelven a sus posiciones originales y el metal vuelve de nuevo a su posición original. Si el metal es deformado hasta el extremo de que no pueda recuperar completamente sus dimensiones originales, se dice que ha experimentado una *deformación plástica*. Durante la deformación plástica los átomos son desplazados *permanentemente* de sus posiciones originales y toman nuevas posiciones. La capacidad de algunos metales a ser deformados plásticamente en gran extensión sin sufrir fractura, es una de las propiedades más útiles de los metales para ingeniería.

### **2.3.2 Ensayo de Tensión y Diagramas de Tensión-Deformación**

El ensayo de tensión se utiliza para evaluar la resistencia de metales y aleaciones, también es aplicado en otros tipos de materiales. En este ensayo una muestra de metal se lleva hasta la fractura en un relativo corto intervalo de tiempo a una velocidad constante.



La fuerza (carga) aplicada a la muestra que esta siendo ensayada se registra en un papel registro mientras que la deformación correspondiente puede obtenerse a partir de la señal del extensiómetro externo acoplado a la muestra y también se registra en el papel registro. Los datos de la fuerza obtenidos en el ensayo de tensión pueden convertirse en datos de tensión, y así construirse una gráfica de tensión-deformación como la mostrada en la Figura 5.



**Figura 6. Diagrama Esfuerzo- deformación usual en ingeniería para acero de bajo carbono (0.25% de carbono máximo).**

Según *Smith (2002)*; las propiedades mecánicas de metales y aleaciones que son de importancia en ingeniería para el diseño de estructuras y que pueden obtenerse del ensayo de tensión son:

1. Modulo de elasticidad
2. Limite elástico a un 0.2 % offset
3. Resistencia máxima a la tensión
4. Porcentaje de elongación a la fractura
5. Porcentaje de reducción en el área de la fractura

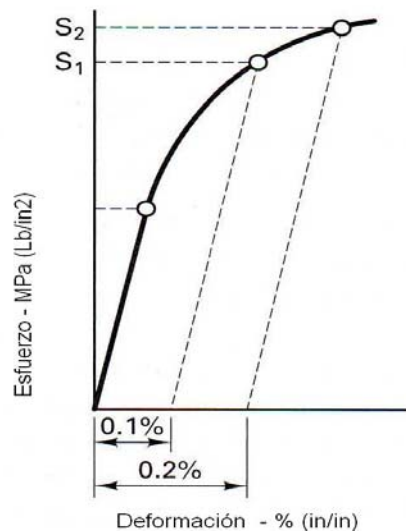
**2.3.2.1 Modulo de elasticidad:** En la primera parte del ensayo de tensión el metal se deforma elásticamente. Esto es decir, si se elimina la carga sobre la muestra, volverá a su longitud inicial. Para metales la máxima deformación elástica es usualmente menor a un 0.5%. En general los metales y aleaciones muestran una relación lineal entre la tensión y la deformación en la región elástica en un diagrama tensión-deformación que se describe mediante la ley de Hooke:

$$\sigma \text{ (esfuerzo)} = E \epsilon \text{ (deformación)}$$

Donde  $E$  es el módulo de elasticidad o módulo de Young

El modulo de elasticidad esta relacionado con la fuerza del enlace entre los átomos en un metal o aleación (Degarmo et al., 2003).

**2.3.2.2 Limite elástico:** El limite elástico es la tensión a la cual un metal o aleación muestra deformación significativa. Debido a que no hay un punto definido en la curva de tensión-deformación donde acabe la deformación elástica y se presente la deformación plástica, como se indica en la figura 4.



**Figura 7. Diagrama esfuerzo-deformación para un material que no tiene bien definido el punto de fluencia.**

### **2.3.2.3 Porcentaje de elongación.**

La cantidad de elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de la ductilidad de un metal. La ductilidad de los metales comúnmente se expresa como porcentaje de elongación (*Askeland, 1998*). Durante el ensayo de tensión puede utilizarse un extensiómetro para medir continuamente la deformación de la muestra que está siendo analizada. Sin embargo, el porcentaje de elongación de una muestra después de la fractura puede medirse juntando la muestra fracturada y midiendo la longitud final de la muestra con un vernier o pie de rey.

Según *Smith, 2002*, el porcentaje de elongación sirve como un índice de la calidad del material debido a que si el material ha sufrido un daño por sobre calentamiento, hay presencia de inclusiones o porosidades en el metal, el porcentaje de elongación de la muestra puede decrecer por debajo de lo normal.

### **2.3.2.4 Porcentaje de reducción de área.**

La ductilidad de un metal o aleación también puede expresarse en términos de la reducción de área. Tanto el porcentaje de reducción de área (PRA) como el porcentaje de elongación, son una medida de la ductilidad del metal y también sirve como un índice de calidad, el PRA puede decrecer si hay presentes defectos como inclusiones o porosidades en las muestras metálicas. (*Degarmo et al., 2003*).

La ductilidad del material es muy importante tanto en los procesos de diseño como en el proceso de fabricación, ya que es preferible que si el esfuerzo aplicado al componente o material es muy alto, este pueda deformarse antes de romperse.

### **2.3.3 Dureza y Ensayos de dureza.**

La dureza es una medida de la resistencia de un metal a la deformación permanente (plástica) en su superficie (*Smith, 2002*). Debe tenerse en cuenta que un número o valor de dureza no puede utilizarse directamente en trabajos de diseño, como se puede hacer con un valor de resistencia a la tensión, ya que los números de dureza no tienen significado intrínstico.

La dureza no es una propiedad fundamental de un material, sino que esta relacionada con las propiedades elásticas y plásticas (*Avner, 1969*). El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve solo como comparación entre materiales o tratamientos. La prueba de dureza se utiliza ampliamente en inspección y control. El tratamiento térmico o el trabajo efectuado en una pieza metálica resultan generalmente en un cambio de dureza.

#### **2.3.3.1 Resistencia a la Indentación**

Esta prueba generalmente es realizada imprimiendo en la muestra, un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplique directamente o por medio de un sistema de palanca. Dependiendo del sistema de prueba, la dureza se expresa por un número inversamente proporcional a la profundidad de la indentación para una carga y marcador especificados, o proporcionales a una carga media sobre el área de la huella.

#### **2.3.3.2 Prueba o ensayo de dureza Rockwell:**

En esta prueba de dureza se utiliza un instrumento de lectura directa basado en el principio de medición de profundidad diferencial. La prueba se lleva a cabo al elevar la muestra lentamente contra el indentador hasta que se ha aplicado una carga determinada menor. Esto se indica en el disco medidor. Luego se aplica la carga mayor a través de un sistema de palanca de carga. Después de que la

aguja del disco llega al reposo, se quita la carga mayor y, con la carga menor todavía en acción, el número de dureza Rockwell es leído en el disco medidor.

En la Tabla 2 aparecen algunas aplicaciones típicas del Método de dureza Rockwell, según diferentes escalas.

Tabla 2. Escalas de dureza Rockwell.

<b>Escala</b>	<b>Carga Mayor (Kg)</b>	<b>Tipo de marcador de muescas</b>	<b>Materiales típicos probados</b>
<b>A</b>	60	Cono de diamante	Materiales duros en extremo, carburos de tungsteno, etc.
<b>B</b>	100	Bola de 1/16''	Materiales de dureza media, aceros al carbono bajos y medios, latón, bronce, etc.
<b>C</b>	150	Cono de diamante	Aceros endurecidos, aleaciones endurecidas y revenidas (tratadas)
<b>D</b>	100	Cono de diamante	Acero superficialmente cementado
<b>E</b>	100	Bola de 1/8''	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio
<b>L</b>	60	Bola de 1/4''	Plásticos y metales suaves, como el plomo

Otras escalas y ensayos de dureza son ampliamente utilizados en la industria, los tipos de indentadores y los tipos de impresiones asociados a los cuatro ensayos mas comunes de dureza: Brinell, Vickers, Knoop y Rockwell. Los factores de dureza de cada uno de estos ensayos dependen de la forma de la incisión y de la carga aplicada.

Como ya se ha mencionado la dureza de un metal depende de la facilidad con la que se deforma plásticamente (*Smith, 2002*). Para un metal en particular, puede determinarse empíricamente una relación entre la dureza y la resistencia. El ensayo de dureza es mucho más simple que un ensayo de tensión y puede no llegar a ser tan destructivo. Por estas razones, el ensayo de dureza se utiliza ampliamente en la industria de control de calidad.

#### **2.4 Soldabilidad de los aceros al carbono.**

Los aceros, en dependencia de su composición química y estado metalográfico van a poseer determinadas características de soldabilidad. Los aceros al carbono y de baja aleación pueden ser divididos en 6 clases generales o grupos con referencia a la composición, resistencia, tratamiento térmico o resistencia a la corrosión. Estos grupos son los siguientes:

1. Aceros al carbono
2. Aceros de baja aleación y alta resistencia
3. Aceros templados y revenidos
4. Aceros de baja aleación tratables térmicamente
5. Aceros al Cromo-Molibdeno
6. Aceros pre-recubiertos

Para efectos de nuestro estudio solo nos interesaran los aceros al carbono y específicamente los de contenidos en carbono inferiores a 0.15% aproximadamente.

Como ya se ha mencionado los aceros al carbono son aleaciones de hierros y carbono que contienen otros elementos en pequeñas cantidades, tales como silicio, manganeso, azufre y fósforo. En estos aceros, el carbono constituye el segundo elemento de importancia después del hierro y con el aumento de la cantidad de este, se incrementa la resistencia, pero también la templabilidad. Estos materiales son generalmente usados en condiciones de laminado, normalizado o recocido.

Las propiedades y soldabilidad de estos aceros dependen principalmente del contenido de carbono. Otros elementos tienen solo efectos limitados. En la Tabla 3 aparece la clasificación de estos aceros y sus características de soldabilidad.

Tabla 3. Clasificación y soldabilidad de los aceros al carbono.

<b>Nombre común</b>	<b>Contenido de carbono</b>	<b>Dureza HB</b>	<b>Uso Típico</b>	<b>Soldabilidad</b>
Aceros de bajo carbono	0.15 Máx.	60	Planchas y chapas , acero laminado, electrodos para soldar.	Excelente
Acero blando	0.15-0.30	90	Chapas, planchas y barras.	Buena
Aceros de medio contenido de carbono	0.30-0.50	25	Elementos de máquina y herramientas.	Corriente o regular (normalmente con pre y post tratamiento térmico, procesos de soldadura con bajo hidrógeno)
Aceros de alto contenido de carbono	0.50-1.00	40	Muelles, rieles de ferrocarriles, etc.	Pobre, con tratamientos térmicos y procesos de bajo hidrógeno.

Estos límites permiten definir una primera aproximación de la concentración en carbono de los aceros soldables y los no soldables, aunque estos datos no son absolutos permiten obtener observaciones interesantes, (*Séférin, 1977*):

- La soldabilidad decrece cuando el contenido de carbono aumenta.
- Los aceros de bajo contenido de carbono de hasta 0.25-0.30 % de carbono, no presentan problemas de soldabilidad, siempre con la condición de que encierren cantidades suficientes de elementos desoxidantes como el manganeso y el silicio.



# Capítulo III



### **3. METODOLÓGIA.**

#### **3.1 Aleaciones ferrosas**

TERRAMIX S.A. le interesa investigar si el material utilizado actualmente es el más apto para el proceso de fabricación de banda metálica. Inicialmente, el proyecto recoge la información correspondiente al estado actual de la tecnología en esta área presente en TERRAMIX.

##### **3.1.2 Metodología**

- Recolección y organización de información general necesaria.
- Recolección de información referida a las aleaciones ferrosas utilizadas en operaciones de estampado y embutido profundo.
- Recolección y evaluación de los parámetros de fabricación bajo los cuales se da el formado de las bandas metálicas.
- Análisis químicos y físicos a los aceros utilizados en la fabricación de bandas.
- Recolección de información del comportamiento de los aceros utilizados actualmente en el proceso de recubrimiento denominado METAL JACKET.
- Recolección de información sobre costos de las aleaciones ferrosas utilizadas en distintos mercados.
- Propuesta de una aleación ferrosa alternativa que se ajuste a los parámetros de fabricación actuales.

Para la evaluación de parámetros de fabricación se realizaran ensayos mecánicos para determinarlos valores de las propiedades mecánicas de tensión y dureza que tienen o deberían tener las aleaciones utilizadas actualmente.

## **3.2 Matrices de estampado**

En TERRAMIX S.A. las reparaciones a las matrices de estampado son frecuentes debido al desgaste que sufren por efecto de la fricción que se da entre el fleje metálico y la matriz. Estos desgastes se traducen en variaciones en el producto formado y alertan de la necesidad de reparación o sustitución de la matriz de estampado. Por este motivo se enfoca la segunda parte del proyecto en la recolección de la siguiente información referente a las matrices de estampado.

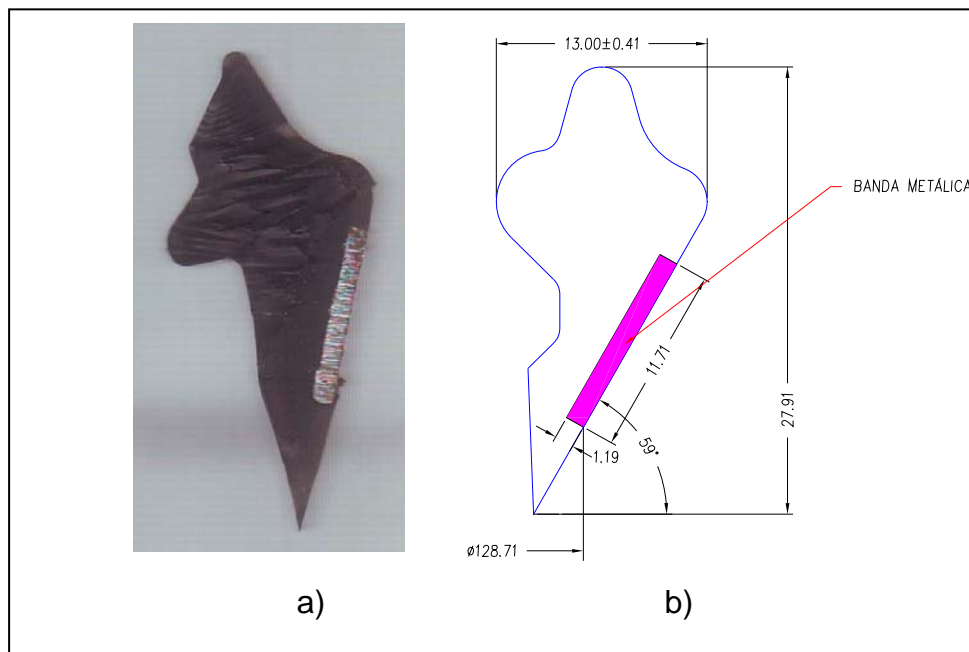
### **3.2.1 Metodología.**

- Identificación de defectos en productos formados.
- Determinación de cuales defectos pueden ser causados directa o indirectamente por las variaciones en las dimensiones de la matriz.
- Identificación de los materiales de fabricación de las matrices de estampado
- Vida útil de las matrices reparadas.
- Evaluación de las soldaduras aplicadas a las matrices en el proceso de recuperación de dimensiones.
- Identificación de los defectos en soldaduras aplicadas en las matrices.

### 3.3 Formado de producto

En la empresa TERRAMIX S.A. el proceso de formado de banda consta de una serie de procesos que podrían definirse como celdas de manufactura, las cuales están unidas de manera secuencial.

Estas bandas son utilizadas en la fabricación de sellos de hule, la banda metálica sirve como un alma, que da resistencia y rigidez al empaque de hule, esta banda metálica contiene a la parte de hule del empaque como se muestra en la Figura 7.



Se cuenta con dos líneas de formado de producto, las cuales son conocidas como la línea automatizada y la línea tradicional, ambas se explicarán con detalle mas adelante.

Las estaciones de trabajo contempladas en cada una de las líneas de formado se describen a continuación:

### 3.3.1 Línea Tradicional

La línea tradicional, llamada así por que aun es manejada en su totalidad por operarios. Los procesos incluidos en esta línea son: desembobinado y desarrollo del material, rolado, soldadura por resistencia y estampado de banda. Un esquema mostrado en la Figura 8, detalla la secuencia del proceso en la línea de formado tradicional.

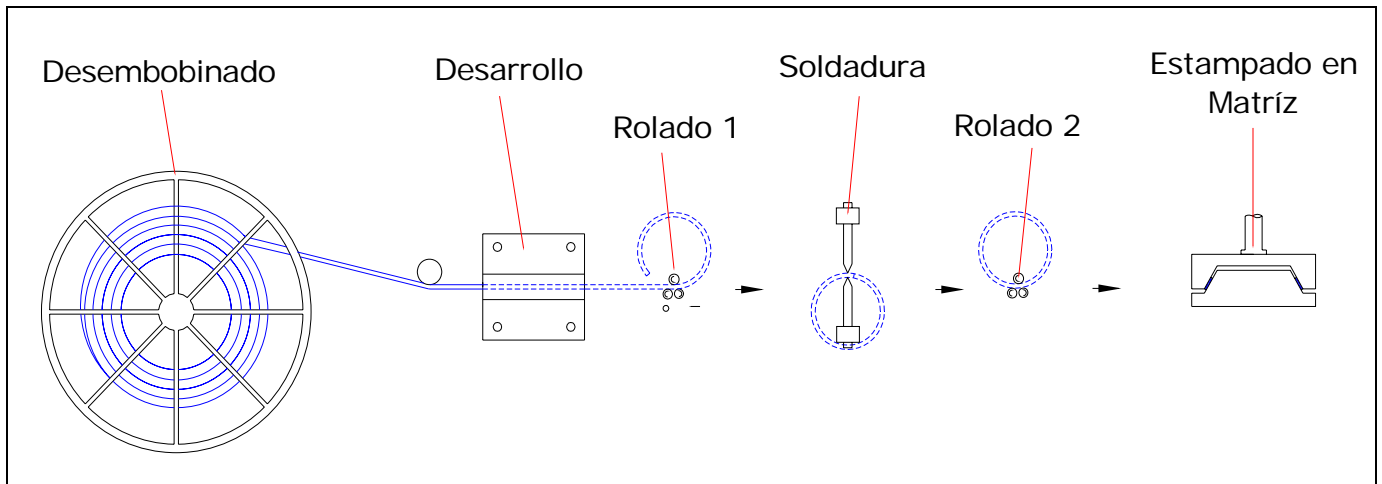


Figura 9. Esquema del proceso de formado de banda en la línea tradicional

#### 3.3.1.2 Desembobinado y corte de material

El acero utilizado en la formación de banda, es manejado en bobinas de 18 ton cada una, estas se colocan en una desembobinadora tipo carrusel que alimenta a un troquel de forma continua y cuya única función es dar la longitud (desarrollo) de la tira de acero que se utilizara en la fabricación de la banda metálica. Este desarrollo es ajustado por el operario según el producto que se vaya a fabricar.

### 3.3.1.3 Primer rolado del Fleje metálico

Luego de que la tira de acero es cortada con el respectivo desarrollo, se procede al rolado del fleje que dará la forma circular preliminar al producto (banda metálica<sup>2</sup>).

### 3.3.1.4 Soldadura

La operación de soldadura se da posterior al rolado del fleje metálico. Una vez rolada la tira de acero, se sueldan los extremos donde ha sido deformado el fleje para formar una especie de traslape y es en esta zona en donde se aplicara la soldadura por punto o soldadura por resistencia. La figura 9 muestra un esquema del proceso de soldadura por resistencia aplicada al fleje metálico.

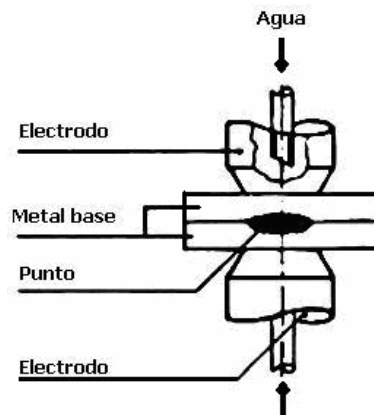


Figura 10. Esquema del proceso de soldadura por resistencia aplicado al fleje metálico

---

<sup>2</sup> Entiéndase banda metálica como un aro de fleje metálico.

### 3.3.1.5 Segundo rolado del fleje metálico

Una vez aplicada la soldadura por punto y asegurado que no hay rebabas en la zona donde se aplicó la soldadura, se procede al segundo rolado para obtener una mayor concentricidad del fleje rolado, con esto se busca que la tira soldada y rolada sea lo más redonda posible y no haya problemas a la hora de trabajar la banda en la matriz.

### 3.3.1.6 Estampado del fleje en matriz de formado

El proceso de estampado es el último en el proceso de formado de banda, una vez que el fleje ha pasado por el segundo rolado, está listo para ser estampado, que en realidad es una deformación de la banda, la cual hasta el segundo rolado tiene una forma cilíndrica, luego de pasar por la matriz de formado obtiene la forma de cono truncado con diámetros y ángulos específicos del producto a fabricar en planta (sello de hule).

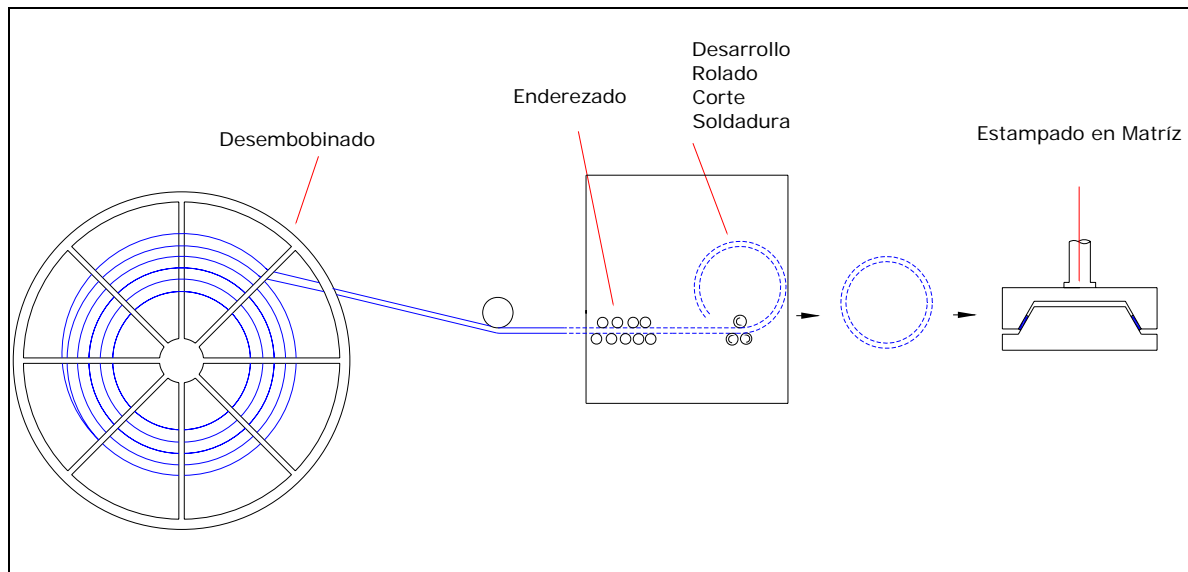


**Figura 11. Estampado de fleje en matriz de formado. a) Fleje metálico luego de segundo rolado; b) fleje metálico luego de operación de estampado.**

### 3.3.2 Línea Automatizada

Esta línea está compuesta por una serie de celdas de manufactura las cuales están automatizadas casi totalmente. En esta línea, el operario es necesario para los cambios de bobina, ajuste de máquina, y control de alarmas.

A diferencia de la línea tradicional, los procesos de dimensionado (desarrollo del fleje), rolado, corte de material y soldadura se hacen en una sola máquina. Las operaciones están programadas de manera secuencial, un esquema mostrado en la Figura 12 es un esquema del proceso en la línea automatizada.

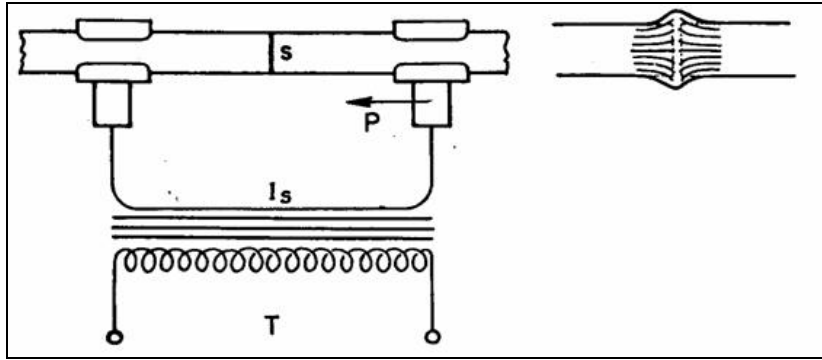


**Figura 12. Esquema del proceso de formado de banda en la línea automatizada**

### 3.3.2.1 Desembobinado

El fleje es desenrollado simultáneamente en la máquina que es alimentada con el material, la medida del desarrollo es programada en la máquina y va de acuerdo al producto que se esté fabricando. Una serie de pequeños rodillos enderezan el fleje proveniente de las bobinas de material y lo alista antes de ser rolado. Una vez rolado el material se da el corte del fleje e inmediatamente unas mordazas sujetan el material rolado y unen los extremos por soldadura a tope, en la Figura 13 se muestra un esquema de la sujeción y la soldadura a tope aplicada.





**Figura 13. Esquema de la sujeción del material, la soldadura a tope aplicada y el ensanchamiento en la zona soldada.**

El fleje formado cae en una banda transportadora que lleva el material hasta un brazo robótico que se encarga de poner y quitar el fleje de la matriz de estampado.

En ambas líneas de proceso, la línea tradicional y la línea automatizada, luego de haber sido estampadas las bandas se escogen productos al azar y se someten a una serie de ensayos y mediciones, que sirven para saber si el producto es conforme o no conforme. Las mediciones establecidas por el departamento de control de calidad para los productos fabricados (bandas metálicas) se enumeran a continuación:

- Diámetro externo grande.
- Diámetro externo menor
- Angulo
- Espesor de fleje
- Ancho de fleje
- Desarrollo mínimo
- Tensión mínima en la soldadura
- Tensión mínima en el fleje
- Planitud máxima.

El Anexo 1 detalla el reporte dimensional con el cual se lleva el control de los productos (banda metálica) fabricados.

Una vez establecido el control, hecho el levantamiento de datos y asegurado que se esta cumpliendo con los parámetros establecidos por control de calidad se continua con el proceso de fabricación, es hora del proceso de recubrimiento denominado Metal Jacket.

### **3.4 Metal Jacket.**

Cada una de las bandas y aros fabricados son sometidos al proceso de recubrimiento llamado Metal Jacket.

Metal Jacket es un proceso de recubrimiento muy reciente, distribuido por LORD Corporación.

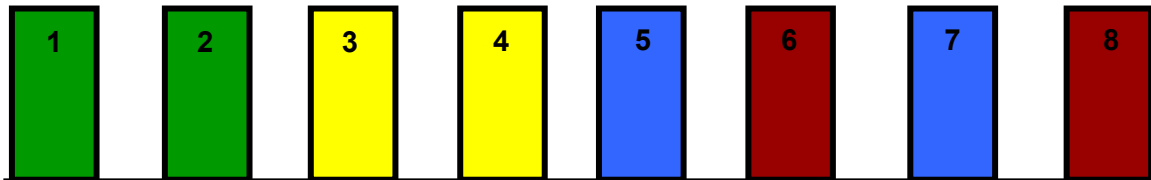
Metal Jacket es un recubrimiento a base de agua, el cual es ambientalmente amigable y que mejora las propiedades de la superficie metálica, además de proveer un sustrato para su protección. Este recubrimiento ha sido desarrollado como un sustituto del premier y puede competir con los proceso de galvanizado y dar una protección igual o mejor contra la corrosión en las superficies metálicas.

El proceso se da por la difusión de la base METAL JACKET en la matriz metálica, al ser un proceso de difusión químico y no un proceso de recubrimiento meramente mecánico, intervienen una serie de factores que pueden influenciar de forma negativa la actuación del METAL JACKET en la banda metálica formada.

Algunos de los factores que pueden influenciar en el comportamiento del METAL JACKET en la banda metálica son:

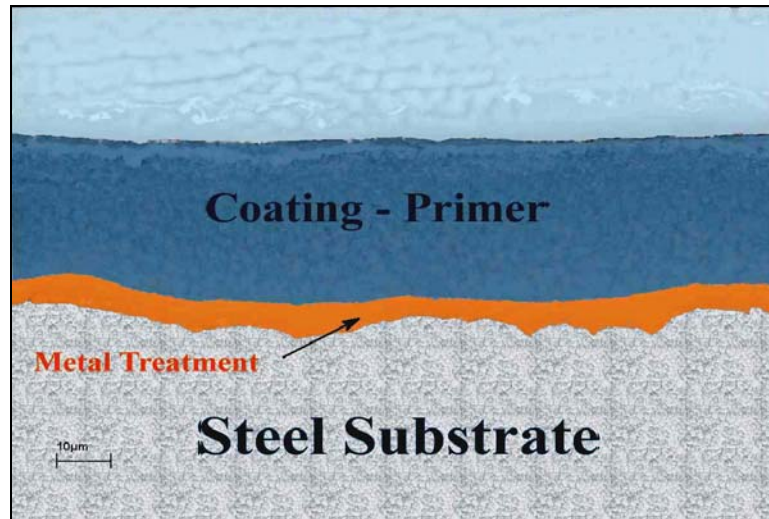
- Aceites utilizados en el embalaje para la protección de la bobina de acero
- Cascarilla superficial de los aceros laminados en caliente
- Impurezas presentes en la estructura del metal
- Suciedad superficial del acero, hollín, basuras, otros

A continuación se detallan las fases de tratamiento para el proceso de recubrimiento.



1. Limpieza Alcalina.
2. Lavado
3. Limpieza Acida
4. Lavado
5. Tratamiento Metálico
6. Secado (1 min. a 200 °F)
7. Recubrimiento Superior Metal Jacket
8. Secado y Cocido (20 min. A 350 °F)

La Figura 14 muestra un esquema de la actuación del recubrimiento Metal Jacket en la matriz Metálica.



**Figura 14. Esquema de la actuación del recubrimiento en la Matriz metálica. (Tomado del sitio Web de LORD Corporación [www.LORD.com](http://www.LORD.com))**

Por su reciente invención no se puede adentrar en detalles técnicos del proceso, que ayuden a tener una idea más clara de cómo actúa el recubrimiento.

### **3.5 Diseño y Reparación de Matrices de estampado.**

Como ya se ha mencionado, en la fabricación de bandas metálicas hay un proceso que es de especial interés en el desarrollo del producto final, este proceso corresponde al estampado del fleje en la matriz.

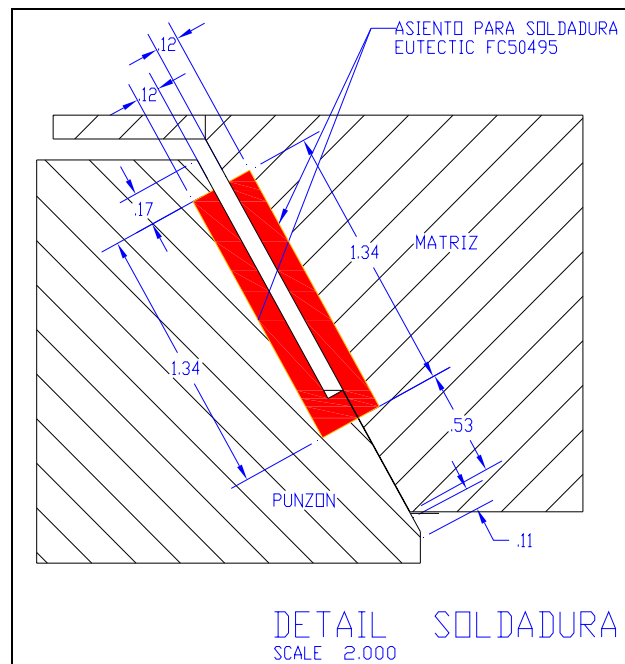
Su interés radica en que, en esta última operación es donde el producto se acerca más a su geometría final. Dado esto es necesario tener un especial cuidado en mantener las dimensiones y las tolerancias de operación en la matriz de estampado, que no siempre es fácil, debido al excesivo trabajo que presentan las matrices y al desgaste que sufren estas por efecto de la fricción entre el fleje metálico y la cavidad y punzón de la matriz en las operaciones de estampado.

Uno de los elementos más característicos y caracterizados de los troqueles son sin duda alguna el punzón y la cavidad del conjunto, debido a que la sección de trabajo es igual al contorno o la pieza a obtener. En la fabricación de estos conjuntos generalmente se opta por aceros grado herramienta (D2, A2, O1, etc), además de ser templados y revenidos para asegurarse el buen funcionamiento del conjunto a la hora del trabajo.

Durante varios años esta práctica se mantuvo a la hora de diseñar y fabricar los troqueles para estampado utilizados en TERRAMIX S.A., pero el constante cambio en las geometrías y dimensiones de la matriz, efecto de los cambios al producto final (empaquete de hule), obligó a buscar otro tipo de aceros más económicos y adoptar prácticas que no son comunes en la fabricación de troqueles pero que han dado resultados muy satisfactorios.

Actualmente las matrices de estampado utilizadas en el proceso son fabricadas de un acero de bajo contenido de carbono como lo es el acero AISI 1020, además se utiliza un tipo de soldadura antidesgaste que es fácil de maquinarse y endurece con la fricción del fleje contra el punzón y la cavidad de la matriz. La Figura 15 muestra un esquema del aporte de soldadura que se le da a la matriz.

Pero no siempre la soldadura aplicada a la matriz se comporta de la manera que se espera, ciertos factores a la hora de la fabricación de la matriz específicamente a la hora de la soldadura, hacen que la vida útil de la matriz decaiga y sean necesarios nuevos procesos de maquinado y soldadura para las matrices de estampado.



**Figura 15. Detalle del aporte de soldadura que se da a la matriz de estampado 16" C905 Rieber. En rojo el área soldada en la cavidad y punzón.**

Algunos defectos que se presentan en las matrices de estampado utilizadas y específicamente en el área soldada se enumeran a continuación.

- Falta de penetración
- Falta de material de aporte
- Porosidades en el área de soldadura
- Falta de fusión
- Grietas
- Inclusiones

Para ilustrar algunos de los defectos enumerados en las Figura 16 y 17 se muestra una matriz que fue reparada y que presentó algunos de los defectos mencionados, aparte de haber tenido pérdidas en las dimensiones del punzón y que estaba afectando entonces el formado de la banda metálica.



**Figura 16. Porosidades en el área de soldadura en la matriz de 400 Metric Pressure.**



**Figura 17. Defectos en la matriz de estampado 400 Metric Pressure. Porosidades en la soldadura aparecieron luego varias operaciones de maquinado.**



# Capítulo IV



## 4. RESULTADOS OBTENIDOS

Los primeros resultados que se obtienen en la caracterización de los aceros utilizados en la formación de bandas metálicas, es toda la información recopilada, detallada en los apartados *Formado de producto y Diseño y reparación de matrices de estampado*.

### 4.1. Análisis Químicos.

Los análisis químicos fueron realizados en el laboratorio de Espectrometría de Emisión, de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, en un equipo de Emisión Óptica marca *ARL 3460 Metals Analyzer*.

Se tomaron muestras de los aceros de distintos proveedores, los cuales son:

- ARMCO (Brasil)
- BRAS METAL (Brasil)
- MANGELS (Brasil)
- YIEH CORP. (China)
- QIYUANG GROUP (China)

El último proveedor fue propuesto durante el desarrollo del presente proyecto.

La Tabla 4 detalla los resultados obtenidos en los análisis químicos realizados, relacionan las composiciones químicas de los aceros provenientes de distintos proveedores y los compara con la norma.

En los anexos se muestran los certificados de los análisis químicos realizados por el Laboratorio de Materiales de la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

Tabla 4. Composición química de las aleaciones ferrosas analizadas.

ELEMENTO	ARMCO		BRAS METAL		MANGELS		YIEH CORPORATION		QIYUANG GROUP			NORMA ASTM GRADO SAE			
	EE	CM	EE	CM	EE	CM	EE	CM	Q195CR	Q195HR	CM	1004	1006	1008	1010
									EE	EE					
% C	0.023	0.040	0.026	0.0321	0.027	0.045	0.061	0.09	0.119	0.069	0.09	0.02/0.06	0.08	0.10	0.08/0.13
% Si	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.004	0.108	0.14	0.152	0.098	0.020	0.10	0.10	0.10	0.10
% S	0.006	0.008	0.006	0.0059	0.006	0.012	0.028	0.012	0.014	0.028	0.016	0.35	0.050	0.050	0.050
% P	0.009	0.014	0.009	0.0162	0.009	0.017	0.037	0.013	0.001	0.037	0.012	0.30	0.040	0.040	0.040
% Mn	0.200	0.247	0.236	0.2570	0.231	0.260	0.366	0.33	0.430	0.350	0.38	0.35	0.045	0.50	0.30/0.60
% Cr	0.000	NR	0.011	NR	0.009	NR	0.014	NR	0.023	0.013	NR	NR	NR	NR	NR
% Ni	0.000	NR	0.000	NR	0.000	NR	0.000	NR	0.007	0.002	NR	NR	NR	NR	NR
% Mo	0.000	NR	0.000	NR	0.000	NR	0.000	NR	0.000	0.000	NR	NR	NR	NR	NR
% Co	0.000	NR	0.000	NR	0.000	NR	0.000	NR	0.000	0.000	NR	NR	NR	NR	NR
% V	0.000	NR	0.000	NR	0.000	NR	0.000	NR	0.001	0.000	NR	NR	NR	NR	NR
% Cu	0.022	NR	0.015	NR	0.024	NR	0.021	NR	0.021	0.030	NR	0.20	0.20	0.20	0.20
% Al	NR	0.031	NR	0.0524	NR	0.053	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR

**HR:** Hot Rolled ; **EE:** Certificado de Laboratorio; **CR:** Cold Rolled; **CM:** Certificado de molino

Aceros grado SAE, están especificados según la norma ASTM A 568/A 568M – 04<sup>a</sup> “ Standard specification for Steel, Sheet, Carbon, Structural and High-Strength, low Alloy, Hot rolled and Cold rolled, General requirements for”. Appendixes X2. Standard Chemicals Ranges and Limits, y la norma ASTM A109/A109 M03 ” Standard Specification for Steel, Strip, Carbon (0.25% max.), Cold Rolled.

#### 4.1.1 Comparación de porcentajes de composición para los aceros y proveedores.

Para determinar el grado de los aceros utilizados en TERRAMIX, se han comparado los datos tabulados en la tabla 4. Las comparaciones se han hecho en base a los porcentajes de composición determinados por los análisis de Espectrometría de Emisión realizados en los laboratorios de la Escuela de Ciencias e Ingeniería de los Materiales, los porcentajes de composición suministrados por el proveedor en el Certificado de Molino (CM) y los porcentajes que especifica la Norma ASTM para laminas y fleje de acero de bajo contenido de carbono.

La Figura 18 compara los porcentajes de composición para los aceros suministrados por la empresa ARMCO.

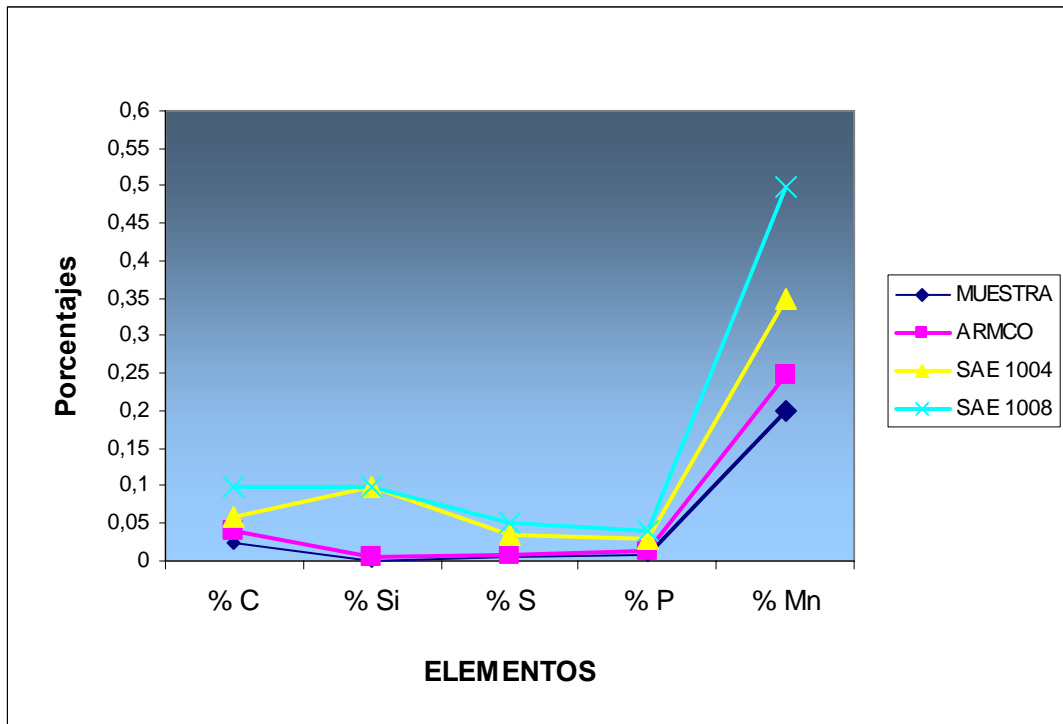
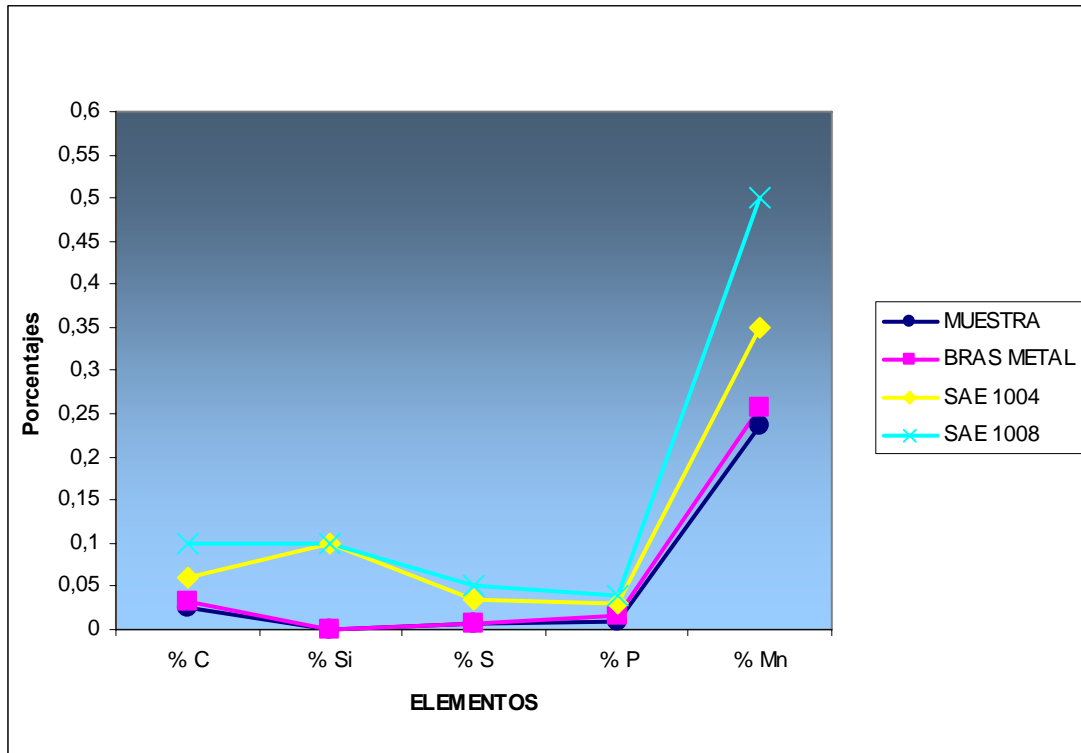


Figura 18. Comparación de los porcentajes de composición para el fleje proveniente de ARMCO.

La comparación del fleje suministrado por ARMCO se da en base a los resultados del análisis de Espectrometría, el certificado de molino y la NORMA ASTM para el grado SAE 1004 y SAE 1008.

La Figura 19 muestra la comparación para el material proveniente de BRAS METAL.



**Figura 19. Comparación de los porcentajes de composición para el fleje proveniente de BRAS METAL.**

El grafico de comparación de la Figura 19 se da entre la norma ASTM para aceros grado SAE 1004, SAE 1008, los análisis de laboratorio y los porcentajes reportados por el suplidor en el certificado de molino.

La Figura 20 compara los porcentajes para el acero proveniente de MANGELS, las comparaciones son las mismas que se realizaron con el fleje de BRAS METAL: proveedor, laboratorio y norma.

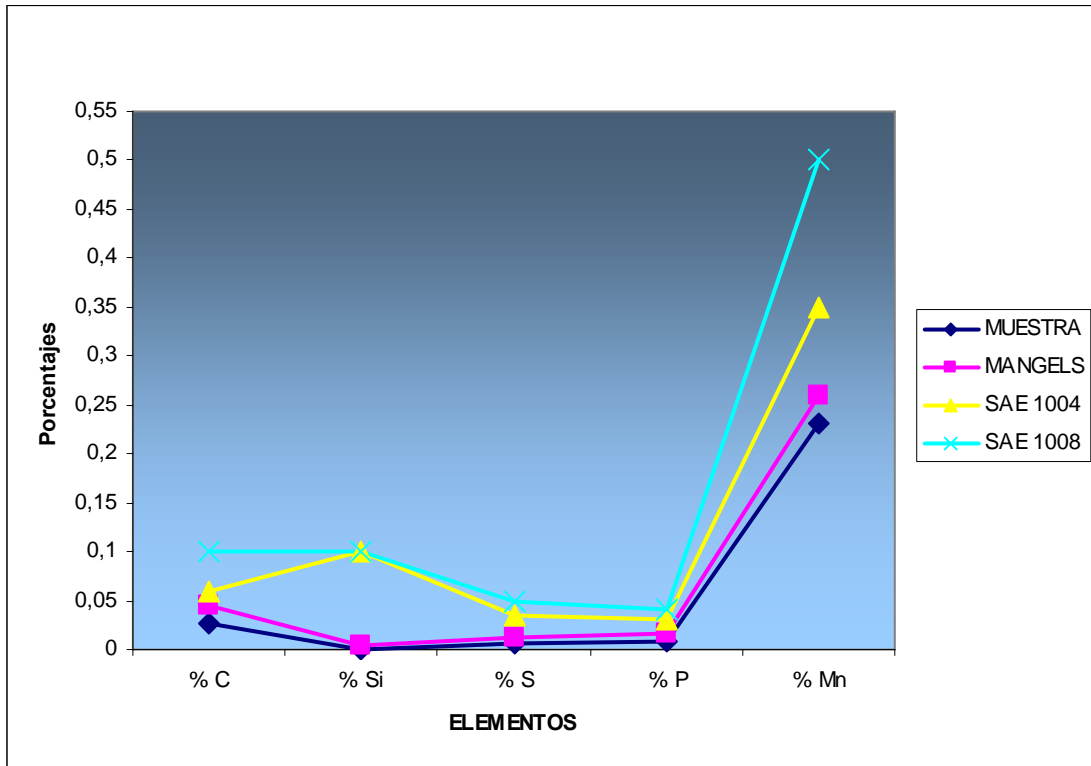
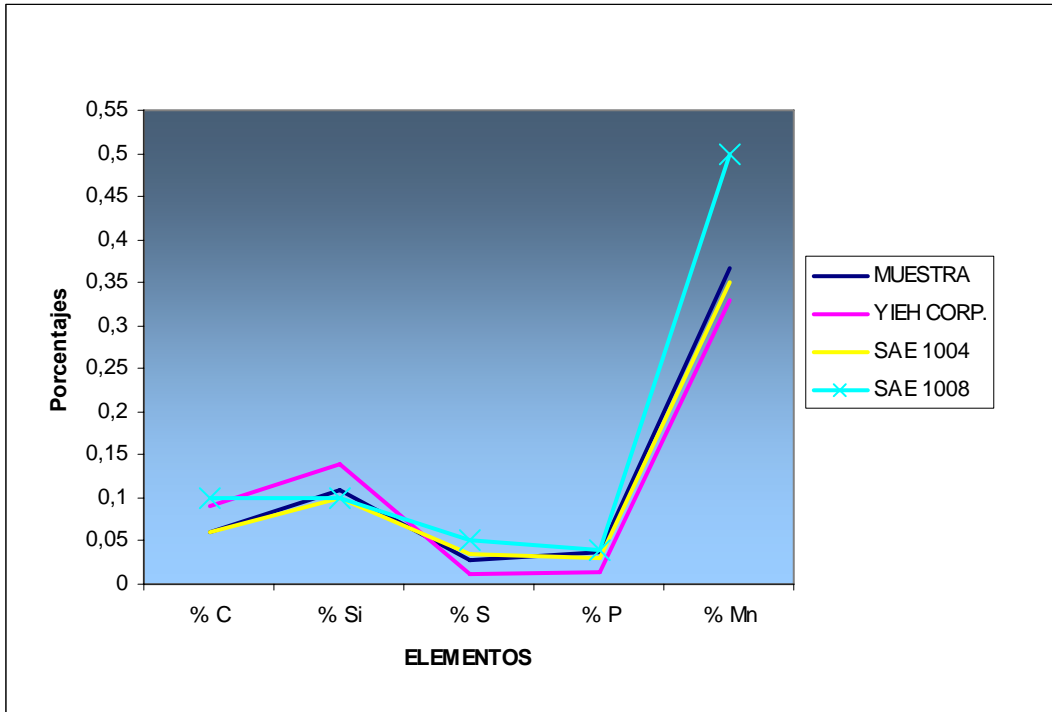


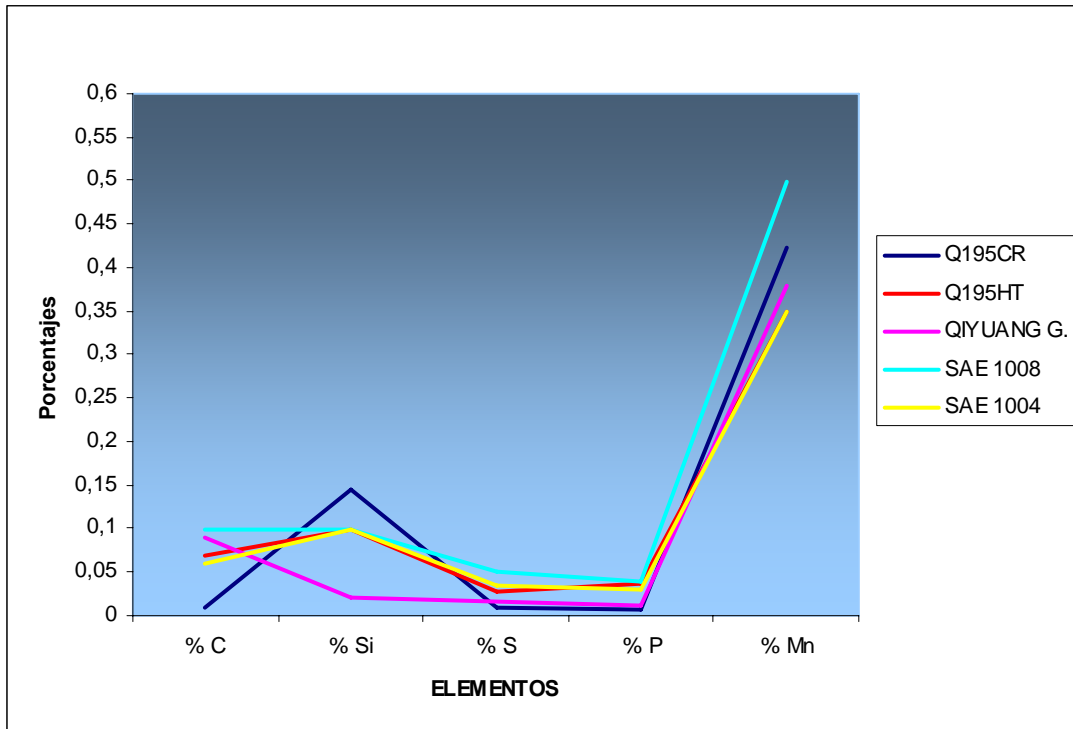
Figura 20. Comparación de los porcentajes de composición para el fleje proveniente de MANGELS.

Los patrones de comparación se mantienen para el fleje chino Q195, suplido por la empresa YIEH CORPORATION.



**Figura 21. Comparación de los porcentajes de composición para el fleje proveniente de YIEH CORPORATION.**

Para el material de QIYUANG GROUP, la comparación se da para los dos tipos de acero clasificados por su proceso de manufactura como: Q195CR y Q195HT. Se comparan estos con la norma ASTM para aceros grado SAE 1008 y los certificados de molino suministrados por la empresa.



**Figura 22. Comparación de los porcentajes de composición para el fleje proveniente de QIYUANG GROUP.**

Según los gráficos de comparación los aceros brasileños se ajustan más a los porcentajes de composición de los aceros grado SAE 1004 y no a los aceros de grado SAE1008.

Por otro lado, los aceros provenientes de China muestran gran similitud con los porcentajes de composición que da la norma.



## 4.2. Pruebas Físicas

### 4.2.1. Ensayos de Tensión

Para determinar las propiedades mecánicas de las aleaciones utilizadas en la fabricación de banda metálica, se realizaron ensayos mecánicos de tracción y dureza.

Para evaluar la soldabilidad de los aceros, se controló que los porcentajes de composición de los aceros estuvieran acorde con la Tabla 3 “Clasificación y soldabilidad de los aceros al carbono” y se realizaron ensayos de tracción en el área de la soldadura. Los resultados son:

Tabla 5. Valores de las propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de tensión para aceros de distintos proveedores.

Proveedor	Carga Máxima (lbf)	Punto de fluencia (psi)	Resistencia máxima (psi)	Norma ASTM Resistencia Máx. (psi)
ARMCO	1928	28210	45100	44000
BRAS METAL	1182	13210	46440	± 6000
MANGELS	1637	15540	45230	

Los ensayos de tracción fueron realizados en un equipo *INSTRON CALIBRATION LAB, SYSTEM 3382*.

Las figuras 23 y 24 muestran los gráficos de esfuerzo deformación para los aceros de los proveedores que son mencionados en la Tabla 5, los flejes ensayados fueron medidos en la zona transversal del fleje, para el área soldada en el fleje los resultados para estos mismos proveedores se muestran en la Tabla 6.

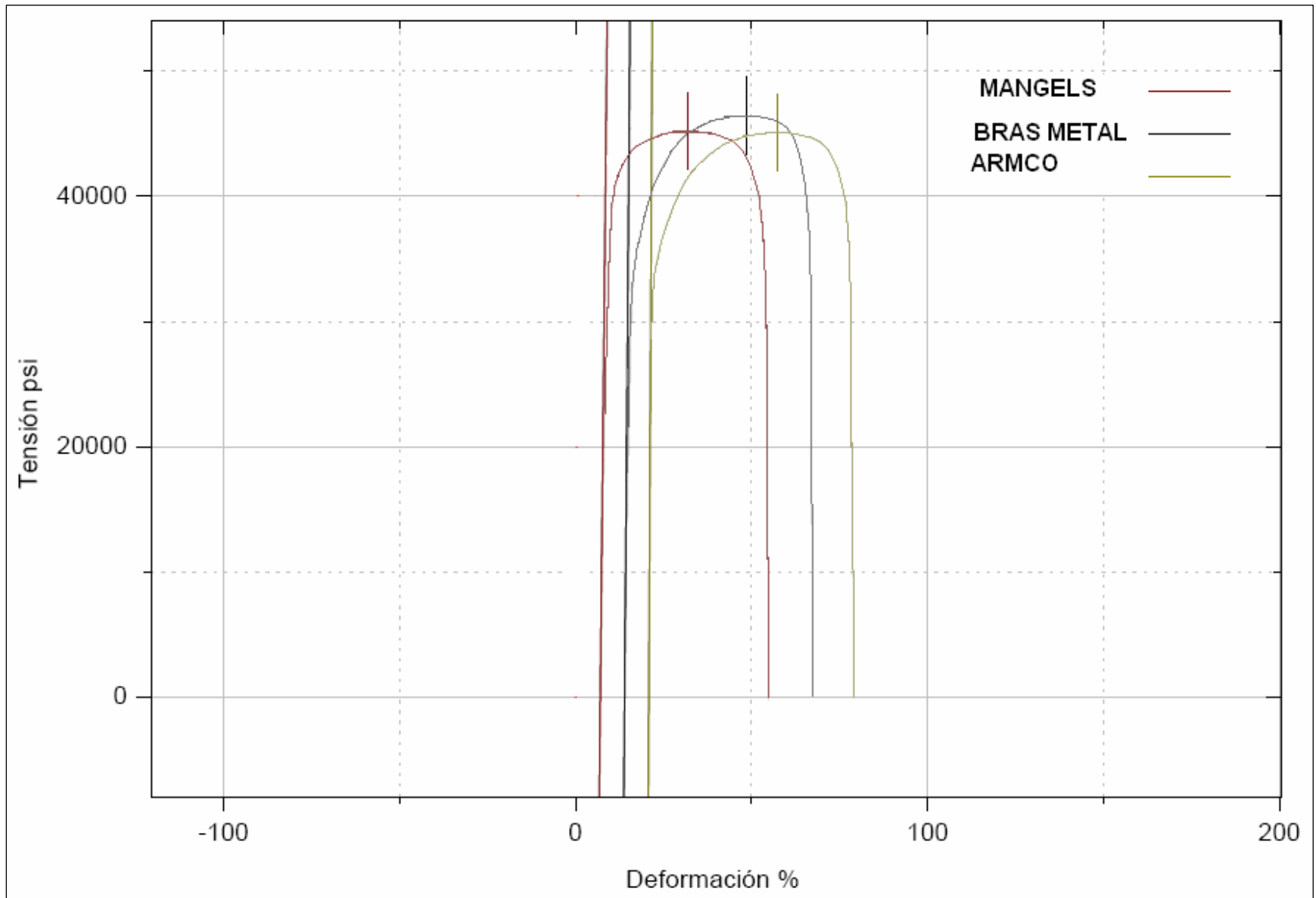


Figura 23. Gráfico esfuerzo-deformación. Análisis de tensión para el fleje, muestra los porcentajes de elongación para los aceros seleccionados

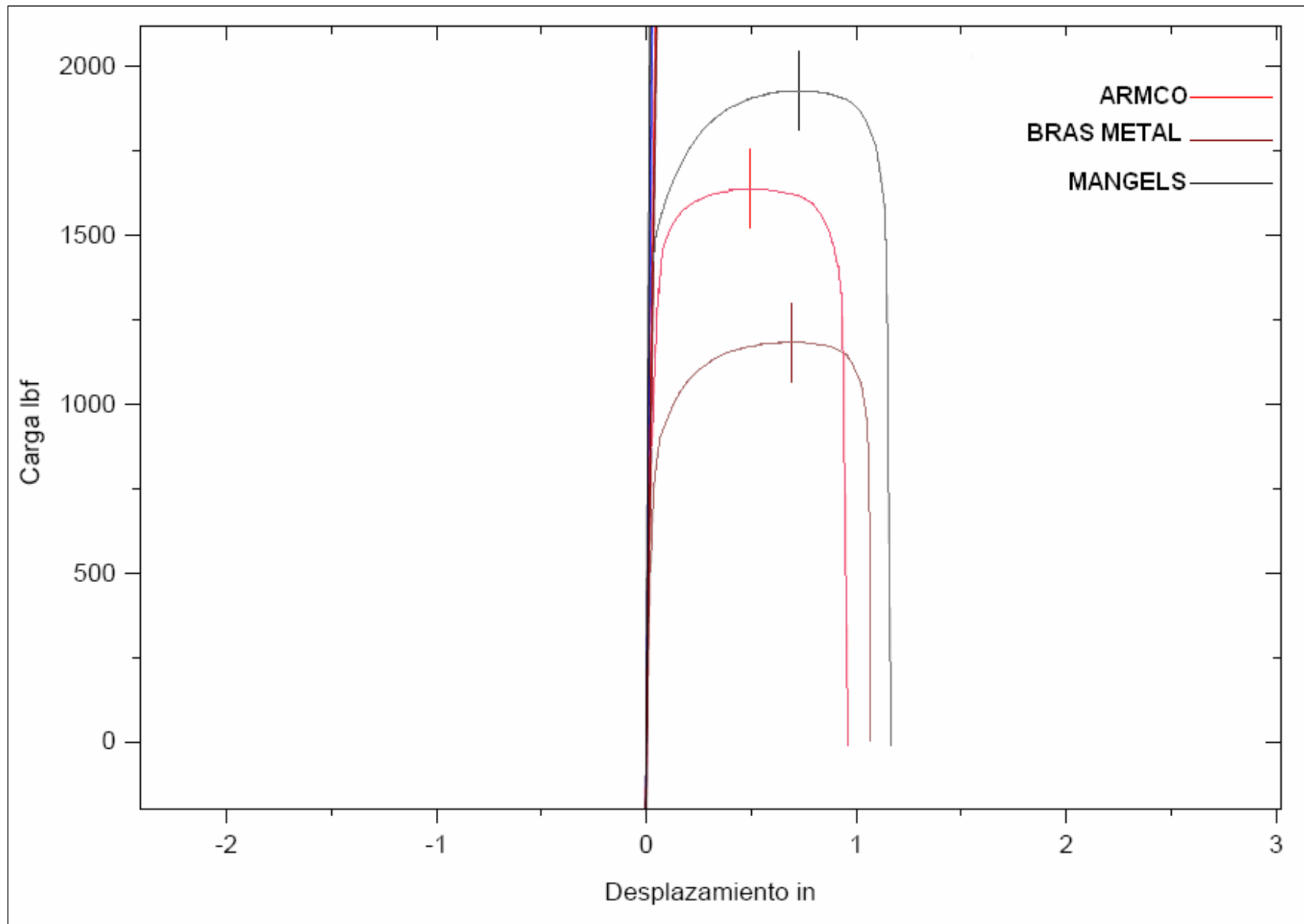


Figura 24. Gráfico esfuerzo-deformación. Análisis del fleje en el área transversal, para los proveedores seleccionados.

Tabla 6. Valores obtenidos del ensayo de tensión en el área de la soldadura.

<b>Proveedor</b>	<b>Carga Máxima (lbf)</b>	<b>Punto de fluencia (psi)</b>	<b>Resistencia máxima (psi)</b>	<b>Norma ASTM Resistencia Máx. (psi)</b>
<b>ARMCO</b>	1964	26630	46010	44000
<b>BRAS METAL</b>	1202	30910	47900	± 6000
<b>MANGELS</b>	1642	25710	40280	

Estos valores corresponden a los flejes analizados en el área de la soldadura, la Figura 25 y 26 muestran los gráficos de esfuerzo-deformación para los aceros provenientes de las empresas suplidoras que en la tabla 6 son mencionadas.

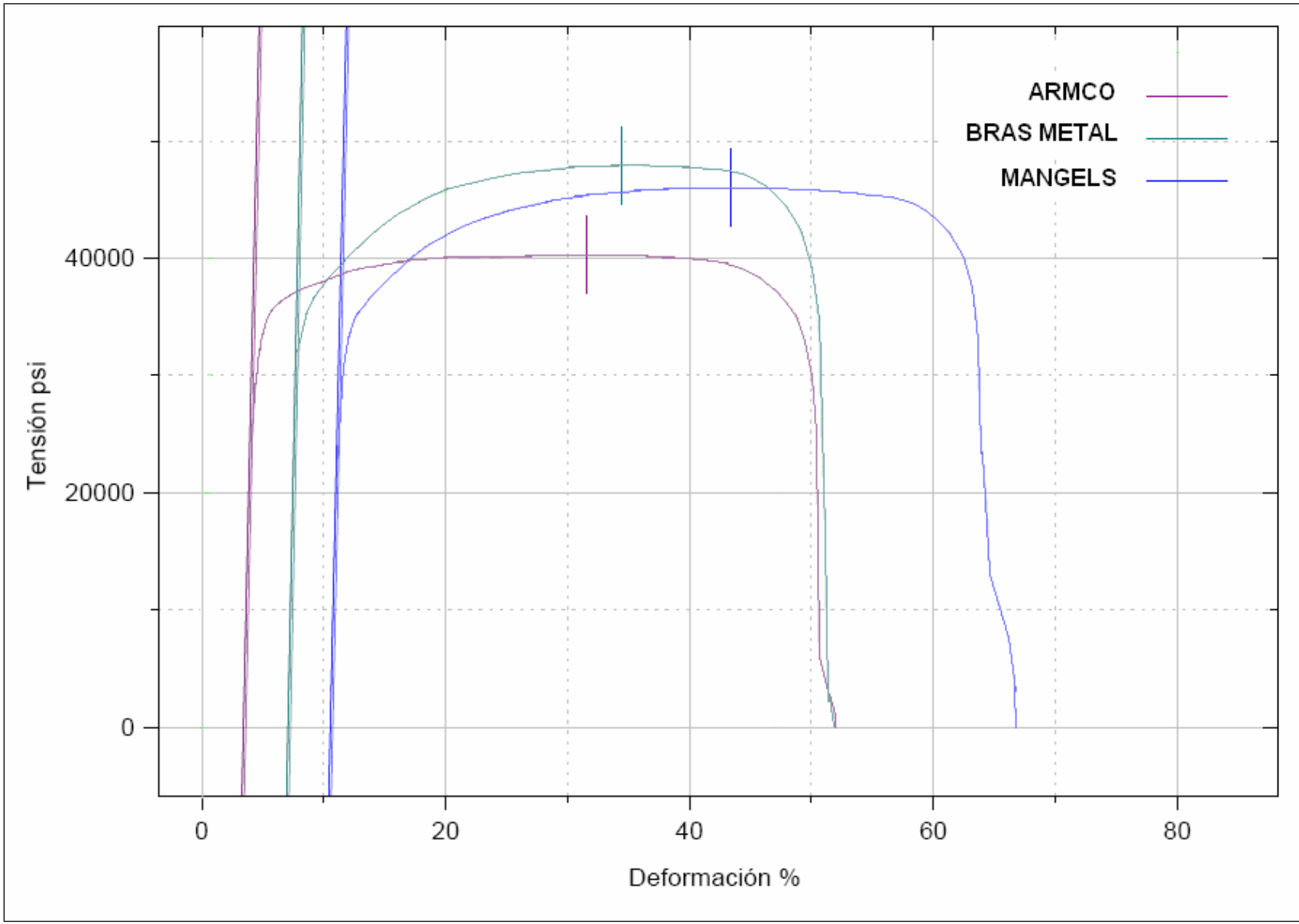


Figura 25. Gráfico esfuerzo-deformación. Análisis del fleje en el área de la soldadura, muestra los porcentajes de elongación para los aceros seleccionados.

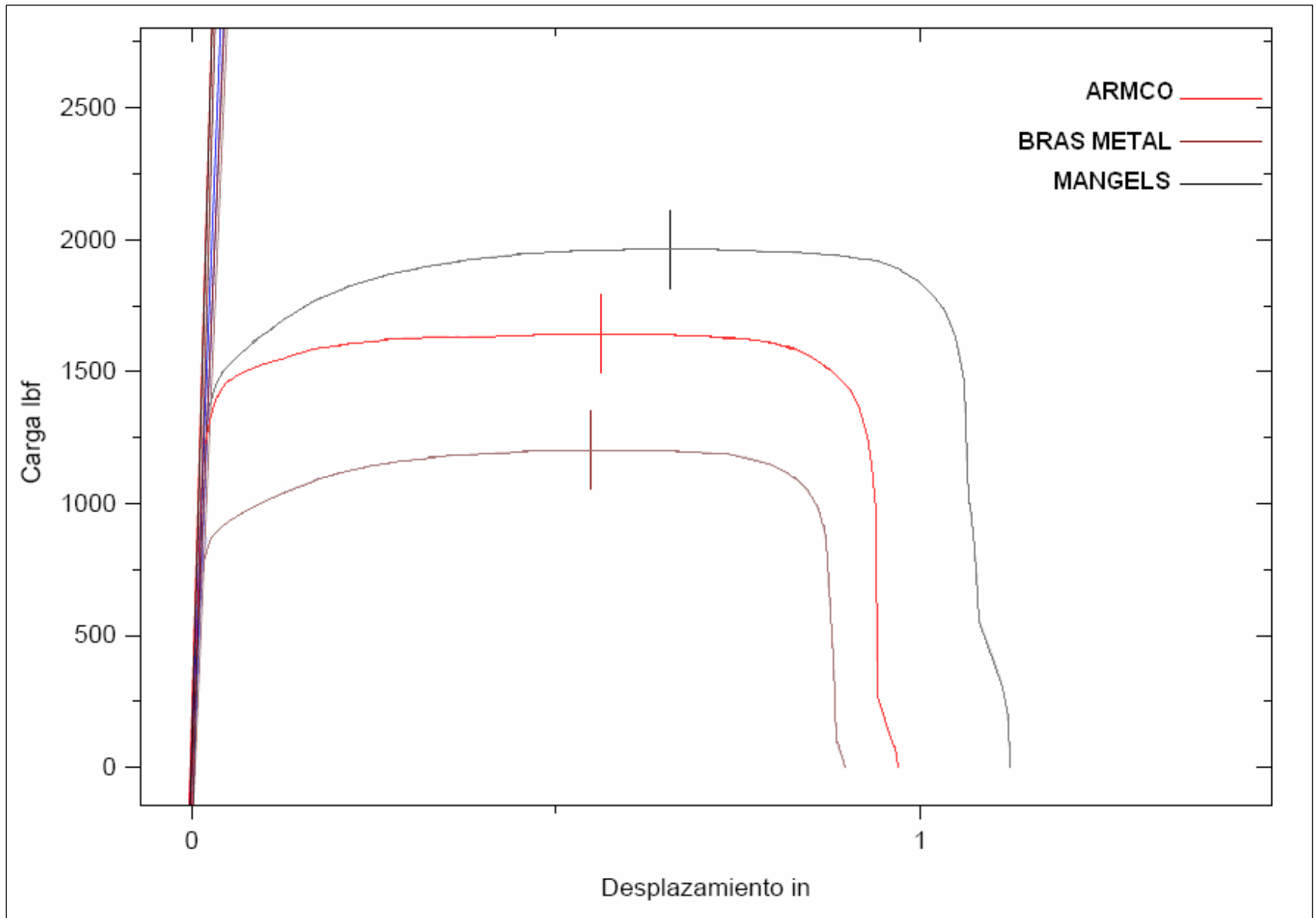


Figura 26. Gráfico esfuerzo-deformación. Análisis del fleje en el área de la soldadura, muestra los porcentajes de elongación para los aceros seleccionados.

En la Tabla 7 se suministran los datos obtenidos para el fleje chino **Q195** proveniente de **YIEH CORPORATION**, los valores tabulados corresponden a los análisis en el área transversal y en la zona de la soldadura.

Tabla 7. Valores obtenidos en el ensayo de tensión realizado al fleje chino Q195, proveniente de YIEH CORP.

<b>Muestra</b>	<b>Carga Máxima (lbf)</b>	<b>Punto de fluencia (psi)</b>	<b>Resistencia máxima (psi)</b>	<b>Norma ASTM Resistencia Máx. (psi)</b>
<b>Fleje</b>	2547	31790	54360	44000
<b>Soldadura</b>	2530	27310	53980	± 6000

Las Figuras 27 y 28 muestran las curvas de esfuerzo-deformación para el fleje chino Q195 proveniente de **YIEH CORP**. Las curvas corresponden al análisis del fleje en el área de la soldadura, y en el área transversal del fleje.

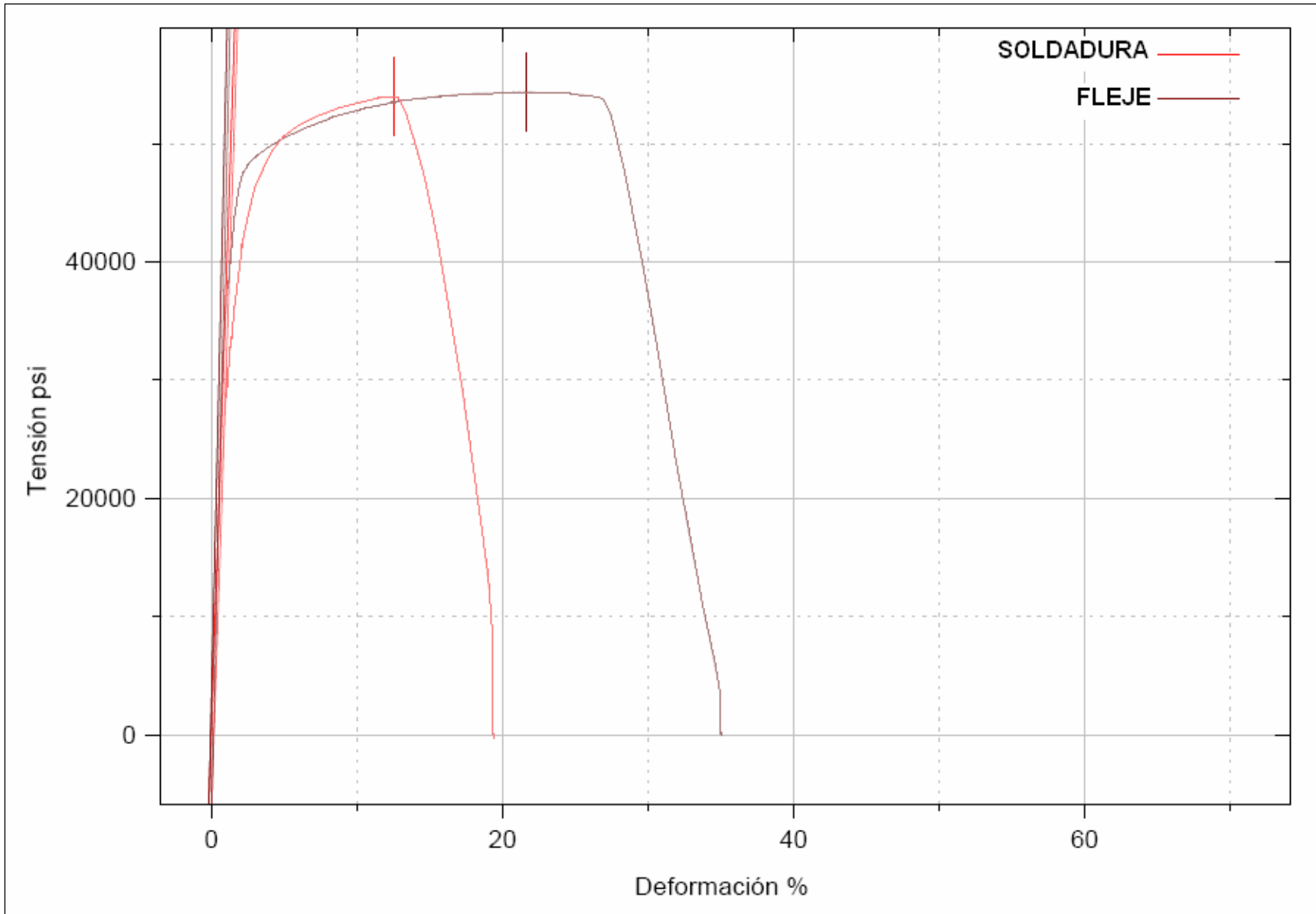


Figura 27. Gráfico de esfuerzo-deformación para el fleje Q195, proveniente de YIEH CORP. Análisis muestra el % de elongación para el fleje ensayado en el área de la soldadura y en fleje.



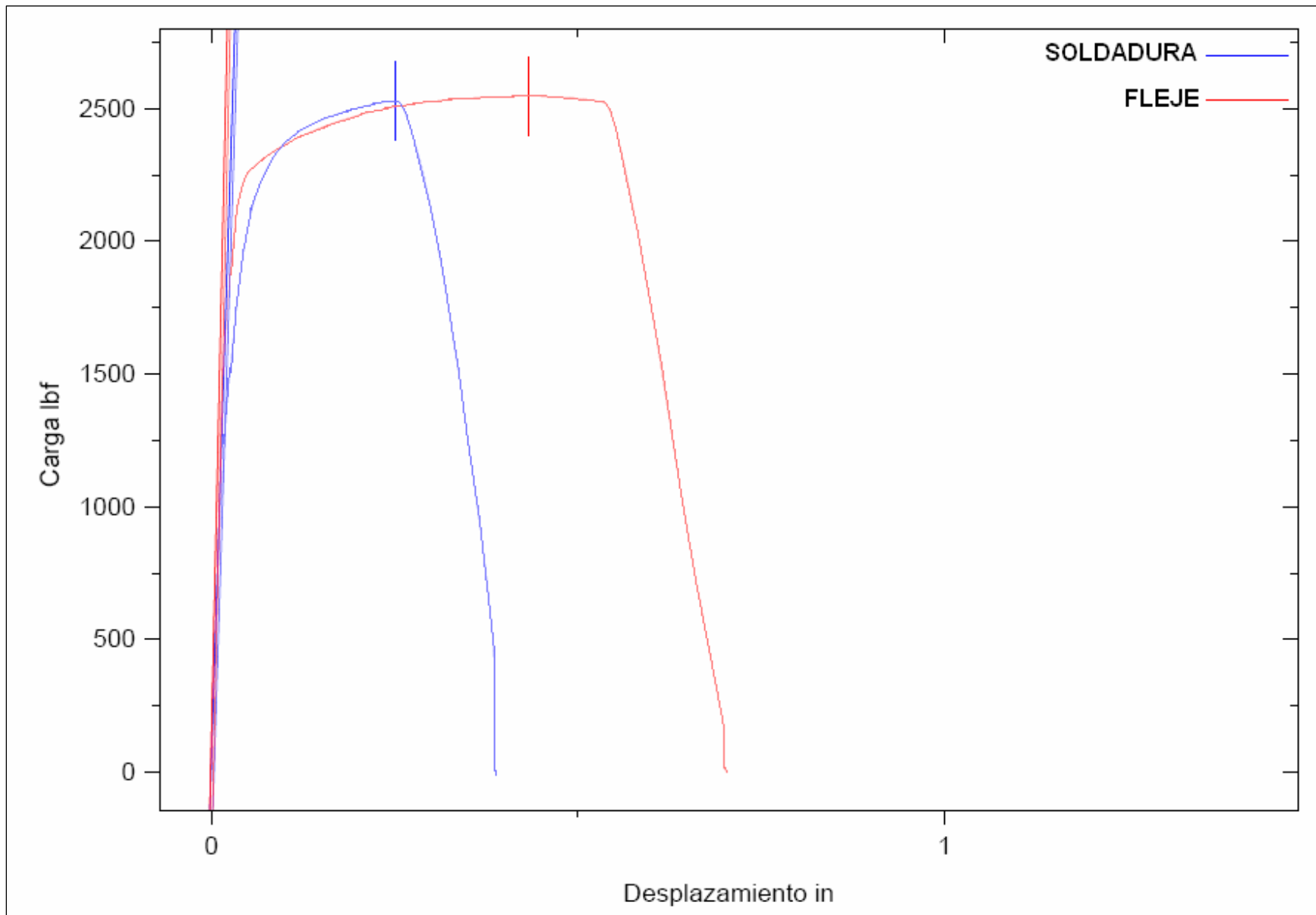


Figura 28. Gráfico de esfuerzo-deformación para el fleje Q195, proveniente de YIEH CORP.

Para el material suplido por QIYUANG GROUP, también se realizaron ensayos de tensión al fleje, la Tabla 8 y Tabla 9 muestran los datos obtenidos en los ensayos para un acero Q195 laminado en frío, y Q195 laminado en caliente.

Tabla 8. Datos obtenidos del ensayo de tensión realizado al fleje chino Q195 laminado en frío, proveniente de QIYUANG GROUP.

<b>Muestra</b> <i>COLD ROLLED</i>	<b>Carga Máxima (lbf)</b>	<b>Punto de fluencia (psi)</b>	<b>Resistencia máxima (psi)</b>	<b>Norma ASTM Resistencia Máx. (psi)</b>
<b>Fleje</b>	2250	26100	54200	44000 ± 6000
<b>Soldadura</b>	2268	32220	54650	

Tabla 9. Datos obtenidos del ensayo de tensión realizado al fleje chino Q195 laminado en caliente.

<b>Muestra</b> <i>HOT ROLLED</i>	<b>Carga Máxima (lbf)</b>	<b>Punto de fluencia (psi)</b>	<b>Resistencia máxima (psi)</b>	<b>Norma ASTM Resistencia Máx. (psi)</b>
<b>Fleje</b>	4723	13400	53400	44000 ± 6000
<b>Soldadura</b>	5177	15030	40970	

Las Figuras 29 y 30 muestran las curvas de esfuerzo-deformación obtenidas en el ensayo para las muestras indicadas en las Tablas 8 y 9.

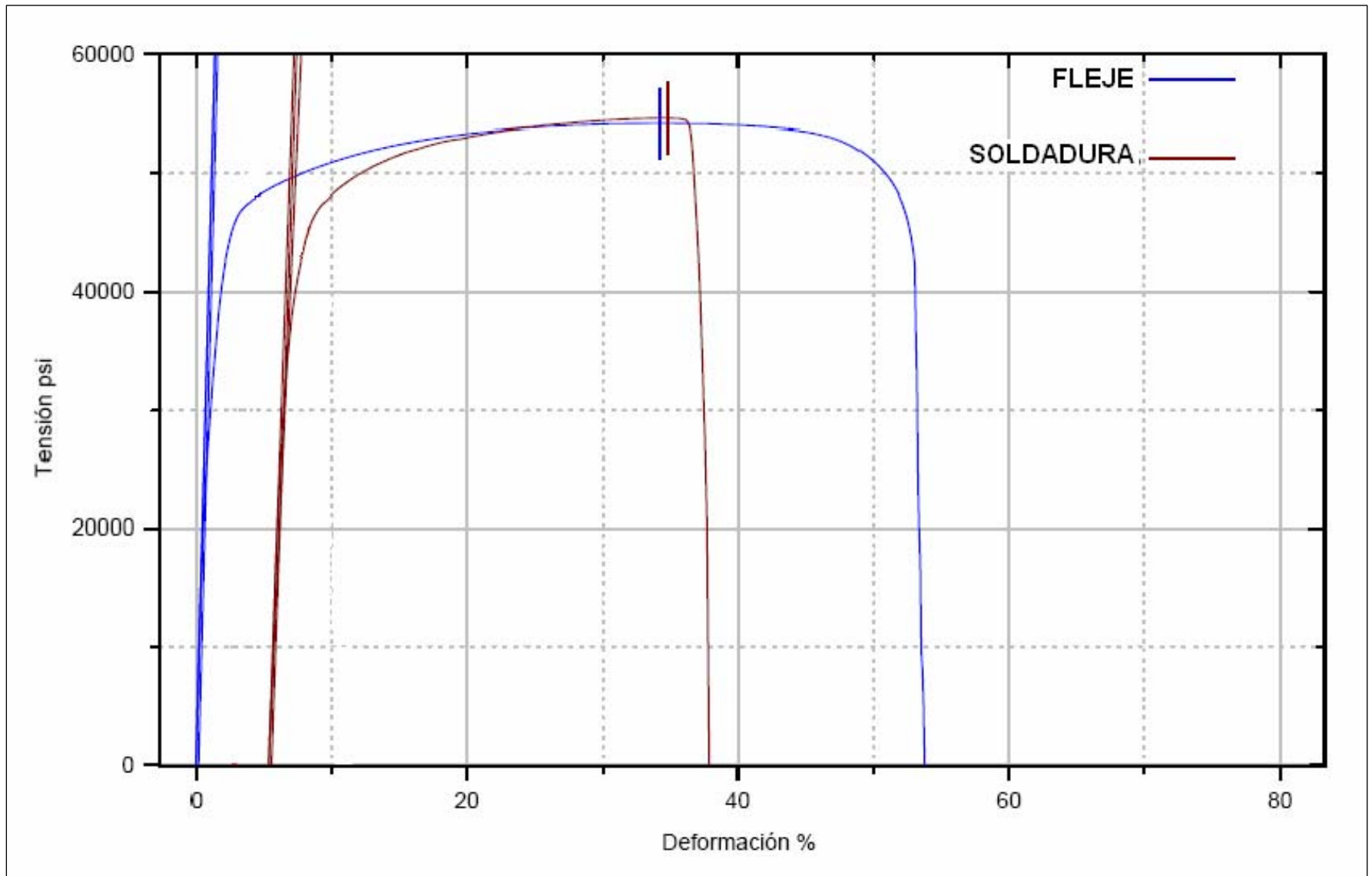


Figura 29. Gráfico de esfuerzo-deformación para el fleje Q195 laminado en frío, proveniente de QIYUANG GROUP.

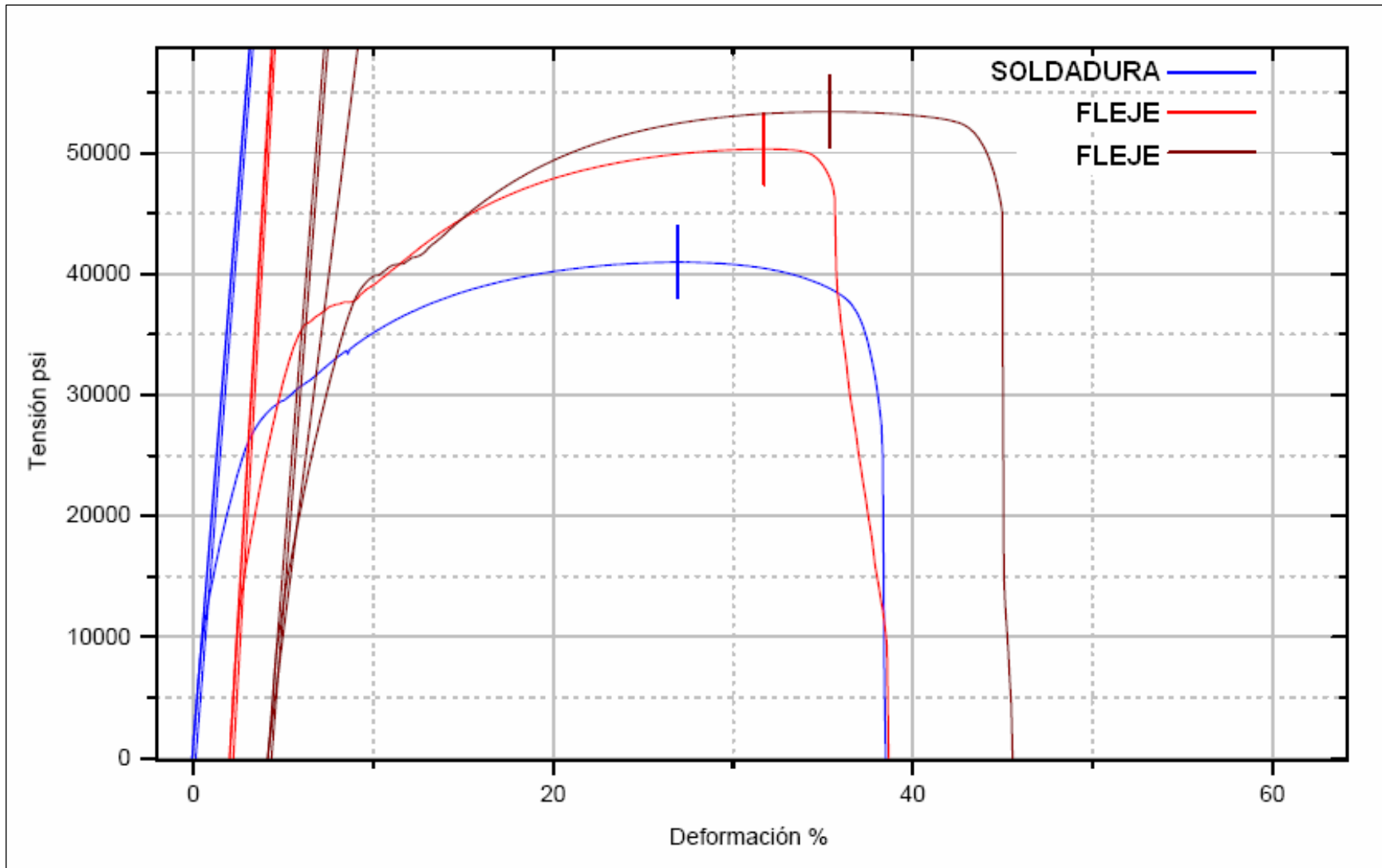


Figura 30. Gráfico de esfuerzo-deformación para el fleje Q195 laminado en caliente, proveniente de QIYUANG GROUP.

## 4.2.2 Medición de dureza

Las mediciones de dureza se realizaron con el fin de comprobar que los materiales estuvieran dentro de los rangos que dicta la norma ASTM A109 / A109 M03 *“Standard Specification for Steel, Strip, Carbon (0.25 Maximum Percent), Cold-Rolled”*.

Los valores de dureza tabulados en la Tabla 10 corresponden a los valores promedios de dureza determinados luego de la medición de dureza a lotes de 25 probetas de acero, material por proveedor.

Tabla 10. Dureza promedio de los aceros utilizados en el formado de banda.

PROVEEDOR	DUREZA (HRB)	NORMA ASTM DUREZA (HRB)
ARMCO	44.5	
BRAS METAL	25.7	
MANGELS	54.9	55
YIEH CORPORATION	60	
QIYUANG GROUP	54	

### 4.3 Comportamiento de los aceros en METAL JACKET

METAL JACKET, es un proceso relativamente nuevo, su implantación en la TERRAMIX data de unos 3 años, durante este tiempo y hasta mediados del 2006 el proceso trabajó con un mismo tipo de aceros por lo que hubo problemas que comprometieran la integridad del proceso.

Durante el 2006 se hicieron algunos cambios de proveedores y con ello un pequeño cambio en el tipo de aceros utilizados, esto generó que el proceso presentara algunos problemas de adherencia de la base METAL JACKET en el nuevo material y también aumentos en los tiempos del proceso.

Tabla 11. Tiempos de operación en el proceso de recubrimiento METAL JACKET<sup>3</sup>

Proceso	Tiempos de proceso		
	Original	2005	Proveedor chino
<b>Desengrase</b>	10 min.	30 min.	30min
<b>Tratamiento ácido</b>	5 min. al 5% de concentración	7 min. al 15% de concentración	20-30 min. al 15% de concentración
<b>Enjuague post-ácido</b>	60 s.	60 s	2 min.
<b>Tiempo total de lavado</b>	16 min.	38 min.	52-62 min.
<b>Incremento de los tiempos de operación.</b>	----	137.5%	37.65%

La mayoría de problemas que se presentaron fueron con el fleje chino de YIEH CORPORATION. La Tabla 11 detalla los tiempos de proceso sin los nuevos proveedores y con uno de los nuevos proveedores.

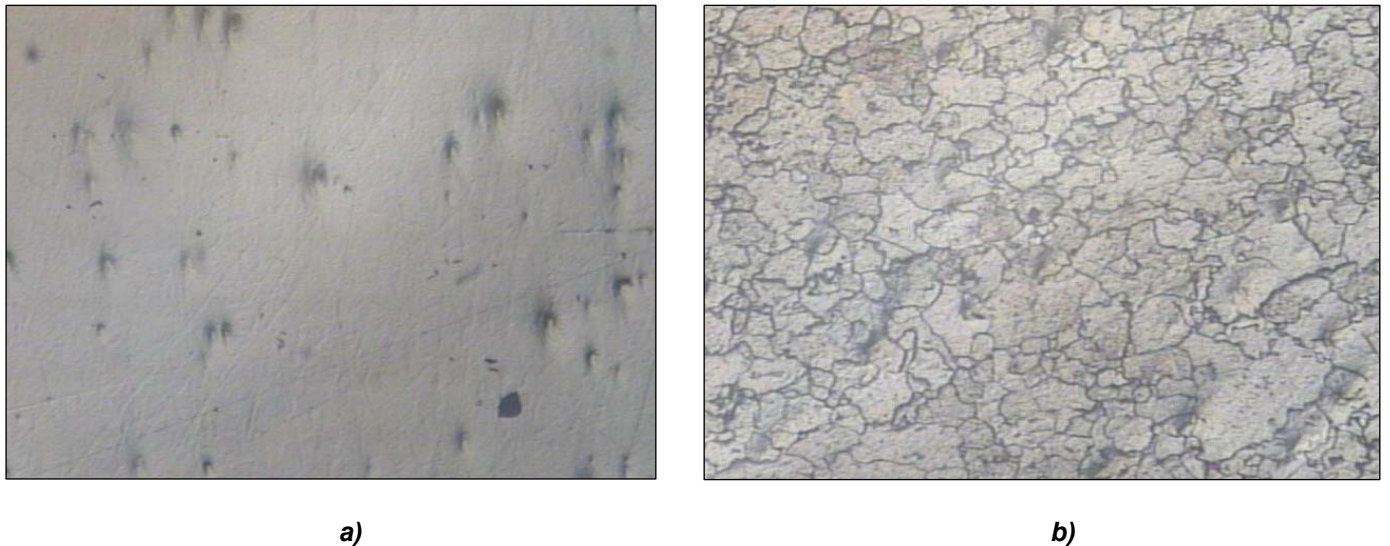
Los incrementos en el 2005 se debieron a una parafina clorada con lo que venían recubiertos los aceros Brasileños.

<sup>3</sup> Fuente: Departamento de METAL JACKET

### 4.3.2 Análisis Metalográfico.

Con el fin de lograr caracterizar los materiales utilizados en la formación de banda y así determinar si las aleaciones ferrosas utilizadas son las más aptas para el proceso de formado de banda y recubrimiento con METAL JACKET, se hicieron una serie de análisis metalográficos para ver el nivel de impurezas presentes en las estructuras metálicas era de los factores que estaban aumentando los tiempos de de operación en el proceso METAL JACKET.

La Figura 31, presenta las metalografías realizadas al fleje proveniente de ARMCO.

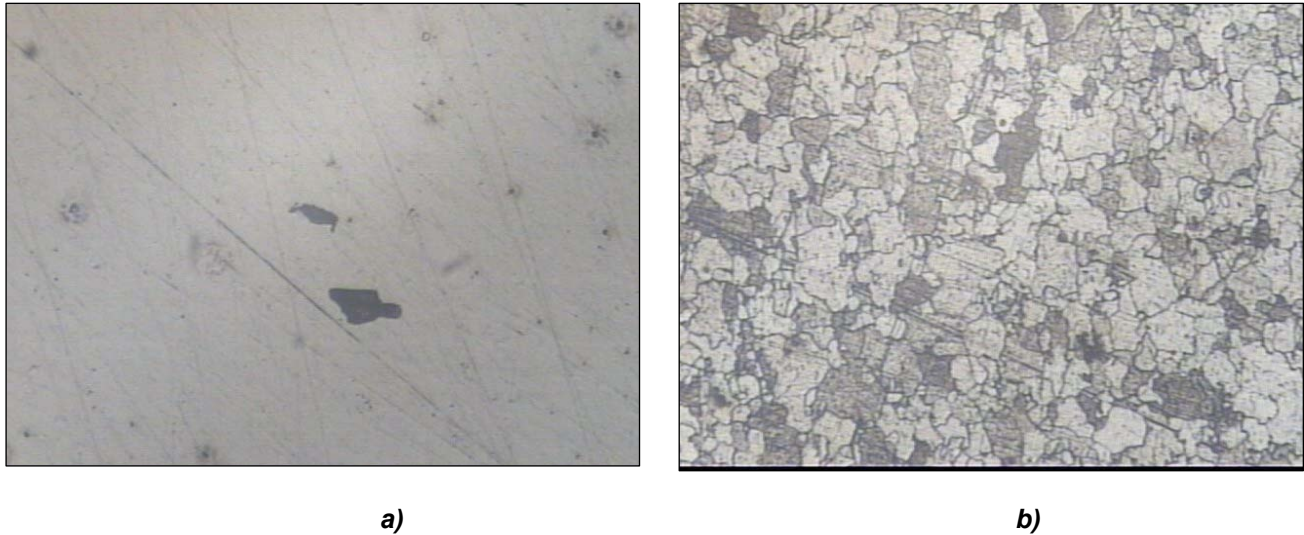


**Figura 31. Fotomicrografía de la muestra de fleje proveniente de ARMCO. a) Superficie de la muestra después del pulido fina. b) Superficie de la muestra después del ataque químico con Nital 3%. Aumento a 50x**

En la metalografía se logra ver una pequeña cantidad de óxidos globulares y sulfuros (los que poseen una forma alargada), estos son catalogados como impurezas no metálicas. En la metalografía b) se aprecia que la microestructura está compuesta principalmente por ferrita recocida y muy pequeñas zonas perlíticas (zonas oscuras) caso típico de los aceros de muy

bajo contenido de carbono, además de rasgos producto la deformación del grano por el trabajo en frío.

La Figura 32 muestra la superficie del acero proveniente de BRAS METAL, el número de inclusiones es mayor en este fleje en comparación al fleje de ARMCO.

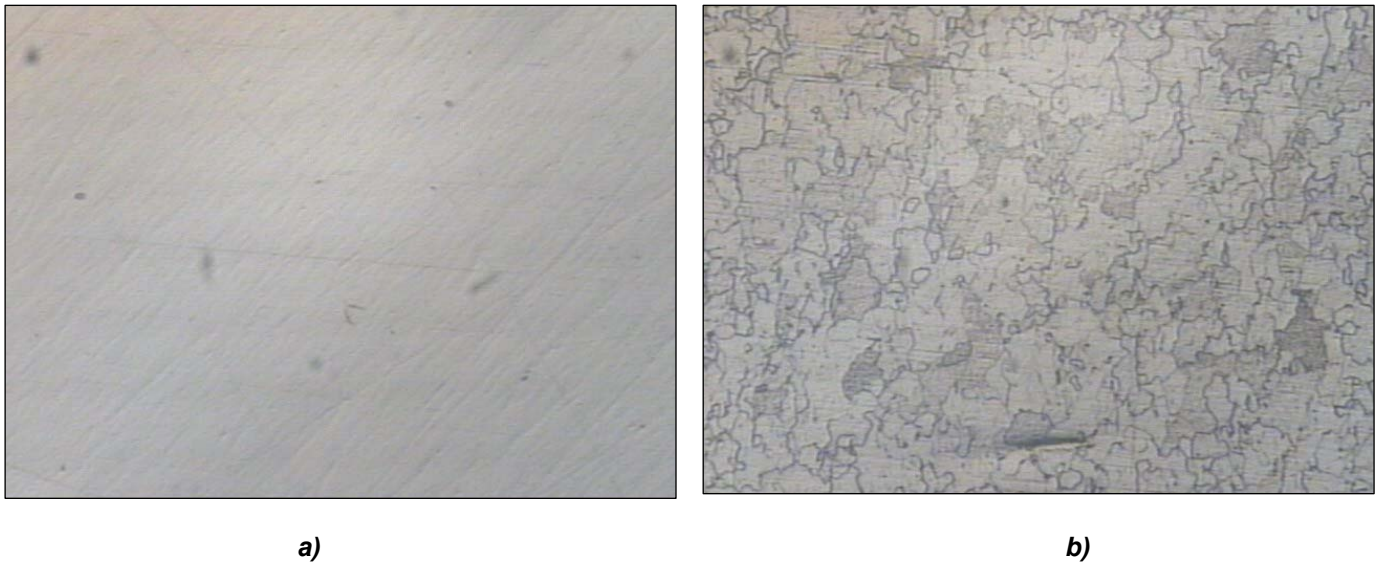


**Figura 32. Fotomicrografía de la muestra de fleje proveniente de BRAS METAL. a) Superficie de la muestra después del pulido fina. b) Superficie de la muestra después del ataque químico con Nital 3%. Aumento a 50x**

Este material presenta una mayor presencia de impurezas del tipo de óxidos globulares, puede notarse en a) que alrededor de los óxidos empiezan a formarse pequeños focos de corrosión. En la micrografía b) se aprecia que la microestructura esta compuesta por ferrita recocida y perlita, hay evidencia de un mayor contenido de carbono en este acero, dado que hay mayor proporción de zonas perlíticas (zonas oscuras), las deformaciones en el grano también son visibles, por efecto de las deformaciones por el laminado en frío.



Para el acero producido por la empresa MANGELS no se encontró impurezas en la matriz metálica, en comparación con los dos aceros analizados anteriormente. Es evidente un contenido de carbono mayor en comparación con el fleje de ARMCO y al igual que en los dos análisis pasados, las deformaciones de grano por el laminado en frío. La Figura 33 muestra las metalografías realizadas al acero proveniente de MANGELS.

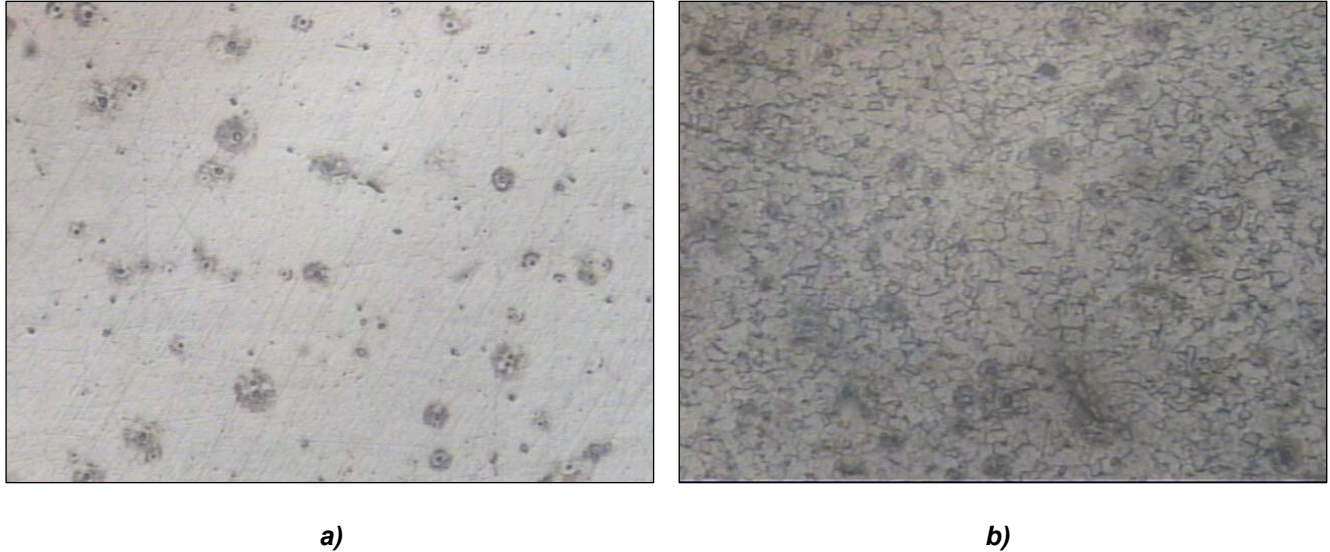


**Figura 33. Fotomicrografía de la muestra de fleje proveniente de MANGELS. a) Superficie de la muestra después del pulido fina. b) Superficie de la muestra después del ataque químico con Nital 3%. Aumento a 50x**

Aunque poseen diferencias en sus composiciones, los 3 aceros hasta ahora analizados presentan similitudes en las microestructuras y en las deformaciones de grano producidas por el proceso de laminado en frío.

Los análisis para el fleje chino dieron resultados muy diferentes en las cantidades de impurezas que presentaron en sus superficies, a diferencia de los aceros brasileños analizados, el acero proveniente de YIEH CORPORATION presentó una cantidad bastante considerable de impurezas tipo óxido globular, además hay muestra de un mayor contenido de carbono en este acero y las diferencias en las microestructuras y composiciones de fase son bastante notables.

La Figura 34 muestra la metalografía realizada a la muestra de acero Q195 provisto por YIEH CORP.

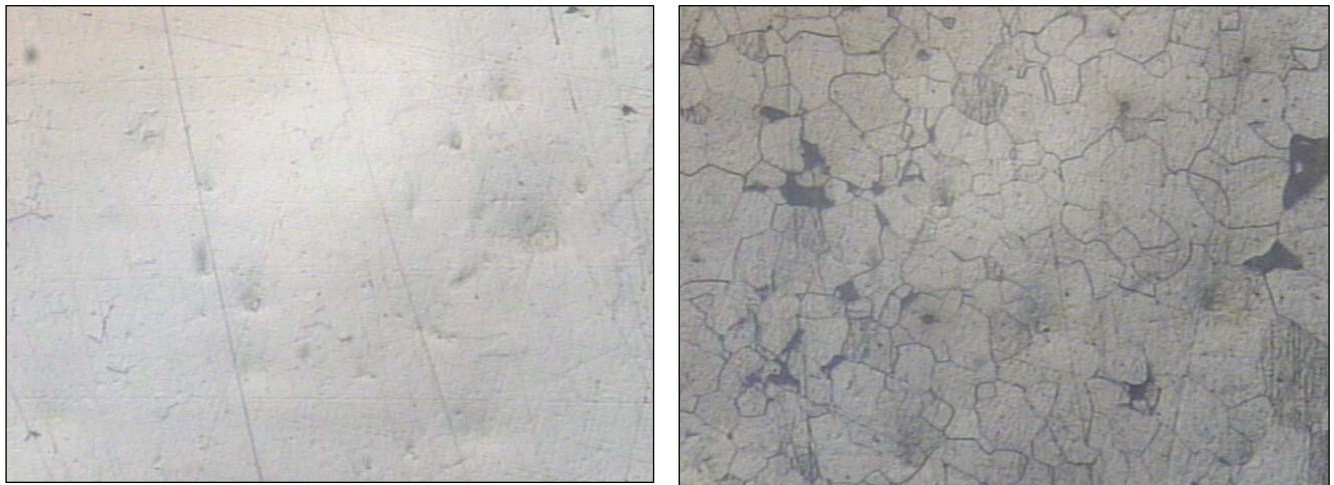


**Figura 34. Fotomicrografía de la muestra de fleje proveniente de YIEH CORP. a) Superficie de la muestra después del pulido final, amplificado 50x. b) Superficie de la muestra después del ataque químico con Nital 3%. Aumento a 50x**

El contenido de impurezas tipo óxido es mucho mayor en comparación a los aceros que fueron analizados anteriormente, además hay inicios de corrosión alrededor de las impurezas, es posible que debido al gran número de inclusiones no metálicas que presenta este material se hayan dado los problemas de adherencia con METAL JACKET.

Las metalografías para el fleje chino proveniente de QIYUANG GROUP se muestran en la Figura 35, a diferencia del otro fleje chino con el que se trabaja, este no presentó tal número de impurezas y la similitud en su apariencia superficial con el fleje brasileño de MANGELS es bastante grande, no así su tamaño y forma de grano que son típicos de una aleación trabajada en caliente que es el caso de este tipo de fleje.

En la Figura 36 se muestran las metalografías realizadas al acero laminado en frío. A diferencia del acero chino de YEIH CORP el acero laminado en frío de QIYUANG GROUP no presentó los problemas de adherencia que presento el otro acero aunque tiene un número importante de impurezas y mantuvo los tiempos de operación del proceso de recubrimiento similares a los tiempos utilizados con los aceros brasileños.



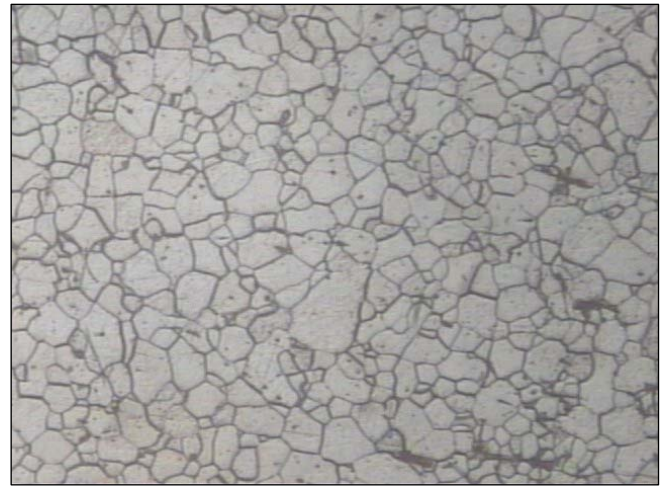
*a)*

*b)*

**Figura 35. Fotomicrografía de la muestra de acero laminado en caliente proveniente de QIYUANG GROUP. a) Superficie de la muestra después del pulido final, amplificado 50x. b) Superficie de la muestra después del ataque químico con Nital 3%. Aumento a 50x**



a)



b)

**Figura 36. Fotomicrografía de la muestra de acero laminado en frío proveniente de QIYUANG GROUP. a) Superficie de la muestra después del pulido final, amplificado 50x. b) Superficie de la muestra después del ataque químico con Nital 3%. Aumento a 50x.**

#### 4.4 Costos de los aceros utilizados en el formado de banda en distintos mercados

Hasta hace poco tiempo el material utilizado en el formado de banda metálica era suplido por empresas brasileñas y los costos por tonelada de acero rondaban los mil dólares.

Con el fin de encontrar proveedores que satisfagan la demanda de material de TERRAMIX, y a su vez disminuir los costos por compra de materia prima, se hicieron cotizaciones en distintos mercados. La Tabla 11 muestra algunos de los mercados en donde se cotizo el material y su respectivo valor de venta.

Tabla 11. Costos del acero en distintos mercados.

<b>Lugar</b>	<b>Monto por tonelada de material (USD)</b>
Brasil	\$ 1000
India	\$ 895
Taiwán	\$720
Ucrania	\$715
China	\$615
China	\$ 570 HR

Según los porcentajes de composición los aceros pueden variar su precio, estas variaciones también se presentan según sea el proceso de fabricación, si el material es laminado en caliente su precio será mucho menor que el mismo material laminado en frío. La Tabla 12 muestra las diferencias en los costos del acero en relación a su composición para varios tipos de acero.

Tabla 12. Costos del acero en relación a sus porcentajes de composición.

<b>Componente</b>	<b>Tipos de Acero</b>			
	<b>JAPAN SPHC-1</b>	<b>Chinese SAE 1008</b>	<b>Chinese Q195 Cold Rolled</b>	<b>Chinese Q195 Hot Rolled</b>
<b>% C</b>	0.020	0.040	0.061	0.061
<b>% Mn</b>	0.035	0.045	0.0366	0.0366
<b>% S</b>	0.005	0.008	0.028	0.028
<b>% P</b>	0.001	0.006	0.037	0.037
<b>Precio x Ton</b>	\$ 718	\$ 650	\$ 620	\$ 570

Estos valores están dados por un mismo proveedor con lo que se comprueba que conforme disminuye el contenido de carbono y otros componentes los precios de los aceros se elevan por la complejidad del proceso de fabricación y la dificultad de asegurar porcentajes de composición tan bajos.

Este comportamiento es solo para los aceros al bajo Carbono y su disminución en los costos se mantiene hasta porcentajes de carbono no mayores al 0.25% de carbono.

## **4.5 Matrices de Estampado**

### **4.5.1 Identificación de defectos en productos formados**

Durante el proceso de formado de banda y su paso por las matrices de estampado se pueden identificar varios defectos consecuencia del mal funcionamiento de las matrices. Estos defectos son:

- banda majada
- banda pellizcada
- banda deformada
- pellizcos en offset
- difícil colocación del fleje
- ángulo perdido
- diámetro no conforme
- falta de planitud

Los defectos dimensionales como ángulo, diámetros son producto de las variaciones que sufre la matriz en el transcurso del tiempo, otros defectos como banda majada, pellizcos y colocación pueden ser atribuidos al operario, aunque no siempre es cierto, pues una matriz que haya perdido dimensiones puede incurrir también en estos defectos.

### **4.5.2 Identificación de los materiales de fabricación de las matrices**

Los materiales utilizados en la fabricación de matrices de estampado son muy comunes y no concuerdan con los materiales usuales para matriceria. Esto se debe a que en TERRAMIX los productos están en constante cambio, debido a los ajustes dimensionales a los productos de hule, las matrices cambian de dimensión constantemente para ajustarse a las nuevas medidas del empaque de hule.

Los materiales utilizados en la fabricación de matrices de estampado se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13. Materiales utilizados en la fabricación de matrices de estampado en TERRAMIX S.A.

<b>Componente</b>	<b>Material.</b>
Punzón	AISI 1020
Cavidad	AISI 1020
Borde	Soldadura antidesgaste
Placa Superior	AISI 1020
Placa Inferior	AISI 1020
Tortillería	Standard

Los costos por fabricación de matrices contemplando un cambio de material utilizando aceros para matriceria son muy altos, el siguiente cuadro compara el costo de los aceros utilizados AISI 1020 con un acero de baja aleación como lo es el AISI 4140 ambos materiales tienen dimensiones de 10 pulgadas de diámetro por ½ metro de longitud.

<b>MATERIAL</b>	<b>PRECIO</b>
<b>AISI 1020</b>	¢ 400 000
<b>AISI 4140</b>	¢ 840 000

Aparte del material deben contemplarse los gastos por soldadura, maquinado, y otros. Los aceros especiales para matriceria tienen costos mucho más altos que el AISI 4140.

La vida útil de una matriz reparada, con una carga de trabajo de tiempo completo es de 3 meses contemplando los paros de producción, cambio de personal y cambio de material.



#### **4.5.6 Evaluación de las soldaduras aplicadas a las matrices de estampado**

Debido a la poca vida útil de las matrices reparadas y a la constante pérdida de dimensiones, se optó por evaluar las soldaduras de varias matrices y evaluar así el funcionamiento de la soldadura en la matriz. Es necesario recordar que la soldadura que se aplica es soldadura antidesgaste que endurece bajo impacto y compresión. La soldadura aplicada tiene las siguientes características:

- Electrodo austenítico al manganeso del tipo AWS EFeMn-B
- Alta resistencia al impacto y a la compresión
- Dureza: 190-250 HB recién soldado, 400-500 HB endurecido por trabajo
- Composición química del electrodo: 0.70 %C, 14.5 %Mn, 0.15 %Si, 1.0 % Mo.

Para la evaluación de las soldaduras se escogieron 3 matrices que tuvieran recargue con este tipo de soldadura, las matrices evaluadas, los tiempos en producción y las durezas medidas se describen en la Tabla 14.

Tabla 14. Matrices y tiempos de operación y durezas para las soldaduras evaluadas.

<b>Matriz</b>	<b>Tiempo en producción</b>	<b>Dureza Brinell HB</b>
400 Metric Pressure	Recién reparada	256
12 C900	3 meses	275
4 C900	12 meses	272

Según los datos obtenidos en las mediciones de dureza, las soldaduras aplicadas no están cumpliendo su función de endurecimiento por impacto y compresión.

# Capítulo V



## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1. Aleaciones Ferrosas**

#### **5.1.1 Análisis Químicos y Físicos**

Para lograr caracterizar las aleaciones ferrosas utilizadas en el formado de banda, se realizaron pruebas químicas y físicas para determinar cuales eran verdaderamente los tipos de acero con los que trabajaba el proceso.

En un principio se creía que las aleaciones utilizadas eran aceros grado SAE 1008, luego de las pruebas se logra determinar que los aceros brasileños que eran los materiales con los que trabajaba en un principio son aceros grado SAE 1004, las figuras 18, 19 y 20 muestran la comparación de las composiciones químicas obtenidas mediante análisis de laboratorio, los certificados de molino extendidos por los fabricantes y las composiciones dadas por la norma. Aunque es difícil mantener un comportamiento homogéneo en las composiciones de aceros con tan bajos porcentajes de composición, los valores obtenidos y los suministrados por el fabricante ayudan a la determinación del tipo de acero con el que se trabajaba hasta hace unos meses.

Los aceros grado SAE 1004 son especiales para operaciones de embutido profundo o partes que serán sometidas a severas deformaciones en el proceso, lo cual no es el caso del proceso que se emplea en TERRAMIX S.A, pero también son especiales para procesos en donde se aplicarán recubrimientos y se requiere uniformidad en las composiciones químicas del material, lo que puede beneficiar el comportamiento de los aceros en el proceso de recubrimiento.

En el caso de los aceros grado Q195 se logró determinar que son equivalentes en los porcentajes de composición a los aceros grado SAE 1008, exceptuando en los contenidos de silicio, pero estas variaciones en los contenidos de este componente están sujetas a la tolerancia del instrumento de medición y a las especificaciones del cliente.

Estos contenidos de silicio son mayores pues se utiliza el elemento como un desoxidante a la hora de la fabricación del acero, este encuentra probablemente difundido en la matriz metálica y no en forma de óxidos de silicio o silicatos. En los aceros brasileños los contenidos de silicio son mucho menores puesto que utilizan Silicio y Aluminio a la hora de la desoxidación en el proceso de fabricación del acero.

Las pruebas físicas sirvieron para comprobar que los aceros se encuentran bajo especificación según la norma ASTM A109. Algunas de las variaciones que se presentan en los valores de los ensayos de tensión y dureza no afectan significativamente el proceso de formado de banda. Esto asegura que el comportamiento en las operaciones de soldadura, formado de banda y troquelado no presentará problemas.

Los rangos de composiciones bajo los cuales se puede alcanzar un buen desempeño en el proceso de formado de banda, van de 0.03% – 0.12% de carbono, en este rango no se verá afectado la formabilidad del material, las propiedades mecánicas se mantendrán dentro de lo dictado por la norma ASTM A 109 y se mantendrá la excelente soldabilidad del material. El comportamiento de estas aleaciones en el proceso de recubrimiento puede ser satisfactorio, siempre y cuando se controle los límites de impurezas y los aceites de embalaje.

Las variaciones en los costos por materia prima (acero), también es un factor importante ha tomarse en cuenta, el consumo de materia prima alcanza las 2200 toneladas métricas por año y una disminución en el precio de compra del material, traerá un ahorro sustancial a la empresa.

### **5.1.2 Comportamiento de las aleaciones ferrosas en el proceso METAL JACKET**

Durante los últimos 3 años se había trabajado con los aceros brasileños y estos no habían presentado problemas en el proceso de recubrimiento Metal Jacket, recordemos que los aceros brasileños son grado SAE 1004 y estos aceros pueden tener un comportamiento más favorable a la hora del proceso de recubrimiento.

Para el acero chino proveniente de YIEH CORPORATION se tuvieron algunos problemas de lavado y adherencia de la base METAL JACKET. Como se muestra en la Figura 34, este acero presenta gran cantidad de impurezas e inclusiones no metálicas que pueden estar afectando la adherencia de la base a la matriz metálica. El proceso de recubrimiento METAL JACKET es un proceso químico y no mecánico como los recubrimientos galvanicos. Otro factor que puede afectar el proceso que no es estrictamente el material, son los aceites con los que se protege el acero a la hora del envío.

Para los aceros provenientes de QIYUANG GROUP no se han presentado dificultades mayores con el proceso, de hecho los tiempos de operación para el proceso se han mantenido bajos y no se han observado problemas grandes de adherencia de la base METAL JACKET en la matriz metálica. El problema con este acero se presenta en los que son trabajados en caliente o laminados en caliente, esto por la escama o cascarilla resultado del proceso de laminado.

Tanto los aceros brasileños laminados en frío, como el acero Chino Q195 laminado en frío de QIYUANG no presentan problemas en el proceso de recubrimiento, y es necesario destacar que las diferencias en sus composiciones químicas son bastante grandes, esto quiere decir que los problemas de adherencia son producto de los aceites utilizados a la hora del envío y de las cantidades de impurezas que estén presentes en la matriz metálica y no precisamente de las composiciones químicas del material, aunque para asegurar esto es necesario la creación de una ficha técnica, que especifique los límites permitidos para los porcentajes de composición en los cuales el proceso de recubrimiento METAL JACKET pueda actuar eficientemente.

### **5.1.3. Costos de materia prima en distintos mercados**

Los costos por materia prima han sido evaluados y se ha logrado determinar que los aceros chinos son los más baratos en el mercado y no por esto los de menor calidad, las diferencias en costos por materia prima y por envío son mucho mayores en este país, con respecto al material brasileño que se acostumbraba comprar, así queda demostrado en un testeo realizado a la hora de la búsqueda de disminución de costos por cambio de proveedor y los datos de estos precios ya fueron mencionados en la Tabla 11.

Por otro lado se logra comprobar que conforme aumentan las composiciones químicas para los aceros de bajo contenido de carbono disminuyen los costos del material. La Tabla 12 evalúa los precios para distintas composiciones químicas y distintos procesos de fabricación brindados por un mismo proveedor, este patrón se mantiene hasta los aceros con composiciones no mayores a 0.20 % de carbono.

#### 5.1.4. Propuesta de una aleación ferrosa alternativa

Tomando en cuenta el proceso de formado de bandas, las composiciones químicas del material y los costos por materia prima (aceros), podría proponerse una aleación ferrosa alternativa similar al acero grado **SAE 1012**, las diferencias en composición química no son muy grandes pero pueden traer diferencias en los costos de compra, además este tipo de acero tendría propiedades mecánicas similares a las del acero grado SAE 1008, siempre y cuando los valores para estas propiedades (dureza, tensión, % elongación, doblado) sean definidas por el cliente y se mantendrían los parámetros de soldabilidad como excelente, esto en cuanto al formado de banda.

El comportamiento satisfactorio de este acero SAE 1012 en el proceso de recubrimiento debe definirse, pero para esto es necesario la creación de una ficha técnica que indique los límites en porcentajes de composición e impurezas hasta donde el proceso asegure buenos resultados.



## **5.2. Matrices de estampado**

### **5.2.1. Identificación de los defectos en productos formados**

El mal funcionamiento de una matriz de estampado trae como consecuencia una serie de defectos en el formado de banda, este mal funcionamiento se traduce en paros de producción y pérdidas en material, tiempo y dinero para la empresa. Los defectos identificados en la sección 4.5.1

### **5.2.2. Materiales de fabricación de las matrices de estampado**

Los materiales utilizados en la fabricación de las matrices de estampado son un poco diferentes a lo que se acostumbra utilizar, las variaciones en las dimensiones de los productos de hule obligan a que el material con el que se fabrican estas matrices, sea un material barato, fácil de maquinar y que tenga buena soldabilidad, podría pensarse en que los aceros especiales para matriceria son los indicados para estas herramientas, pero las durezas que se alcanzan por endurecimiento del acero para matriceria harían las modificaciones a matrices muy difíciles y costosas, pues las herramientas para maquinado de piezas endurecidas son muy costosas y los aceros para matriceria también.

Las soldaduras antidesgaste son parte de los materiales utilizados en la fabricación de matrices. Los recargues con soldadura alrededor de la matriz, en la zona donde se da el mayor contacto metal – metal aumentan la vida útil de la matriz pero a su vez es la zona en donde se dan las perdidas dimensionales de la matriz.

Las evaluaciones realizadas a los soldaduras ayudaron a determinar el funcionamiento de las mismas en las matrices de formado.

### **5.2.3. Evaluación de la vida útil de las matrices de estampado**

La vida útil de una matriz antes de que necesite un nuevo recargue de soldadura es de aproximadamente 2 años. La vida útil de las matrices entre reparaciones es de 3 meses a tiempo completo, contemplando los paros de producción por cambio de material u otros imprevistos.

Como comparación, la vida útil para una matriz fabricada de AISI 4140 bonificado sería la misma que la vida de una matriz fabricada de AISI 1020 con recargue de soldadura antidesgaste, esto porque la matriz de AISI 4140 no podría someterse a tratamientos térmicos pues alcanzaría durezas muy elevadas que dificultarían las eventuales operaciones de maquinado para ajuste de dimensiones.

### **5.2.4. Evaluación de las soldaduras antidesgaste de las matrices.**

Las mediciones de dureza a las soldaduras de las matrices y la determinación de la vida útil, sirvieron para detectar que las soldaduras no estaban cumpliendo su función. Las soldaduras antidesgaste endurecen bajos impacto y compresión, el formado de banda en especial las operaciones de estampado no generan las condiciones necesarias para el endurecimiento de las soldaduras. Por este motivo se ha optado por sustituir estas soldaduras antidesgaste por recubrimientos duros, que dan una dureza en el material aportado de aproximadamente 35 - 40 Rocwell C, con lo que se aumentarían los tiempos en la vida útil de las matrices de estampado.

# Capítulo VI



## 6. CONCLUSIONES

- Se determinó que los aceros brasileños utilizados en el formado de banda corresponden a los aceros grado SAE 1004 y no aceros grado SAE 1008 como se creía inicialmente.
- Se analizaron todos los aceros utilizados en la formación de banda y se determinó que todos los valores de las propiedades mecánicas y composiciones químicas se encuentran bajo la norma ASTM A 109/ A 109-M03.
- Se determinó que los aceros grado Q195 cumplen con los requerimientos necesarios para obtener resultados satisfactorios en el formado de bandas.
- Se determinó que los aceros chinos pueden presentar dificultades en el proceso de recubrimiento debido a los aceites de embalaje y al nivel de impurezas que presenten.
- Las evaluaciones hechas a las aleaciones ferrosas determinaron que es necesario la implementación de un control de materia prima para los materiales utilizados en el formado de banda.
- Las evaluaciones de las zonas soldadas en las matrices sirvieron para determinar que las soldaduras aplicadas no estaban cumpliendo adecuadamente su función de endurecimiento por fricción.
- A partir de las evaluaciones a las soldaduras de las matrices se determinaron cambios en los materiales de aporte de las soldaduras para aumentar la vida útil de las matrices.

# Capítulo VII



## 7. RECOMENDACIONES

- Implementar un sistema de control de calidad que evalúe la entrada de materia prima para el proceso de formado de banda.
- Elaborar una ficha técnica para METAL JACKET que indique los límites permitidos en los porcentajes de composición de los aceros, el nivel de inclusiones no metálicas o impurezas que no vayan a interferir con el adecuado funcionamiento del proceso de recubrimiento.
- Dar continuidad a las evaluaciones realizadas al fleje e implementar evaluaciones similares en el alambre utilizado en el formado de aros.
- Dar continuidad a las evaluaciones realizadas a las matrices e implementar los cambios del material de aporte en las demás matrices de estampado que vayan fallando.
- Considerar fabricar las matrices de estampado en aceros especiales para matriceria.
- Considerar la implementación de un laboratorio especializado que ayude a la determinación de las no conformidades de los materiales utilizados en el formado de bandas y aros.

# Capítulo VIII



## 8. BIBLIOGRAFIA.

1. ASTM A109/A109M-03: Standard Specification for Steel, Strip, Carbon (0.25 Maximum Percent), Cold-Rolled.
2. ASTM A568/A568 M-04a. Standard Specification for Steel, Sheet, Carbon, Structural and High Strength, Low Alloy, Hot Rolled and Cold Rolled, General Requirements for.
3. Avner, Sydney. Introducción a la metalurgia física, 2ª ed. Mc Graw-Hill. México, 1995.
4. Black, J.T.; Degarmo, P.E.; Materials and Processes in Manufacturing. 9ª ed. WILEY. USA, 2003.
5. CIME; Recuperación de piezas por metodos de soldadura. 1ª ed. Publicaciones Imago. La Habana, 1996.
6. Johnson, C.G.; Weeks, William R.; Metalurgia. 1ª ed. Reverté. Barcelona, 1961.
7. Mott, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas, 2ª ed. Prentice Hall. México, 1995.
8. Rowe, G.; Conformado de los Metales. Ediciones URMO, Bilbao, 1972.
9. Séférin, D.; Las Soldaduras, Técnica-Control, Soldabilidad de los Metales. 1ª ed. URMO, S.A., España, 1977.
10. Thompson, S.; Handbook of Mold, Tool and Die repair welding. 1ª ed. William Anderw Publishing. England, 1999.

### Web Sites:

- [www.LORD.com](http://www.LORD.com)
- [www.INDURA.net](http://www.INDURA.net)



# **Anexos**

# TERRAMIX S.A.

## Reporte Dimensional - Insertos Metálicos



**Producto**  
**3002000**

**Nombre del Producto**  
**500 SEWER RIEBER**

**Comentarios del Inspector**

Producida en la maquina 18 con F 120 Desarrollo se toma como referencia

**Producción**

**Inspector**  
**210**

**Fecha de Producción**  
**24-Abr-06**

**Grupo**  
**1**

**Observaciones:**

PUNTOS DE SOLDADURA 5

**Producto:** 3002000      **Nombre del Producto:** 500 SEWER RIEBER

DIA EXT. GRANDE 20,636 - 20,651 PLG	DIA EXT. MENOR 20,095 - 20,149 PLG	ANGULO 59 - 61 GRD	ESPESOR 0,096 - 0,1 PLG	ANCHO FLEJE 0,525 - 0,541 PLG	DESARROLLO MIN 1,64 - 1,65 MM	TENSION MIN SOLD 2200 - 2700 LBS	TENSION MIN FLEJE 2200 - 2700 LBS	PLANITUD MAX 0 - 0,035 PLG
20,640	20,100	59,450	0,098	0,531	1,654	2.499,000	2.466,000	0,025
20,640	20,100	59,450	0,098	0,531	1,654	2.501,000	2.471,000	0,015
20,640	20,100	59,450	0,098	0,531	1,654			0,025
20,640	20,100	59,450	0,098	0,531	1,654			0,025
20,640	20,100	59,450	0,098	0,531	1,654			0,025

Página 1 de 1

Lunes, 24 de Abril del 2006

STATUS

APROBADO

FIRMA DEL JEFE DE TURNO/TARJETA

Figura 36. Reporte dimensional para producto (banda metálica) fabricado.