



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### “ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DEL ACERO A36 TRATADO TÉRMICAMENTE COMO SUSTITUTO PARA LA FABRICACIÓN DE TANQUES MEZCLADORES DE HORMIGÓN”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

**HERNANDEZ HURTADO JONATHAN DAVID**

[jonathan.hernandez@epn.edu.ec](mailto:jonathan.hernandez@epn.edu.ec)

**LAVERDE CASTILLO LUIS FERNANDO**

[luis.laverde@epn.edu.ec](mailto:luis.laverde@epn.edu.ec)

**DIRECTOR:**

**ING. DÍAZ CAMPOVERDE CARLOS WIME M.Sc.**

[carlos.diaz@epn.edu.ec](mailto:carlos.diaz@epn.edu.ec)

Quito, julio 2019

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Hernández Hurtado Jonathan David y Laverde Castillo Luis Fernando**, bajo mi supervisión.

---

Ing. Carlos Wime Díaz Campoverde, M. Sc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Hernández Hurtado Jonathan David y Laverde Castillo Luis Fernando**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Laverde Castillo Luis Fernando

---

Hernández Hurtado Jonathan David

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de titulación a mi madre Fabiola Hurtado, quien ha sido el principal cimiento para mi formación profesional, quien dedicó su vida a la construcción de sueños y triunfo de sus hijos, a mi querida esposa Alejandra quien me ha apoyado siempre y a mi hermosa hija Romina, quien es mi motor y motivo en la construcción de sueños y trazo de metas aún más grandes.

**Jonathan**



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, que brinda el amor, el progreso y unión de mi familia.

A mi madre, su entrega, trabajo, ejemplo y dedicación que siempre me hicieron sentir en deuda

A mi padre, por todas sus oraciones.

A mi esposa, por su amor y ayuda incondicional.

Mis hermanos, que me ayudaron económicamente y me instaron a seguir cuando había dado todo por perdido.

Al Ing. Carlos Díaz, que nos permitió ser parte de su mentoría en la búsqueda, propuesta, desarrollo y culminación de este proyecto.

A la empresa UNICON, que nos abrió las puertas y brindó el tema tratado.

Al Ing. Patricio F. Sr. René J. por su ayuda con los ensayos en los laboratorios

**Jonathan**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico en especial a mi mamá Mercy por ser la persona que me ha guiado en la vida.

A mi padre que me mira desde el cielo.

A mi hermano Leonardo por ayudarme cuando lo necesité.

A mi novia Samy por darme apoyo en todo momento e impulsarme a ser una mejor persona cada día.

**Luis Fernando**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por guiarme en los momentos más difíciles, gracias por la fe.

A mi padre que me cuida y guía desde el cielo, aunque no esté de cuerpo presente siempre he sentido su presencia a mi lado

A mi madre por todo lo que ha hecho por mí. Gracias por darme amor, valores, por siempre guiarme para ser una persona de bien, sé con un gracias no podré pagar todo lo que has hecho por mí.

A mi hermano por el apoyo que me ha brindado.

A mi novia Samy por estar siempre a mi lado para apoyarme, aconsejarme e impulsarme siempre.

Al Ing. Diaz por su apoyo y guía para la realización de este trabajo.

A la empresa UNICON por darme la apertura y apoyo para realizar este trabajo.

**Luis Fernando**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	MARCO TEÓRICO.....	3
1.1.	El hormigón .....	3
1.1.1.	Producción del hormigón .....	3
1.1.2.	El hormigón premezclado.....	3
1.1.3.	Transporte del hormigón.....	5
1.2.	Camión mezclador de hormigón o mixer .....	6
1.2.1.	Tanque mezclador de hormigón.....	6
1.2.2.	Fabricantes de tanques mezcladores en el mundo .....	7
1.2.3.	Fabricación de tanques mezcladores en Ecuador.....	10
1.3.	Aceros utilizados en la fabricación de tanques mezcladores .....	13
1.3.1.	Acero ASTM A514.....	13
1.3.2.	Acero ASTM A572.....	14
1.3.3.	Acero ASTM A36.....	15
1.4.	Tratamientos térmicos .....	15
1.4.1.	Templado .....	15
1.4.2.	Recocido.....	16
1.4.3.	Normalizado.....	17
1.4.4.	Revenido .....	18
1.4.5.	Cementado.....	18
1.5.	Obtención de probetas de acero tratadas térmicamente .....	18
2.	METODOLOGÍA.....	21
2.1.	Ensayos mecánicos .....	21
2.1.1.	Ensayo de dureza .....	21
2.1.2.	Ensayo de tracción .....	24
2.1.3.	Ensayo de doblado en frío .....	26
2.1.4.	Ensayo de flexión .....	28
2.1.5.	Rolado mecánico .....	29
2.2.	Ensayos metalográficos .....	30
2.2.1.	Probetas para ensayos metalográficos.....	30
2.2.2.	Equipo para ensayos metalográficos.....	31
2.3.	Análisis de composición química .....	31
2.3.1.	Equipo para análisis químico .....	32
2.4.	Ensayo de desgaste .....	32

2.4.1. Probetas para ensayo de desgaste .....	32
2.4.2. Equipo para ensayo de desgaste .....	33
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	34
3.1. Ensayo metalográfico .....	34
3.1.1. Acero A36 sin tratamiento térmico .....	34
3.1.2. Acero A36 templado.....	35
3.1.3. Acero A36 cementado.....	37
3.1.4. Acero A36 cementado probeta soldada .....	38
3.2. Composición química .....	39
3.3. Ensayos mecánicos .....	40
3.3.1. Ensayo de dureza .....	40
3.3.2. Ensayo de flexión .....	41
3.3.3. Ensayo de doblado .....	43
3.3.4. Ensayo de tracción .....	43
3.4. Ensayo de desgaste .....	46
3.4.1. Ensayo 1 .....	46
3.4.2. Ensayo 2 .....	47
3.4.3. Ensayo 3 .....	48
3.5. Tendencia experimental de desgaste de un tanque mezclador de hormigón .....	49
3.6. Rolado mecánico .....	52
3.7. Discusión de resultados .....	54
3.7.1. Análisis de composición química.....	54
3.7.2. Análisis metalográfico .....	55
3.7.3. Comportamiento mecánico.....	56
3.7.4. Análisis de desgaste .....	58
3.7.5. Análisis de rolado .....	59
3.8. Validación del material .....	60
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	61
Referencias Bibliográficas .....	63
ANEXOS.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Composición química del acero ASTM A514.....	14
Tabla 1.2. Propiedades mecánicas del acero ASTM A514. ....	14
Tabla 1.3. Composición química del acero ASTM A572.....	14
Tabla 1.4. Propiedades mecánicas del acero ASTM A572. ....	14
Tabla 1.5. Composición química del acero ASTM A36.....	15
Tabla 1.6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36. ....	15
Tabla 2.1. Escalas de dureza. ....	22
Tabla 2.2. Equipo para ensayo de dureza. ....	24
Tabla 2.3. Equipo para ensayo de tracción.....	26
Tabla 2.4. Equipo para rolado mecánico. ....	30
Tabla 2.5. Equipo para ensayo metalográfico. ....	31
Tabla 2.6. Equipo para análisis químico. ....	32
Tabla 2.7. Equipo para ensayo de desgaste.....	33
Tabla 3.1. Resultado de análisis químico.....	39
Tabla 3.2. Resultados para ensayo de dureza. ....	40
Tabla 3.3. Relación de escalas y resistencia a la tracción. ....	41
Tabla 3.4. Resultados de ensayo de flexión.....	42
Tabla 3.5. Resumen de resultados para el ensayo de flexión. ....	42
Tabla 3.6. Resultados de ensayo de doblado. ....	43
Tabla 3.7. Resultados de ensayos de tracción para los aceros sin tratamiento, templado, cementado y junta soldada. ....	43
Tabla 3.8. Promedios de carga máxima y resistencia a la tracción.....	45
Tabla 3.9. Resultados de desgaste en probetas ensayadas a 100rpm y 10N.....	46
Tabla 3.10. Resultados de desgaste en probetas ensayadas a 150rpm y 15N.....	47
Tabla 3.11. Resultados de desgaste en probetas ensayadas a 200rpm y 20N.....	48
Tabla 3.12. Mediciones de espesor del tanque mezclador de la empresa UNICON. ....	52
Tabla 3.13. Validación del material para la construcción de tanques mezcladores de hormigón .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Planta de hormigón premezclado.....	4
Figura 1.2. Colocación de hormigón.....	5
Figura 1.3. Camión mezclador de hormigón – mixer.....	6
Figura 1.4. Esquema tanque mezclador de hormigón.....	7
Figura 1.5. Tanque mezclador marca McNeilus.....	7
Figura 1.6. Tanque mezclador de hormigón marca Liebherr.....	8
Figura 1.7. Tanque mezclador de hormigón marca Cifa.....	9
Figura 1.8. Tanque mezclador de hormigón marca London.....	9
Figura 1.9. Rolado de planchas de acero A36.....	10
Figura 1.10. Corte de la plancha a ser sustituida.....	11
Figura 1.11. Corte de planchas para reemplazo.....	11
Figura 1.12. Tanque mezclador de hormigón - fabricación nacional.....	12
Figura 1.13. Costo de fabricación de un tanque mezclador de hormigón en la empresa UNICON. .....	13
Figura 1.14. Corte de metal por chorro de agua.....	19
Figura 2.1. Probetas para ensayo de dureza.....	23
Figura 2.2. Dimensiones de la probeta para ensayo de tracción en aceros.....	25
Figura 2.3. Probeta para ensayo de tracción.....	25
Figura 2.4. Esquema, ensayo de doblado.....	26
Figura 2.5. Fórmula para determinar dimensiones para ensayo de doblado.....	27
Figura 2.6. Probeta para ensayo de doblado en frío.....	27
Figura 2.7. Esquema ensayo de flexión.....	28
Figura 2.8. Probeta para ensayo de flexión.....	28
Figura 2.9. Probetas para rolado mecánico.....	29
Figura 2.10. Probetas para el ensayo metalográfico.....	30
Figura 2.11. Probeta para ensayo de desgaste.....	33
Figura 3.1. Micrografía acero A36 sin ataque.....	34
Figura 3.2. Micrografía de acero A36, 10% vellela. 500X.....	35
Figura 3.3. Micrografía de acero A36 templado, 10% vellela. 100X.....	35
Figura 3.4. Micrografía de acero A36 templado, 10% vellela. 500X.....	36
Figura 3.5. Micrografía 2 de acero A36 templado, 10% vellela. 500X.....	36
Figura 3.6. Micrografía de acero A36 cementado, 10% vellela. 500X.....	37
Figura 3.7. Micrografía de acero A36 cementado, 10% nital. 100X.....	38

Figura 3.8. Micrografía de probeta soldada acero cementado, 10% nital. 100X. ....	38
Figura 3.9. Macrografía probeta soldada con acero cementado como material base. ....	39
Figura 3.10. Comparativo de análisis de composición química entre acero de fabricación nacional acero A36 vs la norma ASTM A36. ....	40
Figura 3.11. Comparación de dureza, aceros estudiados vs norma ASTM A36. ....	41
Figura 3.12. Probetas flexionadas. a) acero A36 sin tratamiento, b) acero A36 templado, c) acero A36 cementado. ....	42
Figura 3.13. Esfuerzo deformación del acero A36 sin tratamiento. ....	44
Figura 3.14. Esfuerzo deformación del acero A36 templado.....	44
Figura 3.15. Esfuerzo deformación del acero A36 cementado. ....	45
Figura 3.16. Probetas traccionadas. a) acero A36 sin tratamiento, b) acero A36 templado, c) acero A36 cementado. ....	45
Figura 3.17. Curvas de desgaste a 100rpm y 10N para los aceros sin tratamiento, templado y cementado. ....	47
Figura 3.18. Curvas de desgaste a 150rpm y 15N para los aceros sin tratamiento, templado y cementado. ....	48
Figura 3.19 Curvas de desgaste a 200 rpm y 20 N para los aceros sin tratamiento, templado y cementado. ....	49
Figura 3.20. Equipo para medición de espesores. ....	49
Figura 3.21. Zonas de desgaste de un tanque mezclador de hormigón. ....	50
Figura 3.22. Tendencia de desgaste en la zona 1 del tanque mezclador de hormigón. ....	50
Figura 3.23. Tendencia de desgaste en la zona 2 del tanque mezclador de hormigón. ....	51
Figura 3.24. Tendencia de desgaste de la zona 3 del tanque mezclador de hormigón. ....	51
Figura 3.25. Placa de acero A36 templado. ....	52
Figura 3.26. Placa de acero A36 cementado. ....	53
Figura 3.27. Placa de acero A36 sin tratamiento. ....	53
Figura 3.28. Comparación de placas roladas. ....	53



## RESUMEN

En el presente trabajo se estudió y caracterizó el acero A36, material base en la fabricación de tanques mezcladores de hormigón en camiones mixer de la empresa UNICON, para verificar la factibilidad de su construcción a partir del mismo material tratado térmicamente (templado y/o cementado) con el fin de endurecer el material y reducir el desgaste causado por la abrasión que provoca la mezcla del hormigón. Para los propósitos establecidos se realizaron ensayos mecánicos, metalográficos, análisis de la composición química y desgaste del acero A36 sin tratamiento térmico y tratado térmicamente; se analizó el comportamiento de este último y se comprobó que el acero tratado térmicamente presenta mejores características mecánicas, mayor resistencia al desgaste y dureza que el acero A36 sin tratamiento térmico. Además, se verificó que este acero cumple con la norma ASTM A36.

Sin embargo, el acero tratado térmicamente no admitió la aplicación de cargas perpendiculares a su plano, por lo que no cumplen uno de los parámetros esenciales para la fabricación de estos tanques que es el doblado del material.

La incapacidad del material a ser rolo fue el resultado que provocó la desestimación del acero A36 tratado térmicamente como sustituto para la fabricación de tanques mezcladores de hormigón.

Se sugiere finalmente el templado del acero A36 y el uso de este como parche recubriendo las zonas en las que el tanque sufre un mayor desgaste para mitigar el efecto producido por el hormigón.

**Palabras clave:** acero A36, cementado, desgaste, dureza, hormigón, mixer, rolo, templado, tratamiento térmico.

## ABSTRACT

This project studied and characterized the steel A36, base material in the manufacture of concrete mixing tanks in mixer trucks of the company UNICON, to verify the feasibility of its construction from the same material but thermally treated ( hardened and/or cemented) in order to harden it and reduce the wear caused by the abrasion that concrete mixture causes.

For the established purposes, mechanical and metallographic tests, as well as analysis of chemical composition and wear of steel A36 without heat treatment and thermally treated were carried out; to the last one's behavior of this was analyzed and it was verified that thermally treated steel has better mechanical characteristics, greater resistance to wear and hardness than the steel A36 without heat treatment. In addition, it was verified that this steel complies with the ASTM A36 standard.

However, thermally treated steel does not allow the application of perpendicular loads to its plane, so they do not fulfil one of the essential parameters for the manufacture of these tanks which is the bending of the material.

Due to inability of material to support rolling caused a categorical disestimation of the steel A36 treated thermally as a substitute for the manufacture of concrete mixing tanks.

It is finally suggested the hardening of the A36 steel and the use of this as a patch covering the areas in which the tank suffers a greater wear to mitigate the effect produced by the concrete.

**Keywords:** steel A36, cemented, wear, hardness, concrete, mixer, rolling, tempering, heat treatment.

# **ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DEL ACERO A36 TRATADO TÉRMICAMENTE COMO SUSTITUTO PARA LA FABRICACIÓN DE TANQUES MEZCLADORES DE HORMIGÓN**

## **INTRODUCCIÓN**

La industria de la construcción constituye una de las actividades con mayor dinamismo en la economía ecuatoriana, además de ser un importante generador de empleo y producción debido a que está ligada directamente con diversas actividades comerciales, industriales y de servicios. Según cifras de la cámara de la industria y producción (CIP) las fuentes de trabajo generadas en el sector de manera directa alcanzan alrededor de 500.000 trabajadores, es decir el 8% del empleo total nacional. (Cámaras de Industrias y Producción, 2019)

En este sentido las empresas que se dedican a la producción y transporte de hormigón mediante camiones tipo mixer aumentan, teniendo más demanda y siendo cada vez más requerido su servicio, por lo que para poder satisfacer la demanda debe incrementar su flota de camiones y fabricar sus propios tanques mezcladores de hormigón usando láminas de acero A36, soldándolas y dándoles forma sin un previo estudio y análisis de cuál es el material más adecuado para su construcción y que mejor se adapte a las exigencias y funciones que éste debe realizar.

Para impedir que el hormigón fragüe, el tanque debe girar a bajas revoluciones (3 o 4 rev/min) constantemente; la arena, piedra y cemento son materiales muy abrasivos que desgastan el material del tanque mezclador, al disminuir su espesor, disminuyen su vida útil y aumenta costos de producción y mantenimiento. Un adecuado tratamiento o proceso térmico para el acero A36 podría resultar muy efectivo para alterar las propiedades mecánicas del material, esto significa modificar la dureza del material logrando así alargar la vida útil del tanque permitiendo que las empresas comercializadoras de hormigón reduzcan costos y tiempos de parada de equipo debido a reparaciones.

## **Objetivo general**

Estudiar y caracterizar el acero A36 tratado térmicamente como sustituto para la fabricación de tanques mezcladores de hormigón.

## **Objetivos específicos**

- Determinar la composición química del acero A36.
- Comparar el acero A36 empleado en la fabricación de los tanques mezcladores versus el Acero A36 tratado térmicamente.
- Analizar la microestructura del acero A36 y del Acero A36 tratado térmicamente.
- Determinar si es posible usar el acero A36 tratado térmicamente.

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. El hormigón**

El hormigón es un material base en la construcción de edificaciones, está formado por una mezcla de cemento, agua, ripio y algún tipo de aditivo para mejorar sus propiedades. Es un material de bajo costo y con gran capacidad de adaptarse a las necesidades.

### **1.1.1. Producción del hormigón**

Cada planta produce diferentes tipos de hormigón los cuales pueden tener un mayor o menor efecto en la cantidad de energía consumida, el tipo de materias primas utilizadas, las emisiones líquidas - gaseosas producidas y los residuos generados.

Los principales materiales requeridos para la fabricación del hormigón incluyen los áridos (habitualmente en forma de arena, constituyendo aproximadamente 34% de la composición del hormigón), ripio (aproximadamente 48 % del hormigón), cemento (alrededor del 12% de la composición del hormigón), agua (en proceso seco alrededor de 6%). Mientras los dos tipos de agregados consumen la mayor proporción de la mezcla de hormigón, el cemento es el ingrediente clave ya que hace posible la unión de los otros componentes. (Kosmatka, S., 2004).

El hormigón puede ser enviado al lugar de la construcción como prefabricado o fabricado in-situ. Si no hay notable diferencia energética entre ambos tipos, el hormigón prefabricado implica menos consumo, por otro lado, el traslado de hormigón es limitado debido a los impedimentos del transporte.

### **1.1.2. El hormigón premezclado**

La dosificación del hormigón premezclado se realiza siempre por peso en las plantas premezcladoras (figura 1.1). El operador de la planta recibe del personal del laboratorio las dosificaciones finales con las que debe trabajar, cuyos contenidos están dentro de los límites establecidos por las normas en vigencia, determinando la humedad de los materiales y garantizando de esta manera una proporción adecuada de agregado grueso y fino (arenas), lo que redundará en un hormigón más homogéneo, cohesivo en estado plástico y más durable en estado endurecido.

Las balanzas de reloj y las celdas de carga que se emplean como sistema de pesaje de las plantas dosificadoras se revisan y calibran periódicamente, quedando siempre una constancia de dicho procedimiento.

Las cantidades utilizadas en cada entrega quedan registradas en el parte de carga emitido por el sistema de automatización, con el objetivo de revisar que realmente se emplearon las cantidades indicadas en las dosificaciones y llevar adelante el control de stock de los inventarios.



Figura 1.1. Planta de hormigón premezclado.  
(Fuente: Propia)

Uno de los aspectos más destacables en la producción de hormigón premezclado es el elemento humano. Las empresas premezcladoras ponen especial atención en la capacitación y experiencia del personal encargado de manejar la planta, teniendo éste por lo general muchos años de experiencia en el medio.

Es así como el encargado conoce a simple vista la trabajabilidad y cohesión del hormigón que está produciendo, y junto con el responsable del laboratorio de la planta realizan los ajustes adecuados, de ser necesarios, para no alterar el contenido de cemento y producir un hormigón de calidad (figura 1.2).



Figura 1.2. Colocación de hormigón.  
(Fuente: <https://www.pavi-impreso.es/blog/pavimento-con-hormigon-coloreado/>)

El control de calidad sobre el producto terminado se realiza de manera rigurosa mediante muestreos en la planta premezcladora o en la obra misma, determinando primero el revenimiento, la trabajabilidad, la cohesión y la elaboración continua de cilindros de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del hormigón. Con los resultados obtenidos se realiza un registro estadístico para verificar la uniformidad y el cumplimiento de las normas en vigencia de hormigón premezclado (Normas NMX o ASTM).

### 1.1.3. Transporte del hormigón

La selección del medio más adecuado del transporte de hormigón está supeditado a un conjunto de factores como: características del hormigón, condiciones de la obra, volumen del hormigón y distancia de la obra.

Normalmente se deben evitar los transportes largos para evitar que el hormigón se fragüe; y cualquiera que sea la forma de transporte, deben cumplirse las siguientes condiciones:

- a) Durante el transporte no deben segregarse los áridos gruesos, ya que provocaría en el hormigón pérdida de homogeneidad y resistencia. Deben evitarse las vibraciones y choques, así como un exceso de agua, que favorecen la segregación. Los áridos son más propicios a segregarse que el ripio, dado el mayor rozamiento interno de estos últimos.
- b) Debe evitarse que el hormigón se seque (fragüe) durante el transporte.
- c) Si al llegar al tajo de colocación el hormigón acusa un principio de fraguado, la masa debe desecharse y no ser puesta en obra.
- d) Cuando se empleen hormigones de diferentes tipos de cemento, se limpiará cuidadosamente el material de transporte antes de hacer el cambio.

En este contexto y cumpliendo con todas las condiciones de transporte, el medio más utilizado en la industria de la construcción es el camión mezclador o mixer (figura 1.3), aunque su costo de adquisición en principio es elevado cumple con todas las condiciones nombradas anteriormente, siendo el tanque mezclador la parte fundamental de esta máquina para cumplir los propósitos deseados.



Figura 1.3. Camión mezclador de hormigón – mixer.  
(Fuente: Propia)

## **1.2. Camión mezclador de hormigón o mixer**

El mixer es un camión especializado en el transporte de hormigón como se dijo anteriormente. La diferencia con otros camiones se basa en que sobre el bastidor del camión tiene un tanque mezclador de forma aproximadamente cilíndrica. Este tanque va montado sobre un eje inclinado con respecto al bastidor, de forma que pueda girar.

El principio de funcionamiento es muy simple, se trata de mantener el hormigón en movimiento con el fin de retrasar su fraguado y lograr homogeneidad en la mezcla. Este movimiento se consigue a través de un motor auxiliar o por transmisión del propio motor del camión de forma mecánica o hidráulica.

### **1.2.1. Tanque mezclador de hormigón**

Un mixer típico utiliza un tanque giratorio para mezclar los componentes del hormigón, estos utilizan paletas para mezclar y descargar el hormigón, y son impulsados por sistemas hidráulicos de velocidad variable impulsados por el motor del camión.



En el esquema de la figura 1.4 se puede observar la estructura del tanque mezclador, en el cual constan: paletas, cinta de rodadura, parte frontal y parte trasera.

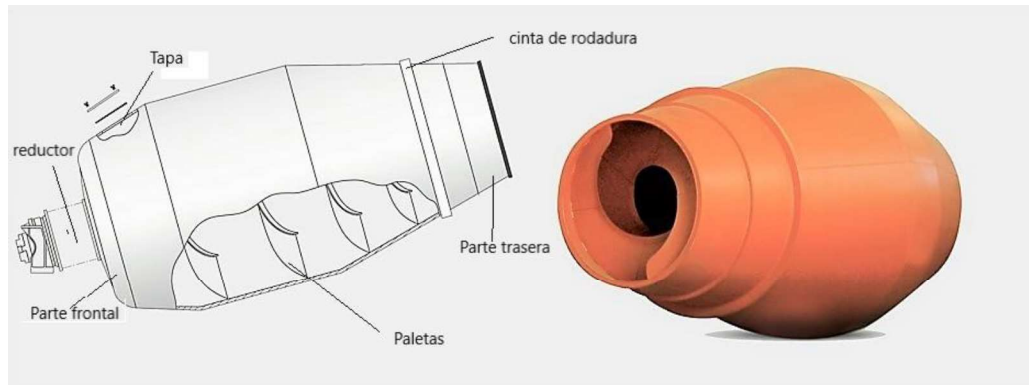


Figura 1.4. Esquema tanque mezclador de hormigón.  
(Fuente: [www.cifa.com](http://www.cifa.com))

### 1.2.2. Fabricantes de tanques mezcladores en el mundo

Existen muchos fabricantes de tanques mezcladores en el mundo los más usados en Ecuador son:

- **McNeilus**

Desde 1975, el tanque mezclador estándar McNeilus (figura 1.5) ha definido lo que debe ser un mixer. Los tanques McNeilus son fabricados de una sola pieza, con paletas reforzadas; el mezclador estándar cuenta con el tanque más robusto de la industria ya que son fabricados con acero AR200 o ASTM A514. Componentes, como reductores planetarios de marca ZF, aseguran la fiabilidad y mantienen su valor de reventa.



Figura 1.5. Tanque mezclador marca McNeilus.  
(Fuente: <http://www.casainglesa.co/Hormigonsmcneilus.html>)

- **Liebherr**

Es en el interior del tanque donde se procesa la mezcla del hormigón por lo que está fabricado en acero LICRO 500 de alta resistencia, con un grosor de 4,76 mm. Posee partes cónicas alargadas que permiten la mejor distribución del hormigón. Tiene gran capacidad volumétrica y por consiguiente baja tasa de llenado, lo que resulta en un menor tiempo de mezclado.

El tanque Liebherr (figura 1.6) presenta un bajo centro de gravedad, garantizando mejor estabilidad al conjunto camión-tanque mezclador. Tiene además dos tapas de inspección para la verificación del interior del tanque.



Figura 1.6. Tanque mezclador de hormigón marca Liebherr.  
(Fuente: <https://htm-05.liebherr.com/de/#/fahrmischer:0>)

- **Cifa**

El tanque Cifa (figura 1.7) está fabricado en acero S355JR (ASTM A572) anti-desgaste con espesores diferentes (hasta 8 mm), en función de la acción abrasiva del hormigón a lo largo del cuerpo del tanque.

Las dimensiones y el particular diseño constructivo de las paletas optimizan las operaciones de carga y descarga preservando la homogeneidad del hormigón. La zona interna de las paletas está dotada con un sistema especial anti-desgaste que limita las abrasiones y aumenta la durabilidad.



Figura 1.7. Tanque mezclador de hormigón marca Cifa.  
(Fuente: <http://www.cifa.com/es/camion-hormigonera/-/10/1901>)

- **London**

El mezclador estándar de London (figura 1.8) es uno de los más comercializados en la industria del transporte del hormigón. La compañía inglesa es una de las primeras desarrolladoras de tanques mezcladores de hormigón en el mundo lo que ha causado que se gane un puesto a nivel mundial en la fabricación de “mixer”. Utiliza el acero AR200 para la fabricación de tanques mezcladores, mismo que utiliza McNeilus ya que esta última absorbió London a principios del año 2015. (London Machenary, 2015)



Figura 1.8. Tanque mezclador de hormigón marca London.  
(Fuente: [https://www.lmi.ca/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=68&Itemid=129](https://www.lmi.ca/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=68&Itemid=129))

El costo de importación de los tanques mencionados oscila entre los 14.000 a 18.000 dólares y una vida útil de 4 - 5 años logrando una producción de 13.000 m<sup>3</sup> de hormigón durante este tiempo (Unicon, 2019), estos valores generan uno de los rubros más altos en la producción de hormigón para las empresas hormigoneras por lo que la mayoría opta por fabricar sus propios tanques mezcladores.

### 1.2.3. Fabricación de tanques mezcladores en Ecuador

Existen algunas empresas (Electromecánica Aries, Macusa, Monproec, etc.) que se dedican a la fabricación de tanques mezcladores de hormigón en el Ecuador. La mayoría de estas empresas tiene una metodología de fabricación artesanal, en la cual la materia prima es el acero A36.

El proceso consiste en:

- Dibujar los moldes del tanque con cartulina N°6.
- Trazar el molde de cartulina en la plancha de acero A36.
- Cortar las planchas de acero de 6 mm de espesor según los moldes (figura 1.9).

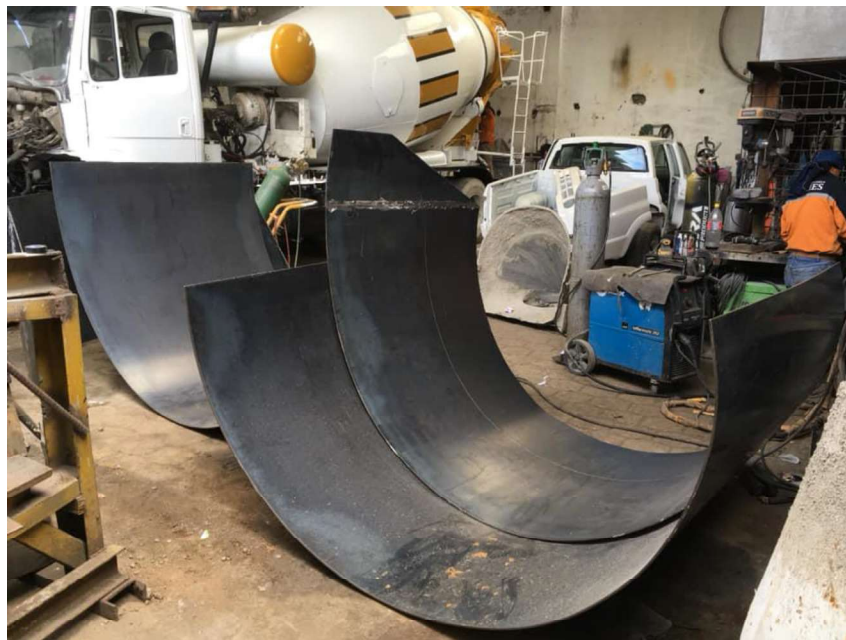


Figura 1.9. Rolado de planchas de acero A36.  
(Fuente: Propia)



- Rolar las planchas hasta que tomen el diámetro del molde.



Figura 1.10. Corte de la plancha a ser sustituida.  
(Fuente: Propia)

- Cortar las planchas desgastadas del tanque y colocar la plancha que lo va a reemplazar, hasta apuntalar con suelda y formar el tanque completo (figura 1.11).



Figura 1.11. Corte de planchas para reemplazo.  
(Fuente: Propia)

- Rematar la soldadura (proceso Smaw o Gmaw) de las planchas interior y exteriormente (figura 1.12).



Figura 1.12. Tanque mezclador de hormigón - fabricación nacional.  
(Fuente: Propia)

En el proceso de fabricación de tanques mezcladores de hormigón en el Ecuador se conserva la parte frontal debido a que tiene un espesor de 10 a 12 mm según la marca, y su forma no es reproducible localmente.

La cinta de rodadura está fabricada en acero forjado, macizo y continuo sin empalmes con alto perfil que proporciona gran resistencia a deformaciones. Esta cinta de rodadura es soldada interna y externamente a tope entre los conos del tambor lo cual la hace imposible de producirla nacionalmente por el momento. Todo el proceso mostrado anteriormente dura alrededor de 3 a 4 semanas de trabajo

Los rubros de fabricación de un tanque mezclador de hormigón proporcionados por la empresa UNICON se muestran en la figura 1.13, la cual detalla los costos de mano de obra y materiales, dando un costo total mucho menor al costo de los tanques importados por lo cual UNICON opta por la construcción de sus tanques.

Costo Reconstrucción de Tambor Mc Neilus					
DEPARTAMENTO:		MANTENIMIENTO			
OBRA:		RECONSTRUCCIÓN TAMBOR MC NEILUS		Tiempo de Obra	
FECHA:		20/10/2017		1 mes 8 horas diarias	
COSTO DE MANO DE OBRA		COSTO DE MATERIALES			
Trabajador	SOLDADOR	Materiales	Cantidad	Precio Uni.	Precio Total
SUELDO	\$ 406,00	Planchas de 6mm	18	\$ 116,43	\$ 2.095,74
No. Hor sup	0	Planchas de 4 mm	5	\$ 77,62	\$ 388,10
No. Hor Ext	0	Electrodos 60/11 (kg)	60	3,58	\$ 214,80
Valor USD SUP	\$ 0,00	Electrodos 70/18 (kg)	40	4,83	\$ 193,20
VALOR USD EXT	\$ 0,00	Electrodos 60/13 (kg)	20	5,01	\$ 100,20
BASE APORTABLE	\$ 406,00	Tanque de Oxigeno	6	\$ 28,79	\$ 172,74
DECIMO 13RO	\$ 33,83	Tanque de acetileno	2	\$ 103,50	\$ 207,00
DECIPMO 4TO	\$ 31,25	Disco de corte	30	\$ 2,64	\$ 79,20
FONDOS RESV	\$ 33,82	Disco de biselar	5	\$ 3,55	\$ 17,75
AP PATRONAL	\$ 49,33	Cartulina N°6	12	\$ 0,50	\$ 6,00
<b>TOTAL POR TRABAJADOR</b>	<b>\$ 554,23</b>	Angulo de 2" x 6 mm	1	\$ 27,15	\$ 27,15
Cantidad	4	Varilla redonda de 10 mm	1	\$ 4,14	\$ 4,14
<b>COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA</b>	<b>\$ 2.216,93</b>	Platina de 3/4x1/8	1	\$ 2,86	\$ 2,86
				<b>Sub Total</b>	\$ 3.508,88
				<b>IVA 12 %</b>	\$ 421,07
				<b>TOTAL MATERIALES</b>	<b>\$ 3.929,95</b>
COSTO TOTAL RECONSTRUCCION					
<b>COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA</b>	<b>\$ 2.216,93</b>	<b>+</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b>	<b>\$ 3.929,95</b>	<b>\$ 6.146,87</b>

Figura 1.13. Costo de fabricación de un tanque mezclador de hormigón en la empresa UNICON.  
(Fuente: propia)

### 1.3. Aceros utilizados en la fabricación de tanques mezcladores

El tanque mezclador es un componente que sufre la acción de la abrasión y corrosión por el hormigón. Existen aceros con certificados de análisis químico y ensayos mecánicos generalmente patentados por las grandes marcas fabricantes de estos tanques (Mc Neilus, Liebherr, Cifa, London, etc.).

Estos aceros poseen como característica principal una alta resistencia a la abrasión, corrosión y fatiga. La soldadura se realiza externa e internamente por máquinas semiautomáticas garantizando un perfecto acabado y gran resistencia mecánica. El tanque mezclador está diseñado conforme a las normas DIN 459 parte 1/a1 y DIN 1045.

#### 1.3.1. Acero ASTM A514

Este tipo de acero es altamente resistente a la abrasión típicamente su presentación es laminada. Estos aceros han sido desarrollados específicamente para una larga vida de servicio en condiciones extremas de dureza. Los productos ASTM A514 son adecuados para una variedad de aplicaciones en áreas como minería, cantería, transportadores, manejo y construcción de material y movimiento de tierra.

Diseñadores y operadoras de plantas escogen láminas de acero ASTM A514 cuando buscan extender la vida útil de componentes críticos, y reducir el peso de cada unidad

puesta en servicio. Ya que el acero resistente al desgaste puede ser empleado en aplicaciones que involucran impacto y/o contacto de deslizamiento con material de abrasión.

El acero ASTM A514 tiene las siguientes propiedades:

Tabla 1.1. Composición química del acero ASTM A514.

<b>Composición química</b>						
<b>%C</b>	<b>%Mn</b>	<b>%Si</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>	<b>%Mb</b>	<b>%Cr</b>
0,15 – 0,21	0,80 – 1,10	0,40 – 0,80	0,03	0,03	0,18 – 0,28	0,50 – 0,80

(Fuente: Norma ASTM A514)

Tabla 1.2. Propiedades mecánicas del acero ASTM A514.

<b>Propiedades mecánicas</b>		
<b>Resistencia a la ruptura por tensión, Fu [MPa]</b>	<b>Esfuerzo de fluencia, Fy [MPa]</b>	<b>Dureza Brinell [HB]</b>
760,00 a 895,00	690,00	235,00 a 293,00

(Fuente: Norma ASTM A514)

### 1.3.2. Acero ASTM A572

Este acero es exclusivamente utilizado por Cifa para su uso en tanques mezcladores de hormigón, es especialmente resistente al desgaste y capaz de soportar los rigores del transporte diario de hormigón. Esto beneficia la vida útil y reduce los costos operativos del tanque mezclador.

El acero ASTM A572 tiene las siguientes propiedades:

Tabla 1.3. Composición química del acero ASTM A572.

<b>Composición química</b>				
<b>%C</b>	<b>%Mn</b>	<b>%Si</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>
0,26	1,35	0,40	0,04	0,05

(Fuente: Norma ASTM A572)

Tabla 1.4. Propiedades mecánicas del acero ASTM A572.

<b>Propiedades mecánicas</b>		
<b>Resistencia a la ruptura por tensión, Fu [MPa]</b>	<b>Esfuerzo de fluencia, Fy [MPa]</b>	<b>Dureza Brinell [HB]</b>
550,00	450,00	159,00

(Fuente: Norma ASTM A572)



### 1.3.3. Acero ASTM A36

Es un acero estructural al carbono, es uno de los más utilizados en el mundo sirve para la construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.

El acero ASTM A36 tiene las siguientes propiedades:

Tabla 1.5. Composición química del acero ASTM A36.

<b>Composición Química</b>					
<b>%C</b>	<b>%Mn</b>	<b>%Si</b>	<b>%P</b>	<b>%S</b>	<b>%Cu</b>
0,25	-	0,40	0,04	0,05	0,20

(Fuente: Norma ASTM A36)

Tabla 1.6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.

<b>Propiedades mecánicas</b>		
<b>Resistencia a la ruptura por tensión, Fu [Mpa]</b>	<b>Esfuerzo de fluencia, Fy [Mpa]</b>	<b>Dureza Brinell [HB]</b>
400,00-550,00	250,00	120,00-135,00

(Fuente: Norma ASTM A36)

## 1.4. Tratamientos térmicos

Son un conjunto de operaciones de calentamiento, permanencia y enfriamiento de metales y aleaciones de metales en estado sólido, con el fin de cambiar su estructura y, por lo tanto, modificar sus propiedades físicas y mecánicas.

### 1.4.1. Templado

Es el tratamiento térmico que consiste en el calentamiento del acero hasta una temperatura óptima, manteniéndolo así por un determinado tiempo y el subsiguiente enfriamiento rápido a una velocidad mayor que la crítica ( $V_{critica}$ ), que es la mínima velocidad de enfriamiento, a la cual la austenita se transforma en martensita sin aparecer estructuras del tipo perlítico. Este tratamiento térmico se caracteriza por enfriamientos rápidos (continuos o escalonados) en un medio adecuado: agua, aceite o aire, para transformar la austenita en martensita. (Avner, 1988)

### **Objetivos del tratamiento de temple:**

- Aumentar la dureza y la resistencia mecánica.
- Disminuir la tenacidad (aumento de la fragilidad).
- Disminuir el alargamiento unitario.
- Modificar algunas propiedades eléctricas, magnéticas y químicas.

Al realizar un temple, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

1. El tamaño de la pieza: puesto que cuanto más espesor tenga la pieza más habrá que aumentar el tiempo de duración del proceso de calentamiento y de enfriamiento.
2. La composición química del acero: ya que en general, los aceros aleados son más fácilmente templables.
3. El tamaño del grano: influye principalmente en la velocidad crítica del temple, teniendo más templabilidad el de grano grueso.
4. El medio de enfriamiento: siendo el más adecuado para templar un acero el que consiga una velocidad de temple ligeramente superior a la crítica.

### **1.4.2. Recocido**

Es el calentamiento del acero por encima de las temperaturas de transformación de fase austenítica, seguida de un enfriamiento lento. El resultado de este lento enfriamiento es el de obtener un equilibrio estructural y de fase en los granos del metal.

El recocido es un tratamiento térmico propio de los productos semielaborados y acabados que está diseñado para reducir al mínimo las tensiones internas creadas durante los procesos de fabricación. (Callister, 1996)

Todos los tipos de realización del tratamiento térmico, que tienen como consecuencia un enfriamiento lento generalmente luego de calentar la pieza de trabajo a una temperatura determinada, se denominan recocido.

### **Objetivos del tratamiento de recocido:**

- Aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza.
- Facilitar el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura y afinar el grano.
- Eliminar la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.
- Aumentar la plasticidad, ductilidad y tenacidad del material.

Los principales factores que influyen tanto en la realización práctica como a los resultados logrados por el recocido son:

1. Estado inicial del acero; herencia metalúrgica, mecánica y/o térmica o historia del acero.
2. Composición química del acero.
3. Temperatura a que debe calentarse el acero.
4. Velocidad y condiciones de realización del tratamiento.
5. Duración o tiempo de permanencia a la temperatura de recocido.
6. Tamaño, forma y grado de acabado o superficial del metal.
7. Atmósfera del recinto de calentamiento.
8. Velocidad de enfriamiento desde la temperatura de austenización.

### **1.4.3. Normalizado**

El normalizado es un tratamiento térmico que consiste en un calentamiento a temperatura ligeramente superior a la crítica, permanencia y seguido de un enfriamiento en aire tranquilo. De esta forma, se deja el acero con una estructura y propiedades que arbitrariamente se consideran como normales y características de su composición. (Askelad, 1998).

La ventaja frente al recocido es que se obtiene una estructura granular más fina y una mayor resistencia mecánica. La desventaja es que la dureza obtenida es mayor.

Los propósitos de la normalización varían. Algunos de ellos son:

1. Refinar la estructura del grano.
2. Incrementar la solidez del acero (en comparación con el acero recocido).
3. Reducir la segregación de los componentes en operaciones de fundición o forjado, y conseguir así una estructura más uniforme.

#### **Objetivos del tratamiento de normalizado:**

- Subsanan defectos de las operaciones anteriores de la elaboración en caliente (colada, forja, laminación,) eliminando las posibles tensiones internas.
- Preparar la estructura para las operaciones tecnológicas siguientes (por ejemplo, mecanizado o temple).

Los factores de normalizado son:

1. Estado inicial del acero.

2. Composición química del metal.
3. Temperatura de calentamiento.
4. Velocidad de calentamiento.
5. Tiempo de permanencia a temperatura del tratamiento.
6. Velocidad de enfriamiento.
7. Tamaño y dimensiones de las piezas.

#### **1.4.4. Revenido**

Es un proceso térmico que consiste en un calentamiento moderado, que se aplica al acero templado, a temperaturas crecientes hasta las proximidades del punto crítico inferior. Este tratamiento modifica las propiedades del metal endurecido, tendiendo hacia el estado de equilibrio. (Smith, 1998)

El revenido es la operación final del tratamiento térmico que se realiza después del temple a fin de disminuir las tensiones internas y obtener estructuras de mayor equilibrio.

#### **1.4.5. Cementado**

La cementación es un proceso que se ha venido empleando desde hace mucho tiempo, para producir una capa superficial dura y resistente, principalmente en aceros.

La cementación es un proceso en el cual el acero en estado austenítico es puesto en contacto con una atmósfera de potencial de carbono, de manera que induzca la absorción de carbono en la superficie y por difusión se genere un gradiente de concentración entre la superficie y el interior del metal.

Existen dos factores que controlan el proceso: la absorción de carbono en la superficie y la velocidad de difusión hacia el metal. El proceso de cementación se efectúa a temperaturas del orden de 850-950°C, pudiéndose realizar a temperaturas mayores o menores, dependiendo de la factibilidad y propósitos del proceso. (Duran, 2017, aplicación de tratamientos térmicos sobre un acero de bajo carbono tipo 1018, Universidad de Guanajuato)

### **1.5. Obtención de probetas de acero tratadas térmicamente**

Para la obtención de probetas en acero existen muchos métodos; por ejemplo, en materiales laminados, los métodos más comunes son corte por cizalla, oxicorte, corte plasma, corte por rayo láser entre otras, o cortes por arranque de viruta mediante

herramientas tales como las sierras de acero y/o amoladora, taladros, sierras de mano, cinta sin-fin, etc.

Sin embargo, muchos de estos procesos implican la producción de calor debido a la fricción implícita entre el material base y la herramienta de desgaste o arranque de viruta, o ya sea en la adición de calor en procesos de corte (oxicorte, plasma, corte laser etc.).

En aceros que han sido sometidos a tratamiento térmico en los cuales no se debe permitir una adición de calor o al menos que ésta sea mínima para que no alcance una temperatura a la que el acero modifique su microestructura, las probetas tanto para flexión como para dureza se obtienen mediante el corte por cizalla, o con sierra de mano, utilizando agua como refrigerante para evitar que las probetas se calienten, mientras que las probetas para tracción al ser normalizadas es necesario realizar un tipo de corte especial.

### **Corte de metal con chorro de agua**

El corte por chorro de agua consiste en un chorro de agua a presión, que dependiendo de la dureza del material a cortar o el acabado que éste necesite va acompañado de un abrasivo, dicho chorro maneja presiones muy altas llegando hasta los 4.000 bares.



Figura 1.14. Corte de metal por chorro de agua.  
(Fuente: <http://www.inoxidable.com/waterjet.html>)

Uno de los elementos más importantes de este proceso es la boquilla, ya que depende mucho de su forma para que el corte tenga un buen acabado, por otro lado, la cohesión del chorro también depende de la boquilla ya que si ésta es cónica perderá poder de corte, calidad, precisión y más.

La velocidad de corte dependerá de la dureza del material, espesor, presión de salida, precisión de corte, acabado, etc.

### **Ventajas del proceso de corte por chorro de agua**

- Ausencia de tensiones residuales.
- El proceso no genera esfuerzos de corte.
- No existe generación de gases contaminantes.
- Es un proceso sin aporte de calor.
- El corte por agua permite un trabajo sin afectar a ninguna zona del material en el que se trabaja.
- Se pueden lograr buenos acabados (N7 o mayores).
- Se puede lograr grandes espesores de corte (en acero hasta 200 mm de espesor).
- Alta precisión en el corte.

### **Desventajas del proceso de corte por chorro de agua**

- La profundidad de corte es limitada.
- Se necesita un diseño en computadora
- Es costoso para producción de piezas unitarias.
- En comparación con el corte por plasma es más lento.

## 2. METODOLOGÍA

Para determinar si el material tratado térmicamente realmente tendrá las características necesarias para cumplir con todas las exigencias que requiere un tanque mezclador de hormigón, es necesario realizar la caracterización del acero A36, cuantificar sus propiedades mecánicas a través de ensayos de dureza, tracción, flexión, y desgaste, así como analizar su composición química

Finalmente se tabulan los resultados, y se determina si el material tratado térmicamente presenta mejores características mecánicas que el material sin tratar y qué tratamiento térmico es el mejor y más apto para ser usado en el acero A36 empleado en la construcción de tanques mezcladores de hormigón.

### 2.1. Ensayos mecánicos

Por medio de este tipo de ensayos se puede determinar los límites de tensión de rotura, límite elástico, dureza, resistencia al impacto, entre otras propiedades de un determinado material; haciendo posible la clasificación y tabulación de un material de acuerdo con la necesidad o aplicación.

Las propiedades mecánicas que presenta el acero A36 lo hacen ideal para ser utilizado en la construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, edificaciones soldadas, empernadas y/o remachadas. Un tratamiento térmico adecuado puede permitir utilizar el acero A36 en aplicaciones más exigentes, posiblemente abaratando costos y reduciendo tiempos de fabricación.

Para esto cada uno de los ensayos se realizará de acuerdo con las siguientes normas:

- Ensayo de Tracción                      Norma ASTM A370
- Ensayo de Doblado                      Norma ASTM E290
- Ensayo de Dureza                      Norma ASTM E18-17
- Ensayo de Desgaste                      Norma ASTM G99
- Ensayo de Flexión                      Norma ASTM A438

#### 2.1.1. Ensayo de dureza

Para determinar la dureza de un material respecto a otro, se pueden realizar ensayos en los que el material de mayor dureza va a rayar al material más blando. La dureza de un

metal se mide forzando la penetración de un indentador en la superficie del material, de esta forma se puede conocer la resistencia de un material a ser penetrado. Existen 4 tipos de ensayos de dureza: Brinell, Vickers, Knoop y Rockwell.

El ensayo Rockwell se realiza bajo las especificaciones de la norma ASTM E18-17. La tabla 2.1 es un extracto de dicha norma, en la que se muestra los diferentes tipos de escalas (letras) y el tipo de indentador que se utiliza para cada una de ellas, además de las aplicaciones más comunes.

Tabla 2.1. Escalas de dureza.

<b>Símbolo de escala</b>	<b>Indentador</b>	<b>Prueba final Fuerza, Kgf</b>	<b>Color de referencia</b>	<b>Aplicación típica de escalas</b>
<b>B</b>	1/16-in (1,588 mm) esfera	100	rojo	Aleaciones de cobre, aceros al carbono, aleaciones de aluminio, hierro maleable, etc.
<b>C</b>	diamante	150	negro	Acero, hierros fundidos, hierro maleable perlítico, titanio, acero endurecido y otros materiales más duros que B100
<b>A</b>	diamante	60	negro	Carburos cementados, acero fino y acero poco profundo endurecido en la caja.
<b>D</b>	diamante	100	negro	Acero fino y acero de caja mediana, y hierro maleable perlítico.
<b>E</b>	1/8 in (3,175 mm) esfera	100	rojo	Hierro fundido, aleaciones de aluminio y magnesio, metales de rodamientos.
<b>F</b>	1/16 in (1,588 mm) esfera	60	rojo	aleaciones de cobre recocido, láminas delgadas de acero al carbono.
<b>G</b>	1/16 in (1,588 mm)	150	rojo	Hierros maleables, aleaciones de cobre-níquel-zinc y cobre-níquel. Límite superior G92 para evitar un posible favorecimiento de la bola.
<b>H</b>	1/8 in (3,175 mm) esfera	60	rojo	Aluminio, zinc, plomo
<b>K</b>	1/8 in (3,175 mm) esfera	150	rojo	Rodamientos de metales y otros materiales muy suaves o delgados. Utilice la bola más pequeña y la carga más pesada que la que no da efecto yunque.
<b>L</b>	1/4 in (6,350 mm) esfera	60	Rojo	
<b>M</b>	1/4 in (6,350 mm) esfera	100	Rojo	
<b>P</b>	1/4 in	150	Rojo	



	(6,350 mm) esfera			Rodamientos de metales y otros materiales muy suaves o delgados. Utilice la bola más pequeña y la carga más pesada que la que no da efecto yunque.
<b>R</b>	½ in (12,70 mm) esfera	60	Rojo	
<b>S</b>	½ in (12,70 mm) esfera	100	Rojo	
<b>V</b>	½ in (12,70 mm) esfera	150	Rojo	

(Fuente: Norma ASTM E18-17)

El ensayo Rockwell es una prueba de indentación que utiliza una máquina verificada para forzar un indentador cónico de diamante o un indentador de esfera de carburo de tungsteno (o acero), en condiciones específicas, en la superficie del material bajo prueba, para medir la diferencia en profundidad de la indentación a medida que la carga en el indentador aumenta de una prueba preliminar especificada a una fuerza de prueba total especificada y luego regresa a la fuerza de prueba preliminar. (Norma ASTM E18 – 17).

#### 2.1.1.1. Probetas para ensayo de dureza

Las probetas para los ensayos de dureza (figura 2.1) fueron obtenidas mediante corte por chorro de agua, para evitar cambios en su microestructura, son cuadradas con una medida de 20 mm x 20 mm y un espesor del material de 6 mm, posteriormente embebidas en resina para que puedan ser manipuladas y pulidas y luego realizar la indentación. En el acero cementado se logró obtener una profundidad de cementación de 1 mm aprox. (Aceros BÖHLER del Ecuador S.A. en agua).



Figura 2.1. Probetas para ensayo de dureza.

(Fuente: Propia)

### 2.1.1.2. Equipo para ensayo de dureza

Para realizar el ensayo de dureza se empleó un equipo de marca Hardrocker cuyas características se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Equipo para ensayo de dureza.

Equipo	Especificaciones			
	Marca	Modelo	Otros	Figura
Durómetro	Hardrocker	150-A	Lectura Analógica	
Indentadores			Tipo cono 120° Tipo esfera 1/16 [in]	

(Fuente: Propia)

### 2.1.2. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es uno de los ensayos más comunes para evaluar propiedades mecánicas de un material, tales como resistencia, ductilidad, tenacidad, módulo elástico y capacidad de endurecimiento por deformación (Kalpakjian & Schmid, 2002).

Este ensayo consiste en la tracción de probetas que cumplan con medidas y estándares establecidos según las normas ASTM A370 o ASTM E8, estos pueden ser esféricos, laminados, tubulares o diferentes formas que permitan la aplicación de fuerzas opuestas.

La muestra por ensayar posee una longitud inicial ( $l_0$ ) que por lo general es de 2 in y una sección transversal  $A_0$ , con un espesor de material  $t = 6\text{mm}$ . La muestra de metal se somete a tensión a velocidad constante hasta la fractura, la carga que actúa sobre la

probeta es registrada en un gráfico esfuerzo-deformación. La deformación producida se obtiene mediante un extensómetro sujeto directamente a la muestra (Smith & Javad, 2006). Para materiales en forma de láminas o planchas, la probeta debe ser obtenida en la dirección longitudinal de la plancha o en la dirección en la que ha sido laminado o forjado. Se puede tener como referencia el eje de mayor longitud de la placa, sin embargo, si los requerimientos lo expresan y las dimensiones del material son suficientes, se puede obtener la probeta en sentido transversal. (Norma ASTM A370)

### 2.1.2.1. Probetas para ensayo de tracción

Las probetas para los ensayos de tracción fueron obtenidas por corte por agua, para evitar cambios en su microestructura; sus dimensiones están de acuerdo con la norma ASTM A370. La figura 2.2 muestra la configuración y características dimensionales de las probetas que se utilizan en el ensayo (figura 2.3).

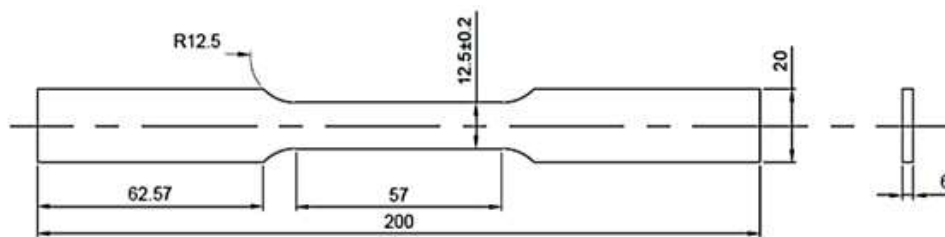


Figura 2.2. Dimensiones de la probeta para ensayo de tracción en aceros.  
(Fuente: Propia)




Figura 2.3. Probeta para ensayo de tracción.  
(Fuente: Propia)

### 2.1.2.2. Equipo para ensayo de tracción

El ensayo de tracción se realizó en el laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional (LAEV), las especificaciones del equipo se detallan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Equipo para ensayo de tracción.

Equipo	Especificaciones			Figura
	Marca	Modelo	Otros	
Máquina universal de ensayos	Tinius Olsen	Superl	Capacidad 3000 kN Sistema hidráulico	

(Fuente: Propia)

### 2.1.3. Ensayo de doblado en frío

El ensayo propone un medio simple pero satisfactorio para obtener un índice de ductilidad, consiste en doblar bruscamente una probeta a un ángulo muy grande y notar si ocurre agrietamiento en la superficie exterior de la pieza doblada, el ensayo está de acuerdo con la norma ASTM E290 (figura 2.4).

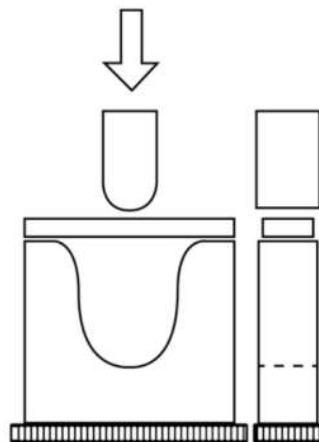


Figura 2.4. Esquema, ensayo de doblado.  
(Fuente: ASTM E290)

#### 2.1.3.1. Probetas para ensayo de doblado

La norma ASTM E290, sección 3, establece el esquema y formula una ecuación para determinar las dimensiones requeridas (figura 2.5) para las probetas a utilizarse en el ensayo de doblado.

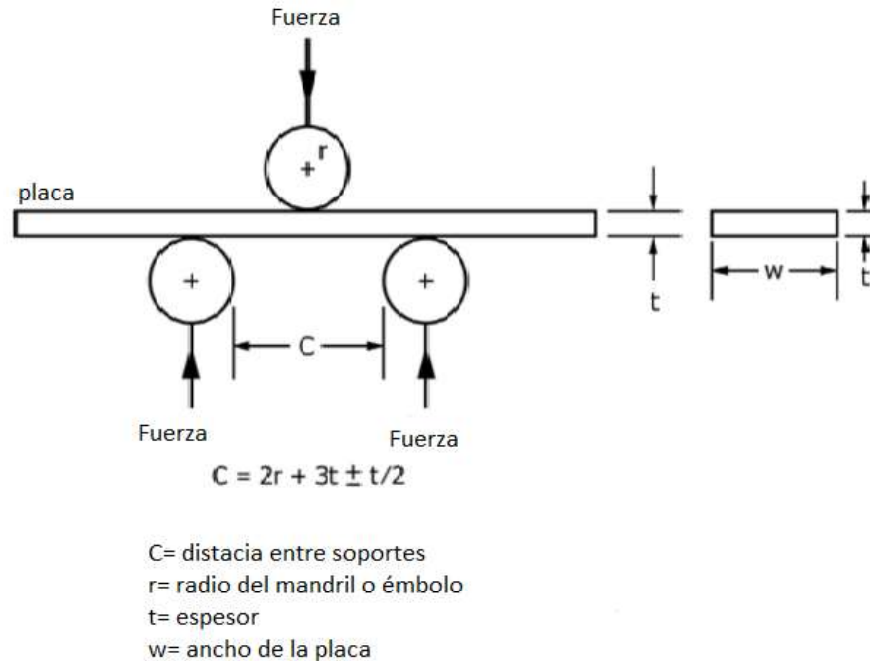


Figura 2.5. Fórmula para determinar dimensiones para ensayo de doblado.  
(Fuente: ASTM E290)

Las probetas para los ensayos de doblado (figura 2.6) fueron fabricadas por corte por cizalla, para evitar cambios en su estructura, sus dimensiones son 200 mm x 20 mm con un espesor del material de 6 mm. Se logró obtener una profundidad máxima de cementación de 1 mm aprox. (Aceros BÖHLER del Ecuador S.A. en agua).



Figura 2.6. Probeta para ensayo de doblado en frío.  
(Fuente: Propia)

### 2.1.3.2. Equipo para ensayos de doblado

El ensayo de doblado se realizó en el laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional (LAEV), en el mismo equipo cuyas especificaciones se detallaron en la tabla 2.3.

#### 2.1.4. Ensayo de flexión

Considerando que el ensayo de flexión (figura 2.7) es realizado para determinar propiedades mecánicas en aceros y tomando en cuenta que la investigación se centra en un acero dúctil se ha realizado el ensayo de flexión de acuerdo con la norma ASTM A438 para determinar el módulo de elasticidad de cada material.

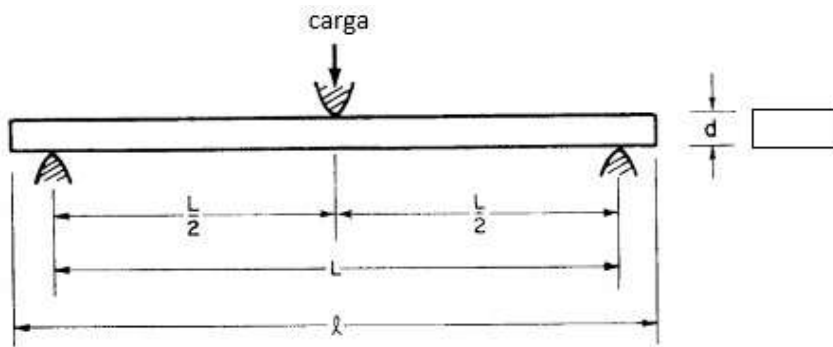


Figura 2.7. Esquema ensayo de flexión.  
(Fuente: Propia)

##### 2.1.4.1. Probetas para ensayo de flexión

La norma ASTM A438 especifica que la carga debe ser aplicada en el punto medio de los soportes de la probeta, de la cual se debe conocer las medidas de la sección transversal. Para las probetas de flexión obtenidas por corte por cizalla de dimensiones 200 mm x 20 mm y un espesor del material de 6 mm (figura 2.8), Se logró obtener una profundidad máxima de cementación de 1 mm aprox. (Aceros BÖHLER del Ecuador S.A. en agua).



Figura 2.8. Probeta para ensayo de flexión.  
(Fuente: Propia)



#### 2.1.4.2. Equipo para ensayos de flexión

El ensayo de doblado se realizó en el laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones (LAEV) de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, en el equipo detallado en la tabla 2.3.

#### 2.1.5. Rolado mecánico

El proceso de rolado se refiere a pasar el acero por rodillos para que adquiera una forma determinada, al aplicar presión generada por los rodillos. La curvatura del acero (barras, laminas, lingotes, etc.) depende en gran parte de su espesor, así como del tipo de rodillos con los que se realiza el proceso.

##### 2.1.5.1. Probetas para rolado mecánico

En el rolado se utilizó tres probetas de 15 cm x 40 cm (figura 2.9) de acero A36 sin tratamiento, templado y cementado, para este proceso no se especifica norma o procedimiento alguno.



Figura 2.9. Probetas para rolado mecánico.  
(Fuente: Propia)

##### 2.1.5.2. Equipo para rolado mecánico

El rolado mecánico se realizó en las instalaciones de la empresa UNICON, las especificaciones del equipo empleado se detallan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Equipo para rolado mecánico.

Equipo	Especificaciones			Figura
	Marca	Modelo	Otros	
Roladora manual	-	-	Capacidad de rolado hasta 7 mm	

(Fuente: Propia)

## 2.2. Ensayos metalográficos

Los ensayos metalográficos son realizados con el fin de examinar la microestructura, revelando la información del material, así como, la estructura interna y constitución a nivel microscópico. Mediante la metalografía óptica se logra obtener información cualitativa y cuantitativa del material analizado, como: tamaño de grano y orientación, compuestos y fases, límites de grano y si existen o no defectos. Además, se puede determinar si el material ha sido sometido a algún tipo de tratamiento térmico superficial, acabado superficial, o tratamientos térmicos en los que se ha involucrado todo su volumen, o algún proceso de conformado mecánico en frío o en caliente.

### 2.2.1. Probetas para ensayos metalográficos

Las probetas fueron extraídas de una plancha de acero A36 de 1,20 m x 2,40 m, la cual fue dividida en partes que fueron sometidas a tratamientos térmicos de cementado y templado. Para observar las características transversales de las probetas estas fueron embebidas en resina epoxi (figura 2.10).



Figura 2.10. Probetas para el ensayo metalográfico.




(Fuente: Propia)



### 2.2.2. Equipo para ensayos metalográficos

Los ensayos metalográficos se realizaron en el Laboratorio de Metalografía (LMDF) de la Escuela Politécnica Nacional, los equipos usados se detallan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Equipo para ensayo metalográfico.

Equipo	Especificaciones			Figura
	Marca	Modelo	Otros	
Máquina devastadora de disco	-	-	N° Abrasivo 100 granos/in <sup>2</sup>	
Máquina devastadora y pulidora	Forcimat	Forcipol 2V		
Microscopio Óptico	Olympus	GX41F	Software: Stream Essentials	

(Fuente: Propia)

### 2.3. Análisis de composición química


Consiste en determinar los componentes químicos del material en estudio, la cantidad y el porcentaje de las sustancias del que está constituido.

Los elementos por cuantificar son: el contenido de carbono (C), hierro (Fe), manganeso (Mn), cromo (Cr), Níquel (Ni) y molibdeno (Mo), ya que son los principales constituyentes del acero A36 material base en la fabricación de tanques mezcladores de hormigón.

### 2.3.1. Equipo para análisis químico

Los ensayos se realizaron en el departamento de metalurgia extractiva (DEMEX) de la Escuela Politécnica Nacional. El equipo empleado y sus especificaciones se indican en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Equipo para análisis químico.

Equipo	Especificaciones		
	Marca	Modelo	Figura
<b>Espectrómetro de chispa</b>	Bruker	Q4TASAMAN	

(Fuente: Propia)

## 2.4. Ensayo de desgaste

Existen varias normas que rigen procedimientos para ensayar materiales y obtener datos respecto del desgaste que sufre un determinado material. La norma ASTM G99 indica el desgaste que sufre una probeta tipo pin, en la que se conoce la masa inicial, forma, y dimensiones, ésta es ensayada sobre un disco que gira a velocidad constante mientras es presionada con una carga uniforme, finalmente se debe tomar datos de la pérdida de masa o a su vez la disminución de la longitud del pin durante ciclos de tiempo determinado.

La norma ASTM G99, no especifica valores de velocidad y carga a aplicarse en el ensayo, pero es rigurosa en que se debe controlar la fuerza ejercida sobre el pin y la velocidad de giro del disco para poder establecer que se ha realizado el ensayo según el procedimiento especificado.

### 2.4.1. Probetas para ensayo de desgaste

Las muestras son cilíndricas tipo pin, poseen una longitud inicial de 6 mm y un diámetro de 4 mm (figura 2.11), las mismas fueron obtenidas en dirección perpendicular a la plancha, en esta dirección se produjo el proceso de cementación de acero A36. La norma ASTM

G99 no especifica dimensiones de probeta para este ensayo, sin embargo aclara que se debe tomar en cuenta la longitud inicial para medir el desgaste sufrido.



Figura 2.11. Probeta para ensayo de desgaste.  
(Fuente: Propia)

### 2.4.2. Equipo para ensayo de desgaste

Los ensayos de desgaste fueron realizados en el laboratorio de metalografía (LMDF) de la Escuela Politécnica Nacional, los equipos usados se presentan en la tabla 2.7.

Tabla 2.7. Equipo para ensayo de desgaste.

Equipo	Especificaciones		
	Marca	Modelo	Figura
Maquina devastadora de disco	Forcimat	Forcipol 2V	

(Fuente: Propia)

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados conseguidos a partir de los ensayos practicados a los diferentes aceros tratados térmicamente. También se discute las ventajas y desventajas de utilizar tratamientos térmicos para la fabricación de tanques mezcladores de hormigón, además, se determina si los tratamientos térmicos propuestos satisfacen las condiciones de trabajo que se busca mejorar.

#### 3.1. Ensayo metalográfico

A continuación, se muestran los resultados de los ensayos para el acero A36 sin tratamiento térmico, el cual se utiliza en la fabricación de tanques mezcladores de hormigón y los aceros tratados térmicamente: templado y cementado.

##### 3.1.1. Acero A36 sin tratamiento térmico

Luego de observadas las diferentes probetas, y del registro metalográfico del acero A36 sin tratamiento térmico, se muestran las siguientes figuras 3.1 y 3.2.

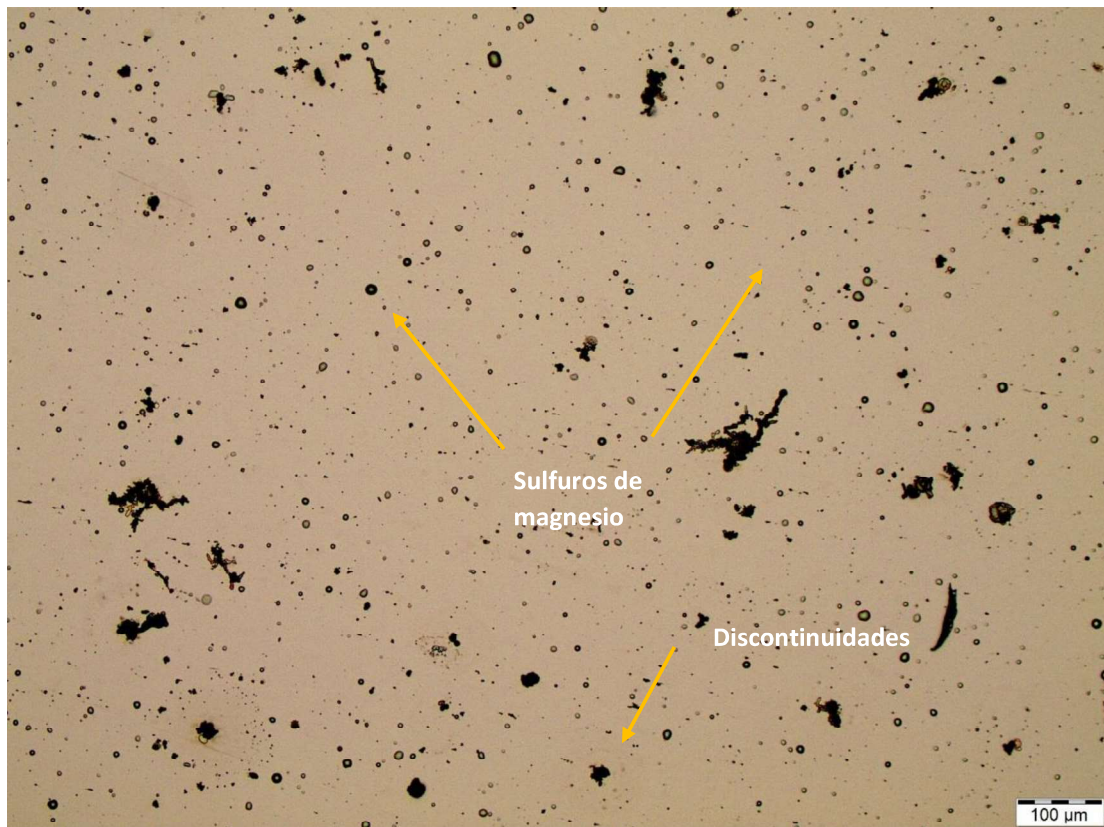


Figura 3.1. Micrografía acero A36 sin ataque.



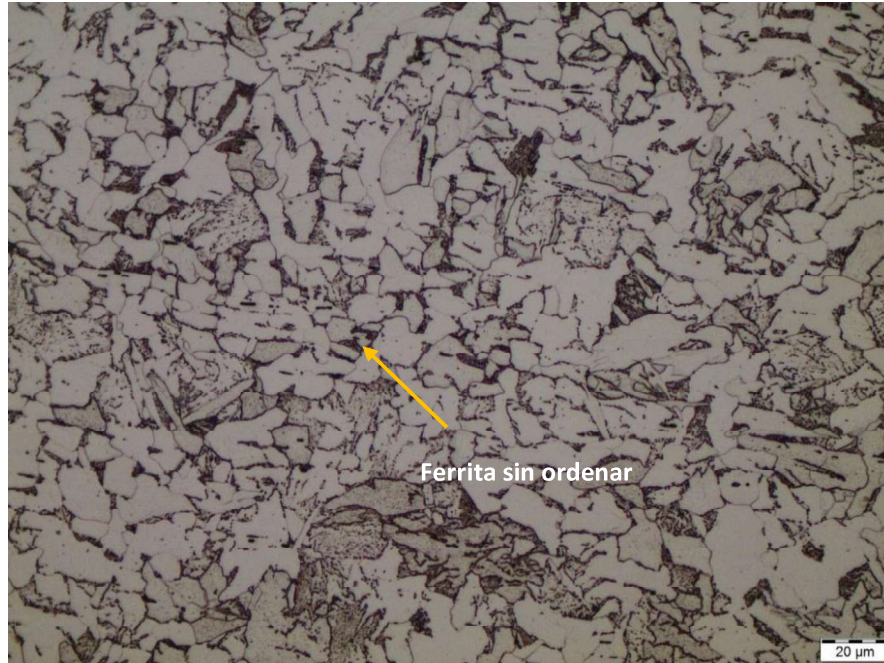


Figura 3.2. Micrografía de acero A36, 10% niclea. 500X.

### 3.1.2. Acero A36 templado

Una vez realizados los ensayos, se realizó la observación de las probetas obtenidas de láminas de acero A36 templado de 6 mm de espesor, lo cual se muestra en las figuras 3.3, 3.4 y 3.5.

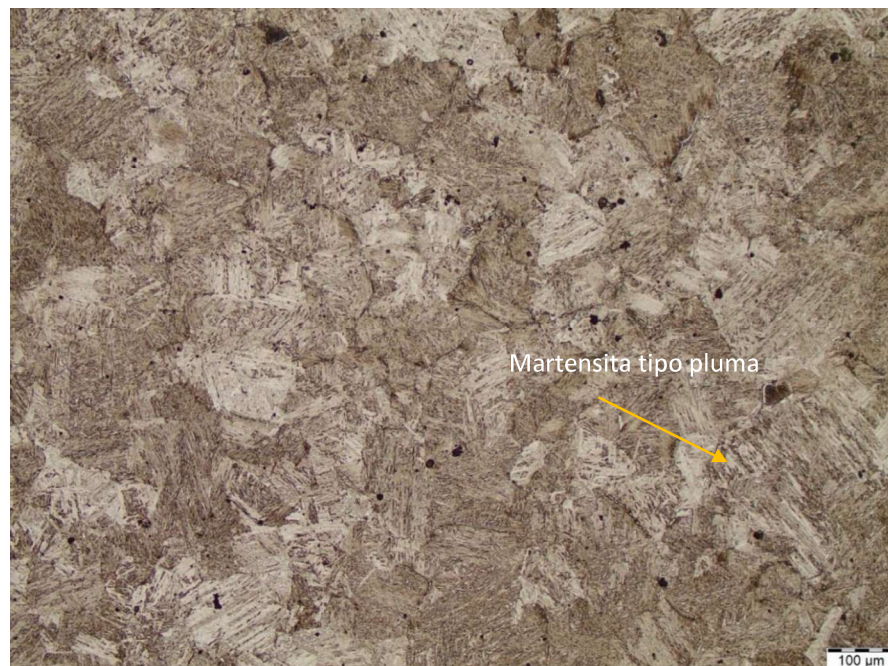


Figura 3.3. Micrografía de acero A36 templado, 10% niclea. 100X.



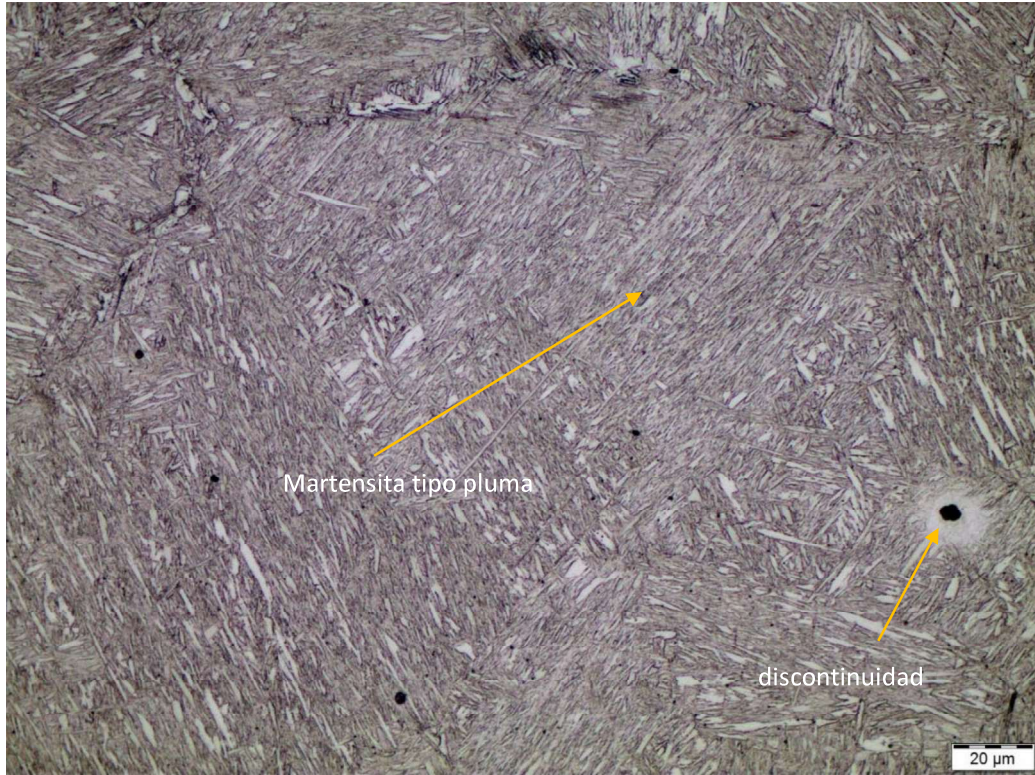


Figura 3.4. Micrografía de acero A36 templado, 10% vellela. 500X.

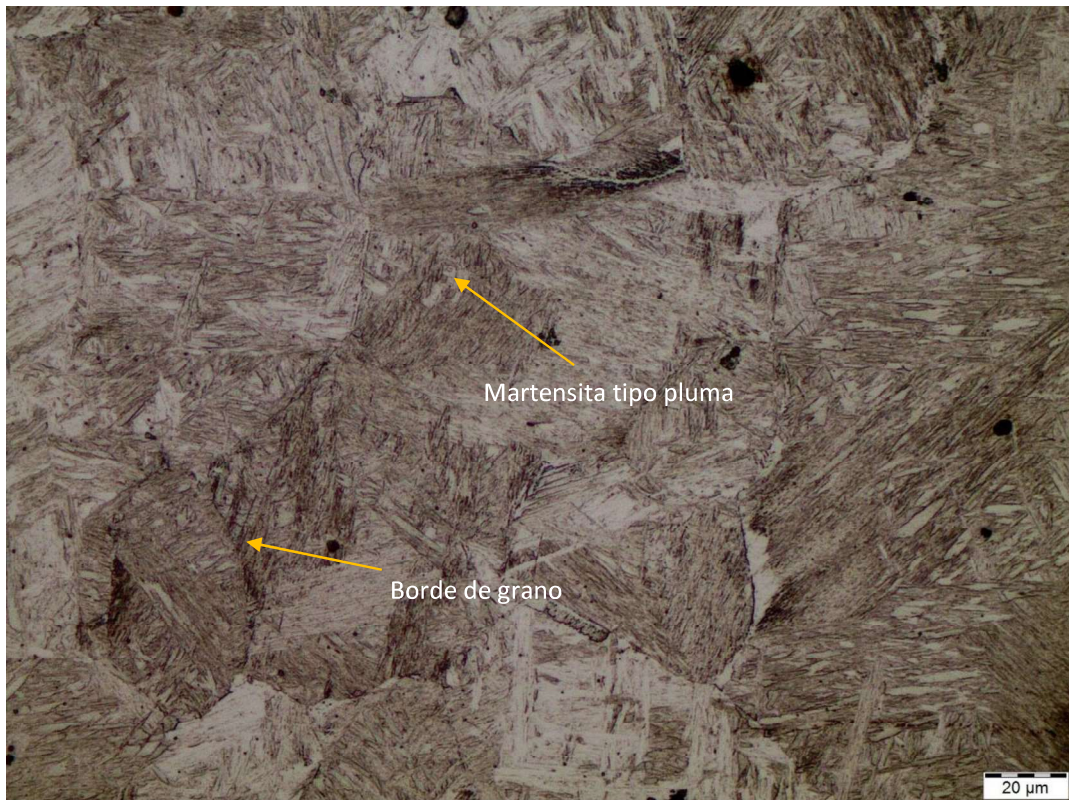


Figura 3.5. Micrografía 2 de acero A36 templado, 10% vellela. 500X.



### 3.1.3. Acero A36 cementado

Una vez realizados los ensayos, se realizó la observación de las probetas obtenidas de láminas de acero A36 cementado de 6 mm de espesor, lo cual se muestra en las figuras 3.6 y 3.7.

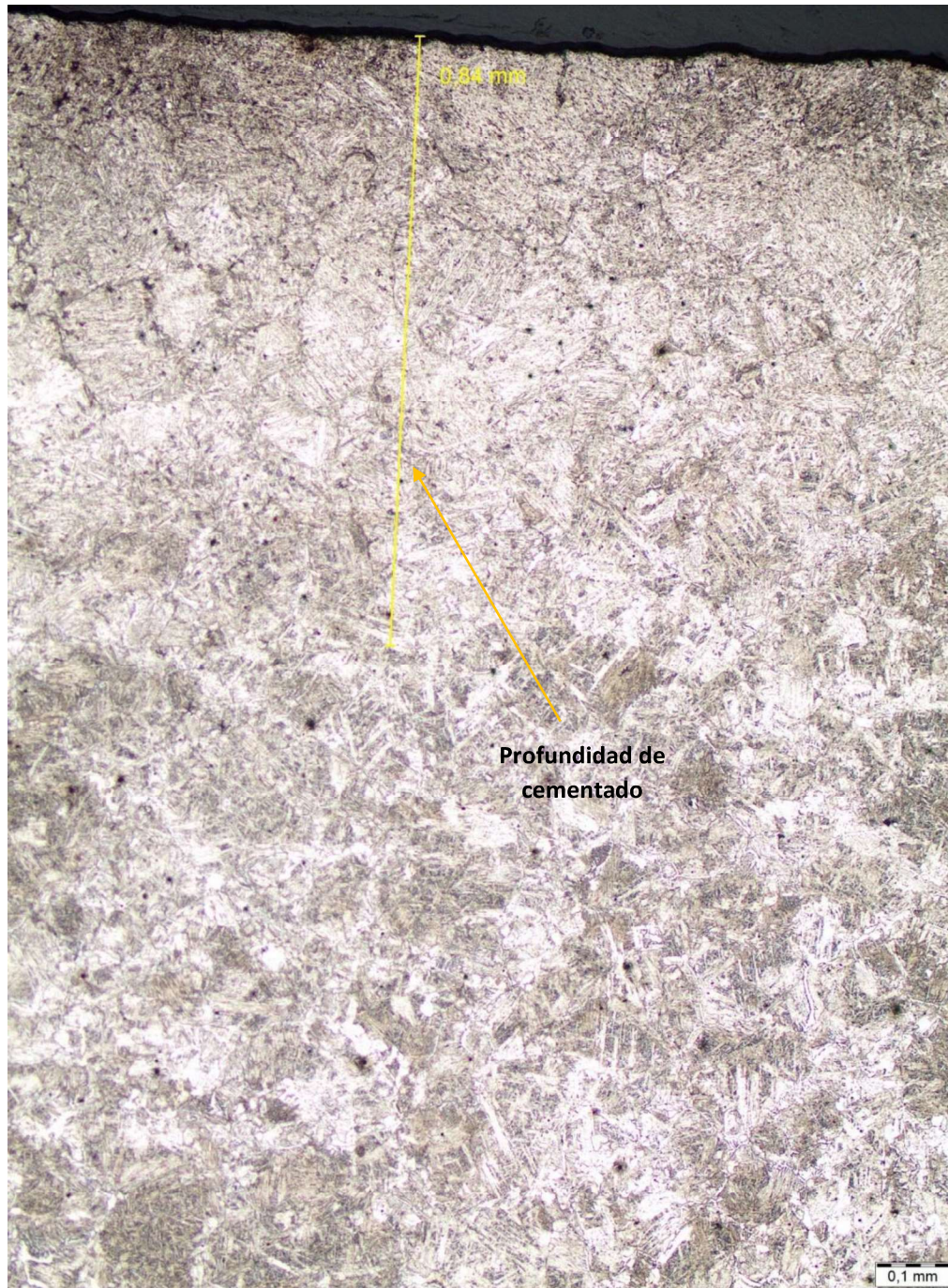


Figura 3.6. Micrografía de acero A36 cementado, 10% vellela. 500X.



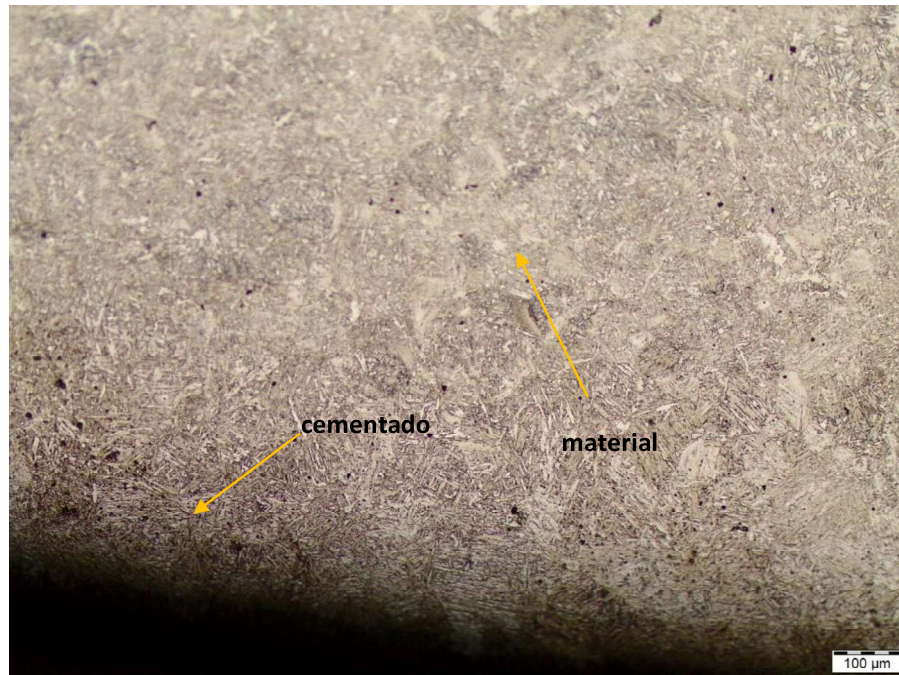


Figura 3.7. Micrografía de acero A36 cementado, 10% nital. 100X.

### 3.1.4. Acero A36 cementado probeta soldada

Una vez realizados los ensayos, se realizó la observación de estas probetas soldadas obtenidas de láminas de acero A36 cementadas de 6 mm de espesor, y sus resultados se muestran en las figuras 3.8 y 3.9.

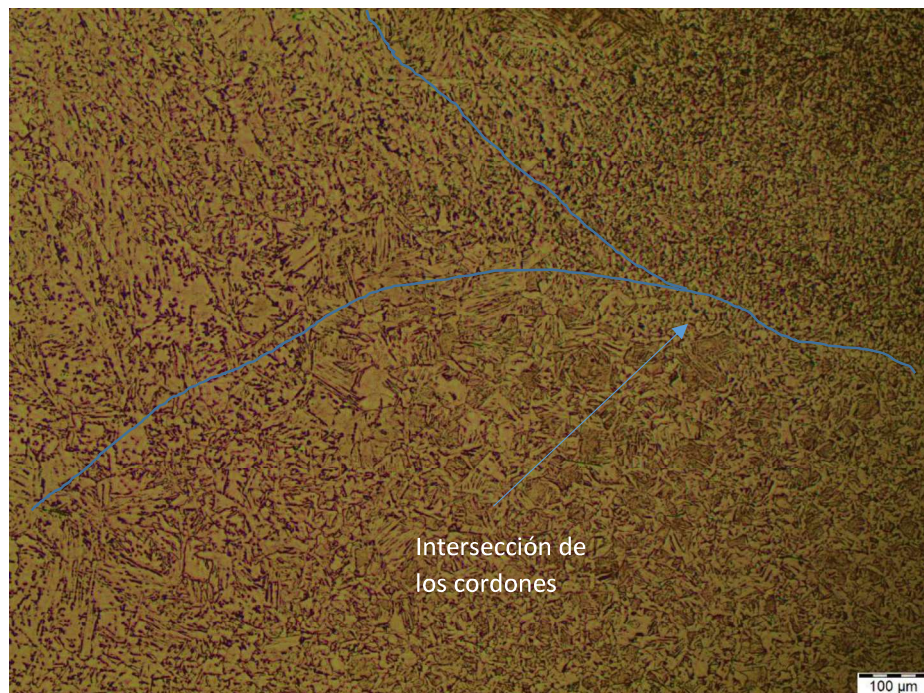


Figura 3.8. Micrografía de probeta soldada acero cementado, 10% nital. 100X.



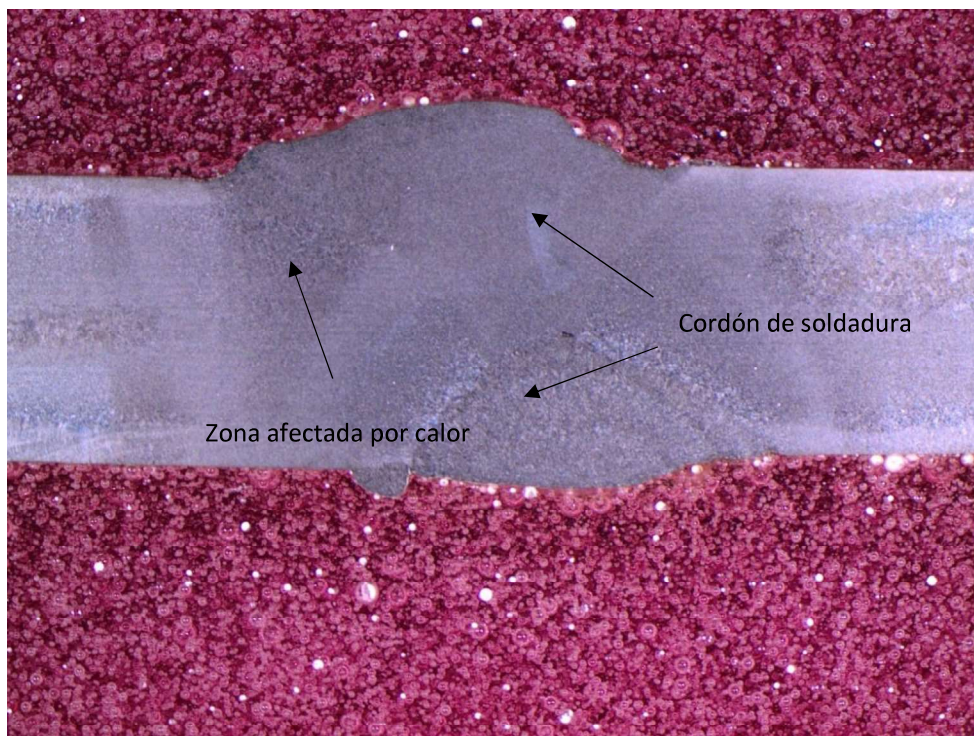


Figura 3.9. Macrografía probeta soldada con acero cementado como material base.

### 3.2. Composición química

La composición química del acero A36 sin tratamiento empleado en la producción de tanques mezcladores de hormigón es la que se presenta en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Resultado de análisis químico.

Elemento	Valores (%)
Carbono (C)	0,20
Manganeso (Mn)	0,64
Cromo (Cr)	0,05
Níquel (Ni)	0,05
Cobre (Cu)	0,02
Aluminio (Al)	0,04
Hierro (Fe)	98,98
<b>Total</b>	<b>99,98</b>

En la figura 3.10 se presenta una comparación de la composición química del acero A36 utilizado para la fabricación de tanques mezcladores de hormigón por la empresa UNICON con la norma ASTM A36.

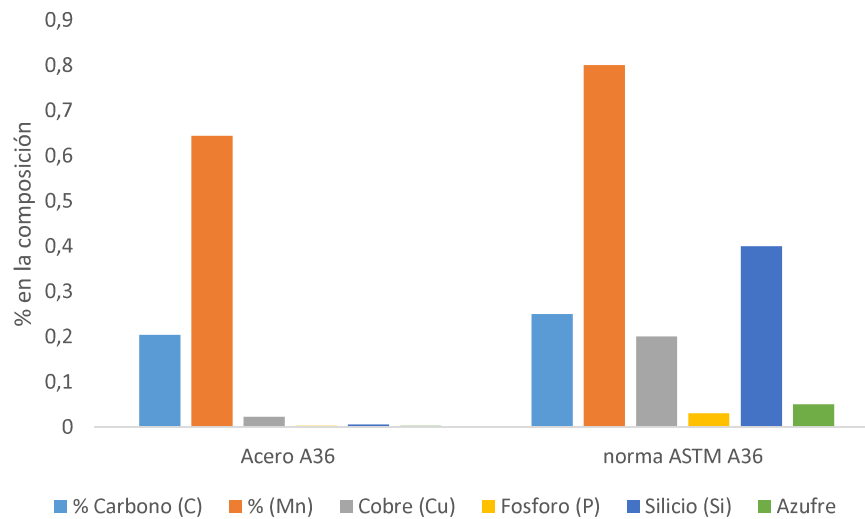


Figura 3.10. Comparativo de análisis de composición química entre acero de fabricación nacional acero A36 vs la norma ASTM A36.

### 3.3. Ensayos mecánicos

Se presentan los resultados para los ensayos mecánicos de los aceros A36 sin tratamiento térmico, templado y cementado.

#### 3.3.1. Ensayo de dureza

Para este ensayo se utilizó como referencia la norma ASTM E18-17. Se realizó cinco mediciones sobre la superficie de las probetas de acero A36 sin tratamiento y tratado térmicamente, los resultados se muestran en la tabla 3.2 con su equivalencia en escalas Rockwell B (HRB) y Rockwell C (HRC).

Tabla 3.2. Resultados para ensayo de dureza.

Probetas	Acero A36	Acero A36	Acero A36
	sin tratamiento (HRB)	templado (HRC)	cementado (HRC)
1	69,00	38,00	31,00
2	70,00	37,00	29,00
3	70,00	37,00	33,00
4	70,00	37,00	31,00
5	69,00	38,00	32,00
<b>Promedio</b>	<b>69,60</b>	<b>37,40</b>	<b>32,00</b>

En la tabla 3.3 se presentan los valores promedio de los resultados del ensayo de dureza descritos en la tabla 3.2, además se incluye la referencia de dureza de la norma ASTM A36 en la cual se indica que el rango se encuentra entre 120 – 135 HB, el valor medio de este rango que es 128 HB, el mismo que es tomado como referencia en comparaciones posteriores.

Tabla 3.3. Relación de escalas y resistencia a la tracción.

Acero	Relación de escalas		
	HRB	HRC	HV
Sin tratamiento	69,90	-	127,00
Templado	-	37,40	367,00
Cementado	-	32,00	318,00
ASTM A36	-	-	128,00

En la figura 3.11 se muestra una comparación de la dureza de los aceros estudiados en escala Vickers en comparación a la norma ASTM A36.

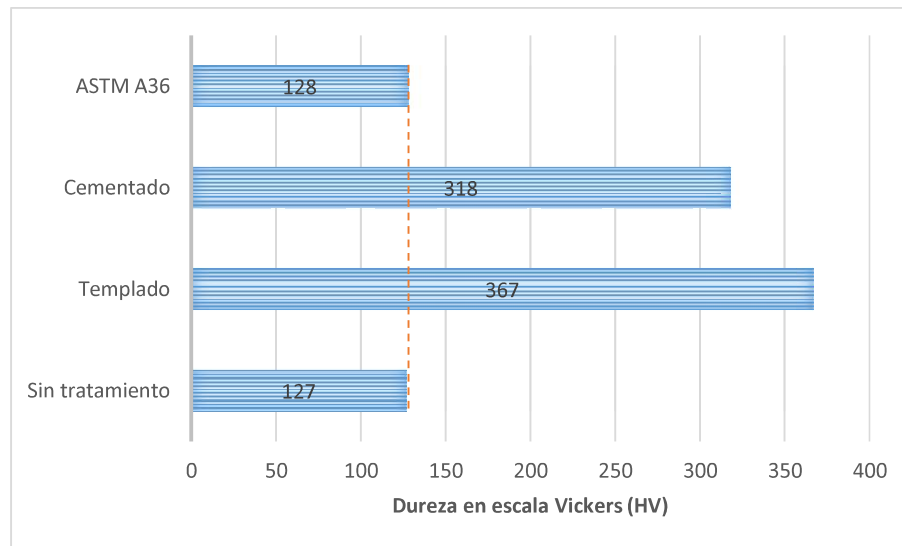


Figura 3.11. Comparación de dureza, aceros estudiados vs norma ASTM A36.

### 3.3.2. Ensayo de flexión

Para este ensayo se utilizó la norma ASTM A438, donde se ensayaron 2 probetas por cada material aplicando una carga central. En la tabla 3.4 se muestran los resultados obtenidos para ensayo de flexión en los aceros A36 sin tratamiento y tratados térmicamente.

Tabla 3.4. Resultados de ensayo de flexión.

Acero A36: Sin tratamiento						
Probetas	Base prom.	Altura prom.	Carga máx.		Resistencia a la flexión	
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa
1	26,35	5,96	582,00	2.588,00	108,30	746,60
2	26,34	5,96	577,00	2.494,00	102,10	703,95

Acero A36: Templado						
Probetas	Base prom.	Altura prom.	Carga máx.		Resistencia a la flexión	
	mm	mm	lbf	N	Ksi	MPa
1	30,59	5,97	2.246,00	9.992,00	319,00	2.199,00
2	30,52	5,98	1.947,00	8.661,00	276,20	1.905,00

Acero A36: Cementado						
Probetas	Base prom.	Altura prom.	Carga máx.		Resistencia a la flexión	
	mm	mm	Lbf	N	ksi	MPa
1	30,76	5,98	2.047,00	9.104,00	288,10	1.987,00
2	30,61	5,99	1.972,00	8.772,00	278,50	1.920,00

A continuación, en la tabla 3.5 se presenta un promedio de los resultados de flexión en base a la tabla 3.4.

Tabla 3.5. Resumen de resultados para el ensayo de flexión.

RESUMEN DE RESULTADOS ENSAYO DE FLEXION						
Acero	Base prom.	Altura prom.	Carga máx. prom.		Resistencia a la flexión prom.	
	mm	mm	lbf	N	Ksi	MPa
Normal	26,35	5,96	582,00	2.588,00	108,30	746,60
Templado	30,56	5,98	2.096,50	9.326,50	297,60	2.052,00
Cementado	30,69	5,99	2.009,50	8.938,00	283,30	1.953,50

En la figura 3.12 se muestra las probetas de los aceros A36 sin tratamiento térmico, templado y cementado respectivamente sometidas al ensayo de flexión.



Figura 3.12. Probetas flexionadas. a) acero A36 sin tratamiento, b) acero A36 templado, c) acero A36 cementado.

### 3.3.3. Ensayo de doblado

Para este ensayo se utilizó la norma ASTM E290, donde se ensayó una probeta por cada material aplicando una carga central, En la tabla 3.6 se muestra los resultados obtenidos para ensayo de doblado en probetas de acero A36 sin tratamiento y tratado térmicamente.

Tabla 3.6. Resultados de ensayo de doblado.

Probeta	Acero A36: sin tratamiento	Acero A36: templado	Acero A36: cementado
1	No se observan discontinuidades en la probeta.	Se observa fractura total de la probeta.	Se observa fractura total de la probeta.
2	No se observan discontinuidades en la probeta.	Se observa fractura total de la probeta.	Se observa fractura total de la probeta.
3	No se observan discontinuidades en la probeta.	Se observa fractura total de la probeta.	Se observa fractura total de la probeta.

### 3.3.4. Ensayo de tracción

La tabla 3.7 muestra los resultados del ensayo de tracción en los aceros A36 sin tratamiento y tratados térmicamente, además de dos juntas soldadas con acero A36 cementado como material base.

Tabla 3.7. Resultados de ensayos de tracción para los aceros sin tratamiento, templado, cementado y junta soldada.

Probeta	Ancho prom.	Espesor prom.	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
1 sin tratamiento	19,37	6,02	12.559,00	55.866,00	69,50	478,90	28,30
2 sin tratamiento	19,39	6,01	11.551,00	51.383,00	64,00	440,80	37,60
3 sin tratamiento	19,43	6,00	11.408,00	50.744,00	63,10	435,00	39,90
4 sin tratamiento	19,46	6,00	12.605,00	56.071,00	69,70	479,60	28,30
1 templado	19,48	6,00	29.610,00	131.710,00	163,40	1.128,90	4,30
2 templado	19,51	6,00	27.489,00	122.275,00	151,50	1.046,40	1,60
3 templado	19,45	6,01	29.919,00	130.870,00	165,30	1.141,50	1,90
4 templado	19,44	6,02	32.432,00	144.266,00	178,80	1.235,00	2,20
1 cementado	19,49	6,04	29.967,00	133.300,00	164,20	1.134,00	3,00

2 cementado	19,52	6,09	31.170,00	138.650,00	169,20	1.168,00	2,00
1 junta soldada	38,58	5,91	27.370,00	124.268,00	79,00	545,00	-
2 junta soldada	38,39	5,94	25.326,00	112.656,00	71,70	494,00	-

Se presentan las gráficas de esfuerzo-deformación de las probetas traccionadas de acero A36 sin tratamiento y tratado térmicamente en las figuras 3.13 - 3.15.

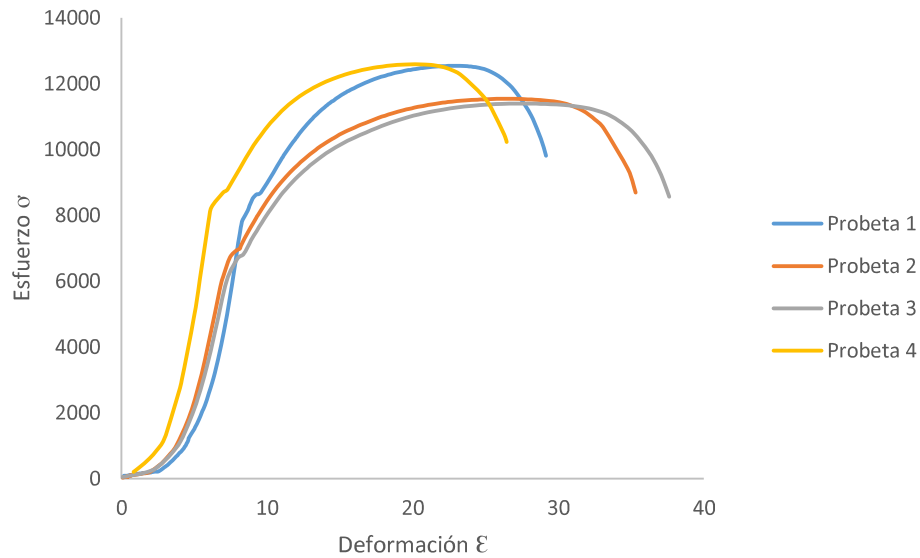


Figura 3.13. Esfuerzo deformación del acero A36 sin tratamiento.

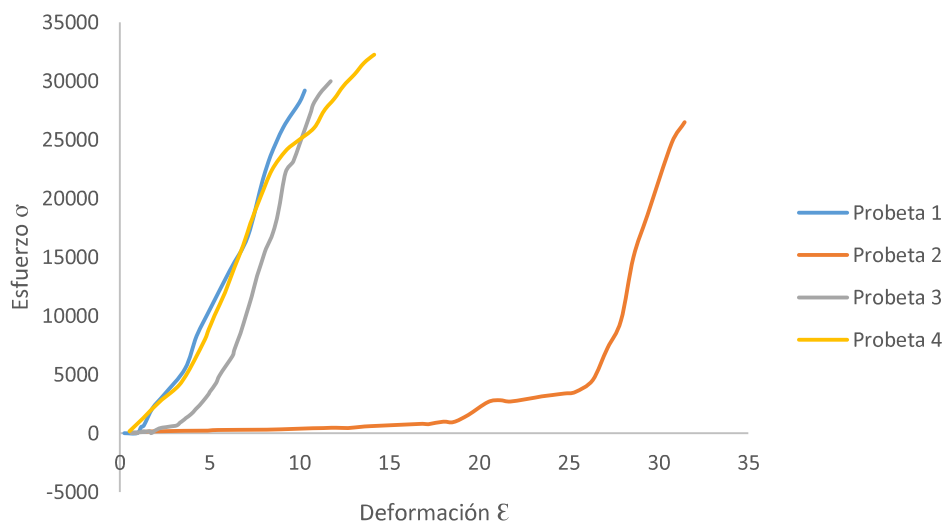


Figura 3.14. Esfuerzo deformación del acero A36 templado.

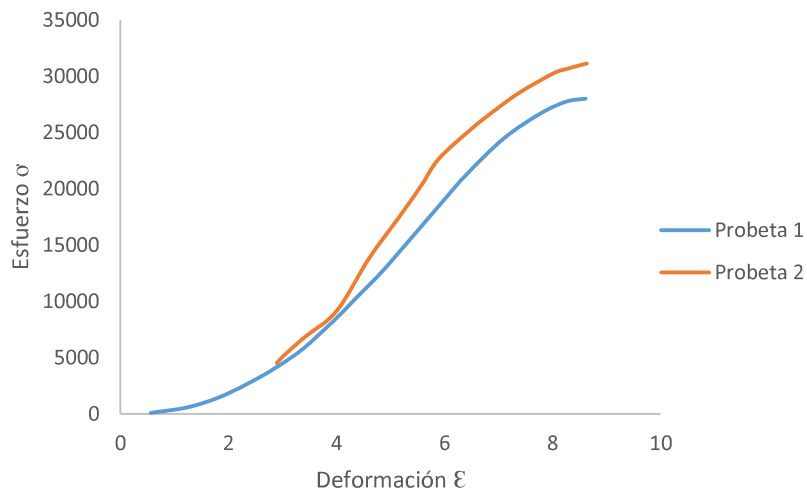


Figura 3.15. Esfuerzo deformación del acero A36 cementado.

La figura 3.16 muestra las probetas de los aceros A36 sin tratamiento térmico, templado y cementado respectivamente sometidas al ensayo de flexión.



Figura 3.16. Probetas traccionadas. a) acero A36 sin tratamiento, b) acero A36 templado, c) acero A36 cementado.

La tabla 3.8 muestra un resumen de los valores promedio de resistencia a la tracción y carga máxima con base en la tabla 3.7.

Tabla 3.8. Promedios de carga máxima y resistencia a la tracción.

Probeta	Ancho prom.	Espesor prom.	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
Promedio sin tratamiento	19,41	6,00	12.030,75	53.516,00	66,58	458,75	33,53
Promedio templado	19,47	6,00	29.862,50	102.834,50	164,75	1137,95	2,50

Promedio cementado	19,51	6,01	30.568,50	135.975,00	166,70	1.151,00	2,50
Promedio junta soldada	38,49	5,93	26.348,00	118.462,00	75,35	519,50	-

### 3.4. Ensayo de desgaste

Se presenta los resultados en las secciones 3.4.1 – 3.4.3 de tres ensayos realizados a diferentes velocidades en el disco y cargas en la probeta cilíndrica (pin).

#### 3.4.1. Ensayo 1

Al realizar los ensayos de desgaste a las probetas de acero A36 sin tratamiento térmico, templado y cementado a una velocidad de 100rpm y una fuerza de 10N, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Resultados de desgaste en probetas ensayadas a 100rpm y 10N.

Probetas cilíndricas ensayo N° 1					Vel (RPM)	100
					Fuerza (N)	10
Acero	Normal	$\Delta d$ (mm)	Templado	$\Delta d$ (mm)	Cementado	$\Delta d$ (mm)
N°	tiempo (s)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)
0	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	0,00
1	30,00	5,72	0,28	5,88	0,12	0,25
2	60,00	5,67	0,33	5,63	0,37	0,41
3	90,00	5,63	0,37	5,51	0,49	0,43
4	120,00	5,50	0,50	5,42	0,58	0,54
5	150,00	5,39	0,61	5,32	0,68	0,71
6	180,00	5,27	0,73	5,25	0,75	0,77
7	210,00	5,18	0,82	5,17	0,83	0,83
8	240,00	5,07	0,93	5,11	0,89	0,90
9	270,00	4,98	1,02	5,05	0,95	0,95
10	300,00	4,90	1,10	5,00	1,00	0,99

En la figura 3.16 se muestra el grafico de tendencia de desgaste de los datos obtenidos en la tabla 3.9 para los aceros A36 sin tratamiento térmico y tratado térmicamente.



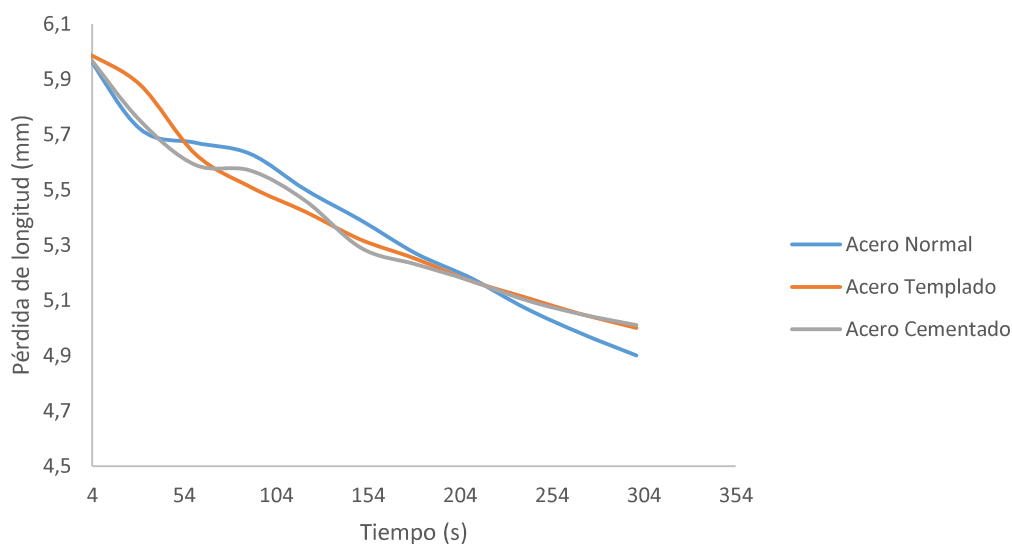


Figura 3.17. Curvas de desgaste a 100rpm y 10N para los aceros sin tratamiento, templado y cementado.

### 3.4.2. Ensayo 2

Los resultados de los ensayos de desgaste de las probetas de acero A36 sin tratamiento térmico, templado y cementado a 150 rpm y 15N de fuerza, se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Resultados de desgaste en probetas ensayadas a 150rpm y 15N

Probetas cilíndricas ensayo N° 2				Vel (RPM)		150	
				Fuerza (N)		15	
Acero	Normal	$\Delta d$ (mm)	Templado	$\Delta d$ (mm)	Cementado	$\Delta d$ (mm)	
N° tiempo (s)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)
0	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00
1	30,00	5,59	0,41	5,58	0,42	5,63	0,37
2	60,00	5,28	0,72	5,38	0,62	5,45	0,55
3	90,00	5,14	0,86	5,25	0,75	5,30	0,70
4	120,00	4,99	1,01	5,12	0,88	5,21	0,79
5	150,00	4,87	1,13	5,03	0,97	5,13	0,87
6	180,00	4,77	1,23	4,96	1,04	5,07	0,93
7	210,00	4,67	1,33	4,91	1,09	5,00	1,00
8	240,00	4,58	1,42	4,84	1,16	4,95	1,05
9	270,00	4,48	1,52	4,80	1,20	4,91	1,09
10	300,00	4,42	1,58	4,76	1,24	4,88	1,12

En la figura 3.17 se muestra el grafico de tendencia de desgaste de los datos obtenidos en la tabla 3.10 para los aceros A36 sin tratamiento térmico y tratado térmicamente.

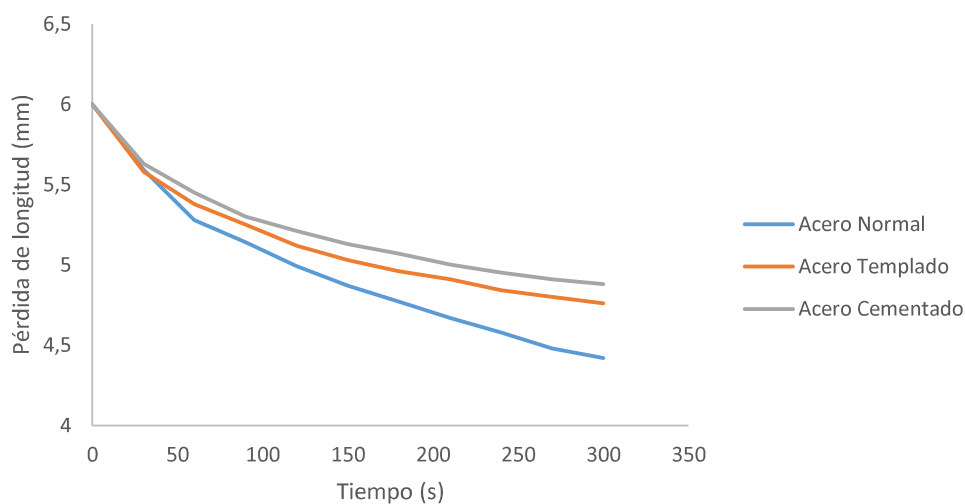


Figura 3.18. Curvas de desgaste a 150rpm y 15N para los aceros sin tratamiento, templado y cementado.

### 3.4.3. Ensayo 3

Los resultados de los ensayos de desgaste a las probetas de acero A36 sin tratamiento térmico, templado y cementado a 200rpm y 20N de fuerza, se muestran en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Resultados de desgaste en probetas ensayadas a 200rpm y 20N.

Probetas cilíndricas ensayo N° 3				Vel (RPM) 200		Fuerza (N) 20	
Acero	Normal	$\Delta d$ (mm)	Templado	$\Delta d$ (mm)	Cementado	$\Delta d$ (mm)	
N°	tiempo (s)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)	dist. (mm)
0	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00	6,00	0,00
1	30,00	5,55	0,45	5,56	0,44	5,60	0,40
2	60,00	5,20	0,80	5,32	0,68	5,37	0,63
3	90,00	4,99	1,01	5,17	0,83	5,20	0,80
4	120,00	4,81	1,19	5,06	0,94	5,08	0,92
5	150,00	4,64	1,36	4,97	1,03	5,01	0,99
6	180,00	4,49	1,51	4,87	1,13	4,94	1,06
7	210,00	4,37	1,63	4,78	1,22	4,82	1,18
8	240,00	4,23	1,77	4,71	1,29	4,75	1,25
9	270,00	4,13	1,87	4,65	1,35	4,70	1,30
10	300,00	3,99	2,01	4,58	1,42	4,64	1,36

En la figura 3.18 se muestra el gráfico de tendencia de desgaste de los datos obtenidos en la tabla 3.10 para los aceros A36 sin tratamiento térmico y tratado térmicamente.

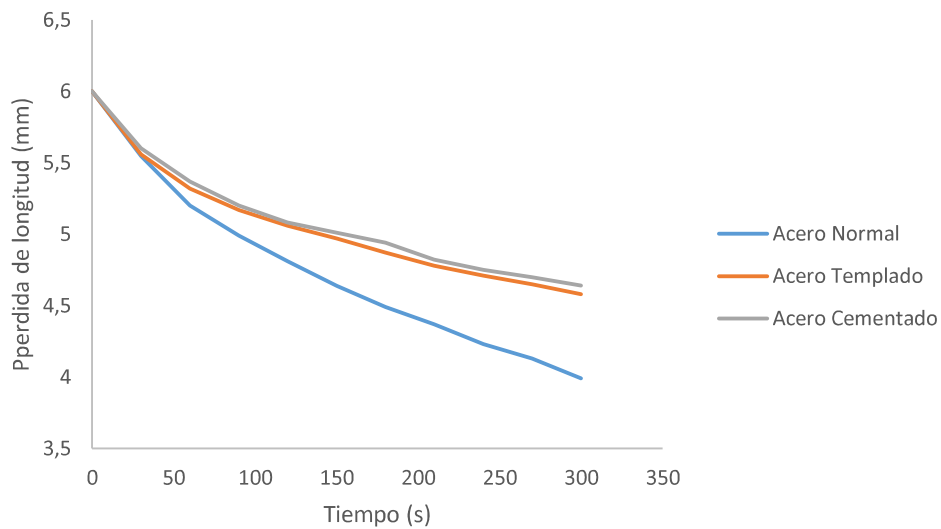


Figura 3.19 Curvas de desgaste a 200 rpm y 20 N para los aceros sin tratamiento, templado y cementado.

### 3.5. Tendencia experimental de desgaste de un tanque mezclador de hormigón

El tanque mezclador de hormigón de un mixer de la empresa UNICON está en constante desgaste por abrasión debido a los componentes del hormigón (piedra, arena, cemento), por esta razón la vida útil aproximada de estos tanques esta entre los 4 a 5 años con una producción de 7.500 m<sup>3</sup> de hormigón por año. Cuando el espesor de la chapa esta entre 2 a 2,5 mm se debe reforzar o cambiar el tanque debido al alto riesgo de falla que esto significa. Se ha realizado una medición durante 3 meses con un intervalo de 15 días del camión N° 51 de la empresa UNICON el mismo que está fabricado con plancha de acero A36 plancha de 6mm. (Unicon, 2019). Todas las mediciones fueron efectuadas con un medidor de espesores marca: Demeq (figura 3.20).



Figura 3.20. Equipo para medición de espesores.  
(Fuente: Propia)

En todo el tiempo de medición el mixer transportó y mezcló 1.517 m<sup>3</sup> de hormigón. A continuación, se muestra las zonas de desgaste del tanque mezclador (Figura 3.21) y los resultados que arrojó el experimento mostrados en las figuras 3.22 – 3.24.

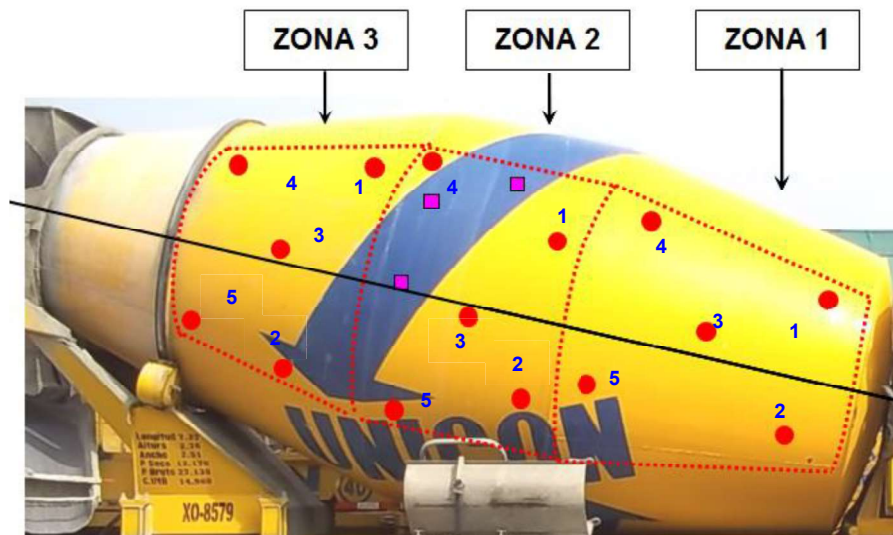


Figura 3.21. Zonas de desgaste de un tanque mezclador de hormigón.  
(Fuente: Propia)

### Zona 1

La zona 1 del tanque mezclador de hormigón se ubica en la parte baja del camión mixer, los resultados se muestran en la figura 3.22.

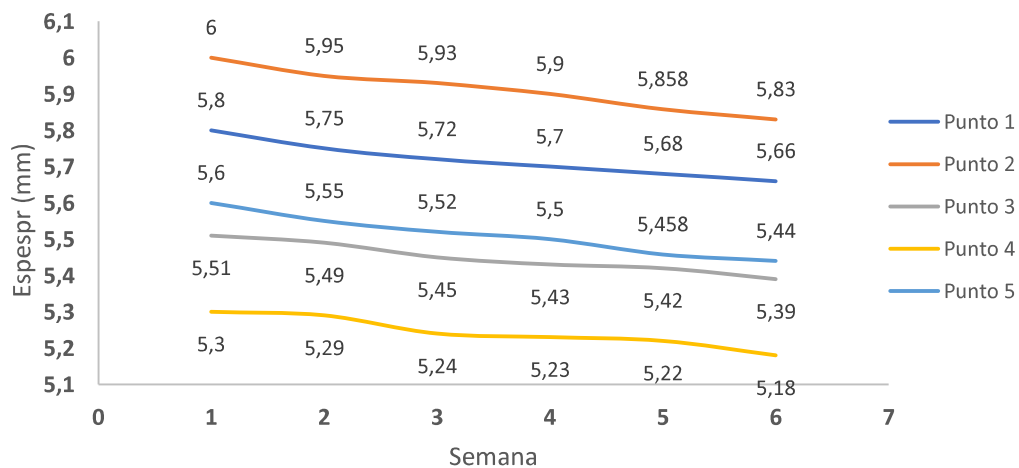


Figura 3.22. Tendencia de desgaste en la zona 1 del tanque mezclador de hormigón.

### Zona 2

La zona 2 es la parte intermedia del tanque mezclador de hormigón, los resultados se muestran en la figura 3.23.

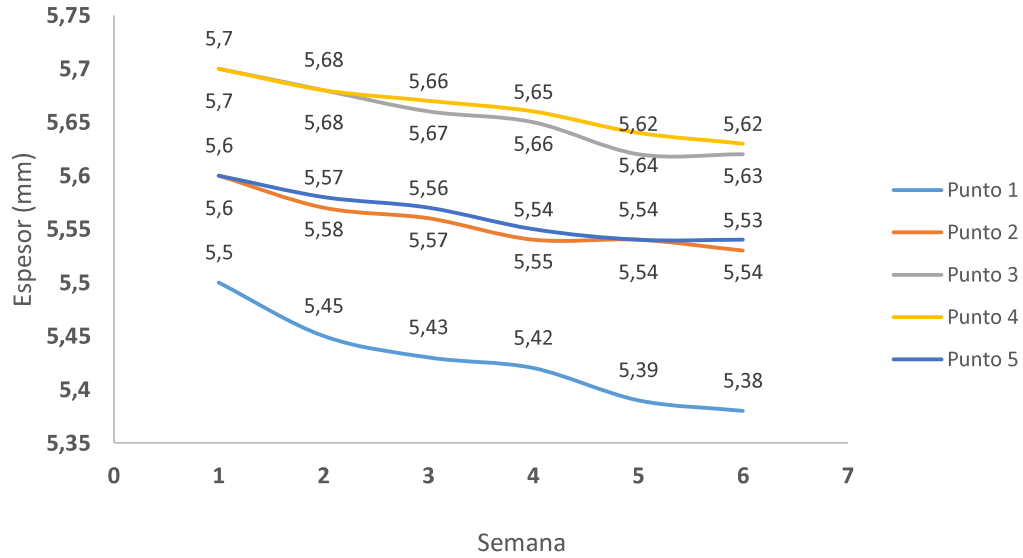


Figura 3.23. Tendencia de desgaste en la zona 2 del tanque mezclador de hormigón.

### Zona 3

La zona 3 es la más alta y corresponde a la entrada y salida del hormigón, se presenta los resultados en la figura 3.24.

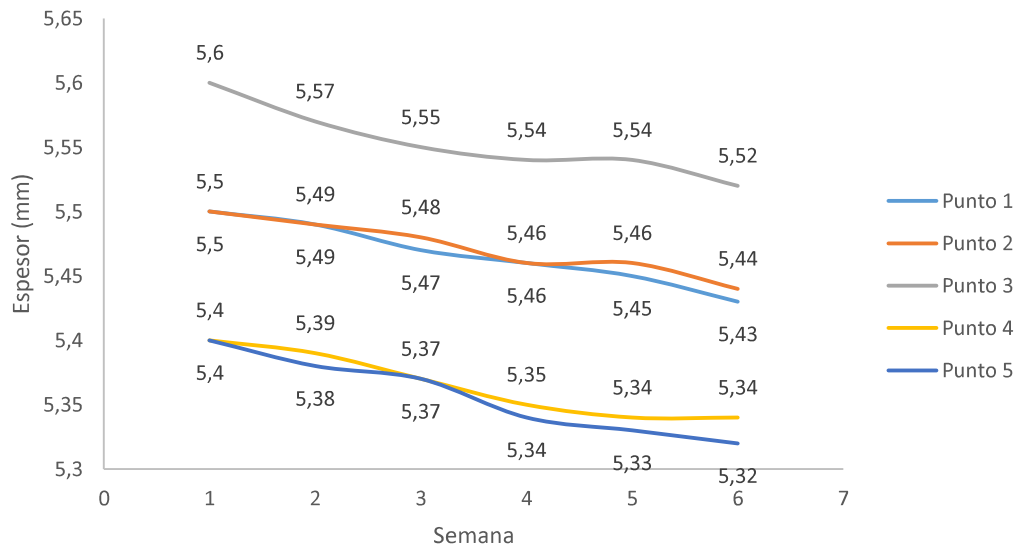


Figura 3.24. Tendencia de desgaste de la zona 3 del tanque mezclador de hormigón.

En la tabla 3.12 se muestra el detalle de las mediciones de espesor en la chapa del tanque mezclador de hormigón de la empresa UNICON.

Tabla 3.12. Mediciones de espesor del tanque mezclador de la empresa UNICON.

Tabla 3.13. Mediciones de espesor del tanque mezclador de UNICON

	Zona 1					Zona 2					Zona 3					Desv.	
	N°	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		5
semana	1	5.80	6.00	5.51	5.30	5.60	5.50	5.60	5.70	5.70	5.60	5.50	5.50	5.60	5.40	5.40	0.17
	2	5.75	5.95	5.49	5.29	5.55	5.45	5.57	5.68	5.68	5.58	5.49	5.49	5.57	5.39	5.38	0.16
	3	5.72	5.93	5.45	5.24	5.52	5.43	5.56	5.66	5.67	5.57	5.47	5.48	5.55	5.37	5.37	0.17
	4	5.70	5.90	5.43	5.23	5.5	5.42	5.54	5.65	5.66	5.55	5.46	5.46	5.54	5.35	5.34	0.17
	5	5.68	5.85	5.42	5.22	5.46	5.39	5.54	5.62	5.64	5.54	5.45	5.46	5.54	5.34	5.33	0.16
	6	5.66	5.83	5.39	5.18	5.44	5.38	5.53	5.62	5.63	5.54	5.43	5.44	5.52	5.34	5.32	0.16
Desv.	0.05	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03		

### 3.6. Rolado mecánico

En las siguientes páginas se muestran el resultado experimental del rolado que se realizó al acero A36 con tratamiento térmico y sin tratamiento, esta prueba se realizó en las instalaciones de la empresa UNICON ECUADOR, con una roladora manual mostrada en la Figura 2.9 , las “probetas” tienen dimensiones de 40 x 15 cm.



Figura 3.25. Placa de acero A36 templado.





Figura 3.26. Placa de acero A36 cementado.



Figura 3.27. Placa de acero A36 sin tratamiento.

En la Figura 3.28 se muestra la comparación de las tres “probetas” roladas para el acero A36 sin tratamiento y tratado térmicamente.



Figura 3.28. Comparación de placas roladas.

### **3.7. Discusión de resultados**

En las secciones 3.7.1 a 3.7.5 se presenta un análisis de los resultados obtenidos en la sección 3.1 - 3.6 realizados en el acero A36 sin tratamiento térmico y tratado térmicamente.

#### **3.7.1. Análisis de composición química**

En la figura 3.10 se muestra un comparativo de la composición química del acero A36 con la norma ASTM A36, en el cual se puede observar que el %C en el acero A36, es de 0,203%, el cual es típico para aceros comerciales, y al compararlo con el de la norma ASTM A36, (0,25% C), se puede observar una diferencia del 0,047%, la misma que está en el porcentaje tolerable según dicha norma.

El %C en el acero A36 motivo de investigación es idóneo para realizar tratamiento térmico de temple y obtener una estructura dura y resistente, siendo un acero estructural tiene un contenido medio de carbono, con alta elasticidad, baja dureza y fácil mecanizado antes de ser sometido a tratamientos térmicos.

El contenido de Mn para un acero comercial se encuentra normalmente entre 0,03% - 1,1%, el caso del acero A36 bajo estudio tiene un contenido de 0,644%Mn, y se puede ver que se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma ASTM A-36 (0,6% - 1,25% Mn) lo que ofrece la característica de aumentar la templabilidad, niveles superiores de contenido de Mn producen un acero austenítico que es resistente al desgaste y la abrasión (Bramfitt & Benschoter, 2002).

El contenido de Cu encontrado, en el acero A36, (0,023%Cu), no puede ser eliminado del acero en procesos de siderurgia, sin embargo está por debajo del %Cu permitido según ASTM A36, (0,2% máx.), su presencia en aceros comerciales es producto de la falta de la separación del mismo, del acero en procesos de chatarrización.

El %Si por su parte (0,06%) en el acero A36 está por debajo de lo que exige la norma ASTM A36 (máximo de Silicio 0,4%). El contenido de Si observado 0,06% es propio de aceros que han sido laminados que, en cantidades pequeñas (menores a 0,015%), al disolverse con el Fe, mejoran la resistencia a la fatiga y la rotura sin disminuir mucho la ductilidad. El %Si en el acero A36, (0,05% comúnmente), es propio de aceros comerciales (0,05%-0,3% de Si) y aporta resistencia a la fatiga y rotura.



Respecto al contenido de S, para el acero A36 (0,003%), es menor al especificado por la norma ASTM A36 (al 0,05%), este valor de 0,05%S es el máximo valor recomendado en aceros para evitar problemas asociados con el excesivo contenido de inclusiones (DeGarmo, Khoser, & Temple, 202).

### **3.7.2. Análisis metalográfico**

De acuerdo con las metalografías obtenidas en el acero A36 sin tratamiento térmico, figura 3.1, se observa una serie de inclusiones no metálicas, y la presencia de sulfuros de manganeso en toda la superficie e impurezas propias del material, posteriormente con una ampliación a 500x, (figura 3.2), se puede apreciar la microestructura de un acero ferrítico perlítico con grano equiaxial, que corresponden a un acero típico, con contenido medio de carbono (Metals Handbook volumen 09 cap. 3, figura 1), además la ferrita no presenta ningún tipo de ordenamiento.

En la inspección metalográfica de los aceros A36 templados, fueron austenizados a 850°C y enfriados en agua a 60°C, posteriormente sometido a un proceso de revenido a 600°C (Aceros Bohler S.A. quito), (figura 3.3 con ampliación en las figuras 3.4 y 3.5), mismas que están acorde a Metals Handbook, Vol 09, fig.107, en las que muestran una estructura martensítica tipo pluma orientada al azar en toda la superficie del material. La martensita es una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa  $\alpha$  y se obtiene por enfriamiento muy rápido de los aceros, una vez elevada su temperatura lo suficiente para conseguir su constitución austenítica. El enfriamiento abrupto no permite la homogeneidad de la microestructura y no da parte al crecimiento de grano, lo que produce un aumento de dureza, resistencia mecánica y fragilidad del material.

La cementación del acero A36 se produce en sales químicas durante 3 horas, la penetración de cementación prevista era de 1 a 1,5 mm (Aceros Bohler). Sin embargo, en la figura 3.6, se muestra claramente la interfase entre la capa cementada y el centro de la probeta, en la que se distingue martensita y ferrita fina. La capa de carburado es más dura que todo el resto del acero A36 debido a que se añadió carbono a la estructura superficial del acero mejorando su resistencia mecánica a la abrasión y al desgaste, pero con mayor dureza y fragilidad.

### **Análisis de soldadura**

La micrografía, presenta en la figura 3.8, los cordones de soldadura, la fusión completa del material base cementado y el material de aporte, electrodo celulítico E-6011. En la macrografía (figura 3.9) se observa el primer pase, con una fusión uniforme de material, también se distingue la presencia de escoria debido a la falta de limpieza en el pase de raíz, en la zona afectada por el calor existe la presencia de escoria.

La muestra ha sido sometida a un ataque químico con nital al 10%, donde se revela una diferencia en la microestructura del material base, y material de aporte, se presenta una fusión adecuada y una distribución de perlita y ferrita a lo largo de la línea de cambio de estructura entre ambos materiales.

### **3.7.3. Comportamiento mecánico**

En la figura 3.11 se compara la dureza promedio en escala Vickers, claramente se observa que el acero templado tiene una mayor dureza que el acero cementado y el acero sin tratamiento térmico. Si se compara el acero templado con el acero cementado el primero excede en un 13,35%, la dureza del segundo, la comparación del acero templado con el acero normal indica que existe un incremento del 65.4% de dureza, lo que concluye positivamente en el resultado deseado, el acero A36 templado y cementado superan fácilmente en dureza al acero A36 sin tratamiento, siendo el acero templado el más duro.

Al realizar un tratamiento térmico de templado la microestructura del acero cambió de austenita a martensita. La martensita del acero al carbono es una fase metaestable formada por una solución sólida (Smith,1988). La dureza y resistencia de la estructura martensítica están relacionadas directamente con su contenido en carbono y aumenta con él, sin embargo, la ductilidad y tenacidad también disminuyen a medida que aumenta el contenido de carbono. En este caso se tiene un material de grano fino (figura 3.3) el cual es más duro y resistente que un material de grano grueso, este último tendrá más bordes de grano donde se acumularán más tensiones. Por todo lo dicho anteriormente se verifica que la dureza es inversamente proporcional al tamaño de grano.

Analizando los resultados del ensayo de flexión se tiene que las probetas de acero A36 templado son las que presentan mayor resistencia a la flexión con 2.199 MPa (tabla 3.4), seguido del acero cementado con 1.987 MPa y por último el acero sin tratamiento térmico con 746 MPa. La figura 3.12a, muestra una probeta de acero A36 ensayada, que presenta una deformación permanente producto de la carga aplicada. Las figuras 3.12b y 3.12c,

muestran la fractura de las probetas de acero templado y cementado respectivamente, donde no existe deformación en la probeta, sino una falla total; que se presenta a la carga máxima cuando la resistencia a la tensión y la resistencia a la ruptura son iguales, comportamiento propio de materiales frágiles (Avner, S. 1995).

La figura 3.16, muestra el resultado del ensayo de tracción en acero A36 sin tratamiento térmico, templado y cementado respectivamente, en la figura 3.16a se puede ver un ecuellamiento y reducción del área antes de la falla, mientras que el acero A36 templado y cementado (figuras 3.16b y 3.16c), no presentan reducciones de área, pero si rotura que se produce a la carga máxima. Los valores de carga mostrados en la tabla 3.7, se corresponden a los establecidos en la norma ASTM A36, tabla 1.6.

Si se compara el promedio de la resistencia a la tracción tomados de la tabla 3.8 de los aceros tratados térmicamente con el acero normal, se observa que existe un incremento de más del 100% en la resistencia a la tracción, esto se debe a que los aceros han incrementado su dureza y por lo tanto aumenta su resistencia a la tracción ya que estos son indicadores de la resistencia de un metal a la deformación plástica. Por consiguiente, estas propiedades son, a grandes rasgos, proporcionales (Callister, 1998), tal como se muestra en la ecuación  $TS = 3,45 \times HB (MPa)$  en la que se establece relaciones de equivalencia de diferentes escalas de dureza con la resistencia a la tracción. Esto es de gran importancia debido a que, el hormigón es un material muy abrasivo y se necesita un acero duro y de difícil rotura para soportar las cargas que el hormigón infringe sobre el tanque mezclador.

El ensayo de doblado, cuyos resultados se presentan en la tabla 3.6, muestra que tanto el acero templado como cementado no pasan las pruebas de doblado basadas en la norma ASTM E290, ya que son muy frágiles, no resisten procesos de deformación en frío, lo que es un punto importante para la desestimación del acero A36 tratado térmicamente como sustituto en la fabricación de tanques mezcladores de hormigón.

Se muestra también en la tabla 3.7 un ensayo de tracción en una junta soldada con acero A36 cementado, y usando un electrodo E6011, electrodo comúnmente usado por la empresa UNICON en la fabricación de tanques mezcladores de hormigón, la resistencia a la tracción de la probeta soldada es similar a la del acero sin tratamiento, y esta se debe a que al momento de realizar la soldadura se produce un aumento de temperatura muy superior a la crítica, el tamaño de grano aumenta y el material se fragiliza (Giachino, J.

,2007), lo que produce que su resistencia a la tracción baje, por lo que la ruptura se da fuera del cordón de soldadura, a cargas de 494-545 Mpa, (ver tabla 3.7), este resultado se corresponde a la norma ASTM A36 (ver tabla 1.6), lo que indica que tiene buena soldabilidad ya que la resistencia máxima del electrodo es 410 MPa, por debajo del valor máximo alcanzado en los dos ensayos (tabla 3.7).

#### **3.7.4. Análisis de desgaste**

La figura 3.17 muestra las curvas de desgaste para el acero A36 sin tratamiento y tratado térmicamente con una velocidad de 100 rpm y una carga de 10N, la curva del acero A36 sin tratamiento muestra claramente que éste sufre mayor desgaste llegando a un valor final de 4,9 mm lo que significa que ha perdido 1,1 mm de espesor, el acero A36 templado y cementado, convergen en un valor similar, 5 mm aprox., perdiendo 1 mm de espesor.

La figura 3.18 con cargas de 15 N y 150 rpm y la figura 3.19, con 20N y 200 rpm, presentan un comportamiento similar, donde, el acero cementado es el que presenta una mayor resistencia al desgaste porque la dureza está ligada directamente a la resistencia a la abrasión, se puede verificar este principio ya que, un material duro tiende a rayar al material más suave o menos duro, en este caso el cerámico provoca un mayor desprendimiento de material en el acero A36 sin tratamiento térmico evidenciado en las figuras 3.17-3.19.

#### **Tendencia experimental de desgaste**

Se puede observar que el comportamiento de los datos es similar en todos los meses, (figuras 3.22, 3.23 y 3.24) pues todas las gráficas tienen tendencias similares e incluso existen algunas que se intersecan en un punto como se observa en las figuras 3.23 y 3.24 ya que las mediciones fueron realizadas cada 15 días y en algunas ocasiones se encontraba el mismo espesor de la placa en el tanque mezclador.

El promedio de desgaste en seis semanas en la zona 1 es de 0,142 mm, zona 2 es 0,08 mm y en la zona 3 es 0,07mm como se observa en la tabla 3.12, en la misma tabla se muestra la desviación estándar de los resultados obteniendo valores menores a 1 lo que significa que la variación de los datos es baja. Ahora si se analiza el desgaste por zonas, se observa que la zona 3 y 2 existe un desgaste muy similar, en la zona 1 tiene el doble de desgaste que las zonas antes mencionadas, estos resultados se deben a la configuración del tanque mezclador, ya que en la zona 1 es donde se tiene más contacto

con el hormigón, mientras que las zonas 2 y 3 el hormigón tiene contacto cuando el mixer carga o descarga lo que provoca menor desgaste.

Si se promedia el desgaste de las tres zonas, se puede establecer que la tendencia de desgaste en un mes es de 0,097 mm, este valor está supeditado a los metros cúbicos de hormigón mezclado y transportado, pero es un indicador para proyectar el tiempo de vida útil de un tanque mezclador que con el desgaste antes mencionado puede llegar a una duración de 4 años aproximadamente.

### **3.7.5. Análisis de rolado**

En última instancia, el rolado del acero A36, es un proceso crucial en la fabricación de tanques mezcladores de hormigón. Se ha logrado probar que el acero A36 mediante procesos de temple y cementación, desencadena una serie de características idóneas para este propósito. Sin embargo, no permite procesos de deformación en frío, como se pudo observar al usar probetas de acero A36 templado y cementado (figura 2.8), para verificar si al incrementar sus tamaños el acero cumplía con la geometría necesaria para la construcción de un tanque mezclador de hormigón.

En la figura 3.25 se muestra el rolado de la placa de acero A36 templado, la cual, muestra que el acero se rola formando un arco, hasta tener una medida entre punta de 390 mm, no suficiente para la fabricación de tanques mezcladores de hormigón. La placa de acero A36 cementado no permite procesos de rolado, figura 3.26. Esto provoca una desestimación total del acero A36 con tratamiento térmico como sustituto para la fabricación de tanques mezcladores de hormigón para la empresa UNICON, por otro parte la ductilidad que permite el acero A36 templado en el proceso de rolado, lo hace ideal como refuerzo en zonas críticas de desgaste en el tanque mixer a manera de parches como última solución para aplacar el desgaste producido por el hormigón sobre éste.

En la figura 3.28 se compara el rolado de los tres aceros y como muestra la imagen el acero normal es mucho más deformable seguido del acero templado que si bien no alcanza a rolarse a la medida adecuada (34 cm) para fabricar un tanque mezclador de hormigón, puede utilizar como refuerzo dentro del mismo.

### 3.8. Validación del material

En validación del material para la construcción de tanques mezcladores de hormigón se toma en cuenta los siguientes parámetros: dureza, resistencia al desgaste, doblado, rolado del material y soldabilidad, ya que son lo que proporcionan las condiciones para que el material soporte y funcione de acuerdo con la necesidad.

Tabla 3.13. Validación del material para la construcción de tanques mezcladores de hormigón

Parámetros	Acero			
	Templado		Cementado	
	Cumple	No cumple	Cumple	No cumple
<b>Dureza</b>	X		X	
<b>Resistencia al desgaste</b>	X		X	
<b>Doblado</b>		X		X
<b>Soldabilidad</b>	X		X	
<b>Rolado</b>		X		X

Como se puede observar en la tabla 3.13 tanto el acero cementado y templado cumplen con la mayoría de los parámetros para la construcción de tanques mezcladores de hormigón, la única condición que no se cumple es la del rolado, condición indispensable en la fabricación de estos tanques.

Ahora, ya que ninguno de los dos aceros se puede utilizar para la fabricación, el que mejor se adaptaría para utilizar como parches o refuerzos en el interior del tanque es el acero templado ya que se puede rolar parcialmente.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo se ha conseguido cumplir satisfactoriamente los objetivos específicos: caracterizar el acero A36, determinar si es o no posible usar el acero A36 tratado térmicamente, así como también comparar los resultados obtenidos en los ensayos entre aceros internacionales y el acero A36 tratado térmicamente.

- El balance de características mecánicas obtenido en los aceros tratados térmicamente los hace aptos para aplicaciones donde haya exigencia de resistencia al desgaste abrasivo.
- No es viable fabricar tanques para mezclado de hormigón a partir de acero ASTM-A36 tratado térmicamente debido a fragilidad y poca tenacidad que estos adquieren después del tratamiento.
- La resistencia al desgaste abrasivo del hormigón es similar para el acero A36 templado y cementado en la prueba realizada pin-lijá, lo que indica que dicha resistencia está ligada directamente a la dureza del material.
- Existen diferentes calidades de aceros que no se producen en el Ecuador, por lo que el desgaste producido por la mezcla de hormigón sobre el acero A36 del tanque es mayor con relación que en los tanques importados debido a que estos se fabrican en acero ASTM A572 o ASTM A514 que poseen mejores características mecánicas.
- Con los datos de la tendencia experimental de desgaste se concluye que la vida útil de un tanque mezclador de hormigón fabricado con acero A36 es de 4 años aproximadamente con una producción de 11.500 a 12.500 m<sup>3</sup> de hormigón.
- Se puede minimizar el desgaste producido sobre el acero A36 al tratarlo térmicamente, el endurecimiento de este le proporciona una mayor resistencia al desgaste, aunque dicha dureza a su vez perjudica la ductilidad del material no permitiendo que este soporte cargas perpendiculares a sus ejes principales, es decir no es posible el doblado ni rolado de las planchas de acero A36 tratadas térmicamente.

- El tratamiento térmico de cementación es ideal para aceros de bajo y medio contenido de carbono donde se requiere incrementar la dureza superficial, obteniendo así durezas de hasta 38 HRC
- La dureza de acero templado y cementado aumenta con el tratamiento térmico, estas durezas pasan por mucho a la dureza de los aceros internacionales (ASTM A514 y ASTM A572).
- Se puede soldar placas de acero templado a manera de parches en los lugares que sufran un mayor desgaste en el interior de tanque mezclador, de tal manera que se pueda minimizar el impacto que provoca el hormigón sobre el tanque.
- Para realizar los cortes en la placa es recomendable realizarlos con la cortadora de acero mediante chorro de agua a presión para evitar alterar su microestructura.
- En la soldabilidad del material, el cordón de raíz debe ser de excelente calidad, para evitar roturas o fallas en los ensayos de tracción.
- Los datos de la tendencia experimental de desgaste tienen muy poca variación por lo que es recomendable que el intervalo de toma de datos sea un tiempo mayor a 2 semanas.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASM International. (1985). *ASM Handbook, Metallography and Microstructures, Vol09*. ASM INTERNATIONAL.
- ASM International. (2004). *ASM Handbook, Metallography and microstructure6s*. Materials Park, OH: ASM INTERNATIONAL.
- ASTM International. (2010). *E8/E8M. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. West Conshohocken.
- ASTM INTERNATIONAL. (2016). *ASTM E18-17. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. West Conshohocken.
- ASTM INTERNATIONAL. (2016). *ASTM G99-17. Standard Test Methods for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2016). *ASTM A370. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2016). *ASTM E290. Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility*.
- ASTM INTERNATIONAL. (1997). *ASTM A438. Standard Test Method for Transverse Testing of Gray Cast Iron*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2014). *ASTM A514. Standard Specification for High-Yield-Strength Quenched and Tempered Alloy Steel Plate, Suitable for Welding*.
- ASTM INTERNATIONAL. (2014). *ASTM A514. Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel*
- SMITH, W., & JAVAD, H. (2006). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. México, D.F.: McGraw-Hill.

- ASKELAND, D. R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: International Thomson.
- AVNER, S. (1988). *Introducción a la Metalurgia Física (2 ed.)*. México D. F.: McGraw-Hill
- CALLISTER, W. D. (1996). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Barcelona: Reverte.
- KOSMATKA, S. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois.: Portland Cement Association.
- SERNA A., JARAMILLO A. Y ÁNGEL L. (2015). "Metalografía", Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- KALPAKJIAN, S., & SCHMID, S. R. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México.
- VALENCIA A. "Tecnología del tratamiento térmico de los metales" 2ª Edición. Colombia: Universidad de Antioquía, 1992
- Cementación, (2008). [En línea]. Recuperado de:  
<https://estudiyensayo.files.wordpress.com/2008/11/cementacion.pdf>
- TEMAS PARA LA ENSEÑANZA. Metalografía, (noviembre 2017). [En línea]. Recuperado de: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8732.pdf>
- MEDINA F. "Metalografía, fractografía y análisis in Situ". [En línea]. Recuperado de:  
<http://metalografiainsitu.blogspot.com/2010/04/metalografia-decobre.html>
- ALBA D. "Martensita". [En línea]. Recuperado de:  
<https://es.slideshare.net/brnabe/martensita>

# ANEXOS

## ANEXO I. Informe y resultados para los ensayos de tracción, flexión y doblado



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.00

### INFORME

LAEV – M18.011

Quito, 21 de noviembre de 2018

Solicitado por: M. Sc. Carlos Díaz  
Persona de contacto: Jonathan Hernández  
Teléfono:  
Correo: jondahh@hotmail.com  
Fecha de recepción: 29/10/2018  
Fecha de ejecución: 30/10/2018

ORDEN DE TRABAJO: N° N/A

1. MUESTRAS: Diez (10) probetas de acero para ensayo de tracción, cuatro (4) probetas de acero para ensayo de flexión y ocho (8) probetas de acero para ensayo de doblado.

#### 2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DEL ACERO ASTM A36 TRATADO TÉRMICAMENTE COMO SUSTITUTO PARA LA FABRICACIÓN DE TANQUES MEZCLADORES DE HORMIGÓN.

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras.

Id. cliente	Id. del LAEV
Sin tratamiento térmico T-1	M18.011.01
Sin tratamiento térmico T-2	M18.011.02
Sin tratamiento térmico T-3	M18.011.03
Sin tratamiento térmico T-4	M18.011.04
Acero templado T-5	M18.011.05

LAEV – M18.011

Página 1 de 4

Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)  
Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716  
Correo: laev@epn.edu.ec

Tabla 1. Identificación de las muestras (Continuación).

Acero templado T-6	M18.011.06
Acero templado T-7	M18.011.07
Acero templado T-8	M18.011.08
Acero cementado T-9	M18.011.09
Acero cementado T-10	M18.011.10
Sin tratamiento térmico D-1	M18.011.11
Sin tratamiento térmico D-2	M18.011.12
Sin tratamiento térmico D-3	M18.011.13
Sin tratamiento térmico D-4	M18.011.14
Acero templado D-5	M18.011.15
Acero templado D-6	M18.011.16
Acero cementado D-7	M18.011.17
Acero cementado D-8	M18.011.18
Acero templado D-9	M18.011.19
Acero templado D-10	M18.011.20
Acero cementado D-11	M18.011.21
Acero cementado D-12	M18.011.22

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura:  $26,0 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$

Humedad relativa:  $30,4 \pm 0,6\%$

### 4. ENSAYO DE TRACCIÓN

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de tracción.

Tabla 2. Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M18.011.01	19,37	6,02	12 559	55 866	69,5	478,9	28,3
M18.011.02	19,39	6,01	11 551	51 383	64,0	440,8	37,6
M18.011.03	19,43	6,00	11 408	50 744	63,1	435,0	39,9
M18.011.04	19,46	6,00	12 605	56 071	69,7	479,6	28,3
M18.011.05	19,48	6,00	29 610	131 710	163,4	1 128,9	4,3
M18.011.06	19,51	6,00	27 489	122 275	151,5	1 046,4	1,6
M18.011.07	19,45	6,01	29 919	133 087	165,3	1 141,5	1,9
M18.011.08	19,44	6,02	32 432	144 266	178,8	1 235,0	2,2
M18.011.09	19,45	6,00	29 917	133 078	165,4	1 142,4	1,8
M18.011.10	19,45	6,02	31 942	142 086	176,1	1 216,7	1,6

## 5. ENSAYO DE DOBLADO

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de doblado.

Tabla 3. Resultados del ensayo de doblado.

Identificación	Observaciones
M18.011.11	No se observan discontinuidades en la probeta.
M18.011.12	No se observan discontinuidades en la probeta.
M18.011.13	No se observan discontinuidades en la probeta.
M18.011.14	No se observan discontinuidades en la probeta.
M18.011.15	Se observa fractura total de la probeta.
M18.011.16	Se observa fractura total de la probeta.
M18.011.17	Se observa fractura total de la probeta.
M18.011.18	Se observa fractura total de la probeta.

## 6. ENSAYO DE FLEXIÓN

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de flexión. La distancia entre apoyos es de 160 mm.

Tabla 4. Resistencia a la flexión obtenida en el ensayo.

Id.	Base promedio	Altura promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la flexión	
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa
M18.011.19	30,59	5,97	2 246	9 992	319,0	2 199
M18.011.20	30,52	5,98	1 947	8 661	276,2	1 905
M18.011.21	30,76	5,98	2 047	9 104	288,1	1 987
M18.011.22	30,61	5,99	1 972	8 772	278,5	1 920

**Nota.-** Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV).

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:		
Nombre:	Ing. Jonathan Castro. M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamín
Cargo:	TÉCNICO DOCENTE	JEFE
LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		



**ANEXO II.** Informe y resultados para ensayos de tracción en probetas cementadas y junta soldada



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA**  
**MECÁNICA**



**LABORATORIO DE ANÁLISIS**  
**DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**

F01-PE-LAEV-01 Rev.00

**INFORME**

LAEV – M19.033

Quito, 12 de marzo de 2019

Solicitado por: M. Sc. Carlos Díaz  
Persona de contacto: Jonathan Hernández  
Teléfono: 0992929037  
Correo: jondahh@hotmail.com  
Fecha de recepción: 08/03/2019  
Fecha de ejecución: 11/03/2019

ORDEN DE TRABAJO: N° N/A

1. **MUESTRAS:** Dos (2) probetas de acero para ensayo de tracción, dos (2) probetas de junta soldada para ensayo de tracción y una (1) probeta de acero para ensayo de flexión.

2. **GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:**

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

**Título de la tesis:** ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DEL ACERO ASTM A36 TRATADO TERMICAMENTE COMO SUSTITUTO PARA LA FABRICACIÓN DE TANQUES MEZCLADORES DE HORMIGÓN.

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras.

Id. cliente	Id. del LAEV
Acero Cementado C-1	M19.033.01
Acero Cementado C-2	M19.033.02
Junta Soldada S-1	M19.033.03
Junta Soldada S-2	M19.033.04
Acero sin tratamiento F-1	M19.033.05

LAEV – M19.033

Página 1 de 3

Dirección: Av. Mena Caamaño e Isabel la Católica Esquina (Escuela Politécnica Nacional)  
Teléfono: 022976300 ext. 3715, 3716  
Correo: laev@epn.edu.ec

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura:  $26,0 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$

Humedad relativa:  $30,4 \pm 0,6\%$

### 4. ENSAYO DE TRACCIÓN EN MATERIAL BASE

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de tracción.

Tabla 2. Resistencia a la tracción obtenida en el ensayo.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M19.033.01	19,49	6,04	29 967	133 300	164,2	1 134	3,0
M19.033.02	19,52	6,09	31 170	138 650	169,2	1 168	2,0

### 5. ENSAYO DE TRACCIÓN EN JUNTAS SOLDADAS

En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de tracción.

Tabla 3. Resistencia a la tracción obtenida en las juntas soldadas.

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		Obs.
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M19.033.03	38,58	5,91	27 37	124 268	79,0	545,0	FZAC
M19.033.04	38,39	5,94	25 326	112 656	71,7	494,0	FZAC

\*Falla en la zona afectada por el calor

### 6. ENSAYO DE FLEXIÓN

En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de flexión. La distancia entre apoyos es de 180 mm.

Tabla 4. Resistencia a la flexión obtenida en el ensayo.

Id.	Base promedio	Altura promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la flexión	
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa
M19.033.05	26,35	5,96	582	2 588	108,3	746,6



**ANEXO III. Informe y resultados para ensayo de composición química**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
DEPARTAMENTO DE MATERIALES  
LABORATORIO DE FUNDICIÓN



**INFORME TÉCNICO**

**Solicitado por:** Ing. Carlos Wime Días Msc.

**Tipo de Trabajo:** Espectrometría por chispa

**Fecha:** 19 de noviembre del 2018

**Realizado por:** Ing. Oscar Sotomayor/Ing. Luis G. Huilca

**Descripción:** Muestras de acero

**1. ANTECEDENTES.**

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional una probeta de material acero.

Se solicita realizar la prueba de espectrometría con la finalidad de determinar los componentes presentes en la muestra entregada.

**2. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA.**

La probeta para el análisis correspondiente es identificada como se muestra a continuación:

Nombre	Identificación Gráfica
Muestra de acero	





# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

DEPARTAMENTO DE MATERIALES

LABORATORIO DE FUNDICIÓN



### 3. ANTECEDENTES TÉCNICOS


**3.1. Limpieza Superficial:** Según norma ASTM E415 – 17 Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry

**3.2. Método:** Fe 110 Fe Low Alloy

### 4. VALORES OBTENIDOS

El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Para el análisis se realizaron 3 mediciones en distintos puntos del espécimen y finalmente se promediaron los respectivos valores:

		Muestra de acero
Elemento		Valor [%]
Carbono	[C]	0,203
Manganeso	[Mn]	0,644
Cromo	[Cr]	0,049
Níquel	[Ni]	0,052
Cobre	[Cu]	0,023
Aluminio	[Al]	0,038
Hierro	[Fe]	98,98
<b>Total</b>		<b>99,98</b>



Ing. Luis G. Huilca

**Técnico Responsable**



Ing. Oscar Sotomayor

**Jefe del Laboratorio de  
Fundición.**

# Bruker Analysis Report



Sample: Muestra de Acero

Analysis Time: 19.11.2018 13:48:46

Method: Fe110

	<b>C [%]</b>	<b>Si [%]</b>	<b>Mn [%]</b>	<b>P [%]</b>	<b>S [%]</b>
∅	0,203	0,0060	0,644	<0,0030	<0,0030
	<b>Cr [%]</b>	<b>Mo [%]</b>	<b>Ni [%]</b>	<b>Cu [%]</b>	<b>Al [%]</b>
∅	0,049	<0,0050	0,052	0,023	0,038
	<b>Co [%]</b>	<b>Nb [%]</b>	<b>Ti [%]</b>	<b>V [%]</b>	<b>W [%]</b>
∅	0,0067	<0,0050	<0,0020	<0,0030	<0,020
	<b>B [%]</b>	<b>Sn [%]</b>	<b>Fe [%]</b>		
∅	<0,0010	<0,0020	98,98		

