



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

**DETERMINACIÓN DE DIFERENCIAS EN RESULTADOS DE  
ENSAYOS DE TENSIÓN, EN DOS PLANTAS QUE PRODUCEN  
VARILLAS DE ACERO DE 3/8"**

Ericka Waleska López Ramos

Asesorado por Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López

Guatemala, octubre de 2005



# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing.	Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:		
VOCAL II:	Lic.	Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing.	Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Ing.	Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br.	Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA:	Inga.	Marcia Ivonne Véliz Vargas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing.	Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing.	Victor Hugo García Roque
EXAMINADOR:	Ing.	Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR:	Ing.	Erwin Danilo González Trejo
SECRETARIO:	Ing.	Carlos Humberto Pérez Rodríguez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DETERMINACIÓN DE DIFERENCIAS EN RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENSIÓN, EN DOS PLANTAS QUE PRODUCEN VARILLAS DE ACERO DE 3/8"**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha Abril de 2005

Ericka Waleska López Ramos

## **ACTO QUE DEDICO**

### **A DIOS**

### **A MIS PADRES**

Oscar René López Linares  
Aura Ramos Soberanis de López

### **A MI HERMANA**

Cindy Anahí López Ramos

### **A MIS ABUELOS**

† Bernabé López y López  
Carmen Graciela Linares Robles  
† Guillermo Ramos Alvarado  
Natalia Soberanis Santos Vda. de Ramos

### **A LOS ESPOSOS**

Ramos Maldonado

### **A MI NOVIO**

Juan Carlos Ramos Solares

### **A MI FAMILIA**

Tíos, tías, primos y primas.

### **A MIS AMIGOS**

Lissy, Fernando, Rolando, Rosario, Lucky,  
Mónica, † Miriam, Abel, Paola, Pablo, Enma,  
Juan Carlos, Julio, Marlon, Lizet, Rosanelly,  
Wendy, Marta, Vanesa y Gerson.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS**

Por su inmenso amor, bendiciones, misericordia y sabiduría presentes en todo momento de mi vida, por mostrarme siempre el camino a seguir, por darme todo lo necesario para ser feliz y más.

### **A MIS PADRES**

Por su amor, cuidados, paciencia, consejos, ayuda incondicional, por ser mi soporte en todo momento, por su incasable lucha de hacer de mi una mejor persona y sacarme adelante, que Dios los bendiga siempre, los amo con todo mi ser.

### **A MI HERMANA**

Por ser mi mejor amiga, por tus palabras de aliento, ayuda, amor y por compartir conmigo cosas maravillosas de mi vida, espero poder compensarte algún día toda la alegría que le das a mi vida.

### **A MIS ABUELOS**

Por su cariño, oraciones y consejos, y a mi Abues por sus cuidados, amor, preocupaciones, por estar pendiente de mi a lo largo de mi vida. Dios los bendiga.

## **A LOS ESPOSOS**

Ramos Maldonado, por su cariño, preocupaciones, por la ayuda constante e incondicional. Dios los bendiga y que les recompense en la prosperidad de su hogar.

## **A MI NOVIO**

Por su amor, comprensión, apoyo y mucha paciencia, por ser mi fuerza en momentos difíciles, por ser mi mejor amigo, mi compañero de alegrías, además de ser una pareja somos un equipo. Te amo con todo mi ser. Que Dios te bendiga siempre.

## **A MI FAMILIA**

Por su demostración de cariño y atenciones constantes.

## **A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS DE UNIVERSIDAD**

Por estar y compartir conmigo mis triunfos y tropiezos, en especial a Enma Padilla, por su ayuda incondicional y ser parte importante de mi carreta, a Rosario Casasola, por su sincera y muy apreciada amistad.

## **A MI ASESORA**

Inga. Alba Guerrero de López por su valioso tiempo empleado en orientarme y ayudarme en este trabajo de graduación, por sus conocimientos, ideas y principios profesionales.

**UN AGRADECIMIENTO ESPECIAL A**

Ing. Danilo González, Ing. Francisco Gómez, Ing. Byron Ixpata.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, EN ESPECIAL A LA ESCUELA DE MECÁNICA  
INDUSTRIAL**



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	1
1.1 Marco conceptual	1
1.1.1 Historia de la empresa	1
1.1.2 Organización de la empresa	2
1.2 Descripción del producto	5
1.2.1 Descripción de la materia prima	5
1.2.2 Composición química de la varilla	6
1.2.3 Tolerancias y especificaciones de la materia prima	7
1.2.4 Defectos en la materia prima	8
1.3 Características del producto	9
1.4 Ensayos de tensión	10
1.4.1 Elementos utilizados para los ensayos	10
1.4.2 Características de los elementos	10
1.5 Ensayos de doblado	11
1.6 Descripción de la nueva planta 2	11
1.7 Normas ASTM A - 615 (referente a varillas)	12

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS PLANTAS QUE PRODUCEN VARILLA DE ACERO DE 3/8".	13
2.1 Descripción del proceso	13
2.2 Descripción de la maquinaria	14
2.2.1 Horno	14
2.2.2 Debastadora	16
2.2.3 Cizallas	17
2.2.4 Castillos	18
2.2.5 Corrugadoras	19
2.2.6 Cama de enfriamiento	19
2.2.7 Grúa	20
2.2.8 Basculas	20
2.2.9 Máquina de ensayos de tensión	20
2.3 Defectos del producto terminado	22
2.3.1 Varilla marcada	22
2.3.2 Varilla sin vena	22
2.3.3 Varilla volteada	23
2.4 Diagramas de flujo	24
2.4.1 Planta 1	24
2.4.2 Planta 2	25
2.5 Diagrama de recorrido	25
2.5.1 Planta 1	25
2.5.2 Planta 2	25
2.6 Frecuencia de producción de varilla de acero de 3/8"	25

3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA DIFERENCIAS EN ENSAYOS DE TENSIÓN	33
3.1 Determinación de la muestra	33
3.2 Descripción del Andeva o Anova	34
3.3 Tiempo en el horno	34
3.3.1 Cálculo del tiempo en el horno	35
3.3.2 Análisis del tiempo en el horno	37
3.4 Tiempo en el desbaste	37
3.4.1 Cálculo del tiempo en el desbaste	39
3.4.2 Análisis del tiempo en el desbaste	41
3.5 Tiempo total de laminación	42
3.5.1 Cálculo del tiempo total de laminación	43
3.5.2 Análisis del tiempo total de laminación	45
3.6 Temperaturas en el horno	45
3.6.1 Temperatura de igualación en °C	46
3.6.2 Temperatura de calentamiento en °C	46
3.7 Tiempo y forma de muestreo	47
3.8 Procedimientos y ensayos	47
3.8.1 Ensayos de tensión	48
3.8.1.1 Cálculos y resultados del estudio	48
3.8.2 Ensayos de doblado	54
3.9 Análisis de los resultado de los ensayos	54
4. SEGUIMIENTO Y MONITOREO DE LOS ENSAYOS DE TENSIÓN	
4.1 Ensayos de tensión	57
4.2 Ensayos de doblado	58
4.3 Elaboración de formatos	58
4.3.1 Formato de tensión	58

4.3.2	Formato de doblado	58
4.3.3	Formato de temperatura	59
CONCLUSIONES		63
RECOMENDACIONES		65
BIBLIOGRAFÍA		67
ANEXOS		69

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Organigrama de la planta 1	3
2. Organigrama de la planta 2	4
3. Materia Prima	6
4. Horno vista exterior de la planta	15
5. Horno vista interior de la planta	16
6. Sección de desbaste	17
7. Sección de cizalla	17
8. Castillos montados en línea de producción	18
9. Castillo desmontado de la línea de producción	18
10. Varilla corrugada	19
11. Sección cama de enfriamiento	20
12. Máquina de ensayos	21
13. Software máquina de ensayos	21
14. Diagrama causa y efecto	23
15. Diagrama de flujo de la planta 1	27
16. Diagrama de flujo de la planta 2	29
17. Diagrama de recorrido de la planta 1	31
18. Diagrama de recorrido de la planta 2	32
19. Panel de control de las temperaturas del horno	46
20. Formato de tensión	60
21. Formato de doblado	61
22. Formato de temperatura	62

## TABLAS

I. Tolerancias y especificaciones del C, Mn y Si.	7
II. Tolerancias y especificaciones del S, P y Ni.	7
III. Tolerancias y especificaciones del Cr, Mo y Cu.	7
IV. Tolerancias y especificaciones del Sn, Al y P + S.	8
V. Tiempo en el horno para muestras en grado 40	35
VI. Tiempo en el horno para muestras en grado 60	36
VII. Tiempo en el desbaste para muestras en grado 40	39
VIII. Tiempo en el desbaste para muestras en grado 60	40
IX. Tiempo total de laminación para muestras en grado 40	43
X. Tiempo total de laminación para muestras en grado 60	44
XI. Cálculos y resultados planta 2	49
XII. Cálculos y resultados planta 1	49
XIII. Análisis de varianza planta 2	52
XIV. Análisis de varianza planta 1	52
XV. Andeva para el peso	53
XVI. Andeva para el límite de fluencia	53
XVII. Andeva para el esfuerzo	54
XVIII. Andeva para la elongación	54

## SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
%	Porcentaje
C	Carbono
Mn	Manganeso
Si	Silicio
S	Azufre
P	Fósforo
Ni	Níquel
Cr	Cromo
Sn	Estaño
Mo	Molibdeno
Cu	Cobre
Al	Aluminio
$\Sigma$	Sumatoria
n	Número
T	Tiempo
$\sigma$	Desviación estándar (varianza)
$\mu$	Desviación estándar (media)
Cast.	Castillo
Desv. est.	Desviación estándar
N.C.	Nivel de confianza
Fc.	Fisher calculada
Ft.	Fisher de la tabla
cm.	Centímetros





## GLOSARIO

<b>Castillo</b>	También llamado molino o canasta, lugar en el cual la palanquilla pasa para ser adelgazada.
<b>Cizalla</b>	Instrumento a modo de tijeras grandes, con el cual se cortan en frío las planchas de metal.
<b>Colada</b>	Sangría que se hace en los altos hornos para que salga el hierro fundido.
<b>Corrugado</b>	Contracción o encogimiento.
<b>Desbaste</b>	Estado de cualquier materia que se destina a labrarse.
<b>Elongación</b>	Alargamiento de una pieza sometida a tracción.
<b>Faldones</b>	Chapa que cubre la parte inferior de una máquina o vehículo.
<b>Hormigón</b>	Mezcla compuesta de piedras menudas y mortero de cemento y arena.

<b>Laminar</b>	Hacer láminas, planchas o barras con el laminador.
<b>Lingote</b>	Trozo o barra de metal en bruto, y principalmente de hierro, plata, oro o platino. Masa sólida que se obtiene vaciando el metal líquido en un molde. También llamado palanquilla.
<b>Probeta</b>	Muestra de cualquier sustancia o material para probar su elasticidad, resistencia.
<b>Rolada</b>	Dar vueltas en círculo alrededor de un eje.
<b>Varilla</b>	Cada una de las piezas largas y delgadas de acero que forman la armazón de las construcciones.

## RESUMEN

Para este trabajo de graduación se utilizarán conceptos básicos de estadística, los cuales serán un gran apoyo para la determinación de la existencia de las diferencias entre las dos plantas que son motivo de estudio, en caso que estas existan.

Se analiza la materia prima para conocer que elementos químicos que son indispensables para poder producir varilla de 3/8" en grado 40 y grado 60, se describen sus características físicas, así como también las especificaciones y tolerancias.

Se citan los elementos que son indispensables para la producción de la varilla de acero de 3/8" para refuerzo de hormigón armado, como la maquinaria que se utiliza tanto en la planta como en el laboratorio de control de calidad, como también el proceso y sus características.

Se presenta una propuesta de solución al problema a través de un Andeva, con la cual se pretende erradicarlo, siempre y cuando este exista y por último y un seguimiento y monitoreo, para tener un mejor control de los ensayos y evitar que existan anomalías o posibles diferencias en el futuro.



## OBJETIVOS

### General

- Evaluar y determinar mediante un estudio mecánico y estadístico las principales variaciones obtenidas en los resultados de los ensayos de tensión, realizados a la varilla de acero de 3/8" para refuerzo de hormigón en grados 40 y 60.

### Específicos

1. Establecer por medio de un análisis estadístico la frecuencia de una muestra que no cumpla con las especificaciones estipuladas.
2. Considerar a través de un estudio mecánico las fuentes de variación, en pruebas realizadas a las varillas.
3. Examinar la frecuencia en el mantenimiento del horno, como posible fuente de diferencias.
4. Inspeccionar la continuidad en la protección de la máquina de ensayos, como probable origen de discrepancias.
5. Observar la variación de la temperatura de calentamiento e igualación en los hornos empleados.

6. Sugerir posibles soluciones al problema en caso de detectar diferencias significativas entre las dos plantas
7. Implementar medidas de seguimiento y monitoreo para llevar un mejor control de los ensayos de tensión.

## INTRODUCCIÓN

El acero en la actualidad es un metal altamente utilizado, tiene diversas formas para ser procesado, entre ellas se encuentra la varilla de acero para refuerzo de hormigón armado la cual se utiliza principalmente en las construcciones, siendo estas pequeñas como casas hasta grandes infraestructuras como lo son hoteles, comercios y obras publicas como puentes.

En el análisis de las barras de acero para refuerzo de hormigón en las máquinas de tensión, se ha observado que existe variación en los resultados obtenidos, en una misma colada de barras de un grado predeterminado. Se ha notado también que esta variación es un poco mayor cuando las barras provienen de distinto lote o colada, esto confirma que los cambios en los componentes de las mismas afectan sus propiedades físico - químicas.

Este trabajo será de mucha utilidad al profesional que está interesado en descubrir cuáles son las razones exactas de estas alteraciones, tomando en consideración que se cuenta con un mismo proveedor de materia prima y la misma línea de producción en las dos plantas. Otros factores importantes a observar, serán la temperatura y el tiempo que la materia prima tarda en hacer su recorrido antes de llegar a ser un producto terminado.

# 1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

## 1.1. Marco conceptual

El acero en la actualidad es un metal altamente utilizado, tiene diversas formas para ser procesado, entre ellas se encuentra la varilla de acero para refuerzo de hormigón armado la cual se utiliza principalmente en las construcciones, siendo estas pequeñas como casas hasta grandes infraestructuras como lo son hoteles, comercios y obras publicas como puentes.

### 1.1.1 Historia de la empresa

La empresa en estudio empezó hace más de 30 años aproximadamente, gracias al deseo de su fundador de crear una empresa con la cual se beneficiará un gran número de personas y que la misma le produjera ganancias, él en un principio monto una pequeña fabrica de clavos y grapas con la cual se sostuvo por un periodo de tiempo y siempre con una visión colocada en el futuro. Al pasar el tiempo se extendió en la diversidad de sus productos, hasta llegar a ser hoy por hoy una de las corporaciones de mayor reconocimiento a nivel nacional e internacional.

En la actualidad cuenta con varias plantas situadas en lugares estratégicos para la elaboración de sus productos. Cada una de ella cuenta con aproximadamente 200 empleados tanto operarios como los del nivel administrativo.



En cada una de las plantas se elaboran distintos productos, como clavo y grapa mencionados anteriormente, también alambre espigado, lamina en diversas presentaciones y diámetros, perfiles, hembras, tachuelas, tubos, costaneras, varillas de acero para construcción en diferentes medidas y clasificaciones entre otras.

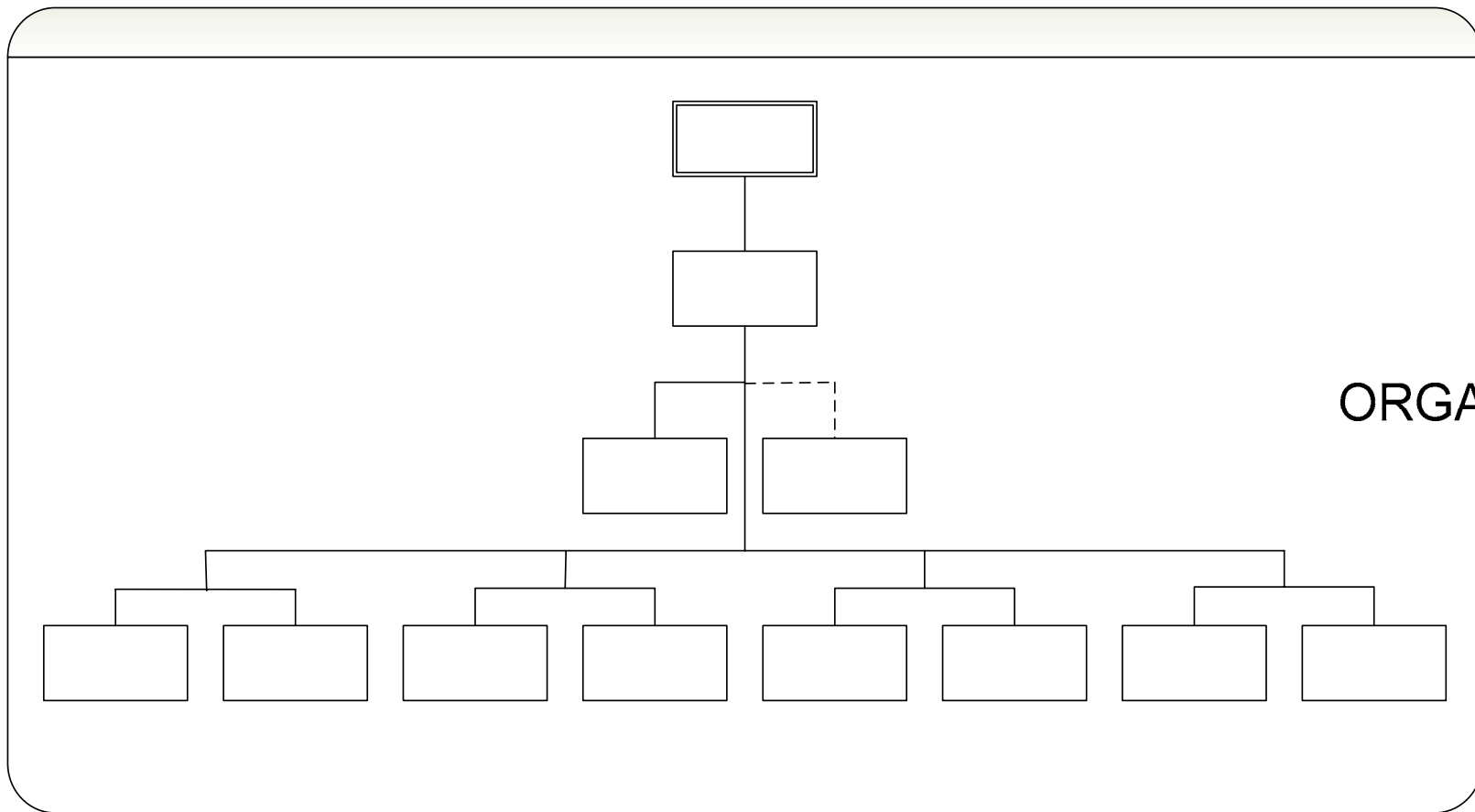
También cuenta con su propia metalúrgica la cual es la encargada de surtir de la materia prima necesaria a todas las plantas para sus diferentes líneas de producción.

Sus productos están respaldados por una gama de normas establecidas que garantizan que los mismos cumplen con tolerancias y especificaciones necesarias para competir en el mercado comercial, tanto dentro del país como fuera de él.

#### 1.1.2 Organización de la empresa

Cada una de las empresas que conforman esta corporación están organizadas de una forma jerárquica administrativa muy bien estructurada, como se observa en las figuras 1 y 2, cuentan con personal capaz para desarrollar las actividades que cada puesto requiere, han creado departamentos funcionales y para este trabajo se presentan los organigramas de los departamentos de control de calidad de las dos plantas en estudio, con las que esta relacionada la investigación.

**Figura 1. Organigrama de la planta 1**



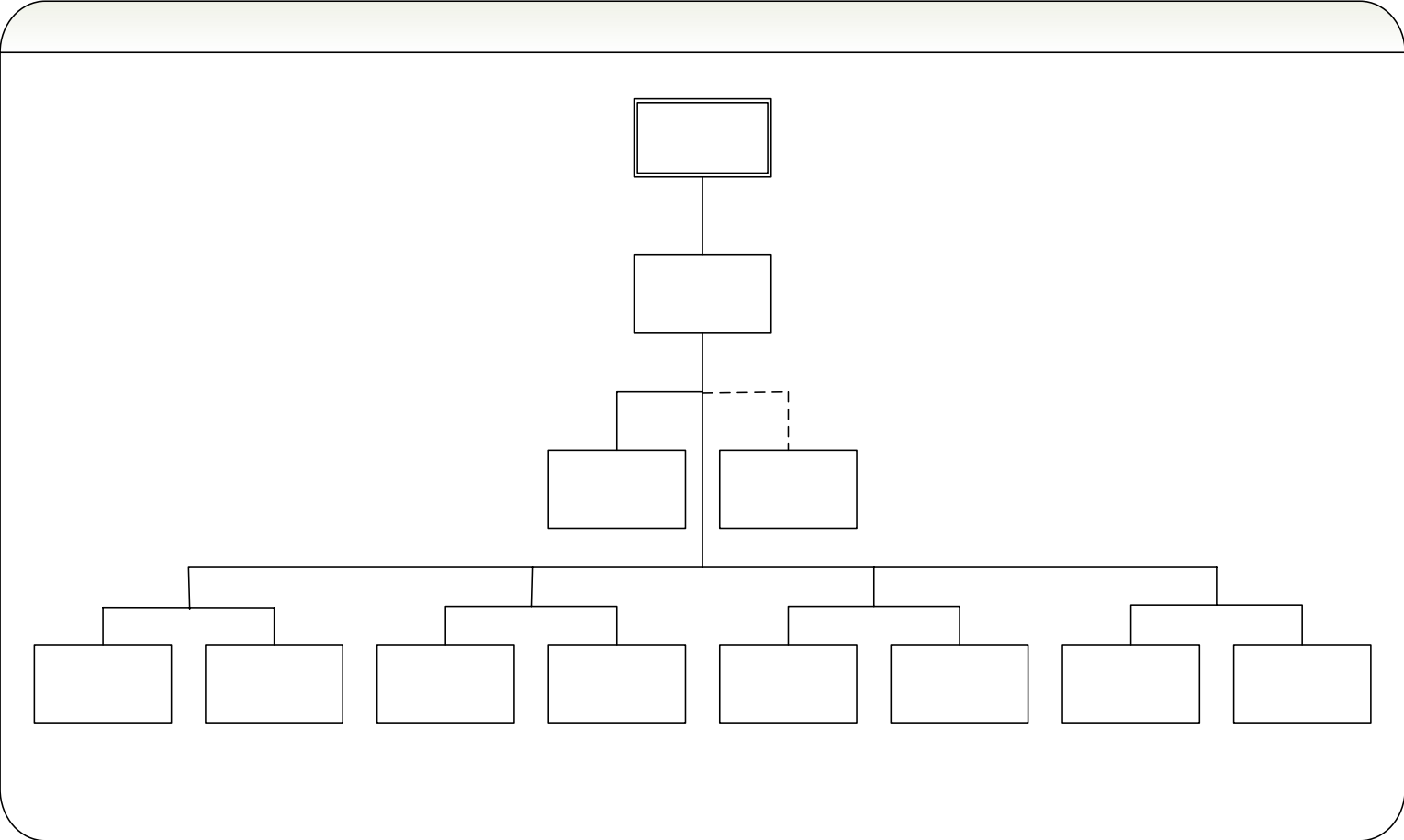
**ORGANIGRAMA P**

Jefe Control de  
Calidad  
AGSA

Asistente de  
Control de Calidad

Fuente: Elaboración propia

**Figura 2. Organigrama de la planta 2.**



ORGA

Fuente: Elaboración propia

## 1.2. Descripción del producto

Las barras o varillas son productos largos y delgados fabricados de acero que son laminados a partir de planchales. Estas se utilizan para reforzar el concreto en cualquier tipo de construcción como lo son carreteras, puentes, edificios, etc.

Las varillas deben estar libres de defectos serios y mostrar un acabado uniforme, sin embargo ciertas irregularidades no se consideran como defectos serios.

### 1.2.1 Descripción de la materia prima

El acero es una aleación de hierro, carbono y otros elementos que en conjunto definen su variedad de propiedades físico – químicas. Dentro de esos elementos se encuentran el manganeso y el silicio que son fundamentales para la resistencia mecánica del acero.

Existen dos fuentes de origen para la fabricación del acero en general, que son: los minerales de hierro, en forma de óxidos que existen en la naturaleza bajo distintas leyes de concentración, también se encuentra la chatarra de acero o fundiciones reciclables, que se encuentran como partes de maquinaria o en forma de desecho. Ambas procedencias del acero producen óptimas cualidades del mismo, dependiendo de la precisión y calidad tecnológica con que sean empleadas.

La materia prima nace del método de moldear el acero en palanquillas, a través de un proceso de enfriamiento directamente desde su forma líquida. Se utiliza el método de colada continua porque hace innecesario el uso de grandes y costosos laminadores para laminar lingotes y convertirlos en palanquillas. Hay que tomar en cuenta que estas elaboradas por este método se solidifican en solo algunos minutos en comparación con las varias horas que demora un lingote en otro proceso.

**Figura 3. Materia Prima**



**Fuente: Elaboración propia**

### 1.2.2 Composición química de la varilla

La composición de la varilla contiene diversos elementos químicos que la componen entre ellos se encuentra: el carbono (C), manganeso (Mn), silicio (Si), azufre (S), fósforo (P), níquel (Ni), cromo (Cr), estaño (Sn), molibdeno (Mo), cobre (Cu), aluminio (Al). Todos los elementos anteriores deben cumplir con un nivel mínimo, óptimo y máximo para que el producto terminado contenga todas las propiedades físico – químicas necesarias.

### 1.2.3 Tolerancias y especificaciones de la materia prima

**Tabla I. Tolerancias y especificaciones del C, Mn y Si.**

GRADO DEL ACERO	BARRAS		C	Mn	Si
Grado 60 Negra	Barras de 3/8"	Mínimo	0,370	1,150	0,150
		Óptimo	0,390	1,250	0,175
		Máximo	0,410	1,350	0,200
Grado 40 Azul	Barras de 3/8"	Mínimo	0,230	0,650	0,150
		Óptimo	0,250	0,700	0,175
		Máximo	0,270	0,750	0,200

Fuente: Proporcionada por la empresa

**Tabla II. Tolerancias y especificaciones del S, P y Ni.**

GRADO DEL ACERO	BARRAS		S	P	Ni
Grado 60 Negra	Barras de 3/8"	Mínimo			
		Óptimo			
		Máximo	0,040	0,040	0,130
Grado 40 Azul	Barras de 3/8"	Mínimo			
		Óptimo			
		Máximo	0,040	0,040	0,130

Fuente: Proporcionada por la empresa

**Tabla III. Tolerancias y especificaciones del Cr, Mo y Cu.**

GRADO DEL ACERO	BARRAS		Cr	Mo	Cu
Grado 60 Negra	Barras de 3/8"	Mínimo			
		Óptimo			
		Máximo	0,130	0,030	0,400
Grado 40 Azul	Barras de 3/8"	Mínimo			
		Óptimo			
		Máximo	0,130	0,030	0,400

Fuente: Proporcionada por la empresa

**Tabla IV. Tolerancias y especificaciones del Sn, Al y P + S.**

GRADO DEL ACERO	BARRAS		Sn	Al	P + S
Grado 60 Negra	Barras de 3/8"	Mínimo Óptimo Máximo	0,040	0,005	<0,060
Grado 40 Azul	Barras de 3/8"	Mínimo Óptimo Máximo	0,040	0,005	<0,060

**Fuente: Proporcionada por la empresa**

#### 1.2.4 Defectos en la materia prima

Cuando las coladas son recibidas deben ser revisadas por medio de la inspección visual de cada uno de los lingotes, esto se hace con el fin de verificar que sus condiciones sean aceptables y las más adecuada para entrar al proceso y que no tengan ningún defecto. Los defectos más comunes que se presentan en las palanquillas son:

Grietas: existen una gran variedad de ellas; pero en si todas tienen los mismos efectos en el proceso de laminación. Tienden a extenderse durante el rolado y mientras más pasos de laminación existan la grieta se ira abriendo gradualmente y ocasionara algunos problemas, como por ejemplo, expulsión de algún tubo de salida de un molino, enrollamiento del lingote en los rodillos de laminación, el producto terminado puede salir agrietado, entre otros.

Rombosidad: cuando se lamina un lingote romboide resulta difícil guiarlo en el área de desbaste. En el banco fijo de la palanquilla cae antes y se traba en los faldones y lo que procede es cortarla y sacarla como chatarra. En el banco móvil su salida es impredecible por lo que puede

tomar cualquier dirección siendo esto muy peligroso para el personal y el equipo cercano.

Oxidación: un lingote presenta oxidación cuando tiene poros. Si estos son internos (solo se ven en las secciones transversales) y no se ven en la superficie del lingote, estos se soldaran en el proceso de laminación por lo tanto el lingote no puede ser rechazado por tenerlos. Si los poros son superficiales este si debe ser rechazado.

Flecha: es cuando el lingote no es recto, si no que tiene una ligera curvatura. Si la curva es muy pronunciada no debe aceptarse, ya que afectan principalmente al horno y considerablemente el ritmo de producción.

Cortes: son cortes con oxi-acetileno en los extremos de la palanquilla y únicamente deberá reportarse la cantidad de lingotes con esta característica.

Pata de elefante: se tiene este defecto cuando las cuchillas de la cizalla que corta el lingote no tiene filo y lo aplasta cuando lo corta, ensanchándolo en sus extremos.

### 1.3. Características del producto

Las varillas de acero se presentan en el mercado en una gran variedad de medidas las cuales se clasifican por su diámetro, el que puede variar desde 3/8 de pulgada, hasta 1 ¼ de pulgada. Estas pueden poseer distintas longitudes que varían entre 6, 9 y 12 metros, siendo la medida más común la primera.



Las barras para refuerzo de hormigón pueden estar corrugadas en dos formas especiales las cuales son en "X" o de "V" y en su defecto fabricarse lisas. Las corrugaciones deberán espaciarse a distancias uniformes y serán similares en tamaño y forma. Dicho espaciamiento se determinara dividiendo la longitud de la barra entre el número de corrugaciones.

#### 1.4. Ensayos de tensión

El ensayo de tensión es uno de los métodos más utilizados para verificar la resistencia mecánica de las varillas de acero que se fabrican en estas plantas. Esta prueba se realiza tomando una muestra de cualquier medida que se este produciendo con el fin de determinar que el límite de fluencia, la resistencia máxima y el porcentaje de elongación de las barras sea el que esta estipulado en las normas ASTM A - 615 que son con las cuales esta empresa se rige.

##### 1.4.1 Elementos utilizados para los ensayos

Para los ensayos de tensión se utilizan las muestras de la varilla, no importando el diámetro, cincel, martillo, una máquina universal para ensayos mecánicos, la cual incluya las mordazas para sostener la barra a ensayar y una computadora con el software especial para este tipo de ensayos.

##### 1.4.2 Características de los elementos

La varilla que servirá de muestra debe tener una longitud de 60 centímetros, no importando su diámetro y la forma en la cual fue corrugada. El software debe estar conectado a la máquina de ensayos

para que así la computadora despliegue los resultados después de terminar la prueba. El cincel y el martillo son herramientas de trabajo comunes sin ninguna particularidad especial.

#### 1.5. Ensayos de doblado

Las barras de acero para refuerzo de hormigón, deben pasar la prueba de doblado a 180°, es decir, no deberán mostrar fractura en el lado exterior del doblado. Esta prueba no es muy utilizada, pero esto no quiere decir que no sea efectiva, si esta falla debe sacarse una nueva muestra y en caso de volver a fallar, el lote se aparta.

#### 1.6. Descripción de la nueva planta 2

Esta planta fue modificada utilizando maquinaria italiana, cabe mencionar que esta es la más moderna a nivel centroamericano, con el fin de hacerla similar su proceso con el de la planta 1.

Cuenta con un horno de arco eléctrico, el cual tiene capacidad para más de 100 palanquillas, el área de desbaste está conformado por siete pasos o cilindros, que son los que reducen el área del lingote, luego le siguen los 14 castillos, los cuales pueden utilizarse todos o no, esto depende de la medida de la varilla, a estos castillos se les puede unir una cizalla para realizar cortes.

Por último se encuentra la cama de enfriamiento, integrado por una serie de ventiladores, prosigue una grúa que traslada el producto ya terminado a una báscula, donde se corrobora el peso de un atado, para ser trasladado a la bodega de producto terminado.

### 1.7. Normas ASTM A - 615 (referente a varillas)

Es muy importante que una planta de refuerzo de hormigón armado controle la calidad de su producto terminado. Existen propuestas nacionales e internacionales para la creación de normas que ayuden a garantizar las características físico – químicas de estos productos.

En la actualidad la Norma ASTM A - 615 es la que regula la fabricación de barras de acero en Guatemala. Esta norma esta basada en especificaciones estandarizadas para varillas de acero planas y deformadas o corrugadas para reforzamiento de concreto.

Esta norma trata puntos importantes como lo es la responsabilidad del productor de incluir toda la calidad que esta norma describe y ofrecerla a través de sus productos, como también lo es del consumidor verificar que lo que compra este dentro de los estándares.

## **2. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS PLANTAS QUE PRODUCEN VARILLA DE ACERO DE 3/8”.**

### **2.1. Descripción del proceso**

El proceso da inicio en la bodega de patio, en donde se recibe la materia prima y se revisa la misma para que cumpla con sus respectivas especificaciones y verificar que no llegue defectuosa. Luego de esperar su turno en el patio, los lingotes entran en el horno para ser calentados a una temperatura de aproximadamente 975 °C a 1000 °C y por un determinado periodo de tiempo.

Después los lingotes calentados son lanzados al desbaste, en donde a través de ocho pasos (planta 1) y siete pasos (planta 2), el área de la sección es reducida alrededor de un 25% a 30% y su longitud se incrementa.

Al salir del desbaste pasa a la primera cizalla en donde se le cortan los extremos para que el lingote no se atore en su trayecto, sigue haciendo su recorrido por los castillos del uno al seis, en los cuales su área se sigue reduciendo, hasta llegar a la segunda cizalla en donde nuevamente le son cortados los extremos para seguir pasando por los castillos del siete al ocho, dirigiéndose a la tercera cizalla y arribar a los castillos del nueve al doce, en este último se le coloca el tipo de corruga, la cual puede variar de la forma en V o en X.

Al final de su recorrido llega a la cama de enfriamiento, donde reposa por un tiempo y como su nombre lo indica la varilla se enfría, ayudado por unos ventiladores, para que después caiga a un canal que lo transporta a una última cizalla, que corta la varilla ya corrugada, en diferentes tamaños, según sea requerida, esta puede variar entre 6, 9 y 12 metros. Ya cortadas las amarran para que la grúa la recoja y la transporte a la báscula, para ser pesada y la dejan en el patio para poder almacenarlas.

## 2.2. Descripción de la maquinaria

Para la laminación de varillas de acero corrugado, se utiliza la maquinaria siguiente:

### 2.2.1 Horno

El horno eléctrico ha resultado ser una unidad ideal en la industria del acero para fundir y refinar, puede trabajar sobre una base de toneladas y al mismo tiempo, satisfacer las necesidades más exactas.

Puede utilizar materia prima relativamente impura, como lo es la chatarra. La fabricación del acero en el horno eléctrico toma cada vez más auge, aunque es el más costoso de los procedimientos, da un producto de gran calidad gracias a la eliminación a fondo del azufre, del fósforo y del oxígeno. A igual que la composición química, el acero eléctrico posee mejores características mecánicas que cualquier otro.

En el horno es donde inicia el proceso de laminación, allí es calentada la palanquilla a temperaturas mayores de los 1000 °C.

La palanquilla debe permanecer en el horno alrededor de 2 horas y media. Se miden tres temperaturas, la de precalentamiento, la de calentamiento y la de igualación, en donde esta ultima es mayor que todas y son controladas por medio de un graficador de temperaturas que esta ubicado en la cabina de operaciones de la planta.

**Figura 4. Horno vista exterior de la planta.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 5. Horno vista interior de la planta**



**Fuente: Elaboración propia**

### 2.2.2 Debastadora

Es un conjunto de rieles, siete para la planta 2 y ocho para la planta 1, que cada uno tiene como función reducir el área de cada palanquilla y todos juntos logran reducir hasta un 30% el área del lingote.

La desbastadora se utiliza para facilitar el paso de la palanquilla a través de los castillos de laminación.

El desbaste es controlado desde la cabina de operaciones por medio de un operador que maneja las palancas de movimiento de los rieles.

**Figura 6. Sección de desbaste**



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.3 Cizallas

Es la máquina que corta los extremos de la varilla por su recorrido en la línea, para que ésta no se atore y luego se descarrile.

**Figura 7. Sección de cizalla**



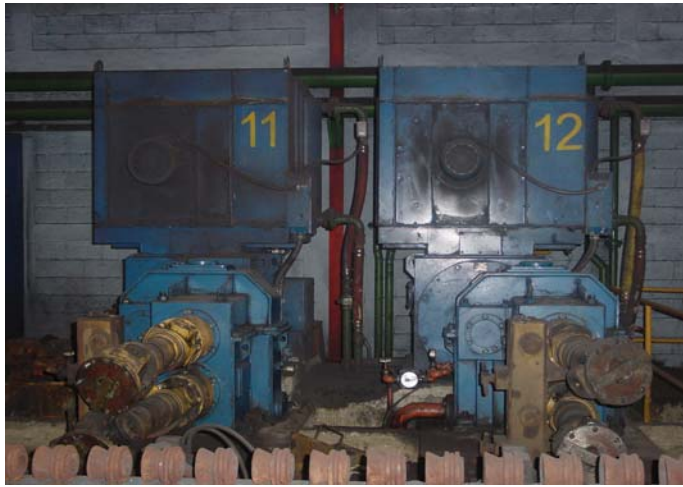
Fuente: Elaboración propia



#### 2.2.4 Castillos

En estos el área de la palanquilla se reduce hasta su máxima capacidad y su velocidad de avance aumenta. Los castillos cuentan con rodillos por los cuales se desliza la varilla.

**Figura 8. Castillos montados en línea de producción**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 9. Castillo desmontado de la línea de producción**



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.5 Corrugadoras

Ésta es el castillo 12 (el último de ellos) y es el encargado como su nombre los dice de corrugar la varilla cuando pasa por el, la corruga puede ser de dos tipos en forma de “X” o “V”. Depende del diámetro de la varilla que se elabore, así será el castillo encargado.

**Figura 10. Varilla con corruga**



**Fuente: Elaboración propia**

### 2.2.6 Cama de enfriamiento

Aquí es donde la varilla ya terminada descansa por un lapso de tiempo, para enfriarse de las altas temperaturas a las que ha sido sometida.

La varilla no tiene un tiempo estándar en la cama de enfriamiento, sino que este depende de la velocidad de la producción (desbaste).

**Figura 11. Sección cama de enfriamiento.**



**Fuente: Elaboración propia**

#### 2.2.7 Grúa

Es la que transporta un conjunto de varilla atada, pasando por la báscula hasta el patio en donde es almacenada para que se enfríe totalmente y luego sea despachada.

#### 2.2.8 Basculas

Es en donde la grúa deposita el conjunto de varilla que transporta para ser pesada.

#### 2.2.9 Máquina de ensayos de tensión

Es una máquina de ensayos universal, controlada a través de una computadora, por medio de un software especial que es el encargado de mandar las ordenes a una máquina de ensayos mecánicos, que realiza la prueba de tensión hasta lograr la fractura

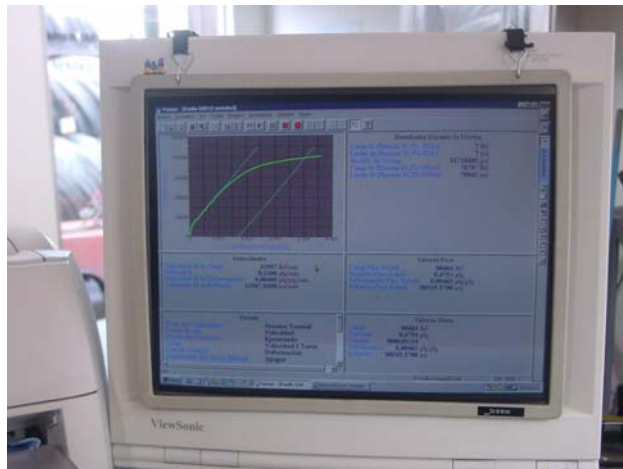
de la varilla, para después poder observar todos los resultados necesarios que se registran y almacenan dentro de la computadora.

**Figura 12. Máquina de ensayos.**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 13. Software de máquina de ensayos.**



Fuente: Elaboración propia

## 2.3. Defectos del producto terminado

### 2.3.1 Varilla marcada

Se presenta como un desgaste intermitente en la corruga de la varilla debido a que el lingote lleva en el proceso cascarilla o viruta en la superficie, la cual se queda pegada en el calibre de los rodillos del castillo no. 12 y provoca marcas en el resto del lingote que está pasando y en los que le siguen hasta que sea removida.

Otras razones pueden ser:

- 1) la corruga de los calibres no tenga el ángulo adecuado para marcar la varilla. Esto tiene su origen en el trabajo en tornos,
- 2) mala calibración en el castillo no. 9 que provoque que un hilo salga con más acero que el otro.

### 2.3.2 Varilla sin vena

Como su nombre lo indica, la varilla presenta uno o dos lados lisos sin vena y se debe principalmente a una falla en los bucles que levantan el lingote, lo cual provoca un estiramiento del mismo y desestabilización del "hueso" del castillo no. 9 por lo que de un hilo sale una varilla lisa y de otro sale una con mucha vena.

Otras razones pueden ser:

- 1) se encuentran mal centrados los calibres del castillo no. 9,
- 2) apertura de los rodillos de la caja de entrada de los castillos,

- 3) variación en la velocidad de los motores por fallas eléctricas,
- 4) restos de viruta en las cajas de entrada de los últimos castillos.

### 2.3.3 Varilla volteada

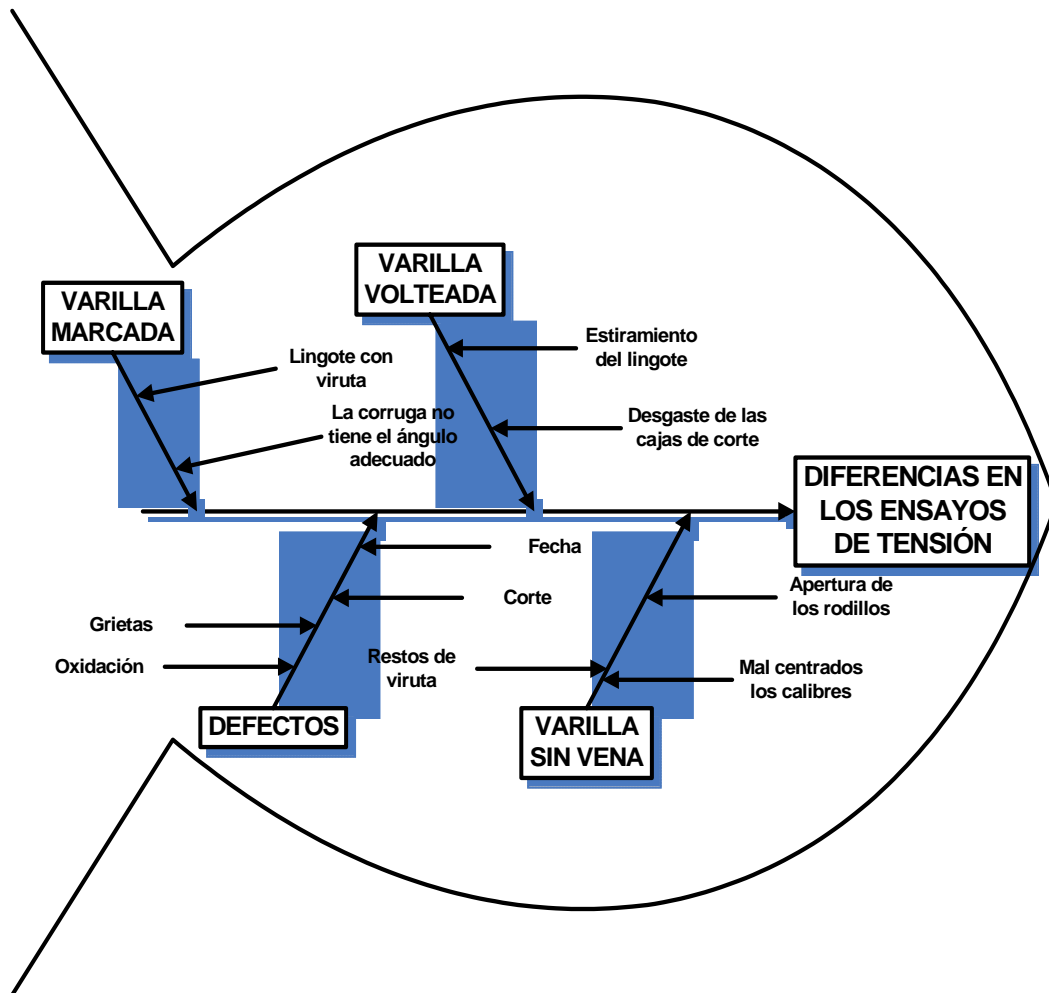
Este defecto se presenta en la varilla cuando una de las dos venas es más grande o pareciera más estirada que la otra y se debe a una apertura o desajuste de los rodillos de las cajas de entrada de los castillos, principalmente en el no. 9 y no. 12.

Otras razones pueden ser:

- 1) un desgaste de las cajas de corte en el castillo no. 9,
- 2) estiramiento del lingote por una variación en la velocidad de los motores por fallas eléctricas.

**Nota:** generalmente, los defectos anteriormente mencionados se presentan en los pasos de laminación del castillo no. 9 al 12.

Figura 14. Diagrama causa y efecto



Fuente: Elaboración propia

## 2.4. Diagramas de flujo

### 2.4.1 Planta 1

Ver el diagrama de flujo de la planta 1 en las páginas número 27 y 28.

#### 2.4.2 Planta 2

Ver el diagrama de flujo de la planta 2 en las páginas número 29 y 30.

### 2.5. Diagrama de recorrido

#### 2.5.1 Planta 1

Ver el diagrama de recorrido de la planta 1 en la página número 31.

#### 2.5.2 Planta 2

Ver el diagrama de recorrido de la planta 2 en la página número 32.

### 2.6. Frecuencia de producción de varilla de acero de 3/8"

La frecuencia con la cual se produce esta varilla de 3/8" depende en su mayoría de la demanda o pedidos de los clientes, otra forma es a través de la observación que realizan los vendedores en las distribuidoras, siempre que este dato sea avalado por los altos mandos, lo cual ayuda a conocer cual es el nivel óptimo de producto terminado que es requerido en las bodegas para saber cuánto deben producir las fabricas.

Es importante mencionar que esta es la medida de la varilla más comercial, debido a que es la que se utiliza por lo general en construcciones de

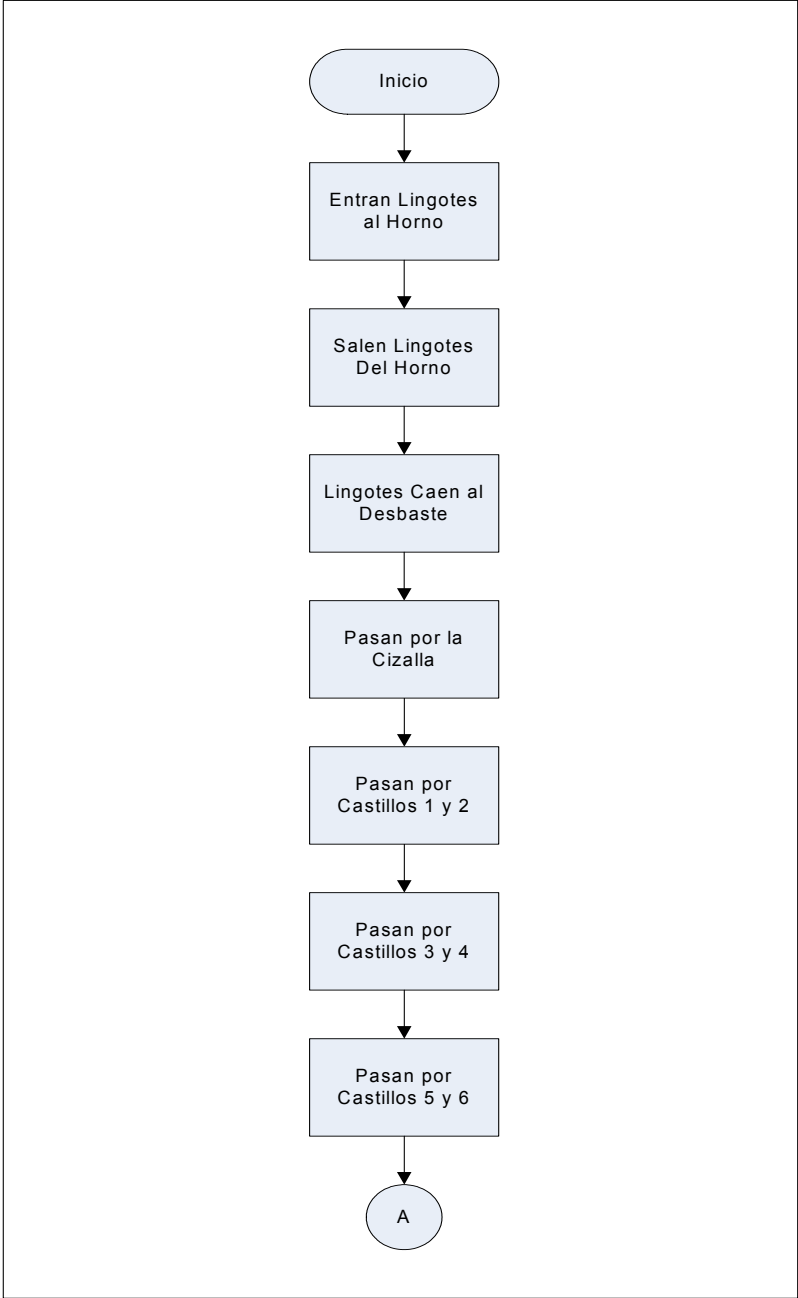


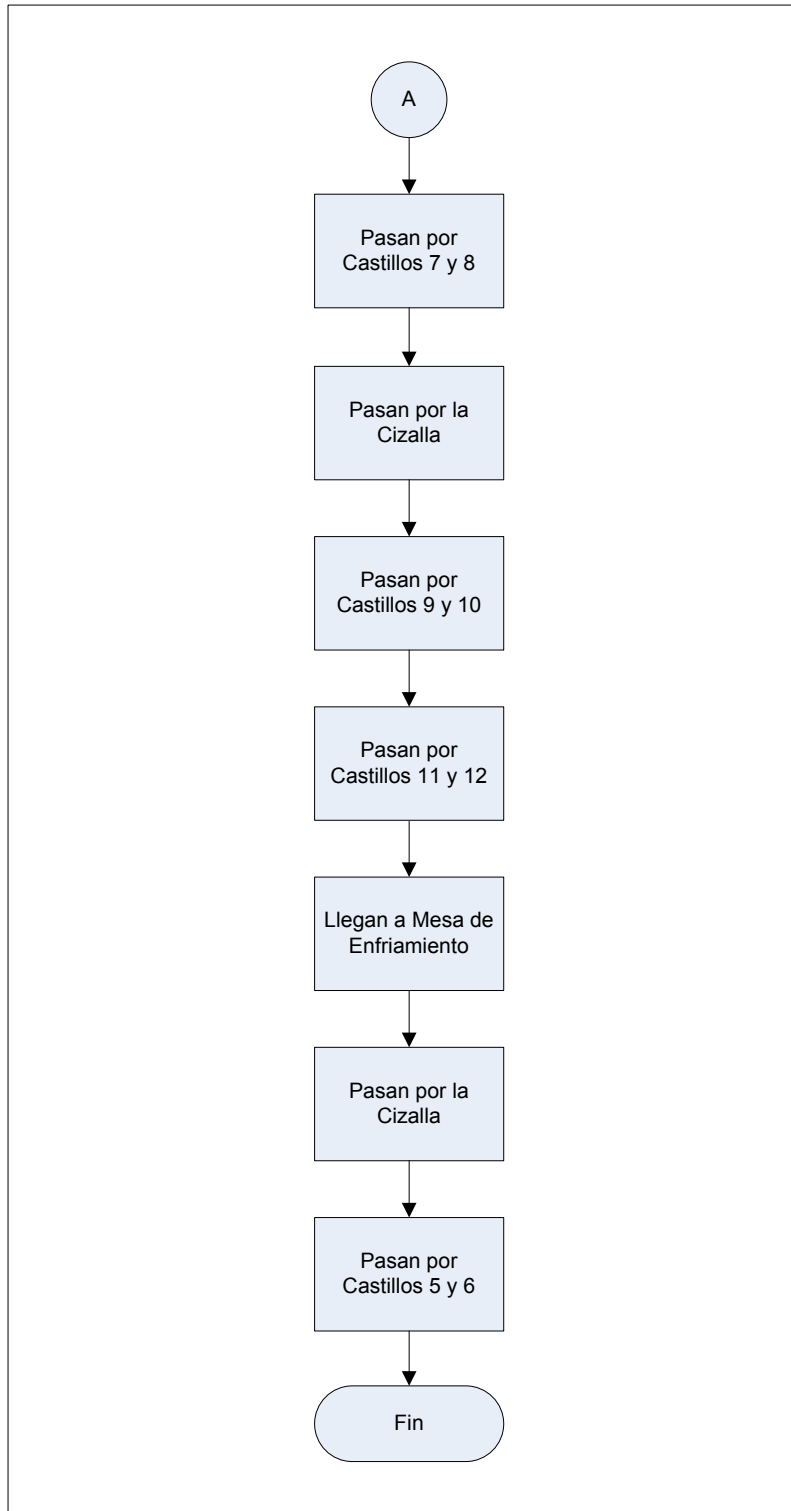
casa, escuelas, etc. Por lo tanto es una de las más pedidas y fabricadas en ambas plantas.

Los clientes no solamente piden la medida de varilla, sino que también como necesitan la longitud de la misma, que como se menciono anteriormente estas pueden ser de 6, 9 y 12 metros.

Figura 15. Diagrama de flujo de la planta 1

### Diagrama de Flujo Planta 1



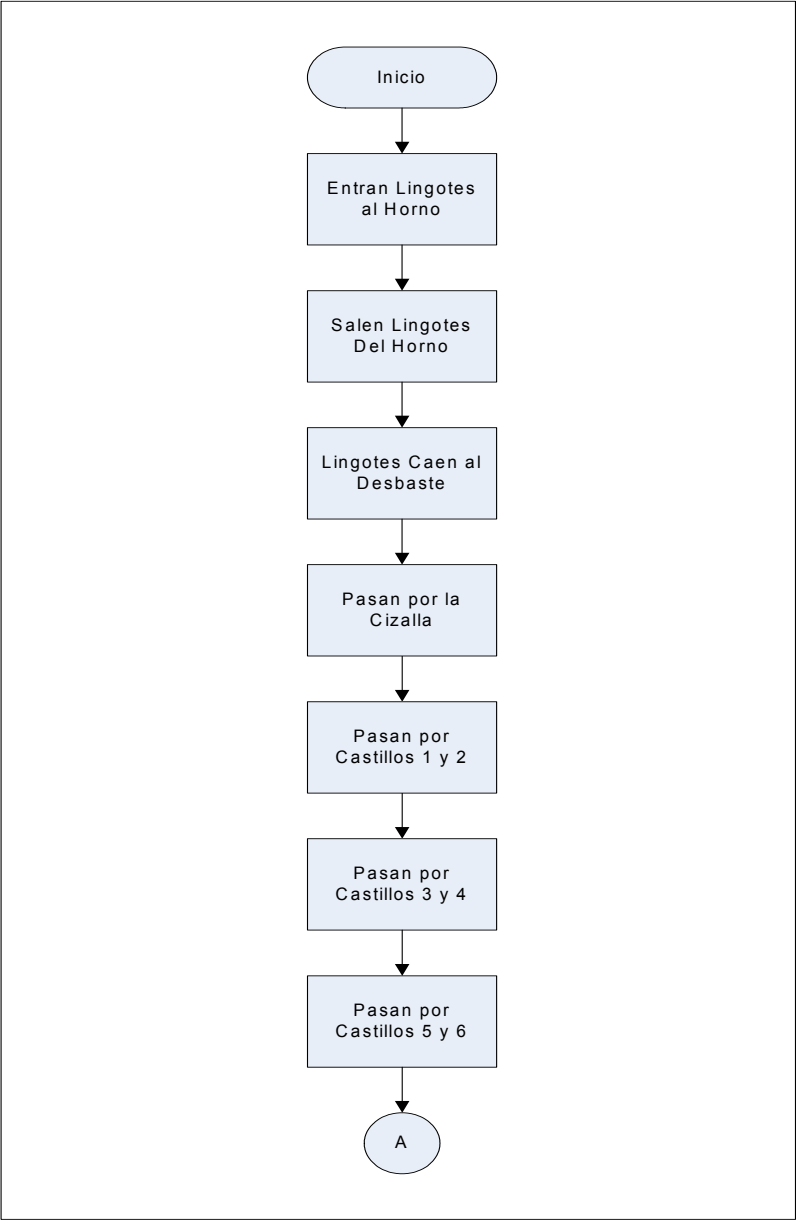


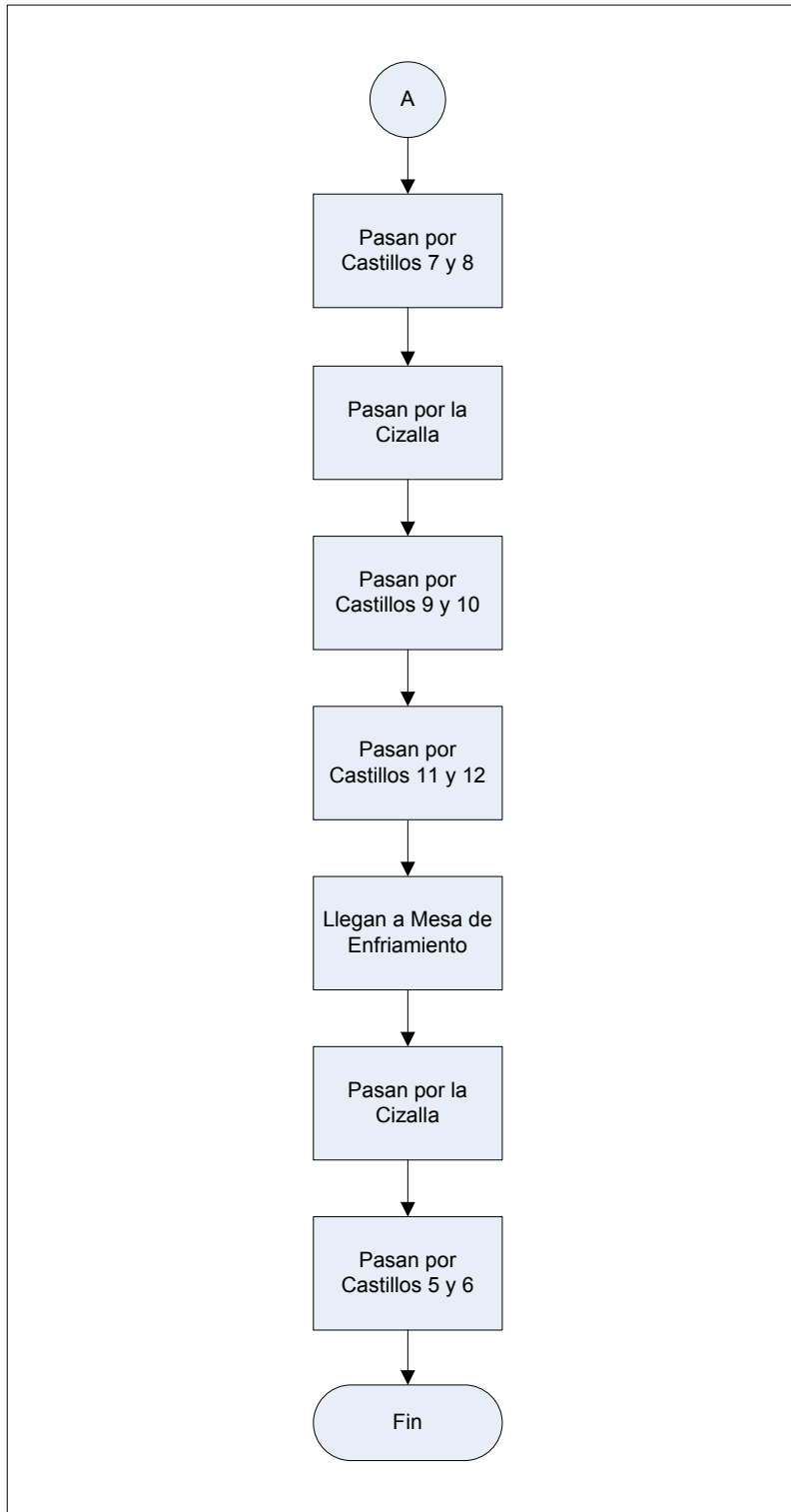
Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Diagrama de flujo de la planta 1

### Diagrama de Flujo

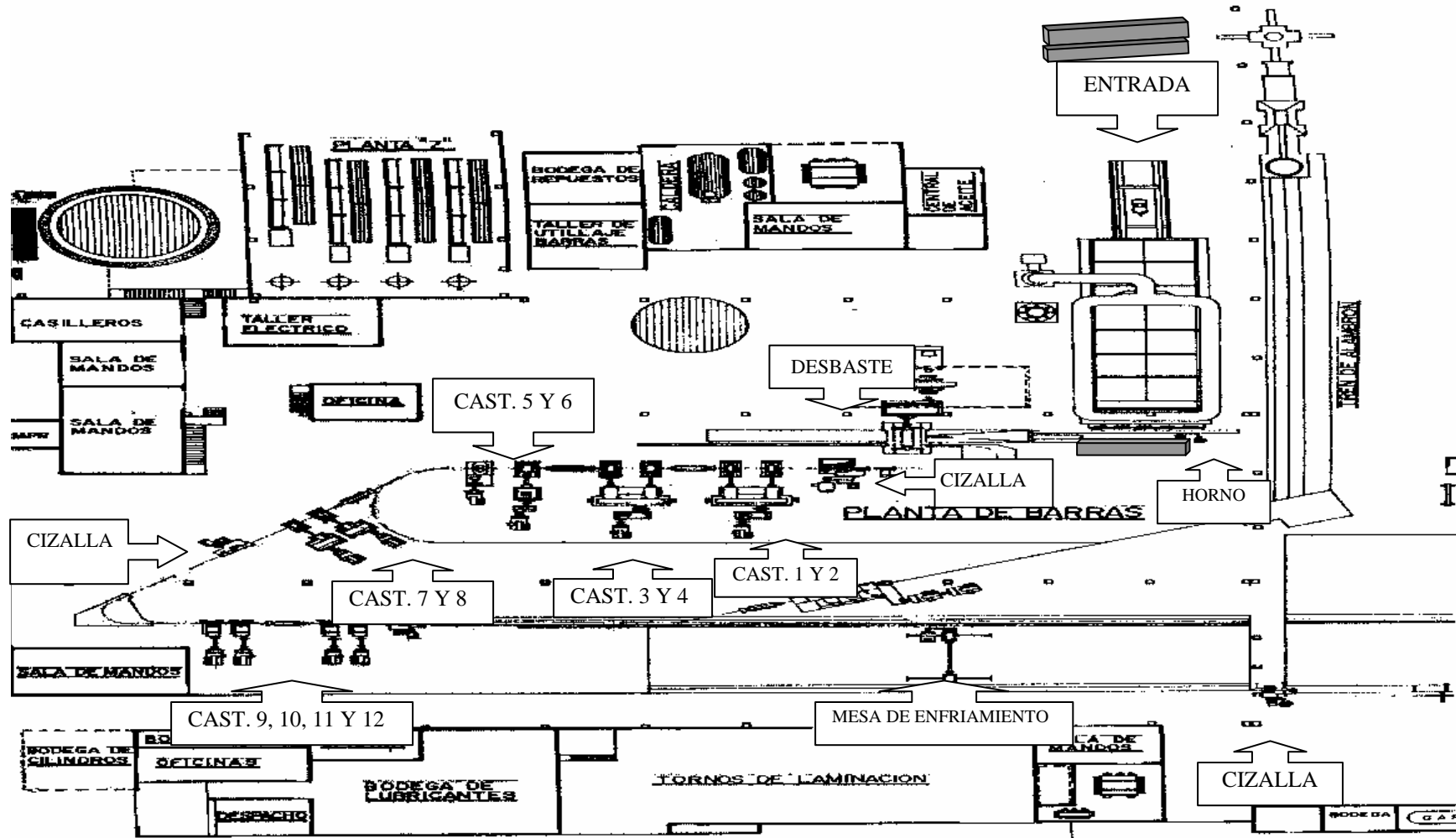
### Planta 2





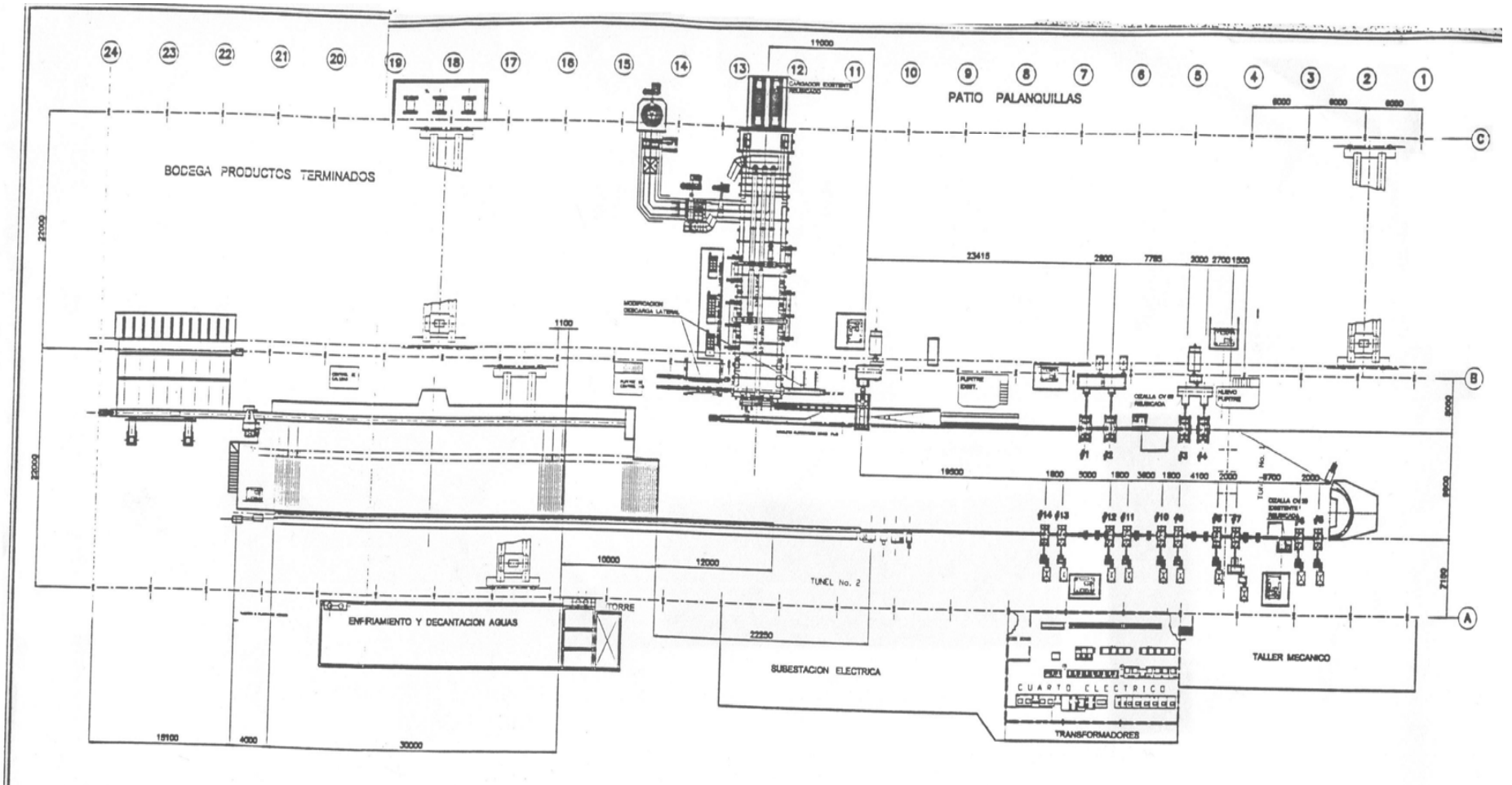
Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Diagrama de recorrido de la planta 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Diagrama de recorrido de la planta 2



Fuente: Elaboración propia

### 3. PROPUESTA DE SOLUCION PARA DIFERENCIAS EN ENSAYOS DE TENSION

#### 3.1. Determinación de la muestra

El objetivo de definir el tamaño de una muestra en un lote, es el de establecer y definir una manera de actuar, y no el de encontrar la calidad del mismo.

Para calcular la muestra en un determinado lote se utilizará la fórmula siguiente:

$$n = \frac{4 * p * q * N}{e^2 (N - 1) + (4 * p * q)}$$

n: tamaño de la muestra de una población finita.

p: porcentaje en que ocurre un fenómeno (0.5).

q: porcentaje en que no ocurre un fenómeno.

N: tamaño de la población

e: error permitido (2% hasta 10%)

4: error estándar elevado al cuadrado porque para un intervalo del 95% corresponden 2 desviaciones estándar.



### 3.2. Descripción del Andeva o Anova

El análisis Andeva o Anova, se refiere a la inferencia, sacar una consecuencia o deducir algo de otra cosa, de dos muestras representan un caso especial que se llama problema de un solo factor. El análisis de varianza es un procedimiento muy común utilizado para trabajar con la prueba de medias poblacionales, en muchas situaciones existe la necesidad de ensayar la significación de diferencias entre tres o más medias muestrales, o lo que equivale a ensayar la hipótesis nula de que las media muestrales son iguales.

El Andeva utiliza un enfoque o aproximación de análisis de varianza para la división de las sumas de cuadrados en una porción debida a regresión y otra debida al error. El término análisis de varianza describe la técnica mediante la cual se analiza la variación total o dividida en componentes representativas.

### 3.3. Tiempo en el horno

El tiempo que la palanquilla permanece en el horno es aproximadamente de dos horas, en este tiempo el lingote hace su recorrido a través del horno, desde su entrada por la bodega de patio hasta su salida en la planta, lapso durante el cual el acero alcanza temperaturas hasta de 1000 °C, esto con el fin de poder ser trabajados con facilidad por el resto del proceso productivo, ya que la temperatura lo hace dúctil y moldeable.

### 3.3.1 Cálculo del tiempo en el horno

**Tabla V. Tiempo en el horno para muestras de 3/8" en grado 40**

	Planta 1	Planta 2
	HORNO	HORNO
	12,14	29,91
	25,61	37,45
	13,21	20,68
	22,18	18,74
	24,67	16,82
	11,7	15,89
	8,82	21,32
	20,08	18,61
	13,41	20,01
	25	24,52
	36,45	22,47
	20,02	19,93
	18,97	22,24
	32,57	21,47
	15,08	12,42
	27,14	5,06
	23,03	7,63
	33,69	17,86
	23,3	23,44
	20,7	30,19
	8,3	26,51
	18,41	6,05
	8,78	21,39
	11,38	22,88
	12,11	20,55
	12,8	28,12
	16,44	26,47
	19,57	8,68
	18	25
	24,94	19,06
$\Sigma$	578,77	611,37
media	19,2923333	20,379
desv. est.	7,25901169	7,25901169
n	30	30

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior contiene los tiempos en los hornos de las dos plantas en estudio tomados en segundos, para una colada en grado 40.

**Tabla VI. Tiempo en el horno para muestras de 3/8” en grado 60**

	Planta 1		Planta 2
	T. Horno		T. Horno
	12,59		0
	10,31		0
	25,39		18,52
	8,2		16,15
	28,66		15,06
	119,96		20
	40,06		15,11
	18,23		60
	64,02		5
	12,8		10,15
	75,14		30,46
	60,06		8,63
	6,82		0
	15,31		12,66
	20,41		21,12
	16,35		7,86
	15,46		10,6
	22,93		13,23
	24,82		23,28
	11,87		19,36
	8,63		20,62
	20,56		11,14
	15,61		12,61
	21,03		30,69
	14,9		16,61
	15,42		14,41
	29,62		7,14
	20,33		15,07
	22,54		8,3
	25,01		6,83
$\Sigma$	803,04	$\Sigma$	450,61
media	26,768	media	15,0203333
desv. est	11,4779151	desv. est	11,4779151
n	30	n	30

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior contiene los tiempos en los hornos de las dos plantas en estudio tomados en segundos, para una colada en grado 60.

**Nota:** Los cálculos de las tablas arriba presentadas se realizaron con todas las coladas en estudio, pero solo será indicada una colada en cada grado, para ejemplificar el análisis realizado con los datos.

### 3.3.2 Análisis del tiempo en el horno

Después de tomar los tiempos en los hornos al desbaste, para las coladas en los dos grados, se puede observar que los resultados de las desviaciones estándar son muy cercanas una de otra, lo que nos da una idea de que no existirán diferencias significativas.

En los tiempos individuales de las tablas 5 y 6 se observan diferencias de aproximadamente 28 y 32 segundos para cada planta respectivamente, estas variaciones en el tiempo son debidas a que en algunos casos el mecanismo del horno bota 2 palanquillas al mismo tiempo entonces la segunda en caer debe esperar para poder ser pasada al desbaste, tiempo durante el cual queda expuesta al ambiente, bajando de temperatura rápidamente.

### 3.4. Tiempo en el desbaste

Después de que la palanquilla sale del horno cae al desbaste, el tiempo que esta pasa en el desbaste es en promedio de 50 segundos a un minuto, periodo durante en el cual al lingote se le reduce el área transversal entre 25%

y 30%, también se aumenta su longitud, es decir se alarga, esto es realizado por medio de un juego de cilindros (que giran en dirección opuesta) de ocho pasos para la planta 1 y en siete pasos para la planta 2, que lentamente reducen su espacio entre ellos, para lograr el incremento del área.

### 3.4.1 Cálculo del tiempo en el desbaste

**Tabla VII. Tiempo en el desbaste para muestras de 3/8" en grado 40**

	Planta 1		Planta 2
	Tiempo en Desbaste		Tiempo en Desbaste
	39,56		49,52
	47,93		59,87
	58,26		55,87
	57,1		54,92
	56,82		52,25
	50,09		48,89
	40,78		57,41
	57,57		57,31
	47,8		56,08
	48,07		57,58
	55,05		49,8
	49,66		57,27
	44,78		57,2
	49,03		57,9
	53,49		58,1
	50,96		57,83
	49,96		59,53
	56,09		59,29
	44,51		52,96
	48,78		51,3
	50,47		48,16
	46,16		49,15
	51,23		54,57
	48,98		45,1
	47,72		60,95
	50,79		45,4
	49,21		53,87
	50,67		54,29
	51		51,68
	50,12		56,81
$\Sigma$	1502,64	$\Sigma$	1630,86
Media	50,088	media	54,362
Desv. est	4,51105722	desv. est	4,35036376
n	30	n	30

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior contiene los tiempos en el desbaste de las dos plantas en estudio, tomados en segundos, para una colada en grado 40.

**Tabla VIII. Tiempo en el desbaste para muestras de 3/8” en grado 60**

	Planta 1		Planta 2
	Tiempo en Desbaste		Tiempo en Desbaste
	0		48,29
	0		49,11
	45,97		54,54
	46,63		56,94
	45,1		50,23
	39,96		57,06
	44,29		57,73
	39,8		57,38
	47,66		65,84
	36,39		49,18
	34,3		58,4
	49,7		65,44
	0		51,57
	50,82		57,94
	38,54		56,98
	38,54		60,37
	41,36		57,42
	44,44		58,4
	43,06		57,57
	53,13		54
	50,31		55,38
	44,04		58,61
	45,1		62
	43,19		69
	44,31		66
	40,28		58,52
	42,65		60
	46,31		57,03
	44		59,69
	42		61
$\Sigma$	1181,88	$\Sigma$	1731,62
media	39,396	media	57,7206667
desv. est	13,9955078	desv. est	5,01909109
n	30	n	30

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior contiene los tiempos en el desbaste de las dos plantas en estudio, tomados en segundos, para una colada en grado 60.

**Nota:** Los cálculos de las tablas arriba presentadas se realizaron con todas las coladas en estudio, pero solo será indicada una colada en cada grado, para ejemplificar el análisis.

### 3.4.2 Análisis del tiempo en el desbaste

Al finalizar de tomar los tiempos en segundos en los desbastes para las coladas de grados 40 y 60, en las plantas en estudio se puede observar que los resultados de las desviaciones estándar aunque no son muy parecidas la una de la otra, tampoco son muy distantes, por lo que se puede anticipar que no existirán diferencias significativas en los resultados finales de los ensayos de tensión, aun cuando los pasos en los desbastes no son los mismos, como se menciono anteriormente, para la planta 1 son ocho pasos y para la planta 2 son siete pasos.

En los tiempos individuales de las tablas 7 y 8 se observan diferencias de aproximadamente 19 y 15 segundos para cada planta respectivamente de la colada en grado 40.

Las variaciones en el tiempo son debidas a que en algunos casos el lingote debe ser retenido en el desbaste debido a problemas mecánicos en el mismo, también cuando la palanquilla está un poco doblada provocando que la misma se atore en cualquiera de los pasos, según sea el caso de cada planta, lo que da como resultado más tiempo en el proceso, pudiendo provocar diferencia en los ensayos debido a la rápida descompensación en la temperatura. Los tiempos más pequeños



son debidos a un correcto paso de los lingotes en esta parte de la línea productiva.

### 3.5. Tiempo total de laminación

El tiempo total de laminación se toma desde que el lingote es arrojado del horno al desbaste hasta que cae en la cama de enfriamiento, es decir, que es todo el recorrido que la palanquilla debe seguir para lograr ser transformada en producto terminado y para este caso se le llama varilla.

Los tiempos para procesar un lingote es aproximadamente de un minuto, este tiempo puede variar dependiendo de la rapidez de la producción, sin contratiempos, o bien de todos los retrasos que puedan presentarse en la misma, como que la palanquilla se descarrile en cualquier parte del proceso, por lo regular esto puede suceder al momento de entrar a un castillo o al salir de la cizalla.

### 3.5.1 Cálculo del tiempo total de laminación

**Tabla IX. Tiempo total de laminación para muestras de 3/8” en grado 40**

	Planta 1		Planta 2
	T. Laminación		T. Laminación
	116		107,65
	124		112,54
	111,87		114
	117,07		106,91
	114,24		106,15
	122,34		103,51
	124,37		113,87
	112,48		114,36
	109,16		112,16
	114,32		112,07
	133,26		115,7
	111,54		113,55
	114,26		115,78
	111,01		119,75
	116,46		106,06
	96,67		114,81
	106,38		110,9
	123,57		120,46
	109,55		116,47
	121,29		100,14
	118,87		113,88
	99,41		115,63
	114,11		111,46
	113,41		106,49
	106,12		102,06
	119,99		101,94
	117,91		106,51
	109,3		108,83
	117,88		109,74
	110,89		114,53
$\Sigma$	3437,73	$\Sigma$	3327,91
Media	114,591	media	110,9303333
desv. est	7,479810688	desv. est	5,240127324
N	30	n	30

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior contiene los tiempos totales de laminación de las dos plantas, en segundos, para una colada en grado 40.

**Tabla X. Tiempo total de laminación para muestras de 3/8” en grado 60**

	Planta 1		Planta 2
	T. Laminación		T. Laminación
	0		90,4
	0		80,23
	98		103,47
	101		93,54
	91		108,15
	87		206,12
	91		123,76
	141,23		104,31
	103,16		157,82
	94,15		89,91
	113,46		160,93
	101,63		90,53
	0		88,28
	109		101,31
	105,12		105,64
	79,86		86,43
	100		88,81
	100,6		87,36
	101,23		110,71
	111		95
	112,36		92,63
	109,62		107,56
	109,14		106,61
	100,61		119,03
	120,69		110
	102,61		102,42
	102		118,62
	99		105,33
	104,07		112,54
	103,3		124,01
$\Sigma$	2791,84	$\Sigma$	3271,46
media	93,06133333	media	109,0486667
desv. est	33,34866608	desv. est	26,09680582
n	30	n	30

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior contiene los tiempos totales de laminación de las dos plantas en estudio, tomados en segundos, para una colada en grado 60.

### 3.5.2 Análisis del tiempo total de laminación

Al concluir la toma de los tiempos en todo el proceso productivo, en segundos, para las coladas de grados 40 y 60, en las dos plantas en estudio se puede observar que los resultados de las desviaciones estándar son bastante cercanas una de otra, para la colada en grado 40, y aunque para la de grado 60 pudiera parecer que existe discrepancia, se puede predecir que no existirán diferencias significativas al final de realizar los ensayos de tensión.

Los tiempos de los lingotes tomados individualmente reflejan a simple vista que la producción de los mismos son de más de un minuto y medio; pero hay que recordar que es un proceso en línea, esto quiere decir, que va una palanquilla detrás de la otra y por eso es que la laminación de un lingote es de aproximadamente un minuto.

### 3.6. Temperaturas en el horno

Las temperaturas que existen para el proceso de los lingotes en el horno, son la de igualación y la de calentamiento, ambas en °C., cabe mencionar que ambas temperaturas no debe tener ni un aumento, ni una disminución brusca, por que esto traerá como resultado que el horno se dispare, es decir, que se apague, provocando así que el calor que está contenido en el horno baje precipitadamente, pudiendo alterar el comportamiento de la palanquilla y ya no reporte datos verídicos.

A continuación se presenta los paneles de control, con los cuales se monitorea el horno, desde una cabina de operaciones, a cargo de dos operarios.

**Figura 19. Panel de control de las temperaturas del horno**



**Fuente: Elaboración propia**

### 3.6.1 Temperatura de igualación en °C

La temperatura de igualación es una medida que es controlada en los hornos de calentamiento de la palanquilla, con el fin de lograr que cuando un lingote caiga al desbaste, este tenga la misma temperatura en toda su longitud. Como los datos son constantes durante todo el tiempo de prueba solo se puede mencionar que para la planta 1 la temperatura de igualación fue de 1280 °C y para la planta 2 fue de 1160 °C., todo esto para 30 muestras en cada planta.

### 3.6.2 Temperatura de calentamiento en °C

La temperatura de calentamiento es medida y controlada en los hornos de ambas plantas, a través de los controladores que se muestran en la figura 13, con el fin de lograr un nivel uniforme de calor en las

palanquillas, para hacer la transformación a varilla más fácil. Como los datos son constantes durante todo el tiempo de prueba solo se puede mencionar que para la planta 1 la temperatura de calentamiento fue de 1250 °C y para la planta 2 fue de 1170 °C., todo esto para 30 muestras en cada planta.

### 3.7. Tiempo y forma de muestreo

El tiempo de muestreo aproximadamente es de una hora a hora y media por cada colada de prueba, esto sin contar cuando hay retrasos en la producción por cualquier motivo.

La forma de muestreo fue determinada por la formula que aparece al principio del capitulo, la cual dio como resultado un total de 30 lingotes por colada en cada planta; pero tomando en cuenta que las coladas para estudio fueron divididas en las dos plantas, entonces tenemos como total 60 palanquillas, estas son la mitad del lote, dado que este consta en la mayoría de las veces de 120 lingotes.

### 3.8. Procedimientos y ensayos

Los ensayos en este tipo de producto, varilla corrugada, son muy importantes, debido al papel que desempeña tanto en el comercio, como en la vida cotidiana. Las personas involucradas con la producción y calidad del mismo deben estar pendientes del comportamiento de la varilla antes de que ésta salga de las bodegas con el fin de evitar un reclamo o posibles accidentes.

### 3.8.1 Ensayos de tensión

Los ensayos de tensión son realizados en una máquina universal, controlada a través de un programa de computadora, que es la que registra los resultados de los mismos. Para realizar este ensayo se necesita de una probeta que no es más que un trozo de varilla de 60 cm., a la cual se le hacen unas marcas con un cincel para determinar en donde deben ir colocadas las mordazas, el tiempo que toma la ejecución de la prueba depende del calibre de la muestra.

Estos ensayos se utilizan para determinar las propiedades mecánicas de las varillas entre las cuales, las más importantes para estas dos plantas son:

- 1) el límite de fluencia,
- 2) la resistencia máxima a la tensión y
- 3) el porcentaje de elongación para cada varilla de que ensayé.

#### 3.8.1.1 Cálculos y resultados del estudio

Los siguientes cálculos son un ejemplo tomando como base una colada en estudio, cabe mencionar que lo mismo fue realizado para el resto de lotes que fueron estudiados.

**Tabla XI. Cálculos y resultados planta 2**

<b>PLANTA 2</b>				
	<b>PESO</b>	<b>FLUENCIA</b>	<b>ESFUERZO</b>	<b>ELONGACION</b>
	<b>lb./pie</b>	<b>Psi</b>	<b>psi</b>	<b>%</b>
Σ media desv. est. n	0,3600	54.510,00	77.527,18	23,01
	0,3700	54.311,00	77.010,87	19,47
	0,3700	54.411,23	77.554,35	19,56
	1,1000	163232	232092,4	62,0376
	0,3667	54410,7433	77364,1333	20,6792
	0,005774	99,50089262	306,2364923	2,015872201
	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia

**Tabla XII. Cálculos y resultados planta 1**

<b>PLANTA 1</b>				
	<b>PESO</b>	<b>FLUENCIA</b>	<b>ESFUERZO</b>	<b>ELONGACION</b>
	<b>lb./pie</b>	<b>Psi</b>	<b>psi</b>	<b>%</b>
Σ media desv. est. n	0,3670	50833	78777	21,45
	0,3650	50833	78578	20,06
	0,3640	53388	77917	18,21
	1,0960	155054	235272	59,72
	0,3653	51684,6667	78424,0000	19,9067
	0,001528	1475,129938	450,2077298	1,625433276
	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia



## HIPOTESIS:

$$H_0 = \sigma_{Planta2}^2 = \sigma_{Planta1}^2 \quad \text{No hay diferencias significativas}$$

$$H_a = \sigma_{Planta1}^2 \neq \sigma_{Planta2}^2 \quad \text{Si hay diferencias significativas}$$

N.C. = 99%

## REGLA DE DECISION

Si  $F_c > F_t \rightarrow$  Se rechaza  $H_0$

Si  $F_c \leq F_t \rightarrow$  Se acepta  $H_0$

### a. PARA EL PESO:

$$F_c = \frac{\sigma^2_{Mayor}}{\sigma^2_{Menor}}$$

$$F_c = \frac{0.0057735}{0.00152753} = 3.779631$$

$F_t$  = Con un nivel de confianza del 99%, según la tabla de Fisher y con un grado de libertad de 2 (n – 1)

$F_t = 98.99$

### b. PARA EL LIMITE DE FLUENCIA:

$$F_c = \frac{\sigma^2_{Mayor}}{\sigma^2_{Menor}}$$

$$F_c = \frac{1475.12}{99.50} = 14.825$$

$F_t$  = Con un nivel de confianza del 99%, según la tabla de Fisher y con un grado de libertad de 2 (n – 1)

$F_t = 98.99$

c. PARA EL ESFUERZO:

$$F_c = \frac{\sigma^2_{Mayor}}{\sigma^2_{Menor}}$$

$$F_c = \frac{450.20}{306.23} = 1.47$$

Ft = Con un nivel de confianza del 99%, según la tabla de Fisher y con un grado de libertad de 2 (n – 1)

$$F_t = 98.99$$

d. PARA LA ELONGACION:

$$F_c = \frac{\sigma^2_{Mayor}}{\sigma^2_{Menor}}$$

$$F_c = \frac{2.0158}{1.6254} = 1.2401$$

Ft = Con un nivel de confianza del 99%, según la tabla de Fisher y con un grado de libertad de 2 (n – 1)

$$F_t = 98.99$$

ANÁLISIS DE VARIANZA  
PARA LA CLASIFICACIÓN EN UNA DIRECCIÓN  
ANDEVA

**Tabla XIII. Análisis de varianza planta 2**

<b>PLANTA 2</b>				
	<b>PESO</b>	<b>FLUENCIA</b>	<b>ESFUERZO</b>	<b>ELONGACION</b>
	<b>lb./pie</b>	<b>Psi</b>	<b>psi</b>	<b>%</b>
Σ media desv. est. n	0,3600	54.510,00	77.527,18	23,01
	0,3700	54.311,00	77.010,87	19,47
	0,3700	54.411,23	77.554,35	19,56
	1,1000	163232	232092,4	62,0376
	0,3667	54410,7433	77364,1333	20,6792
	0,005774	99,50089262	306,2364923	2,015872201
	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia

**Tabla XIV. Análisis de varianza planta 1**

<b>PLANTA 1</b>				
	<b>PESO</b>	<b>FLUENCIA</b>	<b>ESFUERZO</b>	<b>ELONGACION</b>
	<b>lb./pie</b>	<b>psi</b>	<b>psi</b>	<b>%</b>
Σ media desv. est. n	0,3670	50833	78777	21,45
	0,3650	50833	78578	20,06
	0,3640	53388	77917	18,21
	1,0960	155054	235272	59,72
	0,3653	51684,6667	78424,0000	19,9067
	0,001528	1475,129938	450,2077298	1,625433276
	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia

## SOLUCIÓN

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$H_a$ : Al menos dos de las medias no son iguales

N.C.= 99%

## REGLA DE DECISIÓN

Si  $F_{\text{calculada}} > F_{\text{tabla}} \rightarrow$  se rechaza  $H_0$

Si  $F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{tabla}} \rightarrow$  se acepta  $H_0$

a. PARA EL PESO:

**Tabla XV. Andeva para el peso**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	$f$ Tabla	$f$ Calculada
Tiempos	0.00000294	1	0.00000294	21.19 ( ** )	0.1651
Error	0.00007120	4	0.00001780		
Total	0.00007414	5			

Fuente: Elaboración propia

b. PARA EL LIMITE DE FLUENCIA:

**Tabla XVI. Andeva para el límite de fluencia**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	$f$ Tabla	$f$ Calculada
Tiempos	11147268.24	1	11147268.24	21.19 ( ** )	10.19
Error	4371758.52	4	1092939.63		
Total	15519026.76	5			

Fuente: Elaboración propia

c. PARA EL ESFUERZO:

**Tabla XVII. Andeva para el esfuerzo**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Tabla	f Calculada
Tiempos	1684986.62	1	1684986.62	21.19 ( ** )	11.36
Error	592913.70	4	148228.42		
Total	2277900.32	5			

Fuente: Elaboración propia

d. PARA LA ELONGACION:

**Tabla XVIII. Andeva para la elongación**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	f Tabla	f Calculada
Tiempos	0.88935	1	0.88935	21.19 ( ** )	0.2668
Error	13.329	4	3.33225		
Total	2277900.32	5			

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2 Ensayos de doblado

Estos ensayos son realizados con la finalidad de comprobar que tan resistente es la varilla a ser doblado, esta prueba no es tan frecuente como el ensayo de tensión pero no por eso menos importante. Para ejecutar esta inspección se utiliza una probeta de 60 cm.

### 3.9. Análisis de los resultado de los ensayos

Luego de terminar con los cálculos realizados, a través de un análisis de Fisher en donde se analizan las varianzas, se puede concluir que no existen diferencias significativas entre las dos plantas sometidas a estudio, tanto en temperaturas, resultados de ensayos de tensión, como en los tiempos del proceso de transformación de la varilla.

- a. Con un nivel de confianza del 99%,  $3.77 < 98.99 \rightarrow$  se acepta  $H_0$ , por lo tanto no existen diferencias significativas entre las varianzas de los pesos de ambas plantas
- b. Con un nivel de confianza del 99%,  $14.82 < 98.99 \rightarrow$  se acepta  $H_0$ , por lo tanto no existen diferencias significativas entre las varianzas de los límites de fluencia de ambas plantas.
- c. Con un nivel de confianza del 99%,  $1.47 < 98.99 \rightarrow$  se acepta  $H_0$ , por lo tanto no existen diferencias significativas entre las varianzas de los esfuerzos de ambas plantas.
- d. Con un nivel de confianza del 99%,  $1.24 < 98.99 \rightarrow$  se acepta  $H_0$ , por lo tanto no existen diferencias significativas entre las varianzas de la elongación de ambas plantas.

Después de ver y estudiar los resultados de los cálculos anteriormente realizados, a través de un análisis de varianza, se puede concluir que no existen diferencias significativas entre las dos plantas sometidas a estudio, tanto en temperaturas, peso, resultados de ensayos de tensión, como en los tiempos del proceso de transformación de la varilla.

- a. Con un nivel de confianza del 99%,  $0.1651 \leq 21.19 \rightarrow$  se acepta  $H_0$ , por lo cual no existen diferencias significativas entre las medias de los pesos de las varillas en ambas plantas.
- b. Con un nivel de confianza del 99%,  $10.19 \leq 21.19 \rightarrow$  se acepta  $H_0$ , por lo cual no existen diferencias significativas entre las medias del límite de fluencia de las varillas en ambas plantas.

- c. Con un nivel de confianza del 99%,  $11.36 \leq 21.19 \rightarrow$  se acepta  $H_0$ , por lo cual no existen diferencias significativas entre las medias de los esfuerzos de las varillas en ambas plantas.
  
- d. Con un nivel de confianza del 99%,  $0.2668 \leq 21.19 \rightarrow$  se acepta  $H_0$ , por lo cual no existen diferencias significativas entre las medias de la elongación de las varillas en ambas plantas.

## 4. SEGUIMIENTO Y MONITOREO DE LOS ENSAYOS DE TENSIÓN

Seguimiento quiere decir, ir después o detrás de alguien o de algo. Dirigirse y proseguir en lo empezado. Monitoreo quiere decir, supervisar constantemente todo lo que se haga referente a cualquier actividad o un proceso productivo. Por lo tanto en este proyecto de investigación se determinó que es prudente dar un seguimiento meticuloso a los ensayos de tensión y de doblado y un monitoreo constante a las temperaturas que regulan el horno de calentamiento de la materia prima, dado que estos son los factores bases o sobre los cuales se fundamentaron los parámetros de este trabajo de graduación.

### 4.1 Ensayos de tensión

Para llevar siempre un buen control de la calidad de las varillas producidas en cada una de las plantas que son objeto de estudio, es de utilidad registrar todos los datos realizados a los ensayos de tensión, como por ejemplo:

- 1) el límite de fluencia,
- 2) la resistencia a la tensión y
- 3) la elongación de la muestra,

Para que a través de ellos se puedan implantar parámetros o tendencias de lo que se considera normal, o bien para tener una consulta rápida de aquellos



puntos que se crea que están fuera de los límites, especificaciones de las normas y/o tolerancias ya establecidas.

Los ensayos de tensión se deberán seguir haciendo como los hacen hasta ahora, para los cuales se toma una muestra cada 20 minutos o lo que es igual a cada 20 lingotes; pero registrando los resultados en formatos en donde se apunten los datos y características más importantes de los mismos y deben ser archivados por coladas y fechas para facilitar las consultas de estos.

#### 4.2 Ensayos de doblado

Se realizarán los ensayos de doblado en la misma forma en como se han venido haciendo en ambas plantas, con la única variante, que los resultados de los mismos se anotaran en unos formatos diseñados para llevar un mejor control y facilitar la consulta de los datos, apuntándolos por fecha y por hora.

#### 4.3 Elaboración de formatos

Se elaborarán formularios para los ensayos de tensión, ensayos de doblado y control de las temperaturas en el horno, para facilitar el registro y la consulta de estos datos en cualquier momento que el usuario lo desee.

##### 4.3.1 Formato de tensión

Ver el formato de ensayos de tensión en la página número 60.

##### 4.3.2 Formato de doblado

Ver el formato de ensayos de doblado en la página número 61.

### 4.3.3 Formato de temperatura

Ver el formato de control de temperatura en la página número 62.

Figura 20. Formato de Tensión

## CONTROL DE ENSAYOS DE TENSIÓN

<b>CONTROL DE CALIDAD</b>	<b>FECHA:</b>	<b>RESPONSABLE CC:</b>
<b>OPERADOR DE MÁQUINA:</b>		<b>JEFE DE TURNO:</b>

FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	NÚMERO DE COLADA	TURNO		NÚMERO DE ENSAYO	LÍMITE DE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TENSIÓN	% DE ELONGACIÓN
			1	2				

<b>OBSERVACIONES:</b>

Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Formato de doblado

## CONTROL DE ENSAYOS DE DOBLADO

<b>CONTROL DE CALIDAD</b>	<b>FECHA:</b>	<b>RESPONSABLE CC:</b>
<b>OPERADOR DE MÁQUINA:</b>		<b>JEFE DE TURNO:</b>

FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	NÚMERO DE COLADA	TURNO		NÚMERO DE ENSAYO	RESULTADO DE LA PRUEBA	
			1	2		BUENA	MALA

<b>OBSERVACIONES:</b>

Fuente: Elaboración propia



## CONCLUSIONES

1. Se estableció por medio de un análisis estadístico llamado Andeva la frecuencia de una muestra que no cumpliera con las especificaciones estipuladas; pero luego de realizar los cálculos y con los resultados analizados se puede determinar que no existen diferencias significativas entre las dos plantas en estudio, para los ensayos de tensión en las varillas de 3/8".
2. Se consideró a través de un estudio mecánico de tensión las fuentes que en un principio se consideraron como posibles causas de variación, en pruebas realizadas a las varillas y se comprueba que no existe ninguna diferencia significativa en ambas plantas, tanto en tiempos, pesos y ensayos de tensión.
3. No se puede determinar que la causa de diferencias significativas sean producidas por la frecuencia en el mantenimiento del horno de calentamiento de la materia prima, debido a que el horno de la planta 2 es nuevo, por lo cual no hay un parámetro de comparación.
4. Se inspeccionó la continuidad en la protección de la máquina de ensayos de tensión, como probable origen de discrepancias; pero al igual que los hornos ésta recibe un buen mantenimiento y las personas que la utilizan están capacitadas para su buen manejo u funcionamiento.

5. Se observó la variación de la temperatura de calentamiento, precalentamiento e igualación en los hornos empleados, para calentar la materia prima y aunque no es la misma temperatura en las dos plantas, se mantiene constante en cada una de ellas, por lo cual no es posible que este sea un problema de diferencias significativas en ambas plantas.
6. De haber encontrado diferencias significativas entre las dos plantas se hubiera dado medidas con las cuales se podrían contrarrestar las mismas, pero éstas no existe, por lo cual sólo que puede decir que es necesario realizar otro tipo de estudio.
7. En este presente trabajo de graduación se detallan medidas de seguimiento y monitoreo que se pueden implementar para llevar un mejor control no solo en los ensayos de tensión, sino también de doblado y el control de las temperaturas en los hornos de calentamiento de la palanquilla.

## RECOMENDACIONES

1. Es de suma importancia continuar el monitoreo de las temperaturas en los hornos de las dos plantas, para verificar que este no será motivo en el futuro de diferencias significativas en el producto terminado de varilla de 3/8" en ambas plantas.
2. Es recomendable realizar otro tipo de estudio enfocado en áreas que todavía no han sido analizadas en el pasado, para comprobar que ellas no son la fuente principal de las presentes diferencias que existen entre las plantas.
3. Se debe seguir de cerca la composición química de la materia prima con la que se elaborará varilla de 3/8", para verificar que esta sea la correcta, que cumpla con las tolerancias y especificaciones, de no ser así no debe procesarse para evitar producto fuera de la norma.
4. Los ensayos de tensión y de doblado deben realizarse antes de que la colada producida salga de la bodega de patio, si fuese el caso de que la muestra presente anomalías, ésta no debe salir de la bodega en esas condiciones.





## BIBLIOGRAFIA

1. **Diccionario Enciclopédico Ilustrado**. Colombia: Editorial Océano. 1988. 1091 pp.
2. Calderón Guzmán, Oscar E. Laminación en caliente de aceros comerciales. Tesis ing. mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
3. De León Laparra, Miguel Ángel. La fabricación de acero en hornos eléctricos en arco en planta Sidegua. Tesis ing. mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1999. 98 pp.
4. León Ardón, Mario Roberto. Uso de las barras corrugadas de acero de refuerzo en la construcción. Tesis ing. civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1990.55 pp.
5. Walpole, Ronald y Raymond Myers. **Probabilidad y estadística para ingenieros**. México: Editorial Prentice – Hall. 1999. 751 pp.



## **ANEXOS**



## **ANEXO 1.**

**ASTM Designación: A 615/ a 615M - 03a**

### **ESPECIFICACIONES ESTANDARIZADAS PARA BARRAS DE ACERO PLANAS Y DEFORMADAS PARA REFORZAMIENTO DE CONCRETO**

#### **1. Alcance**

Esta especificación cubre barras de acero deformadas y planas para reforzamiento de concreto en cortes y rollos. Los tamaños y dimensiones estandarizadas de las barras deformadas y su número designado se encuentran listados en la tabla 1.

Las barras tienen tres niveles mínimos de rendimiento: 40,000 (280 Mpa), 60,000 (420 Mpa), y 75,000 psi (520 Mpa), designadas como grado 40 (280), grado 60 (420) y grado 75 (520), respectivamente.

Barras redondas lisas rolados en caliente en tamaños de hasta e incluyendo 2 pulg. (50.8 mm) de diámetro en rollos o en cortes, cuando son especificados para clavija, espirales y amarres estructurales o soportes, deben ser fabricadas bajo estas especificaciones en grado 40 (280), grado 60 (420) y grado 75 (520). Para propiedades dúctiles (elongación y doblamiento), las pruebas deben aplicarse con el diámetro pequeño nominal más cercano. Requerimientos provistos para deformaciones y marcado no deben ser aplicables.

## **5. Material y manufactura**

Las barras deben rolarse de coladas de lanzamiento de molde o de cuerda de acero debidamente identificados usando los procesos de corazón abierto, oxígeno básico u horno eléctrico.

## **6. Composición química**

Un análisis de cada colada del acero debe hacerse por el fabricante de muestras de prueba tomadas preferiblemente durante la provisión de calores. Los porcentajes de carbón, manganeso, fósforo y sulfuro deben determinarse. El contenido de fósforo determinado no debe exceder de 0.06%.

Un análisis de fósforo puede hacerse por el comprador. El contenido de fósforo determinado no debe exceder por más de 25% de 0.06%.

## **7. Requerimientos para deformaciones**

Las deformaciones deben ser espaciadas a lo largo de la barra en distancias substancialmente uniformes. Las deformaciones en los lados opuestos de la barra deben ser de tamaño, forma y patrón similar.

Las deformaciones deben colocarse con respecto al eje de la barra de tal manera que el ángulo formado no sea menor de 45°. Cuando la línea de deformación forma un ángulo con el eje de la barra de 45 a 70°, las deformaciones deben alternarse en dirección reversa en cada lado, o los que se encuentran en un lado deben de dirigirse en reversa de los del lado opuesto. Cuando la línea de deformación excede los 70°, un revés en la dirección no es requerido.

## **9. Requerimientos del tensor**

El punto de fluencia o la fuerza de fluencia debe determinarse por uno de los siguientes métodos:

1. El punto de rendimiento debe determinarse por la caída de la viga en el aumento de la máquina de prueba.
2. Cuando el acero sometido a prueba no tiene un punto de rendimiento definido, la prueba de rendimiento se determina por la lectura de presión correspondiente a la tensión prescrita usando un método de diagrama autográfico o un extensómetro como se describe en los Métodos de prueba y definiciones A 370. La deformación debe ser 0.5% del aumento en longitud para grado 40 (280) y grado 60 (420) y debe ser 0.35% del aumento de longitud para grado 75 (520). Cuando el material es fabricado en rollos, la muestra para prueba debe enderezarse antes de colocarla en las quijadas de la máquina tensora. El enderezado debe hacerse cuidadosamente para evitar la formación de dobleces afilados y para minimizar el trabajo en frío. Enderezamiento insuficiente antes de colocarlo en el extensómetro puede dar como resultado lecturas de fuerza de rendimiento bajas.
3. El porcentaje de elongación está prescrito en la tabla 2.

## **10. Requerimientos de doblado**

La muestra para someterla a prueba de doblez debe resistir ser doblado alrededor de un pin sin romperse el radio exterior de la porción doblada. Los requerimientos para los grados de doblamiento y tamaño de los pines están descritos en la tabla 3. Cuando el material es fabricado en rollos, la muestra debe ser enderezada antes de colocarla en la máquina de prueba de doblez.



La prueba de doblado debe realizarse con muestras con una longitud suficiente para que asegure un libre doblado y con un aparato que provea:

1. Continuidad y uniformidad en la aplicación de fuerza mientras dure la operación de doblado.
2. Movimiento libre de la muestra en los puntos de contacto con el aparato y doblado alrededor del pin libre para rotar.
3. Envoltura cercana de la muestra alrededor del pin durante la operación de doblado.

Otros métodos de doblado severos aceptables, tal como el colocar la muestra entre dos pines libres para rotar y aplicando la fuerza de doblado con un pin arreglado, puede ser utilizado. Cuando ocurran fallas en métodos más severos, se permiten realizar otras pruebas bajo el método de doblado descrito en los puntos anteriores (1,2,3).

## **11. Variación permisible en el peso (masa)**

Las barras deformadas para reforzamientos deben evaluarse con base en el peso nominal (masa). Este, usando el peso nominal (masa) del espécimen en prueba y en concordancia con la Practica E-29, indica que la variación permisible no debe exceder 6% sobre el peso nominal (masa). En ningún caso debe rechazarse una barra deformada por sobrepasar el peso (exceder en masa). La variación en el peso (masa) para barra redonda plana debe ser calculada con base en la variación en el diámetro permisible. Para barras planas menores de 3/8 de pulgada (9.5 mm), utilizar la especificación A 510 (especificación A 510M). Para barras más largas de hasta e incluyendo 2 pulgadas (50.8 mm), utilizar la especificación A 6/A 6M.

## **12. Acabado**

Las barras deben estar libres de imperfecciones perjudiciales en la superficie.

Oxido, arrugas, irregularidades en la superficie o incrustaciones provocadas por el molino no deben ser motivo de rechazo, provistas de peso, dimensiones, área seccional cruzada y propiedades de tensión de una muestra cepillada con alambre de mano, no es menor a los requerimientos de esta especificación.

Otras imperfecciones de la superficie que las especificadas en el punto anterior deben considerarse perjudiciales cuando las muestras que contengan dichas imperfecciones fallen a cumplir con los requerimientos de tensión o doblamiento. Por ejemplo; traslapes, arrugas, astillas, costras o marcas de los molinos.

## **13. Número de pruebas**

Para barras de tamaño no. 3 a 11 (10 a 36) inclusive, debe realizarse una prueba de tensión y una prueba de doblado del tamaño más grande rolado en cada colada. Si un material de una diferente colada difiere por tres o más números designados, una prueba de tensión y una de doblado deben realizarse del número designado más alto y más bajo de la barra deformada rolada.

Para barras de tamaño no. 14 a 18 (43 y 57), debe realizarse una prueba de tensión y una de doblado de cada tamaño rolado en cada colada.

Para las barras de todos los tamaños se deberá realizar un set de pruebas incluyendo el peso nominal (masa), espaciado, altura y hendidura de las deformaciones para cada tamaño de barra de cada colada.

## **15. Muestras para prueba**

Todas las pruebas mecánicas deben conducirse de acuerdo a los Métodos de prueba y definiciones A 370 incluyendo el anexo A9.

Las muestras para pruebas de tensión deben ser la sección entera de la barra rolada. La determinación de la unidad de esfuerzo debe basarse en el área nominal de la barra.

Las muestras para prueba de doblado deben ser la sección entera de la barra rolada.

## **16. Reportes de pruebas**

Cuando se especifique en la orden del comprador la siguiente información debe reportarse por cada colada. Otros asuntos adicionales pueden reportarse si se solicita o si se desea.

1. Análisis químico incluyendo de carbón, manganeso, fósforo y sulfuro.
2. Propiedades de tensión
3. Prueba de doblado

## **17. Inspección**

El inspector que represente al comprador debe tener libre entrada a toda hora en que el trabajo del comprador se encuentra bajo contrato, a todas las partes del trabajo del fabricante que le conciernen con el material ordenado. El fabricante debe darle al inspector todas las facilidades razonables para satisfacerlo de que el material se está fabricando de acuerdo a los requerimientos. Todas las pruebas (excepto análisis del producto) e inspecciones deben hacerse en el lugar donde se está fabricando antes del embarque a menos que se den otras especificaciones, y no deben interferir innecesariamente con trabajos de operación.

Únicamente para obtención del Gobierno: Al igual que en el punto anterior, se le debe facilitar cualquier ayuda al comprador para verificar los requerimientos de los productos. En el caso de que el cliente sea el gobierno de los Estados Unidos, este podrá utilizar sus propios instrumentos y métodos de prueba, así como obtener muestras con la frecuencia de la norma para asegurar los requerimientos del producto.

## **18. Rechazo**

A menos que sea especificado de otra manera, cualquier rechazo basado en pruebas hechas según el segundo punto de Composición química, deben reportarse al fabricante dentro de cinco días de trabajo de recibidas las muestras del comprador.

El material que muestre defectos perjudiciales subsecuentes a su aceptación del trabajo del fabricante será rechazado y le será notificado al fabricante.