



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **Recepción de Nueva Máquina en Tenaristamsa**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniería Mecatrónica**

**P R E S E N T A**

Irwing Salomón Santos Violante

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Jesús Manuel Dorador González



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018**

# Facultad de Ingeniería

## División de Ingeniería Mecánica e Industrial

NOMBRE DE LA EMPRESA: TenarisTamsa

RECEPCIÓN DE NUEVA MÁQUINA EN TENARISTAMSA

### Índice

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>I   ACERCA DE TENARIS.....</b>	<b>4</b>
TENARISTAMSA .....	4
HISTORIA .....	6
PRODUCTOS.....	9
COPLES .....	15
ORGANIGRAMA PARCIAL TENARIS.....	16
<b>II   DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO .....</b>	<b>18</b>
ESTRUCTURA .....	18
PROPÓSITO Y RESPONSABILIDADES PRINCIPALES.....	19
PROYECTO INDUSTRIAL.....	20
<b>III   ACTIVIDADES EN LA EMPRESA .....</b>	<b>21</b>
ANTECEDENTES.....	21
NUEVA CORTADORA (CORH) .....	22
<i>Sistema de Monitoreo de Desgaste de Herramienta.....</i>	<i>26</i>
INSTALACIÓN .....	27
PROBLEMAS RECURRENTE.....	29
<i>Paletizado De Manguitos Por Medio De Robot.....</i>	<i>30</i>
<i>Viruta en el agarrador salida.....</i>	<i>31</i>
<i>Alarmas por sobrecarga de motor .....</i>	<i>32</i>
<i>Impacto de arillo con TPC .....</i>	<i>33</i>
ESTUDIOS DE DESEMPEÑO .....	35
<i>Estudio de insertos .....</i>	<i>35</i>
<i>Repetibilidad en longitud de corte.....</i>	<i>35</i>
DOCUMENTOS FINALES .....	36
<i>Cartas de armado.....</i>	<i>36</i>
<i>Instrucción de Trabajo .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla de condiciones de corte.....</i>	<i>38</i>
<i>Documentación para operador .....</i>	<i>38</i>
OTRAS ACTIVIDADES EN CORH .....	39
TRABAJOS FUTUROS.....	40
EVALUACIÓN .....	40
OTRAS ACTIVIDADES EN COP3.....	41
<b>IV   CONCLUSIONES .....</b>	<b>43</b>



## Introducción

El hito profesional más importante después haber concluido los estudios universitarios es la inserción del nuevo egresado en el ámbito laboral. Compañías como Tenaris cuenta con programas diseñados para atraer a quien acaba de concluir sus estudios y los enrola en un programa en el que se tiene interacción directa con la planta y que permite echar en mano los conocimientos adquiridos.

Este reporte presenta un panorama general sobre:

- Tenaris, su historia, los productos que fabrica y cómo está organizado.
- Global Trainee Program, su propósito, estructura y objetivos.
- Las actividades puntuales que se realizaron en los primeros 6 meses del Global Trainee Program en donde se llevó a cabo un proyecto industrial que fue evaluado por los gerentes de la planta.

El trabajo que se ejecutó dentro TenarisTamsa (La unidad industrial de Tenaris en México) tuvo que ver con el arranque de una nueva celda de manufactura, iniciando desde su recepción, instalación, resolución de problemas y la creación de los primeros estudios tecnológicos de desempeño de la máquina.

La recepción de nuevas máquinas es un trabajo constante en cualquier planta donde se están realizando inversiones. La detección de áreas de oportunidad, redacción de especificaciones técnicas, adquisición de suministros, gestión de recursos (tiempo, capital y equipos de trabajo), análisis de detalle, pruebas de pre-aceptación y pruebas de aceptación finales, es decir, la ejecución del proyecto, son parte del trabajo de los analistas de la Dirección de Ingeniería de Proyectos de las empresas.

El trabajo que se presenta a continuación es desde el alcance y perspectiva de la Dirección de Operación y Mantenimiento; muchas veces estos departamentos entran tarde en el proceso de los proyectos y la transición de la Dirección de Ingeniería de Proyectos a la Dirección de Operaciones Y Mantenimiento resulta lento, no eficiente y con problemas de comunicación; tal que muchas veces no concuerda lo que operaciones necesita con lo que ingeniería diseñó. El proyecto que se realizó buscó solucionar esta transición, agregando el punto de vista operativo a la recepción de una máquina. Debido a esto, la etapa de arranque resultó más eficiente, se generó una colección significativa de información operativa y mantenimiento pudo conocer de forma más completa todos los detalles de la máquina.

El resultado final fue tener dentro de la planta una máquina operativa, con pocas interrupciones y con personal lo suficientemente capacitado para operar y mantener el equipo.

## I | Acerca De Tenaris

Tenaris es una compañía líder en fabricación de tubos y ofrece servicios relacionados para la industria energética mundial, además de ciertas otras aplicaciones industriales como la fabricación de componentes automotrices.

La misión de Tenaris es proveer a sus clientes beneficios a través del desarrollo de productos, excelencia en manufactura y gestión de la cadena de suministros. Se busca minimizar los riesgos para los clientes y ayudarlos a reducir costos, incrementar flexibilidad y mejorar su tiempo de salida al mercado. Tenaris está comprometido a la mejora continua compartiendo conocimiento a través de una única organización global.

Los clientes de Tenaris incluyen a la mayoría de las compañías líderes en el mundo en petróleo y gas, así como a las compañías de ingeniería dedicadas a la construcción de recolección de petróleo y gas, transporte e instalaciones de procesamiento. Sus principales productos son tubos casing, tubing, line pipe y tubos mecánicos y estructurales. [1]



Figura 1.1 Laminador en TenarisTamsa [2]

### TenarisTamsa

TenarisTamsa es el centro industrial de Tenaris en México, en el cual se fabrican tubos de acero para la industria energética. Se ubica en Veracruz y desde hace 65 años participa en la exploración y producción de petróleo y gas alrededor del mundo.

El centro industrial se divide en:

- 1 Acería.
- 3 Plantas de fabricación de tubos.
- 2 Plantas de fabricación de coples.
- 1 Planta de fabricación de protectores para tubos.
- 1 Fábrica de estirado en frío.
- 1 Centro de componentes automotrices.
- 1 Fábrica de accesorios.
- 1 Fábrica de varillas de bombeo.
- 1 Planta de conexiones para tubo de línea.
- 3 Centros de terminación y servicio.
- 1 Centro de investigación y desarrollo.
- 1 Universidad corporativa.
- 1 Centro de Entrenamiento y Pruebas.
- 8 Oficinas comerciales.

TenarisTamsa genera 5,000 empleos directos y 23 mil indirectos, y cuenta con una capacidad de producción de 1 millón 230 mil toneladas de tubos de acero sin costura. El 80% de su producción se exporta a más de 50 países. Durante las seis décadas de operaciones se ha contribuido al desarrollo de la industria energética mexicana trabajando en conjunto con PEMEX, suministrando productos, tecnología y servicios.

En los últimos 7 años se invirtieron 1,300 millones de dólares en ampliación de operaciones y de ofertas de productos, mejorar procesos y cuidado de medio ambiente. Así mismo se han orientado las inversiones al desarrollo de conocimiento a través de espacios como el Centro de Investigación y Desarrollo (R&D) y la Universidad Corporativa (TenarisUniversity).

TenarisTamsa cuenta con el Distintivo L, que reconoce las empresas que cumplen cabalmente con los requerimientos de la Ley Federal del Trabajo del estado de Veracruz. [3]



Figura 1.2 Fábrica De Tubos 3 en TenarisTamsa [4]

## Historia

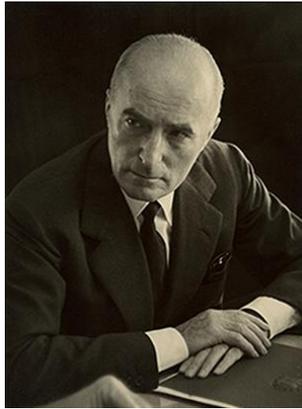
La historia del grupo Tenaris empieza con la fundación de Dalmine en 1909, una planta de manufactura de tubos de acero sin costura en Italia.

En 1930 el estado italiano funda el Instituto para la Reconstrucción Industrial y toma el control de Dalmine. En 1935 se designa a Agostino Rocca como director general. A través de la Segunda Guerra Mundial, Dalmine produce para el gobierno de Benito Mussolini.

Al terminar la guerra en 1945, Agostino Rocca es separado de la compañía Dalmine.

Agostino Rocca funda en 1946 la compañía Techint, la cual se encargará de realizar proyectos de construcción de establecimientos industriales en el campo metal-mecánico y realización de obras públicas como oleoductos e instalaciones de energía eléctrica.

En los siguientes años se llevan a cabo los planes para fundar dos compañías de manufactura de tubos de acero sin costura. Agostino Rocca funda en Campana, Argentina, la compañía Siderca, y el inversionista italiano Bruno Pagliai funda en Veracruz, México la compañía Tamsa. Ambas empresas fueron construidas por Techint.



**Figura 1.3 Agostino Rocca [5]**

Las tres empresas trabajan de forma de independiente hasta que en 1993 Siderca adquiere participación en Tamsa y en 1996 en Dalmine. En este año se forma el grupo DST.

En 2001 DST se convierte en Tenaris, el cual representa a ocho compañías productoras de tubos de acero. [6][7]

A continuación se presenta una lista de los acontecimientos más importantes en la historia del grupo Tenaris.

**1909:** Dalmine empieza a manufacturar tubos de acero sin costura en Italia.

**1914:** Nippon Kokan Kabushiki-Gaisha (NKK) inicia la manufactura de tubos de acero sin costura en Japón.

**1924:** Dalmine se cotiza en la Bolsa Italiana de Milán.

**1935:** Agostino Rocca, el futuro fundador del Grupo de Compañías Techint, se convierte en director general de Dalmine.

**1952:** El 30 de enero se establece Tubos de Acero de México, S.A. (hoy TenarisTamsa).



**Figura 1.4 Bruno Pagliani, primer presidente de Tamsa, durante la comida de inauguración, 1952 [8]**

**1953:** Tamsa se cotiza en la Bolsa Mexicana de Valores.

**1954:** Tamsa inicia operaciones industriales en México y Siderca en Argentina. Ambas plantas son construidas por Techint.



**Figura 1.5 Laminador Peregrino en Tamsa, Veracruz, Medios 1950s [9]**

**1958:** Siderca se cotiza en la Bolsa de Comercio de Buenos Aires.

**1960:** Confab, una empresa brasileña de manufactura de equipos industriales, principia a producir tubos de acero con costura.

**1967:** Tamsa se convierte en la primera empresa mexicana en cotizar en la Bolsa de Valores de Estados Unidos a través del programa American Depositary Receipts (ADR).

**1980:** Algoma ordena la primera planta de tubos de acero sin costura a mandril retenido en Norte América.

**1983:** Tamsa comienza a exportar productos.

**1986:** Siderca asume el control de Siat, una empresa argentina de manufactura de tubos con costura, establecida en 1948.

**1993:** Siderca adquiere participación en control de Tamsa y se forma una alianza.

**1996:** Siderca adquiere participación en control de Dalmine después de su privatización. Con Tamsa esta alianza forma el grupo DST.

**1998:** Junto con la Corporación Venezolana de Guayana, Tamsa toma el control de la planta productora de tubos sin costura de Sidor y se establece Tavsas.

**1999:** Siderca toma el control de Confab.

**2000:** Siderca y Corporación NKK forman NKKTubes para tomar el control de la compañía de manufactura de tubos sin costura de NKK en Keihin Works (Tokio, Japón). Siderca arrienda la planta de tubos de acero sin costura de Algoma Steel y AlgomaTubes inicia operación.

**2001:** DST se convierte en Tenaris, Tenaris representa a ocho compañías productoras de tubos de acero ubicadas alrededor del mundo. Se compra Empresas Riga, una planta de conexiones para tubo de línea en Monterrey. Siderca cotiza en la Bolsa de Valores de Nueva York (NYSE).

**2002:** Se constituye como compañía Tenaris, S.A., con base en Luxemburgo, y tras un proceso de intercambio de acciones de Siderca, Tamsa y Dalmine; pasó a cotizar simultáneamente en las bolsas de Nueva York, Buenos Aires, Milán y México.

**2004:** Se inaugura el Centro de Componentes Automotrices en Veracruz, México. Tenaris adquiere el control de Silcotub, una empresa manufacturera Rumana de tubos de acero sin costura.

**2006:** TenarisTamsa invierte 14 millones de dólares en un Centro de Investigación y Desarrollo. Tenaris expande su presencia en Estados Unidos a través de Maverick Tube Corp. Al mismo tiempo su presencia en Canadá crece con Prudential y establece una presencia en Colombia a través de TuboCaribe.

**2007:** Tenaris adquiere Hydril, una empresa especializada en roscas Premium con plantas en México, Estados Unidos y otros países. De esta forma expande su oferta de productos y servicios para la industria del petróleo y gas.

**2009:** Tenaris extiende su presencia en el oriente asiático a través de la integración de SPIJ, una planta indonesia de operaciones de procesamiento de OCTG. Venezuela nacionaliza Tavsa.

**2010:** Se abre el campus de TenarisUniversity, una universidad corporativa, en Veracruz, con una inversión de 14 millones de dólares. Se inaugura una planta de roscado en Arabia Saudita.

**2011:** Se inaugura la tercera fábrica de tubos de acero sin costura de Tamsa en Veracruz, México.

**2012:** Tenaris anuncia la construcción de la primera planta de tubos sin costura en los Estados Unidos. [10][11]

## **Productos**

Como productores de tubos de acero sin costura, Tenaris centra sus actividades en la manufactura de OCTG (Oil Country Tubular Goods), esto es, tubería de revestimiento (casing), tubería de producción (tubing) y drill pipe, manufacturados de acuerdo a la especificación 5CT de API (American Petroleum Institute).

Tenaris ofrece también conexiones premium, accesorios tubulares, varillas de bombeo y coiled tubing.

Los productos fabricados por Tenaris son usados para actividades de perforación y terminación de pozos de gas y petróleo. [12]

A continuación se incluye un resumen no extensivo de los productos Tenaris.

**Grados De Acero.** Se obtiene al procesar los tubos de acero a través de las plantas de tratamientos térmicos. Tenaris fabrica grados de acero API para aplicaciones generales y al

mismo tiempo grados de acero propietarios para aplicaciones más exigentes. Los grados de acero propietario se pueden dividir en dos grupos dependiendo su utilización:

- Mejora en propiedades mecánicas:
  - Alto colapso.
  - Pozos profundos.
  - Bajas temperaturas.
  - Alta ductilidad.
  - Servicio térmico.
- Mejora en resistencia a corrosión:
  - Servicio Agrío Extremo.
  - Alto colapso y servicio agrío.
  - Servicio crítico.
  - Aleaciones resistentes a la corrosión. [13]



Figura 1.6 Colada Continua En Acería [14]

**Casing y Tubing.** Se producen diámetros de 1 1/3 [in] hasta 28 [in]. Son fabricados con grados de acero propietarios o grados de acero API, que incluyen aceros al cromo, aleados y de alta aleación. La elección del grado de acero depende de las características de desempeño que requiera la tubería, ya sea que se use en ambientes con presencia de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) o se requieran propiedades mecánicas especiales (Alto Colapso) o la tubería se use en bajas temperaturas, etc. [15].



Figura 1.7 Tubería de revestimiento Casing [16]

**Drill Pipe.** Se producen diámetros de 2 3/8 [in] a 5 7/8 [in]. Son fabricados con grados de aceros propietarios resistentes a la corrosión o grados de acero API 5D. Cuentan con las conexiones de Tenaris tipo Wedge™ y de doble hombro DSTJ™. [17]



Figura 1.8 Drill pipe para perforación [18]

**Coiled Tubing.** Es un tramo de tubo continuo embobinado, que luego se desenrolla antes de ingresar al pozo. Se producen de diámetros de 1 [in] a 5 [in] con paredes de 0.08 [in] a 0.3 [in]. [19]



Figura 1.9 Bobina de tubería continua [20]

**Conexiones Premium** Son necesarias para poder ensamblar cadenas largas de tubos. Se dividen en dos familias:

- Conexiones integrales: Son conexiones realizadas cuando un tubo tiene roscado una conexión pin (macho) y una conexión box (hembra) en cada uno de sus extremos. Dichas conexiones son más costosas. Ejemplo: Serie Wedge 600™.
- Conexiones acopladas: Se utiliza un cople roscado internamente y de esta forma se unen tubos con conexiones pin. Las conexiones acopladas son más económicas. Ejemplo: Serie Blue®, Wedge 500™, TenarisXP™.

Tenaris realiza roscado de conexiones Premium, las cuales son propietarias. Sin embargo también se producen roscas API de acuerdo con la norma 5CT. [21]



Figura 1.10 Conexión integral serie Wedge 600™ [22]

**Tecnología Dopeless®.** Es un revestimiento multifuncional seco y se aplica por medio de un proceso completamente automático en las roscas para conexión de la tubería. Sustituye a las grasas actualmente utilizadas para el proceso de apriete de las conexiones. Nace en respuesta de minimizar el impacto ambiental en pozo, sin embargo la tecnología también trae consigo mejoras operativas significativas. [23][24]



Figura 1.11 Recubrimiento Dopeless® [25]

**Protectores.** Tenaris fabrica protectores para rosca. Producidos por medio de inyección plástica en moldes. Dichos protectores sirven para cuidar las roscas de los tubos cuando son enviados al pozo. Regularmente los tubos se envían con un extremo pin acoplado con su respectivo cople y protector, realizado el apriete en planta, y el otro extremo pin con otro protector. Los protectores de Tenaris son distintivamente de color verde. [26]



Figura 1.12 Tubos de Tenaris con protector verde [27]

**Accesorios OCTG.** Tenaris suministra el paquete adecuado de OCTG y accesorios. Los accesorios se pueden dividir en:

- Accesorios tubulares. Producidos a partir de un tubo, un semielaborado, o una barra mecanizada:
  - Pup joints.
  - Coples.
  - Crossovers.
  - Nipples.
  - Blast joints.
  - Flow collar.
  - Plug bull.
  - Tapón de prueba.
  - Tapón de maniobra.
  - Tapón de elevación. [28]
- Accesorios no tubulares:
  - Centralizadores.
  - Stop collars.
  - Protectores.
  - Cabezales.
  - Anillos espaciadores (Anillos de protección).
  - Anillos de sello.
  - Canastas de cementación.
  - Rascadores.
  - Guías de emboque.
  - Mandriles. [29]
- Servicios de roscado para dispositivos especiales:
  - Collares.
  - Subconjuntos de retenedores de bola.
  - Conjuntos de válvulas a charnela.
  - Subconjuntos de aliviadores de presión.
  - Empacadores (Packers).
  - Uniones ajustables.
  - Stingers.
  - Conjunto de localizadores.
  - Anclajes.
  - Drenajes de tubería.
  - Válvulas de subsuperficie.
  - Mandriles.

- Kelly guards.
- Línea de corte y ahogamiento. [30]

**Tubos de conducción.** Los tubos de conducción son aquellos utilizados para distribuir la producción de petróleo. Se dividen en dos familias:

- Onshore. Son aquellos tubos de conducción que se utilizan en oleoductos y gaseoductos en tierra, tuberías de conducción de agua y aguas cloacales y tubos para minería.
- Offshore. Son aquellos tubos de conducción que se utiliza para distribución desde plataformas. Los productos offshore incluyen:
  - Risers tensionados desde la superficie.
  - Risers en catenaria.
  - Flowlines.
  - Codos.
  - Coiled tubing.
  - Tubos umbilicales.
  - Tubos revestidos. [31][32]

Tenaris ha suministrado productos para grandes proyectos de tubos de conducción. El más largo de estos proyectos ha sido el Gasoducto Bolivia-Brasil (GASBOL). Con 3,150 km este gasoducto es el más largo de América del Sur. [33][34]



**Figura 1.13 Gasoducto GASBOL, realizado en 2000 con tubo de conducción Tenaris [35]**

**Varillas De Bombeo.** Tenaris fabrica varillas de bombeo junto con sus coples y accesorios. Se utilizan para levantar mecánicamente el líquido del pozo cuando no hay suficiente presión en el yacimiento para que el líquido fluya hasta la superficie por sí solo. Existen dos grupos de varillas de bombeo.

- Bombeo Mecánico.
- Bombeo por cavidades progresivas. [36][37]



Figura 1.14 Varilla de Bombeo Mecánico con Conexión Premium BlueRod™ [38]

**Productos Automotrices.** Tenaris provee tubos sin costura laminados en caliente y estirados en frío para aplicaciones automotrices como las siguientes:

- Ejes.
- Infladores Y Componentes Para Bolsas De Aire.
- Piezas De Transmisión.
- Cajas Para Juntas Homocinéticas.
- Semiejes.
- Estabilizadores.
- Sistemas De Dirección.
- Barras De Impacto Lateral. [39][40]

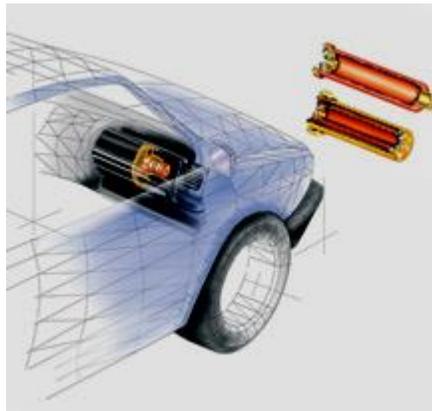


Figura 1.15 Tenaris produce los recipientes de presión para bolsas de Aire [41].

## Coples

El desarrollo del proyecto industrial que se describirá en el capítulo III se desarrolló en la Fábrica de Coples 3 Premium en TenarisTamsa. Los coples son conectores que contienen dos extremos box y cuyo fin es unir dos tubos. Son utilizados para OCTG. Son conformados a partir de tubos semielaborados denominados TPC (Tubo Para Cople). Los TPC son tubos con una pared lo suficientemente ancha para realizar el proceso de roscado interno. [42]



Figura 1.16 Cople Tenaris Blue® [43]

## Organigrama Parcial Tenaris

Tenaris es una compañía multinacional con presencia en más de 20 países. Está constituida en Luxemburgo, sin embargo es dirigida desde Buenos Aires, Argentina. Cuenta con más de 25,000 empleados.

Para fines de este reporte nos limitaremos a delinear brevemente cómo está constituida la organización de TenarisTamsa y se extenderá el organigrama solamente hacia el puesto ocupado en el desarrollo del proyecto.

La Gerencia Regional de TenarisTamsa (naranja en la imagen 1.17) reporta directamente al CEO de la compañía, Paolo Rocca. Las áreas que reportan a la Gerencia Regional son las Direcciones Locales (verde en la imagen 1.17), los cuales se encuentran en cada región productiva de Tenaris.

La Dirección de Operaciones se encarga de la función de producción en cada una de las plantas en TenarisTamsa y al mismo tiempo del departamento de Mantenimiento (morado en la imagen 1.17). Se gestiona las órdenes de producción diarias que son programadas por la Dirección de Supply Chain, buscando utilizar de forma eficiente los equipos e instalaciones industriales y los recursos humanos.

Coples y Roscas Premium son un conjunto de plantas (azul marino en la imagen 1.17) dedicadas al roscado de tubos para realizar conexiones premium ya sean integrales o acopladas, debido a esto la Fábrica De Coples se encuentra en esta gerencia. También lleva el control de operaciones de producción de protectores y de las línea de aplicación de recubrimiento Dopeless®.

La Fábrica de Coples se dedica a las tareas operativas de producción de coples, supervisando los tres turnos del día el desempeño de la planta. En esta gerencia se realizó el proyecto industrial descrito en el Capítulo III. El puesto en el que se realizaron las tareas fue GT Mill Training, el cual se explicará en el Capítulo II.

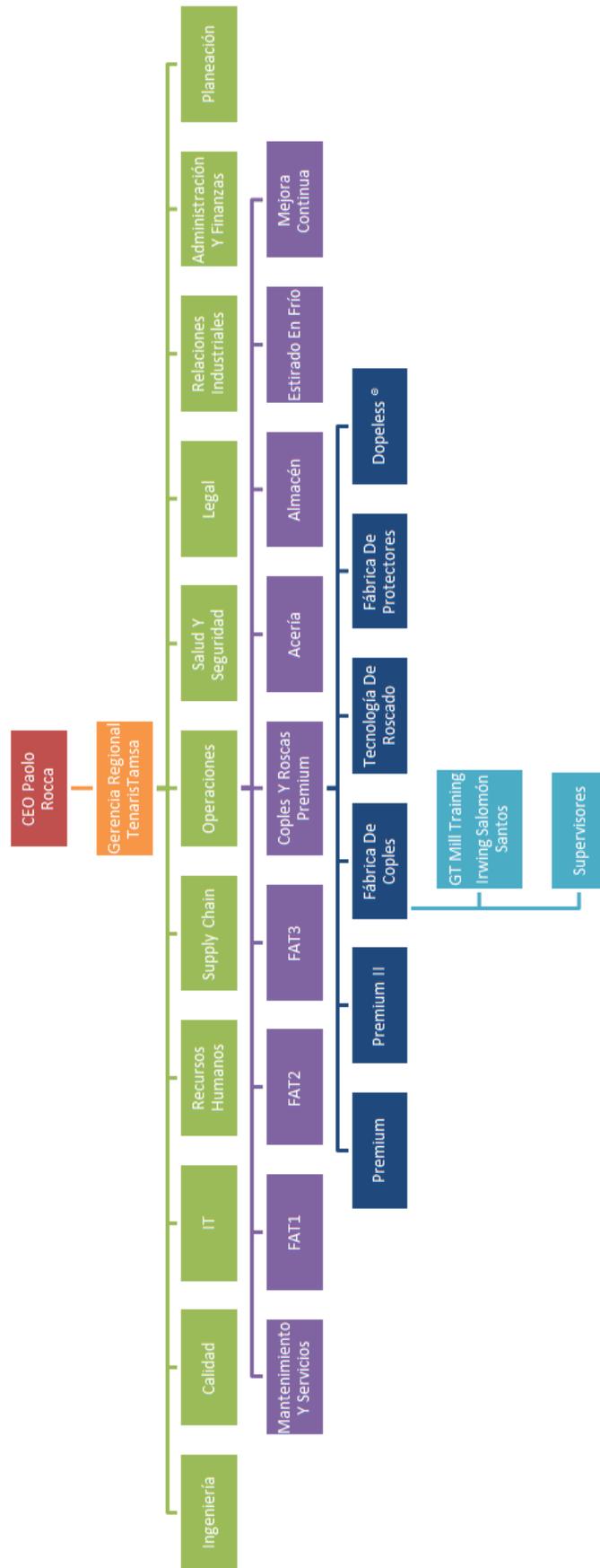


Figura 1.17 Organigrama TenarisTamsa.

## II | Descripción del Puesto de Trabajo

Tenaris cuenta con un programa de desarrollo para ingenieros recién egresados de estudios universitarios, el cual se llama Global Trainee Program (GTP).

El GTP es una herramienta de desarrollo con el objetivo de impulsar a profesionales con conocimiento industrial y con potencial de crecimiento dentro de la organización. Tiene una duración de dos años, donde se introduce al Global Trainee (GT) a los productos, procesos y gestión industrial de Tenaris, a través de dos asignaciones acordes con su perfil académico.

Cerca del 70% de los gerentes y directores actuales de Tenaris se unieron a la compañía por medio del GTP. Esto convierte al programa en uno de los más importantes métodos de reclutamiento de Tenaris. [44][45]

### Estructura

El programa Global Trainee de Tenaris es una combinación de experiencia práctica trabajando y capacitación en aulas y en línea. A continuación se describen los aspectos principales de la estructura del programa:

**Capacitación en el trabajo (Mill Training).** Todos los GTs con antecedentes técnicos están al menos un año en alguna planta productiva. Esto incluye participar en el rol de turnos y la participación en un proyecto industrial específico. De esta forma el GT obtiene conocimientos industriales sobre productos, procesos de manufactura y gestión además de adquirir experiencia práctica.

**Rotación.** Durante los dos años que dura el programa, los GTs son asignados a dos áreas de trabajo con responsabilidades diferentes. Esto genera la oportunidad que el GT tenga un conocimiento más amplio de las diferentes obligaciones de los departamentos de la compañía.

**Capacitación.** Consisten de cursos en aulas y clases en línea para aprender los procesos industriales y procedimientos de la compañía, además de temas técnicos. Tienen por objetivo que el GT entienda la visión de la compañía y su forma de trabajo. La capacitación de los GTs está a cargo de la universidad corporativa TenarisUniversity.

**TenarisUniversity Induction Camp (TUIC).** Son cursos de capacitación con duración de un mes de tiempo completo. El objetivo es el aprendizaje de la forma de organización de Tenaris, así como aspectos de habilidades de gestión y conocimientos técnicos. La mayoría de los instructores son gerentes y directores de Tenaris y el CEO participa una vez por edición. Los profesionales que forman parte del programa tienen la oportunidad de conocer a compañeros GTs provenientes de los países que tienen presencia de Tenaris.

**Evaluación Y Seguimiento.** La retroalimentación es un elemento clave en el programa. Los supervisores de los Global Trainees y el departamento de Recursos Humanos monitorean y

evalúan el desempeño del GT en base a metas establecidas al inicio del programa, el cual establece dos evaluaciones por área de trabajo. La graduación del GT depende de obtener una retroalimentación de desempeño positiva en las evaluaciones. [46][47]



**Figura 2.1 Estructura del GTP para ingenieros recién egresados.**

### Propósito y Responsabilidades Principales

Con base a lo mencionado anteriormente se puede aseverar que el programa tiene como propósito que el profesional recién egresado de la carrera universitaria obtenga experiencia en habilidades de gestión y conocimientos técnicos de aplicación industrial. A lo largo del programa, el GT asimila la forma de trabajar en Tenaris para poder desarrollar su carrera dentro de la empresa.

A continuación se especifican las responsabilidades de los GT en la etapa Mill Training:

- Desarrollar proyectos específicos en áreas de operación de manufactura o en áreas técnicas relacionadas.
- Participar en actividades prácticas con el objetivo de aumentar el conocimiento sobre las diversas áreas de la planta: acería, laminación, ensayos no destructivos, roscado, terminación, laboratorios, trefilado en frío, mantenimiento, metalurgia y tratamientos térmicos.
- Mantener contacto regular con operaciones de producción, productos, procesos de manufactura, los departamentos de administración y recursos humanos.
- Observar los procesos de manufactura principales a través de capacitación en aulas y en el trabajo.
- Cumplir con las políticas, procedimientos, y normas de gestión, y asegurarse de adherirse a todas las leyes y regulaciones referidas al área de responsabilidad.
- Aprender sobre los problemas de salud y seguridad en las plantas.
- Identificar los riesgos principales, las causas más frecuentes de accidentes, descripción de prácticas de seguridad y uso del equipo de protección personal.

- Cumplir con los objetivos de consumo de energía, tomando las acciones necesarias para ahorrar energía.
- Proteger de daño, robo o mal uso de las instalaciones, equipos y otros recursos físicos asignados al área.

## **Proyecto Industrial**

En la etapa Mill Training del programa, los GT participan en proyectos industriales, los cuales, son iniciativas para mejorar algún indicador de desempeño de las plantas en donde son asignados los Global Trainees. Estos indicadores pueden estar relacionados con productividad, calidad, seguridad, mejoras a la gestión de procesos, reducción de impactos ambientales, etc.

Los objetivos del proyecto industrial son presentados a los gerentes de las distintas plantas en una exposición inicial en donde se revisan los alcances proyectados, los tiempos en los que se planea llevar a cabo las distintas etapas del proyecto, y el calendario de entregables. Se hacen comentarios pertinentes y recomendaciones para llevar a cabo el proyecto.

Para el desarrollo del proyecto industrial se considera necesario que el GT realice una evaluación comparativa con los resultados obtenidos en otras plantas de Tenaris a la resolución de problemas similares y, de esta forma, poder homologar soluciones.

Al finalizar el proyecto se realiza una presentación de resultados al mismo comité de gerentes y se indica en qué forma fueron afectados los indicadores de desempeño por la solución propuesta.

### III | Actividades en la Empresa

#### Antecedentes

Después de la capacitación de nuevos empleados - que incluye cursos de Seguridad Laboral, Introducción A Procesos Industriales, Análisis De Riesgos, entre otros - fui asignado al área de Fábrica De Coples 3 Premium (COP3).

COP3 se encarga de la producción de coples. La planta está organizada en celdas de manufactura en donde cada celda recibe un semielaborado de cople en cierto estado de elaboración y el material sale en un diferente estado de elaboración. El material semielaborado es transportado internamente en contenedores (denominados "huacales") por medio de montacargas.

Los coples son conectores con roscado interno para unir tubos con rosca pin, los cuales son utilizados en la perforación y extracción de petróleo. Las roscas que se fabrican en COP3 son propietarias de Tenaris y el acceso a la información de su geometría está restringido.

El primer proceso de la planta consiste en el corte de Tubo Para Cople (TPC) en tramos de longitud variable, dependiendo del producto a fabricar. Los TPC son tubos con pared lo suficientemente ancha para realizar el proceso de roscado interno. Existen espesores de TPC hasta de 2 [in]. Al semielaborado de corte de TPC se le denomina "manguito".

Debido a la demanda de Coples Premium, han existido diversas inversiones relacionadas con la compra de máquinas para ampliar la producción. Estas expansiones convirtieron al proceso de corte en el cuello de botella de la planta, por lo cual fue necesario la adquisición de una nueva máquina cortadora de TPC para solucionar esto. La adquisición de una nueva cortadora daría suficiente capacidad de manguitos para lograr que el cuello de botella fuera ahora el proceso de roscado que es el proceso que genera mayor valor añadido al producto.

Las cortadoras de TPC que se tienen en COP3, previas a la adquisición de la nueva cortadora, disponen de un mecanismo de engranes planetarios y correderas para realizar el proceso de corte (figura 3.1). La corona del sistema de engranes planetarios se mueve a revoluciones variables ( $\omega_m$ ), esto se denomina *revoluciones de corte*. Además, las correderas tienen un avance radial para realizar el corte ( $V_a$ ). Estas cortadoras pueden utilizar hasta 4 insertos, uno en cada corredera, para realizar el proceso de corte.

El proyecto industrial que realicé se enfocó en la puesta en marcha, a partir de la gestión operativa, de una nueva cortadora de alta productividad. Se hizo un seguimiento del historial de instalación y se compiló toda la información que se consideró necesaria para la futura operación y mantenimiento de la máquina: planos mecánicos, eléctricos, hidráulicos y neumáticos, especificaciones técnicas, descripciones operativas y de software, cartas de armado del herramental, instrucciones de trabajo, tabla técnica de condiciones de corte por acero. El proyecto duró un total de 6 meses.

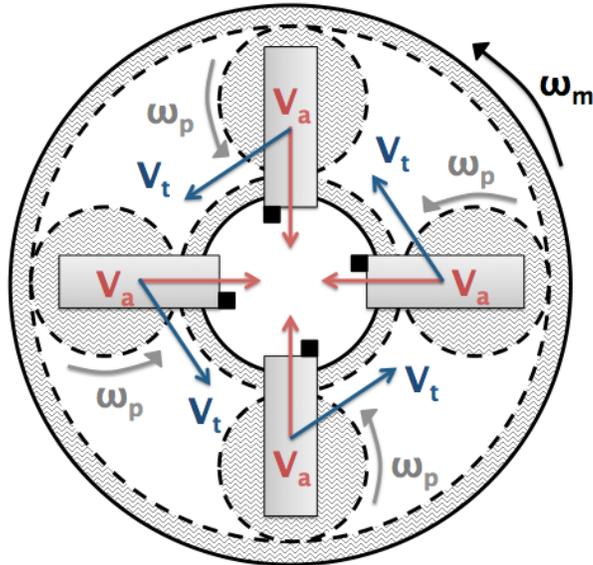
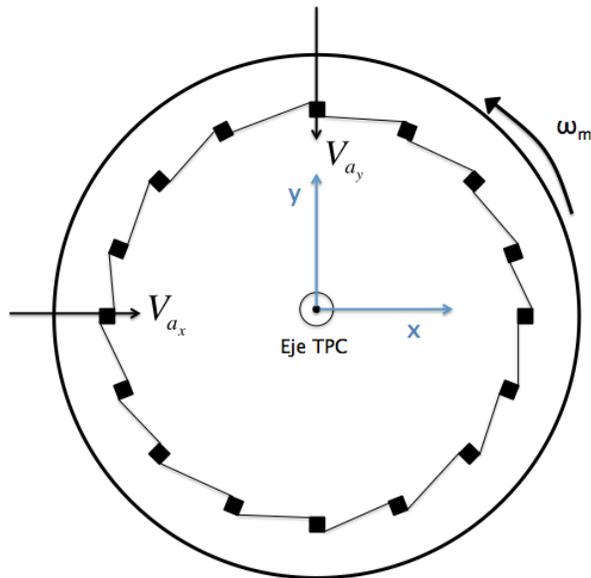


Figura 3.1 Esquema simplificado de engranes planetarios de Cortadoras De TPC.

### Nueva Cortadora (CORH)

Para la nueva cortadora de TPC, se planteó no utilizar el esquema de corte descrito anteriormente, y se optó por una tecnología de corte diferente, en la que se usa una sierra anular cuyo movimiento en un plano XY, perpendicular al eje longitudinal del TPC, hace el corte. El movimiento en XY es realizado por dos husillos, los cuales controlan el avance del corte. Las revoluciones de la sierra anular son controladas por el motor principal. La selección de este tipo de corte reside en la mejora de productividad al tener tiempos de ciclos menores; la diferencia en productividad depende del producto a ser cortado, sin embargo, se puede hablar de una diferencia de piezas por turno entre la nueva cortadora (CORH) y las cortadoras anteriores, con engranes planetarios, de entre 151% a 378% más de producción. Internamente la máquina adquirió el nombre de CORH. (Fig. 3.2)

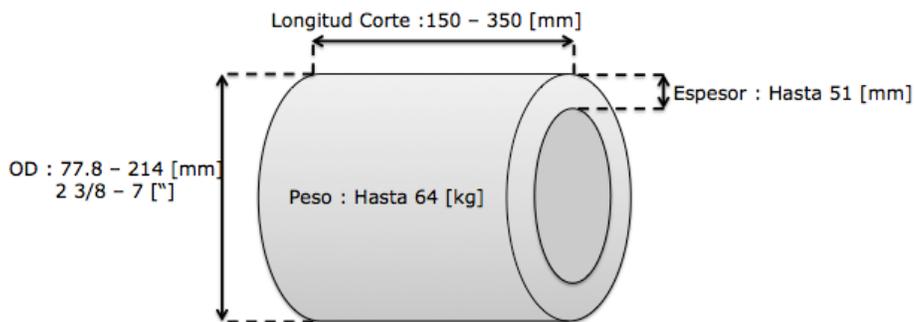
La herramienta de la sierra anular (denominada "arillo") puede tener varios diseños que pueden ser montados en el mismo portaherramientas. El diseño del arillo depende del tipo de inserto a utilizar y del diámetro a cortar. Se utilizan varios arillos para diferentes diámetros de TPC. Para los diámetros menores se utilizan arillos con menos insertos que los arillos para diámetros grandes.



**Figura 3.2 Esquema simplificado de sierra anular de Nueva Cortadora De TPC**

La máquina está diseñada para cortar:

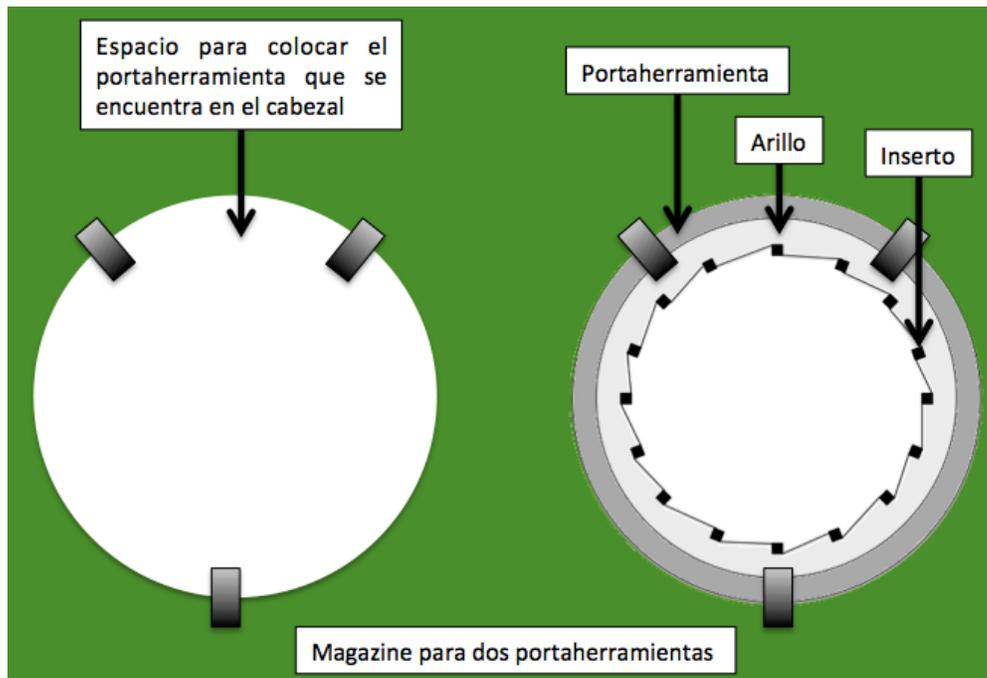
- **Longitud de TPC:** hasta 15 [m].
- **Diámetro de TPC:** entre 77.8 y 214 [mm] (Este rango de diámetros corresponden a coples para tubo OCTG de 2.375 a 7 [in] de diámetro).
- **Espesor de TPC:** hasta 51 [mm].
- **Longitud de manguito:** entre 150 y 350 [mm].
- **Peso de manguito:** hasta de 64 [kg].
- **Material:** acero de hasta 1.2 [GPa] de SMYS [Specified Minimum Yield Strength – Esfuerzo A La Cedencia Mínimo Especificado].



**Figura 3.3 Rango de medidas geométricas de manguito a cortar**

La cortadora cuenta con un sistema de monitoreo de desgaste de herramienta, el cual informa en qué momento se deben cambiar los insertos para evitar cortar con insertos desgastados, lo cual podría afectar la calidad del corte.

La máquina cuenta con un magazine para dos portaherramientas, por lo tanto el cambio de insertos de uno de los arillos se puede hacer al mismo tiempo en que se están realizando cortes con el otro. Al momento de realizar el cambio de herramienta, el portaherramienta con arillo con insertos desgastados es removido del cabezal de corte y se introduce el nuevo portaherramienta con arillo con insertos nuevos, en un proceso que toma menos de 5 minutos. La remoción y colocación de los portaherramientas en el cabezal es realizado por un robot. Esta es una mejora considerable al compararlo con el tiempo de cambio de herramienta de 2 horas en las cortadoras anteriores.



**Figura 3.4 Esquema simplificado de magazine para portaherramientas.**

Los tubos son introducidos a la cortadora por medio de un carro alimentador, actuado por un servomotor. El carro alimentador cuenta con un manipulador de tres puntos, el cual funciona para todos los rangos de diámetros que la máquina puede cortar. El manipulador puede medir el diámetro que está tomando para confirmar que es el diámetro correcto y así evitar colisiones con la herramienta de corte si el TPC es de diámetro mayor al declarado.

Durante el proceso de corte, se tiene un manipulador de salida, y una sujeción principal de tres puntos en la zona de alimentación, los cuales amordazan el manguito a cortar y el tubo respectivamente. Al terminar el corte, el manipulador de salida sostiene el manguito y lo traslada fuera hasta donde un robot lo puede tomar. Dicho manipulador de salida contiene sensores de presencia de pieza para saber si éste ha tomado el manguito correctamente. El robot toma el manguito desde el manipulador de salida y lo lleva a una estación de medición e identificación.

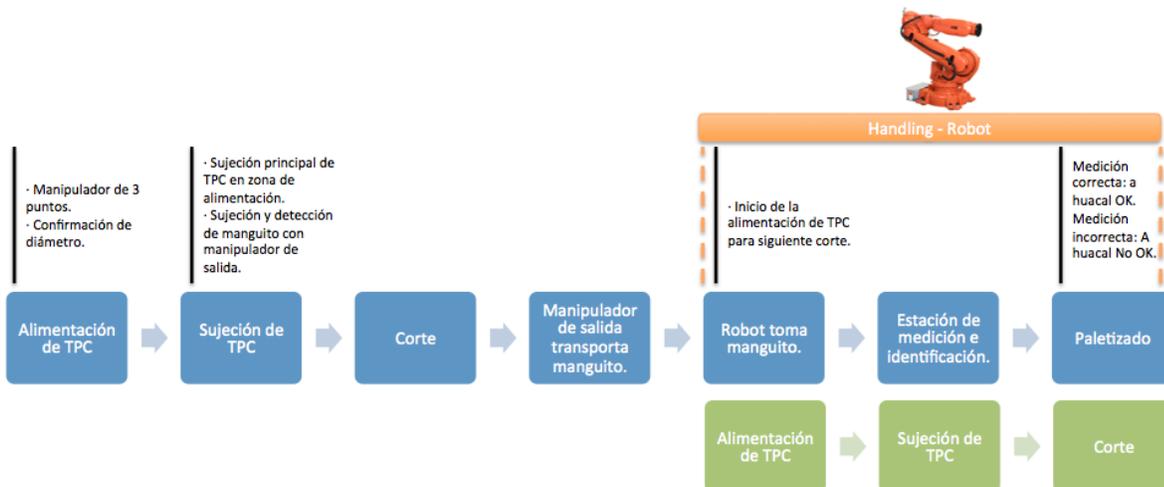
La estación de medición e identificación utiliza pistones para realizar la medición de longitud del manguito, con la intención de realizar estadísticas de la precisión y exactitud de la longitud de corte. La identificación se lleva a cabo por micropercusión. Esta estación

cuenta con dos posiciones para manguitos, de tal forma que se deja uno de los manguitos para ser medido e identificado mientras el robot va por el siguiente manguito, de esta forma se asegura que este proceso no sea un cuello de botella.

Posteriormente el manguito es paletizado en un huacal. La celda cuenta con espacio para poder utilizar dos huacales. Uno de los huacales es utilizado para coples con longitud dentro de tolerancia. El segundo huacal es para colocar coples cuya medición de longitud está fuera de tolerancia, el operador posteriormente decide qué hacer con dichos coples. Cuando el primer huacal se llena, se llama a un montacargas para remover el huacal lleno y colocar uno vacío. Si se compara con las cortadoras antiguas, esta es una mejora considerable, ya que el paletizado anterior era llevado a cabo por los operadores con polipastos, lo era una condición relativamente insegura ya que había riesgo que el manguito cayera o había riesgo de aprisionamiento de dedos al momento de colocar los manguitos dentro del huacal.

El robot cuenta con tres herramientas; dos manipuladores de manguitos (uno para diámetros pequeños y otro para diámetros grandes) y uno que realiza el cambio de herramienta en el magazín anteriormente mencionado cuando los insertos ya están desgastados. El cambio de gripper del robot es automático, existe una estación a la que el robot se acerca y hace cambio de herramienta por sí mismo.

El robot tiene una carga útil de 235 [kg] y tiene un alcance de 2.55 [m].



**Figura 3.5 Diagrama de flujo de ciclo de trabajo de CORH.**

Todos los TPC que llegan a COP3 tienen la característica de tener en los extremos un defecto conocido como “boca de pescado” el cual es resultado del proceso de laminación del tubo en los procesos de las Fábricas De Tubo (FAT). Por lo tanto, los extremos son desechados como descartes. El extremo inicial del tubo es echado por el robot a una rampa con caída a un contenedor de descartes (esto también aplica para defectos en las zonas intermedias del TPC). El extremo final es echado a otro contenedor de descartes por medio de una rampa con inclinación controlable en la zona de alimentación de la máquina.

A diferencia de las cortadoras anteriores, las cuales generan rebaba (hilos largos de viruta) al hacer el corte, el proceso controlado de la CORH tiene como resultado la creación de pequeños segmentos de viruta en forma de "6", la cual es fácilmente separada por un sistema de flushing que corre por debajo de la máquina.

La máquina fue diseñada para tener una repetitividad en la longitud de corte de 0.5 [mm]. Dicha precisión es beneficiosa para los procesos posteriores en donde hay ajustes para obtener exactamente la geometría del futuro cople, por lo tanto, se contribuye a evitar reprocesos. En las cortadoras que se tenían hasta el momento, la dispersión de precisión y exactitud es mucho mayor.

Otra de las mejoras de la CORH es que esta cuenta con un sistema de lubricación automática. Se cuentan con cartuchos con el lubricante que se activan cada vez que reciben una señal desde el PLC, dicha señal depende directamente de un temporizador y conteo de ciclos. Cuando el contenedor está por terminar de vaciarse envía una señal para avisar que debe cambiarse. Con este sistema se asegura que los mecanismos críticos – correderas, rodamientos, ejes, etc. - siempre estén lubricados.

### Sistema de Monitoreo de Desgaste de Herramienta

La CORH cuenta con un sistema de monitoreo de desgaste de insertos, basado en curvas de potencia.

El sistema cuenta con un controlador en serie por el que pasa la corriente de alimentación de un motor trifásico asíncrono, con dicho controlador es posible monitorear en tiempo real la potencia que la máquina utiliza.

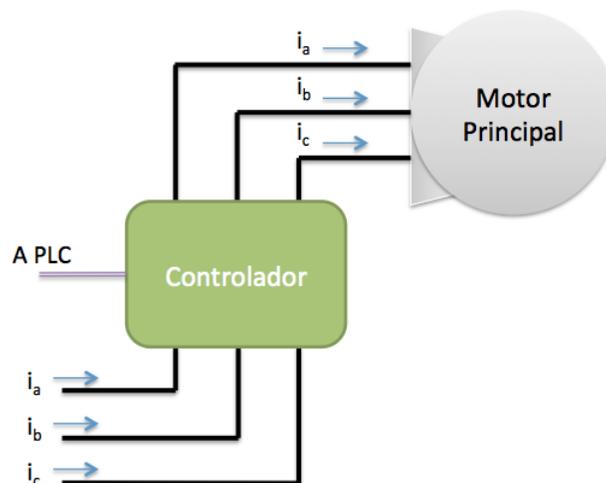
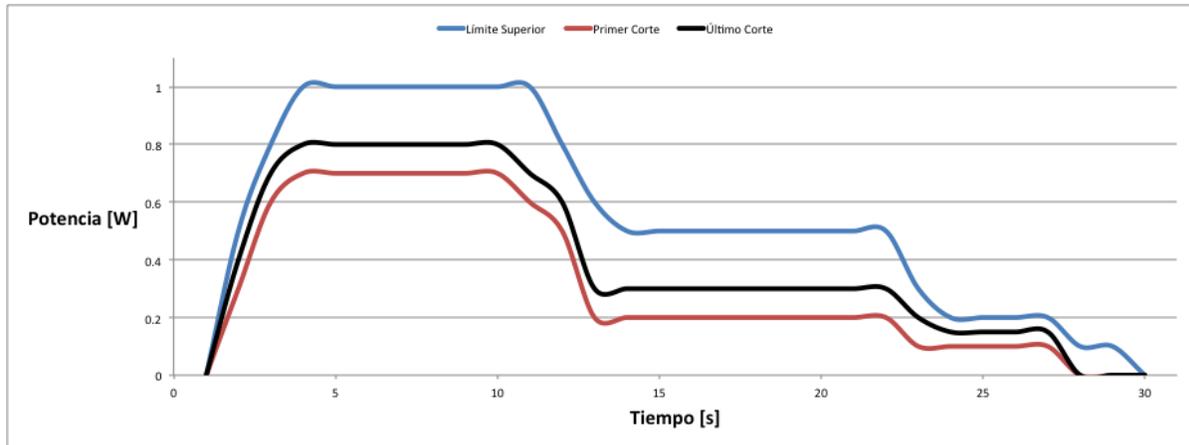


Figura 3.6 Esquema simplificado de conexión de controlador para el sistema de monitoreo de desgaste de herramienta.

Cada vez que se introduce un arillo con insertos nuevos, el sistema grafica la primera señal de potencia, y el área bajo la curva (energía) se iguala a un 100%.

A través de pruebas, se determina un porcentaje de área que indicará cuánta energía más se le permitirá absorber al inserto. Para ciertos aceros duros, se ve que un 15% es el límite superior ideal para tener insertos desgastados sin llegar a la ruptura. Para aceros blandos se usa como límite superior 20%.



**Figura 3.7 Representación simplificada de gráficas obtenidas por el controlador de desgaste de herramienta.**

El sistema se debe ajustar a partir de diferentes tipos de insertos, con diferentes recubrimientos y honeados. Si existe, en un momento determinado del corte, valores mayores a la curva límite superior, nos encontraríamos en una condición no deseada, puesto que tendríamos una diferencial de potencia muy grande e indicaría una situación fuera de lo normal, como la rotura de un inserto. Para confirmar esto también es posible revisar la gráfica de la derivada de potencia.

Cuando se llega al porcentaje de área seleccionada, el sistema manda la alarma "Herramienta sin filo", se termina de hacer el último corte y se espera que el operador haga el cambio de herramienta. De suceder una rotura de inserto o aumentar de forma precipitada el porcentaje de desgaste de herramienta más allá del límite especificado, la máquina se detiene inmediatamente y se vuelve a posición básica, sin terminar el corte. El operador puede entrar y revisar el estado de los insertos para comprobar que hubo una rotura. De ser así, el operador puede sacar en modo manual el tubo para realizar los cambios de insertos.

## Instalación

Entre las actividades que realicé, se incluye la supervisión de la instalación desde que la CORH entra a COP3. Supervisé la seguridad de los operadores de construcción, asistencia operativa a revisión de la condición de arribo del material, equipo y partes, y preparé los informes diarios de la instalación de la máquina, donde se incluyó información sobre los

avances civiles, mecánicos, eléctricos, hidráulicos y neumáticos. También se revisa la comunicación entre los diversos elementos de control de la máquina. La revisión que le di a la máquina estuvo relacionada directamente con el documento que hicieron ingenieros previos de las pruebas de pre-aceptación en las instalaciones del proveedor (Factory Acceptance Test – FAT), sobre varios temas pendientes y pruebas posteriores que se deberían revisar en planta.

Los informes que preparé diario contienen diagramas de Gantt sobre el avance de los diversos aspectos de la instalación, para evaluar si se estaban cumpliendo los tiempos propuestos por la compañía proveedora y por el departamento de ingeniería de TenarisTamsa.

En este periodo inicié a realizar las listas de refacciones para incluirlas en los presupuestos de los próximos años. Las refacciones abarcaban desde tornillería y herramientas, hasta número de partes de mordazas. Al recibir las listas de refacciones, se dieron de alta en los sistemas de TenarisTamsa y se hicieron los análisis de costos correspondientes por parte del departamento de ingeniería industrial.

Uno de los aspectos más importantes de la instalación fue el montaje del cabezal de corte. El montaje y desmontaje de este elemento es algo que se deberá hacer periódicamente, por lo tanto, en el momento de realizarlo gestioné la presencia de varias personas relacionadas con el proyecto, entre ellas el personal de mantenimiento y así pudieron presenciar la maniobra. El montaje incluye la tensión de la banda de transmisión; para hacerlo se utilizó un micrófono y se podía observar la frecuencia de vibración de la banda después de golpearlo. Todo el proceso fue grabado para posterior consulta. En los días siguientes se hicieron las pruebas de giro y se monitoreó la temperatura de los rodamientos.

Cuando la cortadora estuvo montada, realizamos pruebas cortando aros de TPC hasta que se tuvo listo el robot. Posteriormente se empezaron a involucrar los nuevos operadores de la máquina y les mostramos cómo utilizar el control CNC.

En los meses previos a la llegada de la cortadora, gestioné que los operadores seleccionados para controlar la máquina llevaran cursos de capacitación, tales como teoría de corte, matemáticas de taller y matemáticas básicas, calidad, instrumentos de mediciones mecánicas, entre otros. Posteriormente organicé un curso para los operadores, supervisores y personal de mantenimiento, el cual abarcó un panorama general de la máquina, sus especificaciones, los módulos que tiene, el proceso de corte, condiciones de seguridad, entre otros. Dicho curso se llevó a cabo en la universidad corporativa de Tenaris – TenarisUniversity (TU), donde yo y uno de los técnicos de los proveedores fuimos los instructores.

Al llegar el momento de la puesta en marcha del robot, se empezó a referenciar las posiciones y se ajustaron las distancias y las velocidades. También se verificó el intercambio de señales entre el controlador del robot y el PLC principal. En este momento realicé la capacitación de los operadores y personal de mantenimiento en temas referentes a operación básica del robot, se gestionaron grupos de trabajo en las que el proveedor enseñó cómo mover el robot manualmente, cómo liberarlo de una colisión, cómo monitorear sus entradas y salidas, cómo ejecutar rutinas específicas, entre otros temas.

Dichos temas no suelen ser aprendidos por los operadores de máquinas, sin embargo, se propuso que en este caso sí se hiciera así para que los operadores tuvieran más conocimiento y control sobre la cortadora. Esta capacitación incluyó una clase teórica y una práctica.

Posterior a esto empezamos a realizar cortes de producción. Se decidió darle seguimiento a la producción inicial de la máquina proponiendo una curva de arranque, donde se inició con un objetivo de utilización y producción diaria baja y conforme pasaban las semanas se subían los objetivos. Se inició con objetivos de utilización de 11% y en 5 semanas se esperaba llegar al 75% de utilización.

Los informes que preparé a diario cambiaron para poder agregar las condiciones de corte que se dieron y el total de producción diaria. Los informes contenían la siguiente información:

- Diámetro de TPC.
- Tipo de acero.
- Tipo de inserto utilizado.
- Velocidad de corte.
- Avance de corte.
- Tiempo de ciclo standard (información dada por el proveedor).
- Tiempo de ciclo real.
- Producción programada.
- Producción real.
- Comentario de interrupciones recurrentes en el día.
- Utilización diaria.

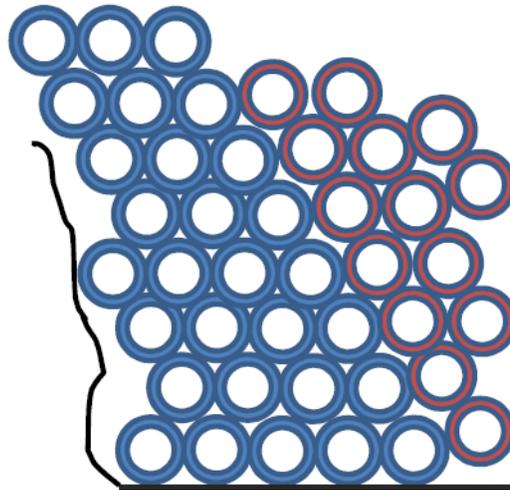
Grafiqué la producción y utilización real diaria contra la producción y utilización planteadas como curva de arranque, con lo cual se estimó qué tanto estábamos cumpliendo con las metas de producción.

En base a dichos reportes fue posible ver cuáles eran los problemas recurrentes de la máquina, haciendo un análisis de las interrupciones que se presentaban con mayor frecuencia, así mismo se trabajó en la solución de estos. A continuación señalo los problemas recurrentes más significativos.

## **Problemas Recurrentes**

## Paletizado De Manguitos Por Medio De Robot

Existen diámetros para los cuales, las condiciones de programación en la paletización provocan que en las capas nones aún haya espacio suficiente para un manguito más, o suficiente para que quepa uno mal acomodado. Esto provoca que en las siguientes capas se sigan acomodando mal. La situación fue tal que provocaban proyecciones de manguitos, o la caída de estos. Esta situación no es deseada puesto que puede provocar una colisión con el robot.



Manguito sale de la columna  
aproximadamente 20 [mm]

**Figura 3.8 Problemas de paletización con el robot.**

**Posibles causas:** Variables de paletizado seleccionadas incorrectamente, tolerancias muy conservadoras.

**Solución:** Existen dos variables referentes a la paletización del robot que pueden controlarse desde el control CNC: Altura de columnas y distancia entre columnas. La primera nos ayuda a limitar el error acumulado conforme avanza la altura. La segunda minimiza el riesgo de colisión por manguitos proyectados entre una columna y la siguiente; se incrementa la distancia para evitar las colisiones. Ajustando estos valores se puede reducir la cantidad de casos de problemas de paletizado.

Otra variable que se puede controlar desde el controlador del robot es la tolerancia a la pared. Esta variable es la tolerancia máxima que se espera tener a la pared del huacal. Al principio la máquina tenía seleccionada una distancia muy grande, lo cual provocaba que al final de una fila de manguitos hubiera suficiente espacio para colocar un manguito más, pero el robot colocaba el manguito al inicio de la siguiente fila superior. Después de cambiar la variable a una distancia menor se corrigió de forma aún más notable la caída de los manguitos.

Realicé un análisis geométrico y descubrí que estadísticamente, considerando los valores nominales de diámetros de manguitos y ancho de huacales, esta tolerancia minimizada daba un valor más real de la cantidad de manguitos que caben en una fila de manguitos paletizados.

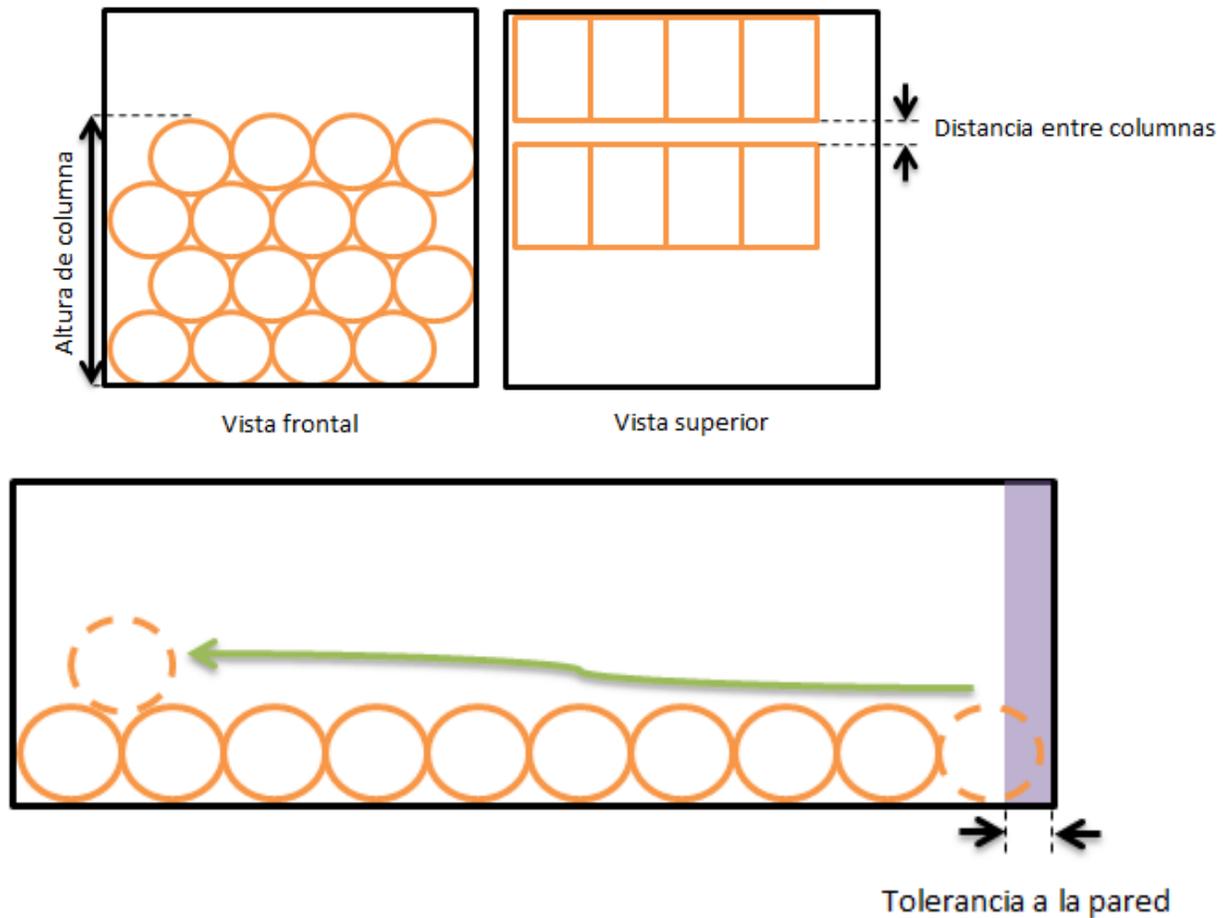


Figura 3.9 Variables modificables para reducir el error en la paletización en huacales.

### Viruta en el agarrador salida

El agarrador de salida de la cortadora cuenta con un sensor para detectar si ya tomó el manguito al momento de sujetarlo para hacer el corte. En determinadas ocasiones la viruta se atoraba en la mordaza donde estaba el sensor, o se quedaba pegada a este.

**Posibles causas:** Energía magnética residual en los tubos, contaminación de soluble de corte con aceite de lubricación.

**Solución:** El cabezal cuenta con un sistema de soplado de viruta que se activa después de cada corte. Se cambió el algoritmo de operación; si la máquina recibe la señal que no está tomando ningún manguito, se sopla una vez más y vuelve a intentarlo. Esto se repite por tres veces. Si después de tres veces el agarrador no puede tomar el manguito aparece una alarma que indica que el operador debe entrar a revisar la mordaza. Además, se cambió el material de la mordaza de acero por acero inoxidable para evitar que la viruta magnética se pegue a la mordaza.

13-may	14-may	15-may	16-may	17-may	18-may	19-may	20-may	21-may	22-may	23-may
54	244	30	100	70	17	0	0	0	10	0

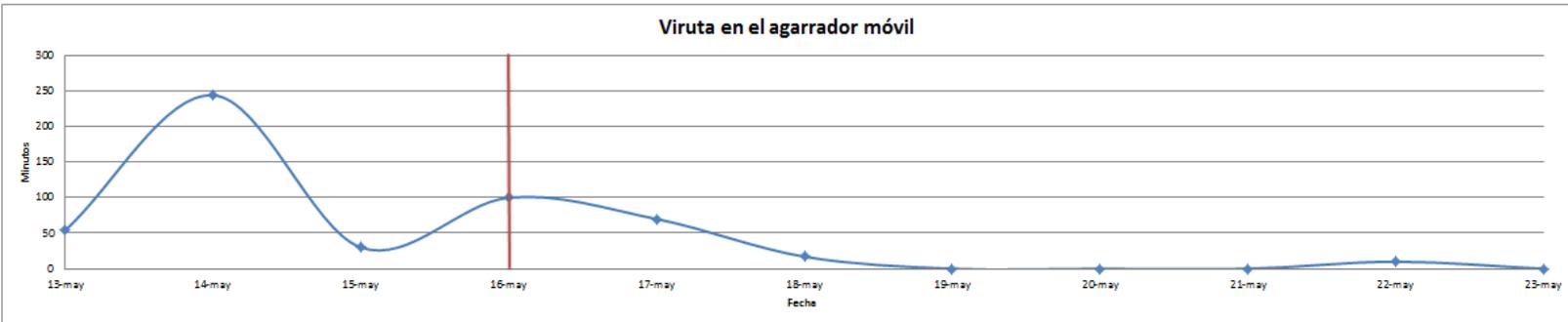


Figura 3.10 Disminución de tiempo de interrupción por viruta en el agarrador móvil.

### Alarmas por sobrecarga de motor

Se empezó a trabajar la cortadora sin el sistema de monitoreo de desgaste de herramienta. El sistema CNC muestra el porcentaje de potencia del motor en tiempo real y al inicio se estaba utilizando valores obtenidos por experiencia para decidir cuándo realizar el cambio de insertos, esto provocaba que recurrentemente tuviésemos alarmas por sobrecarga y que la máquina se detuviera. En dos días dos arillos se dañaron permanentemente debido a esto. Presioné al proveedor para poder echar a andar el sistema de monitoreo de desgaste de herramienta.

**Posibles causas:** No utilizar el software del sistema para monitorear desgaste de herramienta, tubos torcidos.

**Solución:** Se echó a andar el sistema de monitoreo y se redujo la alarma por sobrecarga de motor.

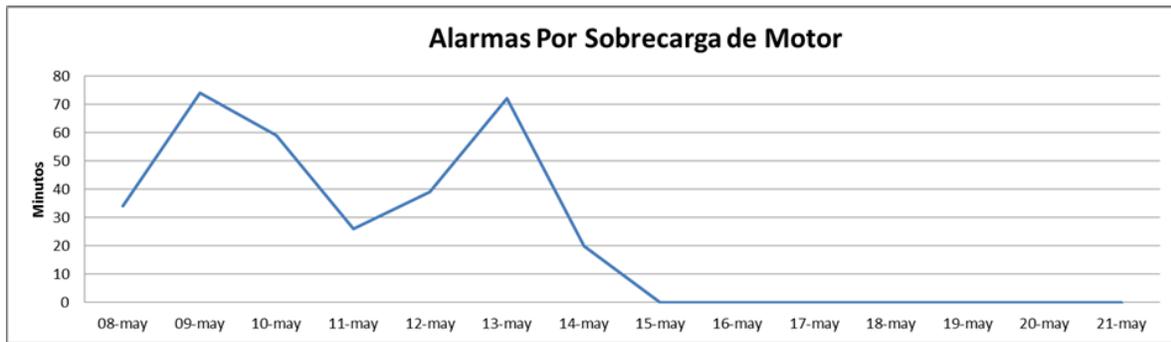


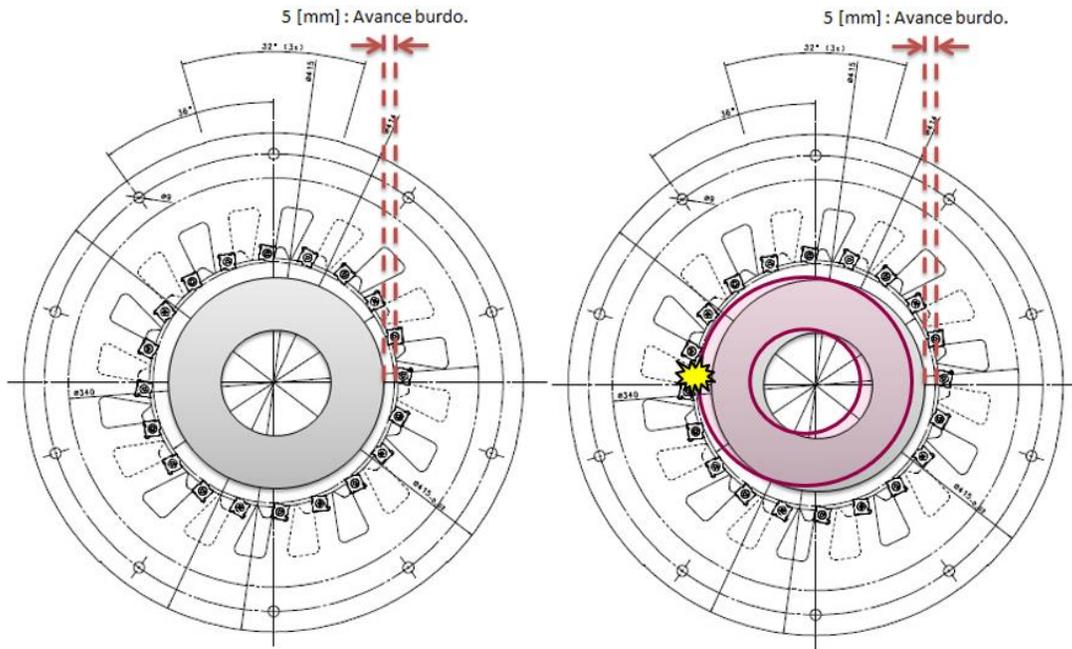
Figura 3.11 Disminución de tiempo de interrupción por sobrecarga de motor.

### Impacto de arillo con TPC

Durante varios cortes, se tuvieron problemas de colisiones del arillo con el tubo, lo cual se reflejaba en una sobrecarga en los husillos que controlan la posición y avance de corte. Muchas veces estas colisiones dañaban los arillos y rompían insertos. Se detecta que muchos de los TPC que llegan a COP3 vienen "torcidos". Un TPC torcido es aquel que cuenta con alguna sección (típicamente los extremos) que se desvía del eje longitudinal del tubo.

**Posibles causas:** Tubos torcidos.

**Solución:** La torcedura de tubos ocasiona problemas porque extienden el corte transversal del TPC al avance burdo de los husillos antes de empezar a hacer el corte con avance fino y revoluciones altas. Es decir, el contacto de la herramienta con el tubo se hace antes que lo programado. La carrera de avance burdo está programado para ser de 5 [mm], este valor es ajustable.

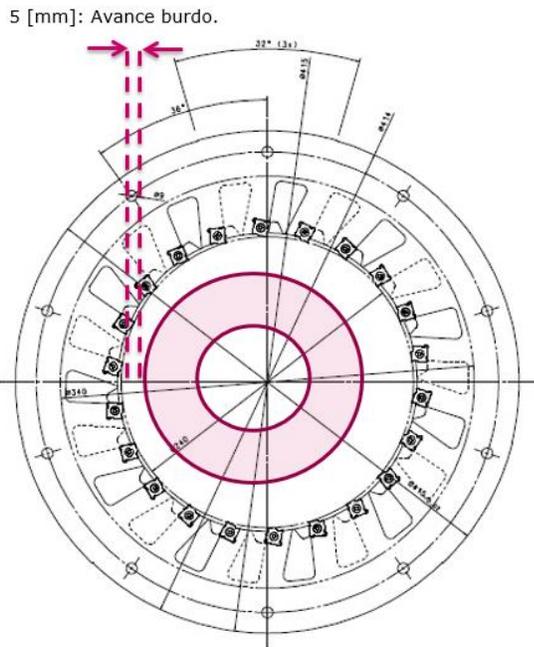


**Figura 3.12 Colisión entre arillo y TPC torcido. Se puede ver que hay espacio para el avance burdo cuando se tiene un tubo recto (izquierda) y menos espacio para un tubo torcido (derecha).**

Investigué las normas de calidad para TPC en cuanto a la tolerancia de torcedura y se comparó con la torcedura de los TPC que estaban llegando a COP3. Encontré que la torcedura que recibíamos era alta pero aceptable. Se cambió la forma de trabajar para tomar en cuenta el valor de torcedura antes de colocar el tubo dentro de la CORH. Se prepararon las herramientas que se utilizan regularmente para medir torcedura en otras áreas de TenarisTamsa y se les instruyó a los operadores cómo utilizarlas.

Como mencionado anteriormente, el diámetro del arillo es proporcional al diámetro de los tubos. La solución para la mayoría de los casos de tubos torcidos es utilizar el arillo para el siguiente rango de diámetros. La desventaja de hacer esto radica en que se tienen tiempos de ciclo mayores en el corte, sin embargo de esta forma evité que se provocaran colisiones.

Se preparó así mismo una hoja de cálculo para poder decidir qué arillo utilizar dependiendo de la torcedura. Esta hoja de cálculo quedó posteriormente adjunta en la carta de armado que utiliza el operador para elegir qué herramientas utilizar en la operación de la CORH.



**Figura 3.13 TPC torcido con arillo para rangos de diámetro superiores, vemos que los 5 [mm] de avance burdo quedan en el espacio disponible entre el tubo y el arillo.**

## Estudios de desempeño

Realicé los siguientes estudios de desempeño de la máquina.

### Estudio de insertos

Noté que el consumo de insertos de la máquina estaba siendo muy alto, por lo tanto fue necesario hacer un estudio de desgaste contra número de cortes. Probé 5 tipos diferentes de insertos, de diferentes proveedores, recubrimientos y "honeados" diferentes. Otra diferencia entre los diferentes insertos utilizados era que algunos tenían más de una cara de corte. Para calcular el desgaste de los insertos utilicé el sistema de monitoreo de desgaste de herramienta.

El objetivo era la reducción de costos, en esta tarea estuvimos involucrados los equipos de producción, tecnología, el proveedor de la máquina e ingeniería industrial. Después de varios meses de recabar información se pudo seleccionar los insertos que tenían mejor rendimiento.

### Repetibilidad en longitud de corte

Quisimos comprobar que la repetibilidad en longitud de corte era lo especificado por el proveedor. La repetibilidad indicada era de una precisión de 0.5 [mm], sin embargo, nos dimos cuenta que la estación de medición estaba marcando longitudes mayores, por lo que muchos manguitos eran llevados al huacal de piezas fuera de tolerancia.

Empecé a recabar los valores de longitud que obtuvimos de la estación de medición y se midieron los mismos coples manualmente con calibrador vernier. Lo que encontramos fue que la mayoría de las veces la estación de medición no estaba dando una medición certera de la longitud de los manguitos.

Se hizo el estudio con varias órdenes y se hizo un análisis de capacidad de proceso para los valores de la estación de medición y para la capacidad real de la máquina:

- $Cpk_{medición} = 0.78 / \Delta L_{medición} = 4.61$  [mm]
- $Cpk_{real} = 5.02 / \Delta L_{real} = 0.3$  [mm]

Pude observar que la máquina estaba cumpliendo en efecto con lo especificado. Sin embargo la estación de medición que los proveedores seleccionaron no era confiable. Esto tiene sentido ya que el proceso de alimentación de TPC para realizar el corte es hecho por un servomotor conectado a un sistema de cremallera, mientras que la medición de longitud era hecha por medio de pistones neumáticos.

## **Documentos finales**

A continuación se encuentra un resumen de los documentos finales que se generaron a lo largo del proyecto industrial:

### **Cartas de armado**

Cada vez que se cambia de operación es necesario seleccionar los materiales que se deben pedir al departamento de herramientas. Por lo tanto desarrollé las cartas de armado.

Las cartas de armado cuentan con la hoja de cálculo que toma la información de la torcedura del tubo, avance burdo y diámetro a cortar. El sistema regresa qué arillo utilizar, cantidad de insertos a pedir, cantidad de tornillos-sujeta-insertos y otras herramientas, como llaves Allen y torquímetro, que son necesarias para la operación adecuada de la máquina.

Se seleccionó utilizar torquímetro para el apriete de los insertos para así asegurarnos de no dañar los barrenos de los arillos y evitar que los insertos no queden bien sujetos después de varios ciclos de poner y quitar tornillos. Se utilizó el valor de torque recomendado por el fabricante.

## Instrucción de Trabajo

Realicé la Instrucción de Trabajo (IT) de la cortadora CORH. Las instrucciones de trabajo son los documentos que contienen los pasos a seguir para operar la máquina. En general cuenta con la siguiente información:

- Secuencia de actividades.
- Herramientas de trabajo a utilizar (se complementa con la carta de armado).
- Disposiciones generales de seguridad.
- Equipo de protección personal general que se requiere para utilizar la máquina.

El documento tiene como objetivo principal que sea estudiado por los operadores, por lo que también cuenta con un glosario de términos técnicos.

La mayor parte del documento es la descripción de la secuencia de actividades, en esta se suele contempla:

- Secuencia de pasos detallado agregando el cómo, cuándo y quién.
- Layout de la máquina con etiquetas que indican el lugar preciso donde se desarrolla la actividad.
- Gantt del tiempo que toma cada una de las actividades.
- Fotos e imágenes indicativas.
- Disposiciones específicas de seguridad así como indicaciones para mejorar la calidad del espacio de trabajo y también recomendaciones para mejorar la eficiencia del desarrollo de la actividad.
- Equipo de protección personal específico para cada actividad.
- Referencia a planes de contingencia si alguno de los pasos no pueden realizarse por alguna situación extraordinaria. Algunas de estas contingencias están relacionadas directamente con el historial de instalación de la máquina que se han explicado anteriormente.
- Referencia a otros procedimientos y tablas de control pertinentes.

La última sección del documento muestra a detalle todos los planes de contingencia y las actividades a realizar en situaciones extraordinarias.

La Instrucción De Trabajo la realicé después de un análisis detallado del uso de la máquina y de haber hecho los Análisis De Riesgo correspondientes para cada una de las actividades. La Instrucción De Trabajo se redacta una vez que los riesgos operativos son aceptables.

## **Tabla de condiciones de corte**

La cortadora cuenta con un módulo para almacenar las condiciones de corte para productos similares. Esto es, si se tiene el mismo grado de acero, mismo diámetro y espesor, se puede repetir la condición de velocidad de corte y avance que históricamente se tuvo con un producto similar. Generé la tabla de condiciones de corte para obtener los valores óptimos de corte. Eso lo realicé en parte con la información del proveedor, los datos históricos y experimentales que tuvimos con nuestra práctica con la máquina y haciendo un balance adecuado entre Tiempo De Ciclo y consumo de insertos. Este trabajo tuvo relación directa con el estudio de insertos del que se habló previamente.

## **Documentación para operador**

Una de las ideas nuevas que se tuvieron con esta máquina era poder darle a los operadores toda la información que les pudiera ayudar a operar y mantener mejor la máquina. Desarrollé una interfaz en HTML para poder proveer al operador con la información que anteriormente se ha mencionado en este documento:

1. Planos mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos.
2. Especificaciones.
3. Descripción operativa y de software.
4. Operación de robot.
5. Cartas de armado del herramental.
6. Análisis de riesgo e instrucciones de trabajo.
7. Tabla técnica de condiciones de corte por acero.
8. Operación básica de robot.

La interfaz desarrollada consistía en un menú de íconos por el cual el operador puede ir encontrando la información. Se tomó en cuenta que fuera una interfaz intuitiva y fácil de utilizar.

Esta es la forma en que hicimos toda la información disponible para el operador. En otras máquinas no se encuentra una recopilación tan completa de información en un mismo lugar y los operadores deben buscarla con supervisores operativos y de mantenimiento. Una interfaz comprensible y un lugar común para la información ayudan a una operación con menos interrupciones y a una capacitación más completa para los operadores.

## Otras Actividades En CORH

A continuación hago una breve descripción de las actividades complementarias que se realizaron en la CORH.

- Trabajé directamente con el departamento de Salud y Seguridad para hacer el Análisis De Riesgos de la máquina. Se tomaron en cuenta algunas observaciones para reducir riesgos de accidentes e incidentes y para generar los documentos de operación de máquina. Se seleccionó qué señalizaciones de precaución debía contar la máquina y dónde ponerlas. Así mismo se trabajó con el departamento ambiental para certificar que la máquina no generara exceso de aceite u otros residuos peligrosos.
- Trabajé con los operadores de grúa que alimentan el bancal de entrada de la máquina y se estableció los lineamientos a seguir para la alimentación y remoción de los tubos. Esto correspondió a que hubo varias situaciones en las que los operadores colisionaron tubos con diversas partes de la máquina, o también al querer retirar tubos de forma incorrecta provocó la desalineación del bancal. Muchos de estos problemas se debían a que se estaban introduciendo TPC más largo a lo especificado, lo que provocaba que los operadores improvisaran soluciones y al hacerlo colisionaban con elementos sensibles como sensores y servomotores. Hice una práctica operativa con los operadores y se tuvieron sesiones de entrenamiento para entender los límites de longitud de tubo que se pueden usar, insté a usar los topes de referencia con los que cuenta la máquina y les indiqué que sólo se podían sacar los tubos con eslingas. Agregué este evento a los planes de contingencia de la Instrucción de Trabajo, indicando qué hacer ante la duda sobre la longitud de los tubos y los pasos para remover el TPC del bancal sin dañar la estructura de esta.
- El corte de TPC en esta máquina genera virutas pequeñas que son desechadas por medio de un sistema flushing que corre por debajo de la máquina, sin embargo gran parte de la viruta es proyectada a los diversos mecanismos y sensores de la máquina, provocando atoramientos o activaciones de señales no deseadas cuando existe mucha acumulación de viruta. Hice el estudio de los lugares donde más acumulamiento de viruta había e hice un documento de mantenimiento diario de la máquina, éste se agregó posteriormente a la Instrucción de Trabajo con la frecuencia de limpieza de dichas áreas y cómo hacerlo. El proveedor diseñó diferentes guardas para evitar la proyección de viruta, se instalaron y las probé. También probé aumentando y disminuyendo la presión del refrigerante de corte. Estos métodos no redujeron de forma significativa la proyección de viruta, por lo cual continuamos haciendo paros frecuentes para realizar limpieza según la Instrucción de Trabajo que hice.
- La sujeción del portaherramienta en el cabezal de corte se hace por medio de unos seguros neumáticos. Este es un mecanismo con muelles que sostienen cuatro pernos que se encuentran en el portaherramientas. Después de varias semanas de producción uno de estos mecanismos se atoró, el problema se presentó cuando el robot quiso realizar el cambio de portaherramienta, lo que dañó el perno del

portaherramientas también. Después de analizar los seguros a detalle, nos dimos cuenta que había polvo de acero (conocido dentro de la planta como "laminillo") dentro del seguro, lo que provocó que uno de los muelles se saliera de su posición. La máquina siguió trabajando con sólo tres seguros y se pidió que se agregara una secuencia en el cambio de herramienta para que se activara el sistema neumático y hubiera presión de aire hacia fuera del cabezal. La idea es que se desecharía el laminillo que hubiera quedado dentro. En realidad este sistema siguió fallando posteriormente y es una de las mejoras más importantes que necesita la máquina.

## Trabajos Futuros

- Debido a que la estación de medición de longitud no es confiable, muchos coples con longitud dentro de tolerancia son llevados al huacal de piezas malas. El operador mueve manualmente dichas piezas al huacal para piezas buenas, lo cual representa un riesgo de seguridad relativo. La máquina, por otro lado, tiene una precisión muy alta. Existe la propuesta de utilizar la segunda estación de huacal también para piezas buenas, lo cual disminuirá la interrupción por cambio de huacal, ya que la máquina podría seguir trabajando cuando uno de los huacales esté lleno y no tendría que esperar el intercambio de huacal. La mejora también incluiría que el operador pueda confirmar si una pieza medida como mala es realmente mala o buena. Si es buena, el robot paletizará la pieza en el huacal en operación, si es mala, el robot descartará la pieza en la rampa donde se tira el descarte inicial del tubo.
- El laminillo que entra a los seguros neumáticos del cabezal se convirtió en un tema crítico después de mi participación en el proyecto. Cuando los seguros fallan y el robot intenta sacar un portaherramientas atorado se suelen dañar los pernos de este, haciendo que los barrenos dejen de funcionar, esto representa un costo considerable debido al alto precio del proveedor en la fabricación de su portaherramientas. Cada vez que sucede esto el robot se va a condición de colisión y sacarlo de dentro de la máquina se convierte en una interrupción operativa muy larga. Además, la precisión de corte y el tiempo de vida de los insertos se ven mermados de forma considerable. El proveedor regresó a la planta varias veces a cambiar los seguros. La solución más duradera que se ha encontrado hasta el momento fue perforar el disco del cabezal y los portaherramientas y que el operador utilice tornillos y un taladro neumático para sujetar el portaherramientas al cabezal. Una solución definitiva a este problema sigue pendiente.

## Evaluación

Los avances y resultados que tuve a lo largo del proyecto los presenté a un comité de gerentes de la planta. Posterior a una sesión de preguntas y respuestas sobre el desempeño obtenido, dicho comité y el departamento de Recursos Humanos deciden si tuve una participación sobresaliente en la planta y dependiendo de esto se decide la permanencia del Global Trainee en Tenaris.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios y logré la permanencia en TenarisTamsa, posteriormente rotando al departamento de Automatización de la Dirección de Ingeniería.

### **Otras Actividades En COP3**

Relacionado a los proyectos de instalación de nuevas máquinas, hice estudios de las proyecciones de producción que estas significaban para cada una de las estaciones de producción tanto para la fábrica de coples premium y coples API.

Realicé estudios de áreas de oportunidad en la planta en temas de seguridad, calidad, productividad, ambiente, y sistemas/automatización. Se le asignó un nivel 1 a los problemas de bajo impacto, nivel 2 a lo que podría mejorar y nivel 3 a los problemas apremiantes. De esta forma se encontró el área en la línea con más oportunidad de mejora.

En una roscadora se instaló un sistema visual para monitorear el desgaste de herramienta. Se redactó para los operadores el procedimiento para operar el equipo, se puso atención especial en la forma correcta de hacer la limpieza de este.

Le di seguimiento a la productividad de las cortadoras de la planta, revisando los indicadores claves de desempeño (utilización, rendimiento, vida útil de herramienta y piezas producidas). Tomando en cuenta esto propuse las siguientes acciones: afinar las condiciones de corte (posición fina de corredera, posición paro corredera, avance burdo, avance fino, rpm, número de insertos), se instalaron sistemas de refrigeración a la herramienta y se implementó limpieza de la herramienta de corte. De esta forma incrementé la productividad de las cortadoras.

Se realizaron propuestas de Layout para un sistema automático de desbaste-roscado-inspección para mostrarlo al departamento de ingeniería. También realicé una propuesta de Layout para juntar las dos terminaciones de la fábrica de Coples.

Junto con el departamento de Supply Chain, di de alta, en el sistema de la planta, las rutas que debían tomar los productos, tomando en cuenta la capacidad de cada máquina.

Revisé que los cambios de operación de las distintas máquinas estuvieran cargados de forma correcta en el sistema de reporte de producción de la planta.

Diariamente reporté la cantidad de descartes que tenía en la planta y se comparaba en contra lo que se tenía como objetivo.

Organicé un grupo de mejora para las diversas áreas de la planta donde semanalmente se revisaban los avances que se tenían.

Estudié la profundidad de soluble en los canales de flushing. Relacionado con el estudio de consumo de energía en planta.

Por un mes participé en el rol de turnos de los supervisores donde di seguimiento total de la producción de la planta. Trabajé con los operadores, supervisores y personal de mantenimiento para resolver los problemas diarios que se presentaban. La idea de cada día era cumplir con el objetivo de productividad de cada una de las máquinas en COP3, así como comprender y utilizar información sobre los aspectos técnicos para elaborar coples. Así mismo cuidé los temas diarios de salud, seguridad, ambiente y calidad dentro de la planta.

## IV | Conclusiones

Programas como el GTP de TenarisTamsa, donde se le da oportunidad a los egresados de las universidades de empezar su carrera, me dio espacio para poder proponer formas de resolver los problemas descritos en este texto, y ver cómo las propuestas se materializan en soluciones. La máquina hasta el momento sigue trabajando con conceptos, prácticas operativas, instrucciones de trabajo y la programación que planteamos desde el arranque de esta y sigue siendo fundamental para los equipos de trabajo posteriores al periodo de arranque.

Al recibir una máquina nueva se debe utilizar un conjunto integral de conocimientos de ingeniería; desde ingeniería mecánica sobre teoría de corte, ciencia de materiales, neumática e hidráulica, hasta fundamentos de programación, control CNC y electrónica. Es en esto donde queda evidenciada la importancia de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, al estudiar la correlación y sinergia de los conocimientos de ingeniería mecánica, electrónica y control para la creación de sistemas altamente automatizados.

Los estudios que llevé a cabo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM me proporcionaron las bases necesarias para comprender y hacer uso de los conceptos que se utilizan en la planta. Al mismo tiempo existe retroalimentación, ya que ahora por medio de la experiencia laboral que he adquirido, puedo decidir con mayor certeza en qué área de conocimiento me quiero especializar.

La forma de trabajar en la Facultad de Ingeniería de la UNAM por medio de proyectos, es una buena forma de adquirir competencias relacionadas con la gestión de proyectos. El trabajo que se realiza en la industria suele tener dos dimensiones, una dimensión técnica y otra dimensión relacionada con la administración de recursos y resultados; no es posible separar una de la otra. Tener tiempos de entrega, poder comprender y analizar el problema que se debe resolver, administrar recursos finitos, tener un cronograma de actividades y realizar trabajo en equipo es también aprendizaje que se adquiere en los proyectos de la Universidad.

Las contribuciones que se hacen en pos de aumentar productividad y reducir costos no son algo que se quede en lo local, sino que en su conjunto, forman parte de la creación de competitividad para México, lo cual beneficia a la población en general. Es el trabajo de la Universidad darnos ese sentido social de la Ingeniería y el trabajo de los ingenieros es reconocer esto y actuar de forma ética y socialmente responsable.

Ser parte de la industria del acero permite apreciar cómo la ingeniería trasciende el ámbito local y resulta esencial en la creación de capital para las naciones. México necesita más ingenieros que puedan satisfacer la demanda de las industrias mexicanas y al mismo tiempo crear nuevas empresas que beneficien a las comunidades donde estas se encuentran instaladas.

## Bibliografía

- [1] Quiénes Somos – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/AboutUs.aspx>
- [2] Imagen tomada de folleto 'Centro Industrial' [http://www.tenaristamsa.com/wp-content/uploads/2017/01/Folleto-Centro-Industrial-2016\\_MAIL.pdf](http://www.tenaristamsa.com/wp-content/uploads/2017/01/Folleto-Centro-Industrial-2016_MAIL.pdf)
- [3] Acerca de | TenarisTamsa <http://www.tenaristamsa.com/acerca-del-centro-industrial/>
- [4] Imagen disponible en [http://www.tenaristamsa.com/wp-content/uploads/2012/11/Pag1\\_Slideshow.png](http://www.tenaristamsa.com/wp-content/uploads/2012/11/Pag1_Slideshow.png)
- [5] Imagen disponible en <http://www.amm.com/images/sites/168/Rocca300.jpg>
- [6] Agostino Rocca – Wikipedia, la enciclopedia libre [http://es.wikipedia.org/wiki/Agostino\\_Rocca](http://es.wikipedia.org/wiki/Agostino_Rocca)
- [7] La Organización Techint: 55 años de actividad en México [http://www.tecpetrol.com/esp/sobre/pais/mexico/pdf/BOIN\\_mexico.pdf](http://www.tecpetrol.com/esp/sobre/pais/mexico/pdf/BOIN_mexico.pdf)
- [8] Imagen disponible en <http://www.facciaafaccia.org/en/societa/tenaris-tamsa/>
- [9] Imagen disponible en <https://www.techint-technologies.com/corporate-governance/>
- [10] Acerca de | TenarisTamsa [http://www.tenaristamsa.com/acerca-del-centro-industrial/?selected=post&post\\_id=313](http://www.tenaristamsa.com/acerca-del-centro-industrial/?selected=post&post_id=313)
- [11] Historia – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/AboutUs/History.aspx>
- [12] OCTG – Wiktionary <http://en.wiktionary.org/wiki/OCTG>
- [13] Grados de Acero – OCTG – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OCTG/SteelGrades.aspx>
- [14] Imagen disponible en <http://www.tenaris.com/~media/Images/Product%20Images/Oilfield/SteelGrades/SteelGrades.ashx?h=206&la=en&w=468>
- [15] Casing y Tubing – OCTG – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OCTG/Casingandtubing.aspx>
- [16] Imagen disponible en [http://www.tenaris.com/~media/Images/Product%20Images/Oilfield/Casingandtubing/casingandtubing\\_ok.ashx?h=206&la=en&w=468](http://www.tenaris.com/~media/Images/Product%20Images/Oilfield/Casingandtubing/casingandtubing_ok.ashx?h=206&la=en&w=468)
- [17] Barras de Sondeo – OCTG – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OCTG/DrillPipe.aspx>

- [18] Imagen disponible en <http://www.tenaris.com/~media/Images/Product%20Images/Oilfield/DrillPipe/drillpipe.ashx?h=206&la=en&w=478>
- [19] Coiled Tubing – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/CoiledTubing.aspx>
- [20] Imagen disponible en <http://www.tenaris.com/~media/Images/Banners/Page%20Banners/TCT%20Website.ashx?h=206&la=en&w=478>
- [21] Conexiones Premium – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/PremiumConnections.aspx>
- [22] Imagen disponible en [http://www.tenaris.com/~media/Images/Product%20Images/PremiumConnections/wedge\\_series.ashx?h=320&la=en&w=218](http://www.tenaris.com/~media/Images/Product%20Images/PremiumConnections/wedge_series.ashx?h=320&la=en&w=218)
- [23] Tecnología Dopeless® - Conexión Premium – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/PremiumConnections/DopelessTechnology.aspx>
- [24] Brochure de Tecnología Dopeless. Ibíd.
- [25] Imagen disponible Ibíd.
- [26] Accesorios No Tubulares – OCTG – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OCTG/Accessories/NontubularAccessories.aspx>
- [27] Imagen disponible en <https://lh4.googleusercontent.com/-46SoLSLbF-k/VlsZXfvngFI/AAAAAAAAADM5/5CQS2ZRidZI/w640-h400-p-k/Thread%2BProtector.png>
- [28] Accesorios Tubulares – OCTG – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OCTG/Accessories/TubularAccessories.aspx>
- [29] Accesorios No Tubulares – OCTG – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OCTG/Accessories/NontubularAccessories.aspx>
- [30] Dispositivos Especiales – OCTG – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OCTG/Accessories/Devices.aspx>
- [31] Tubos de Conducción Onshore – Onshore Line Pipe – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OnshoreLinePipe.aspx>
- [32] Tubos de Conducción Offshore – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OffshoreLinePipe.aspx>
- [33] Principales Proyectos – Tubos de Conducción Onshore – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OnshoreLinePipe/ProjectHighlights.aspx>
- [34] GASBOL – Wikipedia, the free encyclopedia <http://en.wikipedia.org/wiki/GASBOL>

[35] Imagen disponible en [http://www.la-razon.com/economia/Construccion-Tendido-gasoducto-Brasil-Foto\\_LRZIMA20130813\\_0010\\_11.jpg](http://www.la-razon.com/economia/Construccion-Tendido-gasoducto-Brasil-Foto_LRZIMA20130813_0010_11.jpg)

[36] Varillas de Bombeo – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/SuckerRods.aspx>

[37] Bomba de Varilla – Wikipedia, la enciclopedia libre  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba\\_de\\_varilla](http://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_de_varilla)

[38] Imagen disponible en <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/SuckerRods/BeamPumping/BlueRod.aspx>

[39] Industria Automotriz – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/Automotive.aspx>

[40] Tubos para otras Aplicaciones Automotrices – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/Automotive/MoreApplications.aspx>

[41] Imagen disponible en <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/Automotive/AirbagsInflatorsAndComponents.aspx>

[42] Accesorios Tubulares – OCTG – Tenaris <http://www.tenaris.com/es-ES/Products/OCTG/Accessories/TubularAccessories.aspx>

[43] Imagen disponible en Blue® - Blue® Series - Premium Connections – Tenaris  
<http://www.tenaris.com/en/Products/PremiumConnections/BlueSeries/Blue.aspx>

[44] Recursos Humanos | TenarisTamsa  
[http://www.tenaristamsa.com/recursoshumanos/?selected=programas&post\\_id=128](http://www.tenaristamsa.com/recursoshumanos/?selected=programas&post_id=128)

[45] Global Trainee Program <http://www.tenaris.com/es-ES/Careers/StudentsandGraduates/GlobalTraineeProgram.aspx>

[46] Global Trainee Program Brochure. Ibíd.

[47] The Program Structure <http://www.tenaris.com/es-ES/Careers/StudentsandGraduates/GlobalTraineeProgram/TheProgramStructure.aspx>