

**Análisis y Diseño De Propuesta Para El Control De Variables De Proceso En
La Línea PMC Del Área De Roscado En La Empresa Tenaris Tubocaribe**

MELISSA JOHANNA OSORIO LOPEZ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.
SEPTIEMBRE DE 2012**

**ANALISIS Y DISEÑO DE PROPUESTA PARA EL CONTROL DE VARIABLES
DE PROCESO EN LA LINEA PMC DEL ÁREA DE ROSCADO EN LA EMPRESA
TENARIS TUBOCARIBE**

MELISSA JOHANNA OSORIO LOPEZ

**Anteproyecto de Trabajo de Grado para optar por el título de
Ingeniero Industrial**

**DIRECTOR
MISAEEL CRUZ MONROY**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.
SEPTIEMBRE DE 2012**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D.T. y C., 28 de Septiembre de 2012

Agradecimientos:

A Dios por darme la sabiduría, voluntad y persistencia para culminar este proyecto, a pesar de todas las adversidades que se presentaron.

*A mi madre, **Milena López**, por sus consejos y comprensión. A mi padre, **Jorge Osorio**, por su apoyo incondicional. A mi tía, **Vivian López**, por sus enseñanzas y dedicación. A mis hermanos **Aurgil** y **Nicolás** por su cariño. A toda mi familia, por estar a mi lado en cada una de las metas que me he propuesto, ellos han sido mi mayor fortaleza.*

*A mis amigos por acompañarme en esta increíble experiencia que fue la universidad, gracias por su amistad, por los momentos compartidos, cada uno ha dejado una huella muy grande en mi corazón. Especialmente, mi inseparable amigo y compañero, **Johiner Mora**, quien estuvo a mi lado durante todo este recorrido.*

*A mis maestros y profesores, por todas las enseñanzas adquiridas. A mi tutor, **Misael Cruz**, por ser una luz en este camino.*

*A Tenaris TurboCaribe, por permitirme desarrollar mi trabajo de grado en su empresa. A todo el personal que hizo posible este proyecto: **José Jiménez**, **Yasser Moreno**, **Liz Hollman** y especialmente a **Henry Atencio** quien fue un gran apoyo y guía.*

¡GRACIAS A TODOS!

Melissa Osorio López

CONTENIDO

INTRODUCCION	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	4
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	5
2. JUSTIFICACIÓN	6
3. OBJETIVOS	7
3.1 OBJETIVO GENERAL	7
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
4. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	9
4.1 HISTORIA.....	9
4.2 MISION	10
4.3 VISION	10
4.4 TIPOS DE TUBERIA	10
4.5 PROCESOS DE PRODUCCION DE TUBERIA CON COSTURA.....	11
4.5.1 Bisel.....	15
4.5.1.1 Inspección Visual	15
4.5.1.2 Inspección dimensional del biselado	16

4.5.1.3	Parámetros fuera de norma	16
4.5.2	Roscas	17
4.5.2.1	CNC	18
4.5.2.2	Elementos de las roscas	19
4.5.2.3	Tipos de conexiones roscadas	20
4.5.2.4	Conexiones roscadas API	21
4.5.2.5	Rosca redonda	22
4.5.2.5.1	Características	23
4.5.2.6	Parámetros	23
4.5.2.7	Definiciones de imperfecciones en roscas	25
5.	MARCO TEORICO	29
5.1	INGENIERIA DE PRODUCTIVIDAD	29
5.1.1	Mapa de proceso	29
5.1.2	SIPOC	30
5.1.3	DOFA	31
5.1.4	Cursograma sinóptico	32
5.1.5	Cursograma analítico	33
5.1.6	Diagrama de flujo	34
5.1.7	Brainstorming	35

5.1.8 Diagrama de Pareto.....	36
5.1.9 Diagrama de causa – efecto	36
5.2 CONTROL DE CALIDAD	37
5.2.1 Cartas de control.....	37
5.2.1.1 Carta X.....	37
5.2.1.2 Carta R	38
6. ANALISIS	39
6.1 MAPA DE PROCESO DE ROSCADO	40
6.1.1 Análisis del mapa de procesos	41
6.2 SIPOC	42
6.2.1 Biselado	42
6.2.2 Roscado	43
6.2.3 Acoplado	44
6.2.4 Barnizado.....	45
6.2.5 Empaque	46
6.2.6 Análisis SIPOC	47
6.3 ANÁLISIS DOFA DEL AREA DE ROSCADO	48
6.3.1 Ambiente interno.....	48
6.3.2 Ambiente externo	50
6.3.3 Análisis DOFA	51

6.4 CURSOGRAMA SINOPTICO.....	52
6.4.1 Elementos	53
6.4.2 Análisis cursograma sinóptico	53
6.5 CURSOGRAMA ANALITICO.....	54
6.5.1 Análisis del cursograma analítico	55
6.6 DIAGRAMA DE RECORRIDO	56
6.6.1 Análisis del Diagrama de Recorrido	57
6.7 DIAGRAMA DE FLUJO	57
6.7.1 Análisis diagrama de flujo.....	60
7. DEFINICION DE PARAMETROS.....	61
7.1 BRAINSTORMING	61
7.1.1 Selección de la muestra	63
7.1.2 Ficha técnica de la encuesta.....	63
7.2 DIAGRAMA DE PARETO	66
7.2.1 Análisis del diagrama de Pareto	68
7.3 DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO (FISHBONE).....	69
7.3.1 Análisis del diagrama de causa- Efecto (Fishbone).....	80
7.4 CATEGORIZACION DE PARAMETROS.....	83
8. DEFINICION DE LIMITES DE CONTROL.....	87

8.1 MEDICION DE VARIABLES	87
8.2 TOMA DE DATOS.....	89
8.2.1 Desgaste de peine.....	90
8.2.2 Mal centramiento de mordazas de biseladora.....	91
8.2.3 Desgaste de mordazas en biselado.....	92
8.2.4 Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado	93
8.2.5 Baja frecuencia de limpieza de mordazas.....	94
8.2.6 Inserto redondo desgastado en roscado	95
8.2.7 Desalineación de mordazas centradoras.....	96
8.2.8 Inadecuada presión de mordazas centradoras	97
8.3 CALCULO DE LA MUESTRA.....	98
8.3.1 Desgaste de peine.....	98
8.3.2 Mal centramiento de mordazas de biseladora.....	99
8.3.3 Desgaste de mordazas en biselado.....	99
8.3.4 Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado	99
8.3.5 Baja frecuencia de limpieza de mordazas.....	100
8.3.6 Inserto redondo desgastado en roscado	100
8.3.7 Desalineación de mordazas centradoras.....	100
8.3.8 Inadecuada presión de mordazas centradoras	101
8.4 DATOS ADICIONALES	101

8.5 LIMITES DE CONTROL	103
8.5.1 Carta <i>X</i>	103
8.5.2 Carta <i>R</i>	104
8.5.3 Carta de medias y rangos: Desgaste de peine	105
8.5.4 Carta de medias y rangos: Mal centramiento de mordazas de biseladora.....	107
8.5.5 Carta de medias y rangos: Desgaste de mordazas en biselado	109
8.5.6 Carta de medias y rangos: Carro portamordaza alejado del cabezal de biselado	111
8.5.7 Carta de medias y rangos: Baja frecuencia de limpieza de mordazas.....	112
8.5.8 Carta de medias y rangos: Inserto redondo desgastado en roscado.....	113
8.5.9 Carta de medias y rangos: Desalineación de mordazas centradoras	115
8.5.10 Carta de medias y rangos: Inadecuada presión de mordazas centradoras	117
9. VALORES DE ALARMA	119
9.1 ESTABLECIMIENTO VALORES DE ALARMA Y FACTOR DE USO	119
9.1.1 Desgaste de peine.....	121
9.1.2 Mal centramiento de mordazas de biseladora.....	122
9.1.3 Desgaste de mordazas en biselado.....	123
9.1.4 Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado	124

9.1.5 Baja frecuencia de limpieza de mordazas.....	125
9.1.6 Inserto redondo desgastado en roscado	125
9.1.7 Desalineación de mordazas centradoras.....	126
9.1.8 Inadecuada presión de mordazas centradoras	127
10. MEJORAS Y BENEFICIOS.....	128
10.1 Mejoras	128
10.2 Beneficios.....	130
10.3 Protocolo: control de variables de proceso en la línea pmc	133
10.3.1 Objetivo	133
10.3.2 Alcance	133
10.3.3 Documentos de referencia	133
10.3.4. Abreviaturas	134
10.3.5 Equipos y materiales con calibración vigente.....	134
10.3.6 Responsabilidades.....	134
10.3.6.1 Departamento de tecnología	134
10.3.6.2 Mejorador de proceso del área de roscado	134
10.3.7 Método o desarrollo	134
10.3.7.1 Metodología utilizada.....	134
10.3.8 Desarrollo	136

10.3.9 Anexos.....	136
15. CONCLUSIONES	138
16. RECOMENDACIONES.....	139
BIBLIOGRAFÍA	140
ANEXOS.....	143

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Histórico de roscas producidas vs. Defectos	6
Tabla 2. Parámetros de roscas	24
Tabla 3. Símbolos cursograma sinóptico	32
Tabla 4. Símbolos cursograma analítico	33
Tabla 5. Símbolos diagrama de flujo	34
Tabla 6. SIPOC Biselado	42
Tabla 7. SIPOC Roscado	43
Tabla 8. SIPOC Acoplado	44
Tabla 9. SIPOC Barnizado	45
Tabla 10. SIPOC Empaque	46
Tabla 11. DOFA Debilidades	48
Tabla 12. DOFA Fortalezas.....	49
Tabla 13. DOFA Oportunidades	50
Tabla 14. DOFA Amenazas.....	51
Tabla 15. Cursograma analítico.....	54
Tabla 16. Ficha técnica de la encuesta	63
Tabla 17. Tipos de defectos	64
Tabla 18. Número de piezas descartadas por tipo de defecto	66
Tabla 19. Convenciones de defectos	68
Tabla 20. Variables de entrada.....	80
Tabla 21. Criterios de evaluación	83
Tabla 22. Ficha técnica de la encuesta	84
Tabla 23. Resumen final categorización	85
Tabla 24. Hoja de Registro Variable 1	90
Tabla 25. Hoja de registro Variable 2	91
Tabla 26. Hoja de registro Variable 3	92
Tabla 27. Hoja de registro Variable 4	93
Tabla 28. Hoja de Registro Variable 6	95
Tabla 29. Hoja de registro Variable 7	96
Tabla 30. Hoja de registro Variable 8	97
Tabla 31. Calculo de la muestra.....	98
Tabla 32. Datos adicionales Variable 3	101
Tabla 33. Carta de medias.....	103
Tabla 34. Carta de rangos	104

Tabla 35. Variables Vs. Límites de control.....	119
Tabla 36. Producción.....	120
Tabla 37. Variable 1: Valor de alarma y factor de uso	121
Tabla 38. Variable 2: Valor de alarma y factor de uso	122
Tabla 39. Variable 3: Valor de alarma y factor de uso	123
Tabla 40. Variable 4: Valor de alarma y factor de uso	124
Tabla 41. Variable 6: Valor de alarma y factor de uso	125
Tabla 42. Variable 7: Valor de alarma y factor de uso	126
Tabla 43. Cuadro resumen: Valores de alarma	129
Tabla 44. Mejoras	129
Tabla 45. Referencia de ahorros.....	130
Tabla 46. Calculo de ahorros	130
Tabla 47. Disminución porcentaje de defectos	131
Tabla 48. Ahorro.....	132
Tabla 49. Tabla resumen: Valor de alarma y factor de uso	136
Tabla 50. Estudio inicial	137

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comienzos de Tenaris	9
Figura 2. Formado de tubería con costura	12
Figura 3. Operación de recalcado	12
Figura 4. Proceso de templado y revenido	13
Figura 5. Partes del bisel, corte longitudinal.....	15
Figura 6. Instrumentos para el control dimensional del Bisel	16
Figura 7. Arranque de viruta	17
Figura 8. Elementos de una rosca 8RD.....	19
Figura 9. Tipos de conexiones roscadas	20
Figura 10. Contacto entre la rosca y el acople	21
Figura 11. Conexión con acople	22
Figura 12. Extremo roscado (PIN), Acople (BOX)	22
Figura 13. Corte de una rosca 8RD	23
Figura 14. Defecto: Hilo negro	25
Figura 15. Defecto: Hilo Fracturado	25
Figura 16. Defecto: Arrancada	26
Figura 17. Defecto: Escalonada.....	27
Figura 18. Mapa de proceso TuboCaribe	40
Figura 19. Cursograma sinóptico	52
Figura 20. Diagrama de recorrido.....	56
Figura 21. Diagrama de flujo	57
Figura 22. Fishbone, Mal acabado PMC.....	70
Figura 23. Fishbone, Bisel debajo/encima.....	71
Figura 24. Fishbone, Variación de paso	72
Figura 25. Fishbone, Variación de ring gauge.....	73
Figura 26. Fishbone, Variación de Taper	74
Figura 27. Fishbone, Vibración.....	75
Figura 28. Fishbone, Crestas negras	76
Figura 29. Fishbone, Variación de altura	77
Figura 30. Fishbone, Variación de L4.....	78
Figura 31. Fishbone, Mal acabado biseladora.....	79
Figura 32. Peines	87
Figura 33. Mordazas centradoras	88

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Tipos de defectos	65
Grafica 2. Número de piezas descartadas por tipo de defecto	67
Grafica 3. Datos, Desgaste de peine	91
Grafica 4. Datos, Mal centramiento de mordazas de biseladora	92
Grafica 5. Datos, Desgaste de mordazas en biselado	93
Grafica 6. Datos, Portamordaza alejado del cabezal de biselado	94
Grafica 7. Datos, Inserto redondo desgastado en roscado.....	95
Grafica 8. Datos, Desalineación de mordazas centradoras	96
Grafica 9. Datos, Inadecuada presión de mordazas centradoras	97
Grafica 10. Datos adicionales Variable 3	102
Grafica 11. Carta de medias, Variable 1	105
Grafica 12. Carta de rangos, Variable 1	105
Grafica 13. Carta de medias, Variable 2	107
Grafica 14. Carta de rangos, Variable 2	107
Grafica 15. Carta de medias, Variable 3	109
Grafica 16. Carta de rangos, Variable 3	109
Grafica 17. Carta de medias, Variable 4	111
Grafica 18. Carta de rangos, Variable 4	111
Grafica 19. Carta de medias, Variable 6	113
Grafica 20. Carta de rangos, Variable 6	113
Grafica 21. Carta de medias, Variable 7	115
Grafica 22. Carta de rangos, Variable 7	115
Grafica 23. Carta de medias, Variable 8	117
Grafica 24. Carta de rangos, Variable 8	117

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Medición de la productividad.....	29
Ecuación 2. Límites carta de medias	38
Ecuación 3. Límites carta de rangos.....	38
Ecuación 4. Cálculo de muestra para poblaciones infinitas	98
Ecuación 5. Valor de alarma y factor de uso	121

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Encuesta de categorización de variables	144
Anexo 2. Hoja de Registro	148

GLOSARIO

ACOPLE: Pieza que sirve para unir dos tubos y hacer una serie de tubos acoplados.

API: (American Petroleum Institute), conocido comúnmente como API, en español Instituto Americano del Petróleo, es la principal asociación comercial de los EE. UU., representando cerca de 400 corporaciones implicadas en la producción, el refinamiento, la distribución, y muchos otros aspectos de la industria del petróleo y del gas natural¹

AUSTENITA: Es la estructura metalografía resultante al calentar un acero por encima de 980 grados centígrados.

CNC: Control numérico computarizado.

DEFECTO: Imperfección de gran magnitud que justifica el rechazo del producto, basándose en los criterios definidos en la norma internacional API.

DEFLEXION: Es el grado en que un material se desplaza por la aplicación de una fuerza.

DUREZA: Es la propiedad mecánica de un material a ser rayado o indentado.

¹(15 Feb 2012) <<http://es.wikipedia.org/wiki/American_Petroleum_Institute>> Consultado el 19 de Mayo de 2012.

ENDEREZADO: Proceso en frío, en el cual se obtiene una reducción del diámetro externo del tubo y rectitud en el mismo, por medio de rodillos con ranuras circulares.

ERW: Electric Resistance Welding, soldadura por resistencia eléctrica.

FRAGILIDAD: Es la característica mecánica resultante cuando un material posee alta dureza, en otras palabras entre más duro un material más frágil es este.

FORJADO: Proceso de deformación plástica que puede realizarse en caliente o en frío por medio de la aplicación de fuerzas de compresión.

MANDRIL: Elemento metálico macizo con longitud y diámetro previamente definidos de acuerdo al diámetro de la tubería, se utiliza para revisar la presencia de elementos que obstruyan el diámetro interno en el extremo del tubo, haciéndolo pasar en el extremo de este, si este se atasca el tubo debe ser descartado. (Todo tubo sea tubing o casing debe ser probado por mandril para garantizar que no hay nada en su interior que lo obstruya).

MARTENSITA: Estructura metalografía resultante al calentar un acero hasta obtener una estructura martensítica y luego enfriándolo con agua hasta temperatura ambiente.

OCTG: Oil Country Tubular Goods (productos tubulares para países petroleros).

OVALIDAD: Es la falta de concetricidad de un elemento redondo.

RECALQUE: Proceso de fabricación en el que los extremos de los tubos tienen mayor espesor que el cuerpo.

ROSCA 8RD: Rosca 8 redonda (ocho hilos por pulgada), tipo de rosca API que tiene un perfil con cresta de redonda.

ROSCA BUTTRESS: Conexión acoplada, diseñada para resistir alta tensión axial o cargas de compresión, además de ofrecer resistencia a fugas. Generalmente se usa en pozos de mediana y mucha profundidad.

ULTRASONIDO: Prueba de inspección no destructiva, en la cual se detectan defectos longitudinales, a través de la transmisión de un haz de sonido.

VIRUTA: Es el desperdicio metálico resultante al mecanizar una pieza o elemento mecánico.

RESUMEN

El presente trabajo de grado contiene los resultados del estudio realizado en la línea de terminación PMC del área de roscado (originalmente llamada así para nombrar a su fabricante The Pipe Machinery Corporation), en el cual se implementaron herramientas de la ingeniería de productividad para hacer un análisis profundo del área como: Mapa de procesos, SIPOC, DOFA, cursograma analítico, cursograma sinóptico, diagrama de flujo, brainstorming, diagrama de Pareto, diagrama de causa efecto. Además se hizo uso de herramientas de control de calidad para: Determinar las variables de entrada que tienen más incidencia en el porcentaje de defectología de roscas, calcular los límites de control para cada una de las variables y definir los factores de uso – valores de alarma. Finalmente se presentó a la empresa un protocolo, como documento final resumen, en el cual se expuso el trabajo realizado y se estableció el paso a seguir para la implementación del mismo; la empresa evaluara la viabilidad del proyecto.

Palabras claves: Límites de control, variables de entrada, factor de uso, valores de alarma.

INTRODUCCION

Tenaris TuboCaribe se encuentra frente a un mercado altamente competitivo como lo es el de la producción de tubería de acero y servicios de alta calidad para la terminación y producción de pozos de petróleo y gas. A pesar de ser la única empresa productora y prestadora de este tipo de servicios en Colombia, TuboCaribe tiene un alto nivel de competitividad a nivel internacional; a esto se le suman las prácticas desleales de la industria china la cual ingresa tubería al país a precios extremadamente bajos a tal punto que ninguna empresa privada puede superarlos.

Razones por las cuales la empresa debe estar a la vanguardia de las exigencias del mercado y en búsqueda constante de herramientas que le permitan posicionarse, generar mejores rentabilidades y satisfacer cada día más a los clientes. Es aquí donde la ingeniería de productividad y el control de calidad juegan un papel fundamental como instrumentos para el control de las variables de proceso de la línea PMC del área de roscado. Permittedole al área identificar las variables que tienen mayor influencia en la generación de defectos, estudiarlas y posteriormente controlarlas con el fin de que el proceso de roscado para la tubería tubing 2 3/8" y 2 7/8" sea más estable y genere menos productos defectuosos.

El presente trabajo de grado se divide en 5 capítulos: Análisis, Definición de parámetros, Definición de límites de control, Valores de alarma, Mejoras y beneficios; distribuidos de esta forma para una mayor comprensión del documento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

TuboCaribe, la planta de Tenaris en Cartagena, es el único productor colombiano de tubería con y sin costura para pozos de petróleo y gas, actualmente es un aliado estratégico del proceso de expansión de la industria energética nacional.² Debido a la alta competitividad del mercado petrolero, Tenaris TuboCaribe está altamente comprometido con el mejoramiento continuo de sus procesos y el cumplimiento de los niveles de calidad exigidos por el mercado.

Cuenta con una área de terminación de tubería OCTG, conformada por tres líneas de producción para el proceso de roscado de la tubería; la primera línea denominada PMC, la cual es el foco de interés en este proyecto; en esta los tubos están fijos y el cabezal rota. Se hará énfasis en el tipo de roscas 8 redonda (8 round) llamada así por el perfil de la rosca y su cresta redonda. Las otras dos líneas de producción son SL6 y SL8 donde los tubos se roscan en tornos y estos giran mientras el cabezal se mantiene fijo.

Actualmente el área controla algunos parámetros como son: altura, longitud de rosca, paso, conicidad, entre otros pero cuando se presentan defectos en la producción de roscas como crestas negras, falso inicio, escalonamiento o vibraciones, los operadores no saben con exactitud que variables en la maquina están fuera de control, por lo cual realizan pruebas de ensayo y error para la solución de los problemas que se presentan. Dentro de este marco de referencia se hace necesario definir las variables y rangos de control que intervienen en esta línea de producción.

²Tubos del Caribe Ltda. Tenaris Marketing Communications, Noviembre 2010.

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las variables y rangos de control para la línea PMC del área de roscado, de tal modo que disminuya el número de rechazos durante la elaboración de roscas 8 RD en la empresa Tenaris TuboCaribe?

2. JUSTIFICACIÓN

Tenaris TuboCaribe se encuentra frente a un mercado altamente competitivo como lo es el de la producción de tubería de acero, por tal motivo la empresa debe implementar constantemente proyectos que contribuyan a la mejora de cada uno de sus procesos productivos.

“Un proceso que no se mide, no se conoce, no se controla, nunca se podrá mejorar”, por tal motivo en pro de un mejor desempeño del área de roscado y bajo la consigna de calidad y mejora continua en la empresa; surge la necesidad de identificar los puntos del proceso que son susceptibles a mejora, en este caso el control de las variables de proceso en la línea PMC.

A continuación se presenta el histórico del número de roscas 8RD procesadas vs. el número de defectos:

Tabla 1. Histórico de roscas producidas vs. Defectos

PERIODO	OBJETIVO	PROCESADAS	DEFECTUOSAS	%DEF
Jul. 2008 - Jun. 2009	4,4%	168661	9614	5,7%
Jul. 2009 - Jun. 2010	4,8%	140572	7450	5,3%
Jul. 2010 - Jun. 2011	4,2%	106112	5093	4,8%
Jul. 2011 - Jun. 2012	4,3%	185325	8525	4,6%

Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Como se puede observar en la **Tabla 1.** Histórico de roscas producidas Vs. Defectos, la línea PMC sobrepasa el objetivo de la compañía en cuanto a porcentaje de defectos permitidos en los cuatro periodos, lo cual indica que hay variables en el proceso que no están siendo controladas.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta que le permita a la línea PMC del área de roscado controlar las variables que intervengan en el proceso de producción de roscas 8 RD en la empresa Tenaris TuboCaribe.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso de roscado en la línea PMC, con el fin de determinar las variables de entrada y salida que intervienen en el proceso.
- Definir los parámetros que rigen el proceso de elaboración de roscas para la línea PMC con el propósito de determinar las variables que tienen mayor incidencia en el porcentaje de defectos que se generan en el área.
- Definir los límites de control para las variables de entrada y salida identificadas, con el fin de establecer los rangos óptimos entre los cuales deben estar.
- Establecer valores de alarma para cada una de las variables identificadas con el propósito de indicar cada cuantas roscas producidas se deben cambiar parámetros en la maquina.

- Establecer un plan de implementación para la ejecución del proyecto con el fin de validar la información dada en este proyecto de grado.

4. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

4.1 Historia

Tenaris es el líder global en la producción de tubos de acero y servicios de alta calidad para perforación, terminación y producción de pozos de petróleo y gas, así como la producción de productos tubulares y servicios para plantas de procesamiento y generación de energía, para aplicaciones industriales especializadas y automotrices.

La empresa tuvo sus inicios en Argentina en 1948 con la constitución de **Siderca**,

Figura 1. Comienzos de Tenaris



Fuente: Información suministrada por Tenaris TuboCaribe

el único fabricante de tubos de acero sin costura de Argentina. Luego a principios de la década de los 90, comenzó a evolucionar hasta convertirse en una empresa global por medio de una serie de inversiones estratégicas. Estas inversiones incluyeron la adquisición directa o indirecta de una participación mayoritaria o importante en fábricas de tubos de acero en el mundo como: **Tamsa** en México (junio de 1993), **Dalmine** en Italia (febrero de 1996), **Confab** en Brasil (agosto de 1999), **NkTubes** en

Japón (agosto de 2000), **AlgomaTubes** en Canadá (octubre de 2000), **Silcotub** en Rumania (julio de 2004), **Tubos del Caribe** en Cartagena, Colombia; la cual luego llegó a llamarse **TuboCaribe** (octubre de 2006), entre otras empresas.

4.2 Misión

Nuestra misión es dar valor real a nuestros clientes, a través del desarrollo de producto, excelencia en manufactura y la gestión de la cadena de suministro. Minimizamos el riesgo para nuestros clientes y los ayudamos a disminuir costos, incrementar la flexibilidad y acortar el tiempo de respuesta al mercado. Nuestros empleados alrededor del mundo están comprometidos con la mejora continua, alimentada por el intercambio de conocimientos a lo largo de una empresa integrada a nivel global³.

4.3 Visión

Nuestra visión de largo plazo es un modelo de desarrollo sustentable a través de inversiones que generan empleos y favorezcan la cadena de valor, proporcionando a nuestros clientes productos de alto valor agregado. Nuestra cultura promueve la innovación, la transmisión y generación de conocimientos y el desarrollo de la comunidad⁴.

4.4 TIPOS DE TUBERIA

Tenaris TuboCaribe ofrece una amplia gama de tubería de acero con y sin costura, la cual se puede clasificar en:

Tubing: Tubería de extracción e inyección de fluidos dentro del pozo de petróleo. Se compone de tubería de poco diámetro que se introduce dentro de las tuberías

³ Tenaris.2012. About Us [consulta online]. Dirección: <http://www.tenaris.com/en/AboutUs.aspx>

⁴ Tenaris.2012. About Us [consulta online]. Dirección: <http://www.tenaris.com/en/AboutUs.aspx>

de revestimiento para servir de conducto de flujo de gas o petróleo hacia la superficie. En TuboCaribe es fabricado desde 2 3/8" hasta 4 1/2". Los extremos pueden ser roscados para roscas premium o API. Este tipo de tubería debe fabricarse con un acero lo suficientemente resistente como para soportar su peso, el peso del producto que contienen y el equipo de producción.

Casing: Tubería de recubrimiento, su función es alinear las paredes del pozo perforado, evitar el paso de fluidos y mejorar la eficiencia de extracción del gas o petróleo en caso de que el pozo sea productivo. En TuboCaribe es fabricado desde 4 1/2 hasta 7 1/2". Este tipo de tubería debe resistir la presión de derrumbe externa, así como las presiones internas para evitar que colapsen las cañerías. Los extremos pueden ser roscados para roscas premium o API.

Line Pipe: Tubería de conducción, que se utiliza para transportar petróleo, gas natural, agua y otros fluidos. En TuboCaribe se fabrica de 2" a 8 5/8". Los tubos de conducción se sueldan unos a otros para formar una sola tubería que puede extenderse sobre el lecho marino, la superficie del suelo o a lo largo de las zanjas.

4.5 PROCESOS DE PRODUCCION DE TUBERIA CON COSTURA

A continuación se explicaran cada uno de los procesos de producción por los que debe pasar la tubería con costura para ser fabricada:

FORMADO: Las bobinas de acero son desenrolladas con un rodillo y luego se cortan los bordes con el fin de obtener el ancho necesario para el diámetro de tubería a procesar. A continuación el tubo es preformado por medio de rodillos laterales que doblan la bobina en forma de U hasta optar una forma ovalada. El

tubo semiformado es guiado para producir una convergencia en “V” con el fin de permitir el proceso de soldadura por resistencia eléctrica longitudinal (ERW), en el cual se transmite corriente eléctrica de alta frecuencia al material por medio de frotadores de cobre o una bobina de inducción para transmitir calor en los bordes y unirlos por fusión. Luego el tubo formado pasa por un proceso de normalizado con el fin de homogenizar la estructura del área afectada por el calor (soldadura), luego los tubos son cortados según las longitudes requeridas, cada tubo pasa por el proceso de enderezado y finalmente la zona soldada se somete a una prueba de ultrasonido, en la cual se rechazan o reprocesan los tubos que no cumplen con las especificaciones.

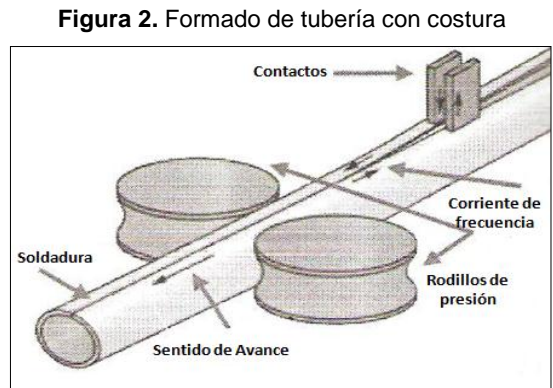


Figura 2. Formado de tubería con costura

Fuente: Información suministrada por Tenaris Tubocaribe

RECALCADO: Este proceso consiste en aumentar el espesor de pared en los extremos del tubo mediante dos medias matrices y un mandril, de esta manera mediante una acción de forjado se expanden los extremos de los tubos, con el fin de permitir la posterior operación de roscado. El recalado solo se realiza para la tubería Tubing.

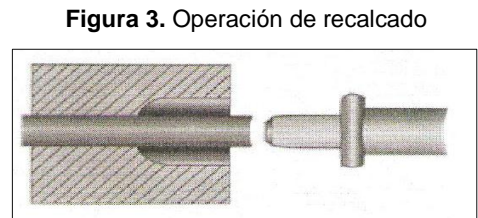


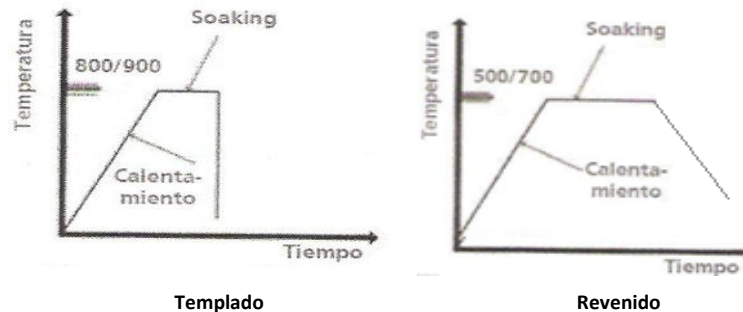
Figura 3. Operación de recalado

Fuente: Información suministrada por Tenaris Tubocaribe

TRATAMIENTOS TERMICOS: La gran mayoría de la tubería que se fabrica en TuboCaribe es tratada térmicamente, esto con el fin de modificar las propiedades mecánicas del acero y preparar la tubería para las posteriores aplicaciones. Los tratamientos térmicos que se le realizan son:

- **Temple:** Consiste en calentar el tubo a una temperatura de 900°C y enfriarlo bruscamente a temperatura ambiente, con el fin de convertir la austenita en martensita, la cual tiene una estructura muy dura y frágil por lo cual se debe realizar un tratamiento térmico posterior.

Figura 4. Proceso de templeado y revenido



Fuente: Información suministrada por Tenaris TuboCaribe

- **Revenido:** En este tratamiento térmico se calienta el tubo a una temperatura inferior a la de transformación entre 500°C y 700°C, convirtiendo la martensita en martensita revenida y reduciendo así la fragilidad del acero.

Luego de que la tubería pasa por los tratamientos térmicos, es enderezada por medio de rodillos con el fin de eliminar los defectos de rectitud y reducir la ovalidad y deflexión en el tubo.

INSPECCION: Toda la tubería pasa por controles no destructivos con el fin de verificar que cumpla con las especificaciones y garantizar la calidad en los productos que se procesan. Los controles que se realizan a la tubería en su respectivo orden son:

- **Prueba hidrostática:** En la cual se somete la tubería a distintas presiones de agua y aceite, según las especificaciones.

- **Inspección electromagnética (EMI):** La tubería se magnetiza longitudinal o circularmente, dependiendo del tipo de defecto que se quiera detectar.
- **Mandrilado:** En el cual se introduce un mandril en el tubo con el fin de mantener el diámetro interno del mismo y eliminar la viruta interna.
- **Prueba por partículas magnéticas (MPI):** Por medio del cual se detectan defectos transversales y longitudinales en los extremos del tubo.
- **Prueba de ultrasonido:** Utiliza energía acústica de alta frecuencia para llevar a cabo la verificación y realizar la medición del espesor de pared.

BISELADO Y ROSCADO: Ambos procesos hacen parte de la fase de terminación de la tubería y se realizan tanto para la tubería Tubing como Casing, aunque son procesados en distintos centros. A continuación se hace énfasis en las líneas de fabricación:

PMC: En esta línea de producción se fabrica rosca 8RD para tubería Tubing, dicha línea, es el foco de interés en este proyecto de grado.

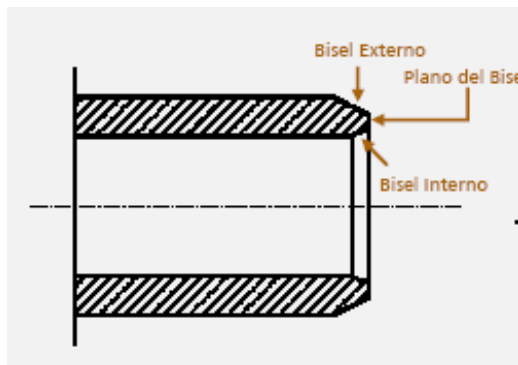
SL6 Y SL8: En estos centros de terminación, se fabrican las roscas con tornos, los tubos giran mientras los cabezales se mantienen fijos. Se elaboran roscas buttress en un 90% y un 10% 8RD para tubería Casing desde 5 ½ hasta 9 5/8.

Después de que es elaborada la rosca, se le colocan los acoples y protectores en los extremos de los tubos, luego estos son barnizados y posteriormente empacados. Más adelante se hará énfasis en el proceso de producción de bisel y roscas.

4.5.1 Bisel

Antes de iniciar el proceso de rosado, los tubos se biselan, permitiendo así el inicio de la operación de rosado. El biselado es un maquinado de desbaste que se realiza en los extremos de la tubería, el cual permite que geoméricamente pueda ser roscado (teniendo en cuenta que la rosca es cónica). Para garantizar que el mecanizado de las piezas cumpla con las especificaciones requeridas, la inspección visual y dimensional del bisel es vital dado que, de esta manera, se asegura un producto acorde a los criterios de calidad establecidos por Tenaris.

Figura 5. Partes del bisel, corte longitudinal



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

4.5.1.1 Inspección Visual

Inicialmente se realiza una inspección visual a toda la circunferencia del tubo para detectar si existe arranque de material, virutas, golpes y/o discontinuidades, entre otros.

En la inspección visual se realizarán controles de parámetros sobre:

- El bisel externo
- El bisel interno
- El refrentado del bisel

4.5.1.2 Inspección dimensional del biselado

Los instrumentos utilizados para el control dimensional son:

Figura 6. Instrumentos para el control dimensional del Bisel



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Con el calibre fijo o plantilla se controla que la medida del bisel se encuentre entre un valor máximo y uno mínimo. En la mayoría de los casos, el bisel se realiza según normas API o siguiendo las especificaciones del producto.

4.5.1.3 Parámetros fuera de norma

Debido a parámetros fuera de norma en el bisel, se generan defectos posteriores en roscado que ocasionan rechazos y por consiguiente posterior reproceso.

A continuación se presentan los defectos e inconvenientes más comunes que aparecen en las diferentes partes del bisel en TuboCaribe:

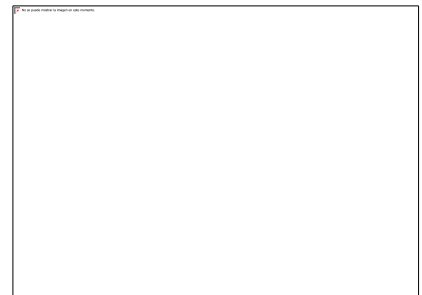
- Inicio de rosca en cara portante (refrentado).
- Inicio interrumpido de rosca.
- Angulo inapropiado de bisel externo.
- Altura de refrentado por fuera de lo especificado.

4.5.2 Roscas

Una rosca es una sección de material helicoidal formada sobre un núcleo cilíndrico, pero de acabado cónico. Este perfil de rosca puede ser redonda, triangular, cuadrada, trapezoidal, etc. En el caso de los tubos, las roscas se mecanizan en ambos extremos y varían unas a otras de longitud dependiendo del tipo de rosca a procesar.

El roscado en Tenaris TuboCaribe es el mecanizado de la tubería con arranque de viruta, este se logra con el tallado del material por medio de una herramienta que genera una hélice producida por la combinación de movimientos giratorios y rectilíneos proporcionados por la pieza o la herramienta de corte, según sea el tipo de rosca a procesar.

Figura 7. Arranque de viruta



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Las funciones de una rosca son:

- Unir los tubos resistiendo esfuerzos de tensión; cada una de las conexiones roscadas deberá ser capaz de soportar distintos tipos de esfuerzos: Tensión, compresión, torsión, presión interna y/o externa, torque, flexión y ciclos térmicos). La eficiencia del diseño y la precisión del mecanizado proporcionan seguridad sobre la resistencia requerida a la fuga y ataques químicos del suelo.
- Evitar la fuga o entrada de fluidos; la forma y tamaño de cada componente de la rosca están diseñados para interactuar con el ensamble (tubo-tubo o tubo-acople) a fin de formar un sello para el fluido (líquidos y gases).

Las roscas son inspeccionadas por muestreo estadístico, teniendo en cuenta la experiencia del fabricante. Todas las roscas fabricadas en Tenaris TuboCaribe deben ser mecanizadas y estas deben cumplir con especificaciones y normas de calidad (para este caso particular la Norma API), establecida con el fin de evitar la entrega de productos fuera de especificación a los clientes.

4.5.2.1 CNC

Para producir las roscas y acoples, se emplean dispositivos programables llamados “CNC” o “Control numérico”; estos tuvieron sus comienzos en los años 50 con la automatización de una fresadora. Para ese entonces las computadoras eran muy grandes, a tal punto que ocupaban mayor espacio que la máquina. Actualmente tanto el costo de las computadoras como su tamaño han disminuido, lo que ha permitido un crecimiento significativo del CNC extendiéndose su uso a todo tipo de maquinaria.

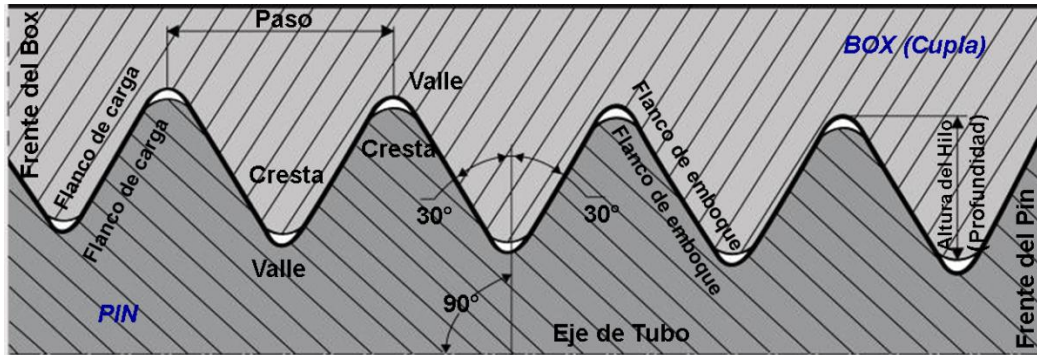
En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, pueden hacerse movimientos que no se podrían lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales⁵.

⁵(25 Junio 2007) <<<http://www.monografias.com/trabajos14/manufaccomput/manufaccomput.shtml>>>
Consultado el 19 de Mayo de 2012

4.5.2.2 Elementos de las roscas

Las roscas tienen distintos componentes, a continuación se explican cada uno de ellos:

Figura 8. Elementos de una rosca 8RD



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

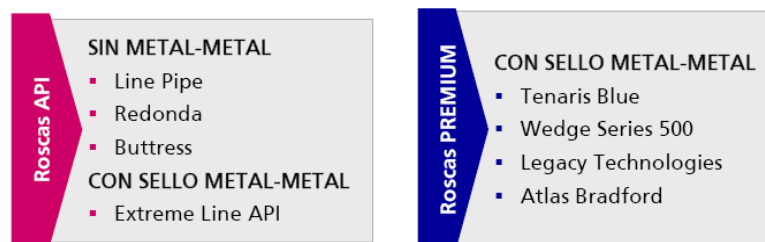
- **Hilo o filete:** Es un resalto de sección uniforme, enrollado de acuerdo a una hélice alrededor de la superficie de un cilindro o bien de acuerdo con una espiral cónica alrededor de la superficie de un cono.
- **Cresta:** Es la superficie o parte superior de una rosca que constituye la cumbre del hilo y conecta los costados o flancos. En la cresta se encuentra el diámetro mayor en la rosca de un tubo.
- **Raíz o valle:** Es la superficie o parte inferior de menor diámetro (pin) o de mayor diámetro (box) de una rosca que constituye el fondo de la entalladura entre hilos adyacentes y conecta los costados o flancos de los mismos. En la raíz, está el diámetro menor (pin) o mayor (box) de la rosca en el tubo.
- **Flancos:** Son las superficies laterales que conectan la cresta con el valle.

- **Bisel o chamfer:** El extremo del tubo no está cortado perpendicularmente en todo su espesor, sino que lo hace en forma cónica.
- **Cara frontal:** El bisel no se realiza en todo el espesor del tubo, la parte que queda perpendicular al tubo, se le llama cara frontal o refrentado.
- **Flanco de estabilización (stabbing flank):** Es el flanco frontal de la rosca.
- **Flanco de carga (load Flank):** Es el flanco trasero de la rosca, es decir el que apunta hacia el cuerpo del tubo / acople.
- **Paso de la rosca:** Es la distancia entre un punto de un filete y el correspondiente punto del filete posterior o anterior.
- **Altura de rosca:** Es la distancia entre la cresta y la raíz de rosca.
- **Conicidad de rosca:** Es el cambio en el diámetro a lo largo de la rosca.

4.5.2.3 Tipos de conexiones roscadas

Las conexiones roscadas que se utilizan en la industria petrolera se pueden dividir en dos grupos: Las reguladas por las normas API y las Premium (especiales), a continuación se amplía la información de cada una de las conexiones roscadas:

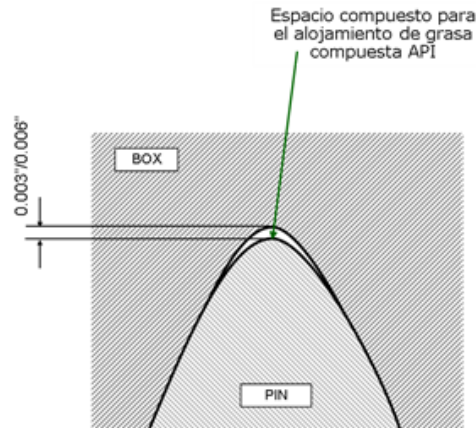
Figura 9. Tipos de conexiones roscadas



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

El tipo de roscas que se procesan en la línea PMC son 8 redonda (8RD). En la siguiente grafica se muestra como se efectúa el contacto entre la rosca y los acoples:

Figura 10. Contacto entre la rosca y el acople



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

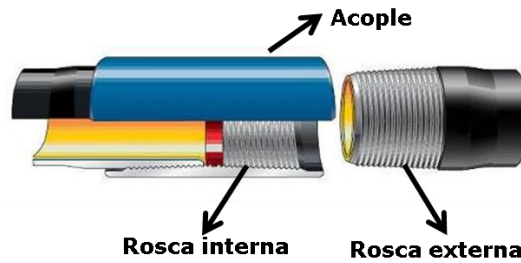
Se puede observar que el contacto entre los filetes o hilos de rosca no es sobre toda su superficie. Cada tipo de rosca se diseña para concentrar la fuerza transmitida en determinadas partes de los hilos. La grasa que queda atrapada en los espacios donde las roscas no hacen contacto, cumple la función de sellar eventuales rutas de fuga.

4.5.2.4 Conexiones roscadas API

Se pueden encontrar los siguientes tipos:

Con acople: La tubería tiene los extremos exteriores roscados y el acople se une a este por medio de la rosca interna que posee.

Figura 11. Conexión con acople



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Junta integral: En este tipo de conexión; un extremo del tubo lleva rosca externa y el otro extremo rosca interna. El acoplamiento es directo entre cada segmento o tramo del tubo, no se necesitan acoples; se pueden realizar con extremos recalcados o con extremos sin recalcar.

4.5.2.5 Rosca redonda

Rosca cónica con ángulo de 60° entre flancos. Sus crestas y raíces son redondas y cumplen con el propósito de proveer una luz controlada entre ambas superficies (pin (macho) y box (hembra)) donde la grasa y sus componentes actúan como elementos sellantes. El Diseño de las Roscas 8 RD permite que al ensamblarlas, la separación existente entre valle y cresta sea de 0.003”.

Figura 12. Extremo roscado (PIN), Acople (BOX)



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Las ventajas de este tipo de roscas es que son fáciles de fabricar, tienen aceptable sellabilidad para baja presión y las crestas son menos susceptibles a sufrir daños por golpes. Sus desventajas son que tienen baja resistencia a la tensión, tienen tendencia a desenroscarse ante esfuerzos de torques repentinos en la verticalidad del pozo y tienen baja sellabilidad para media y alta presión.

Se elaboran para tubos de producción (bombeo tubing), recalcados (External Upset), no recalcados (Non Upset) y en tubos de entubación (Encamisado/ Casing).

4.5.2.5.1 Características

La resistencia a las presiones internas (sellos) la realiza sobre ambos flancos de la rosca entre tubo y acople, mediante un torque adecuado ya establecido.

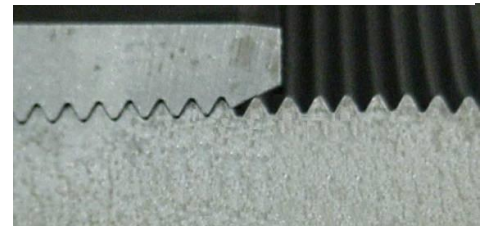
Es de vital importancia la aplicación de grasa en modo suficiente sobre esta rosca, puesto que sus componentes ayudan a evitar pérdidas de fluidos y actúan como elementos lubricantes al llenar la cavidad que queda entre cresta y valle al ser acopladas.

Es una de las roscas más antiguas, se usa en pozos de poca profundidad con poca presión interna. Se fabrica, generalmente, en 8 hilos por pulgada para tubería de revestimiento (Casing) y en 8 o 10 hilos por pulgada para tubería de producción (Tubing).

4.5.2.6 Parámetros

A continuación se describen algunos parámetros que se miden durante la producción de roscas en Tenaris TuboCaribe:

Figura 13. Corte de una rosca 8RD



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Tabla 2. Parámetros de roscas

PARAMETRO	DEFINICION	INSTRUMENTO
Altura	Distancia perpendicular entre la cresta y la raíz de la rosca.	Comparador de altura
Conicidad	Cambio en el diámetro a lo largo de la rosca.	Micrómetro, Galga de Conicidad o Taper
Paso	Distancia de un punto en un hilo al mismo punto en el hilo siguiente medida en forma paralela al eje de la rosca	Pasímetro
Diámetro	Diámetro de la superficie cilíndrica exterior	Ring Gauge
Ovalidad	Falta de redondez en la rosca a una distancia determinada del extremo.	Ring Gauge
Longitud de rosca	Longitud de crestas completas medida desde la cara frontal de la conexión en forma paralela al eje del tubo	Reglilla calibrada de 12" con separaciones de 1/64 de milésimas de pulgada

Continuación **Tabla 2.** Parámetros de roscas

Tiraje	Distancia medida entre el fin del tubo y la posición del calibre roscado.	Galga Anillo o Ring Gauge
---------------	---	---------------------------

Fuente: El autor

4.5.2.7 Definiciones de imperfecciones en roscas⁶

- **Hilo negro:** Rosca que no tiene su cresta completa por no haber removido totalmente la superficie original del tubo.

Figura 14. Defecto: Hilo negro



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

- **Hilo fracturado:** Un hilo que presenta una fractura a través de él o que le falta material, mostrando en la superficie remanente, apariencia de rotura.

Figura 15. Defecto: Hilo Fracturado



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

- **Rebaba:** Un punto localizado de aspereza o borde delgado, generalmente producido durante el proceso de mecanizado.
- **Vibrada:** Superficie ondulada en el flanco, raíz, cresta o en el bisel, producida por vibraciones en el inserto redondo.
- **Rayada:** Una rayadura o distorsión en dos o más crestas de las roscas en línea paralela al eje del tubo o en ángulo a través de la rosca.

⁶ Standard on imperfection terminology, API Standard 5T1, November 1996

- **Golpe:** Un área plana o muesca en el bisel o cresta de la rosca, causada por impacto mecánico.
- **Falso inicio de rosca:** Marca circunferencial de herramienta en el bisel de rosca redonda antes del verdadero inicio de rosca. Algunas veces se le llama doble inicio de rosca.
- **Afilada:** Una porción de rosca con cresta muy aguda originada normalmente cuando el inicio de rosca sale en la cara frontal sale en la cara frontal del tubo y no en el bisel.
- **Filo:** Borde largo y delgado de metal que resalta sobre la superficie del bisel o perfil de rosca.

- **Arrancada:** Daño a la superficie de la rosca causa por soldadura (localizada) provocada por fricción del metal.

Figura 16. Defecto: Arrancada

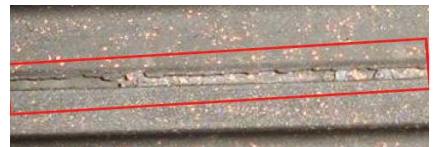


Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

- **Dañada por manejo:** Rayadura, abolladura, marcas o aplastamiento de cresta que se originan durante el manejo (carga descargas desplazamiento de los tubos en tránsito).
- **Rosca deformada:** Término general que describe una desviación excesiva del perfil normal de rosca (en un plano axial) a lo largo de uno o varios pasos de la rosca.

- **Fuera de altura:** Insuficiente altura (profundidad) de la rosca. Esta anomalía puede ser causada por una excesiva eliminación de metal en el fondo o en la cresta con consiguiente deformación del contorno del perfil.
- **Interrupción en el inicio de rosca:** Ausencia de una parte del valle en el verdadero inicio de rosca o en el bisel de una rosca causada por desalineación del eje de la rosca con el eje del bisel o por irregularidades del bisel.
- **Filo de navaja:** Bisel afilado que elimina la cara frontal del tubo, causado por poco diámetro del bisel y/o excesivo bisel interno.
- **Hilo de cresta incompleta:** Hilos que no tienen la cresta completa.
- **Picadura en la rosca:** Una depresión o cavidad en el bisel o superficie de la rosca causada por inclusiones o porosidad expuesta después del maquinado o por ataque de corrosión durante el almacenaje del tubo.
- **Hilos delgados:** Característica particular de la forma de la rosca que indica un excesivo adelgazamiento del ancho del hilo.
- **Hombro:** Un exceso de metal que aparece junto al último hilo en uno o más lugares alrededor de su circunferencia.
- **Escalonada:** Característica particular de la forma de la rosca que muestra una desviación abrupta en el maquinado por encima o abajo del perfil normal de la rosca.
- **Hilos gruesos:** Una forma particular de rosca, que presenta un excesivo valor en el ancho del hilo de la rosca.

Figura 17. Defecto: Escalonada



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

- **Marca de herramientas:** Una irregularidad en la superficie de la rosca, en el bisel o en la superficie de una zona mecanizada, causada, generalmente, por imperfecciones en las herramientas de corte.
- **Desgarrada:** Superficie de la rosca que tiene partes que están cortadas, ásperas o rasgadas.
- **Rosca ondulada:** Una deformación en el desarrollo de la hélice de la rosca y/o en la ubicación radial de los hilos.

Los defectos definidos por la norma API son una guía utilizada por las empresas productoras de tubería para la industria del petróleo para nombrar los defectos que se producen en la producción de roscas. En el caso de TuboCaribe nombran a algunos defectos igual que en la norma como: falso inicio de rosca, vibrada, rebaba, entre otros. De igual forma renombran y agrupan otros, por ejemplo: Mal acabo, en el cual hacen referencia a todos los defectos asociados a imperfecciones visuales detectadas en la rosca.

5. MARCO TEORICO

Se hace necesario basarse en teóricos de la ingeniería industrial que permitan direccionar el presente trabajo de grado, para esto se utilizan herramientas de la ingeniería de productividad y de control de calidad con el fin de analizar a gran escala la línea PMC del área de roscado, determinar las variables que tienen mayor incidencia en el número de defectos que se prestan en el área de trabajo y determinar los límites de control.

5.1 INGENIERIA DE PRODUCTIVIDAD

La productividad hace referencia a la relación entre las entradas y salidas de un proceso, es decir la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.

Ecuación 1. Medición de la productividad

$$\mathbf{Productividad} = \frac{\mathbf{Salidas}}{\mathbf{Entradas}} = \frac{\mathbf{Productos/Servicios}}{\mathbf{Recursos utilizados}}$$

En un proceso de fabricación la productividad es útil para evaluar el rendimiento de las personas, las máquinas, los equipos. En términos de recursos humanos la productividad es sinónimo de rendimiento es decir cuando alguien con una cantidad de recursos obtiene el máximo de resultados en el tiempo establecido. En las máquinas y equipos la productividad está dada por la característica técnica y los factores que intervienen.

5.1.1 Mapa de proceso de la empresa

El mapa de procesos es la herramienta o estructura que permite tener una visión general de los procesos que se realizan en una empresa y la relación que tienen los componentes que lo conforman. El mapa de procesos es muy particular y

especifico de cada de empresa, además no existe un formato predeterminado para construirlo, lo cual permite flexibilidad y un mejor control de flujo de la información de la empresa. Dentro de los procesos cabe destacar gestión de la organización como planificación estratégica, establecimiento de políticas, procesos de medición, análisis y mejora.

Para elaborar un mapa de proceso, se deben seguir los siguientes pasos:

- a) **Identificar a los actores:** Dueños, Clientes, proveedores y otras organizaciones de su entorno.
- b) **Identificar la línea operativa:** La secuencia de procesos y pasos necesarios para transformar el producto.
- c) **Añadir los procesos de soporte a la línea operativa y los de Dirección:** Dirección, mejora continua, estrategia.
- d) **Añadir los procesos que afectan a todo el sistema:** Gestión de reclamaciones, recursos humanos, auditorías internas.

5.1.2 SIPOC

El SIPOC es un mapa de alta definición, el cual permite desglosar detalladamente un proceso, desde la identificación de Suppliers (Proveedores), Inputs (Entradas), Process (Proceso), Outputs (Productos), Customers (Clientes). Esta herramienta se usa durante la fase de definición de un proyecto de mejora de procesos, ya que ayuda a entender claramente el propósito y el alcance de un proceso.

Cada uno de los actores juega un papel fundamental en el proceso:

- a) **Los proveedores**, quienes ofrecen los insumos para el proceso.
- b) **Las Entradas**, definen el material, servicio y/o la información que utiliza el proceso para producir los resultados.
- c) **El proceso** es una secuencia definida de actividades que agregan valor a los insumos para producir resultados.
- d) **Los resultados** son los productos, servicios, y / o información que tiene valor para los clientes.
- e) **Los clientes** son los usuarios finales de los productos/servicios que brinda el proceso.

5.1.3 DOFA

El análisis DOFA es una metodología que permite estudiar las características internas (Debilidades y Fortalezas) y la situación externa (Amenazas y Oportunidades) de una empresa, un producto, una división, una unidad, una estrategia, etc. Este tipo de análisis permite examinar las características a estudiar con el entorno en el cual se encuentran, además brinda un diagnóstico real y global del área, lo cual permite tomar decisiones para la mejora de procesos.

El análisis DOFA consta de una parte interna y externa:

- La parte interna abarca las fortalezas y debilidades, es decir los aspectos sobre los cuales la empresa tiene cierto grado de control.
- La parte externa analiza las oportunidades que ofrece el mercado y las amenazas que enfrenta el negocio.

En la medida en que una empresa conoce sus fortalezas, podrá trazar nuevos logros y metas, direccionadas a mejorar las debilidades y/o encaminarse hacia nuevos retos. Si una empresa conoce sus debilidades, sabrá de que es capaz y de que no, lo cual le permitirá ser conscientes de la realidad y trazarse metas alcanzables. De igual forma es importante conocer las oportunidades y amenazas ya que de esta forma una empresa sabrá hacia donde encaminar sus recursos y esfuerzos, además que le permite identificar las posibles amenazas que se puedan presentar a lo largo del camino, con el fin de anticiparse a ellas y tener armas para poder enfrentarlas.

5.1.4 Cursograma sinóptico

El cursograma sinóptico, es un diagrama que muestra la secuencia cronológica de las principales operaciones e inspecciones. Se utilizan los símbolos de operación (circulo) y de inspección (cuadrado). El primero para indicar el estado de un elemento con el que se está trabajando y el segundo con el fin de destacar las verificaciones de calidad que se le realicen.

Tabla 3. Símbolos cursograma sinóptico

SIMBOLO	DENOMINACION	DESCRIPCION
○	Operación	Indica transformación de un elemento
□	Inspección	Indica verificación conforme a especificaciones

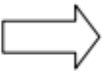
Fuente: El autor

Este diagrama es de gran utilidad, ya que permite dar un vistazo general de la totalidad del proceso, antes de hacer un estudio más detallado.

5.1.5 Cursograma analítico

El cursograma analítico, es un diagrama más detallado del proceso, el cual muestra la trayectoria de un producto, en este caso la fabricación de roscas con el fin de señalar todos los actores que intervienen en el proceso. Además de los símbolos utilizados en el cursograma sinóptico se emplean los siguientes:

Tabla 4. Símbolos cursograma analítico

SIMBOLO	DENOMINACION	DESCRIPCION
	Transporte	Para indicar el traslado físico de los materiales, equipo y trabajadores.
	Espera	Para indicar los elementos que se encuentren en espera a lo largo del proceso.
	Almacenamiento	Para indicar el depósito de un objeto en un almacén por un tiempo determinado.

Fuente: El autor

Existen tres tipos de cursogramas:

- **Cursograma de operario**, en el cual se registra el recorrido de una persona mientras realiza su trabajo.
- **Cursograma de material**, en el cual se registra cómo se manipula o trata el material.
- **Cursograma de equipo**, en el cual se registra cómo se usa un equipo.

5.1.6 DIAGRAMA DE RECORRIDO

El diagrama de recorrido representa gráficamente la secuencia de rutinas, y acontecimientos que convergen durante el proceso de fabricación de un

determinado producto. Permite visualizar en un plano a escala la ubicación de las maquinarias e instalaciones fijas, además se emplean los símbolos utilizados en los anteriores cursogramas, con el fin de ilustrar la secuencia cronológica de las actividades.

Existen dos tipos de diagramas:



- **Seguimiento al hombre**, donde se analizan los movimientos y las actividades de la persona que efectúa la operación.
- **Seguimiento al producto**, donde se analiza los movimientos y transformaciones que sufre el producto

5.1.6 Diagrama de flujo

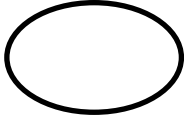
El diagrama de flujo es una secuencia lógica que complementada con los anteriores cursogramas permite tener una visión más específica del proceso. Representa gráficamente los pasos a seguir para alcanzar la solución de un problema, teniendo en cuenta el orden cronológico en que deben realizarse los pasos. Los símbolos utilizados se conectan por medio de flechas, para indicar la secuencia del proceso.

A pesar de que existen símbolos universales, en este trabajo de grado se utilizan los siguientes símbolos:

Tabla 5. Símbolos diagrama de flujo

SIMBOLO	DENOMINACION	DESCRIPCION
	Inicio/Fin	Para indicar el inicio o fin del diagrama de flujo.
	Proceso	Para indicar una instrucción, operación o transformación en el producto.

Continuación **Tabla 6.** Símbolos diagrama de flujo

	Decisión	Para indicar toma de decisiones o ramificaciones.
---	----------	---

Fuente: El autor

5.1.7 Brainstorming

El brainstorming o lluvia de ideas, es una técnica y/o herramienta de trabajo grupal que permite y facilita el surgimiento y generación de nuevas ideas, ya sea sobre un tema en específico o un problema determinado.

Esta herramienta se debe utilizar cuando sea necesario:

- Generar ideas
- Liberar la creatividad de un equipo de trabajo
- Solucionar problemas
- Buscar oportunidades de mejora
- Discutir conceptos nuevos

Para realizar la lluvia de ideas se deben seguir los siguientes pasos:

- Definir el tema a estudiar.
- Escoger un modulador
- Definir la metodología a utilizar
- Emitir ideas libremente sin criticar ninguna, por muy descabellada que parezca.
- Analizar y evaluar las ideas.

5.1.8 Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto es un gráfico de barras que representa en forma decreciente el grado de importancia o peso que tienen los diferentes factores que afectan a un proceso, operación o resultado.

Para realizar un diagrama de Pareto se deben seguir los siguientes pasos⁷:

- a) Decidir qué problemas se van a investigar y definir cómo se van a recoger los datos.
- b) Diseñar una tabla para el conteo de datos, con espacio suficiente para registrar los datos totales.
- c) Diligenciar la tabla de conteo y calcular los totales.
- d) Elaborar una tabla de datos para el diagrama de Pareto, con la lista de ítems, los totales individuales, los totales acumulados, la composición porcentual y los porcentajes acumulados.
- e) Organizar los ítems por orden de cantidad.
- f) Dibujar los ejes verticales y horizontales
- g) Construir el diagrama de barras.
- h) Dibujar la curva acumulada.

5.1.9 Diagrama de causa – efecto

El diagrama de causa - efecto indica la relación entre una dificultad o problema (efecto) y las razones que lo producen o afectan (causa). Actualmente, el diagrama no se usa solamente para observar las características de calidad de los productos, sino también en otros campos y ha sido ampliamente aplicado en todo el mundo.

Procedimiento para para elaboración del diagrama de causa – efecto⁸:

⁷ KUME H, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad, Grupo editorial Norma.

⁸ KUME H, Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad, Grupo editorial Norma.

- a) Describir el efecto o atributo de calidad.
- b) Dibujar el esquema del diagrama
- c) Escribir las causas primarias que afectan a la característica de calidad.
- d) Escribir las causas secundarias que afectan a las causas primarias.
- e) Asignarle el grado de importancia a cada factor.

5.2 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad es el conjunto de técnicas que se utilizan para evaluar los requisitos específicos que debe cumplir un producto, servicio o proceso. El control de calidad se posiciona como una estrategia para asegurar el mejoramiento continuo de la calidad, asegura la continua satisfacción de los clientes externos e internos mediante el desarrollo permanente de la calidad del producto y sus servicios.

5.2.1 Cartas de control

Una carta de control se compone de: Una línea central, dos límites de control y un conjunto de valores distribuidos en la gráfica. Si todos los datos se encuentran dentro de los límites, sin ninguna tendencia especial, se dice que el proceso está bajo control. Si los datos presentan tendencia o algunos de los puntos se encuentran fuera de los límites, se dice que el proceso no está bajo control.

5.2.1.1 Carta \bar{X}

La carta \bar{X} detecta cambios significativos en la media del proceso, cuando la campana se desplaza, la carta lo detecta mediante un punto fuera de sus límites.

Para estudios iniciales donde tanto la media como la desviación estándar del proceso no se conocen, sino que se estiman, se utiliza la siguiente fórmula para el cálculo de los límites de control:

Ecuación 2. Límites carta de medias

$$LCS = \bar{X} + A_2\bar{R}$$

$$LC = \bar{X}$$

$$LCS = \bar{X} - A_2\bar{R}$$

5.2.1.2 Carta R

La carta R detecta cambios significativos en la amplitud de la dispersión, si la variabilidad aumenta, la carta lo detecta mediante uno o más puntos fuera de sus límites⁹.

Para estudios iniciales donde tanto la media como la desviación estándar del proceso no se conocen, sino que se estiman, se utiliza la siguiente fórmula para el cálculo de los límites de control:

Ecuación 3. Límites carta de rangos

$$LCS = D_3\bar{R}$$

$$LC = \bar{R}$$

$$LCS = D_4\bar{R}$$

⁹ HUMBERTO G “Control estadístico de calidad y seis sigma”. Segunda edición, México (2010)

6. ANALISIS DE LA LINEA DE TERMINACION PMC

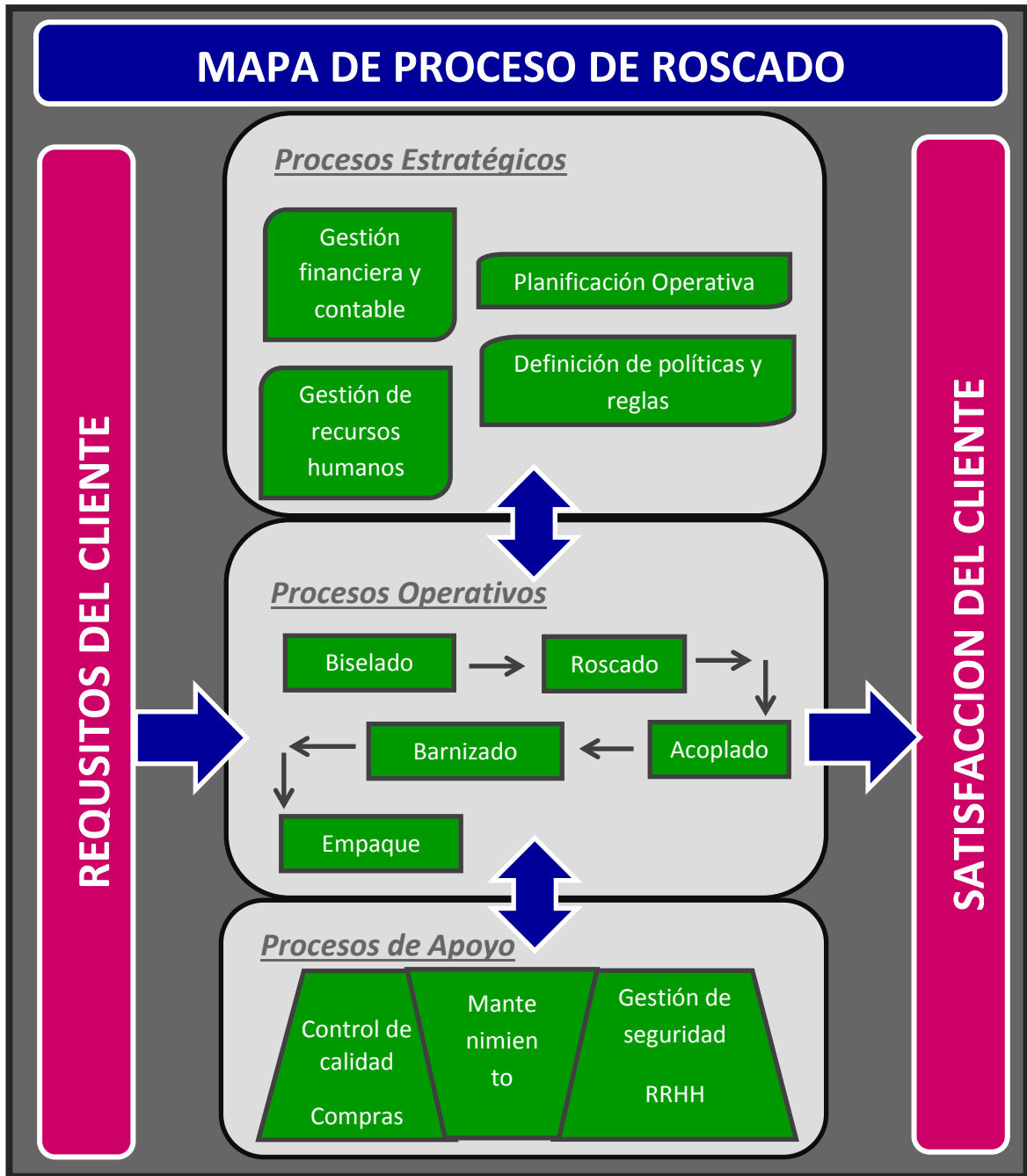
El primer paso para proponer la solución a un problema, es conocer y observar minuciosamente el área o ámbito en el que se va a trabajar, ya que de esta manera se tendrán instrumentos valederos para plantear una propuesta de mejora. En este primer capítulo se realiza un análisis profundo y detallado del área, a través del uso de herramientas de la ingeniería de productividad tales como:

- Mapa de proceso del área de roscado
- SIPOC
- DOFA
- Cursograma sinóptico
- Cursograma analítico
- Diagrama de recorrido
- Diagrama de flujo

Este análisis es de vital importancia para el desarrollo de los próximos capítulos, pues permitirá conocer el área desde diferentes ámbitos y facilitara la definición y selección de las variables de entrada que tienen mayor incidencia en el porcentaje de defectos que se producen en el área.

6.1 MAPA DE PROCESO DE ROSCADO

Figura 18. Mapa de proceso TuboCaribe



Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

6.1.1 Análisis del mapa de procesos

El mapa de procesos para el área de roscado se realiza teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- **Procesos estratégicos:** Los cuales hacen referencia a los procesos de dirección y planificación. Tales como: Gestión financiera, gestión de marketing, gestión de RRHH.
- **Procesos operativos:** Ligados directamente con la elaboración de roscas 8RD
- **Procesos de apoyo:** Los cuales proveen los recursos que necesitan los demás procesos.

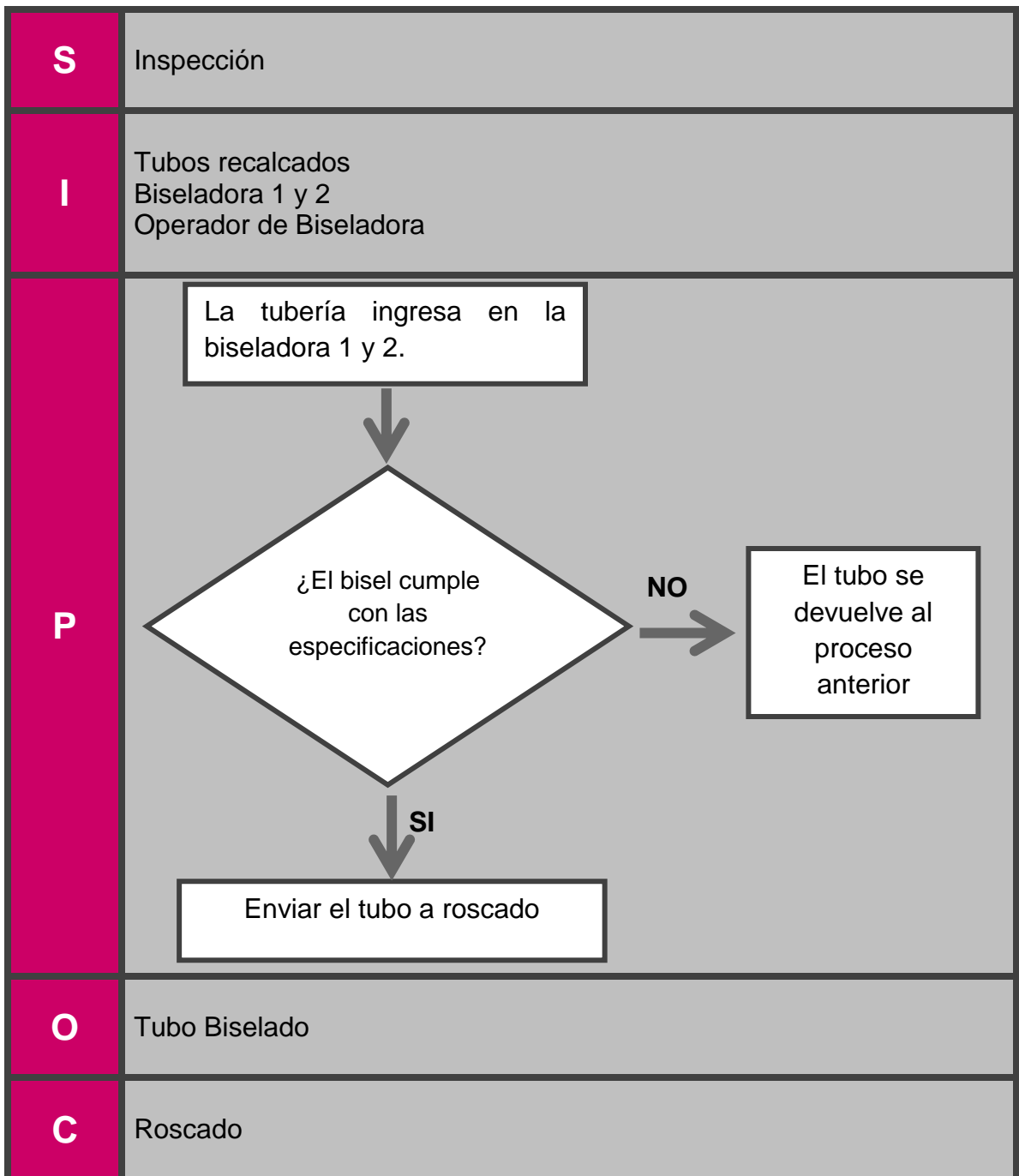
Finalmente se obtiene una representación gráfica que permite visualizar de una manera más sencilla y clara los componentes que interactúan en el proceso de roscado.

6.2 SIPOC

A continuación se presenta el SIPOC del área de roscado:

6.2.1 Biselado

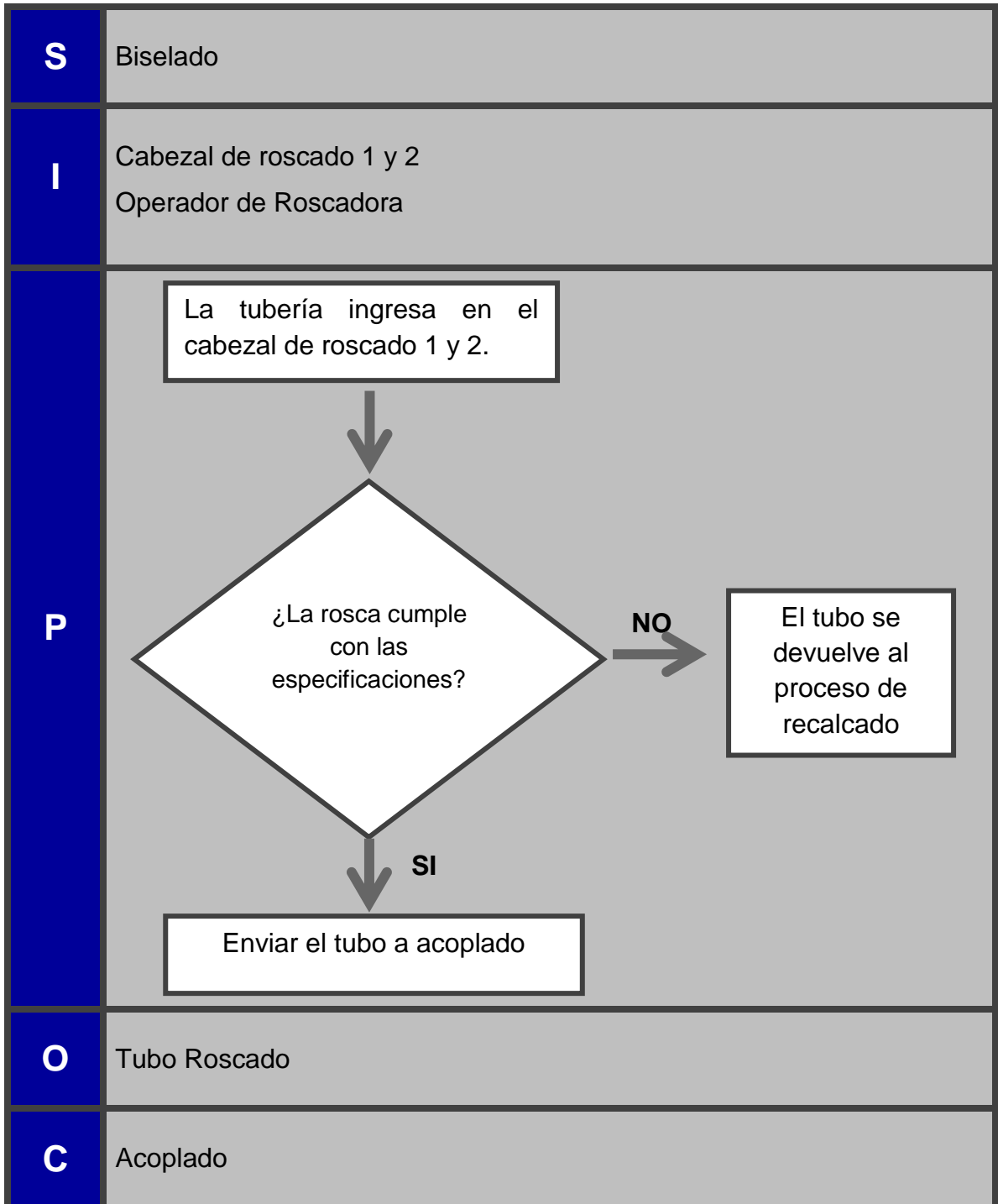
Tabla 7. SIPOC Biselado



Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

6.2.2 Roscado

Tabla 8. SIPOC Roscado



Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

6.2.3 Acoplado

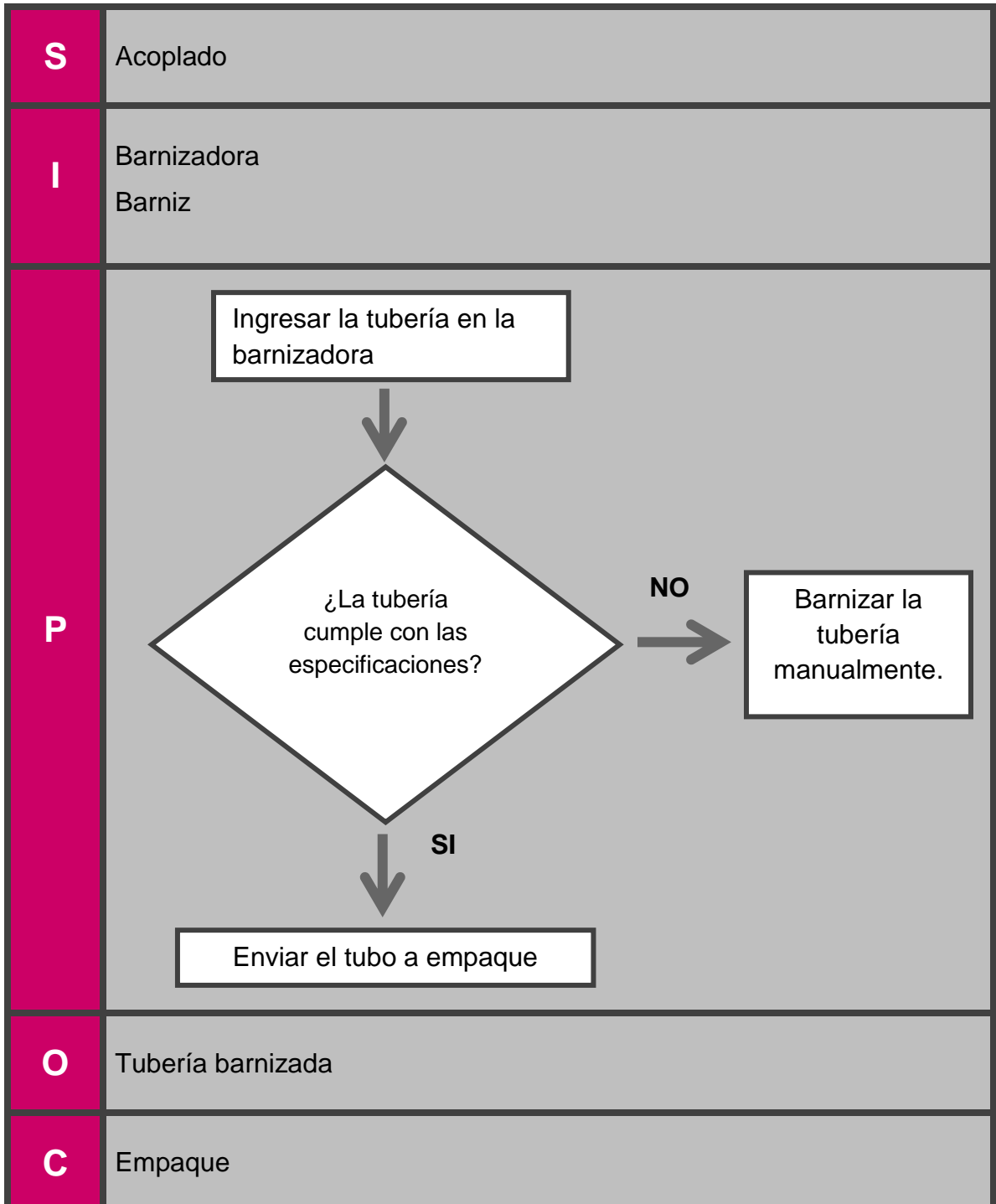
Tabla 9. SIPOC Acoplado

S	Roscado
I	Acopladora 1 y 2 Acoples Protectores Operador de acoplado
P	<pre>graph TD; A[La tubería ingresa en la acopladora 1 y 2] --> B[El operador ajusta los protectores de los acoples];</pre>
O	Tubería con acoples y protectores
C	Barnizado

Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

6.2.4 Barnizado

Tabla 10. SIPOC Barnizado



Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

6.2.5 Empaque

Tabla 11. SIPOC Empaque

S	Barnizado
I	Zunchadora neumática Ponchadora manual Zunchos Grapas Operador
P	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Envolver manualmente el paquete de tubería con el zuncho, grapa y la zunchadora neumática</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Retirar el zuncho sobrante con la ponchadora manual.</div>
O	Tubería empacada
C	Almacén de productos terminados.

Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

6.2.6 Análisis SIPOC

A través del SIPOC se realiza un análisis más detallado que con el mapa de procesos, ya que este permite estudiar cada uno de los subprocesos que se llevan a cabo en la fabricación de roscas de una manera más particular. Se describe inicialmente los Suppliers (Proveedores) como en este caso es un proceso continuo se hace referencia al proceso que antecede al que se va a realizar. Luego se detallan los Inputs (Entradas), toda la maquinaria, herramientas y personal necesario para llevar a cabo la tarea. El process (Proceso), en el cual se describen cronológicamente las transformaciones que sufre la tubería para ser roscada. Los Outputs (Productos), que son los resultados o productos finales. Por último los Customers (Clientes), en este caso el proceso sucesor.

6.3 ANÁLISIS DOFA DEL AREA DE ROSCADO

Teniendo en cuenta las Debilidades, Fortaleza, Oportunidades y Amenazas del área de roscado en la empresa Tenaris TuboCaribe se realiza el cuadro DOFA:

6.3.1 Ambiente interno

Tabla 12. DOFA Debilidades

DEBILIDADES

- El personal operativo no está conforme con los salarios, ya que piensan que estos son bajos en comparación con el trabajo que realizan.
- Organización Sindical, la cual impone ciertas restricciones en la programación del personal, el personal de planta solo puede laborar máximo 10 horas diarias.
- De las tres líneas solo una la PMC, ha sido intervenida para actualizar su control de proceso de manual a numérico, mientras que las otras dos líneas, torno SI6 y SI8 aún se encuentran con control manual.
- El área aún no cuenta con roscadoras PREMIUM, lo cual no le permite diversificar sus productos más allá de la norma API OCTG.

Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

Tabla 13. DOFA Fortalezas

**F
O
R
T
A
L
E
Z
A
S**

- Cuenta con tres líneas de producción, las cuales permiten procesar tuberías con diferentes características..
- Es la única área donde se puede roscar tubería OCTG en Colombia.
- La línea PMC paso de control mecánico/manual a numérico/computarizado
- El área cuenta con operadores con experiencia en roscado.
- Los operadores del área son capacitados constantemente.
- El área cuenta con trabajadores comprometidos.
- Personal multifuncional.
- El área cuenta con 3 turnos, lo cual permite procesar roscas día y noche.

Fuente: El autor – **Verificado por:** El área de tecnología

6.3.2 Ambiente externo

Tabla 14. DOFA Oportunidades

O P O R T U N I D A D E S

- Es posible el desarrollo y producción de nuevos productos.
- Se podrían lograr mejores acuerdos con los proveedores de materia prima.
- Mejores control de trazabilidad en los inventarios antes del inicio del proceso.
- Desarrollo de mejores insumos, las cuales brinden mayor eficiencia a un menor costo.

Fuente: El autor – **Verificado por:** El área de tecnología

Tabla 15. DOFA Amenazas

A M E N A Z A S	<ul style="list-style-type: none">• Vulnerabilidad ante grandes competidores.• Baja diversificación de los productos según la demanda para nuevos tipos de crudos ya que actualmente solo se fabrican productos API.• Competencia desleal por parte de productores chinos.• Tecnología obsoleta en dos de las tres líneas de producción.• Alto número de personal improductivo en el área, lo que encarece el costo de producción.
--	--

Fuente: El autor – **Verificado por:** El área de tecnología

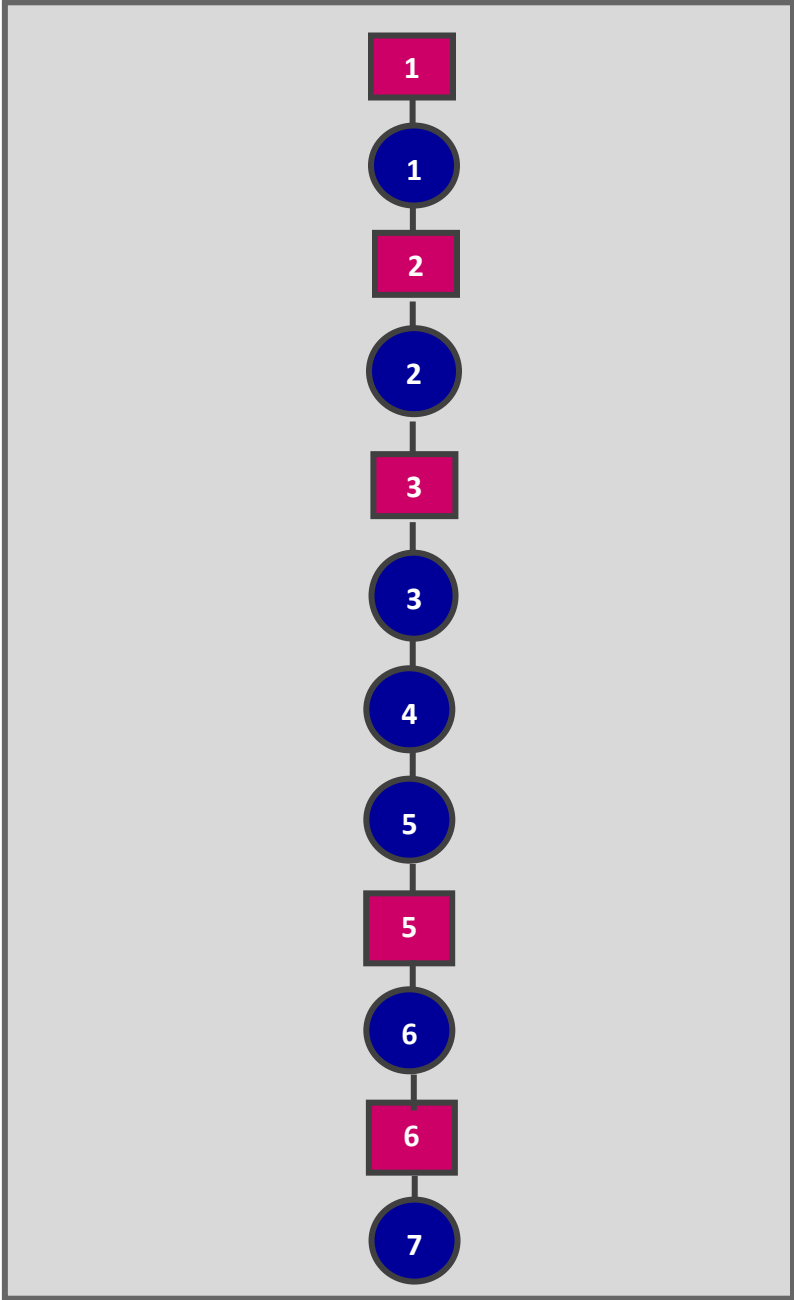
6.3.3 Análisis DOFA

Analizados en detalle los subprocesos, con la colaboración del personal del área, el paso a seguir es estudiar el contorno interno y externo del área, el cual servirá de base para plantear mejoras en la línea. El área de roscado, tiene grandes oportunidades que llegadas a explorarse traerían muchos beneficios para la empresa, es importante centrarse en ellas, para no darle cabida a las debilidades y amenazas.

6.4 CURSOGRAMA SINOPTICO

A continuación se muestra el cursograma sinóptico del área de roscado línea PMC:

Figura 19. Cursograma sinóptico



Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

6.4.1 Elementos

- I1** Verificar la etiqueta de la tubería
- O1** Ingresar la tubería a la biseladora
- I2** Verificar que el bisel cumpla con las especificaciones
- O2** Ingresar tubería a la roscadora
- I3** Verificar especificaciones de la rosca
- O3** Colocar acoples en los extremos de la tubería.
- O4** Insertar mandril en la tubería
- O5** Colocar protectores en los acoples
- I5** Verificar trazabilidad de la tubería
- O6** Barnizar la tubería
- I6** Verificar que la tubería este completamente barnizada
- O7** Empacar la tubería

6.4.2 Análisis cursograma sinóptico

A través del cursograma sinóptico se pueden observar las principales operaciones e inspecciones que se realizan durante la fabricación de roscas. Este tipo de cursograma permite visualizar de una manera general el proceso a estudiar, para el proceso de roscado se realizan seis inspecciones y 7 operaciones. El paso a seguir es realizar un cursograma que permita analizar con más detalles el proceso.

6.5 CURSOGRAMA ANALITICO

A continuación se describe el cursograma analítico:

Tabla 16. Cursograma analítico

CURSOGRAMA ANALÍTICO		Operario/Material/Equipo			
Diagrama núm. 1	Resumen – Fecha: 10 de Agosto de 2012				
Objetivo: Tubería Roscada	Actividad	Actual	Propuesta	Economía	
Actividad: Elaboración de roscas en tubería Tubing. Método: Actual Elaborado por: Melissa O.	Operación ○				
	Transporte ⇨				
	Espera D				
	Inspección □				
	Almacenamiento ▽				
DESCRIPCIÓN	Can-tidad	Dis-tancia	Tiem-po	Símbolo ○ ⇨ D □ ▽	Observaciones
Trasportar tubería de las estibas a las canastas de entrada				⇨	
Almacenar tubería en canastas de entrada					D
Verificar etiqueta de tubería					□
Ingresar tubería a la biseladora				○	
Verificar dimensiones del bisel					□
Ingresar tubería a la roscadora				○	
Verificar especificaciones de la rosca					□
Colocar acoples				○	Adicionar grasa
Insertar mandril en la tubería				○	
Colocar protectores en los acoples				○	
Verificar la trazabilidad de la tubería					□

Continuación **Tabla 15.** Cursograma analítico

Verificar que la tubería este barnizada completamente									
Empacar la tubería									
Almacenar la tubería en la canasta de salida									
Transportar la tubería al almacén de productos terminados.									

Fuente: El autor – **Verificado por:** El área de tecnología

6.5.1 Análisis del cursograma analítico

El sistema de producción que utiliza TuboCaribe para la fabricación de sus productos es intermitente o por lote, solamente se detiene la producción cuando se presentan problemas en la línea o cuando se va a cambiar de una orden de producción a otra, por tal motivo durante la fabricación de roscas solo hay transporte de material al inicio y final del proceso ya que durante la fabricación, la tubería sigue su curso a través de conveyors. Además se realizan inspecciones en casi todos los bancos de trabajo con el fin de garantizar la calidad del producto. Finalmente cuando el producto es terminado es empacado y almacenado.

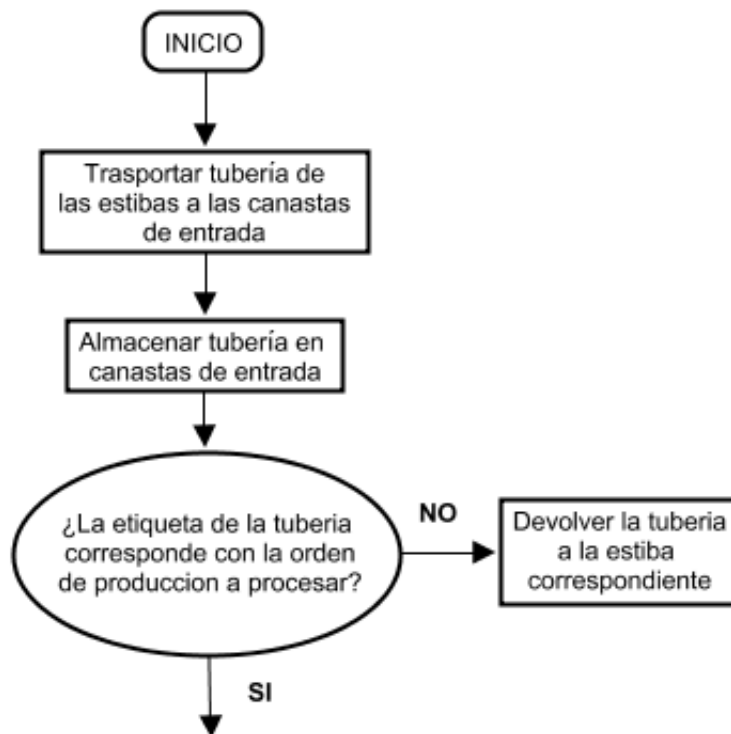
6.6.1 Análisis del Diagrama de Recorrido

Los bancos de trabajo están adecuados y distribuidos teniendo en cuenta el espacio disponible. Gran parte del área es ocupada por la maquinaria, conveyors y montacargas Actualmente se está llevando a cabo en la empresa un plan de mejoramiento en la infraestructura del área de roscado PMC, básicamente lo que se busca es unir por medio de conveyors el área de roscado e inspección (proceso preliminar) con el fin de suprimir el transporte de un área a otra. Además se va a instalar en el área un puente grúa con el fin de facilitar el transporte interno, aprovechar el espacio que actualmente ocupan los montacargas y disminuir los riesgos de seguridad.

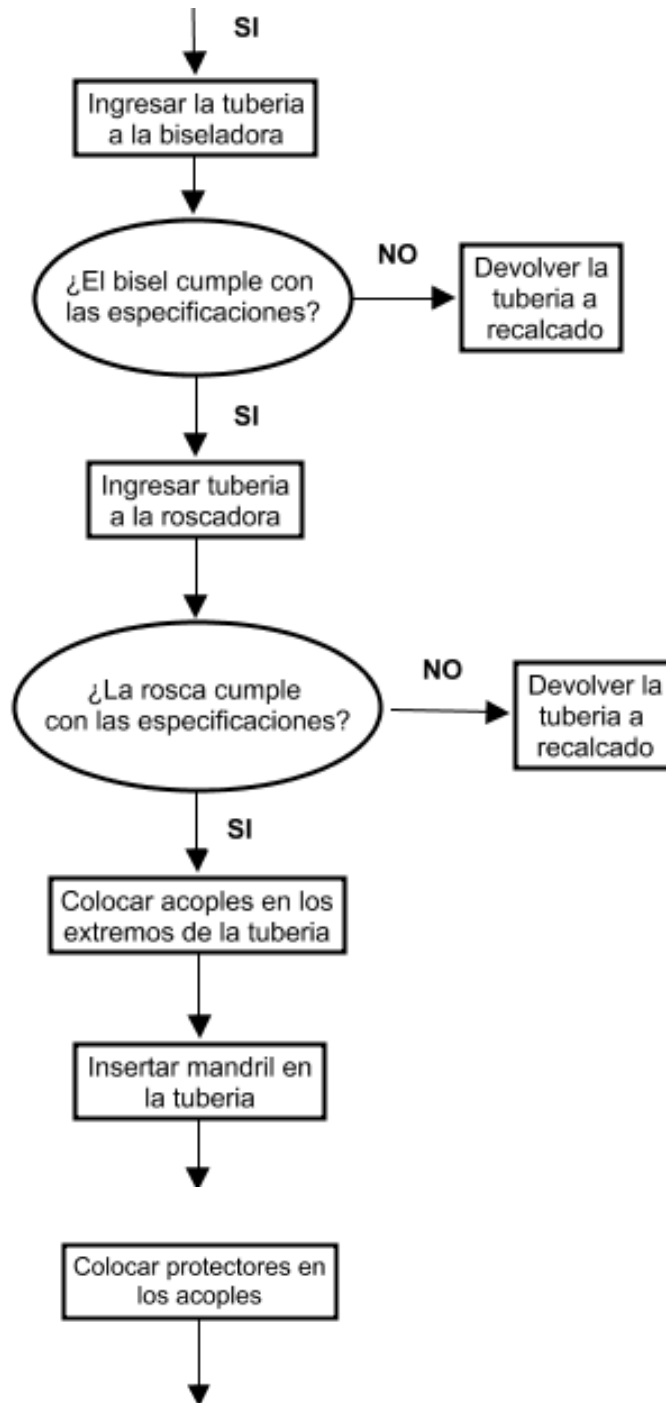
6.7 DIAGRAMA DE FLUJO

A continuación se muestra el diagrama de flujo del área de roscado PMC, el cual se realizó en formato vertical, donde las operaciones van de arriba hacia abajo:

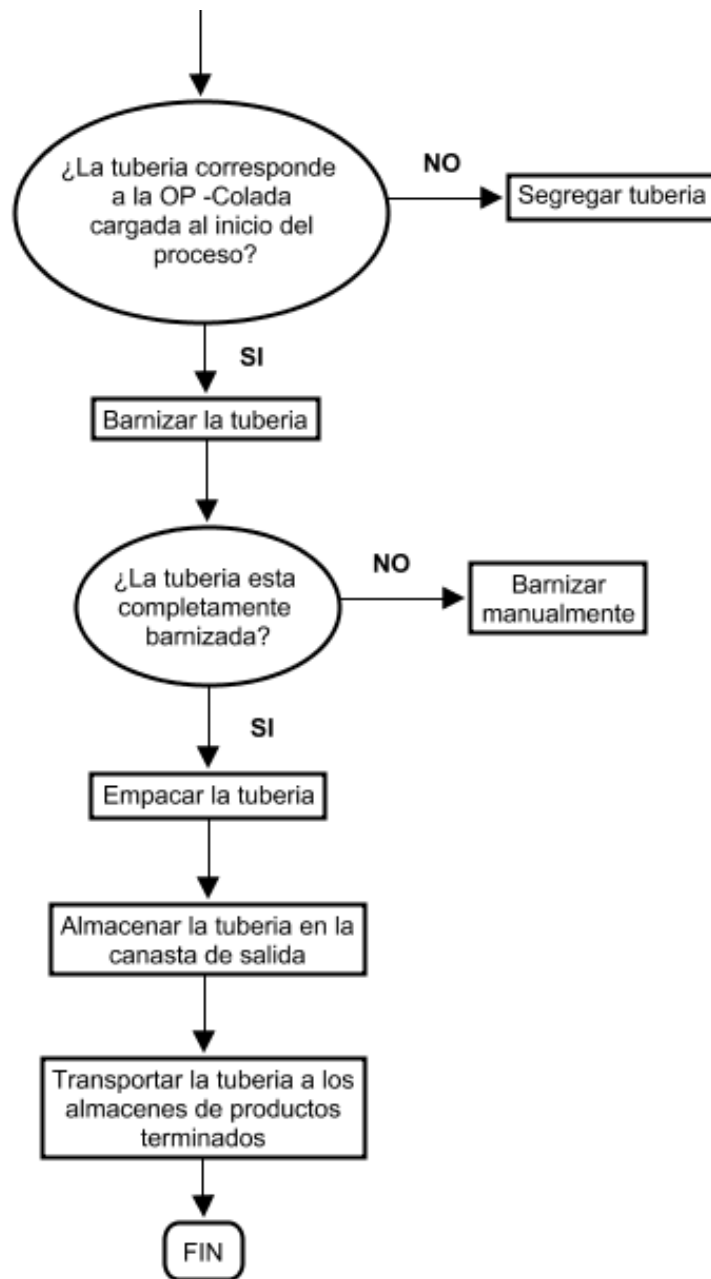
Figura 21. Diagrama de flujo



Continuación **Figura 21**. Diagrama de flujo



Continuación **Figura 21**. Diagrama de flujo



Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

6.7.1 Análisis diagrama de flujo

La última herramienta que se utiliza para analizar el proceso, es el diagrama de flujo puesto que permite analizar con mayor profundidad el proceso. En él se indica paso a paso las transformaciones que se sufre a la tubería, además permite visualizar los pasos a seguir en caso de que en algún punto del proceso la tubería no cumpla con las especificaciones.

7. DEFINICION DE PARAMETROS

En el capítulo anterior se realizó un análisis detallado de la línea de terminación PMC el cual es la base para la realización del presente capítulo. Para la definición de parámetros se utilizan las siguientes herramientas de la ingeniería de productividad:

- Brainstorming o lluvia de ideas
- Diagrama de Pareto
- Diagrama de causa – efecto (Fishbone)
- Categorización

Este análisis, es clave para la identificación de las variables que tienen mayor incidencia en la defectología, las causas que las producen y la prioridad que tienen según el impacto que generan.

7.1 BRAINSTORMING

Se realiza el Brainstorming con el fin de determinar los defectos que tienen mayor incidencia en el porcentaje de defectos que se producen en el área, para esto se realizan las siguientes preguntas abiertas a los operadores que laboran en el área:

1) ¿Qué parámetros controlan en el área?

Justificación de la pregunta: La pregunta fue formulada con el fin de conocer los parámetros que actualmente controlan en el área, tanto en el proceso como en el producto. Esto permitirá conocer los aspectos que no están siendo controlados y que podrían ser cruciales y determinantes en los defectos que se producen en las roscas.

2) ¿Con que fin controlan cada uno de los parámetros en el área?

Justificación de la pregunta: La pregunta fue formulada con el fin de conocer la razón de ser de cada uno de los parámetros que se controlan en el área. Esto permitirá comprender más el proceso y visualizar la importancia de cada uno de los parámetros que son controlados, de igual forma permitirá determinar si es necesario evaluar otros aspectos que no son tenidos en cuenta actualmente.

3) ¿Cómo afecta la vida útil de cada una de las herramientas/insumos en la generación de defectos en las roscas?

Justificación de la pregunta: La pregunta fue formulada con el fin de evaluar el impacto que tienen el desgaste de las herramientas o falta de insumos durante el proceso. Es de vital importancia conocer los límites de tolerancia de las herramientas/insumos ya que en la medida que se controlen esto el proceso generara menos productos defectuosos.

4) ¿Cuáles son los defectos más comunes que se originan en las roscas?

Justificación de la pregunta: La pregunta fue formulada con el fin de conocer, desde el punto de vista de los operadores, los defectos que se producen con más frecuencia en el área. Esto con el propósito de determinar las causas que los generan, evaluarlas y establecer un control para las mismas.

7.1.1 Selección de la muestra

Con el propósito de recolectar la mayor cantidad de información posible, se realizó la encuesta abierta al 79% del personal que está directamente relacionado con la producción de roscas: Al coordinador del área, 3 supervisores y 7 operadores. Las encuestas se realizaron individualmente, con el fin de que estas fueran personalizadas, en la **Tabla 16**. Ficha técnica de la encuesta, se muestra el formato utilizado.

7.1.2 Ficha técnica de la encuesta

Tabla 17. Ficha técnica de la encuesta

Nombre de la encuesta:	Defectos y parámetros del área de Roscado
Objetivo:	Determinar los defectos, parámetros y que se presentan/controlan en el área de roscado.
Realizada por:	Melissa Osorio López
Fecha de muestreo:	4 – 8 de Junio de 2012
Área de cobertura:	Operadores, supervisores del área de roscado
Universo:	14 trabajadores

Continuación **Tabla 16.** Ficha técnica de la encuesta

Tamaño de la muestra:	11 trabajadores
Elemento de muestreo:	Trabajadores del área de roscado y biselado
Método:	Entrevista personal
Instrumento:	Encuesta personal
Numero de preguntas formuladas:	4 preguntas abiertas

Fuente: El autor

Luego de haber realizado la entrevista a los trabajadores y con base en las preguntas anteriormente justificadas, se pueden ilustrar los principales defectos que se presentan en el área de roscado en la **Tabla 17.** Tipos de defectos y la **Grafica 1.** Tipos de defectos:

Tabla 18. Tipos de defectos

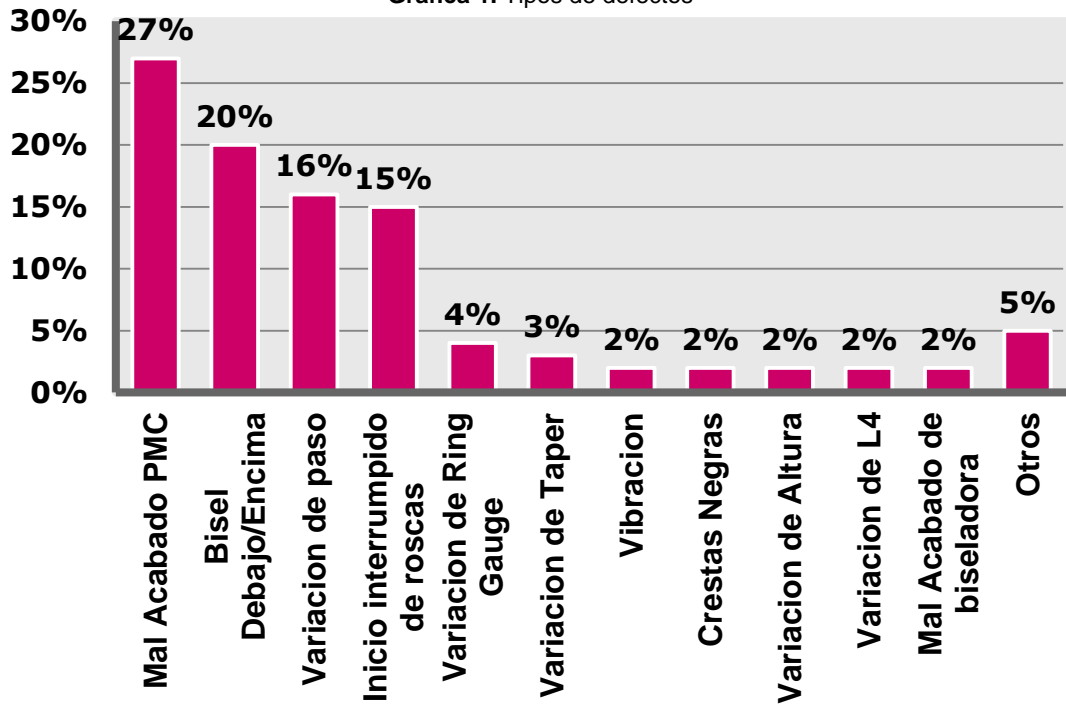
Tipo de Defecto	Porcentaje
Mal Acabado PMC	27%
Bisel Debajo/Encima	20%
Variación de paso	16%
Inicio interrumpido de roscas	15%
Variación de Ring Gauge	4%

Continuación **Tabla 16.** Tipos de defectos

Variación de Taper	3%
Vibración	2%
Crestas Negras	2%
Variación de Altura	2%
Variación de L4	2%
Mal Acabado de biseladora	2%
Otros	5%
Total	100%

Fuente: El autor

Grafica 1. Tipos de defectos



Fuente: El autor

7.2 DIAGRAMA DE PARETO

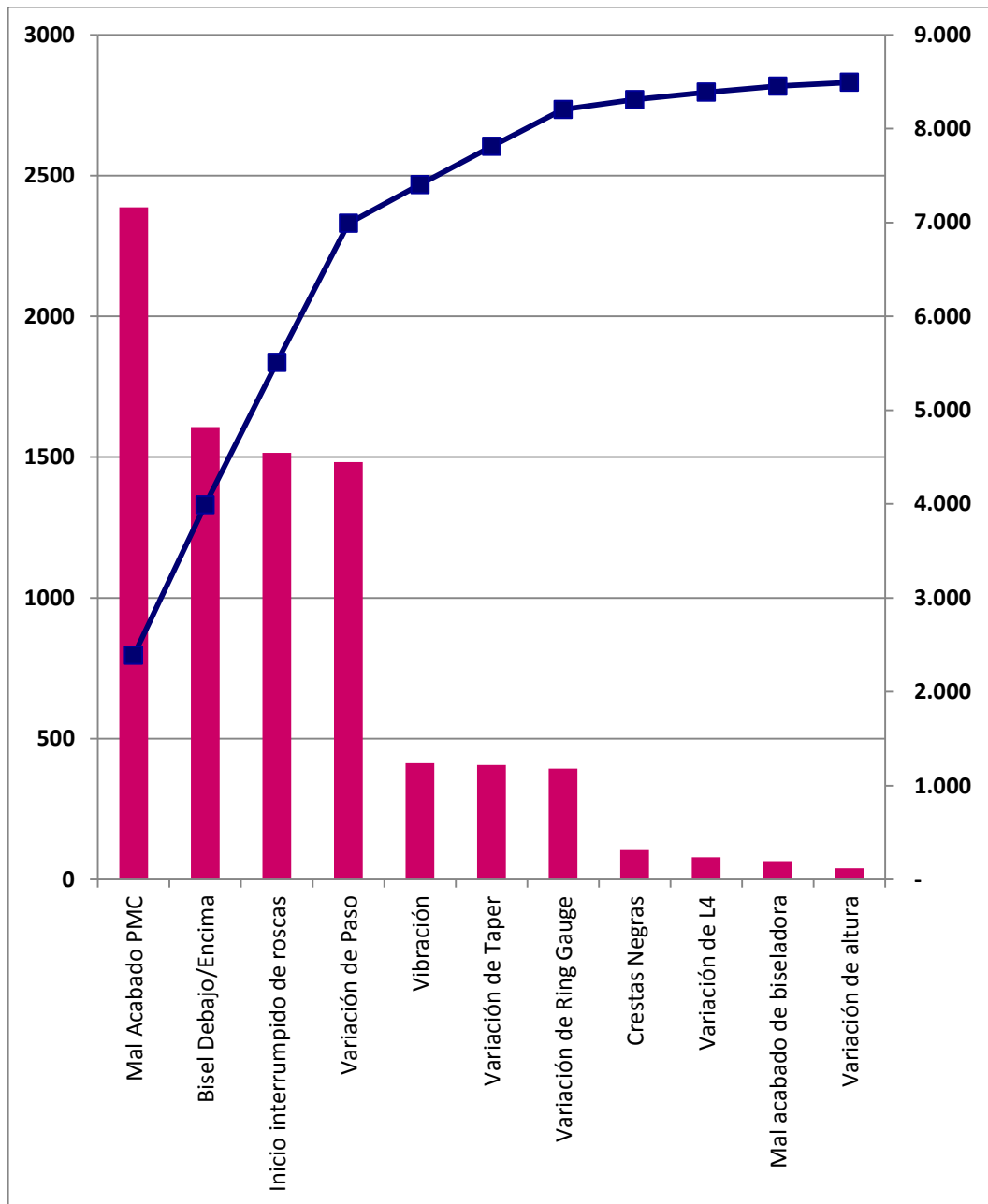
Para la realización del diagrama de Pareto, se toma como referencia el número de piezas descartadas por tipo de defecto, desde el periodo de Julio de 2011 a Junio de 2012 referenciadas en la **Tabla 18**. Número de piezas descartadas por tipo de defecto.

Tabla 19. Número de piezas descartadas por tipo de defecto

Tipo de Defecto	No. De Piezas Descartadas	%	Descarte ACUM	Porcentaje ACUM
Mal Acabado PMC	2387	28%	2.387	28%
Bisel Debajo/Encima	1607	19%	3.994	47%
Inicio interrumpido de roscas	1515	18%	5.508	65%
Variación de Paso	1482	17%	6.990	82%
Vibración	413	5%	7.404	87%
Variación de Taper	407	5%	7.810	92%
Variación de Ring Gauge	393	5%	8.204	96%
Crestas Negras	105	1%	8.309	97%
Variación de L4	79	1%	8.387	98%
Mal acabado de biseladora	66	1%	8.453	99%
Variación de altura	39	0%	8.492	100%
TOTAL	8525	100%		

Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Grafica 2. Número de piezas descartadas por tipo de defecto



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Tabla 20. Convenciones de defectos

CONVENCIONES	
A	Mal Acabado PMC
B	Bisel Debajo/Encima
C	Inicio interrumpido de roscas
D	Variación de Paso
E	Vibración
F	Variación de Taper
G	Variación de Ring Gauge
H	Crestas Negras
I	Variación de L4
J	Mal acabado de biseladora
K	Variación de altura

Fuente: El autor

7.2.1 Análisis del diagrama de Pareto

En la **Grafica 2.** Número de piezas descartadas por tipo de defecto y **Tabla 19.** Convenciones de defectos, se pueden visualizar los defectos más concurridos en el área de roscado. Teniendo en cuenta el principio de Pareto “El 80% de los problemas, se encuentra en el 20% de las causas”, se puede concluir que la mayor parte de los descartes que se presentan en el área (82%) pertenecen a 4

tipos de defectos de defectos, de tal forma que si se eliminan las causas que los originan desaparecerían la mayor parte de los defectos.

El 82% está representado por:

A: Mal Acabado PMC

B: Bisel Debajo/Encima

C: Variación de paso

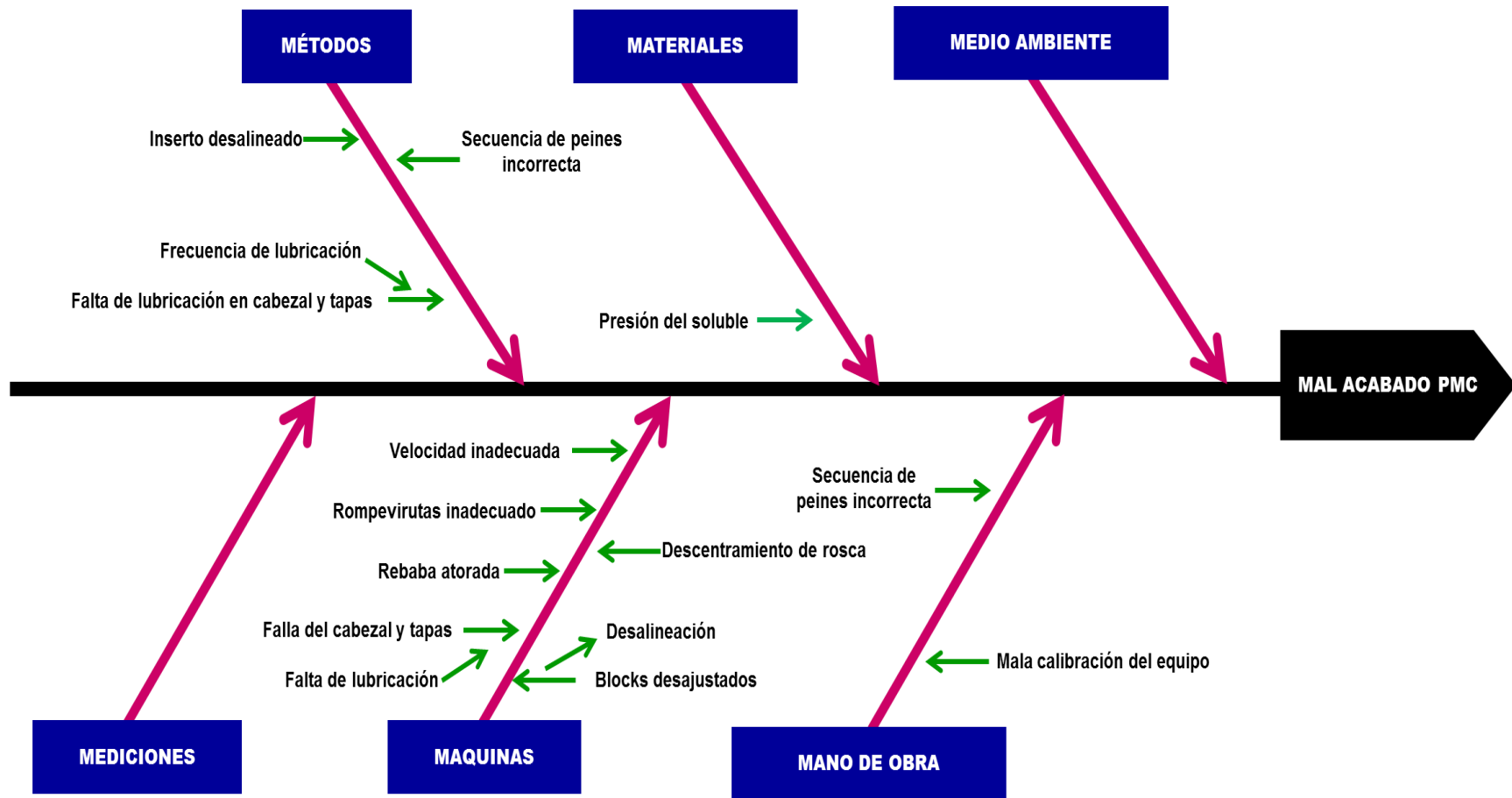
D: Inicio interrumpido de roscas

7.3 DIAGRAMA DE CAUSA-EFECTO (FISHBONE)

Después de identificar los defectos que se presentan con mayor frecuencia en el área de roscado, el paso a seguir es determinar las causas que los originan, para esto se hace necesario realizar un diagrama de Causa-Efecto.

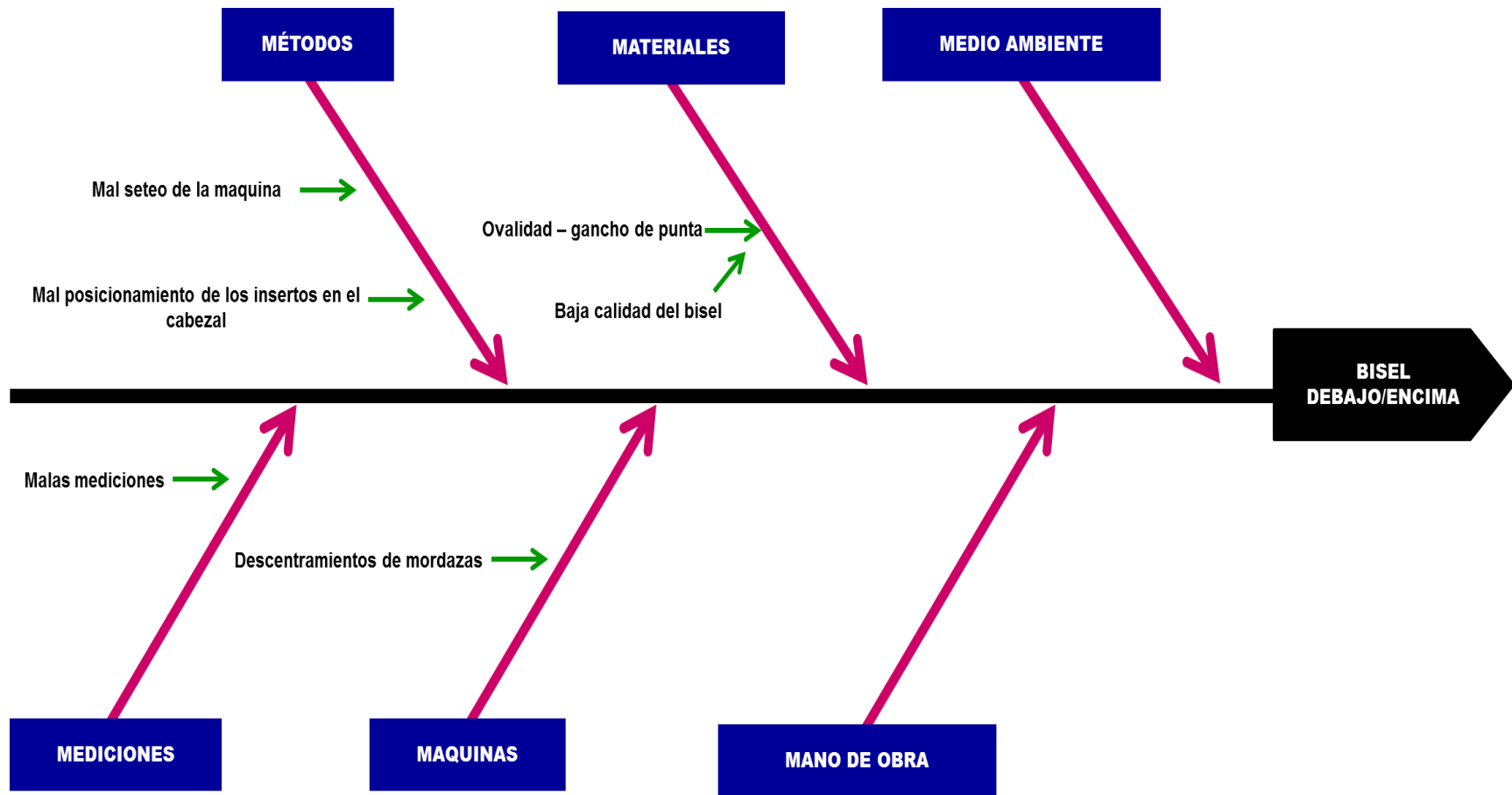
En aras de realizar un análisis más profundo, se realizara el diagrama de Fishbone para cada uno de los defectos detectados en el área, esto con el fin de recopilar la mayor cantidad de información posible sobre las causas que producen los rechazos, para posteriormente realizar una categorización y priorizar las variables que serán estudiadas.

Figura 22. Fishbone, Mal acabado PMC



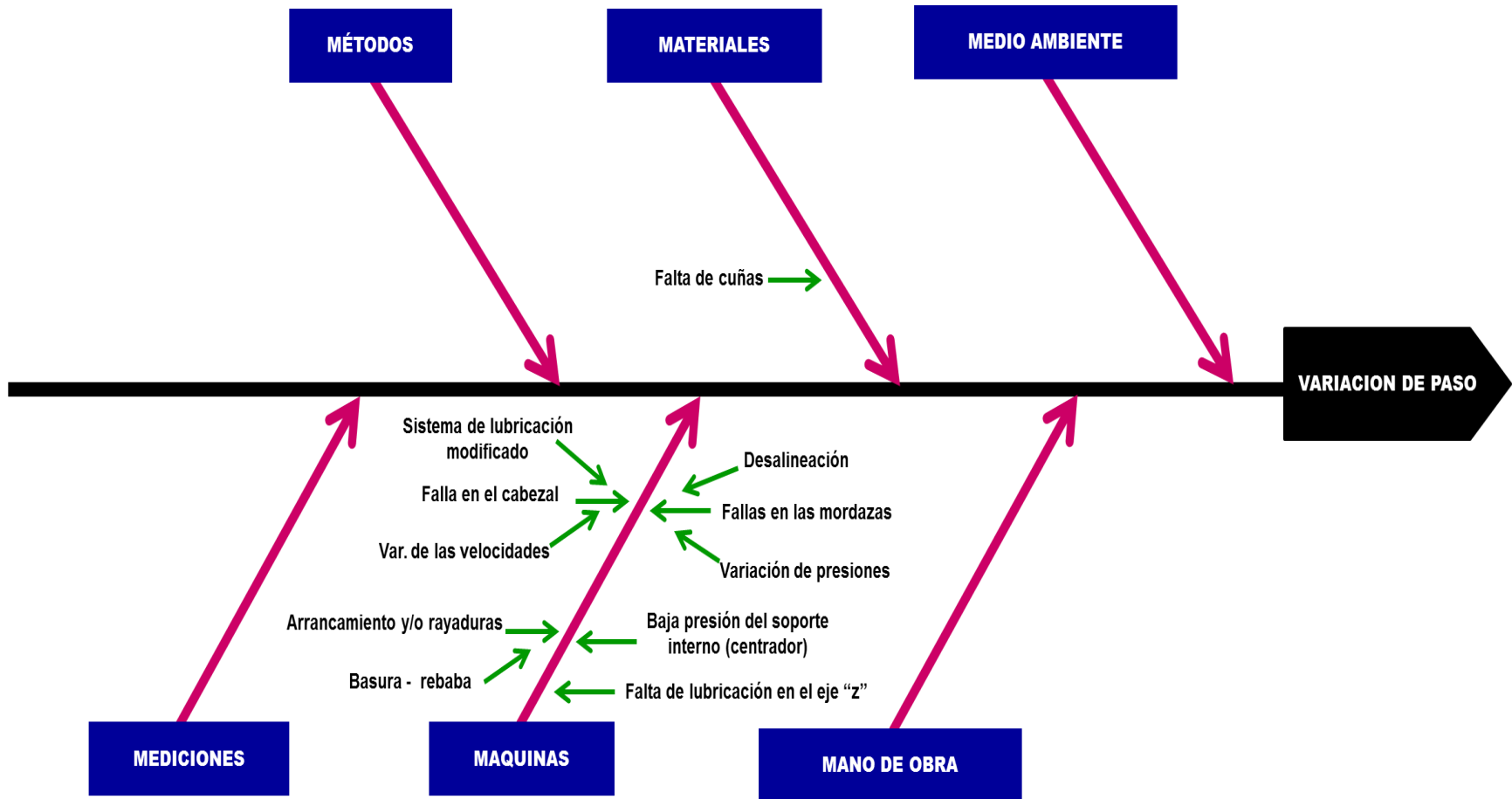
Fuente: El autor – Verificado por: El área de tecnología

Figura 23. Fishbone, Bisel debajo/encima



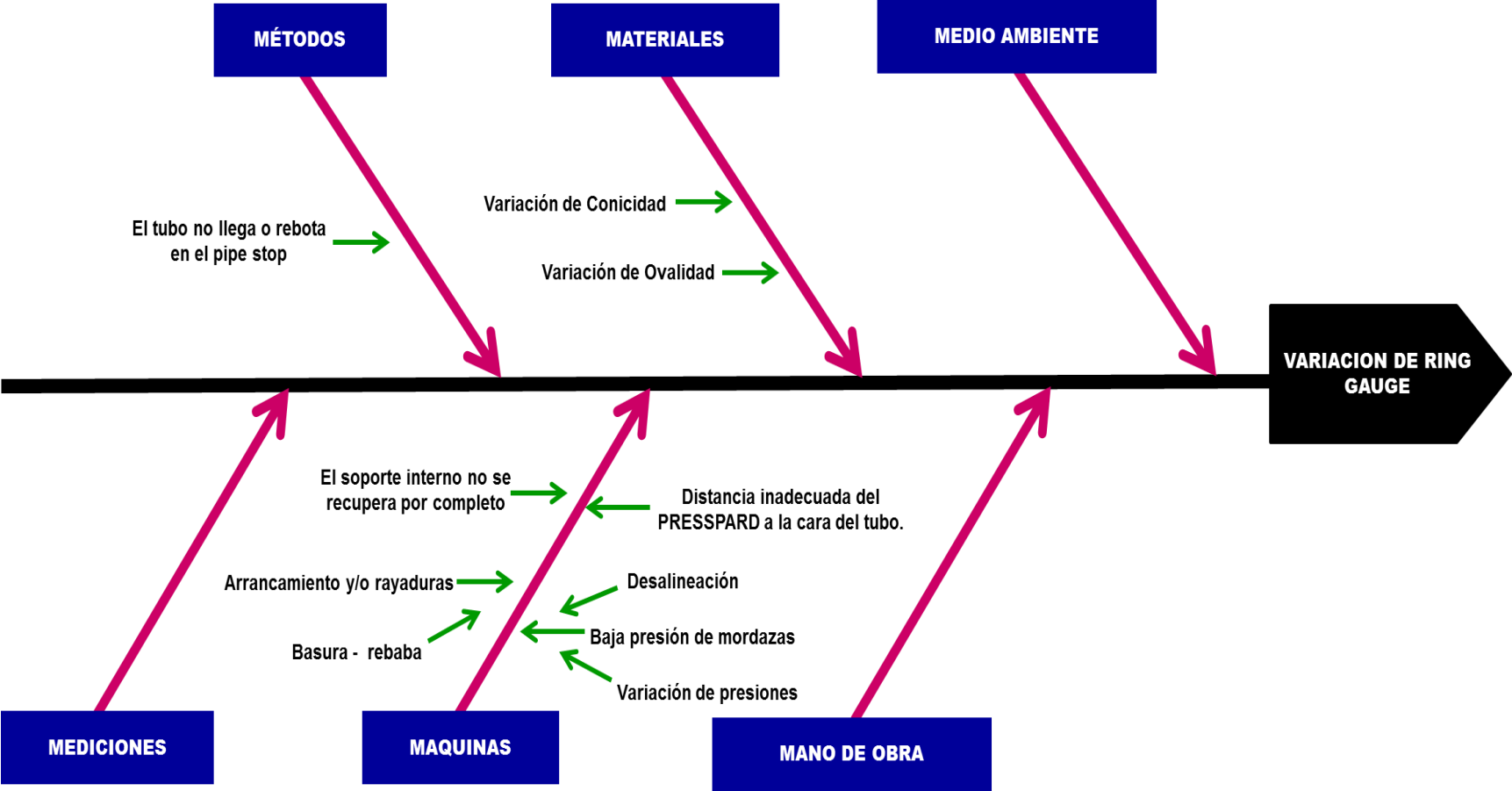
Fuente: El autor - Verificado por: El área de tecnología

Figura 24. Fishbone, Variación de paso



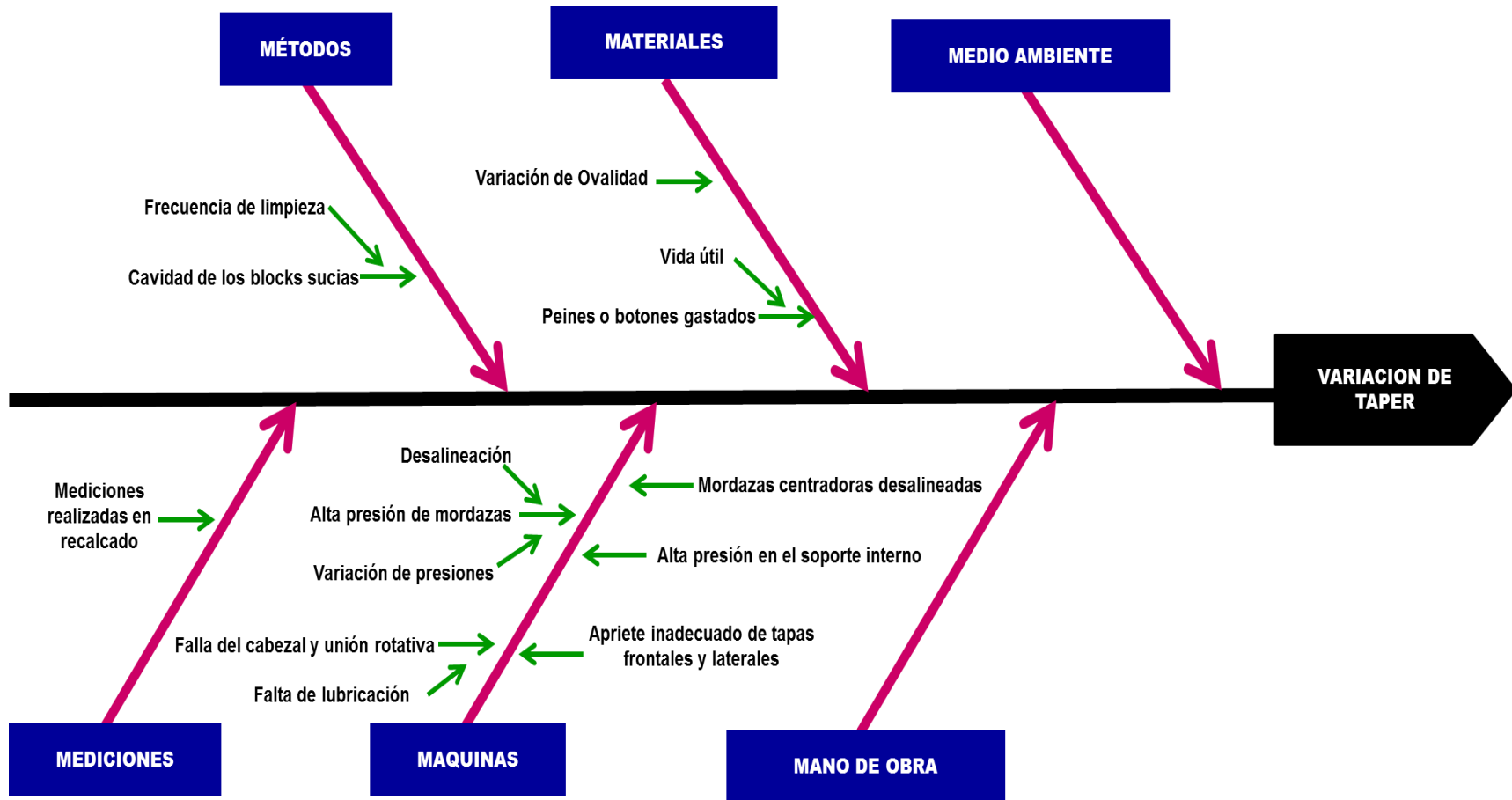
Fuente: El autor - Verificado por: El área de tecnología

Figura 25. Fishbone, Variación de ring gauge



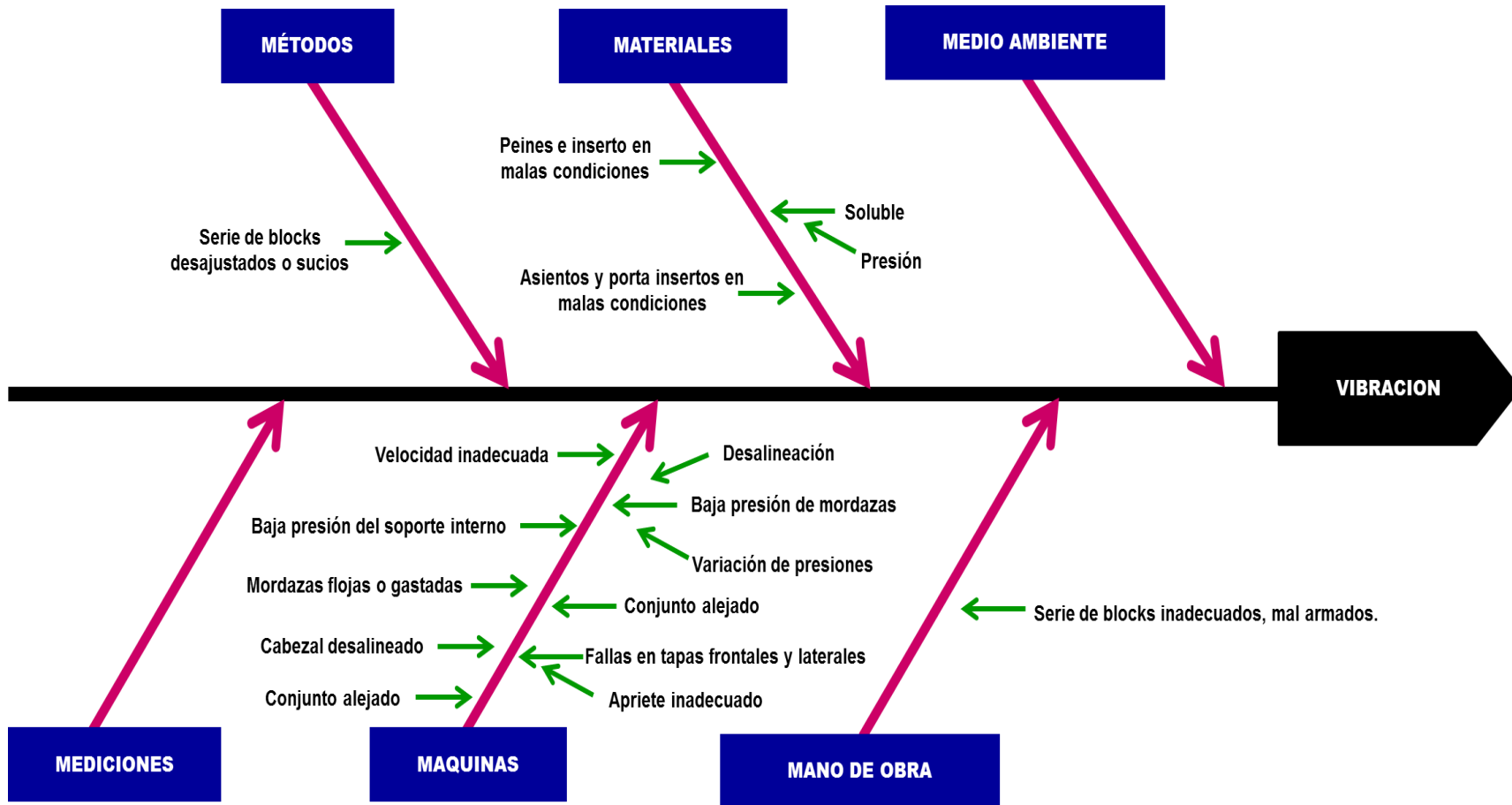
Fuente: El autor - Verificado por: El área de tecnología

Figura 26. Fishbone, Variación de Taper



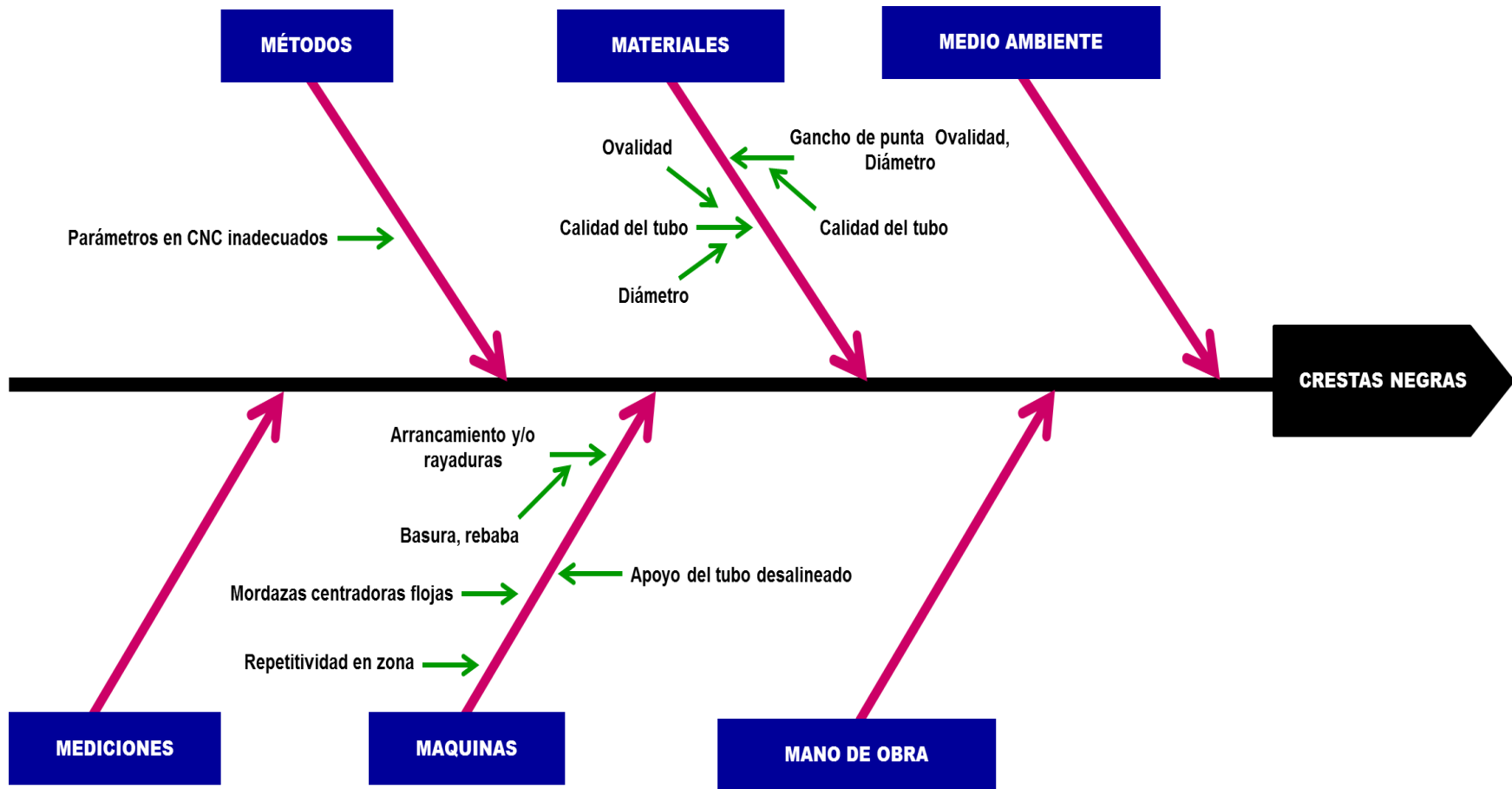
Fuente: El autor - Verificado por: El área de tecnología

Figura 27. Fishbone, Vibración



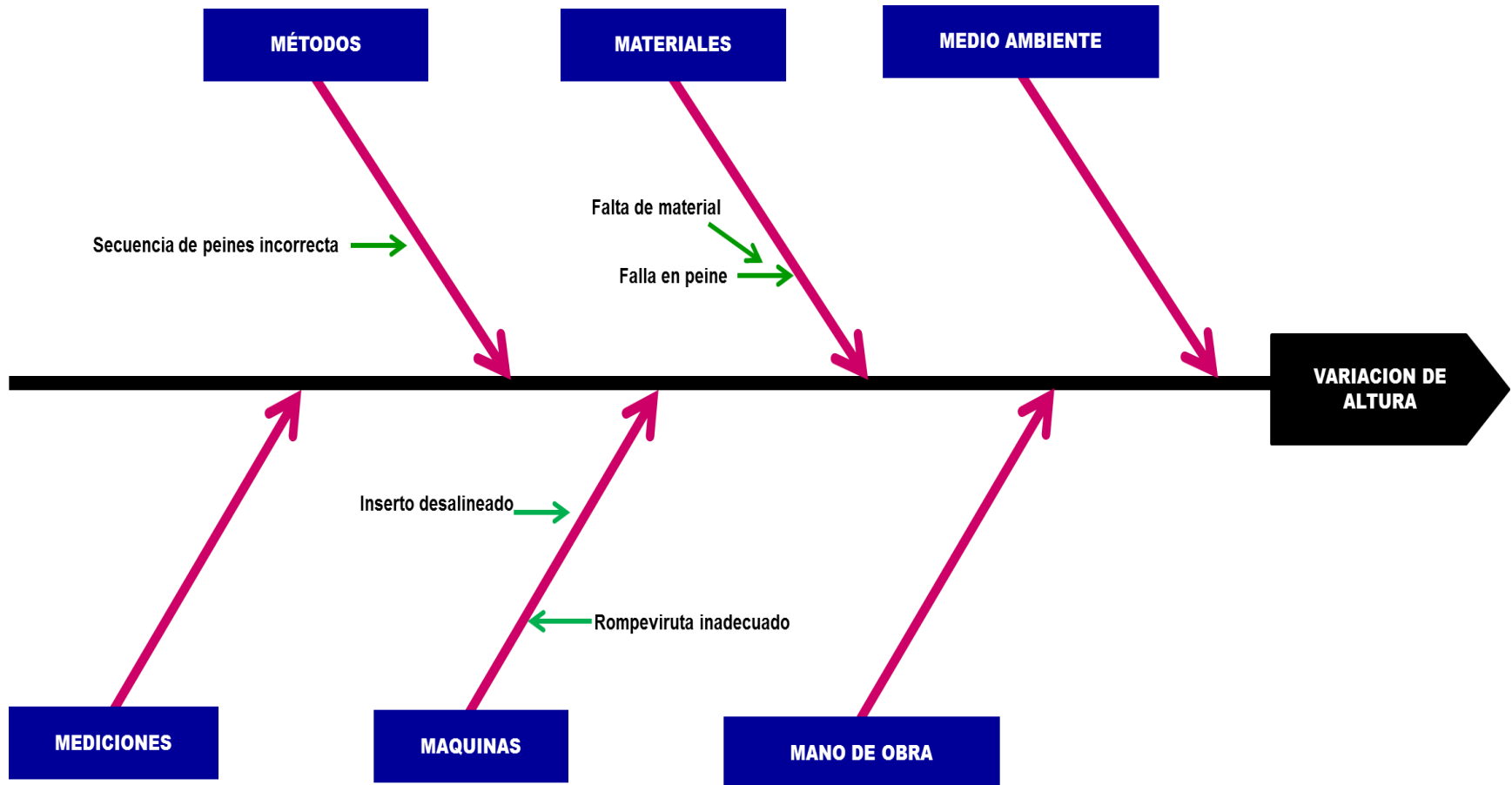
Fuente: El autor - Verificado por: El área de tecnología

Figura 28. Fishbone, Crestas negras



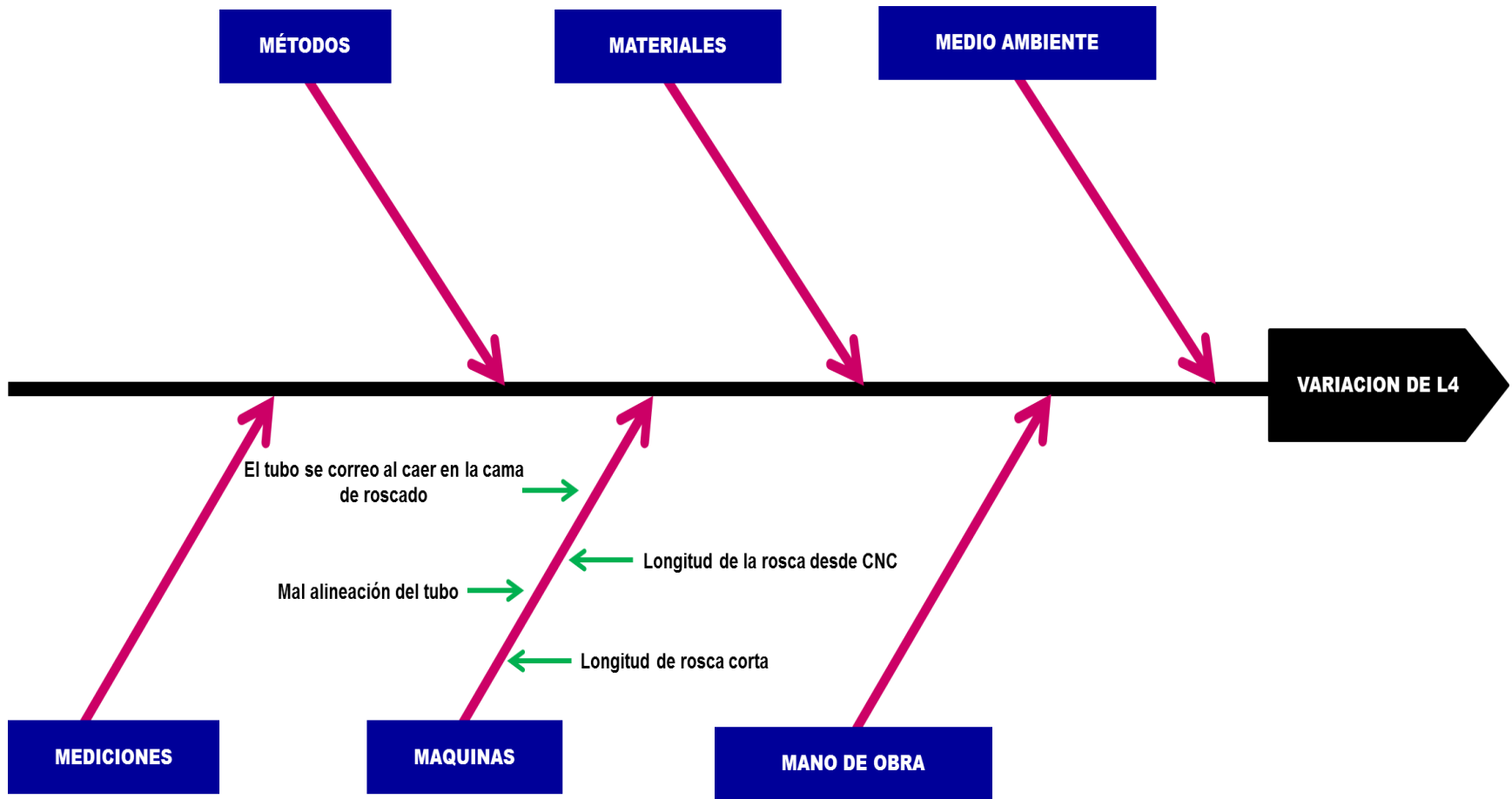
Fuente: El autor - Verificado por: El área de tecnología

Figura 29. Fishbone, Variación de altura



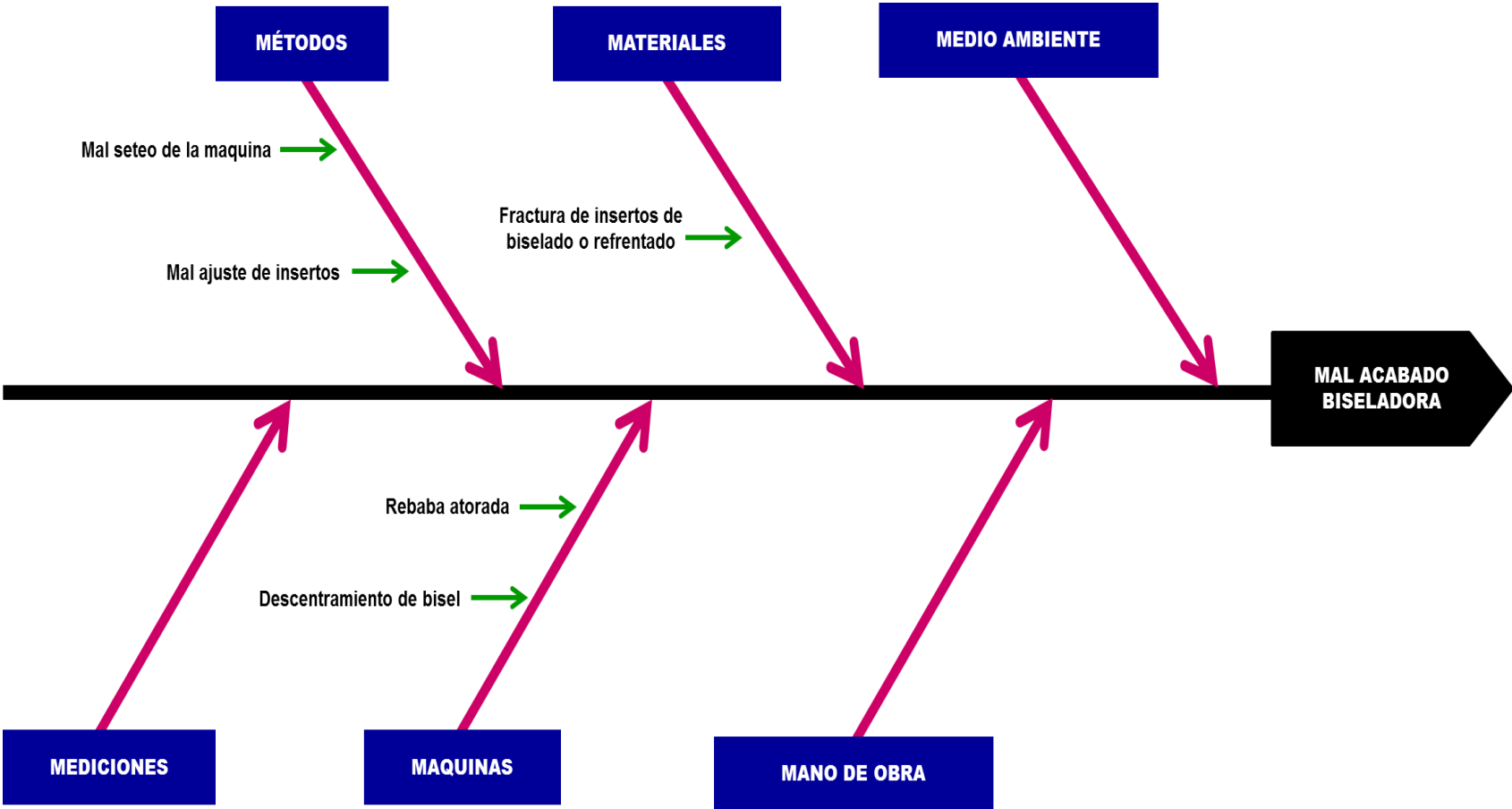
Fuente: El autor - Verificado por: El área de tecnología

Figura 30. Fishbone, Variación de L4



Fuente: El autor – Verificado por: Área de Tecnología

Figura 31. Fishbone, Mal acabado biseladora



Fuente: El autor – Verificado por: Área de Tecnología

7.3.1 Análisis del diagrama de causa- Efecto (Fishbone)

A través de las 6M (mano de obra, máquina, método, material, medio ambiente) se pudo determinar las causas que originan los principales defectos que se presentan en el área. A partir de los diagramas de causa y efecto, se elaboró una lista de las variables de entrada que afectan el proceso, para posteriormente realizar una categorización. A continuación en la **Tabla 20**. Variables de entrada, se muestra la lista de variables:

Tabla 21. Variables de entrada

NUMERO	VARIABLES DE ENTRADA
1	Asiento del inserto deformado
2	Backslash (desajuste lineal) en el eje Z
3	Baja frecuencia de lubricación en cuñas
4	Carro portamordaza muy alejado del cabezal en biselado
5	Carro portamordaza muy alejado del cabezal en roscado
6	Desalineación de Mordazas centradoras
7	Descalibracion del medidor de altura
8	Desgaste de superficie interna en tapas frontales y laterales
9	Desgaste del cuadrante de los tornillos de fijación de peines
10	Desgaste del cuadrante de los tornillos de fijación en insertos redondos
11	Desgaste del cuadrante de los tornillos de fijación insertos triangulares

Continuación **Tabla 20.** Variables de entrada

12	Desgaste en peine
13	Desgaste en rompeviruta
14	Desgastes de mordazas en biselado
15	Desgastes de mordazas en roscado
16	Extremo de tubo con gancho de punta
17	Falla mecánica en la Unión rotativa
18	Falta de ajuste en Tapas frontales y laterales
19	Falta de contacto de Presspad (flanche frontal) a la cara del tubo
20	Falta de limpieza de cabezal
21	Falta de Lubricación de cabezal y unión rotativa
22	Falta de lubricación del Eje Z
23	Falta de sujeción de peines e insertos redondos
24	Inadecuada presión de mordazas centradoras
25	Inadecuada velocidad de biselado (RPM)
26	Baja frecuencia de limpieza del cabezal en biseladora
27	Inadecuada velocidad del cabezal (RPM)
28	Inapropiada presión del soluble

Continuación **Tabla 20.** Variables de entrada

29	Inapropiado diámetro del extremo del tubo
30	Inserto redondo desgastado en roscado
31	Insertos desalineados (redondos)
32	Instrumentos mal calibrados
33	Mal armado de portapeines
34	Mal centramiento de las mordazas en la biseladora
35	Mal montaje de los insertos redondos
36	Mal posicionamiento de las portaherramientas en la biseladora
37	Mal seteo de los parámetros dimensionales en la roscadora
38	Mal seteo de portainsertos en biselado
39	Mala secuencia de montaje de peines
40	Mala ubicación de los portaherramientas en biselado
41	Ovalidad excesiva en el extremo del tubo
42	Paso programado fuera de tolerancia en la maquina
43	Problemas de medida en recalque
44	Puntos duros en la tubería
45	Refrentado muy alto

Continuación **Tabla 20.** Variables de entrada

46	Suciedad en los alojamientos de los portapeines
47	Tubo alejado del pipe stop en biselado
48	Tubo alejado del pipe stop en roscado
49	Tubo con poco bisel
50	Tubo desalineado en biselado

Fuente: El autor

7.4 CATEGORIZACION DE PARAMETROS

Luego de determinar las posibles causas raíz, el paso a seguir es otorgarle prioridad a cada una. Para esto se utiliza un método de categorización que permite establecer criterios de evaluación especificados en la **Tabla 21.** Criterios de evaluación, dándole peso de 1 hasta 10 a aspectos como seguridad, calidad, frecuencia y gravedad.

Tabla 22. Criterios de evaluación

Nº	Criterio	Peso
1	Gravedad (impacto en el efecto si ocurriera)	10
2	Frecuencia (con la que ocurre la causa)	5
3	Calidad (impacto en la calidad final del producto)	7

Continuación **Tabla 21.** Criterios de evaluación

4	Seguridad (impacto en las condiciones de seguridad)	5
---	---	---

Fuente: El autor

Se aplica la encuesta de categorización¹⁰ a trabajadores de distinto nivel en la empresa, con el fin de obtener información que no esté sesgada. Se utiliza la ficha técnica de la **Tabla 22.** Ficha técnica de encuesta.

Tabla 23. Ficha técnica de la encuesta

Nombre de la encuesta:	Categorización de variables
Objetivo:	Priorizar las variables
Realizada por:	Melissa Osorio López
Fecha de muestreo:	26 – 29 de Junio de 2012
Área de cobertura:	Operadores, supervisores del área de roscado
Universo:	14 trabajadores
Tamaño de la muestra:	12 trabajadores
Elemento de muestreo:	Trabajadores del área de roscado y biselado

¹⁰ Ver Anexo 1

Continuación **Tabla 22.** Ficha técnica de la encuesta

Método:	Entrevista personal
Instrumento:	Encuesta personal

Fuente: El autor

Luego de realizar los cálculos necesarios y analizar la información tabulada, se concluye en la **Tabla 23.** Resumen final de categorización, las variables de entrada a estudiar en orden de importancia son:

Tabla 24. Resumen final categorización

	IMPACTO SI EL EFECTO OCURRIERA	CON LA QUE OCURRE LA CAUSA	IMPACTO EN LA CALIDAD FINAL DEL PRODUCTO	IMPACTO EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD	TOTAL
Desgaste en peine	9,33	6,83	9,08	1,92	201
Mal centramiento de las mordazas en la biseladora	8,58	3,75	8,42	2,92	178
Desgastes de mordazas en biselado	8,5	4,5	7,5	2,67	173
Carro portamordaza muy alejado del cabezal en biselado	8,17	4,25	7,67	3,17	172
Baja frecuencia de limpieza de mordazas	8,17	5,08	7,5	2,42	172
Inserto redondo desgastado en roscado	7,67	4,83	7,25	3	167

Continuación **Tabla 23.** Resumen final de categorización

Desalineación de Mordazas centradoras	8,08	3,33	6,83	2,42	157
Inadecuada presión de mordazas centradoras	6,25	3,75	5,83	2,33	134

Fuente: El autor

8. DEFINICION DE LIMITES DE CONTROL

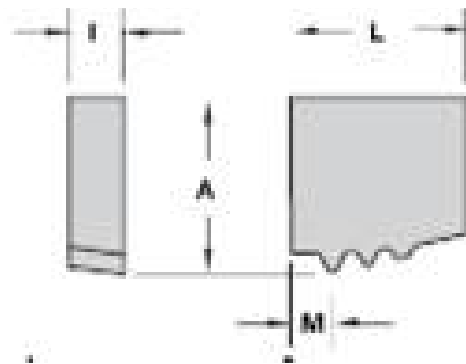
Luego de haber analizado a fondo la línea de terminación PMC y determinar las variables que tienen mayor incidencia en el porcentaje de defectos que se generan en la línea, el paso a seguir es calcular los límites de control para dichas variables. Para lo cual se define la metodología a utilizar en la medición, luego se toman el número de datos establecidos, se calcula el tamaño de la muestra con la información obtenida, se toman más datos en caso de que sea necesario y finalmente se calculan los límites de control para la carta de medias y de rangos.

8.1 MEDICION DE VARIABLES

Se hace necesario definir la metodología a utilizar para medir cada una de las variables a estudiar, teniendo en cuenta la frecuencia y los instrumentos necesarios para realizar las mediciones. A continuación se describe dicha información por variable:

- **Desgaste en peine:** Durante el mecanizado de las roscas, la parte del peine que realiza el corte sufre un desgaste dimensional. Para realizar la medición se utilizara un plano de la herramienta y con un amplificador de imagen y una reglilla se medirá en milésimas de pulgadas el desgaste que sufre la herramienta, el cual se considera crítico a las 0,004”.

Figura 32. Peines



Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris Tubocaribe

- **Mal centramiento de las mordazas de biseladora:** Durante la elaboración del bisel, las mordazas se descentran lo cual genera defectos en la tubería. Utilizando un indicador de caratula se deben centrar las mordazas en dos

puntos a $5 \frac{3}{4}$ " del cabezal, si las medidas arrojadas superan los 0,010" se considera crítico y por tal motivo se deben centrar las mordazas.

- **Desgaste de mordazas en biselado:** Las mordazas sujetan la tubería para que esta pueda ser biselada, pero con el paso del tiempo el área que tiene contacto con los tubos se desgasta. Esta herramienta varía dependiendo del tipo y diámetro de la tubería a procesar, en este caso se trabaja con tubing $2 \frac{7}{8}$ ", siendo el producto que más se fabrica en roscado. El área de contacto tiene una longitud de 0,881", cuando el desgaste supera los 0,100" se deben cambiar las mordazas.
- **Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado:** El carro portamordaza debe estar a una distancia de $\frac{1}{4}$ " del cabezal de roscado. Esta medición se debe realizar con una reglilla en milésimas de pulgada.

- **Baja frecuencia de limpieza de mordazas:**

Actualmente las mordazas se limpian cada vez que el operador detecta acumulación excesiva de viruta. Si las mordazas tienen una gran cantidad de viruta, esto va a impedir el mecanizado de las roscas, por tal motivo se hace necesario establecer un cronograma para la limpieza de mordazas como propuesta de mejora; debido a que esta variable no se puede medir cuantitativamente.

Figura 33. Mordazas centradoras



Fuente: El autor

- **Inserto redondo desgastado en roscado:** El inserto redondo se debe cambiar cuando el taper (conicidad) o ring gauge (diámetro) varían, la tolerancia permitida debe ser menor a 0,006". Para realizar la medición se utilizara un plano de la herramienta y con un amplificador de imagen y una

reglilla se medirá en milésimas de pulgadas el desgaste que sufre la herramienta.

- **Desalineación de mordazas centradoras:** Para alinear las mordazas centradoras se utiliza un indicador de caratula a 5" del cabezal. Si la medida arrojada superan los 0,008" se considera crítico y por tal motivo se debe alinear las mordazas.
- **Inadecuada presión de mordazas centradoras:** Con el indicador de caratula se puede medir la presión de las mordazas centradoras. Los valores óptimos están entre 300 y 600psi.

8.2 TOMA DE DATOS

En TuboCaribe no se ha realizado anteriormente un estudio para analizar las variables de entrada del proceso de roscado, por tal motivo no se cuenta con datos previos y se hace necesario tomar una muestra. Teniendo en cuenta que en promedio se fabrican entre 600 y 900 roscas por turno, se calcula un numero promedio entre ambos valores, en este caso 750 roscas por turno y se toma como muestra el 10% de este valor; es decir 75 muestras. Los datos de tomaran en la maquina¹ para las roscas fabricadas en la tubería tubing de 2 3/8 y 2 7/8.

Las mediciones se realizan en el turno de 7am a 5pm, se toman 6 datos por variable al día y así sucesivamente hasta tomar todas las muestras necesarias, para esto se utilizara una ficha técnica¹¹ de medición, se registran los datos en las **Tablas 24 – 30**. Hojas de registro Variable 1 – 8 y se grafican en **Grafica 3 – 9**. Datos. Se cuenta con el apoyo del personal del área y con la coordinación de planeación de producción (supply chain), con quienes se alinearan las tomas de

¹¹ Ver anexo 2

datos con las interrupciones programadas dentro de la producción como lo son:
Limpieza de máquinas y descanso en turno.

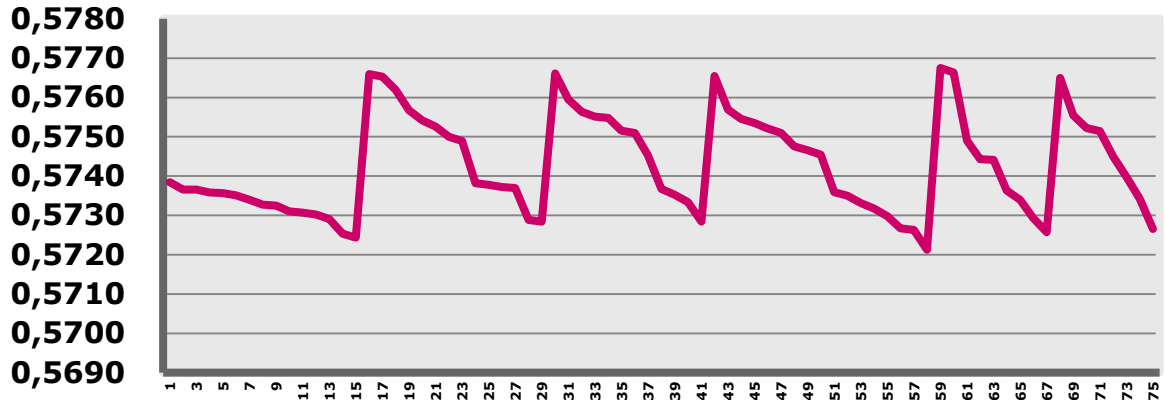
8.2.1 Desgaste de peine

Tabla 25. Hoja de Registro Variable 1

HOJA DE REGISTRO						
Nombre: _____			Variable: _____			
Fecha: _____			Hora: _____			
DATOS						
DIA	1	2	3	4	5	6
31/07/2012	0,5738	0,5737	0,5737	0,5736	0,5736	0,5735
01/08/2012	0,5734	0,5733	0,5732	0,5731	0,5731	0,5730
02/08/2012	0,5729	0,5725	0,5724	0,5766	0,5765	0,5762
03/08/2012	0,5757	0,5754	0,5753	0,5750	0,5749	0,5738
06/08/2012	0,5738	0,5737	0,5737	0,5729	0,5728	0,5766
07/08/2012	0,5759	0,5756	0,5755	0,5755	0,5752	0,5751
08/08/2012	0,5745	0,5737	0,5735	0,5733	0,5728	0,5765
09/08/2012	0,5757	0,5755	0,5754	0,5752	0,5751	0,5748
10/08/2012	0,5747	0,5745	0,5736	0,5735	0,5733	0,5732
13/08/2012	0,5730	0,5727	0,5726	0,5721	0,5768	0,5766
14/08/2012	0,5749	0,5744	0,5744	0,5736	0,5734	0,5729
15/08/2012	0,5726	0,5765	0,5755	0,5752	0,5751	0,5745
16/08/2012	0,5740	0,5734	0,5727			

Fuente: El autor

Grafica 3. Datos, Desgaste de peine



Fuente: El autor

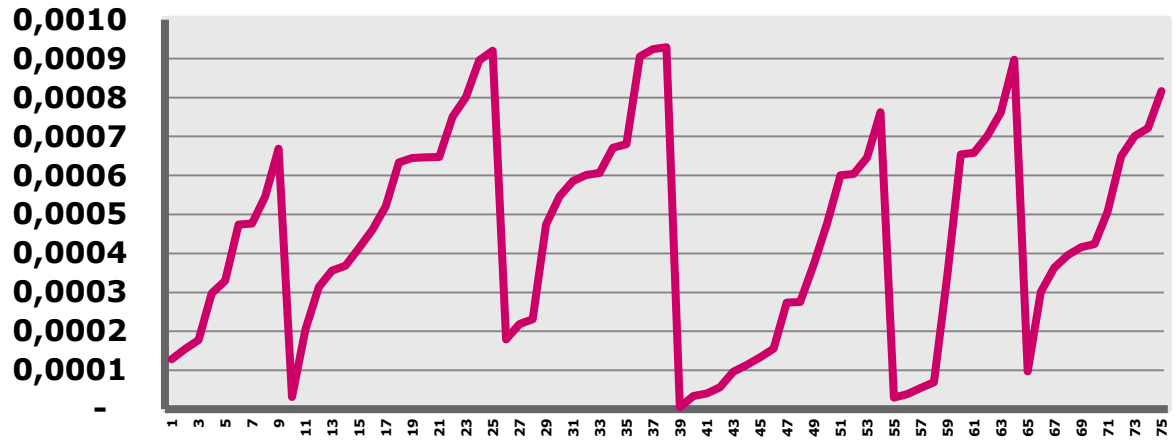
8.2.2 Mal centramiento de mordazas de biseladora

Tabla 26. Hoja de registro Variable 2

HOJA DE REGISTRO						
Nombre: _____				Variable: _____		
Fecha: _____				Hora: _____		
DATOS						
DIA	1	2	3	4	5	6
31/07/2012	0,0001	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,0005
01/08/2012	0,0005	0,0005	0,0007	0,0000	0,0002	0,0003
02/08/2012	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0006
03/08/2012	0,0006	0,0006	0,0006	0,0008	0,0008	0,0009
06/08/2012	0,0009	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005
07/08/2012	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007	0,0007	0,0009
08/08/2012	0,0009	0,0009	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
09/08/2012	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003	0,0003
10/08/2012	0,0004	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0008
13/08/2012	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001	0,0003	0,0007
14/08/2012	0,0007	0,0007	0,0008	0,0009	0,0001	0,0003
15/08/2012	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006
16/08/2012	0,0007	0,0007	0,0008			

Fuente: El autor

Grafica 4. Datos, Mal centramiento de mordazas de biseladora



Fuente: El autor

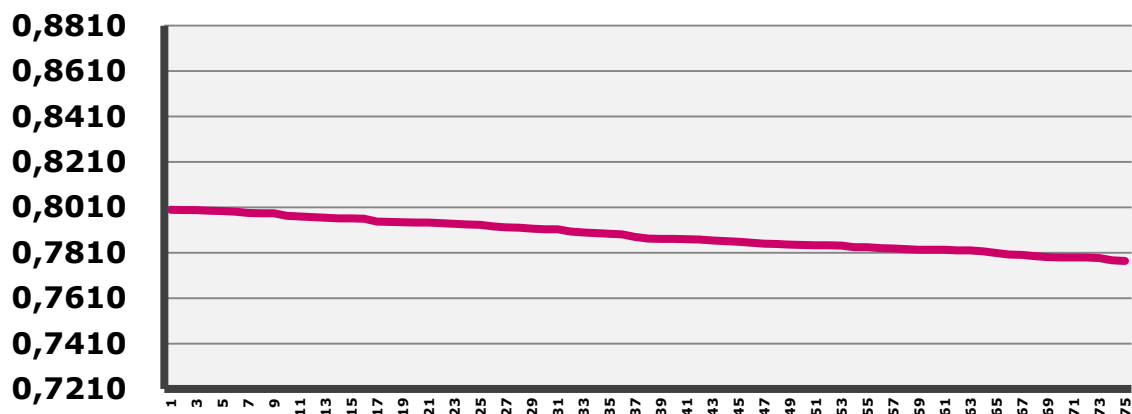
8.2.3 Desgaste de mordazas en biselado

Tabla 27. Hoja de registro Variable 3

HOJA DE REGISTRO						
Nombre: _____	Variable: _____					
Fecha: _____	Hora: _____					
DATOS						
DIA	1	2	3	4	5	6
31/07/2012	0,7999	0,7999	0,7998	0,7995	0,7994	0,7992
01/08/2012	0,7985	0,7985	0,7983	0,7973	0,7970	0,7967
02/08/2012	0,7964	0,7962	0,7961	0,7960	0,7948	0,7946
03/08/2012	0,7945	0,7943	0,7943	0,7940	0,7938	0,7935
06/08/2012	0,7933	0,7926	0,7922	0,7921	0,7916	0,7913
07/08/2012	0,7913	0,7904	0,7899	0,7897	0,7893	0,7891
08/08/2012	0,7880	0,7873	0,7871	0,7871	0,7870	0,7868
09/08/2012	0,7864	0,7861	0,7858	0,7854	0,7850	0,7849
10/08/2012	0,7846	0,7844	0,7843	0,7843	0,7842	0,7835
13/08/2012	0,7835	0,7830	0,7829	0,7826	0,7824	0,7824
14/08/2012	0,7824	0,7821	0,7820	0,7816	0,7810	0,7802
15/08/2012	0,7800	0,7796	0,7792	0,7790	0,7789	0,7789
16/08/2012	0,7787	0,7778	0,7774			

Fuente: El autor

Grafica 5. Datos, Desgaste de mordazas en biselado



Fuente: El autor

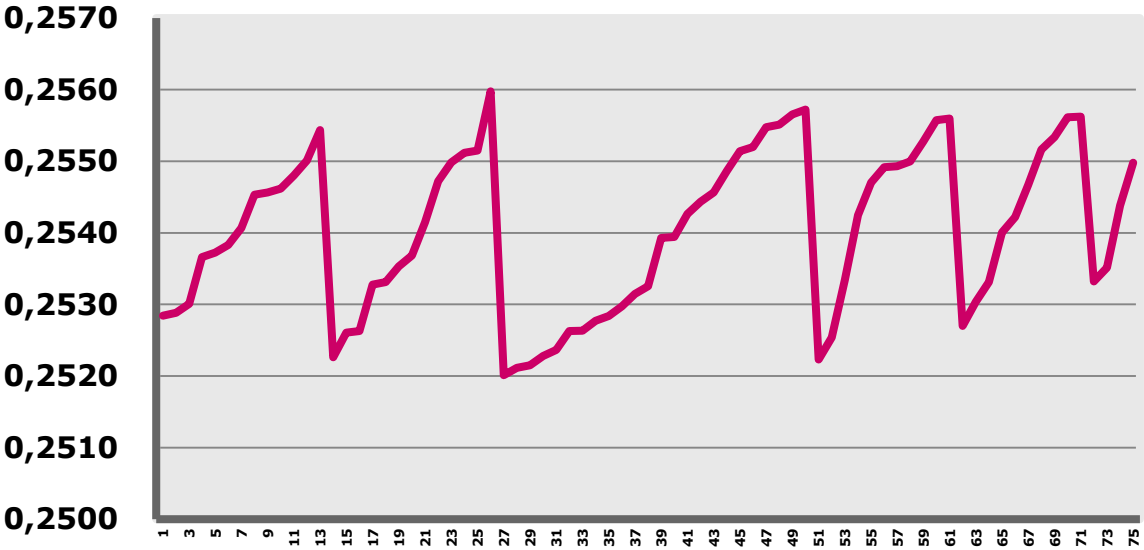
8.2.4 Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado

Tabla 28. Hoja de registro Variable 4

HOJA DE REGISTRO						
Nombre: _____			Variable: _____			
Fecha: _____			Hora: _____			
DATOS						
DIA	1	2	3	4	5	6
31/07/2012	0,2528	0,2529	0,2530	0,2537	0,2537	0,2538
01/08/2012	0,2541	0,2545	0,2546	0,2546	0,2548	0,2550
02/08/2012	0,2554	0,2523	0,2526	0,2526	0,2533	0,2533
03/08/2012	0,2535	0,2537	0,2541	0,2547	0,2550	0,2551
06/08/2012	0,2551	0,2560	0,2520	0,2521	0,2521	0,2523
07/08/2012	0,2524	0,2526	0,2526	0,2528	0,2528	0,2530
08/08/2012	0,2531	0,2533	0,2539	0,2539	0,2543	0,2544
09/08/2012	0,2546	0,2549	0,2551	0,2552	0,2555	0,2555
10/08/2012	0,2557	0,2557	0,2522	0,2525	0,2533	0,2542
13/08/2012	0,2547	0,2549	0,2549	0,2550	0,2553	0,2556
14/08/2012	0,2556	0,2527	0,2530	0,2533	0,2540	0,2542
15/08/2012	0,2547	0,2552	0,2553	0,2556	0,2556	0,2533
16/08/2012	0,2535	0,2544	0,2550			

Fuente: El autor

Grafica 6. Datos, Portamordaza alejado del cabezal de biselado



Fuente: El autor

8.2.5 Baja frecuencia de limpieza de mordazas

Por ser una variable humano dependiente, en la cual la única variación consiste en limpiar o no las mordazas, no se puede tomar datos para la carta de control.

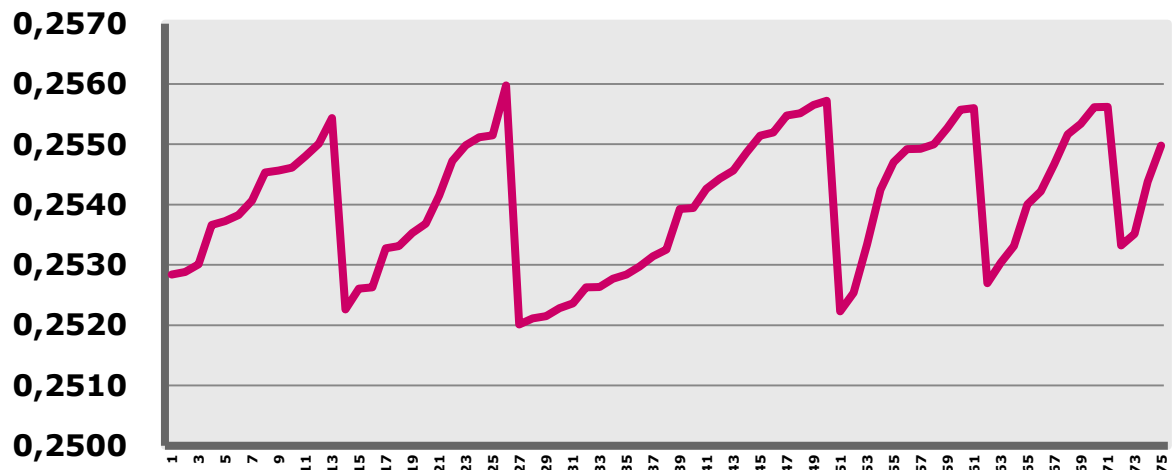
8.2.6 Inserto redondo desgastado en roscado

Tabla 29. Hoja de Registro Variable 6

HOJA DE REGISTRO						
Nombre: _____	Variable: _____					
Fecha: _____	Hora: _____					
DATOS						
DIA	1	2	3	4	5	6
31/07/2012	0,6279	0,6279	0,6274	0,6274	0,6267	0,6267
01/08/2012	0,6265	0,6263	0,6263	0,6262	0,6259	0,6255
02/08/2012	0,6254	0,6253	0,6250	0,6276	0,6276	0,6275
03/08/2012	0,6272	0,6270	0,6269	0,6268	0,6267	0,6266
06/08/2012	0,6265	0,6265	0,6263	0,6259	0,6259	0,6258
07/08/2012	0,6257	0,6256	0,6253	0,6277	0,6275	0,6274
08/08/2012	0,6273	0,6273	0,6273	0,6272	0,6269	0,6264
09/08/2012	0,6257	0,6255	0,6253	0,6251	0,6250	0,6250
10/08/2012	0,6249	0,6280	0,6275	0,6274	0,6266	0,6266
13/08/2012	0,6264	0,6262	0,6262	0,6259	0,6254	0,6253
14/08/2012	0,6251	0,6250	0,6249	0,6279	0,6279	0,6279
15/08/2012	0,6277	0,6276	0,6273	0,6272	0,6270	0,6268
16/08/2012	0,6264	0,6252	0,6250			

Fuente: El autor

Grafica 7. Datos, Inserto redondo desgastado en roscado



Fuente: El autor

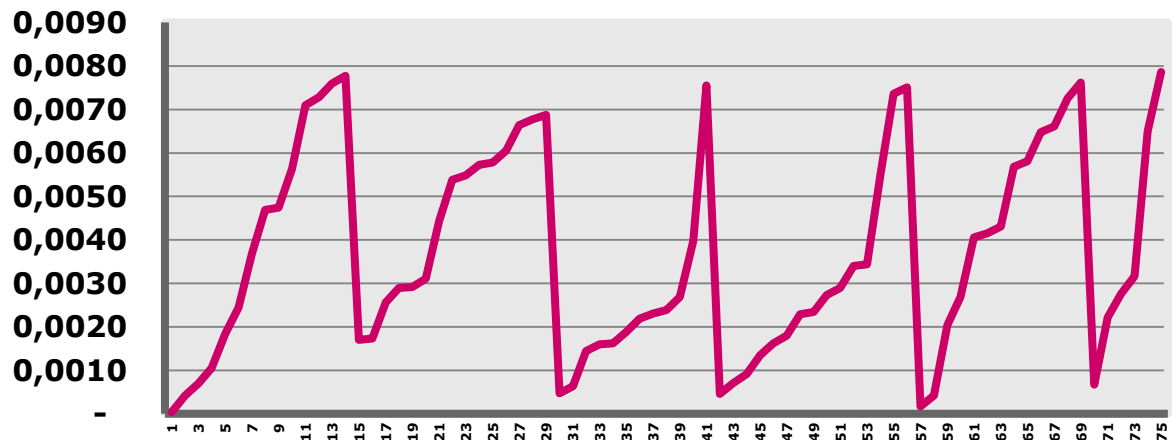
8.2.7 Desalineación de mordazas centradoras

Tabla 30. Hoja de registro Variable 7

HOJA DE REGISTRO						
Nombre: _____						Variable: _____
Fecha: _____						Hora: _____
DIA	DATOS					
	1	2	3	4	5	6
31/07/2012	0,0000	0,0004	0,0007	0,0011	0,0018	0,0024
01/08/2012	0,0037	0,0047	0,0047	0,0056	0,0071	0,0073
02/08/2012	0,0076	0,0078	0,0017	0,0017	0,0026	0,0029
03/08/2012	0,0029	0,0031	0,0044	0,0054	0,0055	0,0057
06/08/2012	0,0058	0,0061	0,0066	0,0068	0,0069	0,0005
07/08/2012	0,0006	0,0014	0,0016	0,0016	0,0019	0,0022
08/08/2012	0,0023	0,0024	0,0027	0,0040	0,0076	0,0005
09/08/2012	0,0007	0,0009	0,0013	0,0016	0,0018	0,0023
10/08/2012	0,0023	0,0027	0,0029	0,0034	0,0034	0,0055
13/08/2012	0,0074	0,0075	0,0002	0,0004	0,0020	0,0027
14/08/2012	0,0041	0,0042	0,0043	0,0057	0,0058	0,0065
15/08/2012	0,0066	0,0073	0,0076	0,0007	0,0022	0,0028
16/08/2012	0,0032	0,0065	0,0079			

Fuente: El autor

Grafica 8. Datos, Desalineación de mordazas centradoras



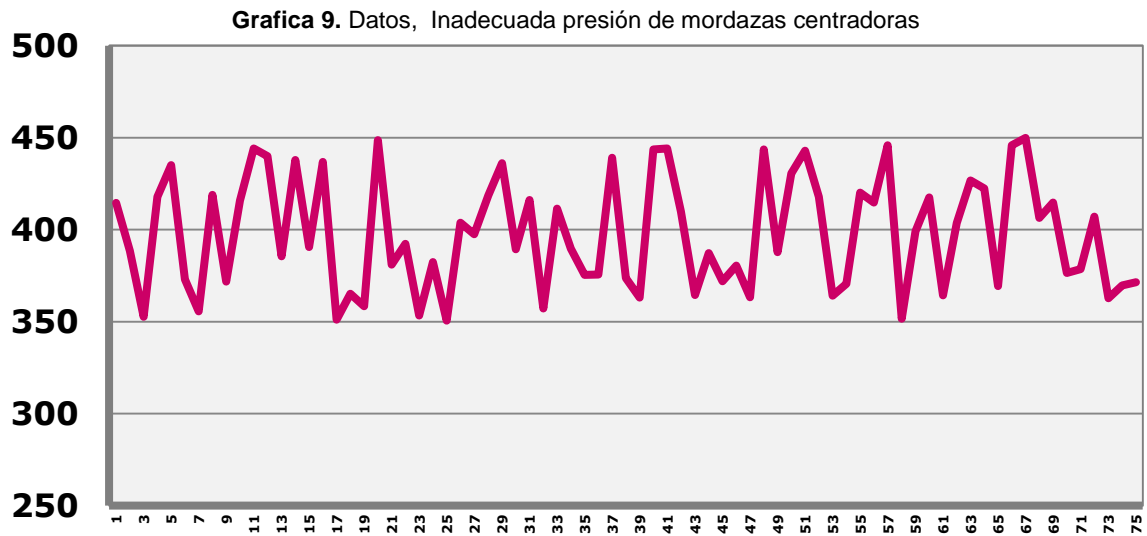
Fuente: El autor

8.2.8 Inadecuada presión de mordazas centradoras

Tabla 31. Hoja de registro Variable 8

HOJA DE REGISTRO						
Nombre: _____			Variable: _____			
Fecha: _____			Hora: _____			
DATOS						
DIA	1	2	3	4	5	6
31/07/2012	415	389	353	418	435	373
01/08/2012	356	419	372	416	444	440
02/08/2012	386	438	391	437	351	365
03/08/2012	358	449	381	392	353	382
06/08/2012	351	404	397	419	436	389
07/08/2012	416	357	411	390	375	376
08/08/2012	439	374	363	444	444	410
09/08/2012	365	387	372	381	363	444
10/08/2012	388	431	443	418	364	371
13/08/2012	420	415	446	352	399	418
14/08/2012	364	404	427	422	369	446
15/08/2012	450	406	415	376	379	407
16/08/2012	363	370	371			

Fuente: El autor



Fuente: El autor

8.3 CALCULO DE LA MUESTRA

En condiciones normales, la planta produce entre 600 y 900 roscas 8RD al día, pero debido a paradas programadas y problemas que ocurren en la cotidianidad, la planta no puede procesar todos los días el mismo número de roscas. Por tal motivo la población con la que se trabajara será infinita, debido a que no se puede conocer con exactitud el número de roscas que se podrán procesar en un día.

El método de muestreo probabilístico que se utilizara será el aleatorio simple (MAS), debido a que otorga a todos los elementos de la muestra la misma probabilidad de ser elegidos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se empleara la siguiente fórmula para el cálculo de muestras:

Ecuación 4. Calculo de muestra para poblaciones infinitas

$$n = \frac{Z_a^2 * S^2}{e^2}$$

Dónde:

Tabla 32. Calculo de la muestra

Z_a	Nivel de confianza
S^2	Varianza
e^2	Error muestral

Fuente: El autor

8.3.1 Desgaste de peine

Empleando la fórmula para el cálculo de la muestra, se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{Z_a^2 * S^2}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,000001581}{0,001^2} = 6.07 \cong 7 \text{ mediciones}$$

No se hace necesario tomar más datos para analizar la variable.

8.3.2 Mal centramiento de mordazas de biseladora

Empleando la fórmula para el cálculo de la muestra, se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{Z_a^2 * S^2}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,000000007}{0,001^2} = 27,9 \cong 28 \text{ mediciones}$$

No se hace necesario tomar más datos para analizar la variable.

8.3.3 Desgaste de mordazas en biselado

Empleando la fórmula para el cálculo de la muestra, se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{Z_a^2 * S^2}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,00004542}{0,001^2} = 174,49 \cong 174 \text{ mediciones}$$

Se hace necesario tomar 99 datos adicionales para analizar la variable.

8.3.4 Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado

Empleando la fórmula para el cálculo de la muestra, se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{Z_a^2 * S^2}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,00000127}{0,001^2} = 4,86 \cong 5 \text{ mediciones}$$

No se hace necesario tomar más datos para analizar la variable.

8.3.5 Baja frecuencia de limpieza de mordazas

Por ser una variable humano dependiente, en la cual la única variación consiste en limpiar o no las mordazas, no se puede tomar datos y por tal motivo no se calcula tamaño de muestra.

8.3.6 Inserto redondo desgastado en roscado

Empleando la fórmula para el cálculo de la muestra, se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{Z_a^2 * S^2}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,00000327}{0,001^2} = 12,5 \cong 13 \text{ mediciones}$$

No se hace necesario tomar más datos para analizar la variable.

8.3.7 Desalineación de mordazas centradoras

Empleando la fórmula para el cálculo de la muestra, se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{Z_a^2 * S^2}{e^2} = \frac{1,96^2 * 0,00000569}{0,001^2} = 21,8 \cong 22 \text{ mediciones}$$

No se hace necesario tomar más datos para analizar la variable.

8. 3.8 Inadecuada presión de mordazas centradoras

Empleando la fórmula para el cálculo de la muestra, se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{Z_a^2 * S^2}{e^2} = \frac{1,96^2 * 940,327}{10^2} = 36,12 \cong 36 \text{ mediciones}$$

No se hace necesario tomar más datos para analizar la variable.

8.4 DATOS ADICIONALES

Para analizar la variable 3 "Desgaste de mordazas en biselado", se toman datos adicionales, según lo indica el tamaño de la muestra, estos se registran en la **Tabla 32**. Datos adicionales Variable 3 y **Grafica 10**. Datos adicionales Variable 3.

Tabla 33. Datos adicionales Variable 3

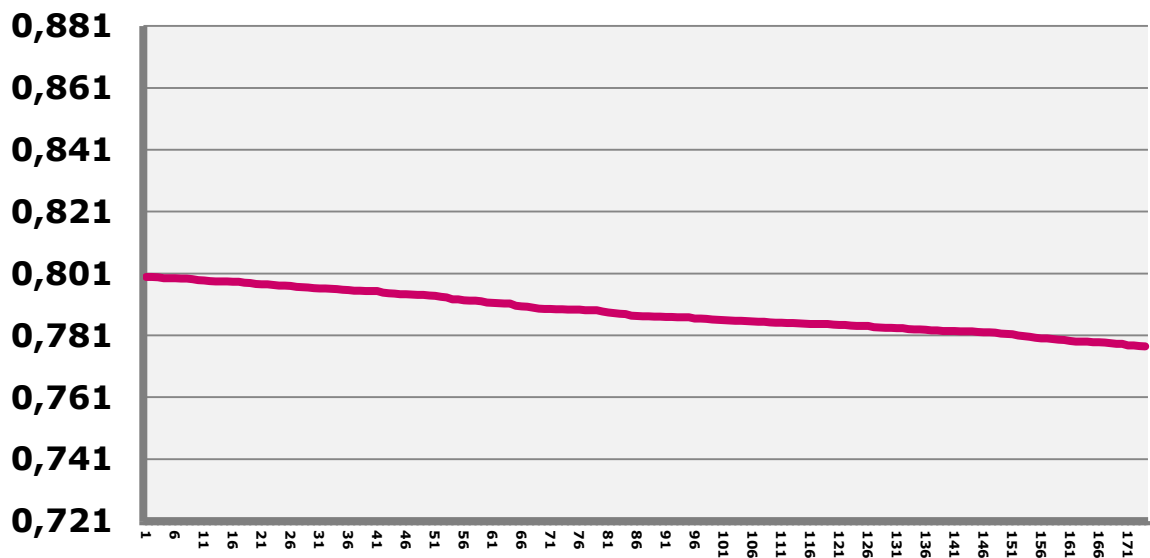
HOJA DE REGISTRO						
Nombre: _____			Variable: _____			
Fecha: _____			Hora: _____			
DATOS						
DIA	1	2	3	4	5	6
31/07/2012	0,7999	0,7999	0,7998	0,7995	0,7994	0,7992
01/08/2012	0,7985	0,7985	0,7983	0,7973	0,7970	0,7967
02/08/2012	0,7964	0,7962	0,7961	0,7960	0,7948	0,7946
03/08/2012	0,7945	0,7943	0,7943	0,7940	0,7938	0,7935
06/08/2012	0,7933	0,7926	0,7922	0,7921	0,7916	0,7913
07/08/2012	0,7913	0,7904	0,7899	0,7897	0,7893	0,7891
08/08/2012	0,7880	0,7873	0,7871	0,7871	0,7870	0,7868
09/08/2012	0,7864	0,7861	0,7858	0,7854	0,7850	0,7849
10/08/2012	0,7846	0,7844	0,7843	0,7843	0,7842	0,7835
13/08/2012	0,7835	0,7830	0,7829	0,7826	0,7824	0,7824
14/08/2012	0,7824	0,7821	0,7820	0,7816	0,7810	0,7802
15/08/2012	0,7800	0,7796	0,7792	0,7790	0,7789	0,7789

Continuación **Tabla 32.** Datos adicionales Variable 3

16/08/2012	0,7787	0,7778	0,7774	0,7995	0,7994	0,7993
17/08/2012	0,7989	0,7987	0,7985	0,7984	0,7983	0,7980
20/08/2012	0,7979	0,7976	0,7976	0,7975	0,7971	0,7971
21/08/2012	0,7966	0,7963	0,7960	0,7957	0,7956	0,7955
22/08/2012	0,7955	0,7954	0,7954	0,7953	0,7942	0,7941
23/08/2012	0,7939	0,7926	0,7923	0,7922	0,7915	0,7914
24/08/2012	0,7906	0,7903	0,7895	0,7895	0,7894	0,7894
27/08/2012	0,7894	0,7893	0,7892	0,7891	0,7887	0,7884
28/08/2012	0,7882	0,7879	0,7874	0,7872	0,7872	0,7870
29/08/2012	0,7869	0,7868	0,7865	0,7863	0,7860	0,7859
30/08/2012	0,7858	0,7858	0,7857	0,7855	0,7854	0,7852
31/08/2012	0,7851	0,7851	0,7850	0,7848	0,7847	0,7847
03/09/2012	0,7847	0,7841	0,7840	0,7840	0,7836	0,7835
04/09/2012	0,7834	0,7833	0,7830	0,7828	0,7826	0,7823
05/09/2012	0,7823	0,7823	0,7820	0,7819	0,7815	0,7814
06/09/2012	0,7808	0,7805	0,7800	0,7798	0,7795	0,7788
07/09/2012	0,7788	0,7785	0,7783	0,7783	0,7777	0,7775

Fuente: El autor

Grafica 10. Datos adicionales Variable 3



Fuente: El autor

8.5 LIMITES DE CONTROL

Analizados los datos estadísticamente, el paso a seguir es estudiar el comportamiento y la variabilidad del proceso a lo largo del tiempo. Para esto se hace uso de las cartas de control $\bar{X} - R$.

8.5.1 Carta \bar{X}

Realizados los cálculos, los resultados obtenidos se tabulan en la **Tabla 33**. Carta de medias:

Tabla 34. Carta de medias

VARIABLE	\bar{X}	A_2	\bar{R}	LCS	LC	LCI
Desgaste de Peine	0,5743	0,4830	0,0024	0,5754	0,5743	0,5731
Mal centramiento de las mordazas de biseladora	0,0005	0,4830	0,0004	0,0007	0,0005	0,0002
Desgaste de mordazas de biselado	0,7885	0,4830	0,0007	0,7889	0,7885	0,7882
Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado	0,2540	0,4830	0,0019	0,2549	0,2540	0,2531
Baja frecuencia de limpieza de mordazas	--	--	--	--	--	--
Inserto redondo desgastado en roscado	0,6264	0,4830	0,0015	0,6272	0,6264	0,6257
Desalineación de mordazas centradoras	0,0038	0,4830	0,0042	0,0058	0,0038	0,0017
Inadecuada presión de mordazas centradoras	398,19	0,4830	75	434,42	398,19	361,97

Fuente: El autor

8.5.2 Carta \bar{R}

Luego de realizados los cálculos, los resultados obtenidos se tabulan en la **Tabla 34**. Carta de rangos:

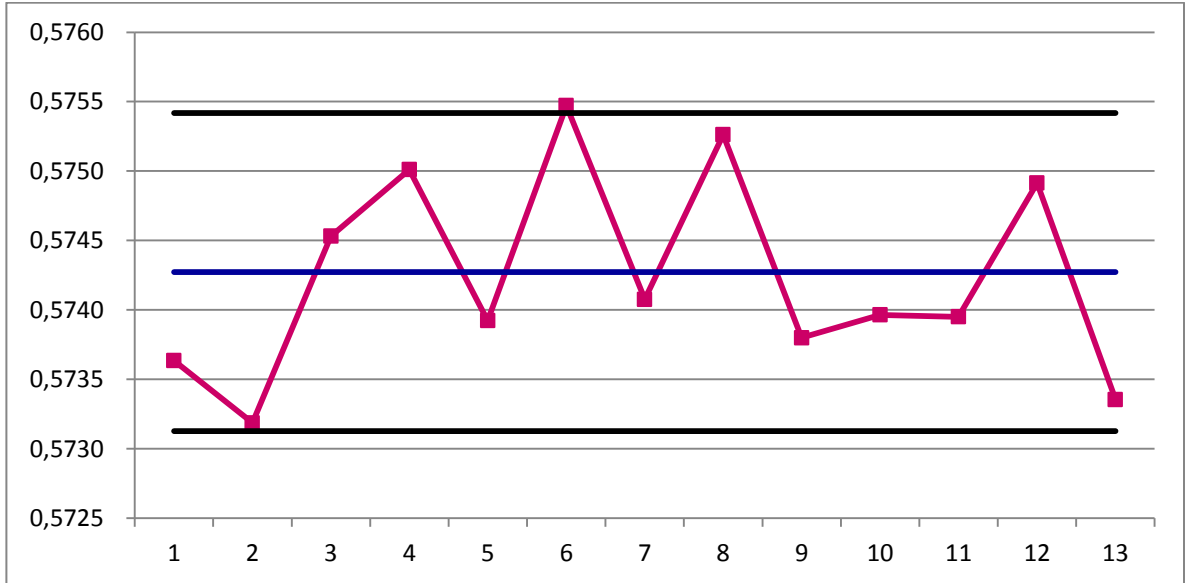
Tabla 35. Carta de rangos

VARIABLE	\bar{R}	D_3	D_4	LCS	LC	LCI
Desgaste de Peine	0,0024	0	2,0040	0,0048	0,0024	0
Mal centramiento de las mordazas de biseladora	0,0004	0	2,0040	0,0009	0,0004	0
Desgaste de mordazas de biselado	0,0020	0	2,0040	0,0040	0,0020	0
Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado	0,0019	0	2,0040	0,0038	0,0019	0
Inserto redondo desgastado en roscado	0,0015	0	2,0040	0,0030	0,0015	0
Desalineación de mordazas centradoras	0,0042	0	2,0040	0,0085	0,0042	0
Inadecuada presión de mordazas centradoras	75	0	2,0040	150,3	75	0
Desgaste de Peine	0,0024	0	2,0040	0,0048	0,0024	0

Fuente: El autor

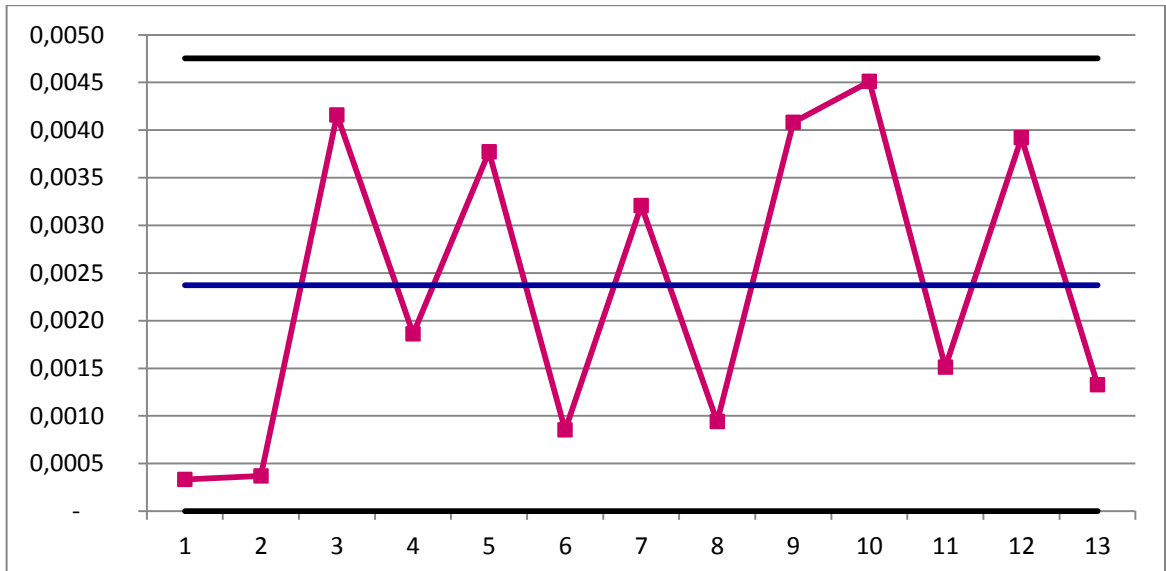
8.5.3 Carta de medias y rangos: Desgaste de peine

Grafica 11. Carta de medias, Variable 1



Fuente: El autor

Grafica 12. Carta de rangos, Variable 1



Fuente: El autor

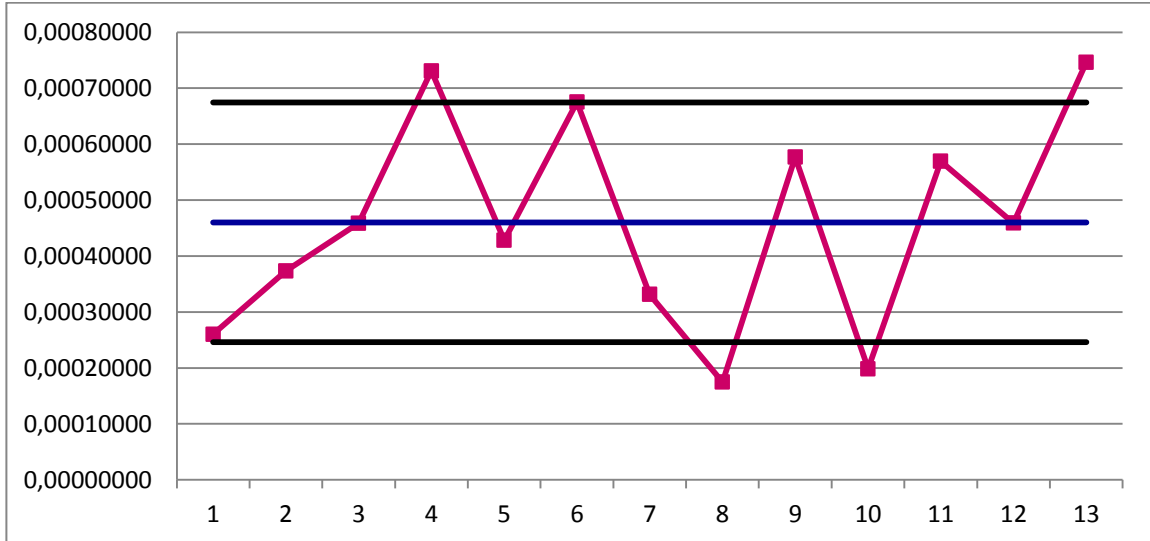
En el anterior diagrama: **Grafica 11.** Carta de medias: Variable 1, se puede apreciar que el punto 6 (0,5754) se encuentra fuera de los límites y que otros están cerca de los LCS y LCI (punto 2, 8), lo cual indica que la vida útil de los peines no se ha comportado de manera estable y que se encuentra fuera de control estadístico en cuanto a tendencia central. Esto es señal de que hay una situación especial que causa que los puntos no estén variando aleatoriamente dentro de la carta.

En el diagrama: **Grafica 12.** Carta de rangos: Variable 2, se puede observar que no hay puntos fuera de los límites y además el comportamiento de los puntos no sigue ningún patrón especial, por lo tanto la vida útil de los peines ha funcionado de manera estable en cuanto a la amplitud de su variación. Por lo que la variación que se observa en los rangos muestrales se debe a que el tamaño del subgrupo o muestras es pequeño y a la variación que comúnmente tiene el proceso.

Según la distribución de los datos, se puede apreciar que los peines se desgastan en promedio cada dos días, al ser una pieza pequeña y de acuerdo al nivel de producción sufre un desgaste rápido. Cuando la gráfica alcanza los puntos más bajos significa que el peine está desgastado y que es necesario cambiar la herramienta para que no se originen defectos en la línea, en los casos en que la gráfica alcanza los valores más altos significa que el peine desgastado ha sido cambiado por uno nuevo.

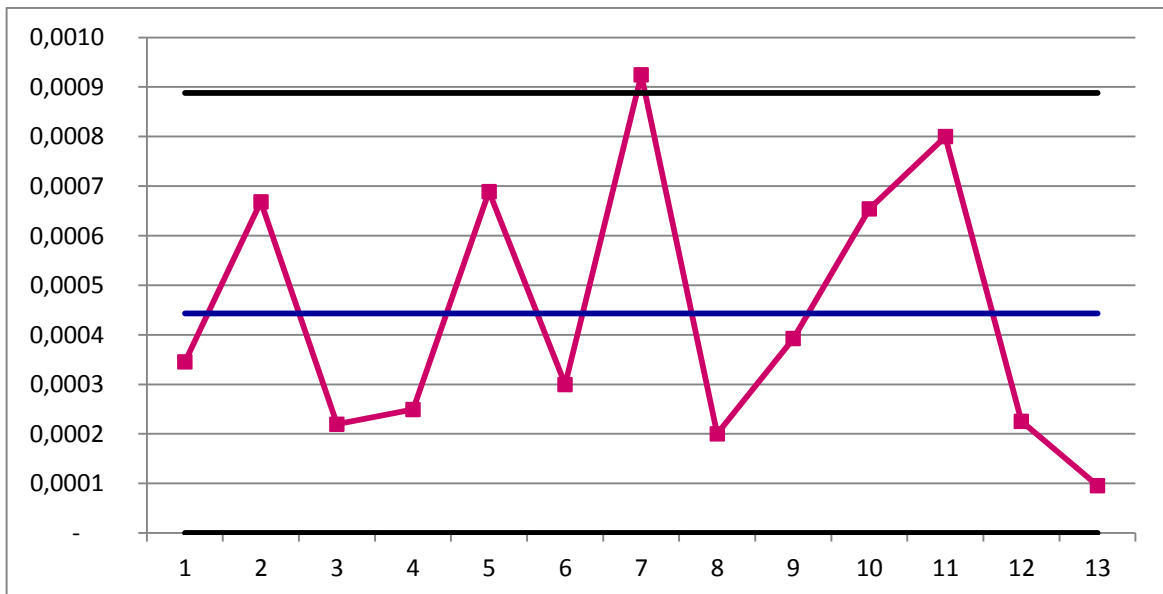
8.5.4 Carta de medias y rangos: Mal centramiento de mordazas de biseladora

Grafica 13. Carta de medias, Variable 2



Fuente: El autor

Grafica 14. Carta de rangos, Variable 2



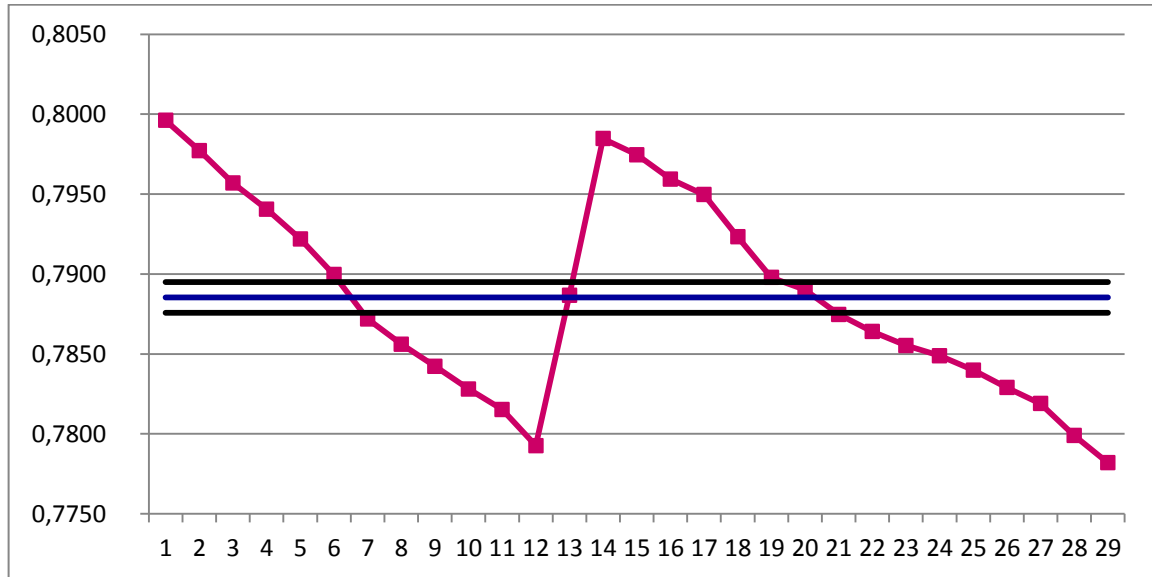
Fuente: El autor

En el anterior diagrama: **Grafica 13.** Carta de medias: Variable 2, se puede apreciar que uno o más puntos (4, 6, 13) se encuentran fuera de los límites al igual que en la **Grafica 14.** Carta de Rangos: Variable 2. Esto indica que el centramiento de mordazas de biseladora no se ha comportado de manera estable y que se encuentra fuera de control estadístico en cuanto a tendencia central y amplitud. Esto es señal de que hay una situación especial que causa que los puntos no estén variando aleatoriamente dentro de la carta.

Según la distribución de los datos, se puede apreciar que las mordazas se descentran en promedio cada dos o tres días, a pesar de ser una pieza grande de acuerdo al nivel de producción sufre un desgaste rápido. Cuando la gráfica alcanza los puntos más altos significa que las mordazas están descentradas y que es necesario centrarlas para que no se originen defectos en la línea, en los casos en que la gráfica alcanza los valores más bajos (cerca de cero) significa que las mordazas han sido centradas nuevamente,

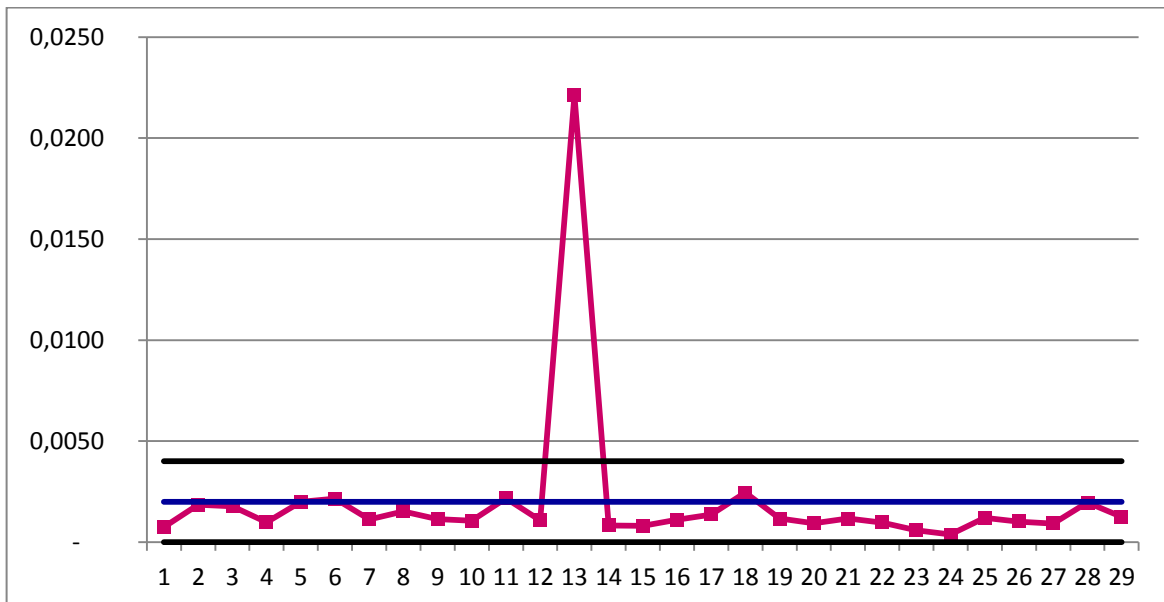
8.5.5 Carta de medias y rangos: Desgaste de mordazas en biselado

Grafica 15. Carta de medias, Variable 3



Fuente: El autor

Grafica 16. Carta de rangos, Variable 3



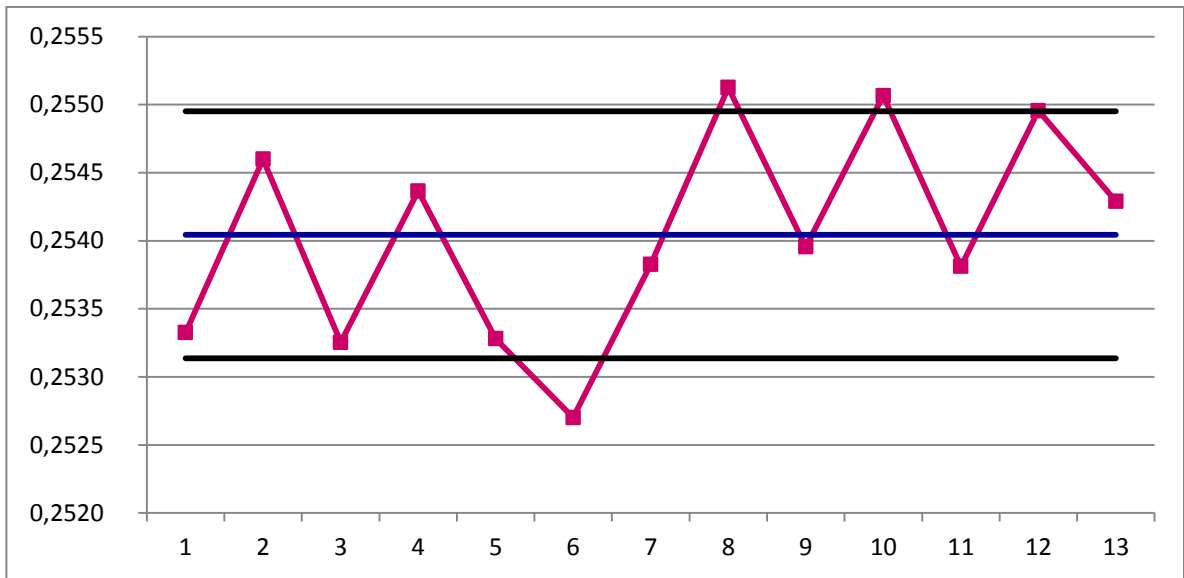
Fuente: El autor

En el anterior diagrama: **Grafica 15.** Carta de medias: Variable 3, se puede apreciar que la mayoría de los puntos se encuentran fuera de los límites, al igual que en la **Grafica 16.** Carta de rangos: Variable 3, lo cual indica que el desgaste de mordazas de biselado no se ha comportado de manera estable y que se encuentra fuera de control estadístico en cuanto a tendencia central y a la amplitud de su variación. Esto es señal de que hay una situación especial que causa que los puntos no estén variando aleatoriamente dentro de la carta.

Según la distribución de los datos, se puede apreciar que las mordazas se desgastan en promedio cada quince o dieciséis días, el desgaste que sufre la pieza se produce lentamente, por tal motivo cuando se cambian las mordazas se produce un cambio abrupto en la gráfica, razón por la cual estos puntos no se pueden eliminar de la gráfica. Cuando la gráfica alcanza los puntos más altos significa que las mordazas han sido cambiadas, en los casos en que la gráfica alcanza los valores más bajos significa que las mordazas están desgastadas y por tal motivo necesitan ser cambiadas para que no se originen defectos en la línea,

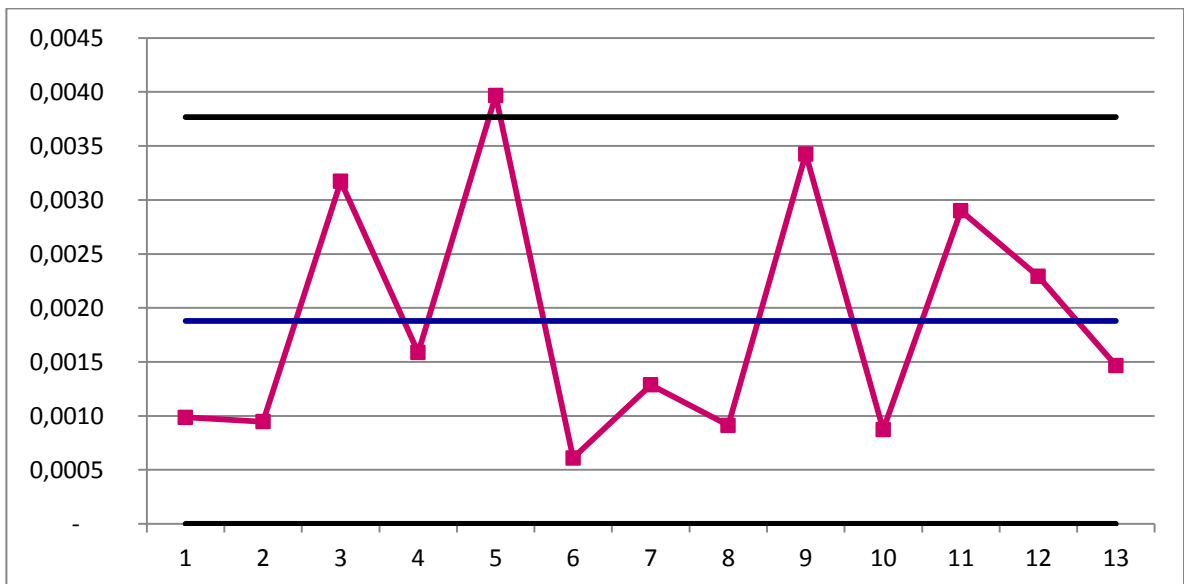
8.5.6 Carta de medias y rangos: Carro portamordaza alejado del cabezal de biselado

Grafica 17. Carta de medias, Variable 4



Fuente: El autor

Grafica 18. Carta de rangos, Variable 4



Fuente: El autor

En el anterior diagrama: **Grafica 17.** Carta de medias: Variable 4, se puede apreciar que uno o más puntos (8, 10, 12) se encuentran fuera de los límites al igual que en la **Grafica 18.** Carta de rangos: Variable 4, lo cual indica que la distancia entre el carro portamordaza y el cabezal no se ha comportado de manera estable y que se encuentra fuera de control estadístico en cuanto a tendencia central y a la amplitud de su variación. Esto es señal de que hay una situación especial que causa que los puntos no estén variando aleatoriamente dentro de la carta.

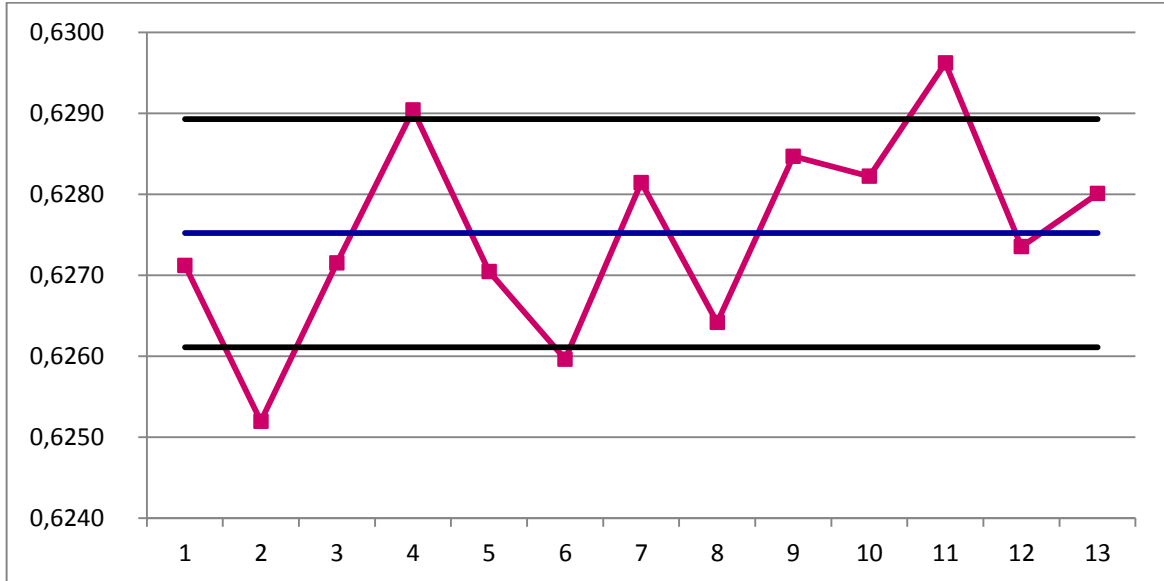
Según la distribución de los datos, se puede apreciar que el carro portamordaza se aleja significativamente del cabezal cada dos o tres días en promedio. Cuando la gráfica alcanza los puntos más altos significa que el carro por portamordaza se encuentra muy alejado del cabezal de biselado y que es necesario reposicionarlo para que no se originen defectos en la línea, en los casos en que la gráfica alcanza los valores más bajos significa que las mordazas están cercas del cabezal.

8.5.7 Carta de medias y rangos: Baja frecuencia de limpieza de mordazas

Por ser una variable humano dependiente, en la cual la única variación que existente consiste en limpiar o no las mordazas, no se calcula carta de medias ni de rangos.

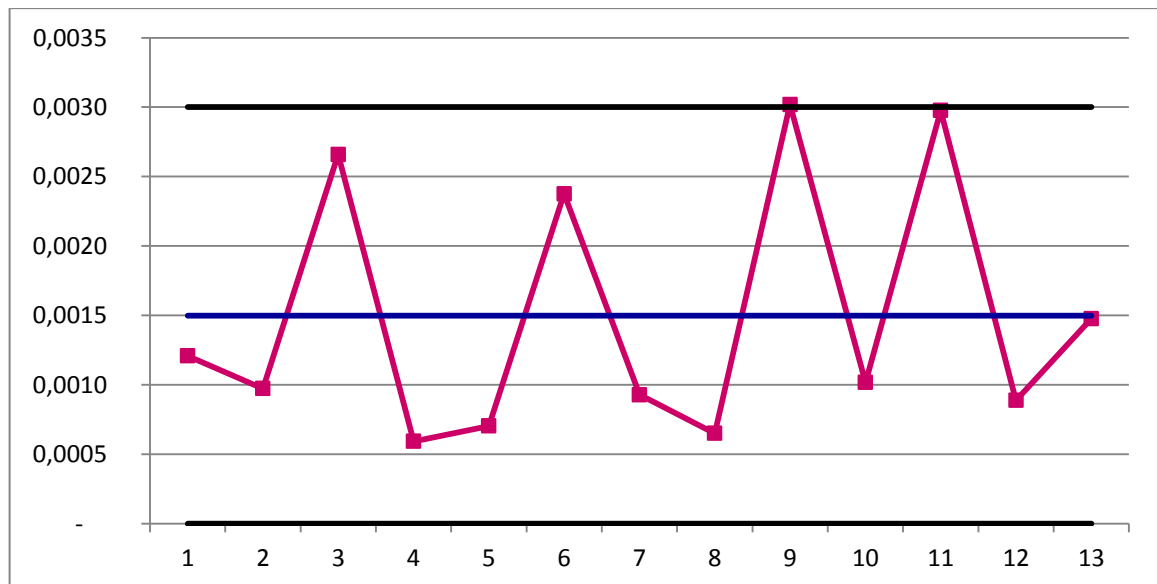
8.5.8 Carta de medias y rangos: Inserto redondo desgastado en roscado

Grafica 19. Carta de medias, Variable 6



Fuente: El autor

Grafica 20. Carta de rangos, Variable 6



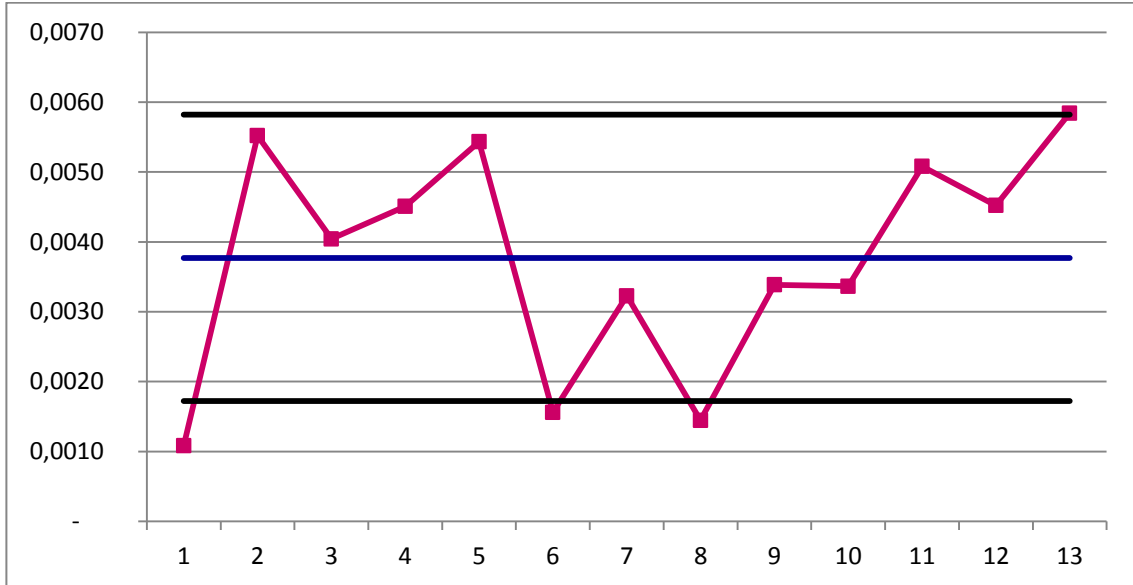
Fuente: El autor

En el anterior diagrama: **Grafica 19.** Carta de medias: Variable 6, se puede apreciar que uno o más puntos se encuentran fuera de los límites (4, 11), al igual que en la **Grafica 20.** Carta de rangos, Variable 6, lo cual indica que la vida útil del inserto redondo no se ha comportado de manera estable y que se encuentra fuera de control estadístico en cuanto a tendencia central. Esto es señal de que hay una situación especial que causa que los puntos no estén variando aleatoriamente dentro de la carta.

Según la distribución de los datos, se puede apreciar que el carro portamordaza se aleja significativamente del cabezal cada dos o tres días en promedio. Cuando la gráfica alcanza los puntos más bajos significa que el inserto redondo está desgastado y que es necesario cambiarlo para que no se originen defectos en la línea, en los casos en que la gráfica alcanza los valores más altos significa que el inserto desgastado ha sido cambiado por uno nuevo.

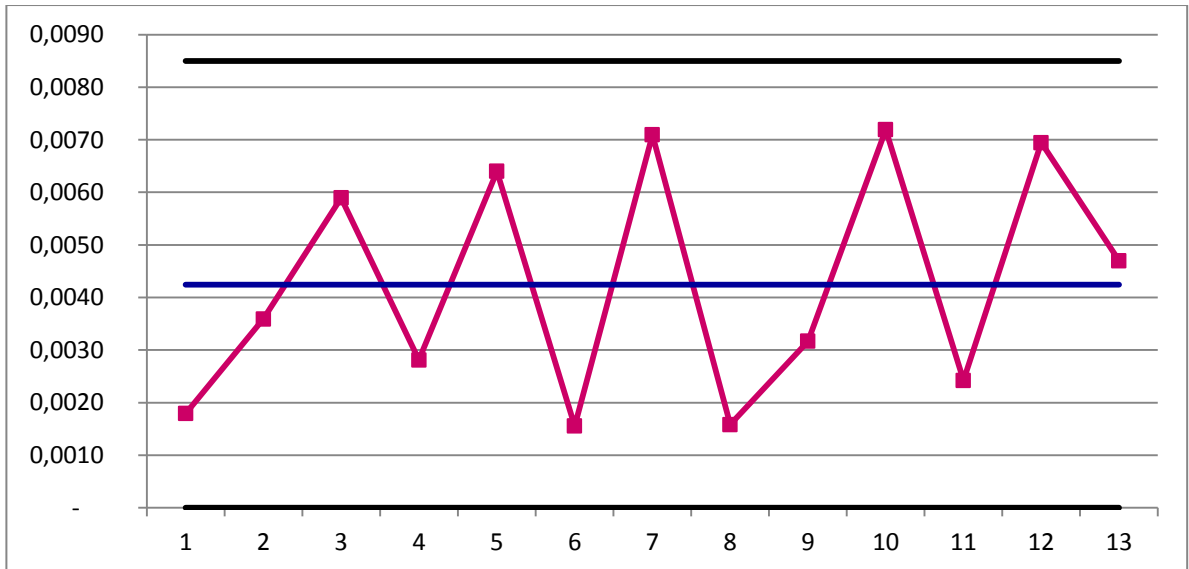
8.5.9 Carta de medias y rangos: Desalineación de mordazas centradoras

Grafica 21. Carta de medias, Variable 7



Fuente: El autor

Grafica 22. Carta de rangos, Variable 7



Fuente: El autor

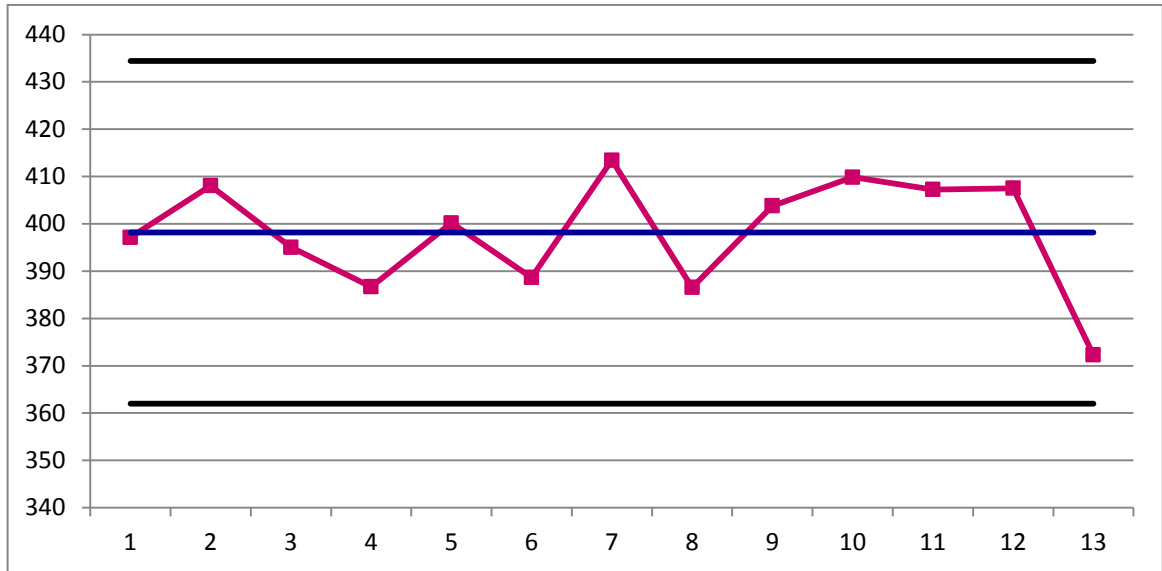
En el anterior diagrama: **Grafica 21.** Carta de medias: Variable 7, se puede apreciar que uno o más puntos (1, 6, 8, 13) se encuentran fuera de los límites, lo cual indica que la alineación de las mordazas centradoras no se ha comportado de manera estable y que se encuentra fuera de control estadístico en cuanto a tendencia central. Esto es señal de que hay una situación especial que causa que los puntos no estén variando aleatoriamente dentro de la carta.

En el diagrama: **Grafica 22.** Carta de rangos: Variable 7, se puede observar que ningún punto se encuentra fuera de los límites pero los datos presentan ciclos recurrentes, lo cual indica que la alineación de las mordazas centradoras no se ha comportado de manera estable y que se encuentra fuera de control estadístico en cuanto a la amplitud de su variación. Por lo que la variación que se observa en los rangos muestrales se debe a que el tamaño del subgrupo o muestras es pequeño y a la variación que comúnmente tiene el proceso.

Según la distribución de los datos, se puede apreciar que los peines se desgastan en promedio cada dos días, al ser una pieza pequeña y de acuerdo al nivel de producción sufre un desgaste rápido. Cuando la gráfica alcanza los puntos más bajos significa que el peine está desgastado y que es necesario cambiar la herramienta para que no se originen defectos en la línea, en los casos en que la gráfica alcanza los valores más altos significa que el peine desgastado ha sido cambiado por uno nuevo.

8.5.10 Carta de medias y rangos: Inadecuada presión de mordazas centradoras

Grafica 23. Carta de medias, Variable 8



Fuente: El autor

Grafica 24. Carta de rangos, Variable 8



Fuente: El autor

En el anterior diagrama: **Grafica 23.** Carta de medias: Variable 8 y **Grafica 24.** Carta de rangos: Variable 8, se puede apreciar que no hay puntos fuera de los límites y además el comportamiento de los puntos no sigue ningún patrón especial, por lo tanto la presión de las mordazas centradoras ha funcionado de manera estable en cuanto a tendencia central y a la amplitud de su variación. Por lo que la variación que se observa en las medias muestrales se debe a que son muestras pequeñas y a la variación que comúnmente tiene el proceso.

9. VALORES DE ALARMA

En el capítulo anterior se calcularon y analizaron los límites de control para cada una de las variables estudiadas. En este capítulo se establecerán los factores de uso y valores de alarma, teniendo en cuenta los límites superiores e inferiores de la tabla de medias, el número de roscas procesadas en los intervalos durante la toma de datos, el porcentaje de defectos y las toneladas aprobadas.

9.1 ESTABLECIMIENTO DE VALORES DE ALARMA Y FACTOR DE USO

Para establecer los valores de alarma, se relacionan los límites de control, la información obtenida en la toma de datos Vs. el número de roscas fabricadas en dicho intervalo. Se utiliza como referencia la tabla de medias y la información de producción de rosca tubing 2 3/8" y 2 7/8" en el mismo periodo de la toma de datos, se tabula la información en la **Tabla 35**. Variables Vs. Límites de control.

Tabla 36. Variables Vs. Límites de control

VARIABLE	LCS	LC	LCI
Desgaste de Peine	0,5754	0,5743	0,5731
Mal centramiento de las mordazas de biseladora	0,0006	0,0004	0,0002
Desgaste de mordazas de biselado	0,7889	0,7885	0,7882
Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado	0,2549	0,2540	0,2531
Inserto redondo desgastado en roscado	0,6289	0,6275	0,6261
Desalineación de mordazas centradoras	0,0058	0,0038	0,0017
Inadecuada presión de mordazas centradoras	434,42	398,19	361,97

Fuente: El autor

Tabla 37. Producción

Cod.Maq.	Descripción	Fecha	Roscas	Mts. Proc	Tns. Aprobadas	
C0800G	ESTENCILADORA NO.2 PMC	1	31/07/2012	2550	24425	168
		2	01/08/2012	2541	24888	186
		3	02/08/2012	2531	24557	181
		4	03/08/2012	2527	23991	231
		5	06/08/2012	2521	25276	204
		6	07/08/2012	2509	23896	166
		7	08/08/2012	2490	23839	164
		8	09/08/2012	2460	23244	162
		9	10/08/2012	2447	23641	173
		10	13/08/2012	2436	23017	172
		11	14/08/2012	2413	22961	220
		12	15/08/2012	2394	23216	175
		13	16/08/2012	2375	22620	217
		14	17/08/2012	2370	22516	157
		15	20/08/2012	2370	22469	157
		16	21/08/2012	2370	22394	157
		17	22/08/2012	2356	23046	215
		18	23/08/2012	2347	22885	195
		19	24/08/2012	2340	22110	155
		20	27/08/2012	2337	22195	204
		21	28/08/2012	2337	22157	214
		22	29/08/2012	2333	22847	177
		23	30/08/2012	2310	22375	153
		24	31/08/2012	2300	21893	160
		25	03/09/2012	2299	21751	210
		26	04/09/2012	2280	21723	151
		27	05/09/2012	2270	21543	184
		28	06/09/2012	2261	21666	207
		29	07/09/2012	2242	21298	205
		30	10/09/2012	2242	21713	205

Fuente: El autor

Partiendo de la información obtenida en la toma de datos, desde que la variable alcanza su valor máximo a mínimo o viceversa, se calculan para dichos intervalos los siguientes indicadores:

Ecuación 5. Valor de alarma y factor de uso

% Desgaste en el intervalo: Valor máximo – Valor mínimo

Roscas producidas en el intervalo: \sum Roscas producidas

Factor de uso: \sum %Desgaste / Roscas producidas en el intervalo

Valor de alarma: LCI / Factor de uso

9.1.1 Desgaste de peine

Se realizan los cálculos respectivos:

Tabla 38. Variable 1: Valor de alarma y factor de uso

DIA	ROSCAS PROD.	% DESGASTE EN EL INTERVALO	ROSCAS PRODUCIDAS EN EL INTERVALO	FACTOR DE USO
1	2550			
2	2541			
3	2531			
4	2527	0,5691	4628	0,0001229697
5	2521			
6	2509	0,5691	4999	0,0001138384
7	2490			
8	2460	0,5677	4907	0,0001156928
9	2447			
10	2436			
11	2413	0,5684	4807	0,0001182444
12	2394			
13	2375			
Factor de Uso				0,00012''
LCI				0,57313
Valor de Alarma				4.870

Fuente: El autor

Teniendo en cuenta la **Tabla 37**. Variable 1: Valor de alarma y factor de uso, por cada rosca producida el peine se desgastara en promedio 0,00012”. La vida útil de un peine, según el valor de alarma es de 4.870 roscas aproximadamente Luego de fabricadas este número de roscas, existirá un alto índice de generación de defectos en la línea.

9.1.2 Mal centramiento de mordazas de biseladora

Se realizan los cálculos respectivos:

Tabla 39. Variable 2: Valor de alarma y factor de uso

DIA	ROSCAS PROD.	% DESCENTRAMIENTO	ROSCAS PRODUCIDAS EN EL INTERVALO	FACTOR DE USO
1	2550	0,0015	3821	0,0000003834
2	2541			
3	2531	0,0000	5058	0,0000000063
4	2527			
5	2521			
6	2509	0,0002	4999	0,0000000358
7	2490			
8	2460	0,0015	4907	0,0000003118
9	2447			
10	2436	0,0018	4849	0,0000003761
11	2413			
12	2394	0,0001	4769	0,0000000204
13	2375			
			Factor de Uso	0,00000015”
			LCI	0,00065
			Valor de Alarma	4.319

Fuente: El autor

Teniendo en cuenta la **Tabla 38**. Variable 2: Valor de alarma y factor de uso, por cada rosca producida la mordaza se descentrara en promedio 0,00000015”. El

centramiento de mordazas de biseladora tiene un valor de alarma de 4.319 roscas aproximadamente. Luego de fabricadas este número de roscas, existirá un alto índice de generación de defectos en la línea.

9.1.3 Desgaste de mordazas en biselado

Se realizan los cálculos respectivos:

Tabla 40. Variable 3: Valor de alarma y factor de uso

DIA	ROSCAS PROD.	% DESGASTE	ROSCAS PRODUCIDAS EN EL INTERVALO	FACTOR DE USO
1	2550	0,7549	31007	0,0000243462
2	2541			
3	2531			
4	2527			
5	2521			
6	2509			
7	2490			
8	2460			
9	2447			
10	2436			
11	2413			
12	2394			
13	2375			
14	2370	0,7556	37122	0,0000204
15	2370			
16	2370			
17	2356			
18	2347			
19	2340			
20	2337			
21	2337			
22	2333			
23	2310			
24	2300			

Continuación **Tabla 39.** Variable 3: Valor de alarma y factor de uso

25	2299			
26	2280			
27	2270			
28	2261			
29	2242			
			Factor de Uso	0,000022”
			LCI	0,7875
			Valor de Alarma	35.238

Fuente: El autor

Teniendo en cuenta la **Tabla 39.** Variable 3: Valor de alarma y factor de uso, por cada rosca producida la mordaza se desgastara en promedio 0,000022”. La vida útil de las mordazas de biselado, según el valor de alarma es de 35.238 roscas aproximadamente. Luego de fabricadas este número de roscas, existirá un alto índice de generación de defectos en la línea.

9.1.4 Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado

Se realizan los cálculos respectivos:

Tabla 41. Variable 4: Valor de alarma y factor de uso

DIA	ROSCAS PROD.	% ALEJAMIENTO	ROSCAS PRODUCIDAS EN EL INTERVALO	FACTOR DE USO
1	2550	0,2528	3821	0,0001
2	2541			
3	2531	0,2523	5058	0,0000498737
4	2527			
5	2521			
6	2509	0,2520	4999	0,0000504123
7	2490			
8	2460	0,3024	4907	0,0000616290
9	2447			
10	2436	0,2527	4849	0,0000521135
11	2413			

Continuación Tabla 40. Variable 4: Valor de alarma v factor de uso

12	2394			
13	2375			
			Factor de Uso	0,00005”
			LCI	0,25495
			Valor de Alarma	4.765

Fuente: El autor

Teniendo en cuenta la **Tabla 40.** Variable 4: Valor de alarma y factor de uso, por cada rosca producida el carro portamordaza se alejara del cabezal de biselado 0,00005” en promedio. El carro portamordaza estará alineado, según el valor de alarma hasta las 4.765 roscas aproximadamente. Luego de fabricadas este número de roscas, existirá un alto índice de generación de defectos en la línea.

9.1.5 Baja frecuencia de limpieza de mordazas

La frecuencia de limpieza de mordazas es una variable humano dependiente, por tal motivo no se puede calcular el factor de uso, ni el valor de alarma. Se debe implementar una estrategia para que la frecuencia de limpieza de mordazas sea mayor y así no se originen defectos en la línea.

9.1.6 Inserto redondo desgastado en roscado

Se realizan los cálculos respectivos:

Tabla 42. Variable 6: Valor de alarma y factor de uso

DIA	ROSCAS PROD.	% DESGASTE	ROSCAS PRODUCIDAS EN EL INTERVALO	FACTOR DE USO
1	2550	0,6221	5091	0,00012
2	2541			
3	2531	0,6230	6314	0,00010
4	2527			
5	2521			
6	2509			

Continuación Tabla 41. Variable 6: Valor de alarma y factor de uso

7	2490	0,6222	6612	0,00009
8	2460			
9	2447			
10	2436	0,6219	5682	0,00011
11	2413			
12	2394	0,6220	4788	0,00013
13	2375			
Factor de Uso				0,00011”
LCI				0,626110397
Valor de Alarma				5.647

Fuente: El autor

Teniendo en cuenta la **Tabla 41**. Variable 6: Valor de alarma y factor de uso, por cada rosca producida el inserto redondo se desgastara 0,00012” en promedio. La vida útil del inserto redondo, según el valor de alarma es de 5.647 roscas aproximadamente. Luego de fabricadas este número de roscas, existirá un alto índice de generación de defectos en la línea.

9.1.7 Desalineación de mordazas centradoras

Se realizan los cálculos respectivos:

Tabla 43. Variable 7: Valor de alarma y factor de uso

DIA	ROSCAS PROD.	% DESALINEACION	ROSCAS PRODUCIDAS EN EL INTERVALO	FACTOR DE USO
1	2550	0,0156	5091	0,000000844
2	2541			
3	2531	0,0155	5058	0,0000030548
4	2527			
5	2521			
6	2509	0,0156	4999	0,0000031172
7	2490			
8	2460	0,0155	4907	0,0000031556
9	2447			

Continuación **Tabla 42.** Variable 7: Valor de alarma y factor de uso

10	2436	0,0154	4849	0,0000031772
11	2413			
12	2394	0,0164	4769	0,0000034390
13	2375			
			Factor de Uso	0,00000122”
			LCI	0,00582
			Valor de Alarma	4.755

Fuente: El autor

Teniendo en cuenta la **Tabla 42.** Variable 7: Valor de alarma y factor de uso, por cada rosca producida las mordazas centradoras se desalinearan 0,00000122” en promedio. Las mordazas centradoras estarán alineadas, según el valor de alarma hasta las 4.755 roscas aproximadamente. Luego de fabricadas este número de roscas, existirá un alto índice de generación de defectos en la línea.

9.1.8 Inadecuada presión de mordazas centradoras

La presión de mordazas es una variable humano dependiente, por tal motivo no se puede calcular el factor de uso. El valor de alarma de esta variable son sus límites de control, se debe implementar una estrategia para asegurarse de que la presión no sobrepase estos valores

10. MEJORAS Y BENEFICIOS

Luego de analizada la línea de terminación de roscado a fondo, de haber determinado las variables de entrada que tienen mayor incidencia en el porcentaje de defectos que se generan en el área, calcular los límites de control de medias y rangos y definir los factores de uso y valores de alarma; el paso a seguir es exponer las mejoras y beneficios que traería para el área la implementación de este proyecto, además del protocolo a seguir.

10.1 MEJORAS

Al inicio de la justificación se inició con esta frase:

“Un proceso que no se mide, no se conoce, no se controla y nunca se podrá mejorar”.

Con todo lo anterior el resultado más importante está en pro de mejorar el desempeño del centro de terminación y más específicamente el área de roscado en la línea PMC, en donde históricamente los porcentajes de reproceso han estado por encima de los niveles objetivos declarados al inicio de cada periodo Budget (periodo de planificación y oficial de estadísticas en la empresa Tenaris, periodos de tiempo que van desde JUN del año (n) a JUL (n+1)), estas mejoras que se quieren alcanzar con este proyecto fueron encaminadas con el propósito de identificar aquellas variables que afectan en una mayor proporción el proceso de roscado de tubería OCTG con roscas tipo 8RD Norma API.

Las mejoras están enmarcadas en un control preventivo de los valores de cada una de las variables, según el siguiente tablero de control:

Tabla 44. Cuadro resumen: Valores de alarma

VARIABLE	VALOR DE ALARMA
Desgaste de Peine	4.870
Mal centramiento de las mordazas de biseladora	4.319
Desgaste de mordazas de biselado	35.238
Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado	4.765
Baja frecuencia de limpieza de mordazas	5.647
Inserto redondo desgastado en roscado	--
Desalineación de mordazas centradoras	4.755
Inadecuada presión de mordazas centradoras	--

Fuente: El autor

El cuadro anterior: **Tabla 43.** Cuadro resumen: Valores de alarma, muestra los valores de alarma de cada una de las variables estudiadas y es una guía para que el operario y/o supervisor de turno estén atentos a la relación de valores de alarma vs producción procesada. Es decir que para garantizar que cada una de las variables se encuentre dentro de sus límites de control es necesario que exista un control preventivo de cambio o revisión de parámetros antes de que estos se salgan de los límites tanto de control, como de especificaciones, tal como está sucediendo hoy en día en donde este control preventivo no se está llevando a cabo y solo se produce cambio o revisión luego que la producción de roscas empieza a descartar tubería fuera de norma API.

Para las variables humano-dependientes se proponen las siguientes mejoras:

Tabla 45. Mejoras

VARIABLE	MEJORAS
Baja frecuencia de limpieza de mordazas	Durante cada turno se deberá retirar de 2 a 3 la viruta larga depositada entre las mordazas y la biseladora. Otra alternativa es adquirir un CHIP CONVEYOR, el cual retiraría de forma automática y eficiente la viruta depositada entre cada corrida.

Continuación **Tabla 44.** Mejoras

Inadecuada presión de mordazas centradoras	Se recomienda la instalación de un sensor medidor de presión el cual alerte al operario de la PIPE MACHINE cuando la presión esta por fuera de los límites de control estudiados y establecidos.
--	--

Fuente: El autor

10.2 BENEFICIOS

Tomando como base la información de la **Tabla 45.** Referencia de ahorros, se calculan las toneladas defectuosas producidas al año en la línea de terminación PMC y el costo en dólares y pesos colombianos del reproceso de dicha tubería.

Tabla 46. Referencia de ahorros

Ton X Tubo Aprox.	0,131
Otros Costos De Reproceso (USD)	163
Costo Roscado Por Tn Reproceso (USD)	72,31
Total Costos Reproceso (USD):	235,31

Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Tabla 47. Calculo de ahorros

PERIODO	OBJ.	PROC.	DEF.	%DEF	TON	COSTO USD	COSTO COP
Jul. 2008 - Jun. 2009	4,4%	168661	9614	5,7%	1259	\$ 296.346,58	\$ 533.423.843
Jul. 2009 - Jun. 2010	4,8%	140572	7450	5,3%	976	\$ 229.659,72	\$ 413.387.493
Jul. 2010 - Jun. 2011	4,2%	106112	5093	4,8%	667	\$ 157.006,42	\$ 282.611.560
Jul. 2011 - Jun. 2012	4,3%	185325	8525	4,6%	1117	\$ 262.786,07	\$ 473.014.935

Fuente: Información suministrada por la empresa Tenaris TuboCaribe

Teniendo en cuenta la **Tabla 46**. Calculo de ahorros, se puede observar el costo de reproceso de la tubería con rosca defectuosa en la línea PMC del área de terminación de Tenaris Tubocaribe. Este cálculo se realiza de acuerdo al porcentaje de defecto Vs. Objetivo anual, en donde se toma como referencia la producción de tubería fuera de norma API. Dicha tubería se calcula en toneladas, según un peso teórico de referencia, para luego determinar el valor de costo de reproceso, según los costos directos e indirectos de fabricación en la línea PMC.

Se hace una estimación del porcentaje de disminución en defectología que tendría el área con la implementación del proyecto:

Tabla 48. Disminución porcentaje de defectos

	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VAR6
LCI/LCS	0,573	0,001	0,788	0,255	0,626	0,002
Mediciones intervalos Validos	0,569	0,001	0,755	0,253	0,622	0,016
	0,569	0,000	0,756	0,252	0,623	0,015
	0,568	0,000		0,252	0,622	0,016
	0,568	0,002		0,302	0,622	0,015
		0,002		0,253	0,622	0,015
		0,000				0,016
Valor Promedio REAL	0,569	0,001	0,755	0,262	0,622	0,016
Δ REAL Vs LCI %	0,005	0,0002	0,0323	0,007	0,003	0,014
	1%	21%	4%	3%	1%	11%
Total %	40,6%					

Fuente: El autor

En la **Tabla 47**. Disminución porcentaje de defectos, se puede observar que con que la implementación de este proyecto de control de variables de proceso, el área tendría una disminución del 40,6% en la defectología presentada. Para realizar este análisis se tienen en cuenta las mismas premisas utilizadas en el cálculo de los factores de alarma:

- Se toman los límites superiores o inferiores por variable, según sea el caso.
- Se seleccionan los valores de duración de los intervalos validos (rangos en el cual la variable toma su valor más alto y luego su valor más bajo o viceversa)
- Se calcula el promedio de los intervalos por variable y se comparan con los límites de control, con el fin de conocer la diferencia entre el valor promedio del intervalo y sus límites.
- Llevar a porcentaje la diferencia calculada y realizar una sumatoria para todas las variables, para obtener el porcentaje de defectología que disminuiría el área.

En lo que va corrido de este año, el costo de reproceso asciende a más de 400 millones de pesos. Por tal motivo, se hace una estimación del ahorro que tendría el área luego de la implementación del plan de control de las variables de proceso.

Tabla 49. Ahorro

Proyeccion Primer Budget				Ahorro en USD
%DEF	DEFECTUOSAS	TON	COSTO USD	
2,8%	5115	670	\$ 157.671,64	

Fuente: El autor

En la **Tabla 48**. Ahorro, se muestra el porcentaje de descarte que tendría el área luego de implementar el plan de control de variables de proceso, el cual es un 40% menor que el porcentaje actual de defectología, lo cual representa en dinero un ahorro de más de 100 mil dólares.



Tipo de documento: PROTOCOLO

Código / rev.: -----

Nivel: 1

Código anterior: -----

Lenguaje Oficial: ESPAÑOL

Fecha de vigencia: -----

10.3 PROTOCOLO: CONTROL DE VARIABLES DE PROCESO EN LA LINEA PMC

10.3.1 Objetivo

Diseñar una propuesta que le permita a la línea PMC del área de roscado controlar las variables que intervengan en el proceso de producción de roscas 8 RD en la empresa Tenaris TuboCaribe.

10.3.2 Alcance

Este procedimiento cubre los procesos y subprocesos de biselado y roscado en la línea PMC del área de terminación Tenaris Tubocaribe.

10.3.3 Documentos de referencia

- API STANDARD 5T1 (1996), “Standard on imperfection terminology”.
- Instrucciones de trabajo del área de roscado.

10.3.4. Abreviaturas

No aplica

10.3.5 Equipos y materiales con calibración vigente

No aplica

10.3.6 Responsabilidades

10.3.6.1 Departamento de tecnología

Velar por el cumplimiento del procedimiento.

10.3.6.2 Mejorador de proceso del área de roscado

Asegurar que se hagan los cambios de herramientas y ajustes en el proceso teniendo en cuenta los valores de alarma.

10.3.7 Método o desarrollo

10.3.7.1 Metodología utilizada

- a)** Análisis general del área, el cual incluyo: Mapa de proceso, SIPOC, análisis DOFA, cursograma sinóptico, diagrama de recorrido, diagrama de flujo.
- b)** Brainstorming, con el fin de identificar las variables de entrada y salida del proceso.

c) Diagrama de Pareto, para representar en forma decreciente el grado de importancia que tienen los defectos.

d) Diagrama de causa – efecto, para determinar las causas que originan los defectos que se producen en el área.

e) Categorización, la cual permitió otorgarle prioridad a cada una de las causas obtenidas. Se seleccionaron 8 causas a estudiar:

- Desgaste de Peine
- Mal centramiento de las mordazas de biseladora
- Desgaste de mordazas de biselado
- Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado
- Baja frecuencia de limpieza de mordazas
- Inserto redondo desgastado en roscado
- Desalineación de mordazas centradoras
- Inadecuada presión de mordazas centradoras

f) Límites de control, se tomó una muestra y luego se calculó el tamaño de la muestra para tomar los datos faltantes. Se calcularon los límites de control para las cartas de medias y rangos.

g) Cálculo de factor de uso y valores de alarma por variable.

10.3.8 Desarrollo

- a) Realizar un estudio inicial por 15 días, tomando como base los factores de uso y valores de alarma de la **Tabla 49**. Tabla resumen: Valor de alarma y factor de uso
- b) Llevar registro, señalando con una “X” en el formato de la **Tabla 50**. Estudio inicial, en el momento en que se realicen cambios de herramientas o ajustes en los parámetros estudiados.
- c) Llevar registro del tipo y cantidad de defectos ocurridos durante el periodo de estudio.
- d) Hacer análisis del porcentaje de defectos ocurridos durante este periodo.
- d) Realizar pruebas con una frecuencia mensual, con el fin de determinar aumento o disminución en el porcentaje los defectos.

10.3.9 Anexos

Tabla 50. Tabla resumen: Valor de alarma y factor de uso

VARIABLE	VALOR DE ALARMA	FACTOR DE USO
Desgaste de Peine	4.870	0,00012
Mal centramiento de las mordazas de biseladora	4.319	0,00000015
Desgaste de mordazas de biselado	35.238	0,000022
Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado	4.765	0,00005

Continuación **Tabla 49.** Tabla Resumen: Valor de alarma y factor de uso

Baja frecuencia de limpieza de mordazas	5.647	0,00011
Inserto redondo desgastado en roscado	--	--
Desalineación de mordazas centradoras	4.755	0,00000122
Inadecuada presión de mordazas centradoras	--	--

Fuente: El autor

Tabla 51. Estudio inicial

VARIABLE	DIAS														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Desgaste de Peine															
Mal centramiento de las mordazas de biseladora															
Desgaste de mordazas de biselado															
Carro portamordaza alejado del cabezal en biselado															
Baja frecuencia de limpieza de mordazas															
Inserto redondo desgastado en roscado															
Desalineación de mordazas centradoras															
Inadecuada presión de mordazas centradoras															

Fuente: El autor

15. CONCLUSIONES

Finalizado un arduo trabajo de 6 meses, en el cual se analizó a fondo el área de terminación de roscado en la línea PMC, se determinaron las variables de entrada que tienen más incidencia en el porcentaje de defectología de roscas, se calcularon los límites de control para cada una de las variables y se definieron los factores de uso – valores de alarma, se puede concluir que:

- Las variables de entrada que tienen un mayor impacto en la generación de defectos en la línea PMC son: Desgaste en peine, Mal centramiento de las mordazas en la biseladora, Desgastes de mordazas en biselado, Carro portamordaza muy alejado del cabezal en biselado, Baja frecuencia de limpieza de mordazas, Inserto redondo desgastado en roscado, Desalineación de Mordazas centradoras, Inadecuada presión de mordazas centradoras.
- Las variables, directamente relacionadas con las máquinas y herramientas, se controlaran teniendo en cuenta los límites de control, los valores de alarma y los factores de consumo. Para las variables humano-dependientes se implementaran mejoras que permitan controlarlas.
- Con la implementación del proyecto de control de límites, la empresa Tenaris TuboCaribe tendría un ahorro en reproceso de roscas de más de 100 mil de dólares.

Cabe destacar que los resultados y beneficios proyectados, son un estimado, ya que este proyecto de grado, no abarca la fase de implementación. La empresa, tomando como base el protocolo del estudio, analizara cada uno de los puntos del documento y decidirá si resulta conveniente llevar a cabo el proyecto.

16. RECOMENDACIONES

Para validar los cálculos y análisis realizados en este proyecto de grado, se recomienda realizar las pruebas sugeridas en el protocolo, con el fin de observar el efecto que tiene para el área el control de las variables estudiadas.

Para futuros proyectos, se recomienda estudiar las variables de proceso de la línea SL6 y SL8, de esta forma se abarcaría toda el área de roscado y se podría mantener bajo control las variables que tienen mayor incidencia en el porcentaje de defectos que se generan.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA, Jorge (1996), "Control de calidad, un enfoque integral y estadístico". Tecnológico de Costa Rica.

ALONSO, Vicente (1998), "Control estadístico de la calidad". Barcelona, Reproval.

API RECOMMENDED PRACTICE 5B1 (1999), "Gauging and Inspection of Casing, Tubing, and Line Pipe Threads".

API STANDARD 5T1 (1996), "Standard on imperfection terminology".

BANKS, Jerry (2002), "Control de calidad, administración de la producción". México, D.F Limusa.

BARTES A; LLABRES X; CINTAS P; FERNANDEZ L; VIDAL I. (2000). "Métodos estadísticos: Control y mejora de la calidad". Barcelona, Ediciones UPC.

CHU, Luis (1980), "El control de calidad en la empresa". Bilbao Deusto.

GARBIN, Mauricio (1979), "El control de calidad". Bilbao Deusto.

GONZALEZ, Carlos (1991), "Control de calidad". México, D.F McGraw-Hill.

GYRNA F; CHUA R; DEFEO C; PANTOJA M. (2007), “Método Juran, análisis y planeación de la calidad”. México D. F McGraw-Hill.

KUME, Hitoshi (2002), “Herramientas estadísticas para el mejoramiento de la calidad”. Editorial Norma, Colombia.

ICONTEC (2008), “Trabajos escritos: presentación y referencias bibliografías”. Bogotá D.C.

Información suministrada por la empresa Tenaris – TuboCaribe.

ISO/TC 67/SC 5 (2004), “Petroleum and natural gas industries — Steel pipes for use as casing or tubing for Wells”.

JURAN J; GRYNA F; BINGHAM R. (2005) “Manual de control de la calidad”. Barcelona, Mc Graw Hill.

MASON, Roberto (2001), “Estadística para administración y economía”. México D.F Alfaomega.

MERCADO, Ernesto (1997), “Productividad base de la competitividad”. México, D. F Limusa.

MONTGOMERY, Douglas (2004), “Control estadístico de la calidad”. México, D.F Limusa.

PULIDO G; ROMAN H (2009), "Control estadístico de calidad y seis sigma". México D. F. McGraw-Hill

RAMIREZ, Cesar (1991), "Ergonomía y productividad". México, D. F Limusa

RODRIGUEZ, Ricardo (1986), "Optimización de la productividad". México D. F Trillas.

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta de categorización de variables

CATEGORIZACION DE VARIABLES DE ENTRADA EN EL AREA DE ROSCADO

Calificar de 1 a 10 (siendo 1 más bajo y 10 más alto) cada una de las variables de entrada que podrían afectar el proceso de Biselado y Roscado, teniendo en cuenta los tipos de rechazos que generan y el impacto que tendrían en los siguientes aspectos: GRAVEDAD, FRECUENCIA, CALIDAD Y SEGURIDAD.

VARIABLES DE ENTRADA	IMPACTO SI EL EFECTO OCURRIERA	CON LA QUE OCURRE LA CAUSA	IMPACTO EN LA CALIDAD FINAL DEL PRODUCTO	IMPACTO EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD
	CRITERIOS			
	GRAVEDAD	FRECUENCIA	CALIDAD	SEGURIDAD
	Calificación	Calificación	Calificación	Calificación
Desgaste en peine				
Desgaste en rompeviruta				
Insertos desalineados (redondos)				
Ovalidad excesiva en el extremo del tubo				
Suciedad en los alojamientos de los portapeines				
Desalineación de Mordazas centradoras				
Falta de lubricación de cabezal y unión rotativa				
Problemas de medida en recalque				
Falta de ajuste en Tapas frontales y laterales				
Inadecuada velocidad del cabezal (RPM)				
Falla mecánica en la unión rotativa				
Inapropiada presión del soluble				

Continuación **Anexo 1.** Encuesta de categorización de variables

Baja frecuencia de lubricación en cuñas				
Falta de lubricación del Eje Z				
Falta de limpieza de cabezal				
Tubo alejado del pipe stop en biselado				
Tubo alejado del pipe stop en roscado				
Inadecuada presión de mordazas centradoras				
Falta de contacto de Presspad (flanche frontal) a la cara del tubo				
Mala secuencia de montaje de peines				
Mal armado de portapeines				
Mal seteo de los parámetros dimensionales en la roscadora				
Mal centramiento de las mordazas en la biseladora				
Mal posicionamiento de las portaherramientas en la biseladora				
Extremo de tubo con gancho de punta				
Desgastes de mordazas en roscado				
Desgastes de mordazas en biselado				
Inapropiado diámetro del extremo del tubo				
Descalibración del medidor de altura				

Continuación **Anexo 1.** Encuesta de categorización de variables

Paso programado fuera de tolerancia en la maquina				
Instrumentos mal calibrados				
Asiento del inserto deformado				
Backslash (desajuste lineal) en el eje Z				
Mal montaje de los insertos redondos				
Falta de sujeción de peines e insertos redondos				
Carro portamordaza muy alejado del cabezal en biselado				
Carro portamordaza muy alejado del cabezal en roscado				
Desgaste de superficie interna en tapas frontales y laterales				
Tubo con poco bisel				
Tubo desalineado en biselado				
Refrentado muy alto				
Mal seteo de portainsertos en biselado				
Puntos duros en la tubería				
Mala ubicación de los portaherramientas en biselado				
Inserto redondo desgastado en roscado				
Desgaste del cuadrante de los tornillos de fijación de peines				

Continuación **Anexo 1.** Encuesta de categorización de variables

Desgaste del cuadrante de los tornillos de fijación insertos redondos				
Desgaste del cuadrante de los tornillos de fijación insertos triangulares				

Fuente: El autor

Anexo 2. Hoja de Registro

HOJA DE REGISTRO						
Nombre: _____			Variable: _____			
Fecha: _____			Hora: _____			
DATOS						
DIA	1	2	3	4	5	6
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						

Fuente: El autor