

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Mejoramiento de la resistencia a la corrosión atmosférica de la
barra corrugada Ø 4.7 mm, para mejorar la apariencia del
producto final**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Metalurgista

Elaborado por

Roberto Takeshi Narahashi Yonashiro

 [0009-0006-2606-4266](https://orcid.org/0009-0006-2606-4266)

Asesor

M.Sc. Manuel Natividad Cruz Torres

 [0000-0003-3301-1841](https://orcid.org/0000-0003-3301-1841)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Narahashi Yonashiro [1]
Referencia/Reference	[1] R. Narahashi Yonashiro, " <i>Mejoramiento de la resistencia a la corrosión atmosférica de la barra corrugada Ø 4.7 mm, para mejorar la apariencia del producto final</i> " [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Narahashi, 2025)
Referencia/Reference	Narahashi, R. (2025). <i>Mejoramiento de la resistencia a la corrosión atmosférica de la barra corrugada Ø 4.7 mm, para mejorar la apariencia del producto final</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*Este trabajo está dedicado con mucho amor a mi esposa
Dianne e hijos Toshiro y Terumi, a mis padres y a aquellas
personas que me supieron encaminar en el sendero del
conocimiento, la sabiduría y la sencillez, a todos ellos,
muchas gracias.*

Resumen

El presente estudio se desarrolla y comprende la factibilidad a corto tiempo de proteger el acero de bajo carbono 1010, contra la corrosión atmosférica por presencia de salinidad, velocidad de viento, humedad, lluvia.

El objetivo principal de la presente investigación es determinar las alternativas de protección contra la Corrosión Atmosférica de su superficie, para mantener un equilibrio químico que permita una correcta apariencia y defensa ante agentes externos.

La Planta de Aceros Arequipa en Pisco está muy cerca del mar, lo que permite tener un ambiente salino o por Cloruros que dañan al acero y sus variedades.

El producto en estudio se deja a la intemperie y por presencia de la humedad, viento, temperatura, va cambiando el aspecto visual de su superficie a un color naranja rojizo y en poco tiempo se masifica la coloración en el paquete amarrado de Barras Corrugadas de acero.

Se han tomado varios caminos para la protección del alambre corrugado, entre ellas las pinturas, grasas, aceites, ácidos, dando mayor resultado con protección externa (plásticos termo contraíbles), que evite la excesiva concentración de agua que se fija por condensación (humedad relativa).

Palabras clave — Corrosión, acero, concentración, ácidos.

Abstract

This study explores the short-term feasibility of protecting 1010 low-carbon steel against atmospheric corrosion due to moisture, wind speed, humidity, temperature, and rain.

The main objective of this research is to determine alternatives for protecting its surface against atmospheric corrosion, maintaining a chemical balance that allows for a proper appearance and defense against external agents.

The Arequipa Steel Plant in Pisco is very close to the sea, which allows for a saline or chloride-based environment that damages steel and its varieties.

The product under study is left outdoors, and due to moisture, wind, and temperature, the visual appearance of its surface changes to a reddish-orange color, and the entire package quickly becomes solidified.

Several protection approaches have been taken, including paints, greases, oils, and acids, with the greatest success achieved with external protection, which prevents excessive water concentrations that form due to condensation (relative humidity).

Keywords — Corrosion, steel, concentration, acids.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	xiii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.1 Identificación y descripción del problema de estudio	1
1.1.2 Antecedentes de la investigación	3
1.1.3 Planteamiento de la realidad problemática	4
1.2 Justificación y alcances	4
1.2.1 Justificación	4
1.2.2 Alcances	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Flow Sheet	8
Capitulo II. Marcos teórico y conceptual	9
2.1 Principios de la corrosión	9
2.2 La corrosión atmosférica	10
2.3 Proceso de corrosión atmosférica	11
2.4 Tipos de corrosión	12
2.4.1 Corrosión electroquímica	12
2.5 Monitoreo medio ambiental y meteorológico	12
2.6 Mejoramiento de la resistencia a la corrosión atmosférica del alambre corrugado Ø 4.7 mm, para mejorar la apariencia del producto final	13
2.6.1 Objetivo	13

2.6.2	Puntos de visita (Ferreterías)	13
2.6.3	Comentarios de los clientes y obreros acerca del acero corrugado Ø 4.7mm	15
2.7	Varillas corrugadas de construcción ø 4.7 mm x 8.8 metros.....	15
2.7.1	Tipos de varillas	16
2.7.2	Temperatura (4.7 mm Ø).....	16
2.7.3	Estribo o amarre (4.7 mm Ø).....	16
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación		17
3.1	Laminación en frío.....	17
3.2	Alambrón liso 1008C	17
3.2.1	Composición química	17
3.2.2	Propiedades mecánicas	17
3.2.3	Dimensiones	18
3.3	Alambre corrugado Ø 4.7 mm JIS G3532 – 1993 / ASTM A496 – 95a	18
3.3.1	Propiedades mecánicas (JIS G3532 – 1993, GRADO SWM-R)	18
3.3.2	Dimensiones y pesos nominales (ASTM A496–95a)	18
3.3.3	Presentación	18
3.3.4	Identificación	19
3.4	Proceso de producción en la planta de laminado en frío	19
3.4.1	Descripción general de la planta de laminado, Flow Sheet, enderezado y corte ..	19
3.4.2	Alimentación	20
3.4.3	Torre alimentadora	20
3.4.4	Panel de control de la torre alimentadora	22
3.4.5	Decapado.....	23
3.4.6	Lubricado del alambre	23
3.4.7	Laminado en frío	24
3.4.8	Datos técnicos de la trefiladora múltiple	25
3.5	Aliviador de tensiones	27
3.6	Direccionador	27

3.7	Máquina enderezadora de varillas y corte	27
3.8	Mesa de empaquetado.....	29
	Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados	32
4.1	Medición de la corrosión por pérdida de peso	32
4.1.1	Alcohol	33
4.1.2	Secado frío.....	33
4.1.3	Secado caliente.....	34
4.1.4	Deshumecedor.....	34
4.2	Ensayos mecánicos	35
4.2.1	Ensayos mecánicos (Control de calidad).....	35
	Conclusiones	68
	Recomendaciones	69
	Referencias bibliográficas	71
	Anexos	72

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Costo	3
Tabla 2: Dimensiones y pesos nominales	6
Tabla 3: Monitoreo medio ambiental y meteorológico	12
Tabla 4: Dimensiones y pesos nominales	18
Tabla 5: Reducciones	26
Tabla 6: Cinética de corrosión	39
Tabla 7: Temperaturas a lo largo de la fabricación del acero corrugado Ø 4.7mm x 8.8 metros	46
Tabla 8: Pruebas	47
Tabla 9: Probetas inmersas en la mezcla	53

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Disposición de equipos en la planta de laminado en frío.....	8
Figura 2: Corrosión	10
Figura 3: Presentación.....	19
Figura 4: Vista delantera.....	20
Figura 5: Vista de perfil	20
Figura 6: Vista delantera.....	21
Figura 7: Vista posterior.....	21
Figura 8: Monitor de panel de control.....	22
Figura 9: Panel de control.....	22
Figura 10: Vista superior de los rodillos decapadores en la parte interna de la caja	23
Figura 11: Vista frontal de los rodillos decapadores en la parte interna de la caja	23
Figura 12: Vista frontal de la caja recubridora de alambre	24
Figura 13: Trefiladora múltiple con casetes de laminado	24
Figura 14: Datos técnicos	25
Figura 15: 1er Caseto, 1ra reducción junto al tambor refrigerante.....	26
Figura 16: 2do Caseto, 2da reducción junto al tambor refrigerante.....	26
Figura 17: Caseto corrugador junto a su tambor refrigerante	26
Figura 18: Vista frontal del aliviador de tensiones	27
Figura 19: Direccionador del alambre	27
Figura 20: Vista lateral de la máquina enderezadora	28
Figura 21: Vista frontal de la máquina enderezadora.....	28
Figura 22: Mostrando los rodillos enderezadores.....	28
Figura 23: Juego de rodillos enderezados horizontales	29
Figura 24: Juego de rodillos enderezados verticales	29
Figura 25: Juego de cuchillas que cortan a medida	29
Figura 26: Paquete de varillas listas para ser amarradas.....	30

Figura 27: Balanza que pesa los paquetones de Ø 4.7 y Ø 6 mm.....	30
Figura 28: Carro de transferencia	31
Figura 29: Bandeja de vidrio para la preparación del decapado químico	32
Figura 30: Recipientes para los pasos 7.1.2	33
Figura 31: Cañerías de agua y aire a presión	34
Figura 32: Deshumecedores.....	34
Figura 33: Equipo completo para ensayo de tracción.....	36
Figura 34: Extensómetro que indica momentos antes de que se rompa la probeta	37
Figura 35: Muestra inicial de las diferentes pruebas realizadas en la planta de laminado en frío.....	38
Figura 36: Pérdida de peso en el tiempo.....	39
Figura 37: Primera semana de exposición	40
Figura 38: Segunda semana de exposición	40
Figura 39: Tercera semana de exposición	40
Figura 40: Prueba al momento de calentar el horno	41
Figura 41: Varilla recubierta con aceite a los 5 días de su exposición.....	43
Figura 42: Fotomicrografía a 100x, observándose la capa de óxido	44
Figura 43: La 1ra semana de exposición	45
Figura 44: La 2da semana de exposición.....	45
Figura 45: Pérdida de peso en el tiempo.....	48
Figura 46: Con la brocha hay una capa de mayor espesor	48
Figura 47: Probetas sin y con cambio por corrosión	51
Figura 48: Aplicado al 5 % de Zinc.....	54
Figura 49: Aplicado al 10 % de Zinc.....	54
Figura 50: Aplicado al 15 % de Zinc.....	54
Figura 51: Probetas a los 4 días en el patio de cada dilución.....	55
Figura 52: Descascarillado en toda la superficie de la probeta	56
Figura 53: Con inhibidores a los 5 días en el patio con Korantin A1 con reinmersión.....	60

Figura 54: Con inhibidores a los 2 días en el patio con Korantin - P al 3% con agua	61
Figura 55: Con inhibidores a los 7 días en el patio con Korantin LUB al 2%	61
Figura 56: Con inhibidores a los 7 días en el patio con Korantin - LUB al 5% con alcohol	61
Figura 57: Con inhibidores a los 7 días en el patio con Korantin - LUB al 10% con alcohol	62
Figura 58: Con inhibidores a los 3 días en el patio con Korantin - MAT	62
Figura 59: Con inhibidores a los 3 días en el patio con Korantin – P	62
Figura 60: Con inhibidores a los 3 días en el patio con Korantin - CHEM	63
Figura 61: Con inhibidores a los 3 días en el patio con Korantin – LUB-P	63
Figura 62: A los 5 días en el patio, con Nitrato de Calcio más alcohol	64
Figura 63: A los 5 días en el patio, con Nitrato de Calcio más agua	65
Figura 64: Muestra con plástico y sin plástico	66
Figura 65: Plástico adherido a la probeta	66
Figura 66: Plástico adherido a un conjunto de probetas	66

Introducción

La corrosión atmosférica es la degradación de los metales, a causa de la exposición a agentes ambientales como humedad, oxígeno y otros contaminantes. Por ende, la corrosión en la industria se acelera por la presencia de una o varias condiciones atmosféricas mencionadas.

Mediante un proceso electroquímico se acelera el deterioro, lo que en poco o largo tiempo da como resultado en daños estructurales.

La corrosión daña a muchos materiales en las diferentes industrias o lugares domésticos del Mundo con el que interactúa, con sus reacciones químicas provocadas por la madre naturaleza, lo que hace que la corrosión estructural sea la más común para varias industrias. La forma más conocida de reducción (oxidación del metal) ocurre cuando los materiales metálicos se exponen al oxígeno, creando una capa delgada de óxido metálico (óxido) en su superficie.

La corrosión altera la microestructura, disminuyendo la resistencia mecánica y la vida útil de los metales.

Desde los inicios del hombre por la transformación del mineral al metal y dependiendo del ambiente agresivo, se han tenido daños a los metales. Se han buscado caminos para protegerlos para no causar accidentes, daños o muertes.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 *Identificación y descripción del problema de estudio*

La Planta de Aceros Arequipa en Pisco (situada a 230 km al sudeste de Lima a orillas del Océano Pacífico) se encuentra cerca al mar, por lo que es un ambiente propicio, para atacar al Acero y sus variedades, en este caso de estudio es atacado al Acero AISI 1010 por humedad, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento y contaminantes como Cloruros. (Lasheras, 1978)

El producto terminado se deja a la intemperie y por presencia de la humedad, viento, temperatura, va cambiando el aspecto visual de su superficie a un color naranja rojizo y en poco tiempo se masifica la coloración en el paquete amarrado de Barras Corrugadas de acero. (Avner, 1993)

Sobre el alambre corrugado \varnothing 4.7mm, la apariencia se modifica a los pocos días, presentándose luego de su proceso final de fabricación, ya que en la superficie del alambre corrugado no existe la cascarilla (Wustita FeO) que lo protege de la intemperie, por el mismo proceso de la laminación en frío. Es un proceso de conformado que se encarga de reducir piezas de origen circular o rectangulares en piezas de menor diámetro o espesor.

La Corrosión Atmosférica se desarrolla por la influencia de factores o agentes corrosivos presentes en la atmosfera. Estos factores son la humedad, temperatura ambiental, viento, salinidad, gases ácidos, partículas en suspensión, entre otros. La corrosión en las industrias o empresas se acelera por la presencia de una o varias atmosféricas adversas que se mencionan líneas arriba.

Este incremento de la corrosión se presenta por la exposición de las superficies a condiciones atmosféricas adversas que en presencia de la humedad del aire forman soluciones altamente agresivas. Estos agentes corrosivos incrementan la velocidad de corrosión mediante reacciones electroquímicas sobre las superficies y degradan los recubrimientos protectores diseñados para la protección de los materiales. (Higgins, 1974)

Se define a la corrosión en general, como la destrucción lenta y progresiva de un metal por la acción de un agente exterior. La corrosión causa pérdidas enormes y desgracias incalculables, debidas a accidentes producidos por la rotura de piezas debilitadas por la oxidación y corrosión. (West, 1986)

La Corrosión es la reacción química o electroquímica entre el metal y su medio ambiente, que da como resultado en pérdida de material y sus propiedades. Los metales se corroen debido a que ellos existen en estado químico inestable. (SSPC, 2011)

Factores Involucrados en la corrosión

Hay tres razones principales de interés y estudio de la corrosión:

- Razones de seguridad.
- Razones económicas.
- Razones de conservación de recursos.

Fallas prematuras en estructuras, materiales o equipos pueden resultar en accidentes, pérdidas de vida humana, contaminación ambiental, contaminación del producto, etc. Estando pues estas tres razones completamente enlazadas entre sí.

Se estima que es posible realizar un ahorro del 15% al 35% sobre el costo de la corrosión usando prácticas de control ya conocidas. Esto es estimado como un ahorro de US\$375 a US\$875 mil millones.

Se estima que el costo de la protección contra la corrosión atmosférica es del orden del 50% del costo total de los demás métodos de protección contra la corrosión. (Rocha, 1985)

El costo total de la corrosión anual corresponde al 3.4% del PBI mundial.

Impacto de la corrosión en el mundo

Si tenemos en cuenta que un billón de dólares americanos representa a 1000 000 000 dólares, veremos que es una cantidad bastante grande como gasto anual. De estos montos por países según la tabla 1 se estima que sólo es posible ahorrar entre el 15% al

35% usando métodos de control de la corrosión eficientes, el resto es pérdida. (Galvele, 1979)

Es por ello la importancia económica que tiene el control de la corrosión, siendo que representa un gasto promedio por cada país del orden del 3.4% del PBI. Bastante alto pues para países en vías de desarrollo si es que no toman las medidas correctivas necesarias. Como se ve, no es un tema que solo de los ingenieros de corrosión deben ver.

Tabla 1

Costo

PAIS	COSTO (Billones de USD x año)
EEUU (2002)	276.0
EEUU (2013)	451.3
Europa (2013)	701.5
China (2013)	394.5
Rusia (2013)	84.5
Japón (2013)	51.6
India (2013)	70.3
Tigres del Asia (2013)	58.1
Países Árabes (2013)	140.1

Fuente: Elaboración propia

1.1.2 Antecedentes de la investigación

Ayuso Ros, Antonio (2021), "Protecciones del acero de construcción expuesto a ambiente salino", indica sobre la necesidad de proteger el acero de construcción (corrugado) con recubrimientos orgánicos o metálicos, para así crear una barrera en la superficie del acero, ya que el ambiente agresivo daña progresivamente las barras de construcción.

La Corrosión es inevitable sobre el acero al carbono y solo podemos retrasar el tiempo de reacción sobre el material, con alternativas que muestren resistencia a la Corrosión Atmosférica, como pintura, inhibidores, etc. (Ayuso, 2021). Este estudio se realizó en Murcia, España.

Alberto Quezada, Joyce (2022), "Impacto de los Factores Ambientales y de Contaminantes en la Integridad del Acero al Carbono AISI 1010 en Ambientes Marinos", menciona sobre la evaluación de las variables Atmosféricas como humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento y temperatura) en el acero al carbono AISI 1010, basándose en la Norma ISO 9223 para determinación del grado de corrosividad. (Quezada, 2022). Este estudio se realizó en Cartagena de Indias, Colombia.

Bautista Espinoza, Hermitanio (2024), "Resistencia a la tracción de mechas de acero corrugado expuestas a corrosión en construcciones por etapas diferidas, Chiclayo 2023", compara la resistencia a la tracción de barras de construcción (corrugadas), que han sido parte de una construcción sin terminar en el techo.

Estas mechas al estar en contacto continuo con las condiciones atmosféricas han provocado Corrosión en la superficie del acero. (Bautista, 2024). Este estudio se realizó en Chiclayo, Perú.

1.1.3 Planteamiento de la realidad problemática

El problema de la corrosión en las barras de construcción (alambre corrugado Ø4.7mm) se ha presentado desde su fabricación en la línea de Laminación en Frío, ya que en la superficie del alambre corrugado no existe la cascarilla (Wustita FeO) que lo protege de la corrosión.

Esta falta de protección en el producto final, apoyados negativamente por cercanía al mar (ambiente salino), humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento y temperatura, mediante proceso químico ha provocado una coloración anaranjada oscura que ha generado dudas sobre el producto o reclamos en los usuarios y en las ferreterías.

1.2 Justificación y alcances

1.2.1 Justificación

La presente investigación se ha realizado en busca de un proceso de protección del acero, que tenga una buena salida al mercado de construcción en todo el país.

1.2.2 Alcances

El alcance del estudio o investigación está relacionado al uso de protecciones químicas como inhibidores, pinturas, lubricantes, polvos, etc., con la intención de proteger al acero laminado o Barra Corrugada de construcción. (Barraco & Torres, 1999)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Mejorar técnica y económicamente, la resistencia a la corrosión del acero SAE 1008C, para determinar el procedimiento más apropiado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Encontrar un método que no afecte al medio ambiente.
- Encontrar un método para que el aspecto superficial después del tratamiento no deba de cambiar sustancialmente su aspecto.
- Minimizar las quejas de los clientes, ya que ha existido devolución en algunas ocasiones.

Alambre corrugado Ø 4.7 mm JIS G3532 – 2011 / ASTM A496 / ASTM A496M-07 (ASTM G50-20, 2025)

La composición química del acero corrugado es la siguiente:

% C max	% Mn	% Si max	% p max	% S max	% Cr max	% Ni max	% Cu max	% Sn max	% Mo max
0.12	0.25 – 0.60	0.12	0.040	0.040	0.08	0.08	0.15	0.06	0.05

Además, la suma total de elementos residuales no debe ser mayor a 0.30%

$$(%Cr + \%Ni + \%Cu + \%Sn + \%Mo) =< 0.30 \%$$

Propiedades mecánicas (JIS G3532 – 1993, GRADO SWM-R):

- Límite de Fluencia (fy) = 44.9 kg/mm² mínimo. (440 MPa)
- Resistencia a la Tracción (R) = 55.1 kg/mm² mínimo. (540 MPa)
- Alargamiento en 23.5 mm = 8 % mínimo.
- Doblado a 180° = Bueno (1), a temperatura ambiente.

(1) Doblado con pin de 9.4 mm de diámetro.

Dimensiones y pesos nominales (ASTM A496):

Diámetro nominal = 4.7 mm

Longitud = 8.80 m + 50 mm / - 0 mm

Tolerancias Dimensionales :

Tabla 2

Dimensiones y pesos nominales

Valor	Diámetro (mm)	Resalte (mm)		Longitud de barra (mm)	Ancho resalte longitudinal (mm)	Ángulo resalte transversal (°)	Peso métrico (Kg/m)
		Espaciamiento	Altura mínima promedio				
Nominal	4.70	4.80	0.32	8800	1.00	-----	0.1362
Máximo	-----	7.24	-----	8850	1.80	70	0.1362
Mínimo	4.56	4.56	0.188	8800	0.75	45	0.1280

Fuente: Elaboración propia.

Reseña histórica de la planta de laminación en frío, enderezado y corte.

La línea de laminación en frío nació de la idea de reemplazar al alambre liso de Ø 6.0mm para doblado. El proyecto inicial fue de fabricar clavos, mallas electro soldadas, alambres para ser recocidos, laminar varillas corrugadas Ø 4.7mm y enderezar Barras corrugadas Ø 6mm, (como productos finales), ya que se hicieron los estudios correspondientes de mercado y se encaminaron a la fabricación de los mismos.

El proyecto de adquirir una línea de capacidad de laminar, enderezar y cortar a medida alambres, surge de la necesidad de aumentar la capacidad que existe para enderezar y cortar a medida los rollos de alambres corrugado, bajar costos de la operación de enderezado y tener además la posibilidad de tener presencia en mercado del alambres trefilado con varillas rectas corrugadas hasta de 4.5mm de diámetro, en el cual se mueven más de 27,000 t/año. La nueva línea tiene capacidad para laminar en frío el alambres reduciendo el diámetro desde Ø 7mm hasta Ø 4.5mm, corrugarlo, luego enderezarlo y cortarlo a medida.

El costo del proyecto terminado fue de \$1 '880,227 US.

La obra para la construcción de Laminado en Frío comenzó el 09/08/01 y culminó el 25/10/01, el 06/11/01 se culminó con los cerramientos laterales pendientes y el 08/11/01 se entrega la obra general sin observaciones por parte de Corporación Aceros Arequipa, cumplido el plazo contractual de 65 días útiles en fabricación y montaje.

El producto que se obtendrá, serán varillas rectas cuya longitud se puede ajustar entre 3 a 12 m. La capacidad de producción horaria de la nueva línea de enderezado de alambón es superior a la que tienen las máquinas actuales, debido a su alta velocidad de salida.

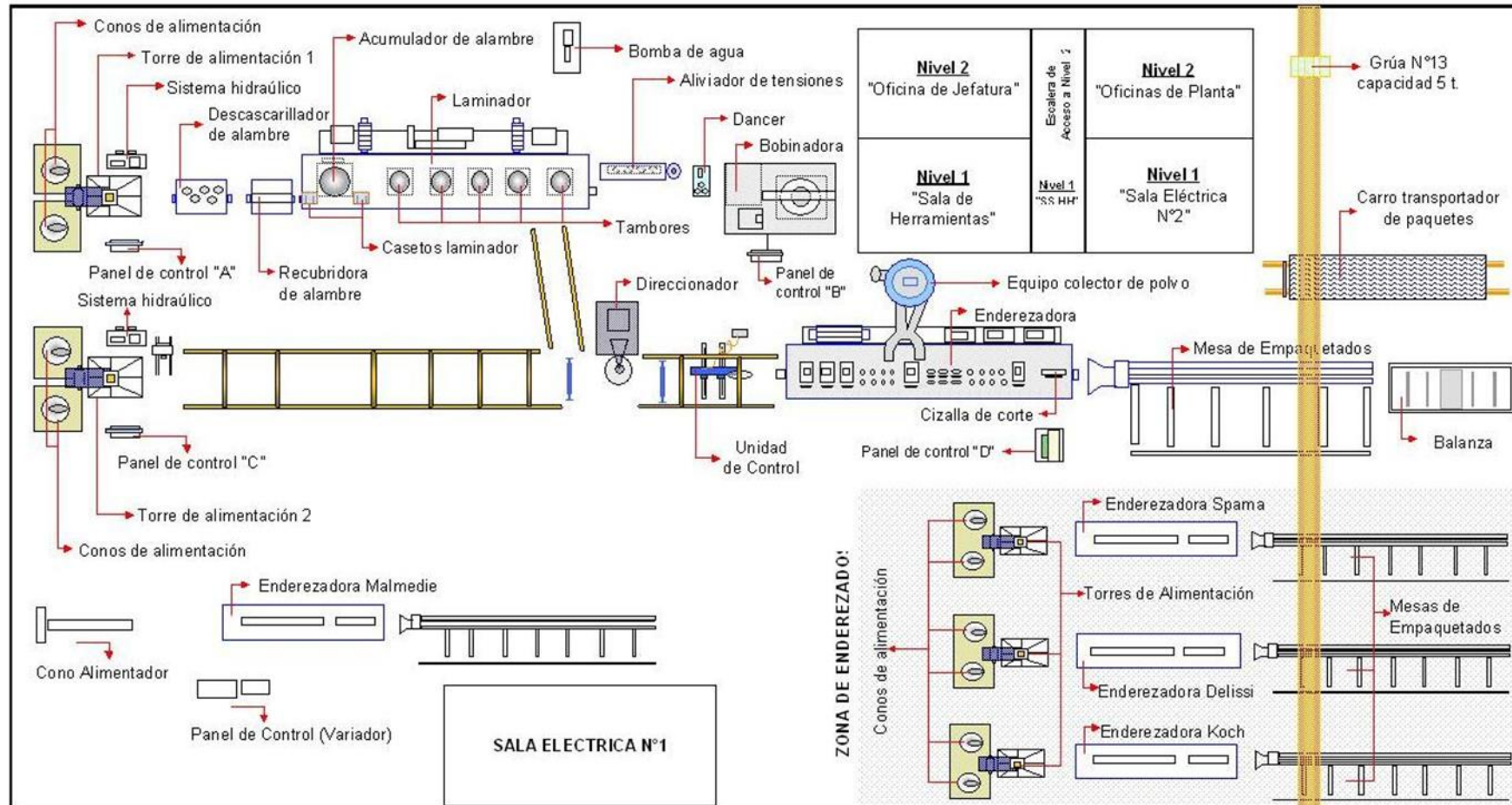
Las ventajas que se tienen con el nuevo enderezador – laminador de alambón son las siguientes:

- Posibilidad de incrementar las ventas de alambón al poder producir alambón hasta de Ø 4.5mm de diámetro a un costo bastante competitivo y empezar a tomar el mercado existente de este producto que como se mencionó anteriormente se calcula en más de 27,000 t/año.
- Menores costos de producción del alambón de trefilería ya que se puede laminar a Ø 7.0mm en vez de Ø 5.5mm como actualmente se hace, consiguiendo mayor ritmo de laminación en caliente y luego reducir el diámetro, laminando en frío.
- Posibilidad de producir alambre para recocido N°8 a un costo bastante competitivo y además reducir el costo de maquila en la fabricación de clavos, al poder entregar el alambre con el diámetro requerido al fabricante de clavos.
- Algunos productos, como es el caso del corrugado de Ø 8mm y el redondo liso de 3/8", se pueden producir en bobinas mayores a los que actualmente se consiguen saliendo a la placa de enfriamiento si se tiene capacidad de enderezado y bajo costo en esta operación. Actualmente se producen de 3,000 t/año de barras corrugadas de 8mm y redondos lisos de 3/8", que serían fabricados en rollos, con lo cual la nueva enderezadora de alambón influirá directamente en el costo de producción de 3,000 t/año.
- Reducción de costos de la operación de enderezado debido a reducción de mano de obra, mayor eficiencia operativa y mejora de rendimiento metálico.

1.4 Flow Sheet

Figura 1

Disposición de equipos en la planta de laminado en frío



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

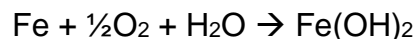
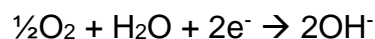
Se define a la corrosión en general, como la destrucción lenta y progresiva de un metal por la acción de un agente exterior. La corrosión causa pérdidas enormes y desgracias incalculables, debidas a accidentes producidos por la rotura de piezas debilitadas por la oxidación y corrosión.

La corrosión se produce por dos (2) clases de acciones fundamentales: por la acción electroquímica y por acción química.

- **La corrosión por acción electroquímica** es la que tiene lugar sobre los metales expuestos a la atmósfera húmeda, o sumergidas en agua o enterradas. Esta clase de corrosión puede producirse sin fuerza electromotriz exterior, constituyendo la corrosión galvánica, y por la acción, además de una fuerza electromotriz exterior, constituyendo la corrosión electroquímica propiamente dicha.
- **La corrosión por acción química** es la producida por los ácidos y álcalis y tiene interés para la construcción de aparatos resistentes a la corrosión de los productos químicos que intervienen en el proceso de fabricación.

2.1 Principios de la corrosión

En soluciones aireadas se produce la siguiente reacción química:

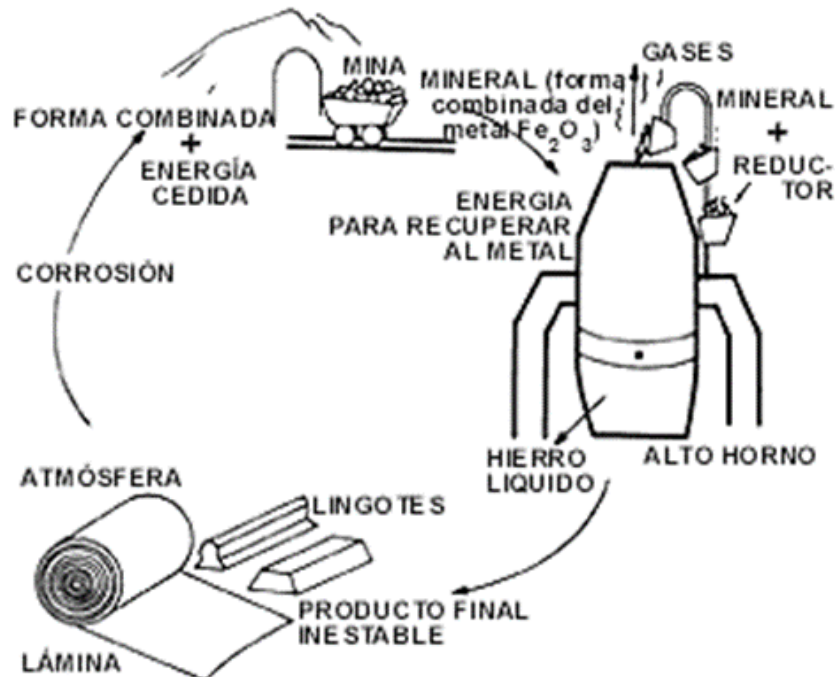


En soluciones ácidas se produce la siguiente reacción química:



Figura 2

Corrosión



Fuente: Elaboración propia.

Todo material cuando se le ha aplicado energía para transformarlo regresa a su estado primitivo por ser más estable en ese estado. Por lo tanto, a mayor energía de transformación, mayor será su tendencia a volver a combinarse para estabilizarse.

2.2 La corrosión atmosférica

La corrosión atmosférica es un proceso electroquímico, requiriendo la presencia de un electrólito. Los electrólitos "invisibles" finos de la película tienden a formar en superficies metálicas bajo condiciones atmosféricas de la corrosión, cuando se alcanza cierto nivel crítico de la humedad. Para el hierro, este nivel es el alrededor 60%, en atmósferas no contaminadas. El nivel crítico de la humedad no es una constante, él depende del material corrosivo, de la naturaleza higroscópica de los productos de la corrosión y de los depósitos de la superficie y de la presencia de agentes contaminadores atmosféricos.

Uno de los factores que determina primariamente la intensidad del fenómeno corrosivo en la atmósfera es la composición química de la misma. El SO_2 y el $NaCl$ son los agentes corrosivos más comunes de la atmósfera. El $NaCl$ se incorpora a la atmósfera

desde el mar. Lejos de éste, la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y núcleos de población, siendo el contaminante principal por su frecuencia de incidencia sobre el proceso corrosivo el dióxido de azufre (SO₂), proveniente del empleo de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre.

2.3 Proceso de corrosión atmosférica

La corrosión atmosférica es la causa más frecuente de la destrucción de los metales y aleaciones.

El mecanismo de corrosión es de naturaleza electroquímica. El electrolito es una capa de humedad sobre la superficie del metal cuyo espesor varía desde capas muy delgadas (invisibles) hasta capas que mojan perceptiblemente el metal. La duración del proceso de corrosión depende sobre todo del tiempo durante el cual la capa de humedad permanece sobre la superficie metálica.

Como el mecanismo de corrosión es electroquímico, su característica principal es la presencia de un proceso anódico y otro catódico, con un electrolito de resistencia óhmica determinada.

En el proceso anódico el metal se disuelve en la capa del electrolito, en la cual la concentración se eleva hasta la precipitación de un compuesto poco soluble.

En el proceso catódico, bajo la capa de humedad, la mayoría de los metales expuestos a la atmósfera se corroen por el proceso de reducción de oxígeno.

La resistencia óhmica entre las zonas anódica y catódica de las minúsculas pilas de corrosión que se distribuyen sobre el metal es grande cuando el espesor de la capa de humedad es pequeño.

La corrosión atmosférica puede ser clasificada en:

- **Corrosión seca.**

Se produce en los metales que tienen una energía libre de formación de óxidos negativa.

- **Corrosión húmeda.**

Requiere de la humedad atmosférica, y aumenta cuando la humedad excede de un valor crítico, frecuentemente por encima del 70%.

- **Corrosión por mojado.**

Se origina cuando se expone el metal a la lluvia o a otras fuentes de agua.

2.4 Tipos de corrosión

2.4.1 Corrosión electroquímica

- Corrosión uniforme
- Corrosión galvánica
- Corrosión por picado
- Corrosión por resquicios
- Corrosión intergranular
- Corrosión bajo tensión
- Corrosión fatiga

2.5 Monitoreo medio ambiental y meteorológico

Este monitoreo se realizó en las proximidades de la planta de laminado en frío en el año 2002.

Tabla 3

Monitoreo medio ambiental y meteorológico

	2002	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	LMP
Pts		88.1	48	50.04	260
Fe		1.52	4	2.34	4
SiO ₂		-	-	-	-
HCTNM		2.01	33	1.38	15000
CO		4300	653	1761.21	30000
NO _x		0.3	5.1	2.06	200
Pb		0.51	0.21	0.12	2
As		0	0.25	0.107	6
Cr		0.01	0.103	0.003	1.5
Mn		0.21	0.0067	0.095	10
SO ₂		1.2	2.83	1.57	365
H ₂ S		0	1.5	3.47	30

	DIRECCIÓN PREDOMINANTE	VELOCIDAD DEL VIENTO KM/H		
		MÍNIMA	MÁXIMA	PROMEDIO
Abril 2002	W	1.4	28.8	9.6
Septiembre 2002	NNW	1.4	20.5	7.2
Diciembre 2002	WNW	0	12.9	4.1

TEMPERATURA AMBIENTAL °C		
MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
18.6	31.8	24.2
13.8	22.7	17.7
21.3	30.3	24.7

% HUMEDAD RELATIVA		
MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
36	93	67
62	88	78.4
51	91	73.5

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Mejoramiento de la resistencia a la corrosión atmosférica del alambre corrugado Ø 4.7 mm, para mejorar la apariencia del producto final

2.6.1 Objetivo

Conocer el punto de vista de los clientes para su mayor satisfacción.

2.6.2 Puntos de visita (Ferreterías)

Primer día:

Estuve a cargo del Sr. Ricardo Cárdenas (jefe de ventas región Lima Norte) y visité una parte de la zona norte en los siguientes lugares:

CONO NORTE

Collique

Ferretería Hinostriza Ferretería Charito

Ferretería Martínez

Ferretería Mizael

Ferretería Quispe

Ferretería Miryam

Comas

Ferretería Año Nuevo

Ferretería Universal

Ferretería Sifsa

Ferretería MatCenter

Puente Piedra

Ferretería Leiva

Ferretería Moscoso

Ferretería Sheyla

Ferretería Joselito

Ventanilla

Inversiones Rapiservis

Ferretería Lustansa

Ferretería Evita

Representaciones Licenciados

Ferretería Walter Coronel Montenegro

Segundo día:

Estuve a cargo del Sr. Dante Castagnola (jefe de ventas región Lima Sur) y visité una parte de la zona sur en los siguientes lugares:

CONO SUR

Chorrillos

Ferretería Indusfer

Ferretería Diferset

Ferretería Mayra

Ferretería Casepij

Ferretería Carmen

Ferretería Melchorita

Tercer día:

Estuve a cargo del Ingeniero Silvio Chunga (jefe de ventas construcción) que me mencionó una empresa R y D que está construyendo una casa en Miraflores y fui a ver cuál es su uso y manejo.

2.6.3 Comentarios de los clientes y obreros acerca del acero corrugado Ø 4.7mm

- Es rígido.
- Se usa como estribo, amarre y temperatura.
- Debería ser de 9 metros como el de Ø 6mm de diámetro.
- Tiene buen agarre.
- Debería haber un intermedio entre Ø 4.7 mm y Ø 6mm, o sea un Ø 5.5mm.
- A veces parece que no se nota las corrugas.
- Llega muy oxidado y por eso lo he rechazado.
- El costo esta alto.
- El producto tiene buena salida.

2.7 Varillas corrugadas de construcción ø 4.7 mm x 8.8 metros

Estas varillas de acero que son de bajo carbón son excelentes para refuerzos en concreto pues su bajo contenido de carbón ayuda a que la ductilidad de estos elementos sea alta, por lo tanto, absorben deformaciones ya sea para o en concreto armado o en concreto pre esforzado.

La corrosión que normalmente se presenta a temperatura ambiente, es una corrosión superficial, es decir no es estructural, en donde la microestructura del material se afecta.

Esta corrosión superficial es según los entendidos y expertos en el tema, una ayuda más que un problema (está en discusión). La razón, el coeficiente de fricción del acero embebido en el concreto aumenta, haciendo que este se fije y comporte mejor una vez dentro del concreto. Si la corrosión es muy alta y es definitivamente estructural, se debe limpiar o descartar la varilla.

En el mercado, las varillas de \varnothing 4.7mm, de alguna manera han reemplazado a la barra corrugada de \varnothing 6mm y al alambre liso por su bajo costo, y las varillas se usan en diversos lugares, tales como:

2.7.1 Tipos de varillas

Aceros Arequipa produce, diferentes tipos de varillas corrugadas, tales como:

- 4.7mm \varnothing
- 6mm \varnothing
- 8mm \varnothing
- 3/8" \varnothing
- 1/2" \varnothing
- 12mm \varnothing
- 5/8" \varnothing
- 3/4" \varnothing
- 1" \varnothing
- 1 3/8" \varnothing
- 1 1/4" \varnothing

2.7.2 Temperatura (4.7 mm \varnothing)

Le llaman así porque la varilla absorbe el calor que emana el concreto, ya que, si no hubiera este material, la temperatura subiría mucho, cuarteándose el concreto al momento de enfriarse. Se usan en losas (pisos), paredes, etc.

2.7.3 Estribo o amarre (4.7 mm \varnothing)

Se usan para unir las barras verticales de las columnas, para darles forma uniforme.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Laminación en frío

Se le llama laminado en frío porque se trabaja a menos de 500°C. Es un proceso de conformado en frío que se encarga de reducir piezas de origen circular o rectangulares en piezas de menor diámetro o espesor.

A diferencia del trefilado, la reducción en el laminado se realiza con rodillos o discos y el trefilado es con dados o hileras, fabricados de carburo de tungsteno, en los dos (2) procesos.

El laminado es un proceso antiguo y el más importante para fabricación de productos metálicos continuos de diversas geometrías posibles (lisos, corrugados, ángulos, cuadrados, platinas, vigas "U", tees, calibradas y pulidas.)

La materia prima es el alambón SAE 1008C o el SAE 1008BCC, de diámetros desde Ø 5mm hasta Ø 9 mm, con calidades 1008 – 1020, que son laminados en caliente de sección circular y de superficie lisa, y su uso es para la fabricación de varillas corrugadas Ø 4.7mm y de alambres para clavos, mediante laminado en frío y/o trefilado. Su presentación es en rollos de 400 y 700 y 2000 kg con una tolerancia de +60kg y –40 kg.

3.2 Alambón liso 1008C

3.2.1 Composición química

% C max	%Mn	% Si max	% p max	% S max	% Cr max	% Ni max	% Cu max	% Sn max	% Mo max
0.12	0.25 – 0.60	0.12	0.040	0.040	0.08	0.08	0.15	0.06	0.05

Además, la suma total de elementos residuales no debe ser mayor a 0.30%

$$(\%Cr + \%Ni + \%Cu + \%Sn + \%Mo) = < 0.30 \%$$

3.2.2 Propiedades mecánicas

- Límite de Fluencia (fy) = 22 – 34 kg/mm²
- Resistencia a la Tracción (R) = 35 - 48 kg/mm²
- Alargamiento en 200 mm = 15.0 – 30.0 %

3.2.3 Dimensiones

Diámetro: 6.0 mm y 6.35 mm.

3.3 Alambre corrugado Ø 4.7 mm JIS G3532 – 1993 / ASTM A496 – 95a

La composición química del acero corrugado es la misma; pero por las deformaciones sufridas hacen que sus propiedades mecánicas sean diferentes.

3.3.1 Propiedades mecánicas (JIS G3532 – 1993, GRADO SWM-R)

- Límite de Fluencia (fy) = 44.9 kg/mm² mínimo. (440 MPa)
- Resistencia a la Tracción (R)= 55.1 kg/mm² mínimo. (540 MPa)
- Alargamiento en 23.5 mm = 8 % mínimo.
- Doblado a 180° = Bueno (1), a temperatura ambiente.

(1) Doblado con pin de 9.4 mm de diámetro.

3.3.2 Dimensiones y pesos nominales (ASTM A496–95a)

- Diámetro nominal : 4.7 mm
- Longitud : 8.80 m + 50 mm / - 0 mm
- Tolerancias dimensionales :

Tabla 4

Dimensiones y pesos nominales

Valor	Diámetro (mm)	Resalte (mm)		Longitud de barra (mm)	Ancho resalte longitudinal (mm)	Ángulo resalte transversal (°)	Peso métrico (Kg/m)
		Espaciamiento	Altura mínima promedio				
Nominal	4.70	4.80	0.32	8800	1.00	-----	0.1362
Máximo	-----	7.24	-----	8850	1.80	70	0.1362
Mínimo	4.56	4.56	0.188	8800	0.75	45	0.1280

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Presentación

Se suministra en paquetones de 2 TM aproximadamente, formados por 34 paquetes de 50 varillas cada uno.

3.4.2 Alimentación

Figura 4

Vista delantera



Fuente: Elaboración propia

Figura 5

Vista de perfil



Fuente: Elaboración propia

El alambón se coloca en los conos con la ayuda del montacarga HYSTER de 10 Tn de capacidad. Estos alambones son de 450 Kg., 700 Kg. o 2000 Kg.

3.4.3 Torre alimentadora

El alambón es estirado y pasado por un tambor giratorio en la parte superior de la Torre alimentadora, a partir de los rollos.

Figura 6

Vista delantera



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7

Vista posterior



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4 Panel de control de la torre alimentadora

Figura 8

Monitor de panel de control



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Panel de control



Fuente: Elaboración propia.

Es manejado por los operadores de la planta, para maniobrar la torre alimentadora y conos.

3.4.5 Decapado

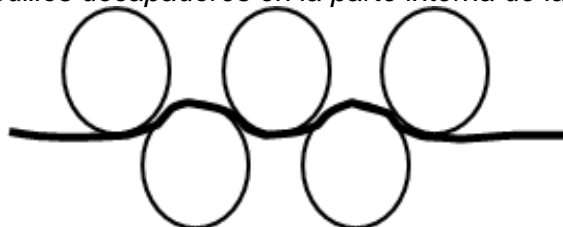
Aquí se realiza un decapado mecánico con la ayuda de rodillos que lo flexionan para eliminar la cascarilla (Wustita FeO) que es el elemento que lo protege de la corrosión, porque su presencia produce problemas en el proceso de laminación, como producir una varilla de diferente diámetro, desgaste de rodillos, paradas imprevistas, etc.

La eliminación de la cascarilla es aproximadamente en un 90 a 95%.



Figura 10

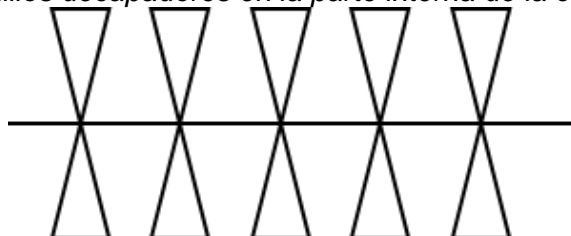
Vista superior de los rodillos decapadores en la parte interna de la caja



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

Vista frontal de los rodillos decapadores en la parte interna de la caja



Fuente: Elaboración propia.

3.4.6 Lubricado del alambre

El alambre pasa por la caja lubricadora, y con la ayuda de un sinfín, lo cubre con un jabón en polvo de calcio en toda su superficie. Se le añade este jabón ya que así la posibilidad de que se rompa por las deformaciones mecánicas, disminuya.

Figura 12

Vista frontal de la caja recubridora de alambre



Fuente: Elaboración propia.

3.4.7 Laminado en frío

El monoblock consta de seis (6) Casetos laminadores y el uso de la cantidad de Casetos es directamente proporcional al diámetro inicial del alambón, ya que necesitara mayor o menor disminución de diámetro.

Figura 13

Trefiladora múltiple con casetos de laminado



Fuente: Elaboración propia.

3.4.8 Datos técnicos de la trefiladora múltiple

Figura 14

Datos técnicos

Tipo de Máquina	KGT 1600/6
Ruido	75 – 80 dB máx.
Sirve para trefilar	Alambre de acero y hierro, liso y corrugado
Resistencia de entrada	Máx. 980 N/mm ²
Entrada	5.5 – 9.0 mm Ø
Acabado	2.0 – 4.5 mm Ø
Velocidad máxima de trefilado	20 m/s
Motores	02 motores marca SIEMENS de corriente trifásica
Refrigeración de la hilera a estirar	Refrigeración por agua
Refrigeración del tambor de la hilera	Refrigeración por agua
Agua necesaria	75 l/h por 1 KW por potencia efectiva de accionamiento con $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$
Refrigeración del casete de laminado	Refrigeración por agua
Consumo de agua	600 l/h por casete
Presión de agua	Mínimo 2 bares

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el grado de reducción total es muy grande (mayor a 30%) se deben aplicar varios pasos de laminado.



$$\% \text{ Reducción} = \frac{(A_0 - A_f)}{A_0} \times 100$$

El Grado de reducción es la relación entre el área inicial y final expresada en porcentaje. Mayormente se usan dos (2) tipos de alambres, de Ø 6.0mm (38.6% de reducción, o sea 2 Casetos) y el de Ø 6.5mm (47.7% de reducción, o sea 3 Casetos). También se usaron alambres de Ø 5.5mm (27% de reducción, o sea 2 Casetos).

Tabla 5

Reducciones

Diámetro Inicial	Reducciones		
	1ra	2da	Corrugado
6.5	5.9 (17.6%)	5.2 (22.3%)	4.7 (18.3%)
6.0	5.4 (19.0%)	4.7 (24.2%)	
5.5	4.7 (27.0%)		

Fuente: Elaboración propia

Figura 15

1er Caseto, 1ra reducción junto al tambor refrigerante



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

2do Caseto, 2da reducción junto al tambor refrigerante



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

Caseto corrugador junto a su tambor refrigerante



Fuente: Elaboración propia.

3.5 Aliviador de tensiones

Se realiza este proceso para aliviar las tensiones internas que posee el acero y que las dislocaciones tengan un solo sentido.

Figura 18

Vista frontal del aliviador de tensiones



Fuente: Elaboración propia.

3.6 Direccionador

Este paso es para que después del Aliviador de Tensiones y el tambor refrigerante, vaya directamente a la máquina enderezadora de varillas.

Figura 19

Direccionador del alambre



Fuente: Elaboración propia.

3.7 Máquina enderezadora de varillas y corte

Después de realizarse las deformaciones mecánicas, se le endereza y corta en la máquina enderezadora (KOCH). Trabaja a un promedio 2.2 Tn/H. Su producción disminuye con las paradas por rotura, o paradas inesperadas, etc.

Por seguridad cuando las puertas de los Casetos y de la máquina enderezadora están abiertas, el sistema no responde.

El corte lo realiza una cuchilla accionada a presión de aire, cortándolo a 8.8 metros con una variación de +50 mm / -0 mm.

Figura 20

Vista lateral de la máquina enderezadora



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

Vista frontal de la máquina enderezadora



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22

Mostrando los rodillos enderezadores



Fuente: Elaboración propia.

3.8 Mesa de empaquetado

Las varillas salen a una velocidad de 4.2 m/s, por lo que en 2 minutos se están amarrando las 50 varillas que forman un paquete y cuando se acumulan 34 de estos paquetes, se llama paquetón, que pesa alrededor de 2 Tn, con un total de 1700 varillas. Para los amarres de paquete de 50 varillas, se usa el alambre recocido número 16.

Figura 23

Juego de rodillos enderezados horizontales



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Juego de rodillos enderezados verticales



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

Juego de cuchillas que cortan a medida



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

Paquete de varillas listas para ser amarradas



Fuente: Elaboración propia

Balanza

Una vez que el paquetón está amarrado, se le lleva a la balanza, donde se le amarra una tarjeta metálica, especificando el producto, su norma, número de colada, número de paquete, número de varillas, peso y en la parte posterior se le coloca la fecha de producción.

Figura 27

Balanza que pesa los paquetones de \varnothing 4.7 y \varnothing 6 mm



Fuente: Elaboración propia.

Traslado de los paquetones

Una vez pesados los paquetones, se les apila en el carro de transferencia, para luego apilarlos en el patio de recepción o en la nave, con la ayuda del Montacargas (Hyster) donde luego serán cargados a los camiones para ser despachados a los diferentes lugares del Perú.

Figura 28

Carro de transferencia



Fuente: Elaboración propia.

Aquí es donde se produce el fenómeno de la **CORROSIÓN ATMOSFÉRICA**, ya que el material ha sido decapado y está desnudo, propiciándose la formación de Herrumbre (Hematita hidratada) en la superficie de las varillas, por la humedad y oxígeno.

El principal problema que tiene el almacenaje de este material es la alta humedad relativa y la condensación del agua atmosférica directamente sobre el material, por ello se deberá de protegerlo de la intemperie (Contra la humedad relativa y los aires húmedos directos) y airearlo al nivel de su base de manera que se evite la excesiva concentración de agua que se fija por condensación (Enfriamiento superficial del fierro) y además elevarla del suelo para evitar la humedad por ascensión capilar. Todos estos procedimientos aminoran la velocidad del proceso de oxidación, pero no lo evitan.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados

4.1 Medición de la corrosión por pérdida de peso

Se toma el peso inicial W_o y el peso final W_f , realizándose la siguiente fórmula para hallar el porcentaje de pérdida de peso:

$$\% \text{ Pérdida de Peso} = \frac{(W_o - W_f) * 100}{W_o} \quad (1)$$

Se mide la corrosión por el método por pérdida de peso por ser más representativo, y no por Velocidad de Corrosión, ya que medir el área en una geometría irregular es muy tedioso, tendiendo al error.

La fórmula de Velocidad de Corrosión es la siguiente:

$$\text{Velocidad de Corrosión} = \frac{\Delta \text{ Masa}}{(\text{Área} * \text{Tiempo})} \quad (2)$$

Decapado químico

Se realizan en ocho (8) pasos:

Decapado

Se prepara en la bandeja de vidrio:

500 ml de HCl

500 ml de agua destilada

35 gr de Inhibidor de corrosión (Hexametiltetramina)

Figura 29

Bandeja de vidrio para la preparación del decapado químico



Nota: La probeta se deja por un periodo de 10 minutos para eliminar la cascarilla de Hematita (Fe_2O_3)

Neutralizado

Se prepara en un recipiente 50 gr de Carbonato de Sodio y enrasar hasta 01 litro.

Aquí se coloca la probeta por unos cuantos segundos. Si no se presenta efervescencia, se deberá preparar de nuevo los pasos 7.1.1 y 7.1.2.

Refregado

La probeta se lavará con una esponja, de preferencia Scotch Brite, con abundante agua de caño y buena fricción entre la esponja y la varilla, para eliminar cualquier elemento presente.

Lavado

En un recipiente se verterá 01 litro de agua destilada, con la cual se lavará la probeta por unos cuantos segundos.

Figura 30

Recipientes para los pasos 7.1.2



Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Alcohol

En un recipiente se verterá Etanol al 99%, con lo que se bañará la probeta por unos cuantos segundos, para tener una superficie libre de humedad.

4.1.2 Secado frío

El secado se realiza con aire a presión, directamente sobre la probeta para tener una superficie completamente libre de toda partícula.

Figura 31

Cañerías de agua y aire a presión



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 *Secado caliente*

Este secado se realiza con una pistola de secado de cabello por unos cuantos segundos.

4.1.4 *Deshumedecedor*

Es el recipiente donde se colocan las varillas después de realizar los pasos anteriores, y se mantiene allí, hasta que se realice el peso correspondiente y evaluar con (1) la pérdida de peso.

Figura 32

Deshumedecedores



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Ensayos mecánicos

4.2.1 Ensayos mecánicos (Control de calidad)

Se realiza en la oficina de ensayos mecánicos, donde se les somete a diferentes pruebas para su conformidad o no, tales como:

Relieves o Resaltes:

- Como mínimo los resaltes deben tener 0.19 mm de altura.
- El espaciamiento entre resaltes debe estar entre 4.62 y 7.24 mm.
- El ancho máximo de resalte longitudinal GAP, debe estar entre 0.75 y 1.8mm.
- La longitud de la barra debe estar entre 8.8 y 8.850 para que las 1700 varillas, tengan un peso aproximado a 2000 Kg.
- El peso métrico mínimo es de 0.128 Kg/m.
- El ángulo del resalte debe estar entre 45 y 70°C.

Datos técnicos del reloj comparador:

El reloj comparador es un instrumento de medición que se utiliza en los talleres e industrias para la verificación de piezas y que por sus propios medios no da lectura directa, pero es útil para comparar las diferencias que existen en la cota de varias piezas que se quieran verificar. Dentro de esta caja se desliza un eje, que tiene una punta esférica que hace contacto con la superficie. Este eje al desplazarse mueve la aguja del reloj, haciendo posible la lectura directa y fácil de las diferencias de medida.

La precisión de un reloj comparador puede ser de centésimas de milímetros o incluso de milésimas de milímetros (micras), según la escala a la que esté graduado. También se presentan en milésimas de pulgada. El mecanismo se basa en transformar el movimiento lineal de la barra deslizante de contacto en movimiento circular que describe la aguja del reloj. Es un instrumento muy útil para la verificación de diferentes tareas de mecanizado, especialmente la excentricidad de ejes de rotación.

Alcance de medición = 0mm a 13mm

Resolución = 0.01mm

Marca = Mitutoyo

Procedencia = Japón

N° Serie = 00058

Identificación = 3CL47L

Máquina de ensayo de tracción

Se le someterá a la tracción en la máquina TINIUS OLSEN, arrojando un valor que será conforme o no conforme, para la respectiva colada.

El equipo de tracción comprende de la propia máquina de tracción, el ajustador y la computadora que registra todas las mediciones del estiramiento de la probeta que es de 50 cm de largo, como mínimo.

Figura 33

Equipo completo para ensayo de tracción



Fuente: Elaboración propia.

Datos técnicos de la máquina de ensayo de tracción y compresión:

Marca = Tinius Olsen

Tipo = IND. 398 Soft

Capacidad máxima = 60000 kgf

Modelo = Super L

N° = 182308

Identificación = 3CL09T

Extensómetro

Este dispositivo va unido a la probeta ensayada y mide el momento donde es el límite de fluencia. La misma máquina indica en qué momento debe retirarse.

Figura 34

Extensómetro que indica momentos antes de que se rompa la probeta



Fuente: Elaboración propia.

Datos técnicos del extensómetro:

Marca = Tinius Olsen

Modelo = SM – 100 – 10 A

Capacidad máxima = 100mm –10%

Nº = 137981

Tipos de recubrimientos

Antes de comenzar las pruebas, necesitaba conocer qué tipo de recubrimiento no debo usar para que no haya interferencia con el concreto al momento de ser embebido. Lo que dicta las normas técnicas peruanas de la construcción, sobre las barras corrugadas de construcción, es que no pueden estar lubricadas con los siguientes elementos:

- Aceite.
- Grasa.
- Ácido.
- Barro.

- Escamas libres de óxido.
- Pinturas (porque tienen aceite, las pinturas epóxicas se pueden usar porque tienen muy poco o nada de aceite).
- Cualquier otro elemento que destruya o reduzca la adherencia.

Pruebas con material sin proteger

Pruebas con material sin proteger. (ASTM G50-20, 2025)

Figura 35

Muestra inicial de las diferentes pruebas realizadas en la planta de laminado en frío



Fuente: Elaboración propia.

Cinética de corrosión de una probeta sin protección

Objetivo

Hallar la cinética de corrosión, para comparar con los diferentes métodos y saber cuál es el más indicado.

Método

- Tomar una varilla al azar y cortarla en varios pedazos de similar tamaño, aproximadamente de entre 11 y 15 cm.
- Pesar cada varilla y tomar apunte de ello.
- Colocar las probetas codificadas en el ambiente que siempre se coloca para simular el proceso.
- Tomar una probeta semanal y pesarla, para saber su formación de capa de óxido.
- Decapar la probeta, como se ha descrito en el punto 9.

- Volver a pesar y tomar nota de ello.

Resultado

Sobre la probeta a los pocos días se formó la Hematita Hidratada, que es la que corroe al acero, siendo su cinética de corrosión la siguiente:

Tabla 6

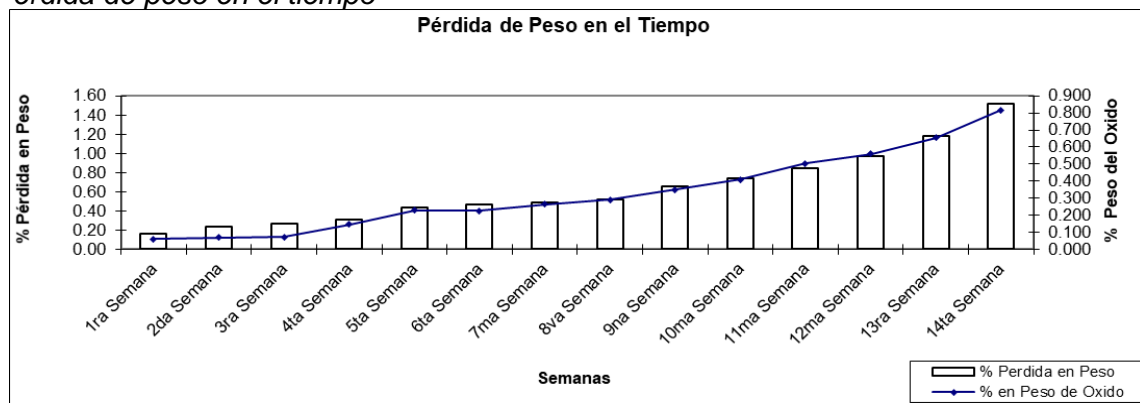
Cinética de corrosión

Patio	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Decapado (gr)	Peso capa de Oxido (gr)	% en peso del óxido	Peso Original Inicial (gr)	% Pérdida en Peso
1ra Semana	10.9995	11.0062	10.9754	0.0067	0.0609	10.9934	0.1641
2da Semana	12.9310	12.9398	12.8940	0.0088	0.0681	12.9238	0.2312
3ra Semana	13.2487	13.2583	13.2058	0.0096	0.0725	13.2412	0.2689
4ta Semana	13.3489	13.3683	13.3011	0.0194	0.1454	13.3411	0.3032
5ta Semana	13.7723	13.8036	13.7055	0.0313	0.2274	13.7644	0.4302
6ta Semana	14.2206	14.2528	14.1466	0.0322	0.2266	14.2127	0.4656
7ma Semana	14.6420	14.6806	14.5628	0.0386	0.2638	14.6339	0.4861
8va Semana	14.6811	14.7237	14.5965	0.0426	0.2903	14.6730	0.5215
9na Semana	15.0083	15.0608	14.9016	0.0525	0.3500	15.0000	0.6563
10ma Semana	15.0734	15.1351	14.9534	0.0617	0.4096	15.0651	0.7415
11ma Semana	15.2803	15.3573	15.1422	0.0770	0.5042	15.2718	0.8492
12ma Semana	15.7317	15.8196	15.5697	0.0879	0.5591	15.7230	0.9753
13ra Semana	16.8874	16.9976	16.6789	0.1102	0.6529	16.8781	1.1802
14ta Semana	18.0621	18.2094	17.7779	0.1473	0.8160	18.0521	1.5192

Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Pérdida de peso en el tiempo



Fuente: Elaboración propia.

$$y = 6E-06x^6 - 0.0003x^5 + 0.0052x^4 - 0.0471x^3 + 0.2122x^2 - 0.3997x + 0.2966$$

% Peso del Óxido

$$y = 5E-06x^6 - 0.0002x^5 + 0.004x^4 - 0.0325x^3 + 0.1311x^2 - 0.1808x + 0.2494$$

% de Pérdida en Peso

Figura 37

Primera semana de exposición



Fuente: Elaboración propia.

Figura 38

Segunda semana de exposición



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39

Tercera semana de exposición



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones:

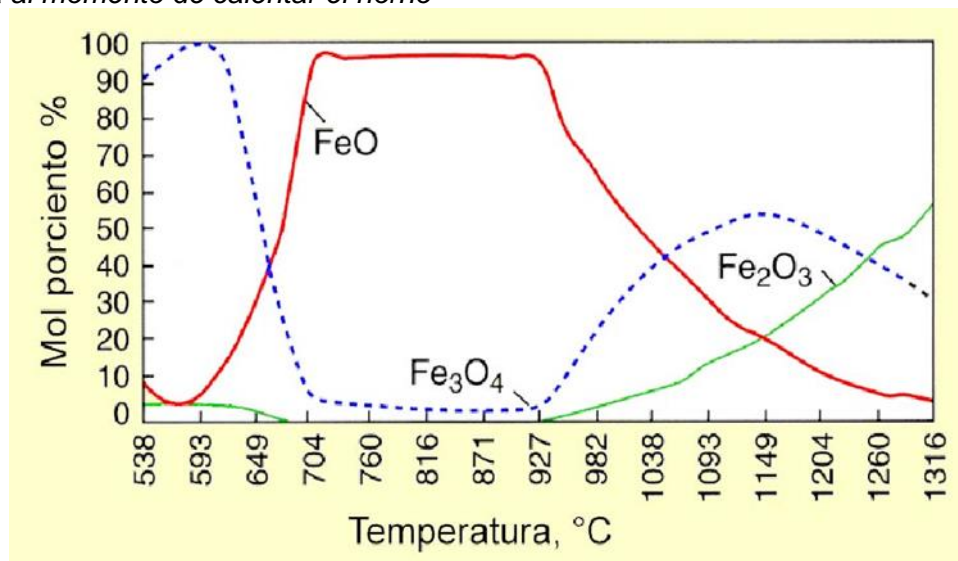
- En 14 semanas sólo se ha perdido el 1.52 % del peso total.
- Con esta pérdida en peso, las propiedades físicas – mecánicas no han variado significativamente; pero su apariencia comienza a ser mala a partir de la segunda semana (en verano)
- Los resaltes no varían en lo mínimo.
- Formación de Wustita (FeO) en la superficie del alambre

Objetivo

Esta prueba se realizó con la idea que al momento de calentarlo en el horno entre 700 y 920 °C (a diferentes tiempos), se forme en la superficie la Wustita, que lo proteja de la corrosión.

Figura 40

Prueba al momento de calentar el horno



Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento

- Coloqué las probetas en el horno a diferentes tiempos (0, 5, 10 y 15 minutos).
- Como sufrirían un proceso parecido al de recocido o ablandamiento de su dureza por la alta temperatura, se procedió a templarlas a cada una de ellas, con la intención de regresarles su dureza lo más parecida posible.
- Las probetas desprendieron un poco de laminilla al momento de templarlas.

Resultado

Al momento de realizar el ensayo de tracción arrojó los siguientes valores:

Tiempo (Minutos)	Resistencia a la Tracción Kg/mm ²
0	66.3
5	41.2
10	47.1
15	52.0

Conclusión:

Esta prueba se descartó ya que las probetas sufrieron un proceso parecido al recocido, templado; pero a la vez se fragilizaron, por lo que se necesitaría un proceso más, llamado Normalizado, que consiste en colocar las probetas en un horno entre 300 y 400°C durante 2 horas para retornar a sus propiedades mecánicas iniciales.

Uso del aceite PRESERVATIVE "O" de SHELL

En una sede de CAASA, cercana a donde laboro, existe una pequeña planta donde usan el aceite Preservative "O" de Shell, para proteger las varillas de la corrosión y oxidación, que a la vez están envueltas con plástico, y así se conserva protegido hasta por 5 años.

Objetivo:

Recubrir las varillas para evitar la corrosión.

Procedimiento:

Bañé las probetas con el aceite Preservative "O" de Shell, con la ayuda de un trapo para que la capa de aceite sea delgada

Resultado:

Usé este aceite sobre las varillas corrugadas dando el siguiente aspecto, a los pocos días.

Conclusiones:

Este procedimiento se descartó porque los vientos fuertes llamados “Paracas”, levantan la arena que se deposita en la superficie viscosa. Esta arena contiene cloruros que ayudan a que se corroa más rápido el acero. Y aparte la apariencia es muy mala.

Figura 41

Varilla recubierta con aceite a los 5 días de su exposición



Fuente: Elaboración propia.

Determinación de los óxidos presentes en la cascarilla del alambre corrugado

Objetivo:

Determinar el porcentaje de FeO, Fe Total, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, que están presentes en las cascarillas de un alambre que estuvo alrededor de 1 año de permanencia al medio ambiente. Esta prueba se realizó para conocer en qué porcentaje se encuentran presente los óxidos sobre la superficie de una varilla corrugada □4.7mm.

Método:

Con la ayuda de un cepillo de acero, raspar la superficie hasta obtener un promedio de 3 a 4 gramos para el análisis químico respectivo.

Se ha empleado el método de separación magnética (imán), separando los óxidos magnéticos (FeO, Fe₃O₄) del óxido que no es magnético (Fe₂O₃) obteniéndose por análisis químico el FeO, FeO, Fe Total.

Resultados:

Se ha tomado un 95 % de pureza como base, ya que el 5 % restante, representa las impurezas existentes en la muestra, tales como SiO₂, sales, etc.

Elemento	Fe ⁰	Fe _{Total}	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe ₃ O ₄	Total
Corrugado □4.7mm	1.7 %	51.9 %	6 %	86.26 %	1.04 %	95 %

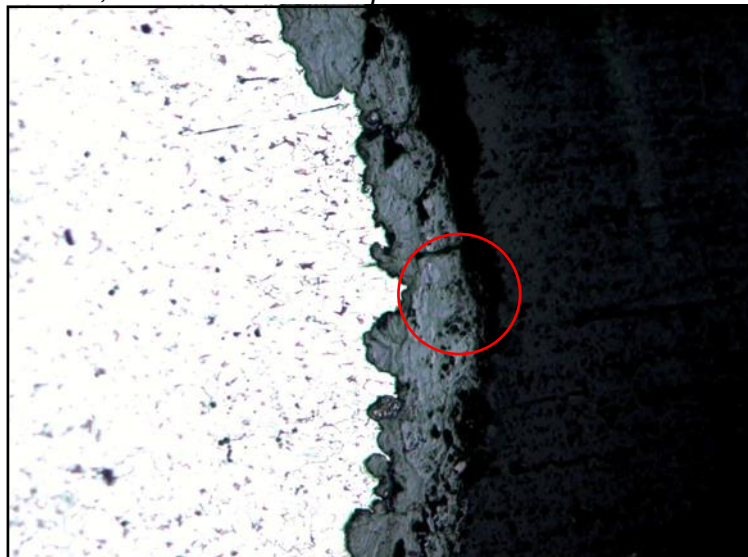
Conclusiones:

A través del tiempo el compuesto presente en mayor proporción a baja temperatura es la Hematita.

Al microscopio se puede observar la corrosión producida a través del tiempo y la penetración del óxido al metal, produciéndose disminución en su volumen.

Figura 42

Fotomicrografía a 100x, observándose la capa de óxido



Nota: Se aprecia la capa de óxido en el entorno de unas 44 μ de espesor en promedio

Uso del nuevo jabón en polvo (para trefilería).

Objetivo

Demostrar que con el uso del jabón Peruano para trefilería, se obtienen los mismos resultados que con el lubricante en polvo que usamos en la línea, porque se decía que éste jabón tenía elementos anticorrosivos.

Método

- Se limpió la caja lubricadora, donde se coloca el jabón en polvo, para que no haya contaminación.
- Se limpió el primer y segundo caseto, para que no haya contaminación.
- Cuando salieron las varillas, se tomó una varilla al azar, exponiéndola al medio ambiente.

Resultado

Después de unos 3 días (en verano), ocurrió la presencia de la Hematita hidratada, por lo tanto, no hay mejoría como se pensó.

Figura 43

La 1ra semana de exposición



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44

La 2da semana de exposición



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones:

- Se descartó este lubricante por no protegerlo contra la corrosión.
- Temperatura del alambre corrugado a través del circuito
- Esta prueba se toma de referencia para posteriores pruebas.

Tabla 7

Temperaturas a lo largo de la fabricación del acero corrugado Ø 4.7mm x 8.8 metros

	PUNTOS	TEMPERATURAS
T ₁	Antes de iniciar	27 °C
T ₂	Antes de descascarillar	28 °C
T ₃	Después de descascarillar	29 °C
T ₄	Después de lubricar	29 °C
T ₅	Después de la 1ra reducción	36 °C
T ₆	Después del 1er tambor	33 °C
T ₇	Después de la 2da reducción	43 °C
T ₈	Después del 2do tambor	35 °C
T ₉	Después del rodillo templador 1	50 °C
T ₁₀	Después del corrugado	57 °C
T ₁₁	Después del 3er tambor	50 °C
T ₁₂	Después del rodillo templador 2	50 °C
T ₁₃	Después del rodillo templador 3	50 °C
T ₁₄	Después del rodillo templador 4	50 °C
T ₁₅	Después del 4to tambor	47 °C
T ₁₆	Antes del aliviador de tensiones	50 °C
T ₁₇	Dentro del Aliviador de tensiones	56 °C
T ₁₈	Después del Aliviador de Tensiones	50 °C
T ₁₉	Después del 4to tambor	45 °C
T ₂₀	Después del Direccionador	45 °C
T ₂₁	Después del tensionador	45 °C
T ₂₂	En la mesa de amarre	49 °C
T ₂₃	El paquete amarrado	110 °C

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura llega hasta 110°C sólo durante pocos minutos por la radiación de las varillas en contacto unos con otros y con el viento se va aireando, bajando poco a poco la temperatura.

Prueba con el nuevo jabón en Polvo DS 601 de la marca Traxit International de Alemania

Objetivo:

Que ayude a la resistencia a la corrosión atmosférica.

Método:

Se siguió los mismos pasos descritos en 12.5.2.

Resultados:

Las pruebas se hicieron de manera correcta, habiendo una leve mejoría; pero el ambiente de Pisco es muy agresivo, por lo que ocurrió lo inevitable, siendo su cinética de corrosión la siguiente (en verano).

Tabla 8

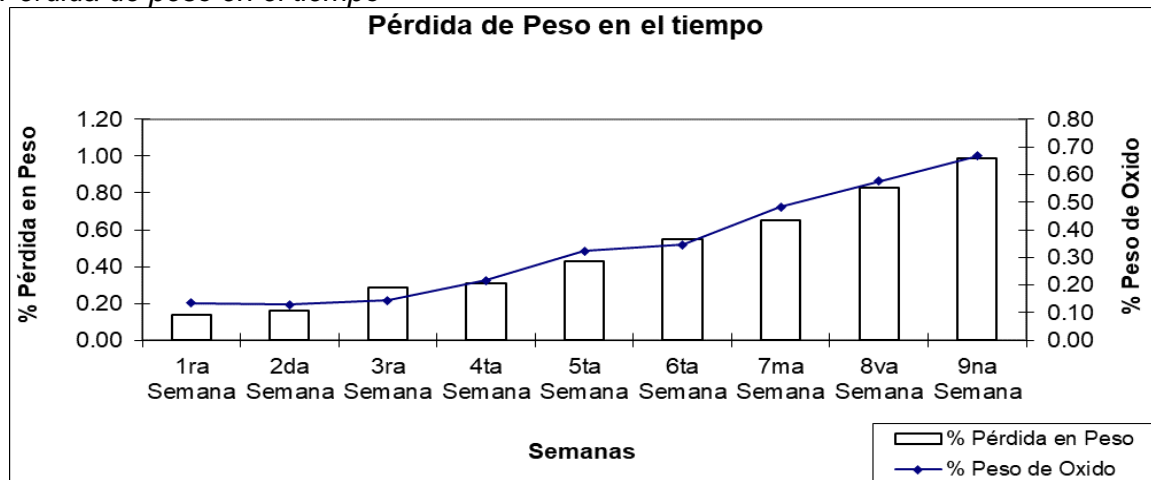
Pruebas

	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Peso Decapado (gr)	Peso capa Oxido (gr)	% en peso del óxido	Peso Original Inicial (gr)	% Pérdida en Peso
1ra Semana	15.3379	15.3586	15.3084	0.0207	0.1350	15.3294	0.1374
2da Semana	13.1230	13.1399	13.0946	0.0169	0.1289	13.1157	0.1615
3ra Semana	14.8596	14.8811	14.8090	0.0215	0.1448	14.8514	0.2856
4ta Semana	17.0556	17.0924	16.9932	0.0368	0.2159	17.0462	0.3110
5ta Semana	17.7783	17.8357	17.6920	0.0574	0.3230	17.7685	0.4306
6ta Semana	16.0721	16.1277	15.9754	0.0556	0.3461	16.0632	0.5469
7ma Semana	17.1406	17.2234	17.0192	0.0828	0.4833	17.1311	0.6536
8va Semana	11.2374	11.3021	11.1383	0.0647	0.5761	11.2312	0.8273
9na Semana	15.5417	15.6455	15.3794	0.1038	0.6682	15.5331	0.9898
10ma Semana	15.5870	15.6875	15.3987	0.1005	0.6451	15.5784	1.1536
11ma Semana	14.0601	14.1818	13.8713	0.1217	0.8660	14.0523	1.2885

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45

Pérdida de peso en el tiempo



Fuente: Elaboración propia.

$$y = -8E-05x^6 + 0.0023x^5 - 0.0255x^4 + 0.1365x^3 - 0.3481x^2 + 0.3949x - 0.0245$$

% Pérdida en Peso

$$y = 6E-05x^6 - 0.0018x^5 + 0.0224x^4 - 0.1377x^3 + 0.4384x^2 - 0.5989x + 0.4133$$

% Peso de Óxido

Uso de pinturas anticorrosivas epóxicas, Resinas epóxicas, Primer

Objetivo:

Recubrir las varillas con una capa fina de pintura anticorrosiva (en el orden de 20 hasta 75 μ m) que lo proteja del ambiente agresivo de Pisco por unos 2 meses.

Método:

Mezclar bien las pinturas con su diluyente para adelgazar la capa de pintura protectora. Se usaron para la aplicación brocha y atomizador.

Figura 46

Con la brocha hay una capa de mayor espesor



Nota: Deja muchos surcos, que tienen que ser repintados.

Se usaron las diferentes marcas de pinturas recomendadas por los jefes de ventas de las empresas de pinturas, las cuales deben tener las siguientes características:

- Bajo costo.
- Secado rápido al aire.
- Que no contengan aceite.
- Buenas propiedades mecánicas después de secar.
- Una pintura que, al secar, no tenga mala apariencia, ya que no se contempla la preparación de superficie del alambre, por el mismo proceso.
- Libre de Plomo.
- Fácil de aplicar a soplete.
- Excelente adherencia a hierro y acero.
- Alto contenido de sólidos.
- Buena elasticidad.
- Gran resistencia a la humedad superficial.
- Resistente a la abrasión.

Las pinturas fueron las siguientes:

- Corpisur 50%
- Corpisur 60%
- Anypsa
- Vencedor
- Sherwin Williams
- Clariant

Todas las pinturas anticorrosivas funcionan, y su costo está en el rango de 40 a 60 \$/Tn, dependiendo de la marca y del porcentaje de sólidos; pero después de 01 mes de iniciada las pruebas, vi que existía un problema que es la temperatura, ya que a la salida de las varillas llega hasta 110°C y los solventes de estas pinturas se aplican a una temperatura máxima de 45°C (todo proceso se recomienda pintarlas al último), porque si

no se forman ojos de pescado o PINHOLES. La solución es colocar puntos donde haya aire comprimido que le baje la temperatura hasta poder aplicarlo.

El aire comprimido normalmente contiene humedad y aceite en aerosol casi imperceptible al ojo humano por lo que técnicamente se debería secar el aire ya sea para uso industrial o uso medicinal, ya que el aire que nos proporciona las compresoras tanto eléctricas como las accionadas por motores diesel no son aptas para ser respiradas ni para utilizarlas en procesos de producción donde se utilice este tipo de aire, porque la humedad ayuda a la corrosión y el aceite empeora la superficie para cualquier tipo de aplicación superficial. Los filtros coalescentes se utilizan justamente para atrapar los contaminantes como humedad y aceite en aerosol permitiendo de esta manera que el aire se filtre y tengamos un aire comprimido de calidad y sin riesgos para nuestros procesos productivos.

Estos filtros se seleccionan en función a la presión del compresor y a la cantidad de pies cúbicos por minutos (cfm) que proporciona.

Una vez que se le baja la temperatura existió otro problema más, que es el secado de la pintura, ya que ellas secan no menos de media hora. Por lo que procedí a elegir la pintura anticorrosiva de menor tiempo de secado, ya que cuando sea pintada la varilla centímetros antes del corte, éstas varillas tendrán contacto con la mesa de empaquetado, con las mismas varillas y con los guantes de los operarios, por lo que el recubrimiento se saldrá fácilmente.

Por lo que procedí a realizar una prueba, para saber si verdaderamente sucede algo en el poco tiempo de aplicación.

Esta prueba consiste en pintar una varilla sin tocar y la otra varilla tocada con guantes, tocada con otra varilla, para simular la línea de Laminado en frío.

Resultado:

Se puede observar en la imagen que la probeta en la parte superior no ha sufrido cambio alguno, en cambio la probeta de abajo que ha sido manipulada ha sufrido corrosión a los 3 días (en invierno) de su exposición al medio ambiente.

Figura 47

Probetas sin y con cambio por corrosión



Fuente: Elaboración propia.

Conclusión:

- El manipuleo existe ya que las 50 varillas salen en 2 minutos y se amarran al momento.
- No se recomienda este procedimiento porque presentan partes desnudas que se han salido por el manipuleo y rozamiento entre metales.

Protección catódica

Silicato de Sodio y Polvo de Zinc. Prueba N° 1

Uso del silicato de sodio con polvo de zinc:

Este recubrimiento se considera un galvanizado en frío, en el cual la película es formada por la aplicación de una mezcla homogénea de polvo de zinc y una solución acuosa de silicato inorgánico, formándose una película de silicato de zinc con oclusiones de zinc en polvo, siendo su naturaleza inorgánica. Este recubrimiento en lugar de presentar una barrera impermeable al medio corrosivo se antepone a este una película de zinc con alta conductividad eléctrica capaz de sacrificarse anódicamente para proteger al acero, es decir lo protege a partir del principio de la protección catódica.

Objetivo:

Proteger a las varillas desde el punto de vista catódico.

Método:

Se hicieron varias pruebas, pero la que mejores propiedades tuvieron, fue la siguiente:

% DE SILICATO = 95.83 %

% DE POLVO DE ZINC = 4.17 %

El gasto diario sería de \$1141.95 (incluido IGV) para un promedio de 36 toneladas, lo que equivale a \$31.7/Tn.

Ventajas:

- Buena Adherencia de la solución sobre el metal.
- Buen brillo sobre la superficie.
- La solución es del mismo color que la varilla.

Desventajas:

- El Silicato de Sodio es higrofóbico, o sea pierde volumen con el tiempo y varía la concentración, siempre y cuando esté en solución.
- Si no se mantiene una constante mezcla, se forma una película delgada de silicato en las paredes, lo cual hace que la concentración de la mezcla varíe.
- Con el uso de la brocha se forman grumos en las cerdas o pelos, que impiden su correcta aplicación. Otros métodos de aplicación no fueron necesarios por el costo elevado.
- Las cerdas de la brocha, a los pocos minutos de estar en contacto con la solución se comienzan a endurecer, impidiendo su correcta aplicación.

Conclusión:

El rendimiento es de 1 Lt/3.48 m² ó 1 Gl/13.1718 m².

Silicato de Sodio y Polvo de Zinc. Prueba Nº 2

Silicato de sodio con polvo de zinc en caliente

Objetivo:

Comprobar que a altas temperaturas el Silicato de Sodio, posee menor viscosidad y mejora su aplicación.

Resultado:

El Silicato de Sodio bulle a los 102 °C, formándose una capa delgada en la superficie (especie de nata) que debe retirarse para la adición del Silicato en la probeta. En la base a esta temperatura se forma un precipitado sólido duro.

Conclusión:

- A partir de 40 a 50°C se forma una delgada capa de Silicato de Sodio, habiendo una pérdida de material.
- Al momento de ir enfriando se forma una capa dura en el fondo de la base, por lo que se pierde material. Se recomienda siempre mantenerlo a una temperatura constante, entre 20 y 35°C.

Silicato de Sodio y Polvo de Zinc. Prueba N°3

Uso del silicato de sodio con polvo de zinc a diferentes tiempos de inducción

Objetivo:

Conocer si a diferentes tiempos de inducción o acondicionamiento, el silicato de Sodio con Polvo de Zinc reacciona con el propósito de que se forme Silicato de Zinc en su totalidad, y así dar la protección catódica que se necesita en las varillas.

Método:

Se varió las concentraciones y los tiempos de inducción, los cuales fueron:

Tabla 9

Probetas inmersas en la mezcla

PROBETA	PORCENTAJE DE ZINC	TIEMPO DE INDUCCIÓN (MINUTOS)
Probeta # 1	Al 5 %	15
		30
		45
Probeta # 2	Al 10 %	15
		30
		45
Probeta # 3	Al 15 %	15
		30
		45

Nota: Todas las probetas han sido inmersas en la mezcla.

Resultados:

A los 6 días de exposición:

Figura 48

Aplicado al 5 % de Zinc



Nota: Se aprecian partes blanquecinas. El de abajo es 15', el del medio es 30' y el de arriba es 45'.

Figura 49

Aplicado al 10 % de Zinc



Nota: Se aprecian partes blanquecinas en menor proporción. El de abajo es 15', el del medio es 30' y el de arriba es 45'.

Figura 50

Aplicado al 15 % de Zinc



Nota: Se aprecian pocas partes blanquecinas. El de abajo es 15', el del medio es 30' y el de arriba es 45'.

Rectificación de la prueba

Uso del silicato de sodio con polvo de zinc a diferentes tiempos de inducción:

Las partes blancas que aparecen en la probeta se deben a la presencia de cloruros, ya que están en contacto directo con la arena. Se pudo comprobar en el laboratorio, con la adición de Nitrato de Plata, formándose un precipitado blanco.

Por lo que se procedió a colocar nuevas probetas en un nuevo sitio, más cercano a la zona de almacenamiento.

Silicato de Sodio y Polvo de Zinc. Prueba N° 4

Uso solo del silicato de sodio a diferentes concentraciones

Objetivo:

Disminuir el costo (34.6 \$/tn), diluyéndolo desde 1:1 hasta 1:5, con agua, ya que con Alcohol Industrial, Solvente Premium y Acetato de Etilo, se forma un precipitado, perdiendo material.

Método:

La preparación fue 95% de Silicato de Sodio con 05% de Polvo de Zinc, y la dilución se hizo en % en peso total. A cada probeta lo bañé y lo dejé en el patio para su evolución en el tiempo.

Resultados:

Figura 51

Probetas a los 4 días en el patio de cada dilución



Nota: De derecha a izquierda se aprecian las diluciones de 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, donde la coloración pardusca evidencia la presencia de Hematita.

Conclusión:

Este proceso fue descartado por los resultados obtenidos.

Silicato de Sodio y Polvo de Zinc. Prueba N°5**Uso del silicato de sodio con polvo de zinc a bajas concentraciones****Objetivo:**

Por las diferentes pruebas que se han realizado, se observó que a diluciones altas con contenido de agua, (dilución 1, 2, 3, 4 y 5) el pH tiende a bajar, con tendencia a 7, por eso se presenta la corrosión.

Método:

Se realizaron las mismas pruebas pero a diluciones menores, desde 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 hasta 0.9, de dilución. Con esto el pH baja en menores cantidades, manteniéndolo en una basicidad. Los costos varían desde 5.75 hasta 13.64 \$/Tn. Con aspersión el costo sería menor.

Las probetas han sido colocadas en el patio, esperando un mejor resultado.

Resultados:

A los 3 días de exposición se produce un descascarillado en toda la superficie de la probeta. Descartándose este proceso.

Figura 52

Descascarillado en toda la superficie de la probeta



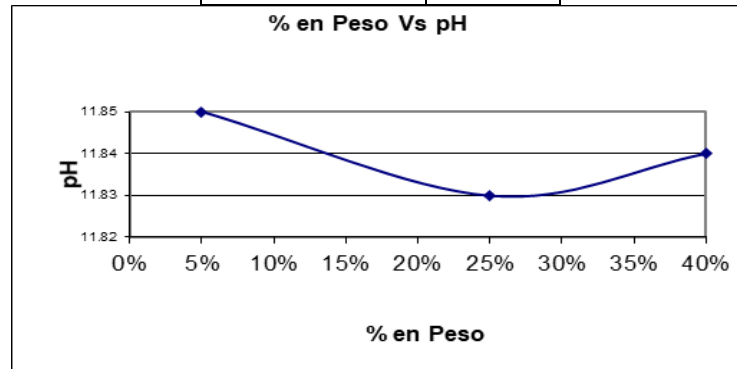
Fuente: Elaboración propia.

Conclusión:

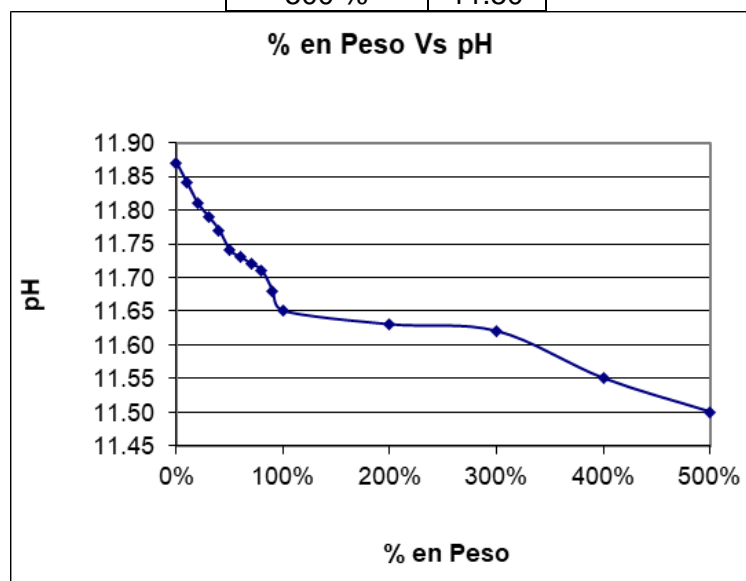
Este proceso fue descartado por los resultados obtenidos.

Se midió el pH en la UNI, (Metalurgia), y los resultados fueron los siguientes:

Silicato + Zn°	
% en Peso Zn°	pH
5 %	11.85
25 %	11.83
40 %	11.84



Solo Silicato + Agua	
% en Peso	pH
0 %	11.87
10 %	11.84
20 %	11.81
30 %	11.79
40 %	11.77
50 %	11.74
60 %	11.73
70 %	11.72
80 %	11.71
90 %	11.68
100 %	11.65
200 %	11.63
300 %	11.62
400 %	11.55
500 %	11.50



Conclusiones del uso de Silicato de Sodio con Polvo de Zinc

- El Silicato de Sodio es FLOCULANTE y a cualquier % de agua con adición de Polvo de Zinc, se deprime, y no funciona como protección catódica.
- El Silicato no es plástico, y cuando hay diferencias en el día de temperatura se va cuarteando hasta romperse, aunque este recubrimiento es bueno para ambientes de baja temperatura, o con un techo que lo proteja del sol.
- El costo de la mezcla es de 34.6\$/Tn

Inhibidores de la corrosión:

Un inhibidor es una sustancia que se añade, generalmente en proporción muy pequeña, a un medio corrosivo, para detener o disminuir la velocidad de la corrosión, formando un compuesto protector insoluble sobre la superficie del metal, bien sea catódica o anódica. (Sika, 2002)

Los inhibidores se emplean mucho en el decapado ácido, para disminuir la velocidad de ataque del metal a decapar sin interferir la eliminación de la capa de óxido.

Existen dos clases de inhibidores: los anódicos y los catódicos.

- Los inhibidores anódicos reaccionan sobre las partes anódicas del metal, formando un compuesto protector. Se emplean como inhibidores anódicos el carbonato sódico, el bicarbonato sódico, el fosfato sódico, el silicato sódico y el cromato, sódico. También se emplea el bicromato potásico en la proporción de 0,2 por ciento.
- Los inhibidores catódicos forman compuestos protectores sobre el cátodo empleándose para este fin sulfato de magnesio, de níquel y de cinc. Los inhibidores catódicos se utilizan para evitar la corrosión del acero en aguas neutras.

Existen otros inhibidores denominados de absorción, que son sustancias coloidales que se fijan sobre el metal. Entre éstos pueden citarse la gelatina, el tanino, el agar-agar, etc.

Objetivo:

Protegerlo del ambiente agresivo de Pisco por unos 2 meses.

Método:

Koranti A1

- Koranti A1, ya viene con una dilución lista para usar.
- Calentar la solución entre 50 y 60°C, para acelerar las reacciones del producto con el metal.
- Enjuagar con agua limpia. El agua debe correr sobre la superficie en forma uniforme, sino ocurriese esto, repetir el paso b)
- No usar aire comprimido, ni a alta presión, secar al aire libre.

Korantin P

- Es una masa gelatinosa muy viscosa.
- Lo diluí al porcentaje recomendado por el representante de ventas de BASF, o sea al 3% en volumen con agua de caño.
- No usar aire comprimido, ni a alta presión, secar al aire libre.

Korantin LUB

- Es una masa gelatinosa muy viscosa.
- Lo diluí a diferentes porcentaje, 2%, 5%, 10%, para saber en qué rango se encuentra el óptimo.
- No usar aire comprimido, ni a alta presión, secar al aire libre.

Korantin MAT

- Es una masa gelatinosa muy viscosa.
- Lo llevé a diferentes concentraciones, tales como 0.1 gr/lt, 0.5 gr/lt, 1 gr/lt, 2 gr/lt, 3 gr/lt, 4 gr/lt con agua a temperatura ambiente y sólo esta última concentración lo llevé entre 60 y 70°C para ver su comportamiento en el tiempo.
- No usar aire comprimido, ni a alta presión, secar al aire libre.

Korantin PAT

- Es una masa gelatinosa muy viscosa.

- Lo llevé a diferentes concentraciones, tales como 0.5 gr/lt, 0.7 gr/lt, 1 gr/lt, 2 gr/lt, 3 gr/lt, con agua a temperatura ambiente y sólo esta última concentración lo llevé entre 60 y 70°C para ver su comportamiento en el tiempo.
- No usar aire comprimido, ni a alta presión, secar al aire libre.

Korantin CHEM

- Es un líquido que lo lleve a diferentes concentraciones, tales como 1 ml/lt, 2 ml/lt, 3 ml/lt, 4 ml/lt, con agua a temperatura ambiente y sólo esta última concentración lo llevé entre 60 y 70°C para ver su comportamiento en el tiempo.
- No usar aire comprimido, ni a alta presión, secar al aire libre.

Korantin LUB – P

- Es un líquido que lo llevé a diferentes concentraciones, tales como 1 ml/lt, 2 ml/lt, 3 ml/lt, 4 ml/lt, con agua a temperatura ambiente y sólo esta última concentración lo llevé entre 60 y 70°C para ver su comportamiento en el tiempo.
- No usar aire comprimido, ni a alta presión, secar al aire libre.

Resultados:

Figura 53

Con inhibidores a los 5 días en el patio con Korantin A1 con reinmersion



Fuente: Elaboración propia.

Figura 54

Con inhibidores a los 2 días en el patio con Korantin - P al 3% con agua



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55

Con inhibidores a los 7 días en el patio con Korantin LUB al 2%



Nota: Con Alcohol porque con el agua se forma un precipitado

Figura 56

Con inhibidores a los 7 días en el patio con Korantin - LUB al 5% con alcohol



Nota: Con alcohol porque con el agua se forma un precipitado.

Figura 57

Con inhibidores a los 7 días en el patio con Korantin - LUB al 10% con alcohol



Nota: Con alcohol porque con el agua se forma un precipitado.

Figura 58

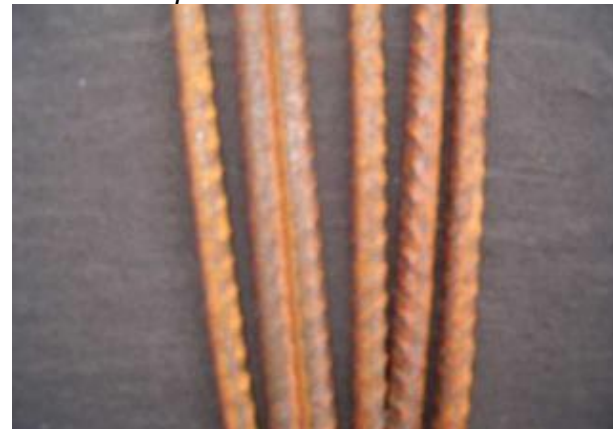
Con inhibidores a los 3 días en el patio con Korantin - MAT



Nota: De izquierda a derecha, 0.1 gr/lt, 0.5 gr/lt, 1 gr/lt, 2 gr/lt, 3 gr/lt, 4 gr/lt con agua a temperatura ambiente y sólo esta última concentración lo llevé entre 60 y 70°C

Figura 59

Con inhibidores a los 3 días en el patio con Korantin - P



Nota: De izquierda a derecha, 0.5 gr/lt, 0.7 gr/lt, 1 gr/lt, 2 gr/lt, 3 gr/lt, con agua a temperatura ambiente y sólo esta última concentración lo llevé entre 60 y 70°C.

Figura 60

Con inhibidores a los 3 días en el patio con Korantin - CHEM



Nota: De izquierda a derecha, 1 ml/l, 2 ml/l, 3 ml/l, 4 ml/l, con agua a temperatura ambiente y sólo esta última concentración lo llevé entre 60 y 70°C.

Figura 61

Con inhibidores a los 3 días en el patio con Korantin – LUB-P



Nota: De izquierda a derecha, 1 ml/l, 2 ml/l, 3 ml/l, 4 ml/l, con agua a temperatura ambiente y sólo esta última concentración lo llevé entre 60 y 70°C.

Conclusiones:

- Muchos de estos inhibidores, se usan en sinergia con otros inhibidores, por lo que su uso individual, no ha dado resultado alguno.
- El uso de los Korantin, por lo que he observado, es más para ambientes acuosos, donde haya un elemento corrosivo, y este inhibidor, formará una capa en ese fluido sobre el metal, ya sea de forma anódica o de forma catódica.

Uso del Nitrato de Sodio

El Nitrato de Sodio es una sal de sodio, que, al contacto con el agua, se disocia, o sea el sodio con carga positiva y el inhibidor con carga negativa.

Objetivo:

Proteger a las varillas por un periodo de 02 meses.

Método:

- Se diluyó el Nitrato de Sodio al 3%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% con agua de caño. A partir de 60% se comienza a saturar y entre 70 a 80% está completamente saturado.
- También se usó al 1%, 2%, 3%, 5%, 7%, 10% con alcohol industrial. A partir de 10 a 11% se satura y no se disuelve.

Resultados:

Figura 62

A los 5 días en el patio, con Nitrato de Calcio más alcohol



Nota: De izquierda a derecha es de 1%, 2%, 3%, 5%, 7%, 10%

Figura 63

A los 5 días en el patio, con Nitrato de Calcio más agua



Nota: De izquierda a derecha es 3%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%.

Uso de bolsas thermo contraíbles

La idea nació de recubrir los paquetones de varillas, para impedir el ingreso de oxígeno y humedad, así que se procedió a buscar un elemento que sea impermeable y resistente, como las bolsas.

Estas bolsas son muy resistentes y existen de diferentes espesores, tales como 2, 4, 6 y 8 micras de espesor. Todas ellas transparentes y con un buen acabado.

Datos técnicos:

Índice de fluidez = 3.50 gr/10min

Densidad absoluta = 0.9217 gr/cm³

Punto de fusión = 116 °C

Método:

Envolver la pieza con el plástico termo contraíble y sopletear a baja temperatura, hasta que el plástico se halla adherido a la superficie del paquetón. Los extremos se doblan y también se sopletea.

Resultados:

La prueba se realizó con plástico thermo contraíble de 8 micras de espesor.

Figura 64

Muestra con plástico y sin plástico



Nota: Se ve la diferencia de ambientes, uno son aire y otro aireado.

Figura 65

Plástico adherido a la probeta



Nota: Tiene muy buena adherencia a la superficie.

Figura 66

Plástico adherido a un conjunto de probetas



Nota: Se aprecia muy bien las varillas en su interior.

Conclusiones:

- Es la mejor solución para ser aplicada después del amarre de los paquetones.
- Su costo es de 2.86\$/tn
- No daña el medio ambiente.
- Es resistente a todo ambiente.
- El plástico no se pega al paquetón.
- El único inconveniente es que el polvo se deposita sobre el plástico, opacándolo ligeramente.
- Las puntas de los alambres de amarre deben estar pegadas al paquete, para no dañar a la bolsa.

Conclusiones

No se puede utilizar ningún tipo de pintura, ya que su tiempo de secado es mucho mayor al que se necesita, por lo que el contacto entre las diferentes superficies y guantes del operador, hacen que se salga la pintura, produciéndose la corrosión.

No es posible aplicar un recubrimiento anticorrosivo en la línea de laminación en frío, ni en la máquina enderezadora de varillas, por el corto tiempo y el contacto entre metal y metal.

El silicato de Sodio no es plástico, por lo que se cuartea por las diferencias de temperatura en el día. Siendo éste un buen recubrimiento en zonas frías o con un techo que lo proteja del sol.

De las 25 ferreterías que he visitado sólo una ha rechazado el producto en septiembre, esto quiere decir que es un 4 % en temporada de invierno. Ahora en verano no hay ninguna que lo haya hecho.

Veinte (20) ferreterías dijeron que no tuvieron, ni tienen comentario alguno de sus clientes. Esto quiere decir que el 80% no tiene comentarios positivos ni negativos sobre el acero corrugado \square 4.7mm. Las otras 4 ferreterías dijeron lo escrito en el punto 4.3.

La venta es buena y los clientes han reemplazado el acero corrugado de \square 6mm por el de \square 4.7mm por el menor costo y porque “según ellos” cumple las mismas funciones.

Recomendaciones

En Pisco:

Las puntas de los alambres con que se amarran los paquetes y paquetones, siempre deben estar pegadas a la superficie del paquetón para no dañar la bolsa termo contraíble e impida el ingreso de oxígeno y humedad.

Este tipo de recubrimiento también lo recomiendo a las varillas de $\square 6\text{mm}$, tanto de 9 metros como de 11.90 metros.

Analizar lo más antes posible el lubricante en polvo que se usa, porque puede contener elementos que ayuden a la corrosión, elementos higroscópicos. Analizar por Fósforo, Azufre, Calcio, Cloro, Contenido graso, Humedad.

El recubrimiento de Silicato de Sodio con Polvo de zinc, (es vidrioso), se podría utilizar por temporadas, como por ejemplo en el invierno, por la baja temperatura.

Recomiendo el uso de la arcilla Bentonita como recubrimiento anticorrosivo, usado a diferentes concentraciones, con agua, alcohol, bencina, etc.

Recomiendo el uso y/o estudio de la arcilla Bentonita con Dodecilamonio (o cualquier otro amonio) como recubrimiento anticorrosivo, porque juntos, son repelentes del agua.

Recomiendo el uso de la Arcilla marga como recubrimiento anticorrosivo, que contiene de 20 a 60% de caliza, que lo vuelve impermeable.

Estos 3 últimos puntos se aplicarían, centímetros antes del rodillo acabador o corrugador, porque la presión ejercida de ellas, formarían una película.

Recomiendo el estudio de recubrimientos, hechos a base de plásticos en polvo, porque su costo también económico y se usa en la industria del pintado de balones de gases, pintado de carros, pintado de sillas, puertas, etc.

Airearlo al nivel de su base de manera que se evite la excesiva concentración de agua que se fija por condensación (Enfriamiento superficial del fierro) y además elevarla

del suelo para evitar la humedad por ascensión capilar. Todos estos procedimientos aminoran la velocidad del proceso de oxidación, pero no lo evitan.

Recomiendo la instalación de una cobertura hermética hecha de Geotelas (Sistemas tipo galpón) que proteja de la humedad relativa, de los vientos directos y que además los lotes se almacenen en un sistema de parrillas elevadas. Esta estructura liviana deberá construirse de preferencia sobre un terraplén diseñado sus cimientos contra la ascensión capilar.

En Lima:

El almacenamiento debe hacerse sobre cuarterones de madera, protegiéndolos de la lluvia con bolsas de cemento vacías o plástico. Sin protección el fierro se oxida.

El fierro ligeramente oxidado no requiere limpiarse antes de usarlo. Cuando la oxidación es avanzada el fierro tiene unas escamas que deben ser limpiadas con escobilla de acero.

Antes de usar el fierro de construcción deben quitarse suciedades como aceite y pinturas.

Colocar las varillas en un lugar donde las varillas no tengan contacto con el suelo (tierra), ya que la tierra, por medio de los electrolitos lo ayuda a la corrosión.

Colocar calaminas en los techos de los depósitos de material noble, para impedir que el agua de la garúa tenga contacto con las varillas de construcción.

Continuar con este tipo de encuestas de puerta en puerta (representante de Pisco), así el cliente se sentirá mejor y se llegará a la satisfacción del cliente interno y externo.

Referencias bibliográficas

- ASTM G50-20. (2025). *Práctica estándar para la realización de pruebas de corrosión atmosférica en metales*. Obtenido de <https://store.astm.org/g0050-20.html>
- Avner. (1993). *INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA*. México: McGraw-Hill.
- Ayuso. (2021). *Protecciones del acero de construcción expuesto a ambiente salino*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=310953>
- Barraco, & Torres. (1999). *LA PINTURA COMO MÉTODO DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA*. Revista Montajes e Instalaciones N° 329.
- Bautista. (2024). *Resistencia a la tracción de mechas de acero corrugado expuestas a corrosión en construcciones por etapas diferidas*, Chiclayo 2023. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/144811>
- Galvele. (1979). *CORROSIÓN. Serie de química – Monografía N°21*. Buenos Aires – Argentina.
- Higgins. (1974). *INGENIERÍA METALÚRGICA*.
- Lasheras. (1978). *TECNOLOGÍA DEL ACERO*. CEDEL.
- Quezada. (2022). *Impacto de los Factores Ambientales y de Contaminantes en la Integridad del Acero al Carbono AISI 1010 en Ambientes Marinos*. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/server/api/core/bitstreams/fea717ea-14f9-439d-85ad-7083828ef0e8/content>
- Rocha. (1985). *LA CORROSIÓN Y LA PROTECCIÓN DE LOS METALES*. Revista del ITINTEC.
- Sika. (2002). *CONOCER MEJOR LOS INHIBIDORES DE LA CORROSIÓN*. Madrid - España: Revista de la Construcción Tanitpress.
- West. (1986). *CORROSIÓN Y OXIDACIÓN Fundamentos*. LIMUSA.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Normas de Fabricación de Barra Corrugada 4.7mm y Normas de evaluación por Corrosión.....	1

Anexo 1: Normas de Fabricación de Barra Corrugada 4.7mm y Normas de evaluación por Corrosión.

1. ASTM A496-02 Standard Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement.
2. ASTM G31-21 Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals.
3. NACE SP0308: Inspection Methods for Corrosion Evaluation of Conventionally Reinforced Concrete Structures.
4. NACE SP0390: Maintenance and Rehabilitation Considerations for Corrosion Control of Atmospherically Exposed Existing Steel Reinforced Concrete Structures.