

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ROSCADO EN TUBOS CASING
Y TUBING A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA DE ELIMINACIÓN DE
DEFECTOS DEBIDO LA GENERACIÓN DE FILETES INCOMPLETOS Y
OTROS DEFECTOS

FERNANDO ANDRÉS MALAGÓN PÉREZ

DIRIGIDA POR: ING. ALFONSO NUÑEZ

PRESENTADO A:

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

MINOR EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

2012



Agradecimientos

En esta oportunidad quiero agradecer a mis padres (José Malagón y Jennys Pérez) quienes de una u otra forma son la fuente primordial de mi educación, ya que me han acompañado durante todo mi proceso educativo y me han ayudado a cruzar todos los puentes y enfrentar los miedos que han viajado a través de mi durante mi proceso como universitario.

Además quiero agradecer a todos los profesores que en su momento me han aportado parte de su formación, tanto académica o disciplinaria, y me han ayudado a formar como un profesional integral y no han sido solo esfinges que me guardan.

Es importante resaltar la comunicación tanto con mi director de monografía Alfonso Núñez, como con el profesor Luis Castellanos y el ingeniero Yasser Moreno, quienes aportaron de manera directa o indirecta los conocimientos claves para entender el enigma principal de mi investigación.

Por último es totalmente necesario agradecerle a Dios, ya que quizás fue él quien que llevó que cada uno de mis sueños como estudiante fueran libres y demostró en mí que la vida está llena de sorpresas a diario y esta es capaz de sorprenderte con tesoros maravillosos cuando estos son realmente merecidos.

“Recuerda que un problema no es más que una situación la cual no sabemos momentáneamente como resolver pero consigo lleva la llave del portal del éxito”

FERNANDO MALAGÓN PÉREZ.

Tabla de contenido

Agradecimientos	2
Introducción.....	5
1. Planteamiento y formulación del problema	6
1.1 Descripción del problema	6
1.2 Formulación del problema.....	6
1. Objetivos	8
2.1 Objetivo general.....	8
2.2 Objetivos específicos	8
3. Justificación de la propuesta.....	8
3.1 Justificación práctica	9
4. Marco de referencia (Teoría de roscas y metodología RCA)	9
5. Formulación de la hipótesis	16
6. Diseño metodológico	16
6.1 Recolección y fuentes de información.....	17
7. Cronograma	18
8. Generalidades de la empresa	19
8.1 Procesos de producción	20
9. Análisis de causa raíz.....	20
9.1 Grupo de trabajo.....	22
9.2 Investigación y análisis de causa raíz	22
9.2.1 Plantilla RCA	22
9.2.2 Discusión de la plantilla RCA	28
9.2.2.1 Árbol de problema y árbol de falla	29
9.2.2.1.1 Análisis del problema y árbol de falla	32
9.2.3 Tratamientos Térmicos	41
9.3 Proceso de parametrización	44

9.3.1 Parametrización de tubería Casing	44
9.3.1.1 Parametrización de diámetros mínimos para rosca redonda.....	49
9.3.1.2. Parametrización de diámetros mínimos para rosca butress	53
9.3.2.1 Estudio de recuperación de rosca en tubería Tubing	57
9.3.2.1.1 Metodología y resultados	61
La simulación permitió establecer:	61
9.3.2.1.1.1 Estudio de recuperación de rosca a Tubing 3 ½”	61
9.3.2.1.1.2 Evidencias de problemas en la recuperación de rosca	67
Conclusiones	71
Recomendaciones.....	73
Anexo	75
“A” - Material desbastado en el proceso de roscado	75
Bibliografía	82

Introducción

Para lograr un desempeño líder en mantenimiento existen pilares los cuales sirven como herramientas para alcanzar el éxito en lo que mantenimiento se trata, dentro de estos pilares se encuentra el método de la eliminación de defectos el cual a su vez lleva consigo una filosofía muy poderosa la cual se ha venido implementando desde los años setenta y ahora puede ser símbolo de éxito para las compañías y es el RCA o análisis de causa raíz.

Tenaris Tubocaribe, compañía distinguida por la elaboración de tubos para la extracción de petróleo, posee dentro de su proceso de producción una oportunidad de mejora en el proceso de roscado en el cual se apuesta grandes sumas de dinero y es en la aparición continua de filetes incompletos o crestas negras.

En este proyecto básicamente se tomará la filosofía de RCA para encontrar la causa raíz del problema y así proponer una optimización en el proceso de roscado, disminuyendo los tiempos de producción y aprovechando al máximo el material.

Un punto importante para nosotros los ingenieros es encontrar soluciones tanto efectivas como eficientes y esta investigación va encaminada a esto, poniendo en práctica todo lo aprendido en la carrera de ingeniería mecánica se dará una solución a la compañía Tenaris Tubocaribe, Se sabe que la filosofía RCA nos lleva a la causa del problema pero lo más difícil es dar una solución después de determinado el problema.

1. Planteamiento y formulación del problema

1.1 Descripción del problema

El costo más elevado de producción de los tubos Casing y Tubing en la compañía Tenaris Tubocaribe proviene de la materia prima, ya que equivale al 70 % de los costos aplicados a la elaboración y producción de tuberías. Por esto cualquier desvío del proceso que influya en el desperdicio del material debe ser considerado como un riesgo alto para el programa de producción, ya que el costo de producción podría incrementarse en gran escala en especial si las apariciones son continuas. En esta compañía actualmente se presenta un problema en el área de roscado, formando en los tubos las crestas negras, las cuales se reflejan en manchas negras que surgen a partir de un mal mecanizado. Este fenómeno genera desperdicio de material (en el anexo A se habla del material que debería ser utilizado en el proceso de roscado) y por lo tanto incrementos en los costos de fabricación.

Tenaris Tubocaribe tiene una venta mensual de aproximadamente 10000 toneladas de tubo y por este problema se ven afectados entre el 1%-2% de sus ventas incluyendo solamente tubería Casing y tubing, debido a que la tubería line pipe no tiene rosca. Esto nos dice claramente que una solución a este problema traería grandes beneficios a la compañía. Podemos comentar que antes de recurrir a procedimientos que afecten la imagen de una compañía tan prestigiosa como lo es Tenaris es mejor encontrar una solución rápida para dicho problema.

1.2 Formulación del problema

En este proyecto se realizará un proceso de investigación y análisis del proceso con el fin de encontrar los principales modos de falla y sus causas básicas, optimizando de esta manera el proceso de roscado en tubos casing y tubing utilizando uno de los pilares para "el desempeño líder en mantenimiento sostenible y a costo óptimo" como lo es la eliminación de defectos en este

caso la filosofía RCA como lo muestra la figura 1 y si es necesario instaurar técnicas de mantenimiento mejorativo la cual incluya nuevas tecnologías a la planta.

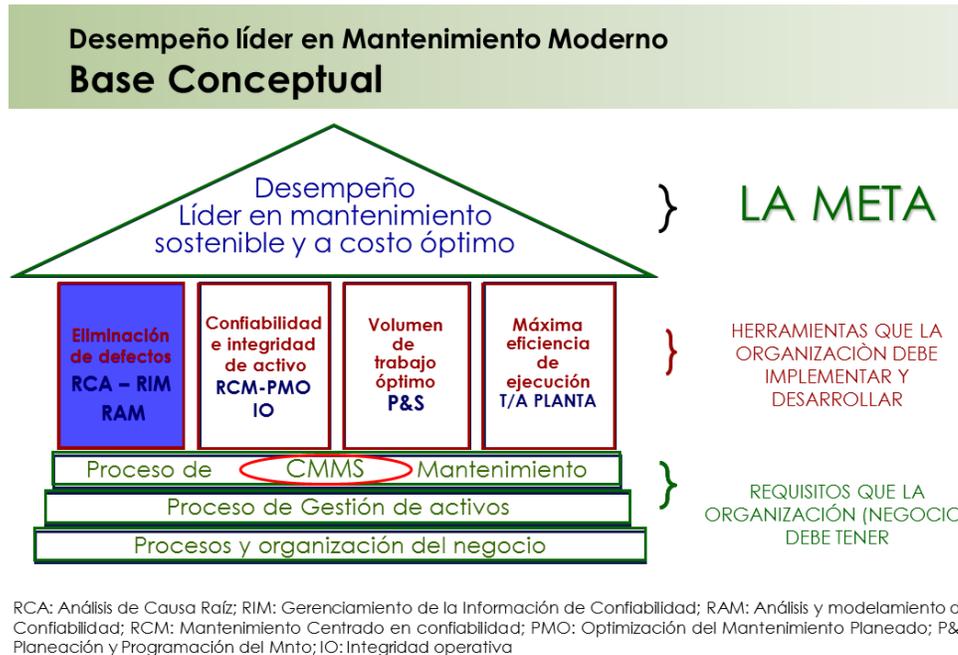


Figura 1: Desempeño líder en mantenimiento-extraído de diapositivas de Ing. Ivis Peña - Universidad del Norte

Para esto se hará una investigación minuciosa pasando así por cada una de las áreas (Slitter, formado, motu entre otras áreas) las cuales tienen algún aporte en la elaboración y movimiento de esta tubería para de esta manera tocar puntos específicos y claves para cualquier compañía como son:

- Capacidad de producción
- Costos de producción
- Seguridad industrial
- Satisfacción de clientes

Mejorando de esta forma la productividad de la planta y conservando el cumplimiento en las entregas con una alta calidad de sus productos.

1. Objetivos

2.1 Objetivo general

Aplicar la metodología RCA (Análisis Causa Raíz) para detectar la causa de problemas en las tuberías Casing y Tubing, con el fin de proponer soluciones que conduzcan a la optimización del proceso de fabricación de estos tubos.

2.2 Objetivos específicos

- Recopilar información suficiente para realizar el análisis de causa raíz para el problema de filetes incompletos y otros defectos de rosca
- Organizar y Analizar la información obtenida del análisis de causa raíz
- Elaborar el árbol del problema y los árboles de falla dependiendo el tipo de defecto
- Proponer una mejora al proceso de roscado analizando los resultados encontrados en el RCA

3. Justificación de la propuesta

Para lograr el objetivo de reducir en un 95-100 % la aparición de crestas negras en la tubería casing y tubing en la compañía Tenaris Tubocaribe y de esta forma garantizar una optimización en el proceso de roscado se utiliza el método de la eliminación de defectos y en especial la filosofía RCA la cual en la década de los setenta se comenzó a utilizar como

herramienta para el análisis de las causas que producen errores en la industria nuclear y aeronáutica.

3.1 Justificación práctica

Con la optimización del proceso de roscado se hará que esta área sea capaz de producir roscas de acuerdo a la norma reduciendo los costos que actualmente se están generando al roscar un tubo ya sea casing o tubing, logrando de esta forma un proceso de roscado seguro y eficiente para la compañía con lo cual de una u otra forma puede encaminar a que esta compañía alcance una mayor competitividad frente a otros mercados mundiales.

4. Marco de referencia (Teoría de roscas y metodología RCA)

Para Tenaris es importante que las roscas como prioridad cumplan con las siguientes funciones:

- Unir los tubos para que estos sean capaces de soportar esfuerzos de tensión y compresión
- Evitar fugas o entrada de fluidos

Para asegurar esto se debe cumplir con la norma API (especificación 5b) cual contiene las dimensiones y los requerimientos necesarios en tubería Casing y tubería Tubing.

Como adelanto al proyecto en las figuras 2 y 3 se muestra los dos tipos de roscas que serán analizadas durante esta investigación

Tipos de conexiones roscadas

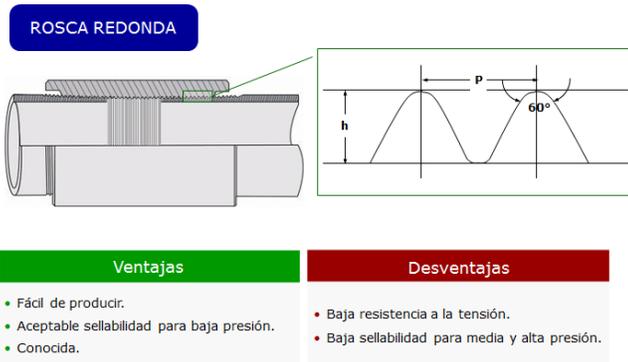


Figura 1: Rosca round -extraído de Tenaris University

Tipos de conexiones roscadas

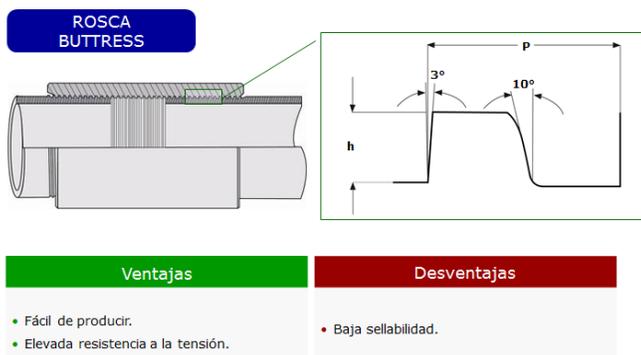


Figura 2: Rosca Butress -Extraído de Tenaris University

Y como se mencionó en el objetivo general de dicha investigación es “encontrar la causa raíz del problema de roscado en tubería Casing y Tubing ya sea física, humana o latente y atacarla directamente con el fin de optimizar el proceso a través de la metodología de eliminación de defectos”.

¿Pero cuál es el problema de roscado?

La cresta negra (figura 4) las cuales se reflejan como manchas negras resultado de un mal mecanizado cuando la herramienta de corte no alcanza a la profundidad de corte requerida en el material.



Figura 3: Crestas negras -extraído de Tenaris University

Como sabemos la función del mantenimiento es asegurar que cualquier activo físico desempeñe las funciones deseadas de la manera correcta para lo cual es necesario lo siguiente:

- Identificar
- Controlar
- Valorizar
- Restaurar

Esto lo podemos ver de alguna forma en la figura 5 diagrama de corbatín:



Figura 4: Diagrama de corbatín-Extraído diapositivas de Ing. Ivis Peña -Universidad del Norte

Donde del lado izquierdo tenemos ciertas amenazas y peligros las cuales surgen a raíz de unas causas (las cuales identificaremos en proyecto de optimización de roscado) para de esta forma encontrar soluciones que ayuden a restaurar y mantener la producción en orden.

Ahora se mostrará un fragmento del paper de Carolina Atman "El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad" el cual es indispensable para este marco lo cual recalca lo necesario que es esta investigación para la industria:

¹El objetivo del Mantenimiento es asegurar la competitividad de la Empresa, asegurando niveles adecuados de confiabilidad y disponibilidad, al mismo tiempo que garantiza los niveles de calidad, de seguridad y de medio ambiente requeridos. La Confiabilidad es la probabilidad de que un determinado equipo opere bajo las condiciones preestablecidas sin sufrir fallas.

La filosofía del Mantenimiento Proactivo conduce a detectar y eliminar las causas que originan fallas en la maquinaria, en esa medida **el análisis de Causa Raíz** permitirá descubrir el evento indeseable o causa raíz que ocasiona la falla. Al eliminarlo no sólo se aumenta la confiabilidad, la

¹ Extraído de: El análisis de causa raíz herramienta en la mejora de la confiabilidad-Carolina Atmann

seguridad y por lo tanto la disponibilidad, sino también se aumenta la eficiencia y productividad de operaciones y de la empresa, al mismo tiempo que se disminuyen los costos de mantenimiento.

Como dice planteamiento del problema el RCA comenzó a utilizarse en la industria aeronáutica y nuclear en los años setenta, pero ¿Dónde nació el RCA? Para saber esto se analizara el paper *Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores escrito por los señores Pedro Ruiz-López, Carmen González Rodríguez-Salinas y Juan Alcalde-Escribano.*

²El análisis de causas raíz (RCA) tiene sus orígenes en la psicología industrial y en el estudio de los factores humanos y consiste en una aproximación al análisis del error de manera retrospectiva.

“Es por ello que, para analizar y tratar de prevenir los errores, hay que incidir en los diversos componentes que rodean al acto asistencia”.

Se sabe que un error puede ser causa de múltiples factores por lo cual para realizar un análisis de causa raíz es totalmente necesario investigarlo , estudiarlo y analizarlo y que más que utilizar un psicología industrial de investigación y revisar los factores humanos para ver si algo está pasando.

Por esto el RCA se emplea para descubrir los errores que subyacen en un suceso el cual puede traer muchísimas mejoras en los procesos lo que deseo adquirir en la compañía Tenaris Tubocaribe en el área de roscado específicamente.

En dicha investigación podría encontrar errores ya sean de tipos físicos, humanos o latentes o mejor aún una combinación de los tres, por lo cual lograr encontrar la causas en algunas ocasiones puede ser solo la parte fácil, por esto me parece que es realmente necesario ver opiniones de algunos expertos como lo es el señor *Robert J. Latino* funcionario de reability center.

² Extraído de :Análisis de causas raíz, una herramienta útil para la prevención de errores-- Pedro Ruiz-López, Carmen González Rodríguez-Salinas y Juan Alcalde-Escribano

³RCA, llegar a las causas es la parte fácil, lograr hacer algo para eliminar las causas es algo totalmente distinto. Imagínesse la situación: Ud. identificó una falla que requiere RCA y determinó la pérdida total para la compañía en términos de dólares gastados en mantenimiento, el gasto en mano de obra y la pérdida de oportunidades de ganancia. Dicha falla está generalmente en un rango del (6) seis a (7) siete cifras. Ud. organiza estratégicamente un equipo teniendo en cuenta sus conocimientos y experiencia, y desarrolla un team charter y elementos de éxito. El equipo desarrolla hábilmente estrategias para recolectar información apropiada sobre la falla respectiva. Se recolecta la información y se la presenta para ser analizada. Se utiliza un proceso lógico deductivo para asegurar que todas las hipótesis desarrolladas sean válidas y se determinan varias causas raíces de origen físico, humano y de organización. Se desarrollan recomendaciones para mitigar o eliminar las causas identificadas. Se presentan dichas recomendaciones a los responsables de tomar decisiones quienes autorizan su implementación y eso es lo último que se oye del RCA. Si esta situación le resulta conocida, ¡es un pecado capital de organización! Considere los recursos empleados para realizar un trabajo lógico tan hermoso. Considere todo el análisis, diligencia y dedicación que requirió este proceso. Considere la anticipación y expectativas de todos los participantes del equipo con respecto a sus recomendaciones. Considere cómo se sienten cuando no sucede nada como resultado de su trabajo. ¿Lo intentaría nuevamente? Como profesor y practicante de RCA, veo no solo los esfuerzos físicos necesarios para tal esfuerzo sino también la psicología que hará esto posible o no. Al considerar todo el esfuerzo que requiere obtener causas raíces exactas y desarrollar recomendaciones razonables, ¿por qué ha de ser tan difícil lograr hacer algo?

Es irónico ver retornos promedio de un RCA de aproximadamente 800% a 1000%, y que nadie crea en estas cifras porque se las considera demasiado “falsamente optimistas”. Si los gerentes creyeran honestamente que dichos retornos pudieran lograrse, no deberían tener ningún problema en asegurar la ejecución inmediata de dichas recomendaciones. El problema que veo es que ellos no lo creen.

Algunas de sus creencias al respecto pueden tener un buen fundamento.

³ Extraído de : ¿por q no siempre funciona el análisis de causa raíz?-Robert j Latino

Estas son situaciones reales y difíciles. Una vez que se desarrollan recomendaciones correctas, el equipo debe preparar estrategias con respecto al diseño y ejecución de la presentación. Lo más importante que la gente debe entender es que no importa quién hizo qué, sino que lo que importa es el porqué. Si no tenemos en cuenta el POR QUÉ, es probable que la falla surgirá nuevamente. Por lo tanto, si hemos verificado más allá de toda duda la existencia de una raíz latente, entonces es un hecho. Todos los hechos se deben considerar con recomendaciones.

Claramente el experto Robert L, en su artículo ¿por qué no siempre funciona un análisis de causa raíz? Un RCA ofrece los puntos clave los cuales apuntan no solo a encontrar la falla sino a también a tener en cuenta el *por qué* ya que sin esto la falla surgirá nuevamente.

En algunas ocasiones se podría pensar que el RCA es una metodología sencilla y a la final no es ninguna mentira, lo difícil en si no es comprender su funcionamiento, el problema más bien está en cómo realizar las investigaciones necesarias para encontrar las causas raíz y plantear soluciones creando así barreras de recuperación como lo muestra el diagrama del corbatín.

A continuación se mostrará la matriz de acción de un RCA (figura 6) de una empresa muy conocida en la costa como lo es Monómeros ubicada en Barranquilla como ejemplo investigativo:

Causas	Costo causa	Recomendaciones	Costo acción	Responsable	Tiempo ejecución	Beneficio
Desgaste externo de la primera virola lado alimentación	US\$ 161400	Cambio de la primera virola (1800 mm)	US\$ 41600	A. Marrugo	Agosto 22/2006	US\$ 119800
Gases calientes fugan a través del sello entre Shell y Carcasa de la cámara de humos		Cambio del sello		A. Marrugo	Agosto 22/2006	
Daño del sello entre shell y Carcasa de la cámara de humos		Establecer frecuencia de cambio del sello		E. Suárez	De acuerdo a frecuencia	
Gases calientes fugan a través del sello entre Shell y Carcasa de la cámara de humos		Establecer una rutina de inspección visual del sello		J. Iglesias	Permanente	

Figura 5: RCA empresa Monómeros-Suministrado por Monómeros al Ing. Alfonso Núñez

Con esto podemos ver que esta valiosa herramienta ya está siendo usada en nuestro país y muestra beneficios grandiosos, y así como esta compañía esta existen muchas más las cuales están también la están usando ya que este pilar se ha vuelto una filosofía importantísimas tanto en

pequeñas como en grandes industrias por el éxito que esta ha tenido a nivel mundial y esta es la razón fundamental por lo cual también es una buena opción para la empresa Tenaris Tubocaribe para su grave problema en el área de roscado.

5. Formulación de la hipótesis

“El proceso de roscado en tubería Tubing y Casing está fallando por causas físicas, humanas o latentes las que serán encontradas desde su raíz para de esta forma presentar un plan de implementación y mejoras para la compañía Tenaris Tubocaribe”.

Con el resultado de la investigación que arroje la herramienta o filosofía RCA se alcanzará identificar cuáles son las causas físicas (Causa tangible de la ocurrencia del problema, en ocasiones asociada a fenómenos físicos) , causa humana (Asociada a errores humanos, al comportamiento de las personas, la acción o la omisión) , causas latentes (relacionada con el diseño, fabricación o debilidades de tipo organizacional) por las cuales la tubería Casing y Tubing están fallando en sus diferentes tipos de rosca round y butress.

Claramente al encontrar una solución acertada para el problema de crestas negras usando la metodología RCA se pueden reducir rechazos hasta de un 90 % en el tema de filetes incompletos

6. Diseño metodológico

Para el diseño metodológico se utilizó los pasos fundamentales que posee la literatura de RCA, apoyándome en los requisitos de la norma API (especificación 5b)

- **Responder al incidente y conservar la evidencia:** piezas , estadísticas , operadores
- **Organizar el Equipo RCA:** Especialistas en el tema analizado (ingenieros , jefes de áreas), un Grupo Multidisciplinario (operadores y cualquier otra persona que pueda realizar aportes a la investigación) y mi persona como líder de la monografía
- **Desarrollo del método**
- **Comunicar los resultados:** Comunicar los resultados es esencial en el desarrollo de un proceso RCA. La presentación de los resultados y las recomendaciones asociadas a la investigación garantiza el compromiso con la solución definitiva del problema. Publicar los éxitos y mostrar los ahorros netos

6.1 Recolección y fuentes de información

Para la elaboración de esta monografía se tomó las siguientes fuentes de información:

- Papers mencionados en la bibliografía de la monografía
- Información exclusiva de la compañía Tenaris Tubocaribe.
- Norma API (especificación 5b)
- Charla con operadores y jefes y funcionarios de la compañía Tenaris Tubocaribe
- Inspección de los equipos de la compañía Tenaris Tubocaribe

7. Cronograma

ACTIVIDADES	Febrero		Marzo						Abril				Mayo				
	SEMANAS																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	■																
Elección de la empresa		■															
Elección de tema de implementación		■	■														
Identificación de la problemática de la empresa				■													
Organizar equipo RCA					■												
Recolección de Información					■	■	■	■									
Desarrollo del metodo de eliminación de defectos-filosofía RCA									■	■	■	■	■				
Busqueda de una selección adecuada a la optimización del problema													■	■	■	■	
Comunicar resultados																	■

Figura 6. Cronograma de actividades

8. Generalidades de la empresa

Tenaris es una empresa metalúrgica dependiente del Grupo Argentino Techint productora de tubos de acero con y sin costura para la industria del petróleo además de otros productos, la cual posee una sede Cartagena (figura 8) y es la empresa en la que actualmente me encuentro realizando mis prácticas universitarias.

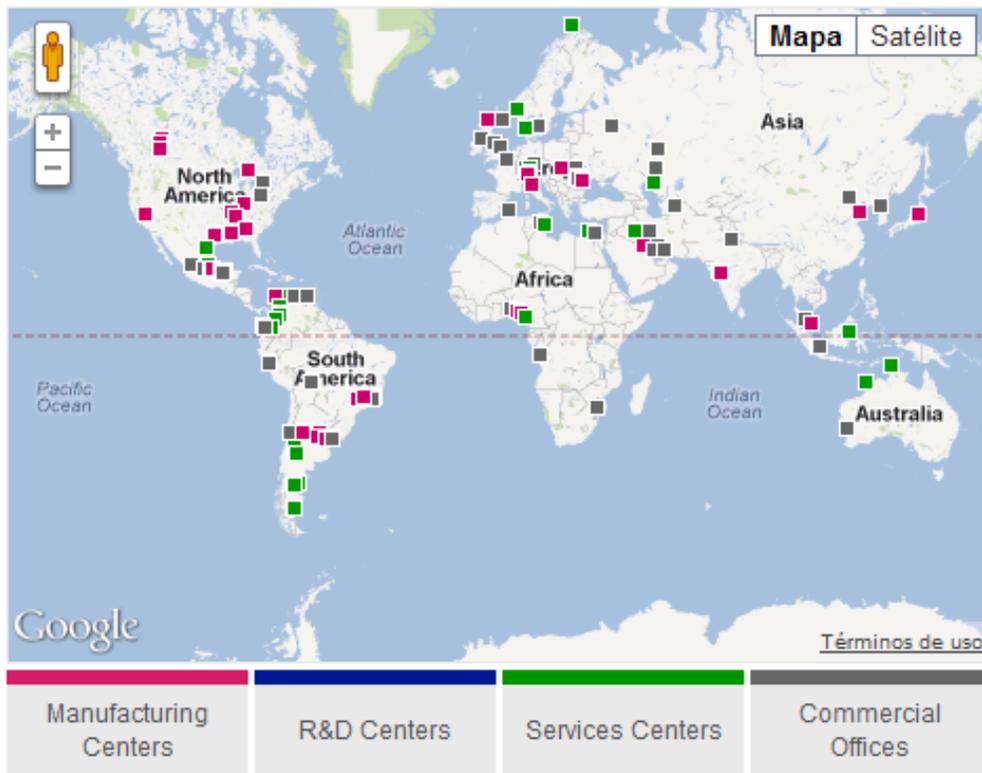


Figura 7. Ubicación de Tenaris a nivel global

8.1 Procesos de producción

De manera general estos son los procesos por los que tiene que someterse la materia prima para formar un tubo.

- Slitter: las bobinas son cortadas a una longitud de banda determinada según el diámetro de tubo que se va a formar
- Formado: la lámina pasa por cerca de 10 a 11 pasos (dependiendo de la formadora , ya sea la Etna o la mckay) para ser formado y soldado el tubo , dentro de este proceso para por un proceso de normalización de la soldadura
- Cortadora: los tubos son cortados a una longitud aproximada de 10 -12 metros.
- Enderezador: Luego que los tubos son cortados pasan por el enderezador para disminuir los ganchos de punta
- Recalcado: luego de tener el tubo virgen terminado la tubería Tubing pasa ser recalada
- Tratamientos térmicos: según la solicitud del cliente el tubo pasa por procesos de tratamientos térmicos (horno 1 , horno 2 , horno 3)
- Inspección :el tubo es sometido a ultrasonido, prueba hidrostática , partículas magnéticas (pruebas no destructivas)
- Roscado: los tubos son roscados ya sea en roscas butress o roscas redondas en los tornos o en las roscadoras.

9. Análisis de causa raíz

Como se dijo anteriormente el RCA se puede utilizar para resolver problemas tales como:

- Seguridad
- Calidad
- Producción

- Mantenimiento
- Identificación de mejoras

En esta monografía básicamente se realizó una combinación de todos estos problemas ya que si se mira el defecto de filete incompleto (crestas negras) o cualquier otro defecto de rosca hablamos que:

- Seguridad: Tanto la seguridad de los clientes como la de la empresa misma está en juego debido a que estos tubos son sometidos a altos esfuerzos los cuales al fallar podrían crear grandes problemas. Pongamos un ejemplo “ se está realizando la instalación de los pozos de extracción y el tubo falla por la rosca” , estaríamos hablando de mucho peso ya que estos tubos son aproximadamente de 12 metros lo cual puede ocasionar grandes daños ya sea tanto material como humano.
- Producción: Si encontramos filetes incompletos, necesitaríamos atrasar la producción por qué tocaría roscar nuevamente el tubo lo cual toma tiempo y atrasa la producción.
- Calidad: Obviamente al no cumplir con la norma nos identificamos claramente con la calidad del producto.
- Mantenimiento: Al mejorar el problema de las crestas negras mejoraríamos una falla potencial de la industria por lo cual reduciríamos costos inmediatamente.
- Identificación de mejoras: se tendrá la oportunidad de ofrecer mejoras a la empresa Tenaris Tubocaribe al proponer una mejora sustancial para este proyecto.

Entonces para aplicar el RCA se realizó un método estructurado donde se encontrara una solución efectiva, identificando la causa raíz del problema, pero también utilizando uno de los tips más importantes de esta filosofía el cual nos habla de capitalizar el conocimiento;**¿Cómo así capitalizar el conocimiento?**, para hablar específicamente de Tenaris Tubocaribe y su oportunidad de mejora en cuanto a las crestas negras , capitalizar el conocimiento sería sacar toda esta información que ellos manejan acerca del tema , el cual no es un nuevo tema para la compañía , es un tema que se ha venido desarrollando hace algún tiempo y ya se tiene un información la cual se puede estructurar.

9.1 Grupo de trabajo

Para esto primero se tiene que identificar el equipo de trabajo:

Facilitador: para este problema yo seré el facilitador ya que tengo conocimiento de la filosofía RCA y además tengo conocimientos muy recientes debido a que aún me encuentro en la Universidad y podré dar una solución a dicha oportunidad de mejora.

Especialista: como especialista tengo al Ing. Yasser Moreno el cual es referente del área de tecnología y mi jefe directo en la compañía.

Grupo multidisciplinario: Se encuentran los referentes del área de roscado y todo el grupo de operadores de la compañía.

Después de planificar cual es grupo de trabajo para realizar la investigación se procederá al análisis de RCA.

9.2 Investigación y análisis de causa raíz

9.2.1 Plantilla RCA

En esta monografía se utilizó un método recomendado por los señores Pedro Ruiz-López, Carmen González Rodríguez-Salinas expertos de la unidad de calidad del hospital universitario de Madrid España y además por el señor Juan Escribano experto en el área de servicio de cirugía general "A" del hospital universitario de Madrid, los cuales al ver la gran acogida que tuvo la filosofía RCA en la industria de la navegación y la aviación realizaron una plantilla general de análisis de causa raíz como herramienta en la prevención de errores.

Si se analiza a la primera categorización (Tabla 1) esta trata acerca de los recursos humanos, en Tenaris Tubocaribe los operadores cuentan con una gran capacitación en sus labores, incluyéndoles dentro de estas prácticas operativas en cada uno de los puestos de trabajos, las cuales se están realizando en el proyecto 00100 (0 defectos, 0 accidentes, 100 por ciento desempeño), por lo cual la dotación de personal posee un nivel alto si se comparan con niveles ideales de desempeño.

Tabla 1. Plantilla RCA -recursos humanos-extraída de “Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores”

Análisis	Categorías	Preguntas	Hechos	Causa raíz	¿Por qué?	Acción preventiva
¿Por qué ha sucedido? ¿Qué criterios y procesos sirven de base a esos factores inmediatos?	Cuestiones sobre recursos humanos	¿Hasta qué nivel está correctamente cualificado el personal y actualizado en su competencia para sus responsabilidades? ¿Cómo está la dotación actual de personal comparada con los niveles ideales? ¿Cuáles son los planes para resolver las contingencias de reducción efectiva de personal? ¿Hasta qué grado se dirige el funcionamiento (desempeño) del personal en el proceso operativo? ¿Cómo puede mejorarse la orientación y la formación continua?				

Para cada desvío existen planes de contingencia los cuales mencionan lo que debe hacer un operador frente a cada una de las contingencias que se puedan presentar.

Estas prácticas operativas son auditadas todos los meses para saber si el operador está realizando bien su labor o si existen algunas oportunidades de mejora para la instrucción de trabajo, ya que estos son documentos dinámicos los cuales están abiertos a mejoras.

En cuanto a la Tabla 2 los operadores manejan en los puestos de trabajo que son necesario, hojas de ingeniería y listas de chequeo dimensional, donde si mencionamos el caso específico de “la formadora” pueden verificar los diámetros de los tubos y compararlos con las tolerancias propuestas a la salida del sizing.

Tabla 2. Plantilla RCA –Gestión de la información -extraída de Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores

Análisis	Categorías	Preguntas	Hechos	Causa raíz	¿Por qué?	Acción preventiva
	Cuestiones sobre la gestión de la información	¿Hasta qué nivel está disponible toda la información cuando se necesita? ¿Es precisa? ¿Completa? ¿Inequivoca? ¿Hasta qué nivel (grado) es adecuada la comunicación entre los participantes?				

La comunicación es completa ya que estas listas de chequeo dimensional, son llevadas al área específica para que estas sean verificadas agrupadas y ordenadas de manera global incluyendo todas las áreas.

Hablo directamente de la formadora porque en el proceso donde se forma la tubería y es el más indispensable en una planta de este tipo y más aún relevante en el roscado, ya que esta determina las dimensiones del tubo. Estas son variables importantísimas por lo cual puede afectar el proceso y pequeños desvíos pueden llevar toneladas de tubos a chatarra.

Teniendo en cuenta la tabla 3 al problema específico que se está trabajando, es decir filetes incompletos o crestas negras, es notorio que el medio o entorno no juega papel en oportunidad debido a que por definición las crestas negras son pequeños tramos por los cuales la herramienta de cortes no alcanza a desbastar material.

Tabla 3. Plantilla RCA –gestión del medio-extraída de Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores

Análisis	Categorías	Preguntas	Hechos	Causa raíz	¿Por qué?	Acción preventiva
	Cuestiones relativas a la gestión del medio (entorno)	¿Hasta qué grado es el medio físico adecuado para llevar a cabo los procesos? ¿De qué sistemas se dispone en el lugar de trabajo para identificar riesgos ambientales? ¿Qué respuestas se han planificado y evaluado para las emergencias y fallos?				

Si se toca el tema de los aceites solubles que están en constante contacto con la tubería se sabe que a diario es controlado manteniendo estos a niveles tanto de pH como de concentración según los parámetros establecidos.

En el caso de los tratamientos térmicos se hablara más adelante, en la investigación.

En la tabla 4 se encuentra el tema de liderazgo. Se sabe que en la compañía Tenaris Tubocaribe se realizan constantemente auditorias donde se analiza cuales son los pasos operativos que se estan realizando en cada puesto de trabajo , dado caso que el problema fuese de liderazgo, el número de hallazgos encontrados en las auditorias reflejaría el manejo de un mal lider ya que si nunca se encuentra hallazgos o siempre se encontraran los mismos se podría pensar que existiece problemas ya que todas las cosas estan bajo posibilidades de mejora, pero este no es el caso en el area de roscado.

Tabla 4. . Plantilla RCA –Liderazgo- de Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores

Análisis	Categorías	Preguntas	Hechos	Causa raíz	¿Por qué?	Acción preventiva
	Cuestiones relacionadas con el liderazgo (cultura corporativa)	¿Hasta qué grado es propicia la cultura (de la organización) para la identificación y reducción del riesgo?				

En la tabla 5 se toca el tema de la comunicación, Como se explicó anteriormente, si existe comunicación, además este problema u oportunidad de mejora lleva un largo tiempo bajo investigación, por lo cual existe ya gran conocimiento del tema y de lo que está perjudicando.

Tabla 5. . Plantilla RCA –comunicación –extraída de “Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores”

Análisis	Categorías	Preguntas	Hechos	Causa raíz	¿Por qué?	Acción preventiva
	Fomento de la comunicación	¿Cuáles son las barreras para la comunicación de factores de riesgo potenciales?				

Bueno ahora se está tocando un tema relevante como lo es “factores incontrolables” (Tabla 6) para la dificultad de los con filetes incompletos. Realmente cuando se realiza una rosca ya sea butress o redonda no se sabe de antemano si realmente esta va a salir bien o saldrá mal en cuanto a crestas negras , si esto fuese controlable no se perdería tiempo roscando sino más bien buscando la manera de arreglar el defecto y no atrasar la producción.

Tabla 6. Plantilla RCA –factores incontrolables-extraída de Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores

Análisis	Categorías	Preguntas	Hechos	Causa raíz	¿Por qué?	Acción preventiva
	Factores incontrolables	¿Qué se puede hacer para protegerse frente a los efectos de esos factores incontrolables?				

También se puede decir que no se tiene control sobre esto porque aparentemente se está cumpliendo con los parámetros de ingeniería planteados en la planta y como lo mencionamos

antes “si existe comunicación y también liderazgo” entonces es este un punto importante al cual se debe apuntar para la realización del análisis de causa raíz.

En cuanto a la tabla 7 (factores relativos de formación y aprendizaje) se realizó preguntas a los operadores sobre la norma que se maneja para estos tipos de roscas y se encontró que saben que existe un Lc (longitud de crestas perfectas), además en juntas que se hicieron con los jefes de área fue notorio que estos tenían manejo de lo que la norma menciona.

Tabla 7. Plantilla RCA –formación y aprendizaje -extraída de Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores

Análisis	Categorías	Preguntas	Hechos	Causa raíz	¿Por qué?	Acción preventiva
	Factores relativos a la formación y al aprendizaje	¿Son correctos la formación y el aprendizaje de los profesionales implicados?				

Y esta es la gran pregunta ¿funciona el equipo correctamente? (tabla 8) , es posible que se garantice el buen funcionamiento de la maquina y tambien de el manejo de las hojas de ingenieria del producto pero de igual manera siguen las apariciones de las crestas negras , lo que pone a pensar inmediatamente y porque continuan estas apariciones.

Tabla 8. . Plantilla RCA –equipamiento -extraída de Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores

Análisis	Categorías	Preguntas	Hechos	Causa raíz	¿Por qué?	Acción preventiva
	Fallo en el equipamiento	¿Funcionó el equipamiento correctamente?				

9.2.2.1 Árbol de problema y árbol de falla

A partir de estos comentarios los cuales son de gran ayuda porque los operadores son los que están en todo momento viviendo el problema de las crestas negras, se procedió a realizar un árbol de problema (figura 9).

En el árbol de problema (figura 9) se muestra que existen dos problemas fundamentales que son la ovalidad y gancho de punta, esto hablando en cuanto casing, y posibles problemas de ajuste en cuanto a la recuperación de rosca en Tubing

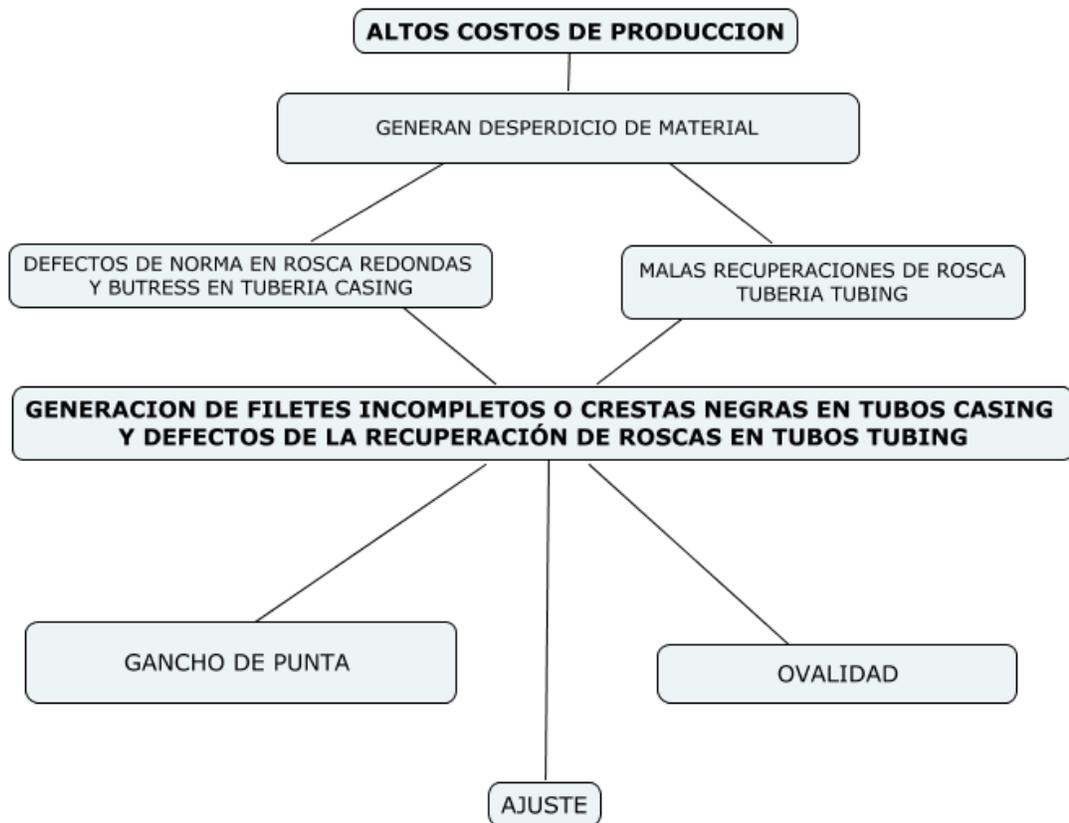


Figura 8. Árbol de problema-elaborado a partir de la información extraída en el RCA

Para un mejor análisis se trabajó el problema de la ovalidad en parámetros de diámetro mínimo.

Si usamos la definición que:

$$OVALIDAD = D_{max} - D_{min}$$

Obviamente si se trabaja con diámetros mínimos estos absorberán los problemas de ovalidad ya que al momento del corte el diámetro máximo obviamente será desbastado

Ahora bien se procederá a plantear el árbol de falla para tubería casing (figura 10) y otro para tubería Tubing (figura 11)

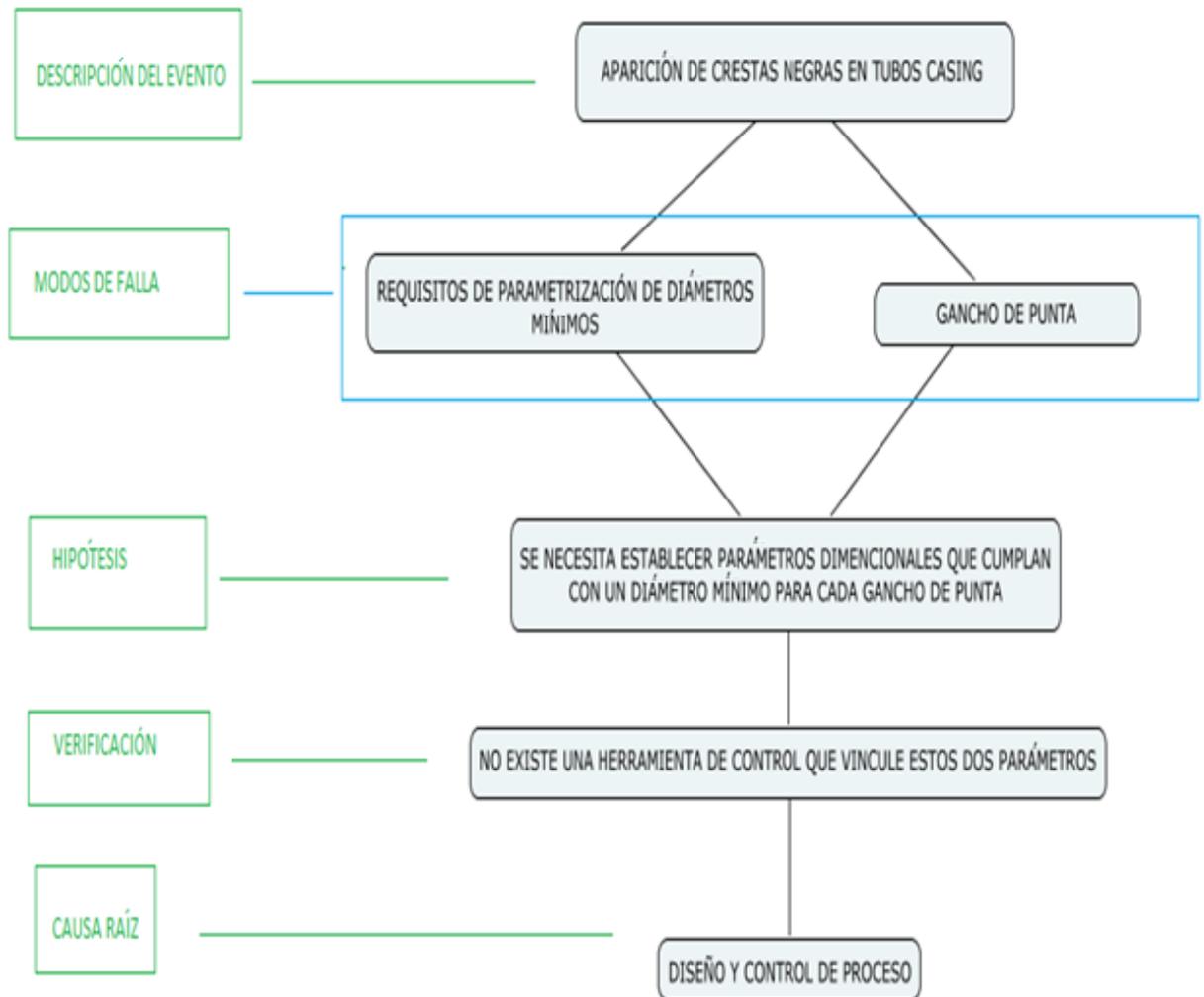


Figura 9. Árbol de falla- Casing- elaborado a partir de la información obtenida del RCA

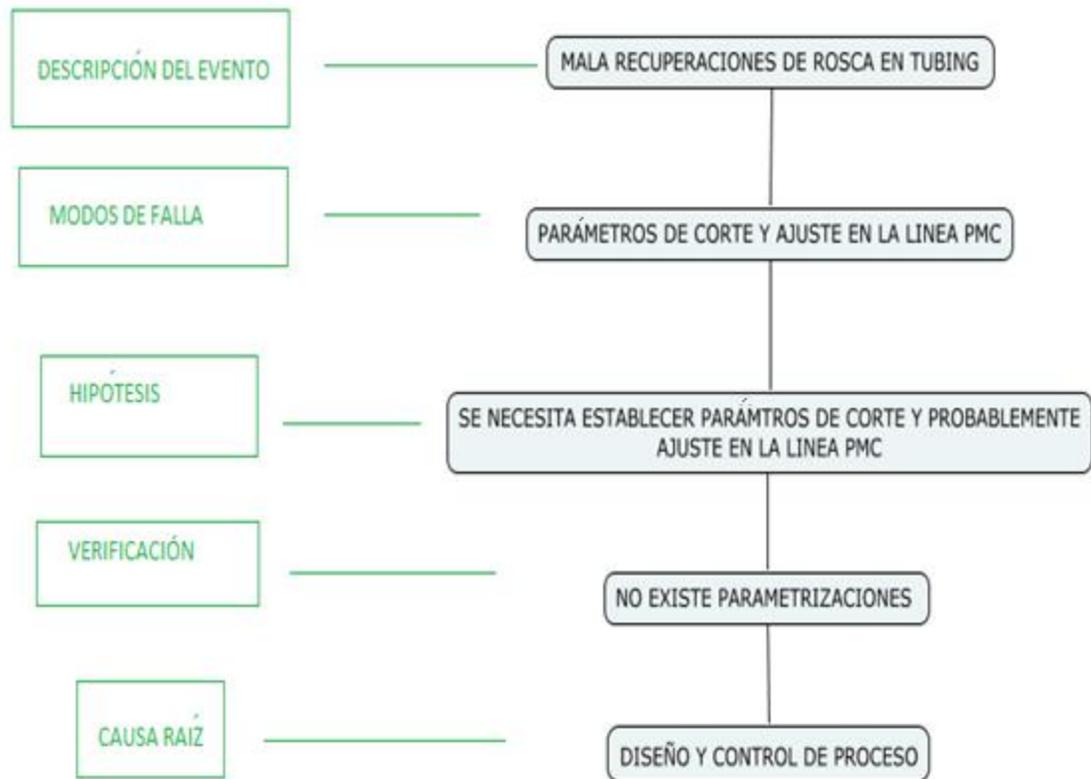


Figura 10 . Árbol de falla -Tubing- elaborado a partir de la información obtenida del RCA

9.2.2.1.1 Análisis del problema y árbol de falla

Entonces al identificar que el problema hace parte del gancho de punta y del diámetro se puede dirigir directamente a las siguientes máquinas:

- Sizing
- Enderezador
- Tornos
- Roscadoras

Fue claro que la investigación dio como resultado el control de parámetros para identificar que tubería sirve y que no sirve, identificar cuáles son las causas principales para de la aparición de las crestas negras.

Para esto se mostrará paso a paso como se realiza la calibración del sizing y para de esta manera proceder a llenar el formato de chequeo dimensional.

⁴FRAGMENTO DE LA INTRUCCION DE TRABAJO

MEDIR DIÁMETROS DEL TUBO PASO 8

Cómo:

-Quitar el rearme a la máquina utilizando el selector de rearme

-Tome la cinta diametral y mida el diámetro externo del tubo antes de entrar al paso número 8 (figura 12) tomando así la medida exacta y precisa de dicho diámetro

⁴ Extraído de la IT **Calibración del Sizing-elaborado por Fernando Malagón**



Figura 11. Sizing

-De la misma forma mida el diámetro (figura 13) después del paso número 8

-compare esta medida con la información suministrada en la hoja de ingeniería (figura 14) la cual menciona cuales son las tolerancias máximas y mínimas para cada diámetro para de esta forma calcular cuándo tenemos que disminuir diámetro del tubo.

Cuando: el operador de la formadora para el proceso para de esta forma comenzar la calibración



Figura 12. Medición de diámetro con cinta diametral

AJUSTAR TORRE PASO 8

Cómo:

Tome el rache y ajuste la torre del lado op (figura 15), ya sea girando este hacia el lado derecho o hacia el lado izquierdo según sea necesario. (Tomando como referencia la Hoja de ingeniería y colocando un nivel en L en la parte lateral del rodillo para que de esta forma el ajuste sea uniforme)

-De la misma forma ajuste la torre del lado DR (figura 16)

-verifique que el ajuste se encuentre de manera uniforme tanto del lado OP como del lado DR colocando un nivel en L en la parte lateral del rodillo nuevamente (figura 17).

-si el ajuste no se encuentre uniforme reajuste la torre hasta asegurar la uniformidad del ajuste recordando que los diámetros en cada paso solo pueden variar entre 5 - 10 milésimas de pulgada.

-rearme la máquina utilizando el botón de rearme

-tome el radio y avise al operador de la formadora mover el tubo un metro adelante

-Para asegurar una buena calibración tome el micrómetro para exteriores y mida tanto de manera vertical (figura 19) como de manera horizontal (figura 18) el tubo antes y después del paso 8, tome estos datos y apúntelos en la hoja de chequeo dimensional para de esta forma llevar una secuencia de dichas variaciones.

Cuando: después de medir los diámetros del tubo antes y después del paso 8



Figura 13. Ajuste del paso 8 lado OP



Figura 14. Ajuste del lado DR



Figura 15. Verificación de alineamiento con nivel en L



Figura 16. Medición de diámetro horizontalmente-micrómetro



Figura 17 . Medición vertical de diámetro -micrómetro



Figura 18. Aviso al operador de la formadora

Estos mismo procedimiento se siguen para cada uno de los pasos, por lo cual se omitirá el paso número 9 y número 10 (Claro está que en el Instructivo de trabajo que elabore está completo pero a materia de este proyecto se mirará directamente el proceso de verificación).

VERIFICACIÓN

Como:

Tome el micrómetro y mida el diámetro (figura 21) en distintos puntos del tubo después del lateral 10-11, como se encuentra especificado en la hoja de chequeo dimensional (vertical, horizontal y guiándose por las horas del día tome las medidas de 1pm ,2pm ,3pm 4pm 5 pm -apunte las medidas en el documento chequeo de verificación

Cuando:

Después de ajustar la torre del paso 10.



Figura 19. Verificación a la salida del paso 10

Como se ve en el fragmento de la IT, se puede decir que si esta es auditada y no se encuentra ningún tipo de hallazgos la calibración del sizing se realiza de forma correcta.

En cuanto al enderezador, se sabe que los ganchos de puntas que quedan después de un tubo pasar por el enderezador se encuentran de 0 a 3 mm lo cual tendremos que tener en cuenta en nuestro proceso de control.

Como fue explicado en el marco teórico, lo difícil de realizar un análisis de RCA no es encontrar que está funcionando mal sino encontrar una solución para poder controlar.

Antes de seguir con la investigación hay que aclarar lo siguiente:

En los tubos Casing existen problemas de filetes incompletos y en los tubing resultan problemas en la recuperación de roscas en la línea PMC los cuales también se ayudó a resolver o aclarar en el transcurso de esta monografía esto debido a que el Tubing posee un sobre acampanado el cual absorbe los defectos que identificamos anteriormente en el RCA.

9.2.3 Tratamientos Térmicos

Se sabe que los tratamientos térmicos en un factor indispensable para la tubería procesada en Tenaris Tubocaribe ya que esto da en el material propiedades indispensables las cuales son requeridas por el cliente y por esta razón no podemos saltarnos esta fase.

Si se toca el tema de filetes incompletos más específicamente aun “diámetros mínimos”, es necesario saber el comportamiento de estos diámetros mínimos después de pasar por esta fase del proceso, por lo cual se muestra el siguiente análisis:

En la tabla 10 se muestra el comportamiento de un tubo virgen es decir sin tratamientos térmicos, luego en la tabla 11 se puede ver que tanto vario la magnitud del diámetro, si se mide este ya sea con micrómetro o con cinta diametral, después de temple y por último en la tabla 12 se tiene el comportamiento de los tubos después de enderezado.

Tabla 10. Medidas de diámetro -tubo virgen

MEDICIONES CON MICROMETRO PARA EL PROCESO DE 7 x 0,317 L80
PROCESO DE PRUEBA PARA CALIFICACION DE MATERIAL NIPPON STEEL COMO L80 LOTE QV832

Tarea 3			PUNTA NORTE									PUNTA SUR									IDENTIFICACION	INSPECTOR	CINTA DIAMETRAL NORTE	CINTA DIAMETRAL SUR
Lote	Colada	Tubo	MEDICION CON MICROMETRO									MEDICION CON MICROMETRO												
			A	B	C	D	E	F	Med. Max.	Med. Min.	DVALIDAD	A	B	C	D	E	F	Med. Max.	Med. Min.	DVALIDAD				
QV832	11473	6	7034	7031	7036	7038	7034	7039	7039	7031	0,008	7025	7029	7043	7037	7043	7048	7049	7025	0,024				
QV832	11473	7	7020	7025	7040	7024	7041	7044	7044	7020	0,024	7028	7025	7037	7035	7039	7040	7040	7025	0,015				
QV832	11473	8	7039	7036	7030	7019	7032	7024	7039	7019	0,020	7039	7029	7038	7041	7039	7047	7047	7029	0,018				
QV832	11473	9	7045	7030	7018	7018	7041	7033	7045	7018	0,027	7041	7039	7029	7038	7028	7031	7041	7028	0,013				
QV832	11473	10	7031	7042	7029	7040	7037	7046	7046	7029	0,017	7035	7025	7034	7040	7037	7042	7042	7025	0,017				
QV832	11473	11	7011	7027	7032	7032	7024	7035	7029	7011	0,018	7029	7041	7035	7040	7028	7025	7041	7025	0,016				
QV832	11473	12	7045	7040	7043	7034	7015	7032	7045	7015	0,030	7032	7037	7028	7037	7025	7028	7037	7025	0,012				
QV832	11473	13	7030	7048	7042	7036	7025	7027	7048	7025	0,023	7030	7032	7040	7045	7037	7035	7045	7030	0,015				
QV832	11473	14	7032	7045	7025	7042	7035	7029	7045	7025	0,020	7026	7041	7037	7028	7035	7039	7041	7026	0,015				
QV832	11473	15	7032	7032	7041	7037	7036	7035	7041	7032	0,009	7042	7042	7035	7037	7032	7036	7042	7032	0,010				

Tabla 11. Medida de diámetro después de temple

Tarea 3			PUNTA NORTE									PUNTA SUR									IDENTIFICACION	INSPECTOR	CINTA DIAMETRAL NORTE	CINTA DIAMETRAL SUR
Lote	Colada	Tubo	MEDICION CON MICROMETRO									MEDICION CON MICROMETRO												
			A	B	C	D	E	F	Med. Max.	Med. Min.	DVALIDAD	A	B	C	D	E	F	Med. Max.	Med. Min.	DVALIDAD				
QV832	11473	6	7036	7050	7033	7050	7075	7046	7075	7033	0,042	7073	7055	7035	7038	7029	7027	7073	7027	0,046				
QV832	11473	7	7036	7037	7041	7064	7071	7044	7071	7036	0,035	7075	7071	7041	7039	7031	7038	7075	7031	0,044				
QV832	11473	8	7065	7071	7075	7022	7029	7031	7075	7022	0,053	7071	7055	7050	7029	7044	7027	7071	7027	0,044				
QV832	11473	9	7075	7073	7055	7035	7038	7029	7075	7029	0,046	7036	7041	7071	7055	7038	7025	7071	7025	0,046				
QV832	11473	10	7039	7075	7075	7052	7025	7027	7075	7025	0,050	7039	7073	7048	7022	7025	7030	7073	7022	0,051				
QV832	11473	11	7028	7035	7062	7058	7055	7040	7062	7028	0,034	7033	7027	7061	7056	7033	7028	7061	7027	0,034				
QV832	11473	12	7025	7019	7066	7056	7033	7036	7066	7019	0,047	7021	7037	7065	7041	7070	7062	7070	7021	0,049				
QV832	11473	13	7027	7038	7028	7035	7042	7026	7042	7026	0,016	7025	7042	7036	7065	7072	7042	7072	7025	0,047				
QV832	11473	14	7010	7029	7031	7033	7049	7061	7061	7010	0,051	7065	7065	7042	7025	7029	7043	7065	7025	0,040				
QV832	11473	15	7029	7045	7062	7041	7028	7021	7062	7021	0,041	7054	7052	7030	7042	7038	7040	7054	7030	0,024				

Tabla 12. Medidas de diámetro después de enderezado

Terco 3			PUNTA NORTE										PUNTA SUR										IDENTIFICACION	INSPECTOR	CIRTA DIAMETRAL NORTE	CIRTA DIAMETRAL SUR
Lote	Colada	Tabo	MEDICION CON MICROMETRO										MEDICION CON MICROMETRO													
			A	B	C	D	E	F	Med. Max.	Med. Min.	VALIDAD	A	B	C	D	E	F	Med. Max.	Med. Min.	VALIDAD						
QV832	11473	6	7050	7035	7031	7043	7074	7045	7074	7031	0,043	7070	7054	7033	7036	7025	7030	7070	7025	0,045		G. ESCOBAR	7045	7050		
QV832	11473	7	7070	7038	7036	7042	7061	7042	7070	7036	0,034	7072	7059	7040	7037	7032	7036	7072	7032	0,040		G. ESCOBAR	7049	7043		
QV832	11473	8	7062	7069	7074	7021	7030	7032	7074	7021	0,053	7070	7053	7048	7026	7043	7025	7070	7025	0,045		G. ESCOBAR	7050	7050		
QV832	11473	9	7074	7070	7051	7033	7036	7030	7074	7030	0,044	7034	7040	7069	7053	7039	7023	7069	7023	0,046		G. ESCOBAR	7039	7047		
QV832	11473	10	7040	7074	7072	7050	7024	7026	7074	7024	0,050	7037	7072	7047	7020	7023	7028	7072	7020	0,052		G. ESCOBAR	7045	7053		
QV832	11473	11	7027	7033	7060	7060	7054	7039	7060	7027	0,033	7030	7025	7058	7055	7032	7026	7058	7025	0,033		G. ESCOBAR	7050	7055		
QV832	11473	12	7022	7020	7064	7053	7032	7034	7064	7020	0,044	7020	7035	7064	7043	7068	7060	7068	7020	0,048		G. ESCOBAR	7051	7050		
QV832	11473	13	7025	7035	7030	7034	7039	7024	7039	7024	0,015	7022	7040	7034	7063	7070	7041	7070	7022	0,048		G. ESCOBAR	7039	7055		
QV832	11473	14	7011	7025	7030	7032	7048	7059	7059	7011	0,048	7060	7062	7039	7022	7027	7040	7062	7022	0,040		G. ESCOBAR	7039	7050		
QV832	11473	15	7028	7043	7061	7039	7027	7019	7061	7019	0,042	7056	7051	7025	7041	7035	7037	7056	7025	0,031		G. ESCOBAR	7048	7052		

Es notorio que existe un aumento de diámetro luego del proceso de templado y también un cambio de diámetro después del enderezado que por lo general hace una disminución en dicho diámetro pero su medida final no llega a ser menor que el diámetro del tubo virgen.

Esto garantiza que si se controla el diámetro mínimo luego de la salida del sizing y mejor aún luego de pasar este por el enderezador de la planta de formado, se garantiza una tubería sin crestas negras.

9.3 Proceso de parametrización

Como se ha venido explicando durante la monografía, es necesario para controlar las variables que producen la falla las cuales fueron catalogadas como:

- Diámetros mínimos
- Gancho de punta

Esto en cuanto a tubería Casing ya que la Tubing al momento de ser recalada absorbe inmediatamente estos problemas, pero para esta se poseen otras dificultades que surge a partir de la falta de claridad en la interpretación de la norma.

Para estos se realizan parametrizaciones que ayuden a controlar estas variables.

9.3.1 Parametrización de tubería Casing

Para establecer un parámetro de roscado se determinaran cuáles son los diámetro mínimo para cada tubo ideal, es decir que este no posea gancho de punta, para así proceder a calcular cuales son los diámetros mínimos teóricos para cada tipo de tubo en caso que estos posean ganchos de puntas en sus extremos.

Para calcular el diámetro mínimo teórico se utilizará el software AutoCAD y se diagramará cada una de las rosca según la norma API 5B para así proceder a determinar cuál es el diámetro mínimo para cada gancho de punta.

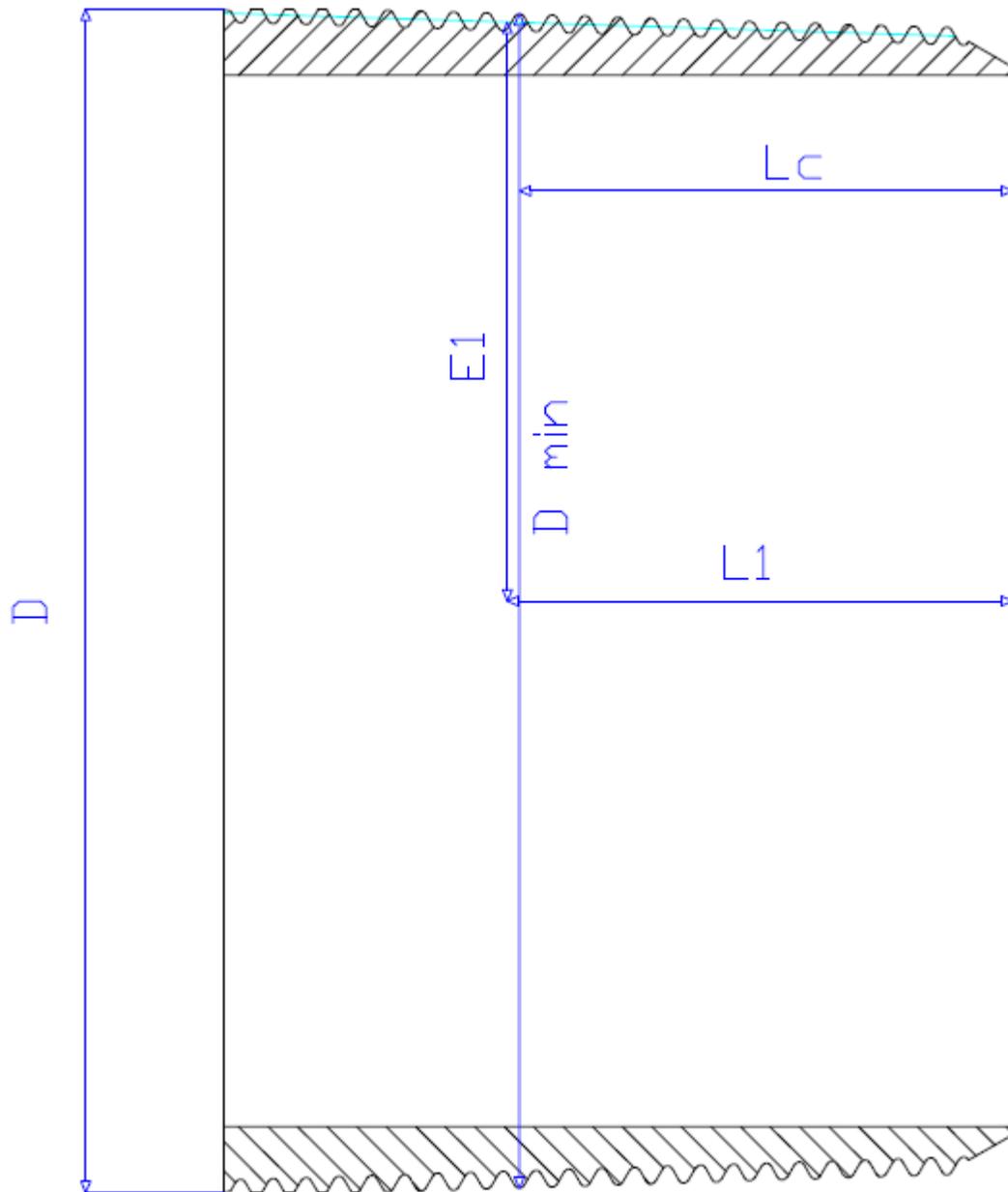


Figura 20. Parámetros indispensables para la fabricación de rosca

Tabla 13. Significado de las variables utilizadas en la figura 23

E1	Diámetro de paso
Lc	Longitud de crestas perfectas
L1	Longitud específica a medir el diámetro de paso
D	Diámetro de la Tubería
Dmin	Diámetro mínimo

Cabe mencionar que la norma posee ciertas restricciones con los diámetros tanto mínimos como máximos permitidos, lo que se tendrá en cuenta para la parametrización de los diámetros teóricos.

Tabla 14. Tolerancia máxima y mínima permitidas por la norma API

Label 1	Tolerance on outside diameter, <i>D</i>
< 4-1/2	± 0,79 mm (± 0.031 in)
≥ 4-1/2	+1 -0,5 % <i>D</i>

Como se está trabajando con tubería Casing (4 ½ “, 5 “, 7 “) tenemos que:

Tabla 15. Valores calculados de las tolerancias máximas y mínimas permitidas por la norma API

Diámetro Ideal (in)	Diámetro+1% (in)	Diámetro -0.5% (in)
4.500	4.545	4.478
5.500	5.555	5.473
7.000	7.070	6.965

Teniendo en cuenta estos resultados, se procede a determinar los diámetros mínimos para cada tubería como nos muestra la siguiente figura 24:

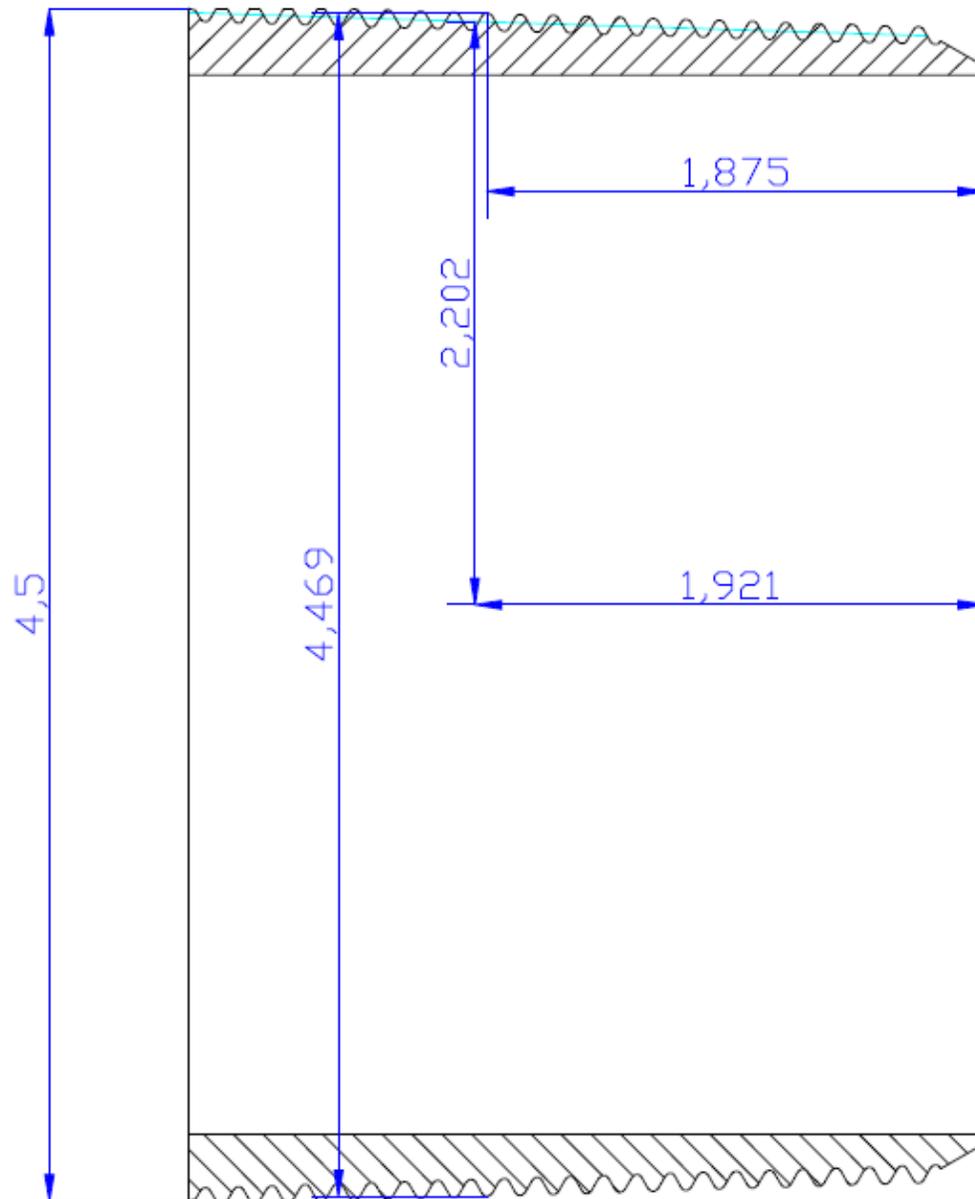


Figura 21. Plano de sección transversal de un tubo de 4.5 pulgadas e identificación del diámetro min- dimensiones en pulgadas

Se muestra que a un L_c (longitud de crestas perfectas) de 1.875" como lo exige la norma, es necesario que el tubo cumpla como mínimo con un diámetro de 4.469" para que la herramienta de corte pueda tener material para desbastar, esto asumiendo que el tubo no posee ningún gancho de punta, además en la tabla 16 y 17 muestra los diámetros permisibles por la norma y tenemos que el diámetro mínimo permisible para un tubo de 4 ½ "es de 4.478".

Este procedimiento se realizó para tubería de 4 ½ ", 5 ½ y 7" y los valores obtenidos fueron los siguientes:

REDONDA

Tabla 16. Valores calculados de diámetros mínimos -rosca redonda

Diámetro Ideal (in)	Diámetro min teórico calculado (in)	Diámetro min por norma (in)
4.500	4.469	4.478
5.500	5.469	5.473
7.000	6.919	6.965

BUTRESS

Tabla 17. Valores calculados de diámetro mínimo-rosca butress

Diámetro Ideal (in)	Diámetro min teórico calculado (in)	Diámetro min por norma (in)
4.500	4.490	4.490
5.500	5.490	5.490
7.000	6.990	6.990

Después de saber cuáles son los diámetros mínimos obtenidos por norma, resulta fácil obtener los diámetros mínimos teóricos para cada tubo teniendo este gancho de punta.

Cabe resaltar que los resultados que se mostraran a continuación tiene como medida estándar el gancho de punta medido a 5.5 pulgadas del extremo del tubo , esto debido a que realmente esta distancia es la que afecta al momento de mecanizar, debido a que es el tramo de tubo que queda después que el tubo está sujeto por las mordazas.

9.3.1.1 Parametrización de diámetros mínimos para rosca redonda

En las tablas 18 , 19 y 20 se muestran los parámetros obtenidos a partir de la simulaciones realizadas en autocad con sus respectivas graficas 25 , 26 y 27

CASING 4 1/2

Tabla 18. Diámetro mínimo necesario de un tubo Casing 4 1/2 para un gancho de punta determinado (rosca redonda)

Gancho de Punta (in)	Diámetro min (in)
0,010	4,482
0,015	4,488
0,020	4,495
0,025	4,502
0,030	4,508
0,035	4,515
0,040	4,521
0,045	4,528
0,050	4,535
0,055	4,541

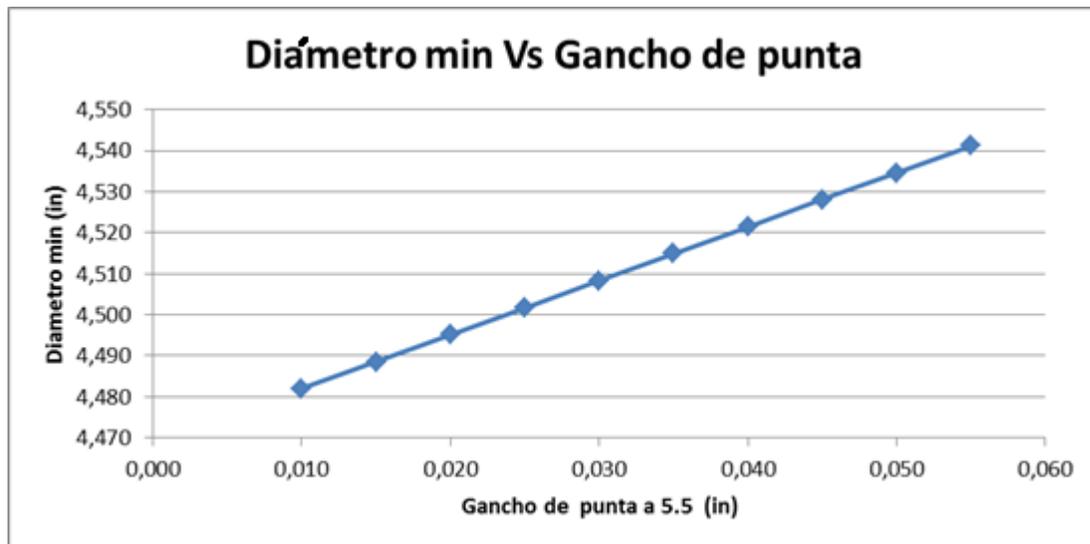


Figura 22. Diámetro min Vs Gancho de punta para un casing 4 1/2

CASING 5 1/2 in

Tabla 19. Diámetro mínimo necesario de un tubo Casing 5 1/2 para un gancho de punta determinado (rosca redonda)

Gancho de Punta (in)	Diámetro min (in)
0.005	5.474
0.010	5.480
0.015	5.486
0.020	5.491
0.025	5.497
0.030	5.503
0.035	5.509
0.040	5.514
0.045	5.520
0.050	5.526
0.055	5.531
0.060	5.537
0.065	5.543
0.070	5.548
0.075	5.554

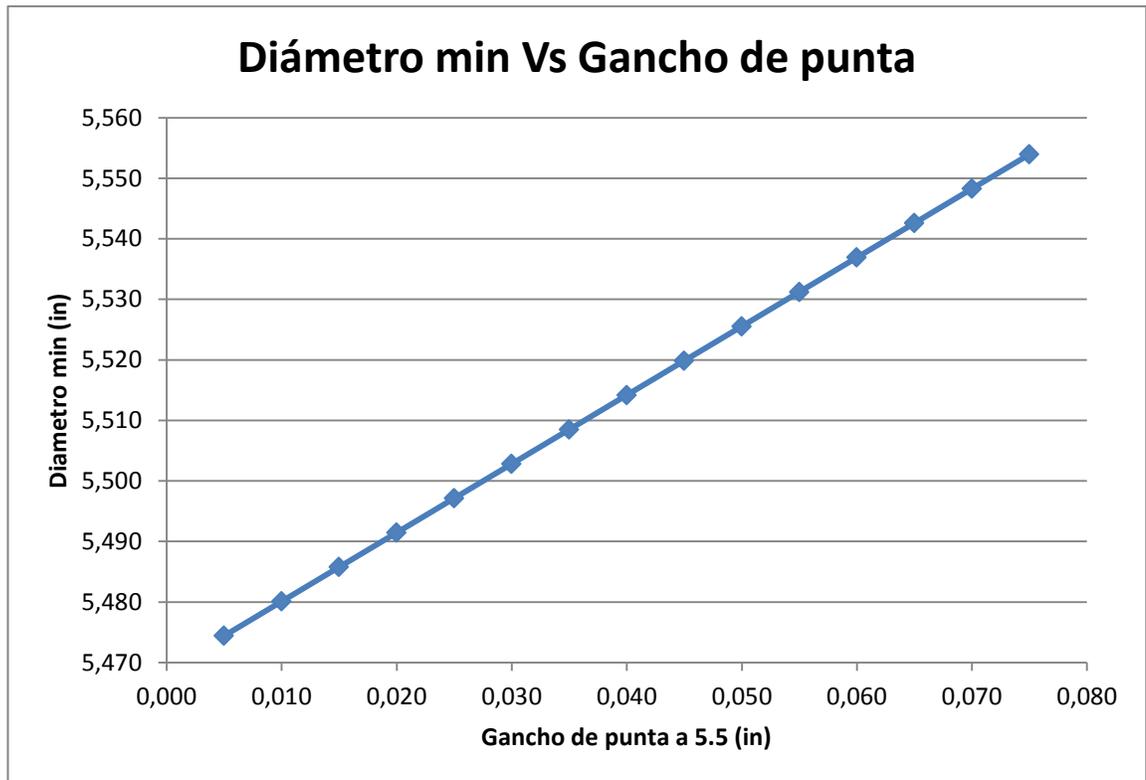


Figura 23 Diámetro min Vs Gancho de punta para un casing 5 1/2

CASING 7 in**Tabla 20. Diámetro mínimo necesario de un tubo Casing 7" para un gancho de punta determinado**

Gancho de Punta (in)	Diámetro min (in)
0.050	6.967
0.055	6.972
0.060	6.976
0.065	6.981
0.070	6.986
0.075	6.991
0.080	6.995
0.085	7.000
0.090	7.005
0.095	7.010
0.100	7.015
0.105	7.019
0.110	7.024
0.115	7.029
0.120	7.034
0.125	7.038
0.130	7.043
0.135	7.048
0.140	7.053
0.145	7.058
0.150	7.062
0.155	7.067

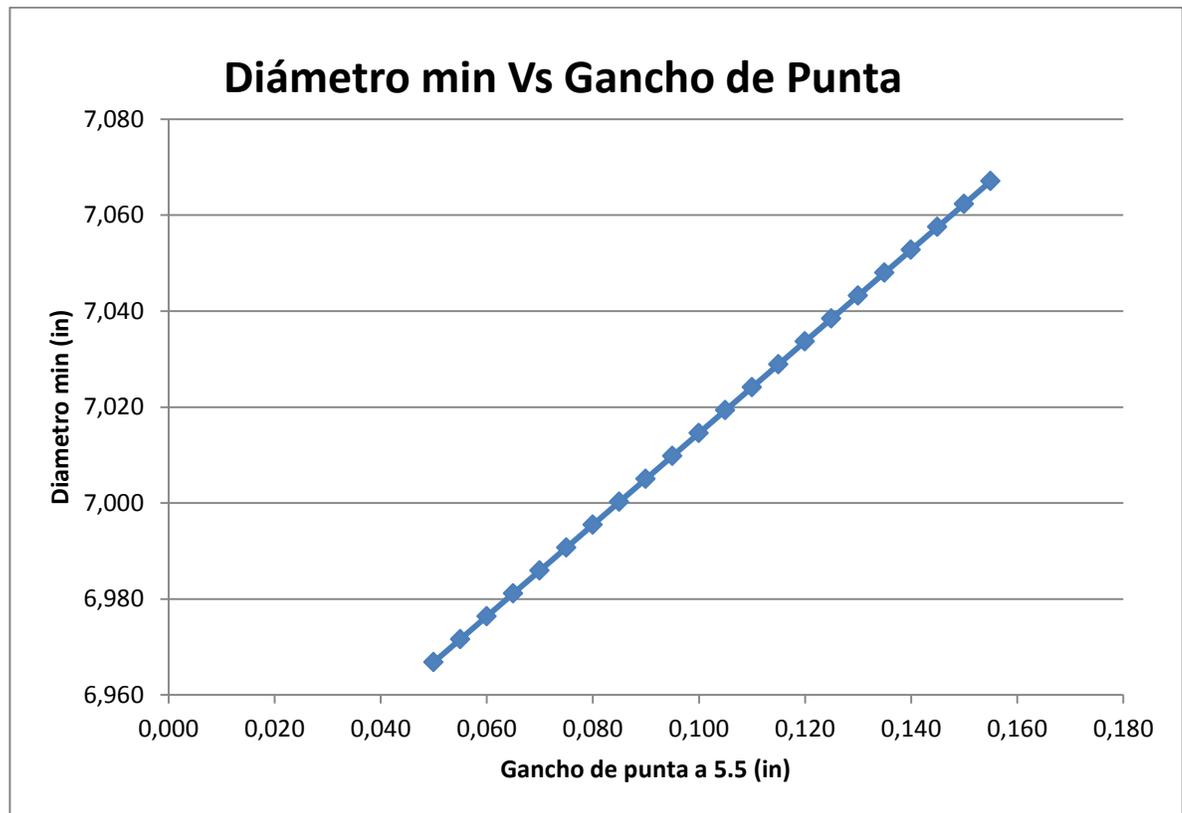


Figura 24. Diámetro min Vs Gancho de punta para un casing 7

9.3.1.2. Parametrización de diámetros mínimos para rosca butress

En las tablas 21 , 22 y 23 se muestran los parámetros obtenidos a partir de la simulaciones realizadas en autocad con sus respectivas graficas 28 , 29 y 30.

Casing 4 ½ in

Tabla 21. Diámetro mínimo necesario de un tubo Casing 4 ½ ” para un gancho de punta determinado-butress

Gancho de Punta (in)	Diámetro min (in)
0.000	4.490
0.005	4.498
0.010	4.506
0.015	4.514
0.020	4.521
0.025	4.529
0.030	4.537
0.035	4.544

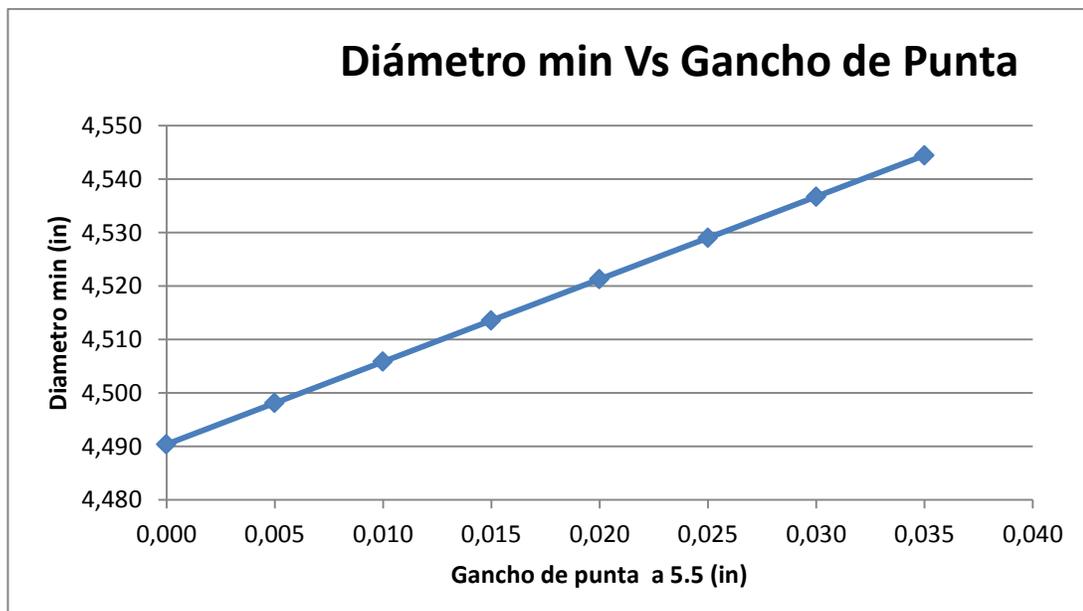


Figura 25. Diámetro min Vs Gancho de punta para un Casing 4 1/2 Butress

Casing 5 ½ in

Tabla 22. . Diámetro mínimo necesario de un tubo Casing 5 ½ " para un gancho de punta determinado-butress

Gancho de Punta (in)	Diámetro min (in)
0.000	5.490
0.005	5.498
0.010	5.505
0.015	5.513
0.020	5.520
0.025	5.527
0.030	5.535
0.035	5.542
0.040	5.549

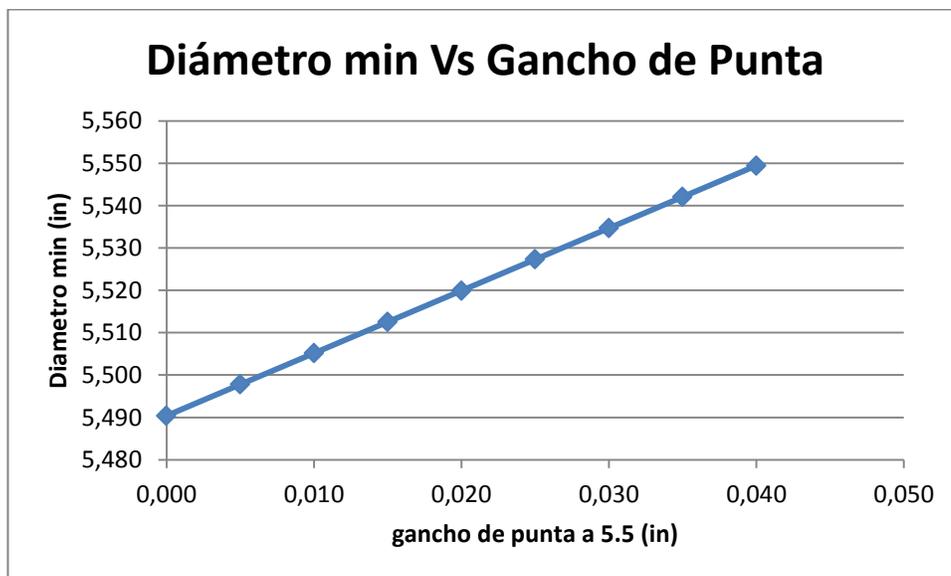


Figura 26. Diámetro min Vs Gancho de punta para un Casing 5 1/2 Butress

Casing 7 in

Tabla 23. Diámetro mínimo necesario de un tubo Casing 7 " para un gancho de punta determinado-Butress

Gancho de Punta (in)	Diámetro min (in)
0.000	6.990
0.005	6.997
0.010	7.004
0.015	7.011
0.020	7.017
0.025	7.024
0.030	7.031
0.035	7.037
0.040	7.044
0.045	7.051
0.050	7.057
0.055	7.064

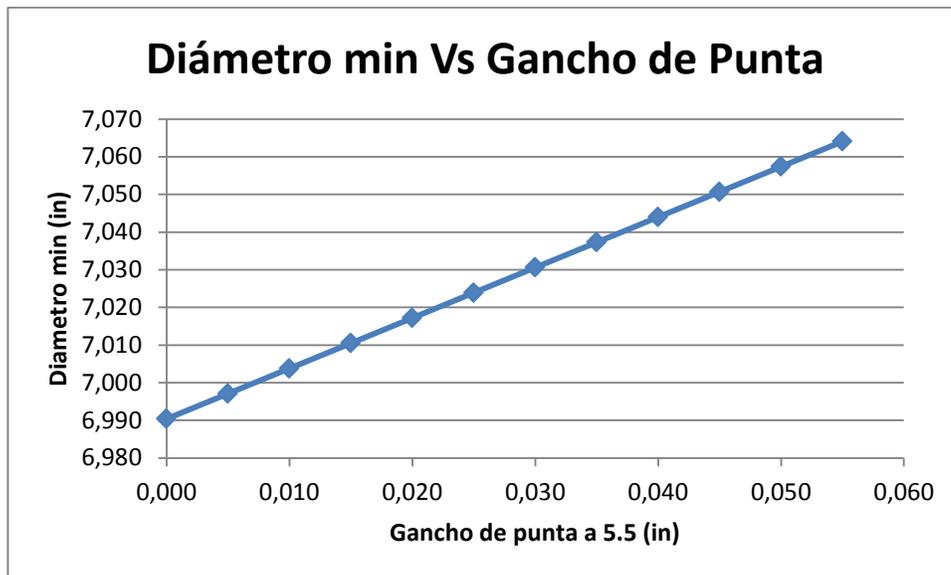


Figura 27. Diámetro min Vs Gancho de punta para un casing 7 butress

9.3.2.1 Estudio de recuperación de rosca en tubería Tubing

Después de identificar los diámetros mínimos procederemos a tratar el tema de los Tubing.

Es normal que en una industria donde se tiene una capacidad de producción de 10 mil toneladas de tubos mensuales se tengas algunos inconvenientes en las roscas tales como se muestran en las figuras 31, 32 y 33

- Filete arrancado

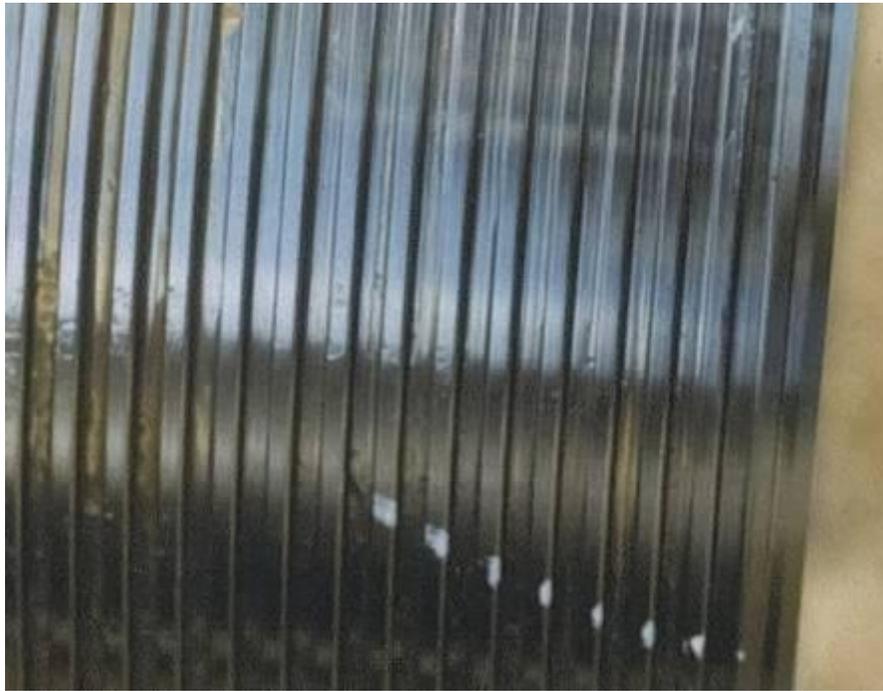


Figura 28. Filete arrancado-extraída del curso de roscado de Tenaris university

- Filete abollado



Figura 29. Filete aboyado- extraída del curso de roscado de Tenaris university

- Filetes rayados



Figura 30. Filete rayado- extraída del curso de roscado de Tenaris university

Se está tocando este tema debido a que aprovechare esta oportunidad para analizar si los tubos tubing se pueden recuperar en las roscadora PMC

En la actualidad todos los descartes de roscas para tubos tubing tratados deben ser procesados en el tornos CNC (SL6). Esto implica organizar espacio, logística y programación de torno para poder recuperar todo los tubos cuyas roscas presenten defectos recuperables. El diseño del recalque que actualmente se realiza en Tubocaribe contempla una longitud extra para realizar recuperación de roscas defectuosas, y sería una gran ventaja si dicha recuperación se hiciera en la misma Línea que se genera: Roscadora PMC

9.3.2.1.1 Metodología y resultados

Se realiza simulación en AutoCAD de la rosca API para todos los diámetros de Tubing fabricados en Tenaris Tubocaribe.

La simulación permitió establecer:

- Se pueden hacer tantas recuperaciones sean necesarias siempre y cuando la longitud del recalque (rosca) quede dentro de los valores especificados por norma API
- Para realizar la recuperación de la rosca es necesario copiar el paso de la rosca anterior, es decir, la nueva rosca debe fabricarse a una distancia tal que sea múltiplo de 0.125".

9.3.2.1.1.1 Estudio de recuperación de rosca a Tubing 3 ½"

Para mostrar los resultados obtenidos se trabajará un Tubing 3/2"x0.254"

En la tabla 24 se puede ver que la longitud del recalque hecho en Tenaris Tubocaribe es mayor que la exigida por la norma, lo cual permite realizar recuperaciones en la rosca cuando esta salgan averiada o con algun defecto dentro del rango de recuperación.

Tabla 24 Magnitudes especificada en la hoja de ingeniería de un Tubing 3/2

Diámetro del recalque D4 (In)		Longitud del recalque LEU (In)		Diámetro a 6.500" La (In)		Diámetro a 10.500" Lb (In)"	
Min.	Max	Min. ^a	Max ^b	Min.	Max	Min.	Max
3.750	3.812	4.400	4.700	3.469	3.594	3.469	3.531

a. La longitud mínima por norma es de 3.500"; este valor debe ser tenido en cuenta para la recuperación de rosca.

b. Criterio interno.

En este caso específico se tiene que la longitud del recalque según la hoja de ingeniería está entre los valores de 4.4 a 4.7 pulgadas y lo mínimo exigido por la norma es 3.5 pulgadas, lo que permite trabajar en una recuperación de rosca en un tramo de tubo de 1.2 a 0.9 pulgadas

En la figura 34 se muestra los requisitos básicos que se tienen que tener en cuenta para la elaboración de una rosca en un tubing recalcado (para ver más detalles revise la norma API 5B).

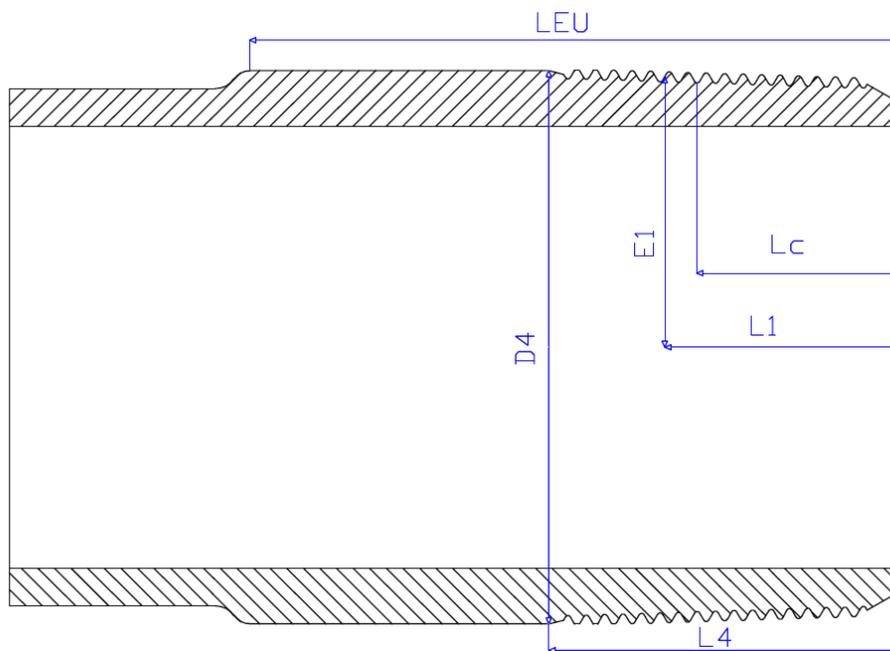


Figura 31. Sección transversal de un Tubing recalcado según la norma API 5B

Tabla 25. Definición de abreviaciones expuestas en la ilustración 24

Lc	Longitud mínima de crestas perfectas
LEU	Longitud del recalque
D4	Diámetro externo del recalque
L1	Longitud específica del diámetro de paso
E1	Diámetro de paso

En la figura 35 se muestran las dimensiones para un Tubing recalcado de $3\frac{1}{2}$, de lo cual se deduce que para este caso en específico, es decir para un tubing recalcado con 4.4 pulgadas de LEU se tiene 0.9 pulgadas de tubo para trabajar en recuperación rosca.

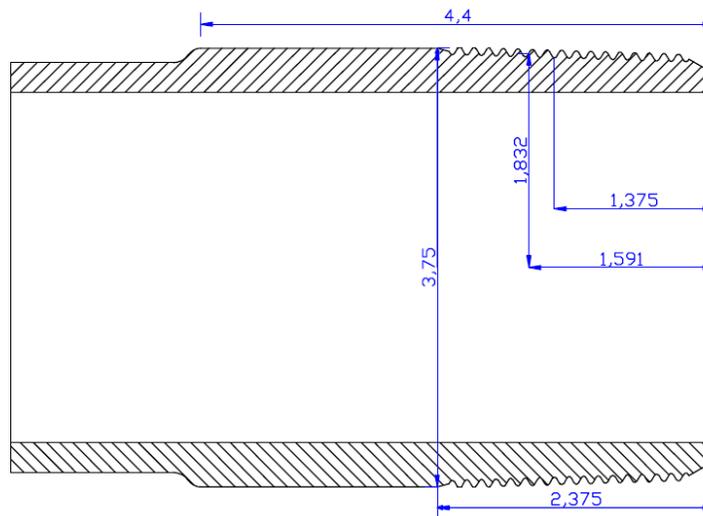


Figura 32. Sección transversal de un Tubing recalcado $3\frac{1}{2}$ según la norma API –dimensiones en pulgadas

Ahora bien, en la figura 36 se muestra un ejemplo de lo que pasaría si se hace una recuperación de rosca a una distancia cualquiera, es decir una distancia la cual no sea múltiplo del paso, en este caso específico a 0.3 pulgadas

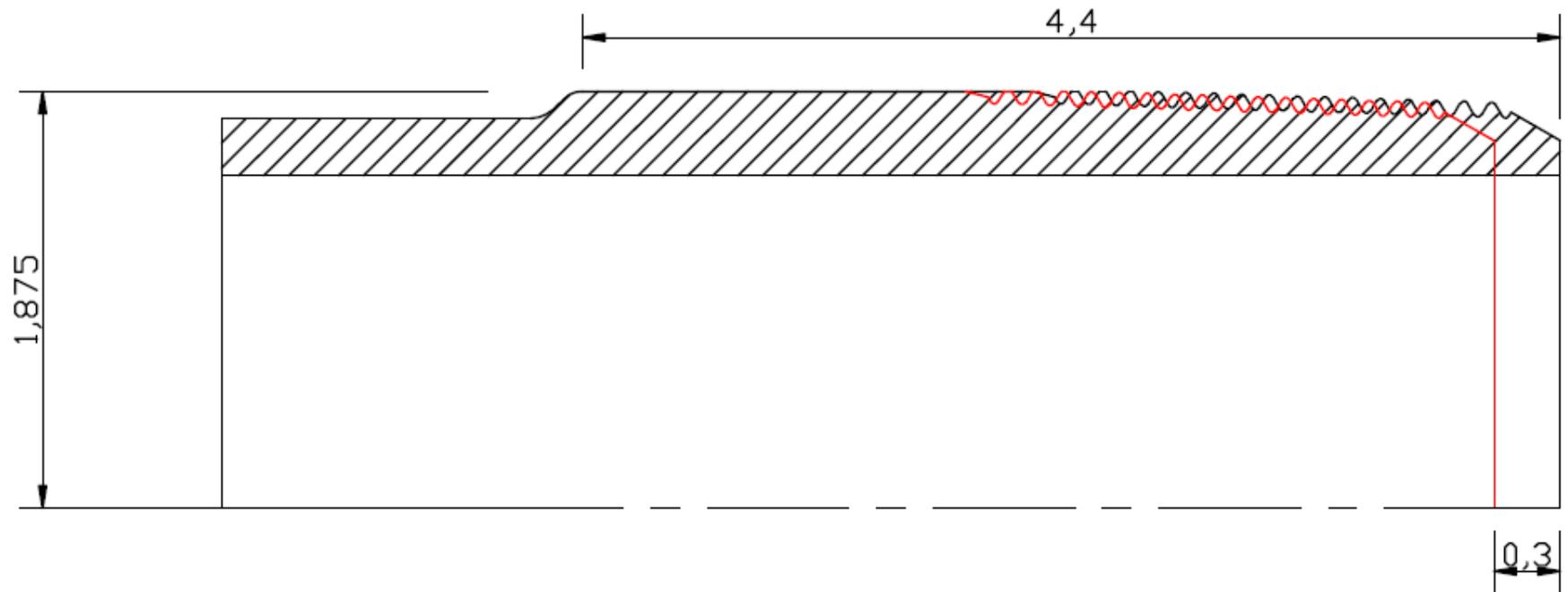


Figura 33. Sección transversal de un Tubing recalcado recuperado a una distancia de 0.3 –Dimensiones en pulgadas

En cambio en la figura 37 sucede todo lo contrario, la recuperación se realiza a una distancia de 0.250 pulgadas la que equivale a dos veces el paso y la recuperación cumple teóricamente con los parámetros de norma.

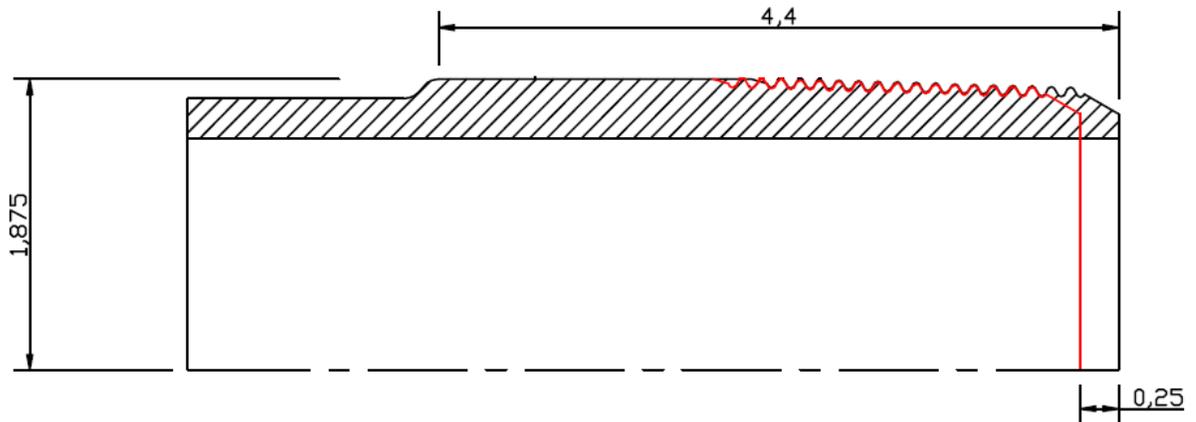


Figura 34. Sección transversal de un Tubing recalcado con recuperación de rosca a una distancia de 0.25- Dimensiones en pulgadas

Para esto se verá una ampliación de esta recuperación en la figura 38.

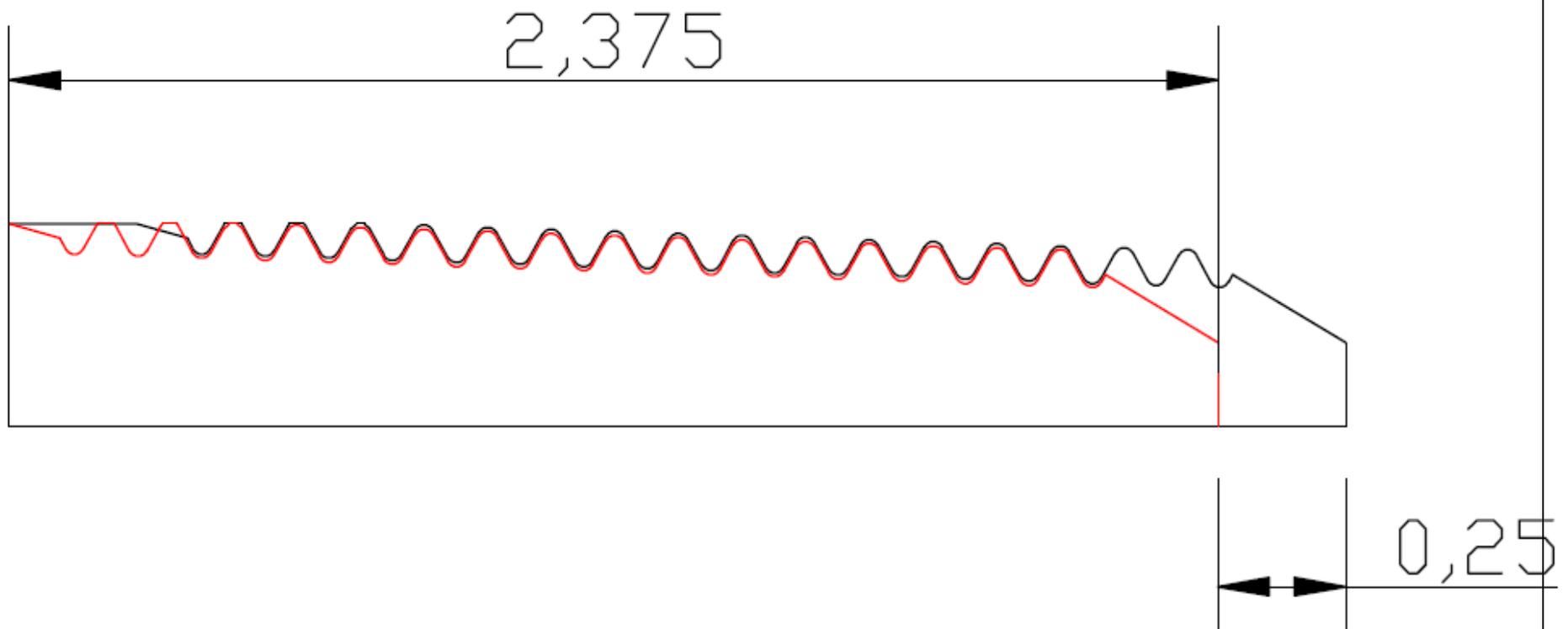


Figura 38: Gráfico ampliado de la recuperación de rosca para Tubing 3 1/2 a una distancia de 0.25 -dimensiones en pulgadas

Cabe resaltar que entre mayor sea la distancia a la cual se realiza la recuperación de rosca , mayor será la posibilidad de recuperación debido a que la herramienta de corte tendrá más material para desbastar como se puede apreciar en la figura 39.

Este debido a que existe un taper de 0.0625 pulgada por pulgada

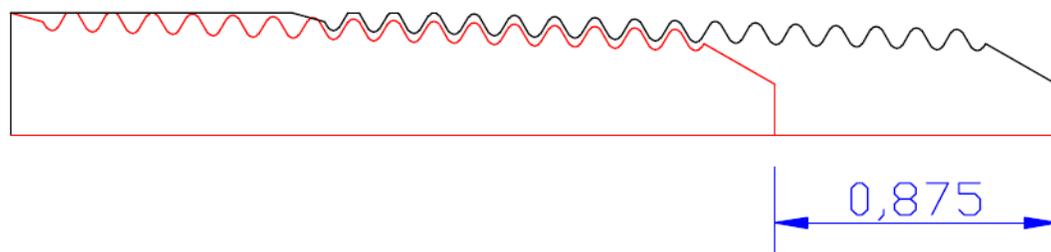


Figura 39: Grafico ampliado de la recuperación de rosca para un tubing 3 1/2 a una distancia de 0.875 -Dimensiones en pulgadas

En el presente informe se presenta un análisis de las posibilidades de realizar la recuperación de las roscas defectuosas en la PMC.

9.3.2.1.2 Evidencias de problemas en la recuperación de rosca

Como evidencia al defecto de recuperación se anexa fragmento del reporte que hicieron en el área de finishing en cuanto a estas recuperaciones.

⁵“En el día de hoy en las roscadoras PMC, estamos procesando tubería de diámetro 2 7/8” x 0,217”API5CTN80.

Se realizan pruebas de recuperación de roscas en la línea.

Se toman 10 roscas rechazadas y se ingresan a proceso desbastándole 1” de longitud en la biseladora.

Se ingresa a roscado y de las 10 roscas reprocesadas 8 salieron rechazadas por tener los 2 primeros hilos truncados y 2 roscas salieron aprobadas.

Es posible que en las 2 roscas aprobadas se haiga copiado el paso de las roscas.

En el caso de las 8 roscas rechazadas por los dos hilos truncados, para que no salgan esos hilos, debemos desbastar en la biseladora esos hilos truncados.

Para que no salgan estos rechazos tendríamos que desbastar no 1”, si no 1 ¼”.

De las 8 roscas rechazadas 4 quedaron con el LEU por debajo del mínimo. Que es 3 1/4”.

En el caso del diámetro 2 7/8”, estaríamos necesitando un recalque como mínimo en 4 5/8”, (hay que considerar la zona acampanada)

Debemos establecer controles en la biseladora para que al momento de biselar un recalque virgen no refrentar una medida mayor de 1/8”.

Cuando salga un rechazo que vayamos a reprocesar debemos desbastar 1 1/4”, así el recalque quedaría con la medida mínima del LEU que es 3 ¼”.

Sabemos que el L4 máximo de la roscas para este diámetro es 2 ¼”.

⁵ Extraído de reporte de mejorador de procesos finishing

Para la recuperación borramos 1 1/4" de roscas y con la pulgada de rosca que queda en el recalque podemos roscar sin problema de hilos truncados.

Dejo a consideración los resultados de estas pruebas, para que por favor nos pongamos de acuerdo cual es el paso a seguir".

Si se analiza esto creo que realmente es necesario que el proceso se haga de una manera repetitiva y controlada y no exponer distancias con las cuales se va a jugar el azar, lo cual se puede lograr realizando algunas pruebas como son:

- Realizar cortes a distancias múltiples de paso y proceder a roscar en la PMC
- Dado caso no salga bien el primer inciso , medir distancias donde comienza el mecanizado y sacar un promedio de dicha longitud para proceder a roscar nuevamente

Conclusiones

Después de realizar un análisis de causa raíz en la compañía Tenaris Tubocaribe se pudo obtener algunas ideas de solución tanto para tubería Casing como para tubería Tubing.

Casing

En este proyecto se planteó cuáles son los parámetros teóricos dimensionales para los tubos Casing con gancho de punta trabajados en la planta de Tubocaribe, esto se hizo con el fin de identificar cuáles son las dimensiones reales necesarias para contrarrestar el problema de filetes incompletos o crestas negras generadas en esta área. Para esto se generaron gráficas que muestran cual es el diámetro mínimo teórico necesario para cada gancho de punta, tomado a una distancia de 5.5 pulgadas (Tramo aproximado de tubo que queda por fuera de las mordazas al momento de roscar).

- Para cada gancho de punta existe un diámetro mínimo necesario, el cual se debe cumplir porque de otra forma el proceso de roscado (redondo o butress) no quedara bajo norma. (Estos parámetros se determinaron teóricamente durante el proyecto).

Si se analiza las gráficas, claramente se identifica que el rango de diámetros necesarios para realizar una rosca butress es mucho menor al necesario con una rosca redonda por lo cual necesita mayor precisión al momento de roscar.

Ahora bien, es necesario realizar pruebas que verifiquen lo que teóricamente se planteó en este proyecto, debido que para los cálculos realizados no se tienen en cuenta los ajustes de la

maquinaria por lo cual es probable que se tenga que anexarle un factor de seguridad a los diámetros calculados.

Recuperación de rosca en Tubing.

Con este análisis se logró determinar que la recuperación de rosca teóricamente se puede hacer en la roscadora PMC pero esta tendría que cumplir con los requisitos que se establecieron durante el informe, que fueron los siguientes:

- Teóricamente se pueden hacer tantas recuperaciones sean necesarias siempre y cuando la longitud del recalque (rosca) quede dentro de los valores especificados por norma API
- Para realizar la recuperación de la rosca es necesario copiar el paso de la rosca anterior, es decir, la nueva rosca debe fabricarse a una distancia de la punta del tubo tal que sea múltiplo de 0.125".
- Para lograr esto solo se podrán hacer cortes desde el extremo del recalque hasta las distancias mencionadas, sin exceder el límite de recalque descrito por norma. Si de esta forma no se da una recuperación exitosa, se tendría que determinar el factor de corrección que se debe agregar a los valores mostrados para compensar de ajustes los mecánicos en la roscadora, gancho de punta, Etc.
- Entre mayor sea la distancia de corte, mayor es la posibilidad de recuperación dado que la herramienta de corte tiene más material para desbastar, debido al taper.
- Para validar los resultados de este análisis y determinar los parámetros reales de recuperación de rosca se debe realizar pruebas a las distancias expuestas en el informe.

Recomendaciones

Como la planta Tenaris Tubocaribe se encuentra en un proceso de ampliación como plan de mantenimiento mejorativo en cuanto a torno se recomienda que:

- Los tornos tengan la capacidad de adaptarse al gancho de punta y absorber este tipo de defectos

A continuación se presentara un ejemplo de una marca de torno la cual asegura este inconveniente.

⁶Los tornos CNC para el roscado de tubos series STC incluye los modelos STC1460n, STC1850n, y STC3440n, que corresponden a los rangos de diámetros para tubería de 2 3/8-5 1/2", 2 3/8-7", y 5 1/2-13 3/8", respectivamente. Otros modelos pueden ser desarrollados de acuerdo a las especificaciones de los clientes.

Tanto el control de manejo como el sistema de control emplean FANUC 0i-TD CNC, y servo motores de husillo (El modelo STC1460n se encuentra equipado con un motor de husillo de frecuencia variable). El sistema CNC Siemens 802Dsl es opcional

La bancada del equipo ha sido diseñada empleando análisis de elementos finitos, e incorpora una estructura de caja con una inclinación de 45° resistente al doblamiento y torcimiento. La estructura de la bancada emplea una estructura de acero en forma de caja (caja de fundición integrada en el caso del modelo STC1460n), permitiendo la alta precisión durante el duro proceso de corte. La estructura de la bancada inclinada asegura la buena refrigeración y la eficiente remoción de viruta.

⁶ Extraído de la página <http://www.smtclspain.com/18-pipe-threading-lathe-1.html#footer>



Anexo

“A” - Material desbastado en el proceso de roscado

Para realizar procesos de mejora continua es necesario conocer específicamente que está pasando o que debería estar pasando en cada una de las líneas de la planta este caso específicamente en la línea de roscado. En el proceso de roscado es necesario realizar un desbaste de material para de esta forma dejar los tubos bajo norma.

En este análisis se exponen los resultados obtenidos de la cantidad de material consumido en el proceso de roscado (tablas 26, 27 y 28), tanto para tubos tubing como para casing.

Para realizar este análisis realizamos los planos de la norma API (figuras de la 40 a la 45) especificación 5B como lo mencionamos en la metodología.

Casing redondo:

r = refrentado (1/32 de pulgada para todo los tubos)

Diámetro 4 ½ in

L=3 in



Diámetro 5 ½ in

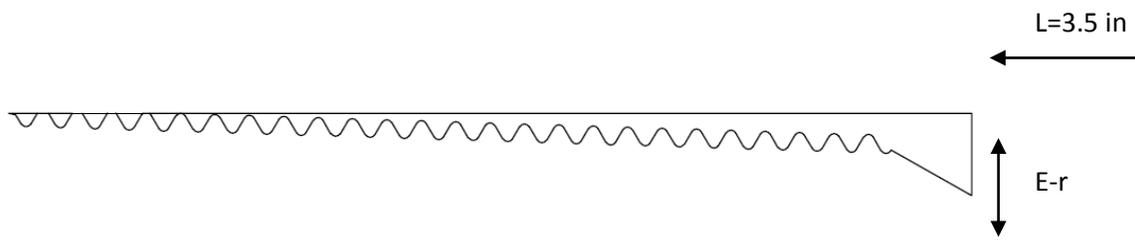


Figura 36. Área desbastada rosca redonda -5 1/2 "

$E=0.304$ in

Diámetro 7 in

$L=4$ in

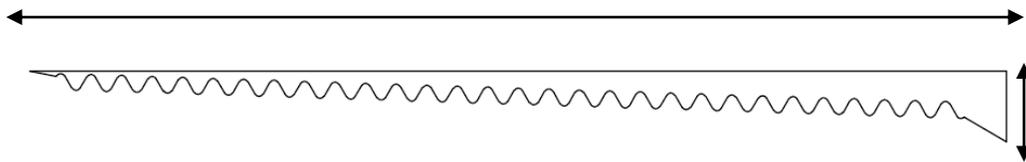


Figura 37. Área desbastada rosca redonda -7"

$E-r$

$E= 408$ in

Tabla 26. Calculo de material desbastado en Casing rosca redonda

Diámetro	Área (in ²)	Volumen (in ³)	Material (lb)
4.5	0.196	2.777	0.777
5.5	0.274	4.731	1.325
7	0.417	9.173	2.568

Tubing redondo

Diámetro 2 3/8"

L=1.938 in

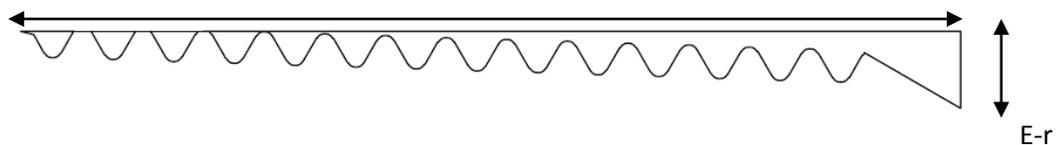


Figura 38. Área desbastada rosca redonda -2 3/8

E=0.190in

Diámetro 2 7/8"

L=2.90 in

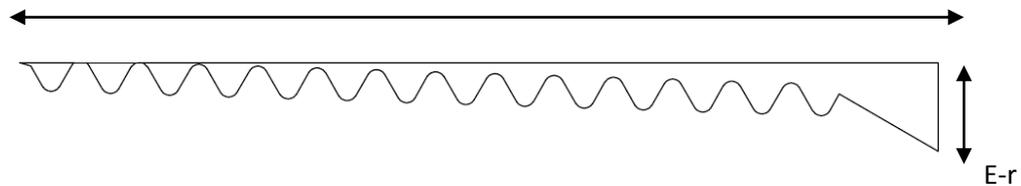
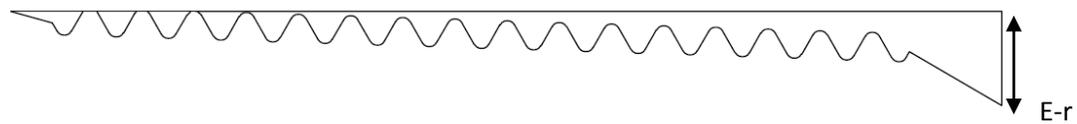


Figura 39 Area desbastada rosca redonda -2 7/8

E=0.217 in

Diámetro 3 1/2"

L=2.375 in



E=0.254 in

Figura 40 Area desbastada rosca redonda -3 1/2

Diámetro 4 1/2"

L=2.625 in

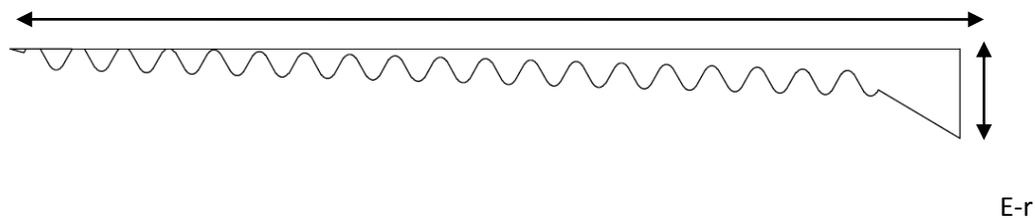


Figura 41. Area desbastada rosca redonda -4 1/2

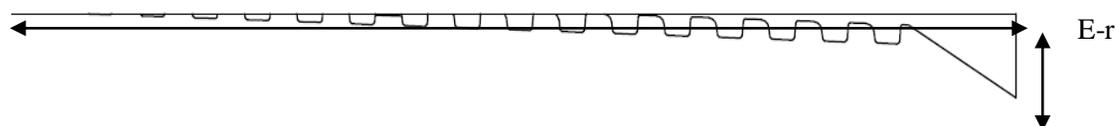
E=0.271 in

Tabla 27. Calculo de material desbastado en Tubing rosca redonda

Diametro (in)	Area (in ²)	Volumen (in ³)	Material (lb)
2 3/8	0.1011	0.754	0.211
2 7/8	0.1159	1.047	0.293
3 1/2	0.1458	1.603	0.449
4 1/2	0.1741	2.461	0.689

Casing Butress

Diámetro 4 1/2"



$E=0.25$

Figura 42. Área desbastada rosca Butress -4 1/2

Diámetro 5 1/2"

$L=3.825$ in

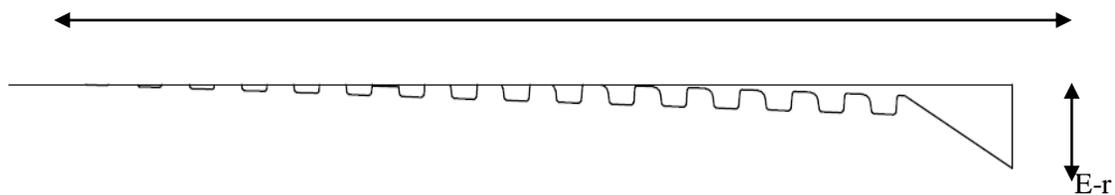
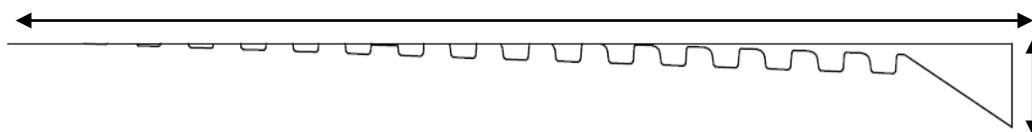


Figura 43. Área desbastada rosca butress -5 1/2

Diámetro 7"

$L= 4.2$ in



E-r

Figura 44. Área desbastada rosca butress -7"

E=0.408 in

Tabla 28 Cálculo de material desbastado en Casing rosca butress

Diámetro (in)	Área (in²)	Volumen (in³)	Material (lb)
4.5	0.1297	1.834	0.513
5.5	0.1519	2.625	0.735
7	0.2249	4.946	1.385

Con este análisis se logró determinar la cantidad de material consumido en el proceso de roscado para cada uno de los tubos de la empresa Tenaris Tubocaribe, cabe resaltar que a pesar de que existen diferentes espesores para cada tubo las variaciones en los cálculos son despreciables debido a que la magnitud en masa toma valores muy pequeños.

Otro punto que se tiene que resaltar es que el diámetro no es exacto para todos los tubos que se realizan en esta planta por lo cual estos valores solo serán aproximaciones.

Bibliografía

- Pedro Ruiz-López, Carmen González Rodríguez-Salinas y Juan Alcalde-Escribano *Unidad de Calidad, Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores Hospital Universitario 12 de Octubre. Madrid. España. Servicio de Cirugía General "A".*
- Robert Latino –reability center-Representantes de *The Reliability Centre* y *PROACT en México, ¿por qué no siempre funciona el análisis de causa raíz?*
- Ing. Arnaldo García G., Ing. José García, Ing. Iván Solano, Seminario: Análisis Causa Raíz. Bogotá **Análisis causa raíz**, Mayo 26 –27 de 2006
- Carolina Attman-Especialista en Mantenimiento, **El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad**
- **Análisis de causa raíz, Estrategia de confiabilidad operacional**, Ing.Msc. Oliveiro García , Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia , junio 3 2005
- Baumeister, Theodore, Ed. **Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, 8th Ed.** New York: McGraw-Hill, 1978.
- Higgins, Lindley R., and R. Keith Mobley. **Maintenance Engineering Handbook.** New York: McGraw-Hill, 1995.
- Mobley, R. Keith. **Advanced Diagnostics and Analysis.** Plant Performance Group, 1989.
- Nelson, Carl A. **Millwrights and Mechanics Guide.** New York: Macmillan, 1986.
- Diapositivas de la Ingeniera Ivis Peña –Universidad del Norte-julio 2010
- Diapositivas de roscado de Tenaris University -20 febrero 2011
- Norma API 5b-American Petroleum Institute Codes, roscado de tuberías