

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

ESCUELA DE POSGRADO



**Análisis, Diagnostico y Propuestas de
Mejora en el Sistema de Producción de
una Empresa Metalmecánica**

Tesis para optar el Grado de Magíster en Ingeniería
Industrial con Mención en Gestión de Operaciones

Oscar Volkov Macavilca Escalante

Asesor: Cesar Augusto Stoll Quevedo

Miembros del jurado:
Jorge Vargas Florez
Luciano Silva Alarco

San Miguel, 25 de junio de 2019



Dedico la presente tesis, fruto de sacrificio y entrega profesional a mi esposa e hijas; ya que son y serán el orgullo de mi vida.

RESUMEN

En un mundo globalizado, de comercio entre los países con menos barreras y de intensa competencia entre compañías locales y extranjeras; bajo este escenario los gerentes deben orientar sus estrategias basados en tres pilares: productividad, mejora continua y sostenibilidad.

La presente tesis es un trabajo de investigación que se enfoca en desarrollar un rediseño del Sistema de Producción en una empresa metalmecánica con el fin de ser una metodología para incrementar la competitividad del sector metalmecánico peruano.

Para este trabajo se aplicaron las metodologías de Tecnología de Grupo (GT), la Teoría de Restricciones (TOC), y técnicas de operaciones de procesamiento y ensamblado, entre otras técnicas de ingeniería. A su vez, apoyados en el uso de tecnología de información que se convierte en una poderosa herramienta para la optimización de los procesos de la empresa de estudio.

A continuación, se realizó la selección de la línea de spools para realizar el análisis de cómo opera actualmente el sistema de producción, para ello se analizará el flujo del proceso productivo, se calculará la productividad actual y se realizará un diagnóstico de los problemas encontrados basado en los conceptos dados por el Dr. Eliyahu M. Goldratt en su famosa Teoría de restricciones y el Dr. Mikell P. Groover en su obra Fundamentos de manufactura moderna.

Posterior a ello, se realizará propuestas de mejora y se implementará una línea piloto con los cambios propuestos y se volverá a realizar el cálculo de la productividad para validar la mejoría del sistema productivo.

Finalmente, se realizará una evaluación económica para validar la viabilidad de la implementación en dos fases, primero implementando las células de producción GT y luego la implementación TOC; acompañado de conclusiones y recomendaciones.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a mí asesor de tesis, Dr. Cesar Stoll, por su constante apoyo y guía en la elaboración del presente trabajo, atendiendo mis inquietudes, y enriqueciendo con su experiencia y puntos de vista el perfeccionamiento de todos los detalles en la elaboración de esta Tesis.

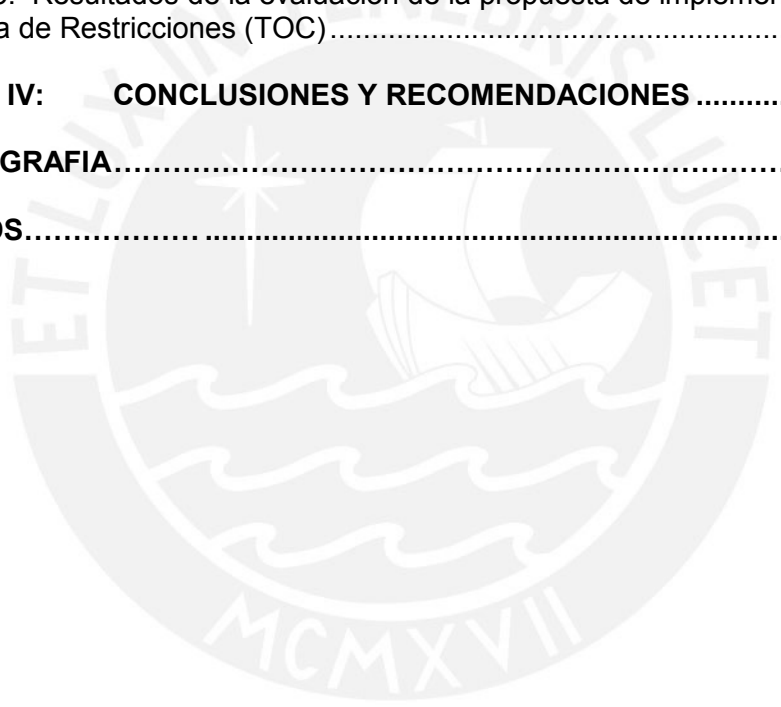


INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS	VIII
INDICE DE FIGURA.....	IX
INDICE DE ANEXOS	XI
PARTE I: MARCO TEÓRICO	1
CAPITULO 1: CLASIFICACION DE LAS EMPRESAS SEGÚN SUS OPERACIONES PRODUCTIVAS	1
1.1. Las industrias manufactureras y sus productos	1
1.2. Industrias manufactureras.....	2
1.3. Productos manufacturados	2
1.4. Clasificación de las empresas según sus operaciones	3
CAPITULO 2: SISTEMAS DE PRODUCCION	4
2.1. Planeación y organización del sistema de producción	4
2.2. Matriz del Proceso de Transformación.....	5
2.3. Matriz del proceso-producto.....	6
2.4. Cantidad de producción y variedad de productos	7
2.5. Capacidad de manufactura	8
CAPITULO 3: TEORIA DE RESTRICCIONES	10
3.1. ¿Qué es Teoría de Restricciones?.....	10
3.1.1. ¿Qué es una restricción?.....	10
3.1.2. Tipos de Restricción	11
3.2. Metodología para administrar los cuellos de botella.....	11
3.3. ¿Qué es un buffer?.....	12
3.4. Indicadores de Teoría de Restricciones (TOC)	13
CAPITULO 4: PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DEL LAYOUT DE PLANTA	16
4.1. Disposición de planta.....	16
4.2. Tipos de distribución de planta	16
4.2.1. Distribución de planta por posición fija.....	16
4.2.2. Distribución de planta por proceso.....	17
4.2.3. Distribución de planta por células	19
4.2.4. Distribución de planta por productos.....	19
4.3. Gráficas de recorrido	19
CAPITULO 5: TECNOLOGIA DE GRUPO (GT)	20
A. Agrupación por Familia de piezas	20
B. Creación de pieza compuesta.....	21
C. Determinación de operaciones y máquinas para pieza compuesta	22
D. Implementación de células de producción	22
CAPITULO 6: 5S'	23
6.1. Seiri	23
6.2. Seiton	24
6.3. Seisoh.....	24
6.4. Seiketsu.....	24
6.5. Shitsuke.....	25
6.6. Objetivos de las 5S's	25

PARTE II:	ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL CASO DE ESTUDIO	26
CAPITULO 7:	ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO	26
7.1.	Descripción del caso de estudio.....	26
7.1.1.	El producto	28
7.2.	Análisis del proceso productivo.....	29
7.2.1.	Matriz del proceso-producto	29
7.2.2.	Análisis del flujo de producción.....	30
7.2.1.1.	Diagrama de Flujo	39
7.2.1.2.	Diagrama de Actividades de los Procesos (DAP)	40
7.2.1.3.	Indicadores del Flujo de Producción.....	43
7.2.1.4.	Evaluación de las 5'S	49
7.2.1.5.	Pareto de los principales problemas por área.....	52
7.3.	Diagnóstico del proceso productivo	55
7.3.1.	Diagrama de Ishikawa:	56
7.4.	Análisis de la distribución de planta	57
7.4.1.	Layout actual de la planta	57
7.4.1.1.	Diagrama de recorrido.....	61
7.4.1.2.	Matriz de relación de cercanía.....	63
7.5.	Diagnóstico de la distribución de planta.....	64
7.5.1.	Diagrama de Ishikawa:	65
7.6.	Análisis de la Gestión de Producción.....	66
7.6.1.	Indicadores de la Gestión de Producción.....	66
7.7.	Diagnóstico de la Gestión de Producción.....	80
7.7.1.	Diagrama de Ishikawa:	82
PARTE III:	PROPUESTAS DE MEJORA Y EVALUACIÓN ECONOMICA.....	84
CAPITULO 8:	REINGENIERIA EN EL PROCESO PRODUCTIVO.....	84
8.1.	Implementación de Tecnología de Grupo (GT)	84
A.	Agrupación por Familia de piezas	84
B.	Creación de pieza compuesta.....	86
C.	Determinación de operaciones y máquinas para pieza compuesta	87
D.	Implementación de células de producción	89
8.2.	Impacto de la propuesta de implementación de Tecnología de Grupo (GT).....	91
CAPITULO 9:	REDISEÑO DEL LAYOUT DE PLANTA	92
9.1.	Distribución de estaciones de la nueva línea	92
9.2.	Equipamiento para implementación de las nuevas líneas	99
9.3.	Nuevo layout de las líneas de spools.....	99
9.4.	Implementación de plumas de izaje	100
9.5.	Impacto de la propuesta de rediseño del layout de planta.....	102
CAPITULO 10:	MEJORA EN LA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN	105
10.1.	Estrategia de Administración de restricciones (TOC).....	105
10.2.	Identificación del tambor (DRUM)	105
10.3.	Explotar la restricción	106
10.3.1.	Implementación del amortiguador (buffer).....	106
10.3.2.	Implementación de Cuerda (Rope-length)	107
10.3.3.	Reemplazo durante almuerzo	107
10.3.4.	Subordinar los demás procesos.....	107
10.3.5.	Utilización de sujetadores en armado	110
10.3.6.	Cambio tecnológico	111
10.4.	Impacto de la mejora en la Gestión de la Producción	112
10.4.1.	Implementación de línea piloto	112
10.4.2.	Medición de productividad de línea piloto	113

CAPITULO 11: EVALUACIÓN ECONOMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA	115
11.1. Evaluación económica de las Propuestas del Capítulo 8 y 9	115
11.1.1. Descripción de beneficios del proyecto de implementación de células de producción y rediseño del layout	115
11.1.2. Descripción de costos de inversión y gastos operativos	117
11.1.3. Plan de inversión del proyecto	122
11.1.4. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto	122
11.1.5. Resultados de la evaluación de la propuesta de implementación de células de producción y del rediseño del layout.....	124
11.2. Evaluación económica de las Propuestas del Capítulo 10	126
11.2.1. Descripción de beneficios del proyecto de implementación de Teoría de Restricciones (TOC)	126
11.2.2. Descripción de costos de inversión y gastos operativos	128
11.2.3. Plan de inversión del proyecto	131
11.2.4. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto	131
11.2.5. Resultados de la evaluación de la propuesta de implementación de la Teoría de Restricciones (TOC).....	134
 PARTE IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 136
BIBLIOGRAFIA	138
ANEXOS	140



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Industrias de las categorías primaria, secundaria y terciaria. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”	2
Tabla 2. Familia de productos en una empresa.....	7
Tabla 3. Variables de entrada para el diseño de layout. Adaptado de “Administración de las operaciones productivas”	16
Tabla 4. Características de diseño de la pieza compuesta en la figura 13.....	21
Tabla 5. Pulgadas de diámetros de Spools desarrollados por la empresa entre 2014 y 2015.....	27
Tabla 6. Capacidad máxima de producción en pulgadas de diámetro de soldadura (PD).....	43
Tabla 7. Ritmo de producción por proceso	44
Tabla 8. Evaluación de Seleccionar.....	50
Tabla 9. Evaluación de Ordenar	50
Tabla 10. Evaluación de Limpiar	51
Tabla 11. Evaluación de Estandarizar	51
Tabla 12. Tipificación de problemas por proceso.....	52
Tabla 13. Frecuencia de los problemas en el proceso productivo	53
Tabla 14. Máquinas y centros de trabajo del área de habilitado.	59
Tabla 15. Recorridos por traslados de spools.....	61
Tabla 16. Matriz de relación de cercanía en la producción de spools	63
Tabla 17. Cuadro con las HH programadas vs Capacidad Máxima	67
Tabla 18. Cuadro de capacidades por grupo de soldadores.....	68
Tabla 19. Característica de diseño de la pieza compuesta en la figura 51	86
Tabla 20. Descripción de los productos asignados a cada célula de producción ...	89
Tabla 21. Descripción de los procesos por célula de producción.....	89
Tabla 22. Descripción de mejoras alcanzadas	91
Tabla 23. Equipamiento requerido para la implementación de las nuevas líneas ...	99
Tabla 24. Porcentaje de mejora en la producción de spools.....	104
Tabla 25. Reducción de tiempo subordinando los demás recursos	110
Tabla 26. Indicadores de productividad de la línea piloto	113
Tabla 27. Beneficios por el incremento de la tasa de producción	115
Tabla 28. Beneficios por el incremento de la tasa de producción	116
Tabla 29. Beneficio total de la implementación de propuestas Nro. 1 y 2	117
Tabla 30. Costo de las asesorías y capacitaciones metodología GT	118
Tabla 31. Costo de maquinarias y equipos.....	119
Tabla 32. Costo de adecuación de instalaciones de la nueva línea de spools.....	119
Tabla 33. Costo de capital para suplir los materiales por la producción adicional.	121
Tabla 34. Plan de inversiones empleando las mejoras	122
Tabla 35. Flujo de fondos del proyecto (implementando las células de producción y rediseño del layout)	123
Tabla 36. Resultado de Técnicas financieras (implementando las células GT y rediseño del layout)	125
Tabla 37. Cálculo de incremento de la tasa de producción por mejoras TOC.....	126
Tabla 38. Resultado de Técnicas financieras	127
Tabla 39. Costo de las asesorías y capacitaciones metodología TOC	128
Tabla 40. Costo de equipos.....	129
Tabla 41. Costo de capital para suplir los materiales por la producción adicional.	130
Tabla 42. Plan de inversiones empleando las mejoras	131
Tabla 43. Flujo de fondos del proyecto (implementando las mejoras TOC).....	132
Tabla 44. Resultado de Técnicas financieras (implementando la Teoría de Restricciones).....	134

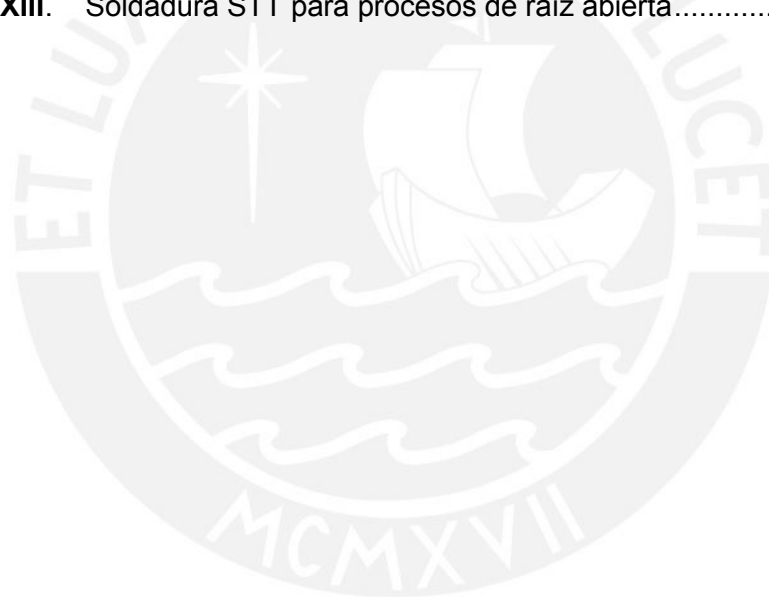
INDICE DE FIGURA

Figura 1. Definición de manufactura. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”	1
Figura 2. Continuo de las operaciones de bienes y servicios. Adaptado de “Administración de las operaciones productivas”	3
Figura 3. Panorama general de un sistema de producción. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”	4
Figura 4. Matriz de Proceso de Transformación Comercial en empresa metalmeccánica. Adaptado de “Administración de las operaciones productivas”	5
Figura 5. Matriz de Proceso - Producto. Adaptado de “Administración de las operaciones productivas”	6
Figura 6. Relación entre la variedad de productos y la cantidad de producción. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna,”	7
Figura 7. Proceso de Focalización de Teoría de Restricciones (TOC)	11
Figura 8. Distribución por posición fija. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”	17
Figura 9. Distribución por proceso. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”	18
Figura 10. Flujos complicados en un taller de producción intermitente sin células. Adaptado de “Administración de operaciones: Procesos y cadenas de valor”	18
Figura 11. Distribución celular. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”	19
Figura 12. Familia de piezas. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”	20
Figura 13. Concepto de pieza compuesta. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”	21
Figura 14. Flujos en línea en un taller de producción intermitente con tres células GT. Adaptado de “Administración de operaciones: Procesos y cadenas de valor”	22
Figura 15. Metodología de las 5S's.	23
Figura 16. Evaluación de 5S's.....	25
Figura 17. Plano isométrico de spools	28
Figura 18. Matriz de Proceso - Producto. Adaptado de “Administración de las operaciones productivas”	30
Figura 19. Flujo de procesos desde Ingeniería hasta despacho.....	31
Figura 20. Máquina cortadora de tubos VERNON.....	34
Figura 21. Armado de spools	34
Figura 22. Mecanizado de spool	35
Figura 23. Soldadura de spools	36
Figura 24. Revestimiento de spool.....	37
Figura 25. Recubrimiento de pintura	37
Figura 26. Inspección de calidad.....	38
Figura 27. Embalaje y despacho de fabricaciones	38
Figura 28. Diagrama de Flujo del proceso.....	39
Figura 29. DAP del habilitado de materiales en la Planta Nro. 1.	41
Figura 30. DAP de la fabricación de spools en la Planta Nro. 2.	42
Figura 31. Cumplimiento de entrega de Órdenes de Venta (SO)	45
Figura 32. Cumplimiento de entrega de SO en el mes	45
Figura 33. HH Planificadas vs HH Ejecutadas.....	46
Figura 34. HH Planificadas vs HH Ejecutadas.....	47
Figura 35. Imagen tomada durante evaluación 5S	49
Figura 36. Gráfico de Pareto de los problemas en el proceso productivo.....	54
Figura 37. Diagrama de Ishikawa de los problemas en el proceso productivo	56
Figura 38. Layout de planta Nro.1	58

Figura 39.	Layout de planta Nro.2	60
Figura 40.	Diagrama de Espaghetti	62
Figura 41.	Diagrama de Ishikawa para problemas en distribución de planta	65
Figura 42.	Cumplimiento HH Programadas	70
Figura 43.	Cumplimiento Secuencias Programadas	72
Figura 44.	Indicador de Horas Extra	74
Figura 45.	Indicador de Horas Muertas	74
Figura 46.	Indicador de ritmo de producción proceso de Armado	75
Figura 47.	Indicador de ritmo de producción proceso de Soldadura `	76
Figura 48.	Grado de Utilización del recurso productivo de soldadura	77
Figura 49.	% Exceso Horas Reales vs Horas Estimadas	78
Figura 50.	Ratio de productividad	79
Figura 50.	Diagrama de Ishikawa de los problemas de gestión de la producción	83
Figura 51.	Concepto de pieza compuesta	86
Figura 52.	Operaciones de pieza compuesta	87
Figura 53.	Flujo de producción de spools de acero al carbono	88
Figura 54.	Flujo de producción de spools de acero inoxidable SS	88
Figura 55.	Flujos en línea en un taller de producción intermitente con cuatro células GT. Adaptado de "Administración de operaciones: Procesos y cadenas de valor"	90
Figura 56.	Diseño de estación de trabajo preparación de accesorios	92
Figura 57.	Diseño de estación de trabajo preparación de tubos	93
Figura 58.	Diseño de estación de trabajo Armado Rotacional	94
Figura 59.	Diseño de estación de trabajo Soldadura Pase Raíz	95
Figura 60.	Diseño de estación de trabajo Soldadura Relleno y Acabado	95
Figura 61.	Diseño de estación de trabajo Armado no rotado	96
Figura 62.	Diseño de estación de trabajo Soldadura Tridimensional – Pase de raíz	97
Figura 63.	Diseño de estación de trabajo Soldadura Tridimensional – Relleno y acabado	98
Figura 64.	Nuevo layout de las líneas de spools	100
Figura 65.	Vista superior de ubicación de plumas	101
Figura 66.	Vista frontal de ubicación de plumas	102
Figura 67.	DAP de la nueva línea de spools con los cambios en layout de Planta Nro. 2	103
Figura 68.	Diagrama de flujo y tasas de producción del proceso	105
Figura 69.	Aseguramiento de buffer	106
Figura 70.	Diagrama de actividades del proceso de soldadura	109
Figura 71.	Armado de spools sin sujetadores (clamps)	110
Figura 72.	Armado de spools con sujetadores (clamps)	111
Figura 73.	Línea piloto	112
Figura 74.	Gráfico comparativo de la productividad en la Línea piloto	113
Figura 75.	Grado de utilización del recurso productivo soldadura	114
Figura 76.	Diagrama de flujo de fondos (implementando las células GT)	125
Figura 77.	Diagrama de flujo de fondos (implementando la Teoría de Restricciones)	134

INDICE DE ANEXOS

Anexo I.	Secador de tubos FRT-8000 SC	140
Anexo II.	Piping Spools Rotado y No Rotado	141
Anexo III.	Programa Maestro de Producción	142
Anexo IV.	Indicador de Calidad de Programación	143
Anexo V.	Histograma de Cumplimiento de horas Programadas vs horas Planificadas	144
Anexo VI.	Evaluación de las 5S'	145
Anexo VII.	Programación de Orden de Trabajo (WO)	146
Anexo VIII.	Detalle de carga de trabajo en GRA y PIN (SEM 46)	147
Anexo IX.	Nueva ubicación de la línea de spools en la planta Nro. 2	148
Anexo X.	Engineering BOM Cost Build-Up	149
Anexo XI.	Programa de producción	150
Anexo XII.	Programa y aseguramiento de buffer SEM47 y 48	151
Anexo XIII.	Soldadura STT para procesos de raíz abierta	153



PARTE I: MARCO TEÓRICO

CAPITULO 1: CLASIFICACION DE LAS EMPRESAS SEGÚN SUS OPERACIONES PRODUCTIVAS

1.1. Las industrias manufactureras y sus productos

Es la actividad de transformar materiales en productos de mayor valor por medio de un proceso de manufactura. Las operaciones de procesamiento o ensamblado generan valor agregado a un material de inicio, debido a que estas operaciones realizan modificaciones en sus propiedades o forma, M. Groover 2007.

Por ejemplo una planta de fundiciones recibe materiales de acero en distintas formas, muchas veces producto del reciclaje de acero, y mediante la aplicación de mucho calor y un molde, se transforma en una pieza procesada con valor en el mercado.

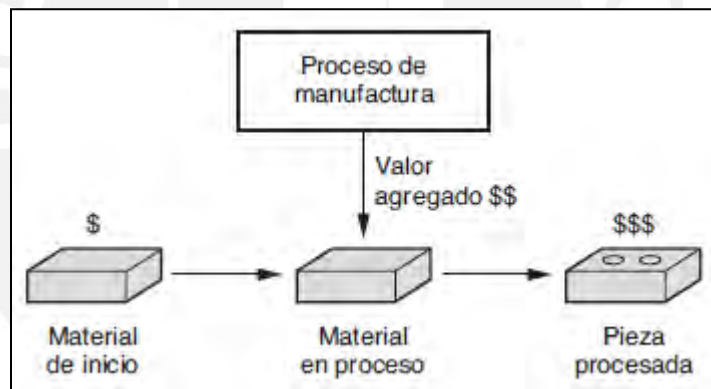


Figura 1. Definición de manufactura. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”

Fuente: M. Groover, 2007, p. 04. México D.F., México: McGraw-Hill

La actividad comercial conlleva a que las empresas produzcan productos para vender a los clientes. A consecuencia de ello la alta dirección de la organización debe establecer estrategias de como satisfacer la demanda del segmento de mercado al que quieren atender, en función a: tipos de manufactura, productos y cantidades.

1.2. Industrias manufactureras

La industria está conformada por empresas y organizaciones que ofertan productos y servicios a mercados específicos. Se clasifican en Industrias: primarias, secundarias y tercerías, M. Groover 2007.

- Industrias primarias, se denomina a todas aquellas organizaciones que realizan cultivos o extracciones de recursos naturales. Actividades como la agricultura, la pesca y la minería forman parte de esta industria.
- Industrias secundarias; son las empresas que se encargan de tomar las salidas de las industrias primaria, le realizan algún tipo de operación dándole un valor agregado, para luego comercializarlas. En este sector también se ubican el sector construcción y energía. Como ejemplo de esta industria podríamos tomar las empresas de manufactura de baterías de Litio, productos muy usados para la manufactura de autos eléctricos, laptops, smartphones, etc.
- Industrias terciarias; este sector está conformado por toda organización que realice servicios como actividad económica. Ejemplo de ello son las empresas de tratamiento de residuos industriales, AFP, clínicas, colegios privados, etc.

Tabla 1. Industrias de las categorías primaria, secundaria y terciaria. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”

Primaria	Secundaria	Terciaria (Servicios)
Agricultura	Aerospacial	Banca
Canteras	Alimentos procesados	Bienes raíces
Forestal	Automoriz	Comercio al mayoreo/menudeo
Ganadería	Bebidas	Comunicaciones
Minería	Computadoras	Educación
Pesca	Construcción	Entretenimiento
Petróleo	Editorial	Gobierno
	Electrónica	Hotel
	Equipos	Legales
	Farmacéutica	Restaurantes y hoteles
	Etc.	Etc.

Fuente: M. Groover, 2007, p. 05. México D.F., México: McGraw-Hill

1.3. Productos manufacturados

Los productos finales fabricados por las industrias se dividen en bienes de consumo y bienes de capital, M. Groover 2007.

- Bienes de consumo, son todos aquellos productos que son comprados de forma directa por los consumidores, ejemplo de ello tenemos: papel higiénico, automóviles, smartphones, televisores, etc.

— Bienes de capital, son todos los productos finales que son comprados por otras compañías para producir sus productos o realizar sus servicios, ejemplo de ello son: los tornos, máquinas de soldar, compresores de pintura, camiones, etc.

1.4. Clasificación de las empresas según sus operaciones

Las empresas se pueden clasificar según el tipo de operación, ya sea de operaciones en bienes físicos u operaciones de servicio.

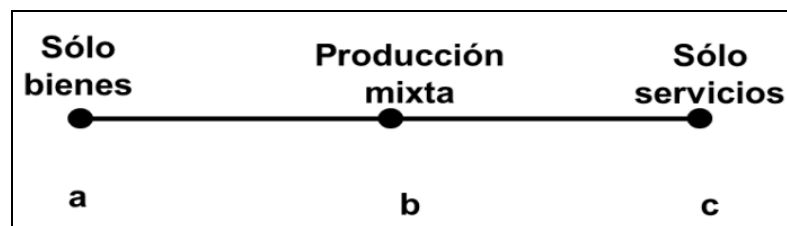


Figura 2. Continuo de las operaciones de bienes y servicios. Adaptado de “Administración de las operaciones productivas”

Fuente: por F. D’Alessio, 2013, p. 28. México D.F., México: Pearson

De la figura 2, se concluye que una organización planifica y organiza sus operaciones en función del producto y/o servicio que brindará a la sociedad, para ello se apoyará de diferentes métodos y metodologías para la administración de sus recursos, según F. D’Alessio, 2013.

Por ejemplo una empresa de producción de papel planificará sus equipos, mano de obra, métodos, espacios de trabajos, entre otros, con el objetivo de cumplir sus compromisos de entrega de los pedidos (tangibles) de sus clientes los cuales pueden ser periódicos, revistas, documentos contables, tarjetas, etc.

Por otro lado una empresa del sector banca y finanzas, planificará sus operaciones de forma diferente, utilizando teoría de colas, arboles de decisión, programación lineal, etc. Todo ello con el objetivo de satisfacer la demanda con productos no tangibles como por ejemplo: prestamos de capital, aperturas de cuentas corrientes, cuentas de recaudación, etc.

CAPITULO 2: SISTEMAS DE PRODUCCION

2.1. Planeación y organización del sistema de producción

Para poner en marcha de manera eficaz las operaciones de una empresa de manufactura, previamente se debe planificar, organizar, direccionar y controlar sistemas que le permitan llevar a cabo con eficiencia su tipo de producción, según M. Groover, 2007.

Los sistemas de producción están compuestos por a) Instalaciones productivas y b) sistemas de apoyo en la manufactura (ver figura 3).

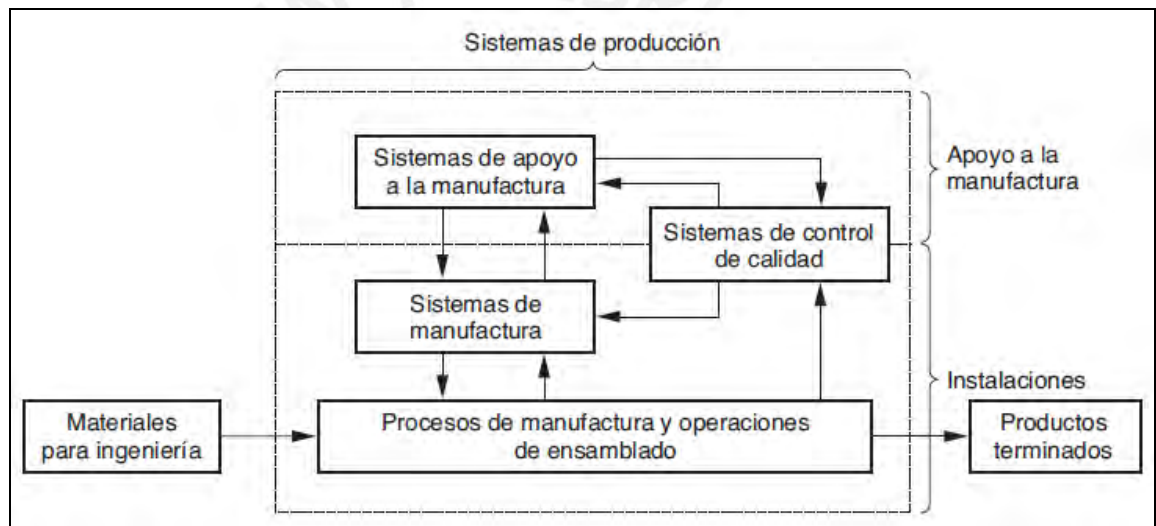


Figura 3. Panorama general de un sistema de producción. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”

Fuente: M. Groover, 2007, p. 20. México D.F., México: McGraw-Hill

De la figura 3 se concluye que, en Instalaciones se tiene las maquinarias y la disposición de estas en la línea de producción, al recurso humano operativo y los procedimientos para la ejecución de los trabajos. En Apoyo a la manufactura se tiene el área de ingeniería fabril, la planeación y control de la producción, el control de la calidad y la mejora de procesos.

2.2. Matriz del Proceso de Transformación

Cuando una empresa desea satisfacer algún nicho de mercado, el analista debe identificar si la demanda es de algún artículo único e irrepetible en el mercado o si existirá alguna demanda constante en cierto periodo de tiempo. Ya que de esta variable dependerá la metodología para la planificación de las operaciones; F. D'Alessio, 2013.

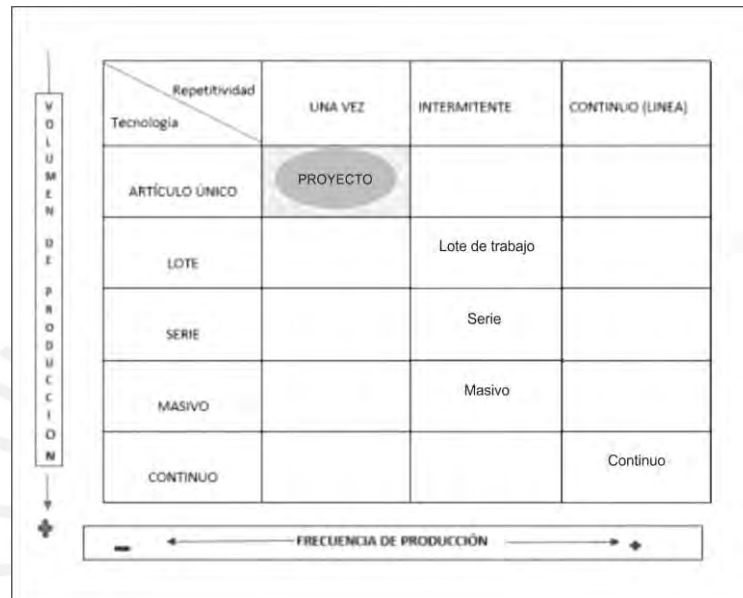


Figura 4. Matriz de Proceso de Transformación Comercial en empresa metalmecánica. Adaptado de "Administración de las operaciones productivas" Fuente: por F. D'Alessio, 2013, p. 29. México D.F., México: Pearson

El gráfico de la figura 4 nos permite ubicar y clasificar a las empresas según su volumen y frecuencia de producción, y permite a un analista identificar la metodología que mejor se adapte a la estrategia de producción buscada por los gerentes de alto rango.

Por ejemplo, la empresa de estudio tiene como actividad comercial la fabricación de equipos para el sector minería, pesca e hidrocarburos. Estos equipos se manufacturan en función de las dimensiones y capacidades de procesamiento requeridas por el cliente, en base a la planificación de su proyecto. Es decir, para un secador de tubos del sector pesca (Ver anexo I) la estrategia que más se acomoda es del tipo proyecto.

Por otro lado para la producción de papel higiénico (por ser producto de consumo masivo), la estrategia de una línea de producción del tipo continuo es la que más se adapta a su necesidad.

2.3. Matriz del proceso-producto

Esta herramienta nos permite identificar los procesos de acuerdo a su grado de estandarización y el flujo de los materiales en proceso (WIP). Los grados van desde baja estandarización para productos únicos hasta alta estandarización para productos de consumo masivo; F. D'Alessio, 2013.

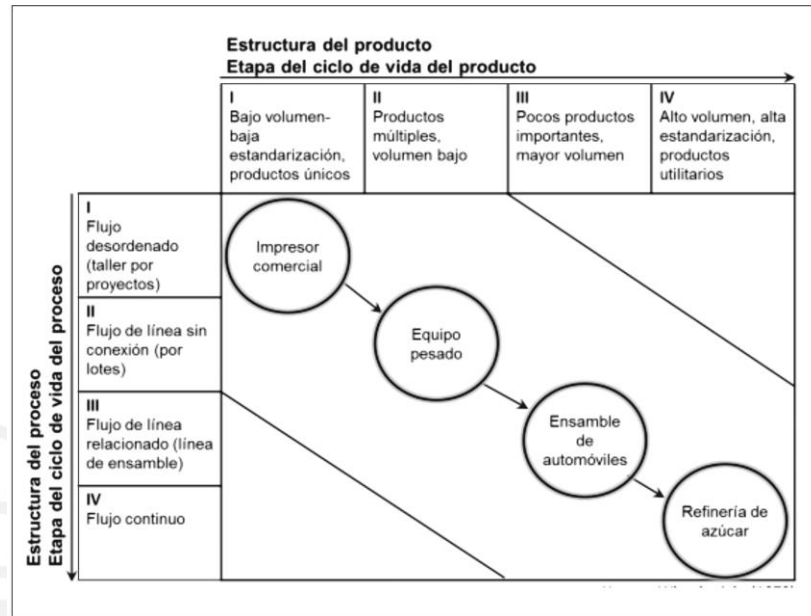


Figura 5. Matriz de Proceso - Producto. Adaptado de "Administración de las operaciones productivas"

Fuente: F. D'Alessio, 2013, p. 34. México D.F., México: Pearson

La figura 5 nos indica cómo podemos clasificar los procesos de producción de acuerdo a la etapa de ciclo de vida del producto y del proceso. Un producto con un ciclo de vida maduro tendrá alto grado de estandarización y un flujo continuo de materiales en proceso.

Por ejemplo, la empresa de estudio pertenece al sector metalmecánico y tiene como mercado objetivo el sector minería, pesca y energía e hidrocarburo, por ello posee productos múltiples para cada sector y los fabrica en bajos volúmenes ya que cada fabricación (proyecto) es realizada a la medida requerida por el cliente.

Por tal motivo, el diseño de la distribución de planta para el flujo de los materiales en proceso (WIP) debe ser de una alta flexibilidad debido a la variedad de proyectos y sectores en los que se enfoca la empresa.

2.4. Cantidad de producción y variedad de productos

La cantidad de producción se refiere al número de productos fabricados en un año, este es un parámetro muy importante para el diseño de las instalaciones de producción ya que permitirá planificar la organización del personal, las instalaciones y los procedimientos.

De acuerdo al Dr. Mikell Groover (2007) podemos clasificar la cantidad de producción bajo el siguiente esquema: 1) *producción baja*, en el rango de 1 a 100 unidades por año; 2) *producción media*, de 100 a 10000 unidades anuales; y 3) *producción alta*, de 10,000 a más unidades, ver figura 6 a continuación.

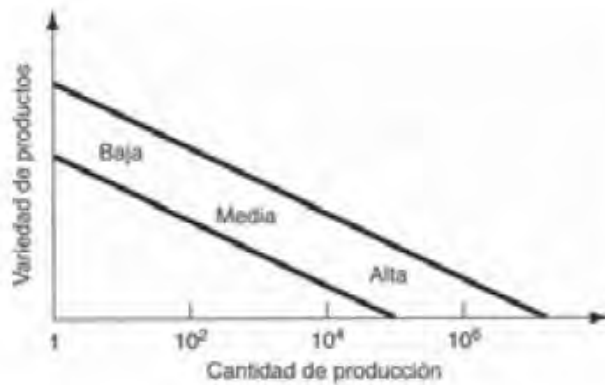
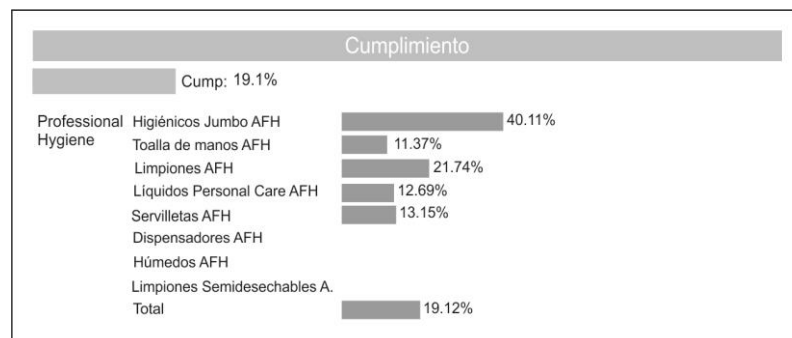


Figura 6. Relación entre la variedad de productos y la cantidad de producción. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna,”

Fuente: M. Groover, 2007, p. 07. México D.F., México: McGraw-Hill

En cuanto a la variedad de productos nos referimos a los tipos de productos o familias de productos; este también es un parámetro muy importante ya que las empresas fabrican diferentes cantidades por cada variedad de producto.

Tabla 2. Familia de productos en una empresa.



Fuente: Empresa Productos Familia

En la tabla 2 tenemos un ejemplo una empresa de manufactura de papel tissue, la cual produce diferentes cantidades por cada tipo de producto en función de la demanda de cada uno de ellos, entre la familia de productos que se fabrican tenemos al Papel Higiénico Jumbo que representa el 40.11% de su facturación, las Toallas de mano con un 11.37%, las Servilletas el 13.15%, los Limpiones con el 21.74% y líquidos de cuidado personal (jabones) con 12.69%.

2.5. Capacidad de manufactura

Una empresa manufacturera planifica y desarrolla procesos y sistemas con el fin de obtener una capacidad limitada de procesar y agregar valor a la materia prima con el objetivo de transformarla en productos terminados con valor comercial. Para ello debe especializarse en ciertos tipos de productos consiguiendo un valor diferenciador versus su competencia. En consecuencia, la capacidad de manufactura se refiere a las limitaciones técnicas y físicas de una planta manufacturera. Estas limitaciones se identifican de tres formas:

— Capacidad tecnológica de proceso

Son todos los procesos que dispone una empresa para la manufactura de productos, desde la tecnología de su maquinaria hasta el know-how del personal, en base a ello una empresa manufacturera busca producir en función a su capacidad tecnológica de proceso, M. Groover 2007.

Es decir una empresa produce planchas de acero, otra fundiciones y otra los máquina-ensambla. Aunque esta regla se rompe en ciertas ocasiones ya que por ejemplo plantas fundidoras implementan estrategias de integración vertical, instalando talleres de mecánica y ensamble para vender de forma directa repuestos de equipos del sector minería.

— Tamaño físico y peso del producto

Una planta planifica sus instalaciones en función al producto físico, es decir mientras más grande sea el producto físico se requerirá mayor inversión en el área de la planta, naves industriales, en maquinarias que puedan procesar las dimensiones buscadas, equipos de movimiento de mayor capacidad, ejemplo puentes grúa de 32 Ton, etc.

Es decir la línea de producción, manejo de materiales, capacidad de almacenamiento y tamaño de planta, se deberán planificar para los productos bajo cierto rango de tamaño y peso, M. Groover 2007.

— Capacidad de producción

Es la tasa máxima de producción respecto a un periodo de tiempo (semanas, años, etc). Esta capacidad está en función de las horas de trabajo, turnos y cantidad de operarios. Es recurrente llamar a estas limitaciones de cantidad: capacidad de planta o capacidad de producción.

Generalmente la capacidad de planta en productos finales homogéneos se mide en términos de unidades producidas, por ejemplo el número de toneladas producidas en una fundición, M. Groover 2007.

Para las empresas de manufactura con productos finales variados, por ejemplo una metalmecánica, la capacidad de planta esta medida en Horas Hombre (HH). Y en el caso de fabricación de spools (tuberías) esta medida en Pulgadas de Diámetro (PD).



CAPITULO 3: TEORIA DE RESTRICCIONES

La Teoría de Restricciones o TOC, por sus siglas en inglés de Theory Of Constraints, es una metodología muy potente tanto en el campo operativo como administrativo, cuyo objetivo es: “mejorar el funcionamiento de los sistemas de gestión de las organizaciones” (Fernández 2000: 24).

Esta teoría fue propuesta por el físico Eliyahu Goldratt, quien aplicó su conocimiento científico de la física al desarrollo de una propuesta de mejoramiento para empresas productivas. Posteriormente, su teoría fue difundida para todo tipo de empresas.

3.1. ¿Qué es Teoría de Restricciones?

La Teoría de Restricciones (TOC) es una metodología sistemática de mejoramiento continuo, que ayuda a las empresas en identificar y administrar activamente las restricciones para “incrementar sus utilidades con un enfoque sistémico simple y práctico” (Krajewski 2008: 254).

“La Teoría de Restricciones reconoce que la producción de un sistema consiste en múltiples procesos, donde el resultado de cada uno de esos procesos depende del resultado de procesos previos. El resultado o la producción del sistema, estará limitada por el proceso más lento” (Goldratt 1993: 65).

3.1.1. ¿Qué es una restricción?

Toda organización posee un proceso que limita su capacidad de producción o servicio. El profesor Goldratt propone un enfoque interesante de como plantear el objetivo al enfrentar esta limitante en una organización.

El concepto ‘restricción’ es entendido como el factor que impide a las empresas alcanzar su meta, entendiendo como meta la razón para que el sistema exista. Para empresas con ánimo de lucro, la meta será ganar más dinero ahora y en el futuro; para empresas sin ánimo de lucro, la meta será generar más unidades de meta, es decir, generar más salud en el caso de hospitales, más educación en el

caso de los centros educativos, o más seguridad en el caso de instituciones militares y de seguridad nacional (Goldratt, 1993: 72).

3.1.2. Tipos de Restricción

“Las restricciones de una empresa se clasifican en restricciones físicas y restricciones de políticas” (Goldratt 1993: 72). A continuación se menciona las restricciones:

— Restricciones Físicas

Las restricciones físicas, están dadas por: problemas de capacidad de una máquina, de una sala de hospital, escasez de materia prima o capital de trabajo.

— Restricciones Políticas

Son las restricciones establecidas por las regulaciones del estado, o por reglas de la misma organización, es decir son restricciones que no permiten a la organización alcanzar sus metas.

3.2. Metodología para administrar los cuellos de botella

“Para superar este tipo de restricciones se sigue un proceso denominado: proceso de focalización, que consiste en una serie de pasos secuenciales orientados a superar el obstáculo físico que impide a la empresa alcanzar su meta” (Goldratt 1993: 73).

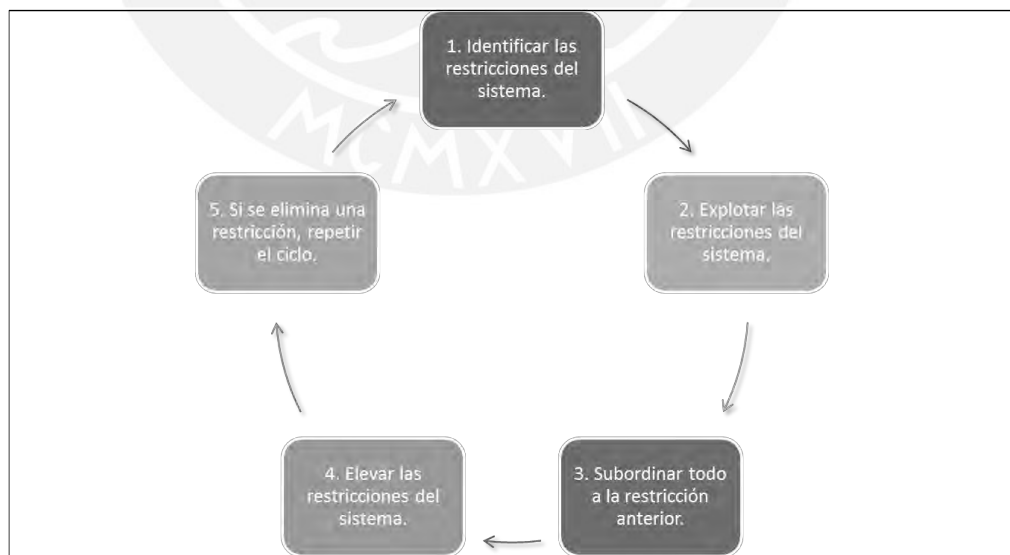


Figura 7. Proceso de Focalización de Teoría de Restricciones (TOC)

Fuente: Morales (1994)

Como se puede ver en el Figura 7, se tienen 5 pasos secuenciales para poder eliminar una restricción. Los pasos a seguir son:

- **Paso 1.** Consiste en identificar la restricción que está obstaculizando llegar a la meta, es decir identificar el proceso más lento ya que este es el proceso que marca el ritmo de todo el ciclo productivo.
- **Paso 2.** Explotar la restricción del sistema; en este punto ya hemos identificado el cuello de botella y procederemos a implementar políticas para maximizar la cantidad de producción en el cuello de botella. Las políticas pueden ir desde implementar un turno de trabajo adicional, horas extras, reemplazos durante hora de almuerzo, etc.
- **Paso 3.** Subordinar el sistema productivo a la restricción, dado que el cuello de botella nos marca cual es el ritmo de producción en todo el sistema, los demás procesos deben producir en función a la capacidad máxima del cuello de botella para evitar la acumulación de materiales en procesos (WIP) y personal con horas muertas por falta de carga de trabajo.
- **Paso 4.** Elevar la restricción del sistema, en este paso se debe implementar un programa de mejoramiento de la productividad en la restricción, esto puede ir desde tercerizar parte de la carga de trabajo o un cambio tecnológico que nos permita incrementar la productividad del cuello de botella, entre otras estrategias.
- **Paso 5.** Si se elimina una restricción repetir el ciclo, con los pasos anteriores es muy probable que el cuello de botella haya saltado hacia un nuevo proceso, lo que toca en este paso es volver a plantear un programa o proyecto de mejora de la productividad volviendo aplicar los pasos anteriores mencionados en el nuevo cuello de botella.

3.3. ¿Qué es un amortiguador (buffer)?

Para evitar que la línea de producción se detenga por falta de agilidad en el flujo de los productos en proceso, el Dr. Goldratt implementó la técnica de realizar un colchón de carga a los procesos cuellos de botella (buffer), de esta forma se evita que un proceso cuello de botella quede sin carga de trabajo, se pierda tiempo valioso de producción y pérdidas por inoperatividad de las máquinas.

3.4. Indicadores de Teoría de Restricciones (TOC)

“La meta de una organización, debe ser definida por sus propietarios. En el caso de una organización creada con fines de lucro ésta es “ganar dinero”. Cada acción que se toma en una organización debe ser juzgada de acuerdo a su capacidad de acercar el sistema a la meta definida por sus propietarios” (Goldratt 1984: 61).

“La evaluación del cumplimiento de la meta se realiza a través de indicadores de productividad tales como: Throughput (T), Gastos Operativos (GO), Inventarios (I)” (Goldratt 1984: 63).

a. Rendimiento (Throughput) (T)

Throughput se define como: “La velocidad a la cual el sistema genera dinero a través de las ventas. Mide cuánto dinero genera el sistema tomando en cuenta: utilidades a través de ventas, intereses cobrados, regalías por patentes, etc” (Goldratt 1984: 63).

El rendimiento de un sistema se define matemáticamente con la fórmula:

$$T = N \times (PV - CTV)$$

Siendo:

T: rendimiento (throughput)

N: Cantidad de unidades cobradas en un período.

PV: Precio de venta del producto

CTV: Costos Totalmente Variables. “Los costos variables aumentan con cada unidad adicional de producto. Ejemplo de esto es el costo de la materia prima que tiene relación directamente proporcional con el volumen de ventas” (Beltran 2013: 182).

b. Gasto de operación (GO):

También denominados gastos operativos, lo cuales son todos los gastos que realizan las empresas para poder ejecutar sus respectivas operaciones. El profesor Golratt define los gastos de operación de la siguiente forma. “Es todo el dinero que

el sistema gasta en convertir el inventario en rendimiento: Throughput” (Goldratt 1984: 63).

Los Gastos Operativos tienen la siguiente fórmula:

$$\text{GO} = \text{SUELDOS} + \text{GASTOS DE FABRICACIÓN}$$

c. Inventario (I)

Existen muchas definiciones de inventario, una muy utilizada es la siguiente: “Es todo el dinero que el sistema invierte en elementos que se propone vender” (Krajewski 2008: 377). Llamamos inventario a todos los bienes almacenados que posteriormente servirán para hacer una operación de las siguientes características: venta, transformación, compra, alquiler, etc. “TOC sostiene que cualquier valor que se asigne a estos elementos es inexacto, ya que solo cuando alguien los compra se sabe cuánto valen realmente” (Krajewski 2008: 254).

“Los criterios de evaluación de Inversión que usa TOC están enfocados en inducir a las personas de la organización a actuar según lo que es bueno para el sistema y a disuadirlas de actuar según lo que es malo para el sistema” (Goldratt 1984: 66). El profesor Goldratt plantea los siguientes indicadores financieros para evaluar si una organización se acerca a su meta:

a. Beneficio neto

“El beneficio neto se calcula a partir de todo el rendimiento generado (Throughput) en un período de tiempo, por lo general un mes, y la resta de todos los Gastos Operativos del mismo periodo” (Iglesias 2000: 45).

$$\text{BN} = \text{THROUGHPUT} - \text{GASTOS OPERATIVOS}$$

b. Retorno sobre la inversión (ROI)

Otro indicador muy importante para la Teoría de Restricciones es el Retorno sobre la inversión (ROI), su cálculo se determina de la siguiente formula:

$$\text{ROI} = \text{BENEFICIO NETO} + \text{INVERSION (INVENTARIOS)}$$

“Sin embargo si hay mucho beneficio y un alto ROI, no es razón para quedarse tranquilo puesto que si no hay disponibilidad de efectivo es difícil que la empresa esté saludable” (Beltran 2013: 174).

CAPITULO 4: PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DEL LAYOUT DE PLANTA

4.1. Disposición de planta

“La disposición final de una planta está condicionada por la capacidad requerida de producción, que a su vez la dicta el mercado y las metas corporativas de una organización”, Fernando D’Alessio (2012).

Tabla 3. Variables de entrada para el diseño de layout. Adaptado de “Administración de las operaciones productivas”

Personal	Material	Maquinaria
Vías de acceso Instalaciones para el uso del personal Protección contra incendios Iluminación Calefacción y ventilación Oficinas	Control de calidad Control de producción Control de rechazos, mermas desperdicios	Mantenimiento Distribución de las líneas de servicio auxiliares

Fuente: F. D’Alessio, 2013, p. 34. México D.F., México: Pearson

En la tabla 3 se muestra las variables de entrada a considerar durante la etapa de diseño o modificación del layout de planta, estas variables son: el área disponible y los recursos de personal, material y maquinarias.

4.2. Tipos de distribución de planta

“La distribución de planta hace referencia al arreglo específico de las instalaciones físicas, y es necesario su estudio siempre que se construya una planta nueva, exista un cambio significativo en la demanda en una planta existente, un producto nuevo es introducido al mercado o por la incorporación de procesos o tecnología nueva en la línea de producción” (D’Alessio 2012: 34).

4.2.1. Distribución de planta por posición fija

Este tipo de producción es utilizado por talleres de manufactura que elaboran una baja cantidad de unidades al año (entre 1 y 100 und/año), teniendo estos productos un alto grado de especialización, siendo hechos a la medida de acuerdo a lo requerido por el cliente en particular. Ejemplos de estos productos son Plateworks, Secadores de Tubos FRT, Celdas RCS-50, etc (ver figura 9).

El layout de la planta debe diseñarse pensando en una alta flexibilidad, los trabajadores tienen un alto grado de especialización.

Muchas veces los productos son grandes y pesados, y difícilmente pueden ser movidos dentro de la planta, teniendo la particularidad de que los operarios (por lo general caldereros y soldadores) y los equipos que estos operan deben ser llevados al lugar del producto al contrario de la producción en serie, en donde es el producto que pasa por cada estación de trabajo. A este tipo de distribución se le denomina *distribución por posición fija*.

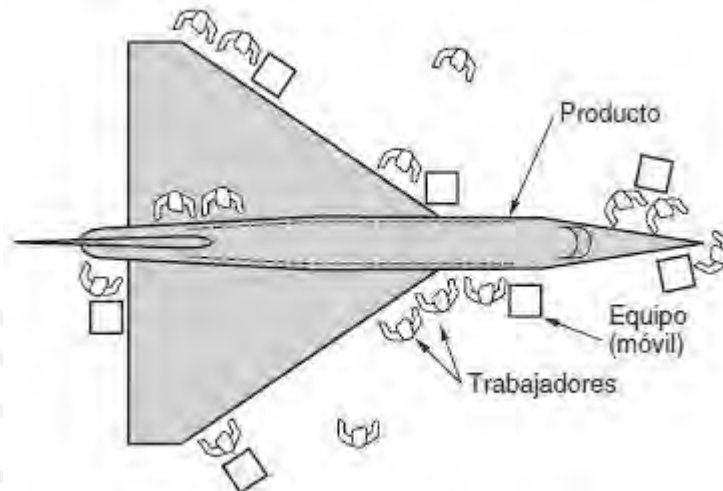


Figura 8. Distribución por posición fija. Adaptado de "Fundamentos de manufactura moderna"

Fuente: M. Groover, 2007, p. 18. México D.F., México: McGraw-Hill

4.2.2. Distribución de planta por proceso

Los diferentes componentes que requieren los grandes productos; como por ejemplo el ensamble de los rodillos radiales de un secador de tubos FRT o el mecanismo de agitación en una celda de flotación RCS-50; son manufacturados en fábricas donde la disposición de las máquinas se ubica según su tipo de operación, por ejemplo el departamento de tornos verticales, el departamento de tornos horizontales, el departamento de máquinas CNC, fresadoras, etc. A esta configuración de máquinas se le denomina **distribución por proceso**, ver figura 10. Estos componentes requieren diferentes operaciones de acuerdo a lo estipulado en la secuencia de fabricación indicado en su hoja de ruta, y por lo general se manufactura en pequeños lotes. La **distribución por proceso** tiene como desventaja que los centros de trabajo y los métodos de fabricación de estos productos y/o componentes no están pensados para una alta eficiencia de

producción y que se requiere recursos (maniobristas, plumas, grúas, etc.) para mover las piezas entre centros de trabajo.

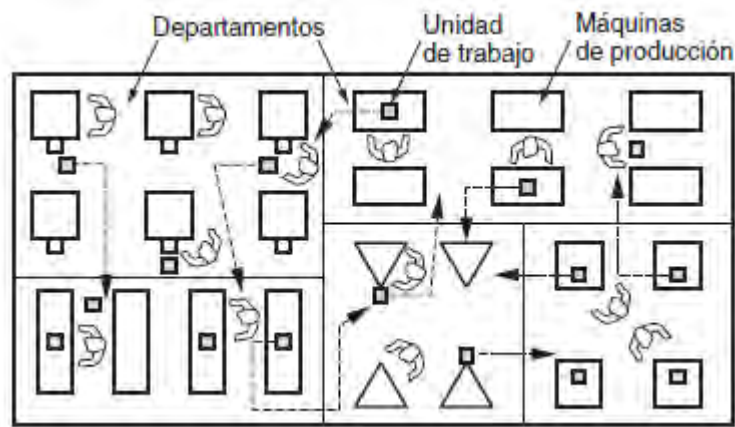


Figura 9. Distribución por proceso. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”
Fuente: M. Groover, 2007, p. 18. México D.F., México: McGraw-Hill

Este tipo de distribución, donde las máquinas están agrupadas de acuerdo a la función que realizan, tiene la desventaja de generar largas colas de espera en el procesamiento de los componentes, lo que provoca retrasos considerables y que las piezas tengan rutas muy variables que recorren toda la planta.

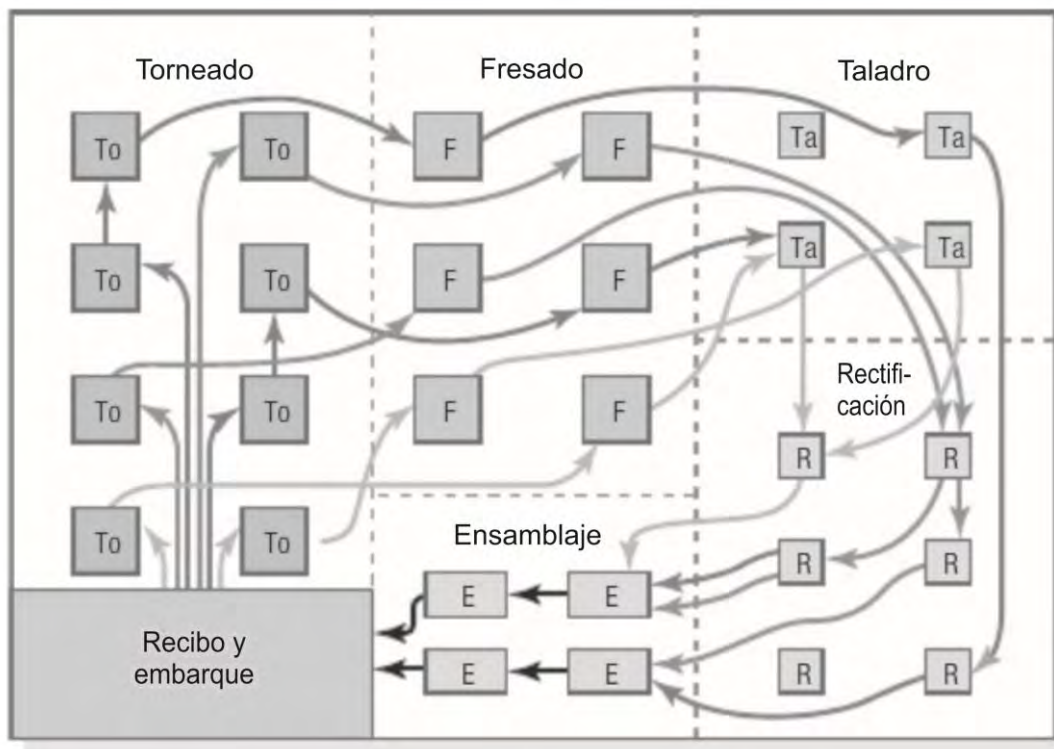


Figura 10. Flujos complicados en un taller de producción intermitente sin células. Adaptado de “Administración de operaciones: Procesos y cadenas de valor”
Fuente: L. Krajewski, 2008, p. 319. México D.F., México: PEARSON EDUCACIÓN

4.2.3. Distribución de planta por células

Es un sistema de manufactura en el que piezas o productos diferentes se maquinan o ensamblan en celdas que contienen diferentes estaciones de trabajos o máquinas, este tipo de configuración busca reducir considerablemente los tiempos de preparación de máquina (set up), Groover 2007. Esta clasificación permitirá que productos similares puedan producirse en las mismas máquinas con la misma preparación de máquina y que puedan ser supervisados por una menor cantidad de operadores que en otros sistemas de producción.

La desventaja de la manufactura celular, es que la producción de cada célula está limitada para una cierta variedad de piezas o productos que comparten similitudes en su producción.

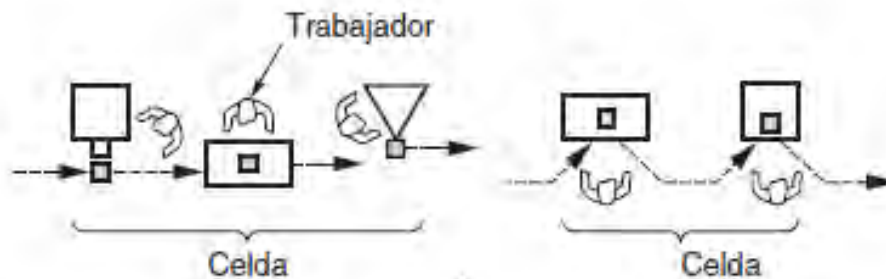


Figura 11. Distribución celular. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”
Fuente: M. Groover, 2007, p. 18. México D.F., México: McGraw-Hill

4.2.4. Distribución de planta por productos

En esta distribución de planta se instalan las líneas de producción en función de la fabricación de un solo tipo de producto, a una gran escala y con poca variedad. Ejemplo de este sistema de producción son las líneas de fabricación de papel higiénico.

4.3. Gráficas de recorrido

“Antes de diseñar una nueva distribución de planta o corregir la anterior, el analista debe reunir datos de lo que puede influir en ella. Las gráficas de recorrido pueden ayudar en el diagnóstico de los problemas relacionados con el arreglo de los departamentos y las áreas de servicio, al igual que con la localización de equipo en un sector dado de la planta” (Niegel 2004: 374).

La gráfica de recorrido busca cuantificar las interacciones de los flujos de materiales entre los procesos de producción de una planta, todo esto realizado bajo cierto periodo de tiempo.

CAPITULO 5: TECNOLOGIA DE GRUPO (GT)

En este capítulo se explicará la secuencia de cada paso para la implementación de la Tecnología de Grupo (GT) para la producción en sistemas de manufactura de células de producción.

A. Agrupación por Familia de piezas

Según M. Groover, 2007; para poder realizar esta configuración de producción, primero se debe clasificar y codificar las piezas en “**Familia de piezas**” que poseen similitudes en su forma física, geométrica, y secuencias de maquinado, entre otras.

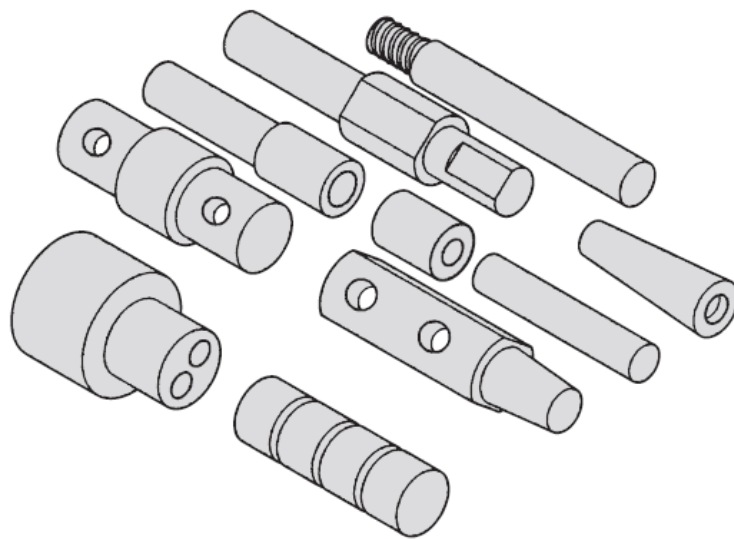


Figura 12. Familia de piezas. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”
Fuente: M. Groover, 2007, p. 911. México D.F., México: McGraw-Hill

En la figura 12 se aprecia un conjunto de piezas con características físicas (según tipo de acero) y de secuencia de procesamiento similares (torneado, fresado, taladrado, roscado) que están agrupadas en una familia de productos, las cuales posteriormente serán asignadas a una célula de producción para su elaboración.

B. Creación de pieza compuesta

Otro concepto que se ha desarrollado para maximizar la productividad de la configuración por células de producción es el de “**Pieza compuesta**”. Una pieza compuesta es una clasificación de productos o piezas que comparten similares secuencias de fabricación, por ejemplo que la pieza pase del torneado al taladrado; ver figura 13 parte a).

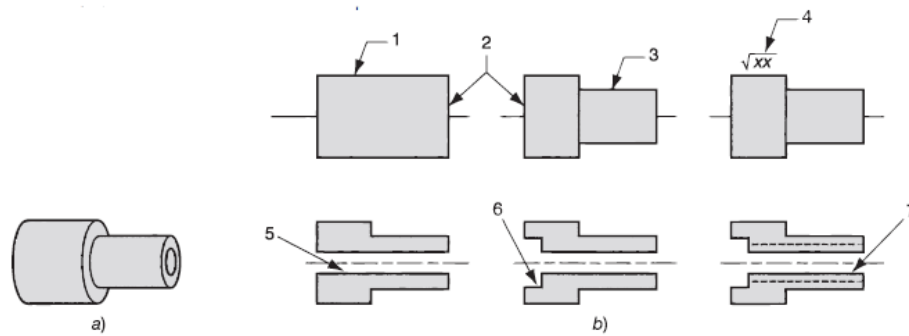


Figura 13. Concepto de pieza compuesta. Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”

Fuente: M. Groover, 2007, p. 913. México D.F., México: McGraw-Hill

Es decir, una “pieza compuesta” es una pieza hipotética que contiene todos los atributos y secuencias de producción que se requieren para la producción de la familia de piezas, por ende una pieza en específico de la familia tendrá algunas de las secuencias de maquinado más no todos los procesos; ver figura 13 parte b).

Una célula de trabajo poseerá todas las máquinas requeridas para realizar cada operación y podrá realizar cualquier pieza solo omitiendo el proceso de maquinado que no requiera la pieza en específico; ver tabla 4 a continuación.

Tabla 4. Características de diseño de la pieza compuesta en la figura 13.

Etiqueta	Característica de diseño	Operación de manufactura correspondiente
1	Cilindro externo	Torneado
2	Cara del cilindro	Careado
3	Paso cilíndrico	Torneado
4	Superficie lisa	Esmerilado cilíndrico externo
5	Orificio axial	Taladrado
6	Abocardado	Perforado, abocardado
7	Roscas internas	Roscado

Fuente: Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”, M. Groover, 2007, p. 914.

México D.F., México: McGraw-Hill

C. Determinación de operaciones y máquinas para pieza compuesta

Luego de determinar las características de diseño de la pieza compuesta, se debe establecer que operaciones realizarán tales formas y características de la pieza compuesta. Luego de ello, se asignarán la maquinaria a utilizar en la célula de producción.

D. Implementación de células de producción

Luego de determinar cada una de las familias de piezas y de su respectiva pieza compuesta. Se procederá a diseñar las células de producción, las cuales deben tener todas las máquinas para realizar cada una de las operaciones que requiere la pieza compuesta; Krajewski 2007.

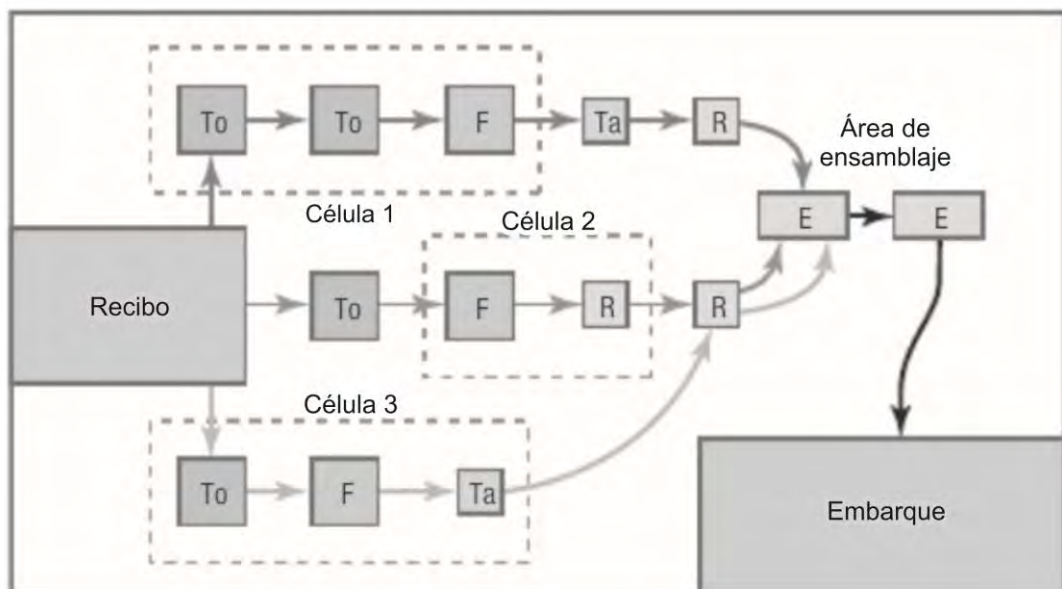


Figura 14. Flujos en línea en un taller de producción intermitente con tres células GT.
Adaptado de "Administración de operaciones: Procesos y cadenas de valor"
Fuente: L. Krajewski, 2008, p. 319. México D.F., México: PEARSON EDUCACIÓN

En la Figura 14 se puede apreciar que el nuevo diseño del layout de planta cuenta con 3 células de producción, las cuales se encargarán de producir 3 familias de piezas distintas.

Con esta técnica de ingeniería se puede conseguir flujos de línea con procesos de bajo volumen agrupando máquinas y operarios en cada célula de producción. De esta forma se busca realizar la mayor cantidad de operaciones con menores tiempos de preparación de máquina. Los flujos serán en línea muy parecidos a los de una línea de ensamble.

CAPITULO 6: 5S'

Las 5'S es una metodología japonesa desarrollada por el grupo Toyota en los años 60, "es una metodología orientada a grupos de trabajo que hace énfasis en ciertos comportamientos que permiten un ambiente de trabajo limpio, ordenado y agradable. Es una vía muy efectiva para lograr la participación y la productividad, aplicable no solo en el entorno laboral, sino en la vida cotidiana" (Krajewski 2008: 211).

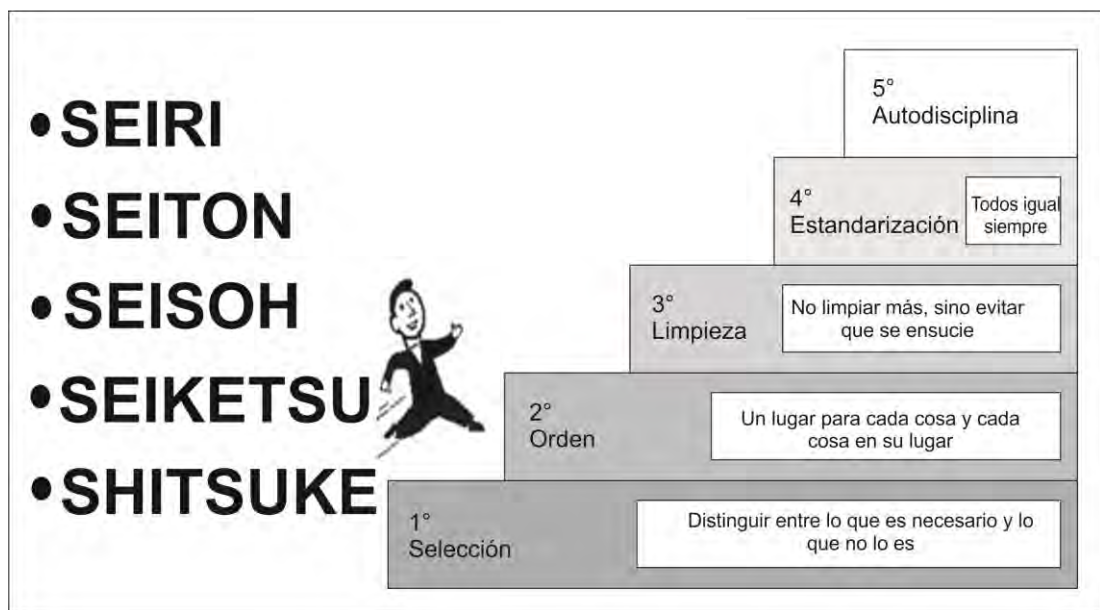


Figura 15. Metodología de las 5S's.

Fuente: Empresa de estudio.

6.1. Seiri

Sentido de clasificar, identificar los elementos requeridos para la tarea tales como, manuales, implementos de seguridad, herramientas, etc. De la misma forma distinguir los elementos innecesarios y eliminarlos del área de trabajo.

Para ello nos debemos hacer las siguientes preguntas:

- ¿Qué es necesario?
- ¿Qué uso frecuentemente?
- ¿Qué uso ocasionalmente?
- ¿Que no uso?

6.2. Seiton

Sentido de orden, ubicar los elementos necesarios en lugares apropiados, rotular cada tipo de elementos para una toma inmediata de herramientas cuando se requiera de alguna de estas, esto evitará perder tiempos innecesarios.

6.3. Seisoh

Sentido de limpieza, mantener la planta limpia y barrida genera mejores espacios de trabajo, incrementa la autoestima de los operarios y sobre todo incrementa la productividad de la planta.

Las ventajas de esta disciplina son:

- Permite que los miembros de la organización mantengan limpia su mente, piensen positiva y constructivamente.
- Piensen con claridad y actúen de forma precisa.
- Establezca rutinas de limpieza
- Identifique y sea consciente de las causas de la suciedad.

6.4. Seiketsu

Sentido de estandarizar, consiste en implementar los tres procesos previos mencionados en toda la planta, para esto se hace el uso de señalizaciones, manuales y procedimientos. El orden y la limpieza deben convertirse en un hábito y esto debe ser adoptado por los operarios. Con ello buscamos:

- Favorecer una gestión visual.
- Estandarizar los métodos operatorios.
- Formar al personal en los estándares.

6.5. Shitsuke

Sentido de autodisciplina, esta nueva disciplina operacional debe convertirse en un valor dentro de la organización, que cada persona que trabaje en la compañía tenga una sensación de pertenencia de estos nuevos hábitos y que los mantenga en el tiempo sin necesidad de una supervisión rigurosa y que incluso esta disciplina operacional sea cultivada en los nuevos trabajadores de la organización.

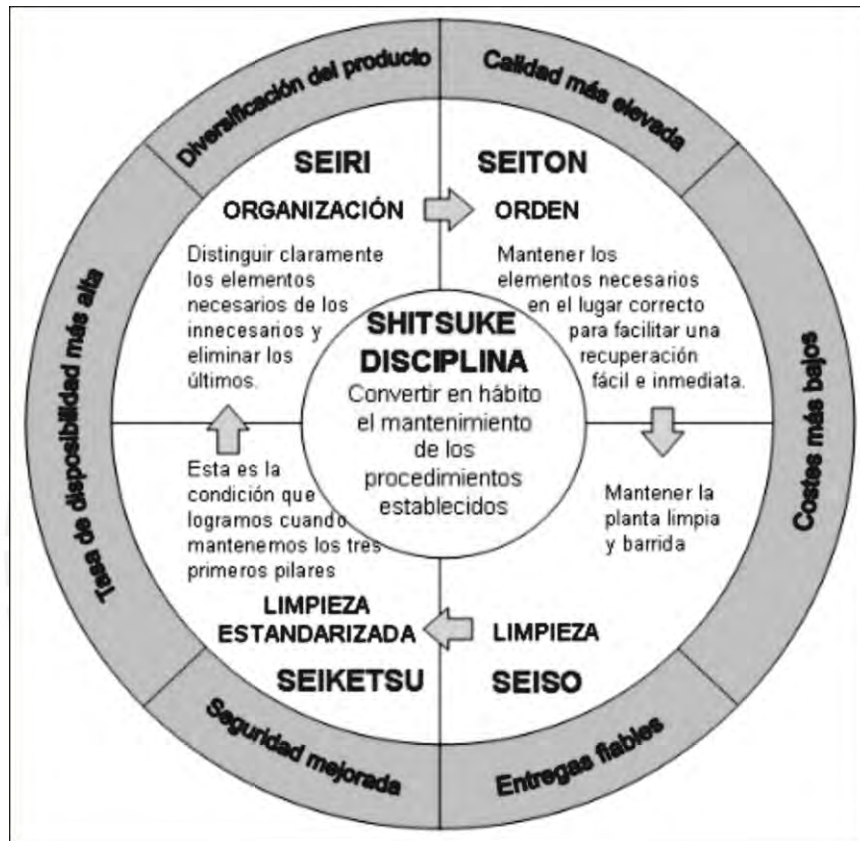


Figura 16. Evaluación de 5S's
Fuente: Empresa de estudio

6.6. Objetivos de las 5S's

La implementación del programa permite:

- Áreas limpias, confortables y seguras
- Ambientes agradables
- Eficacia, eficiencia y productividad
- Incremento de la competitividad
- Mayor satisfacción en la realización de las labores
- Satisfacción del cliente
- Fomento de la participación y el trabajo en equipo

PARTE II: ANALISIS Y DIAGNÓSTICO DEL CASO DE ESTUDIO

En el presente capítulo se realizará un análisis de la gestión de la producción actual en la Planta Nro. 2 de la empresa de estudio. Esta planta cuenta con los procesos de calderería, soldadura, ensamble, granallado, pintura y almacén de productos terminados.

Para ello se detallará la situación actual del sistema de producción y cada una de las actividades para la ejecución de los proyectos comprometidos, también implicará conocer las actividades de planificación de operaciones, programación de tareas de planta y control de la producción.

Asimismo, se analizará indicadores de producción y planeamiento, problemas adicionales que se presentan en la manufactura y el diagnóstico de la programación de operaciones con la finalidad detectar y evaluar el comportamiento de la empresa metalmeccánica, materia de estudio.

CAPITULO 7: ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO

7.1. Descripción del caso de estudio

La empresa en estudio cuenta con una experiencia de más de 18 años manufacturando exitosamente tuberías pre-ensambladas (Piping Spools) para el traslado del flujo de fluidos en proyectos que se han desarrollado en el Perú para los sectores minería, gas, petróleo y pesca.

La empresa cuenta con el know-how, los procesos y las certificaciones para la manufactura de tuberías pre-ensambladas (Piping Spools), elaborados con materiales de: acero al carbono, aceros inoxidables, aceros aleados, titanio, etc. Asimismo, suministra servicios adicionales como pruebas de ensayos no destructivos, galvanizados, revestimientos de caucho, neoprene, poliuretano, cerámico, etc.

Tabla 5. Pulgadas de diámetros de Spools desarrollados por la empresa entre 2014 y 2015

Clientes atendidos en diferentes proyectos	BECHTEL - XSTRATA TECH (Antapaccay - Isamill)	JACOBS (Chinalco - Toromocho)	SNC Lavalin - Fénix Power - Termochilca	JACOBS (Chinalco - Toromocho)	TECNA - Kinteroni	FLUOR (Barick)	TECHINT (EPC 30 Plus Petrol)
Peso (Tm)	60	800	700	80	120	140	2,000
Cantidad de Spools	150	3,500	2,500	500	175	1,163	2,000
Pulgadas diámetro	3,000	46,000	42,000	4,500	3,200	15,000	40,459
Materiales	A 53 Gr B, A 106 Gr B, ASTM A312 - 304L, ASTL A182 - 304L, ASTM A403 - 304LTP304SMLS	A 234, A105, A106GrB, A53Gr B	A 234, A105, A106GrB, A53Gr B, inox A31254	A312 TP 304L / 316L, A790Gr S32550, B464 UNS, A862Gr2, Duplex Steel, Titanium	A 234, A105, A106GrB, A53Gr B, A694Gr F70, API 5L Gr X70	A 234, A105, A106GrB, A53Gr B, SS 304L, SS 316L	A 234, A420, A350, A105, A860, WHPPY 52,70, A350, A333 Gr6, A107L5, CL4, L1, CL2, A312 TP304, ASTM A707
Diametros	1" to 10"	2" to 54"	0.5" to 36"	0.5" to 12"	2" to 24"		2" to 34"
Espesor máximo	Sch std	Schd XS	23 mm	10.97mm	52.37mm	Sch std	44.45mm
NDT's / Servicios	Rayos X, Vulcanizado	Rayos X, Vulcanizado	Rayos X	Rayos X	Rayos X, Tratamiento térmico	Rayos X	Rayos X, Tratamiento térmico, Ultrasonido
Año	2014	2014 - 2015	2014-2015	2015	2015	2015	2015

Fuente: Empresa de estudio.

La empresa de estudio puede implementar una o más líneas de producción en simultáneo, con rendimientos de **9000 pulgadas diametrales de soldadura por semana** según sea requerido por la demanda.

El departamento de Calidad o QA/QC, por sus siglas en inglés Quality Assurance / Quality Control, de acuerdo a sus procedimientos internos, "se adapta a los estándares de cada proyecto y supervisa cada etapa del proceso, desde la recepción de los materiales hasta la liberación final para el despacho y entrega de un dossier de calidad por cada tubería (Piping Spool), incluyendo todos los reportes de control dimensional, calificación de soldadores y procedimientos, ensayos de pruebas no destructivas, certificados de materiales, entre otros" (Córdova 2012: 83).

El inicio de las operaciones de la empresa de estudio está supeditado a que en primera instancia logren ganar algún proyecto de fabricación, luego de ello se inicia con la ingeniería básica, luego la ingeniería de detalle, la compra de los materiales de fabricación y luego la producción de los equipos desarrollados para el proyecto del cliente. En algunos casos también se incluye el servicio de montaje.

7.1.1. El producto

Las tuberías pre-ensambladas (piping spools) son usadas para el traslado de fluidos (líquidos o gaseosos) en la industria de la pesca, hidrocarburos, y minería. La forma de estos productos se adapta a las instalaciones de la planta donde se instalarán, es por ello que de acuerdo al ambiente donde va a operar se diseñan de distintos tipos de materiales, siendo los más comunes los tubos de acero al carbono y los tubos de acero inoxidable.

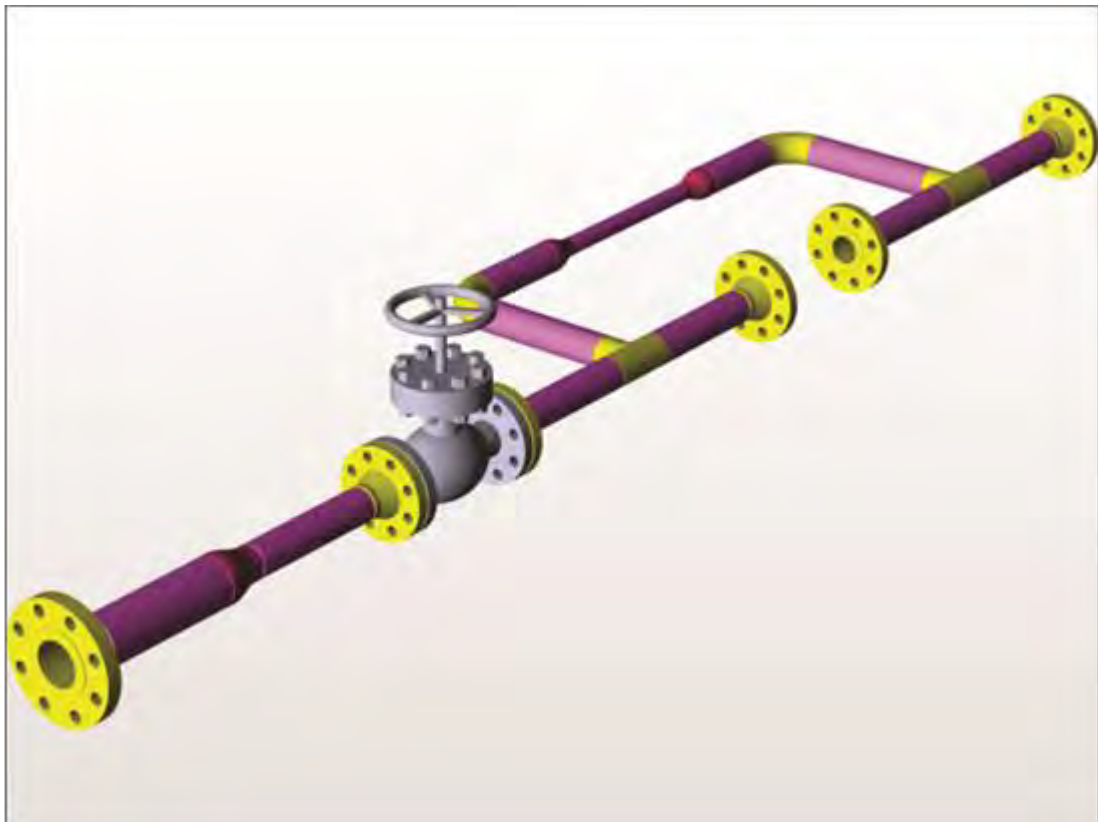


Figura 17. Plano isométrico de spools

Fuente: <https://grabcad.com/library/first-pipe-spool-using-p-id-1>

Las tuberías pre-ensambladas (Piping Spools) están compuestas por tubos y accesorios de conexión (también llamados “fittings”) unidos por cordones de soldadura.

En la figura 17 los accesorios de conexión (fittings) está conformado por: bridas, reducciones, válvulas, reducciones T, codos 90°, etc. El diseño de los spools puede ser muy variado ya que estos se adaptan al terreno o espacio de cada industria que requiera transportar algún fluido.

7.2. Análisis del proceso productivo

En esta parte de la tesis se realizará el análisis correspondiente a los procesos y métodos de producción de la empresa de estudio, los flujos de producción de su sistema actual, se analizarán los indicadores de la gestión de la producción para una comprensión de la situación actual de la empresa, finalmente se ofrecerá un diagnóstico del caso de estudio.

7.2.1. Matriz del proceso-producto

La empresa metalmecánica tiene como mercado objetivo el sector minería, pesca, energía e hidrocarburo. Por ende posee productos múltiples para cada sector y los fabrica en bajos volúmenes ya que cada fabricación (proyecto) es realizado a la medida requerida del cliente (ver variedad de clientes en el Anexo III Programa maestro de producción y en el Anexo IV Indicador de Calidad de Programación).

Este tipo de sistema genera flujos de producción que recorren toda la planta (ver Figura 43. Diagrama de recorrido de la Planta Nro. 2), la ventaja de este sistema está en la alta flexibilidad requerido por la variedad de proyectos de tuberías pre-ensambladas (spools), con dimensiones de tubos de 3" hasta 24" y de diferentes formas tridimensionales (ver Figura 17. Plano Isométrico de Spools).

Se concluye que el flujo de los materiales para las tuberías pre-ensambladas (Piping Spools) tiene un diseño de distribución por procesos (flujo sin conexión). Esto se debe a la variedad de productos, la configuración actual de su layout de planta y sus distintas operaciones de manufactura, esto se detalla en la Figura 18 a continuación.

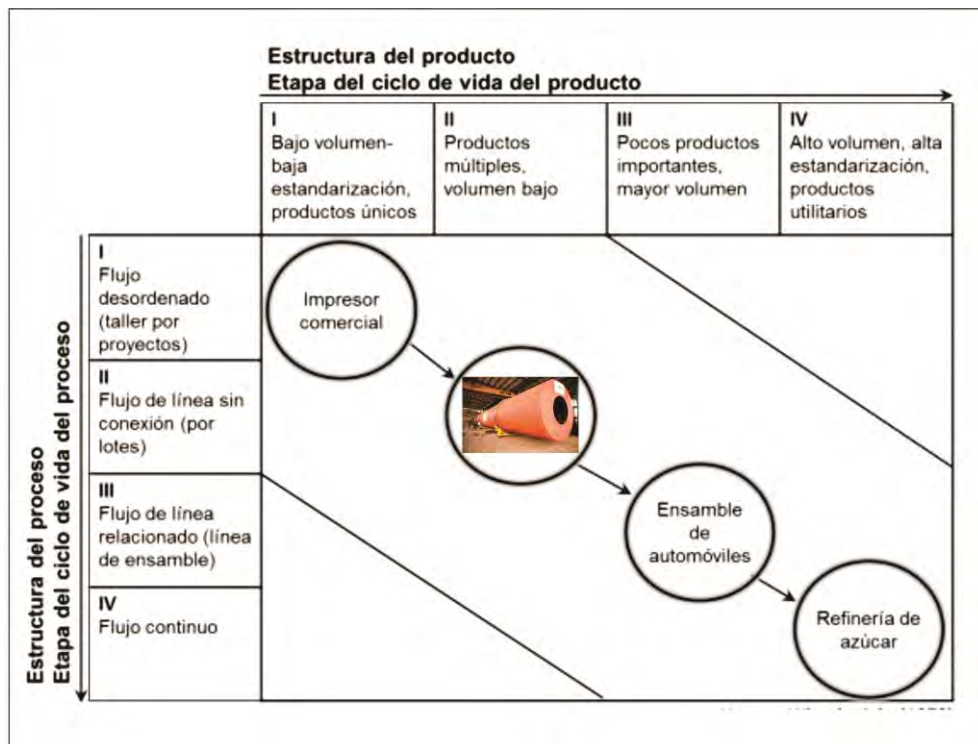


Figura 18. Matriz de Proceso - Producto. Adaptado de “Administración de las operaciones productivas”

Fuente: F. D’Alessio, 2013, p. 34. México D.F., México: Pearson

En la figura 18, se ha descrito que la empresa de estudio tiene un sistema de producción basado en procesos, ya que su portafolio de productos es variado debido a que manufactura equipos para diferentes sectores económicos (pesca, minería y energía como los más importantes).

En adición a esto cuando los equipos son de dimensiones y volúmenes muy altos (ver como ejemplo **Anexo I. Secador de Tubos**), el tipo de producción es mixto ya que el casco del secador de tubos es manufacturado bajo un tipo de distribución de planta por posición fija (por el tamaño del casco), mientras que los demás componentes tiene un flujo de fabricación por proceso.

7.2.2. Análisis del flujo de producción

La empresa metalmecánica cuenta con un área de 450 m² destinada a las operaciones de producción, en dicha área se realizan trabajos de calderería (armado de estructuras y spools) y de soldadura. Para la empresa el servicio, así como la entrega y la calidad de los equipos y componentes son fundamentales, por ello todas las fabricaciones deben tener las especificaciones y pruebas de calidad necesarias para ser entregado al cliente.

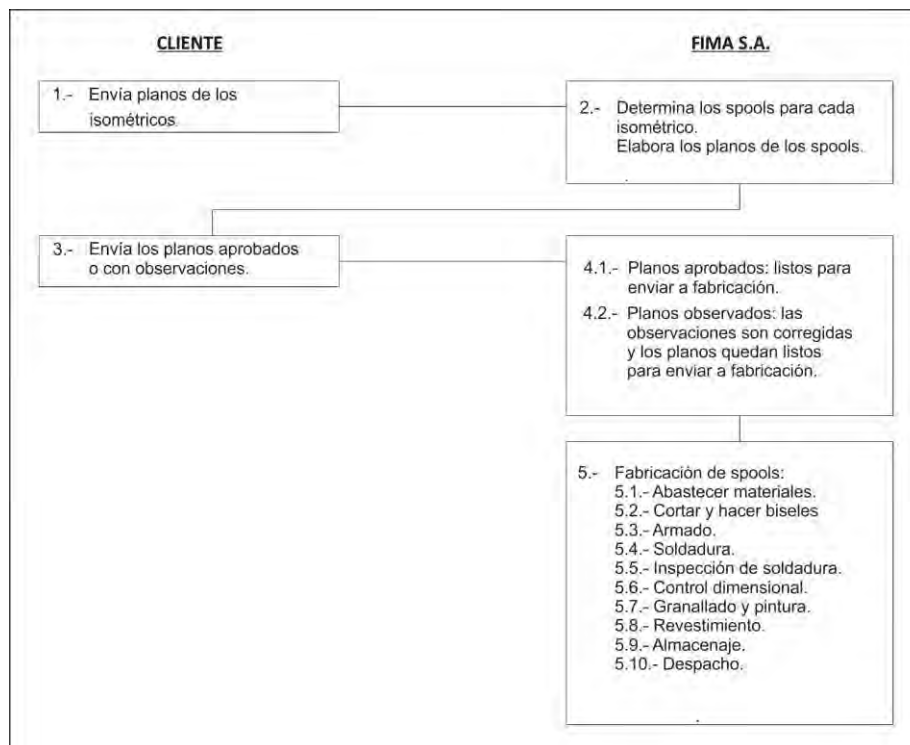


Figura 19. Flujo de procesos desde Ingeniería hasta despacho
Fuente: Empresa de estudio

En la Figura 19, se observa desde una vista macro el flujo de procesos realizados por la empresa de estudio y sus clientes en cada proyecto, 1.- desde el envío de planos isométricos por parte del cliente (planos que indican el paso de las tuberías), 2.- el diseño de ingeniería que determina los detalles de cada tubería, 3.- aprobación de planos, 4.- verificación de planos y envío a producción, 5.- fabricación de las tuberías y despacho al cliente.

El proceso de fabricación, desde que el cliente realiza la Orden de Venta o SO (por sus siglas en inglés de “Sale Order”), hasta el respectivo despacho de los entregables del proyecto, se desarrolla en las siguientes etapas:

1) Primera Etapa

En esta etapa se desarrolla la Ingeniería, el planeamiento de operaciones y las compras de los materiales de fabricación.

— **Ingeniería Básica y de Detalle:** En este proceso se realiza el diseño, desarrollo de planos y se especifican los materiales requeridos para la fabricación de cada componente y ensamble final, luego el ingeniero de diseño entrega los

planos al estructurador. El estructurador se encarga de definir por cada plano de fabricación los procesos de planta y el tiempo en horas hombre requerido para la fabricación de cada componente y/o ensamble final.

El estructurador ingresa la información al sistema y entrega un documento físico al área de Planeamiento de Operaciones denominado Bill Of Material (BOM) el cual contiene cada una de las rutas de fabricación de cada componente del ensamble final del proyecto y/o entregable del proyecto.

— **Planeamiento de Operaciones:**

Planeación de la producción: El área de planeamiento de operaciones determina los tiempos de entrega de cada **Requerimiento de Cotización o RFQ** (por sus siglas en inglés “Request For Quotation”) emitida por los clientes; de ser aceptada la propuesta comercial por parte del cliente, el área de ventas crea la **Orden de Venta (SO)** del proyecto. En esta área se coordinan las fechas de inicio y fin de cada proceso de operación del proyecto: Ingeniería, Compras, Producción y despacho de entregables.

Planeamiento también se encarga de planificar la capacidad de producción requerida por cada proceso de la planta para el cumplimiento de la fechas de entrega de los proyectos comprometidos, esta capacidad de producción se detalla para cada **Estación de Trabajo o WC** (por sus siglas en inglés “Work Center”) de producción. Esta información es coordinada con los responsables del área de producción.

Programación de producción: El área de Planeamiento de Operaciones también se encarga de la programación de las operaciones de producción para el cumplimiento de los tiempos de entrega comprometidos en la propuesta comercial de la compañía. Para esto último recibe como elemento de entrada la lista de materiales y operaciones de fabricación por parte de Ingeniería, también denominado BOM (“Bill Of Materials”), y se encarga de lanzarlos en el sistema de gestión de la producción, también denominado MRP (“Material Requirement Planning”). Para ello, se asigna un número de Orden de Trabajo, también denominado WO (“Work Order”), para cada componente y ensamble final.

La programación detallada de las actividades de planta se realiza semanalmente cada viernes, y se envían mediante correo electrónico a cada Supervisor y al Gerente de Planta para su conocimiento y coordinación interna.

— **Compras de materiales, servicios de terceros (SVT) y consumibles:** Para esta actividad el área de compras recibe como elemento de entrada la lista de materiales de cada SO, para ello realiza una corrida en el MRP. Luego de ello en función al Lead Time (LT) coloca las fechas de llegada de cada material, Servicio De Terceros (SVT) y consumibles.

2) Segunda Etapa

En esta etapa se desarrolla las actividades de planta, la entrega de lo fabricado a almacén y los despachos hacia el cliente.

a. Habilitado

Este es el primer proceso de la cadena de producción en una empresa metalmecánica, en esta área se corta las planchas, tubos y perfiles de acuerdo a las especificaciones indicadas en los planos, luego los materiales habilitados son inspeccionados por el área de calidad para luego ser pasados al siguiente proceso que puede ser calderería o mecánica para continuar con el proceso productivo.

Dentro de las máquinas que se utilizan para este proceso tenemos:

- Pantógrafos
- Cizallas
- Sierras

La empresa cuenta con un software llamado Spoolgen para el desarrollo de los planos de Spools y al mismo tiempo esta información se transmite en línea a la máquina cortadora automática de tubos de la marca VERNON de 4 ejes para corte recto y angular, biselado, estampado en bajo relieve, etc. Hasta 48" diámetro y 80 mm de espesor.



Figura 20. Máquina cortadora de tubos VERNON.

Fuente: Empresa de estudio.

b. Calderería

El área de calderería se encarga de acondicionar cada componente del spool, tales como limpieza de biselés, esmerilado, etc. Luego de ello el área de calderería pasa a realizar el armado del tubo con los demás componentes que pueden ser bridas o codos. Posteriormente el spool pasa al área de soldadura, donde se realiza el pase de raíz y posteriormente el pase de acabado. El detalle de estas operaciones es:

— **Armado:** El armado es una operación de unión entre partes habilitadas, componentes y sub-ensambles de acuerdo a lo especificado en los planos de fabricación; se realiza con un apuntalado (puntos) de soldadura MIG, GMAW.



Figura 21. Armado de spools

Fuente: Empresa de estudio.

c. Mecánica

En este proceso de planta se maquinan los componentes de acuerdo a las especificaciones indicadas en los planos, las operaciones de maquinado más frecuentes son: taladrado, torneado, mandrinado, fresado.

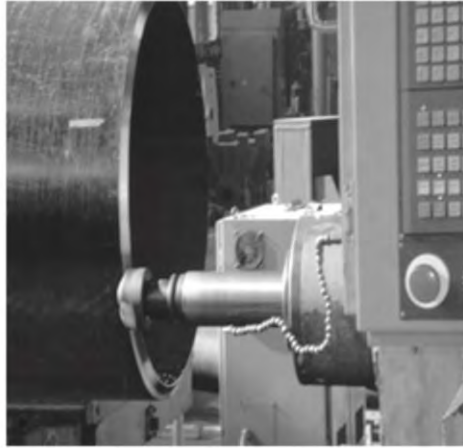


Figura 22. Mecanizado de spool

Fuente: Empresa de estudio

d. Ensamble

En este proceso se realiza el ensamble final de cada componente, por lo general se ensamblan los componentes mecánicos procesados en los diferentes centros de trabajo de planta.

— **Soldadura:** Esta operación se compone en dos sub-operaciones, las cuales son:

- *Pase raíz:* Esta operación consta de realizar un primer pase de soldadura con el objetivo de unir los componentes del spool de acuerdo al plano. El tipo de soldadura que indica el plano está en función al diámetro del tubo.

Luego de realizado el pase de raíz, el supervisor de calidad realiza pruebas con líquidos penetrantes para validar la calidad y continuidad en la soldadura raíz.

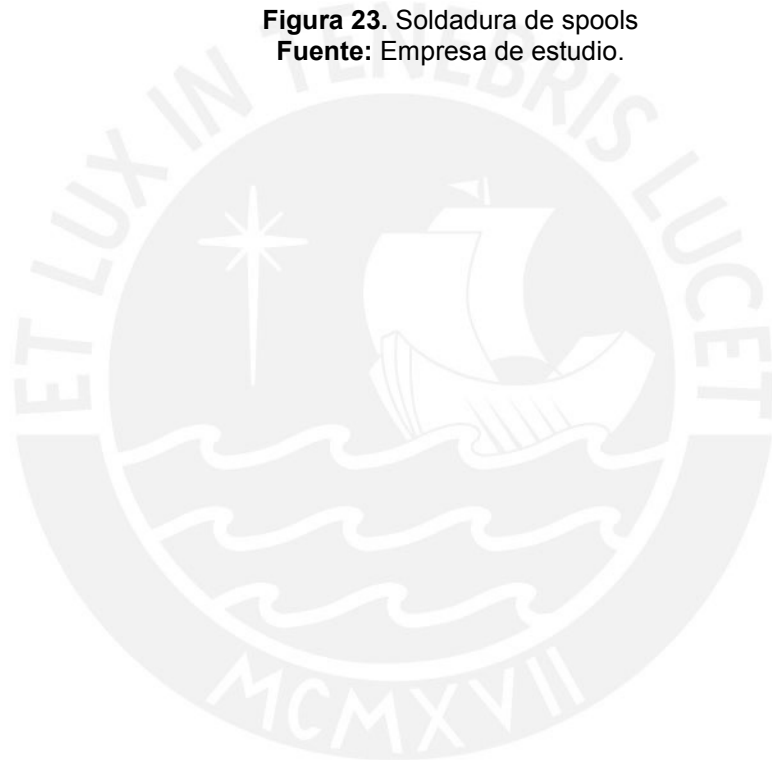
- *Pase relleno y acabado:* Luego del pase raíz se procede a realizar la soldadura de relleno y el tipo de soldadura que se realiza estará en función del diámetro del tubo, posteriormente se pasa a realizar la soldadura de acabado con el mismo proceso de soldadura que se realizó el pase de relleno.

Una vez acabado la soldadura, se pasa a realizar un ensayo final para asegurar la calidad de la soldadura, esto se realiza en ciertos puntos indicados en el **Inspection Test Plan (ITP)**, para ello la empresa subcontrata la realización de pruebas de rayos x para verificar que no hayan grietas en la soldadura; estas

pruebas se realizan durante la noche, cuando el personal de la planta no está debido a la peligrosidad de la radioactividad.



Figura 23. Soldadura de spools
Fuente: Empresa de estudio.



e. Revestimientos (vulcanizados)

En algunas fabricaciones y/o proyectos el cliente desea que se realice el vulcanizado del interior de los tubos y/o celdas para evitar que sean corroídos por los fluidos que transportarán. Este proceso no se realiza por la planta por lo que se considera como Servicio de Terceros (SVT).

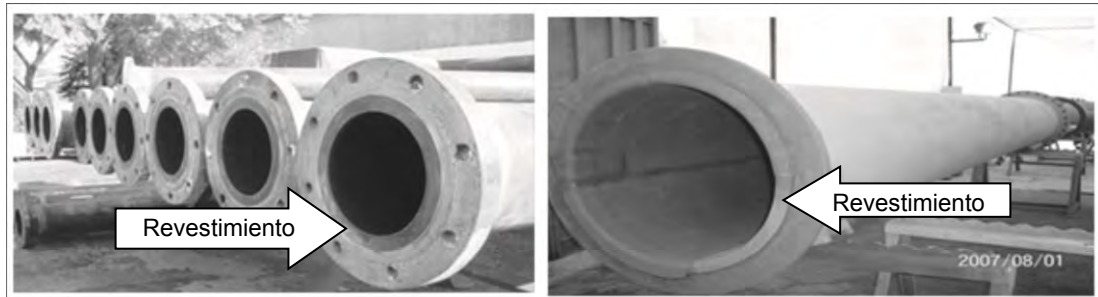


Figura 24. Revestimiento de spool

Fuente: Empresa de estudio

f. Pintura

En esta etapa del proceso de fabricación se realiza el pintado del spool, para ello se requiere realizar una primera pasada de pintura base y se deja secar a temperatura ambiente durante un tiempo de 6 horas, posterior a ello se vuelve a realizar una segunda capa de pintura (de acuerdo al color especificado en el plano), la cual cubrirá y protegerá al equipo evitando la corrosión. Finalmente el equipo es presentado al supervisor de calidad, este revisa el espesor de la pintura y realiza una última revisión de acuerdo a los planos, de todo estar correcto el inspector de calidad aprueba el spool, le coloca un sticker verde en señal de conformidad, firma y sella el acta de entrega y este documento es llevado por el supervisor de pintura a almacén de productos terminados para la entrega correspondiente del equipo.

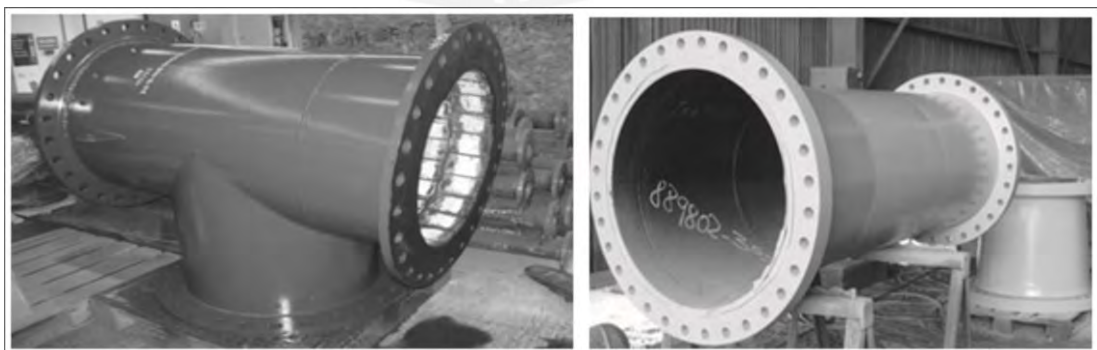


Figura 25. Recubrimiento de pintura

Fuente: Empresa de estudio

g. Calidad

El área de calidad se encarga de corroborar que cada fabricación cumpla con los requerimientos indicados en el plano de fabricación en dimensiones, acabado de soldadura, color y espesor de pintura. Para ello realiza diferentes pruebas en puntos específicos de la fabricación de acuerdo al ITP.

Finalmente para garantizar la calidad de la fabricación, se registra y entrega un Dossier de Calidad, con cada prueba realizada y los certificados de calidad de cada material utilizado durante la fabricación.



Figura 26. Inspección de calidad

Fuente: Empresa de estudio

h. Entrega y despacho

Finalmente las fabricaciones son marcadas con etiquetas que indican W.O., cliente, Fecha de entrega, etc. Se embalan para evitar daños en el traslado y se almacenan en el almacén de productos terminado hasta el despacho correspondiente.



Figura 27. Embalaje y despacho de fabricaciones

Fuente: Empresa de estudio

7.2.1.1. Diagrama de Flujo

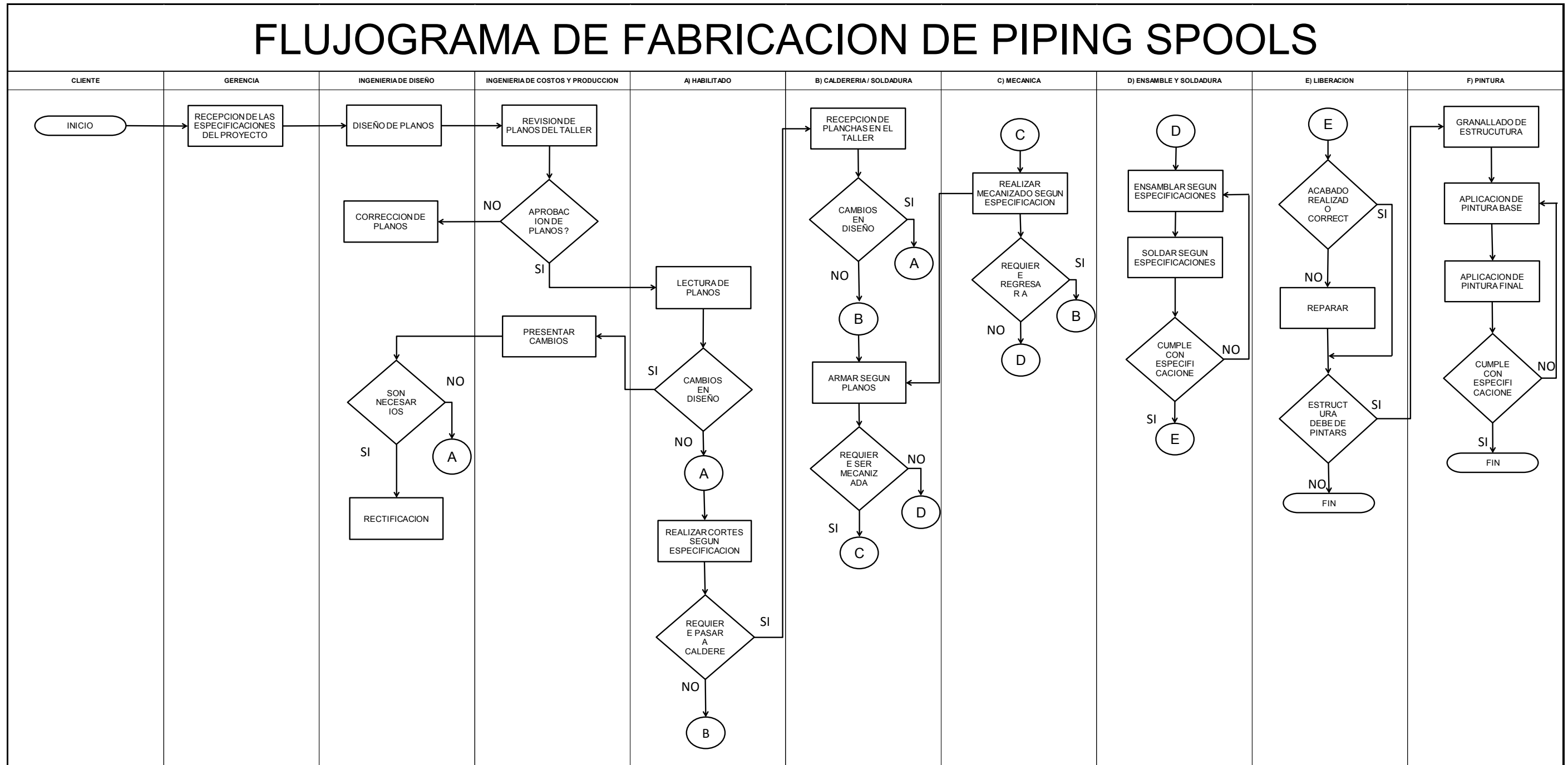


Figura 28. Diagrama de Flujo del proceso
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 28, se tiene un flujo de procesos más detallado, desde la recepción de las especificaciones técnicas indicadas por el cliente hasta el desarrollo del proceso de fabricación, dividido en sus dos etapas.

La primera de ellas en el diseño de planos por parte del departamento de Ingeniería, aprobación de planos por parte del cliente, elaboración de los BOM y lanzamiento de las WO en el sistema.

En la segunda etapa da inicio a la producción, pasando por habilitado de materiales, calderería, mecánica, ensamble, soldadura, pintura y liberación de calidad.



7.2.1.2. Diagrama de Actividades de los Procesos (DAP)

Para identificar los procesos de fabricación y poder plantear propuestas de mejora se ha identificado y detallado el DAP del proceso de fabricación en dos partes, la primera corresponde al habilitado de materiales realizado en la planta Nro. 1.

DIAGRAMA DE ANALISIS DE PROCESOS (DAP)									
Proceso: Habilitado de materiales Planta Nro. 1									
SIMBOLO	DESCRIPCION	TOTAL	TIEMPO TOTAL (HRS)					COMENTARIOS	
	OPERACIÓN	3	3.5						
	INSPECCIÓN	1	0.1						
	OPERACIÓN E INSPECCIÓN	0	0.0						
	TRASLADO	2	0.5						
	ESPERA	0	0.0						
	ALMACENAMIENTO	1	0.0						
TOTALES		7	4.1						
Pasos	DESCRIPCION	OPERACIÓN	INSPECCIÓN	OPERACIÓN E INSPECCIÓN	TRASLADO	ESPERA	ALMACENA.	Tiempo (hrs)	OBSERVACIONES
1	Recepción							0.1	
2	Verificación de materiales							0.1	
3	Almacenaje de MP y consumibles							0.0	
4	Planos de fabricación							3.0	
5	Traslado de materiales a habilitado							0.2	Puente grua y montacargas
6	Corte de de tubos, planchas y perfiles							0.4	
7	Traslado de materiales a Planta 1							0.3	Tracto
TOTALES		15	5	1	10	5	2	4.1	

Figura 29. DAP del habilitado de materiales en la Planta Nro. 1.

Fuente: Adaptado de "Administración de las Operaciones Productivas," por F. A. D'Alessio, 2013, p.185. México D.F., México: Pearson.

De la Figura 29, se observa que el proceso en la planta Nro. 1 tiene una duración de 4.1 horas por cada tubería fabricada.

El segundo DAP descrito en la figura 30 corresponde a los procesos de la línea de producción que se realizan en la planta Nro. 2.

DIAGRAMA DE ANALISIS DE PROCESOS (DAP)									
Proceso: Línea de spools - Planta Nro.2									
SIMBOLO	DESCRIPCION	TOTAL	TIEMPO TOTAL (HRS)			COMENTARIOS			
	OPERACIÓN	13	14.1						
	INSPECCIÓN	4	1.9						
	OPERACIÓN E INSPECCIÓN	1	0.3						
	TRASLADO	10	0.4						
	ESPERA	12	13.22			1.22 hrs de espera disponibilidad puente grúa y montacargas y 12 hrs de secado pintura			
	ALMACENAMIENTO	1	0.0						
TOTALES		41	29.975						
Pasos	DESCRIPCION	OPERACIÓN	INSPECCIÓN	OPERACIÓN E INSPECCIÓN	TRASLADO	ESPERA	ALMACENA.	Tiempo (hrs)	OBSERVACIONES
8	Recepción y verificación de materiales							0.300	
9	Espera de montacarga							0.073	
10	Traslado de materiales a calderería							0.054	Traslado en montacarga
11	Limpieza de filos							0.600	
12	Espera de montacarga							0.073	
13	Traslado de calderería a taladrado							0.049	Traslado en montacarga
14	Taladrado							0.400	
15	Espera de montacarga							0.073	
16	Traslado de taladrado a dobladora							0.031	
17	Plegado							1.000	
18	Espera de montacarga							0.073	
19	Traslado de dobladora a armado							0.063	Traslado en montacarga
20	Biselado y ranurado							2.000	
21	Espera de puente grúa							0.212	
22	Traslado de biselados a armado							0.034	Traslado en puente grúa.
23	Armado							3.000	
24	Control dimensional							0.200	
25	Espera de puente grúa							0.212	
26	Traslado de armado a soldadura pase de raíz							0.033	Traslado en puente grúa.
27	Soldadura pase raíz (96 PD)							1.730	
28	Pruebas de líquido penetrante							0.500	
29	Espera de puente grúa							0.212	
30	Traslado de pase de raíz a soldadura de relleno							0.034	Traslado en puente grúa.
31	Soldadura relleno y acabado (96 PD)							1.730	
32	Soldadura de Spool y soporte							0.600	
33	Limpieza de soldadura							1.500	
34	Prueba de rayos X							1.100	
35	Espera de vehículo grúa							0.098	
36	Traslado de materiales a granallado							0.069	Traslado en vehículo grúa
37	Granallado							0.500	
38	Espera de vehículo grúa							0.098	
39	Traslado de granallado a pintura							0.028	Traslado en vehículo grúa
40	Aplicación de pintura base							0.370	
41	Demora de secado pintura base							6.000	
42	Aplicación de pintura de acabado							0.500	
43	Demora de secado pintura acabado							6.000	
44	Inspección de espesor de pintura							0.100	
45	Embalaje							0.200	
46	Espera de vehículo grúa							0.098	
47	Traslado a almacén de PT							0.028	Traslado en vehículo grúa
48	Almacenamiento							0.000	
TOTALES		13	4	1	10	12	1	29.975	

Figura 30. DAP de la fabricación de spools en la Planta Nro. 2.

Fuente: Adaptado de "Administración de las Operaciones Productivas," por F. A. D'Alessio, 2013, p.185. México D.F., México: Pearson.

En la Figura 30, se observa que el ciclo productivo de cada tubería (piping spools) en la planta Nro. 2 es de 29.975 Hrs. Como resultado de 41 operaciones de fabricación que van desde la recepción de los materiales habilitados en la planta Nro. 1, las operaciones de calderería, mecánica, soldadura, liberación de calidad y pintura.

7.2.1.3. Indicadores del Flujo de Producción

En esta parte de la investigación se evaluará los principales indicadores del actual desempeño del flujo de producción de la empresa, esta información es requerida para un posterior diagnóstico de la causa raíz que no permite el performance deseado por la compañía de estudio.

— Capacidad máxima de producción de Spools Planta Nro. 2

En la Tabla 6 se muestra la información brindada por la empresa de estudio acerca de la capacidad máxima de producción de Tuberías Pre-ensambladas (Piping Spools) de la Planta Nro. 2. La unidad de medida tomada es de Pulgadas de Diámetro de Soldadura (PD).

Tabla 6. Capacidad máxima de producción en pulgadas de diámetro de soldadura (PD)

CAPACIDAD DE PRODUCCION DE TUBERÍAS PRE-ENSAMBLADAS (PIPING SPOOLS) - PLANTA NRO. 2	
Periodo	Pulgadas de diámetro de soldadura (PD)
Diario	600
Mensual	12,000

Fuente: Empresa de estudio.

La Tabla 6 nos muestra la Capacidad Máxima de producción de la Planta de producción Nro. 2, la cual es 12,000 PD/mes por turno de trabajo.

Por otro lado, es importante conocer que las formas de las Tuberías Pre-ensambladas (Piping Spools) no son estandarizadas y que esto puede mermar la capacidad máxima. Es decir, un proyecto con un mayor porcentaje de Tuberías Pre-Ensambladas (Piping Spools) con forma no rotada conlleva más tiempo de producción comparado con otro proyecto en donde la mayoría de los spools sean solo rotacionales (ver Figura 56 y Anexo II).

— Cuadro resumen del ritmo de producción por proceso

A continuación se detalla los ritmos de producción promedio de cada proceso en la manufactura de Tuberías Pre-ensambladas (Piping Spools) del tipo Rotada y No Rotada (Ver **Anexo II**. Piping Spools Rotados y No Rotados). La unidad de medida tomada es de Pulgadas de Diámetro de Soldadura (PD).

La Tabla 7 es el resumen de las lecturas diarias tomadas por la empresa en cada proceso de la planta Nro 2.

Tabla 7. Ritmo de producción por proceso

Procesos	Área	Ritmo de producción (PD/Día)
Limpieza de Filos (CAL)	Calderería	2215
Biselado y Ranurado (CAL)	Calderería	1510
Armado (CAL)	Calderería	483
Soldadura (GMAW/SAW)	Soldadura	375

Fuente: Empresa de estudio

Como se puede apreciar en la Tabla 7, el proceso de soldadura tiene la más baja tasa de producción con un valor de 375 PD/Día, seguido por el proceso de Armado con un 483 PD/Día.

Se concluye que el proceso de soldadura es el cuello de botella del sistema y que es en este punto es donde se tiene que implementar una estrategia de Proceso de Focalización (ver Figura 7). Adicional a esto, es importante tomar en cuenta que una vez levantada la restricción en Soldadura el proceso de Armado pasaría a ser el nuevo cuello de botella.

— Cumplimiento de Entregas en la Fecha Planeada o antes

El indicador de la Figura 31 a continuación nos muestra el porcentaje de efectividad obtenida en la entrega de Ordenes Planeadas entregadas antes o en la fecha comprometida. En la parte inferior del mismo cuadro, nos muestra los ingresos presupuestados en (USD) por las entregas programadas en cada mes.

	UNIDAD MEDIDA	2015 ACUMULADO	2016 ACUMULADO	ENERO	FEBRERO	SEM 10 1 MAR - 07 MAR
TOTAL ORDENES PLANEADAS	CANT	474	104	61	37	6
ORDENES ENTREGADAS (DIA)	CANT	278	70	40	26	4
% CUMPLIMIENTO EN FECHA CANT	CANT	59%	67%	66%	70%	67%
TOTAL ORDENES PLANEADAS	\$	41,723,785	1,769,438	1,126,804	477,404	165,230
ORDENES ENTREGADAS (DIA)	\$	18,547,996	860,372	591,047	116,685	152,640
% CUMPLIMIENTO EN FECHA CANT	\$	44%	49%	52%	24%	92%

Figura 31. Cumplimiento de entrega de Órdenes de Venta (SO)

Fuente: Empresa de estudio

En la Figura 31, podemos evidenciar que para el 2015 se tuvo un cumplimiento de 59% de las entregas en fecha y un cumplimiento de 44% en entregas valorizadas (en USD) en fecha. Para el 2016, el cumplimiento acumulado de las entregas en fecha es de 67% y un cumplimiento de 49% en entregas valorizadas (en USD) en fecha.

Se concluye que el proceso productivo tiene un estancamiento en algún proceso (cuello de botella), el cual no permite llegar a los cumplimientos de las entregas planificadas y por ende se deja de facturar entregas valorizadas. Finalmente esto genera un impacto en el flujo de caja de la compañía afectando su rentabilidad.

— Cumplimiento de Entregas dentro del Mes Planeado

El indicador de la figura 32 mide el porcentaje de eficacia en la entrega de las Ordenes de Venta (SO) al menos dentro del mes en las que fueron planificadas y presupuestadas.

	UNIDAD MEDIDA	2015 ACUMULADO	2016 ACUMULADO	ENERO	FEBRERO	SEM 10 1 MAR - 07 MAR
TOTAL ORDENES PLANEADAS	CANT	474	104	61	37	6
ORDENES ENTREGADAS (Mes)	CANT	409	92	52	34	6
% CUMPLIMIENTO (Mes) CANT	CANT	86%	88%	85%	92%	100%

Figura 32. Cumplimiento de entrega de SO en el mes

Fuente: Empresa de estudio

De la Figura 32 se observa un cumplimiento dentro del mes de 86% (acumulado del 2015) en las fechas de entrega de cada proyecto de Tuberías Pre-Ensambladas.

De este indicador se concluye que el proceso productivo actual está generando un impacto negativo en la rentabilidad de la empresa, ya que no se pudo facturar (en el mes) un 14% de las entregas del 2015 que se tenían programadas en el mes, afectando el flujo de caja y la rentabilidad de la empresa.

— **Indicador de HH Planificadas vs HH Ejecutadas en el mes**

Este indicador nos muestra la eficacia entre las HH Reales Ejecutadas por las planta versus las HH Planeadas a realizarse durante cada mes de trabajo.

	UND	TOTAL	ENE	FEB	MAR	ACUMULADO
		2015	2016	2016	2016	2016
HH Reales / HH Planeadas	%	93%	85%	96%	97%	93%
HH Planeadas	HH	966,144	61,118	58,127	70,042	189,287
HH Reales	HH	902,297	52,035	55,838	67,849	175,722

Figura 33. HH Planificadas vs HH Ejecutadas

Fuente: Empresa de estudio

La Figura 33 nos muestra los resultados del cumplimiento de las HH Reales vs HH Planeadas del total del año 2015 hasta el primer trimestre del 2016. Los resultados fueron de un 93%.de cumplimiento de ejecución en el 2015. Adicional a esto, en el primer trimestre del año 2016 el porcentaje de cumplimiento fue de 93%, siendo el mes más bajo en cumplimiento Enero con un 85%.

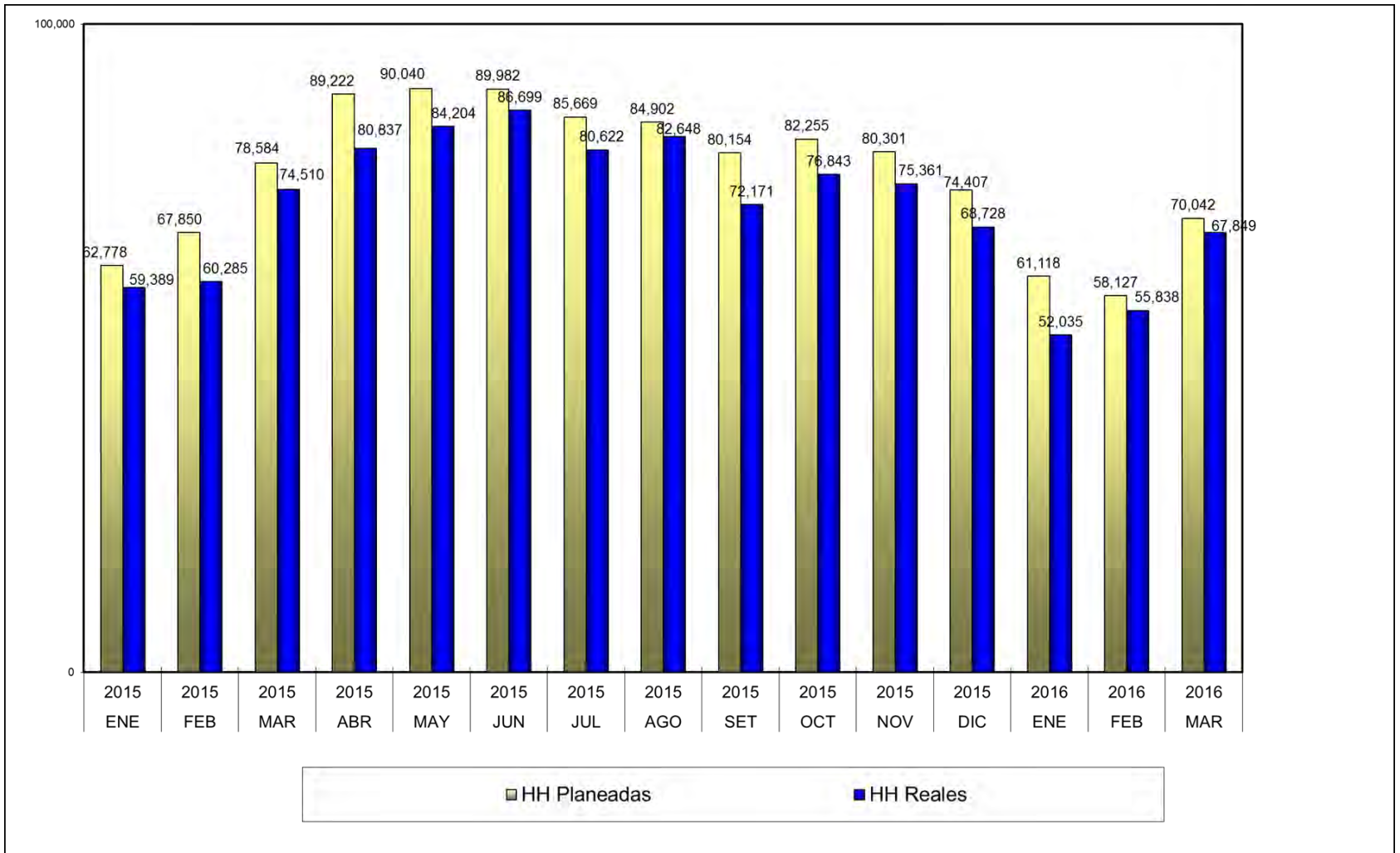


Figura 34. HH Planificadas vs HH Ejecutadas

Fuente: Empresa de estudio

En la Figura 34, se denota cierto grado de estacionalidad en las HH Reales, ya que durante el primer trimestre de cada año tienen una tendencia a la baja y en el segundo trimestre se ve cierta tendencia a recuperación. Se consultó con la empresa de estudio y esta característica tiene una correlación con las ventas, ya que sus clientes (por cierre de año) compran menos durante los últimos meses del año y las ventas se vuelven a normalizar en el primer trimestre del siguiente año.

Se concluye que la planta tiene un cumplimiento de ejecución de HH Reales vs HH Planeadas de 93%, pero este buen desempeño de ejecución contrasta con el cumplimiento de 59 % en las entregas en fecha de los pedidos (ver Figura 32. Cumplimiento de entrega de Órdenes de Venta). Esto es una evidencia que el sistema actual de tipo PUSH logra copar la planta con carga de trabajo pero la efectividad en las entregas no es la deseada ya que los cuellos de botella no permiten que el sistema incremente su ritmo de producción diario requerido para satisfacer la demanda del mercado.



7.2.1.4. Evaluación de las 5'S

Se ha identificado que las zonas de trabajo no están bien delimitadas, los armarios contiene elementos que no deben ser almacenados en ese espacio, etc. Esto repercute en el desorden dentro de la planta, también se generan tiempos muertos durante la operación por la búsqueda de herramientas y materiales a procesar (ver Figura 35 a continuación).



Figura 35. Imagen tomada durante evaluación 5S
Fuente: Empresa de estudio

Cabe recalcar que el sector metalmecánico es un sector muy competitivo por lo que cualquier pérdida de productividad impacta fuertemente en la rentabilidad de la compañía.

Por tal motivo se realizó una evaluación de las 5'S en la planta obteniéndose un resultado de 52 puntos de 81 puntos totales, este resultado está por debajo de los 70 puntos que se ha puesto como meta la empresa en estudio (ver Anexo VI. Evaluación de las 5S').

Los resultados por cada “S” se mostrarán a continuación:

— **Seleccionar (Shitsuke)**

En la evaluación de ordenar, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 8. Evaluación de Seleccionar

ACTIVIDAD	SELECCIONAR	Calificación	Puntaje Máximo
1	Las herramientas de trabajo se encuentran en buen estado para su uso.	2	3
2	El armario y carrito de herramientas se encuentran en buenas condiciones.	2	3
3	Existen objetos sin uso detrás de las máquinas.	2	3
4	Pasillos libres de obstáculos.	2	3
5	La mesa de trabajo y el carrito de herramientas están libres de objetos sin uso.	2	3
6	Se cuenta con solo lo necesario para trabajar.	2	3
7	Las gabetas del carrito y armario de herramientas se encuentran bien ordenados.	2	3
8	El carrito, pizarra, parihuelas, herramientas, etc. Están en su lugar asignado.	2	3
9	Es difícil encontrar lo que se busca inmediatamente.	2	3
10	Todos los operarios cuentan con sus EPP's necesarios.	2	3
TOTAL		20	30

Fuente: Empresa de estudio

De la Tabla 8, se evidencia que la empresa en estudio ha tomado una lectura de 20 puntos sobre un total de 30, lo cual representa un 67% de la calificación total de cumplimiento de esta norma. Se concluye que el valor obtenido (para ser el primer paso de la metodología) es muy bajo y que los supervisores deben implementar un programa de capacitación de 5S'.

— **Ordenar (Seiketsu)**

En la evaluación de ordenar, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 9. Evaluación de Ordenar

ACTIVIDAD	ORDENAR	Calificación	Puntaje Máximo
11	Las áreas están debidamente identificadas.	2	3
12	No hay unidades encimadas en las mesas o áreas de trabajo.	2	3
13	No hay ninguna unidad o herramienta sin designación de espacio.	2	3
14	Lugares marcados para todo el material de trabajo.	2	3
15	Todas las paletas, pizarra de control y herramientas están en su sitio.	2	3
16	Las gabetas del carrito y armario de herramientas están organizados y solo tienen lo necesario.	1	3
17	Todas las gabetas están señalizadas y rotuladas.	2	3
TOTAL		13	21

Fuente: Empresa de estudio

De la Tabla 9, se observa una lectura de 13 puntos sobre un total de 21, lo cual representa un 62% de la calificación de cumplimiento de esta norma. En la actividad número 16 (primera columna de la tabla 9), correspondiente a la organización de las herramientas en los armarios y carritos de herramientas, se ha obtenido un puntaje de 1, siendo este el menor puntaje obtenido.

— Limpiar (Seisoh)

En la evaluación de limpieza, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 10. Evaluación de Limpiar

ACTIVIDAD	LIMPIAR	Calificación	Puntaje Máximo
18	Los armarios y carritos de herramientas se encuentran limpios, incluido gabetas.	1	3
19	Las herramientas de trabajo se encuentran limpias.	2	3
20	El piso esta libre de pedazos de papel, metal, madera, cartón, etc.	2	3
21	La mesa de trabajo y el carrito de herramientas están libres de polvo, manchas o residuos.	2	3
22	Se verifica que todos los días dejan el area de trabajo limpia.	2	3
TOTAL		9	15

Fuente: Empresa de estudio

De la Tabla 10, se evidencia que la empresa en estudio ha tomado una lectura de 9 puntos sobre un total de 15, lo cual representa un 60% de la calificación de cumplimiento de esta norma. En la actividad número 18, correspondiente a la inspección de la limpieza de los armarios y carritos de herramientas se ha obtenido un puntaje de 1, esto debe ser mejorado.

— Estandarizar (Seiton)

En la evaluación de estandarización, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 11. Evaluación de Estandarizar

ACTIVIDAD	ESTANDARIZAR	Calificación	Puntaje Máximo
23	La capacitación esta estandarizada para todo el personal.	2	3
24	Los operarios cumplen con los procedimientos de trabajo establecidos.	2	3
25	Todos los operarios tienen y usan sus EPP's.	3	3
26	Los dos turnos cumplen con los procedimientos y operativa de trabajo establecido.	2	3
27	Se monitorea y se toman medidas para mejorar las 5S en la reunión diaria de las 2pm.	1	3
TOTAL		10	15

Fuente: Empresa de estudio

De la Tabla 11, se evidencia que la empresa en estudio ha tomado una lectura de 10 puntos sobre un total de 15, lo cual representa un 67% de la calificación de cumplimiento de esta norma. En la actividad número 27, correspondiente al monitoreo y toma de medidas para mejorar la calificación de las 5S' se ha obtenido un puntaje de 1, esto debe ser mejorado.

— Autodisciplinar (Seiri)

Debido a que la empresa está implementando esta herramienta, aun no se han tomado lecturas de esta "S".

7.2.1.5. Pareto de los principales problemas por área

Para determinar los problemas más frecuentes de cada área, los supervisores de cada proceso registran las incidencias que suceden en la planta. De esta forma cada supervisor obtiene un registro semanal de las incidencias que no le permiten cumplir al 100% su respectiva carga de trabajo.

Tabla 12. Tipificación de problemas por proceso

Proceso	Número de tipificación	Defecto	Frecuencia
Habilitado	1	Abolladura en los tubos	4
	2	Irregularidad en el corte de tubos	1
	3	Incumplimiento de las tolerancias de corte	1
	4	Sin stock de material	16
	5	Biselado de tubos menores a 6"	1
Calderería	6	Busqueda de materiales	24
	7	Espera de soportes plegados	25
	8	Busqueda de accesorios para armado	31
	9	Disponibilidad del puente grúa en armado	48
	10	Marcaación de la WO	26
	11	Cables eléctricos tendidos	23
	12	Espacio para armado	63
	13	Nivelado de juntas	19
Soldadura	14	Junta apuntalada defectuosa	15
	15	Fundición del pase raíz	18
	16	Soldadura interrumpida por el viento	3
	17	Conexiones eléctricas	13
	18	Demora de pase raíz a acabado	34
	19	Disponibilidad de puente grúa armado a pase raíz	37
Pintura	20	Disponibilidad de puente grúa pase raíz a relleno	30
	21	Color incorrecto	2
	22	Espera de spools a pintar	45
	23	Repintado por soldadura defectuosa	22

Fuente: Empresa de estudio.

Luego de recopilar semanalmente las incidencias en cada área, se procedió a ordenar los problemas según su frecuencia de ocurrencia, ver Tabla 13 a continuación:

Tabla 13. Frecuencia de los problemas en el proceso productivo

Tipificación	Descripción	Frecuencia	Frec. Acumulada
12	Espacio para armado	63	13%
9	Disponibilidad del puente grúa en armado	48	22%
22	Espera de spools a pintar	45	31%
18	Demora desde pase raíz a acabado	34	38%
19	Disponibilidad de puente grúa armado a pase raíz	37	45%
20	Disponibilidad de puente grúa pase raíz a relleno	30	51%
8	Busqueda de accesorios para armado	31	57%
10	Marcación de la WO	26	63%
7	Espera de soportes plegados	25	68%
6	Busqueda de materiales	24	72%
11	Cables eléctricos tendidos	23	77%
23	Repintado por soldadura defectuosa	22	81%
13	Nivelado de juntas	19	85%
15	Fundición del pase raíz	18	89%
4	Sin stock de material	16	92%
14	Junta apuntalada defectuosa	15	95%
17	Conexiones eléctricas	13	98%
Otros	Varios	12	100%

Fuente: Empresa de estudio.

De la Tabla 13, se observa que los problemas de la falta de espacio para armado de spools y disponibilidad de puente grúa representan en conjunto un 22% de la frecuencia acumulada de incidencias en el proceso productivo.

Finalmente, podemos utilizar la Gráfica de Pareto para visualizar el impacto de cada problema tipificado en la planta que no permite el cumplimiento del programa de producción y el cumplimiento de las fechas de entrega (ver Figura 36 a continuación).

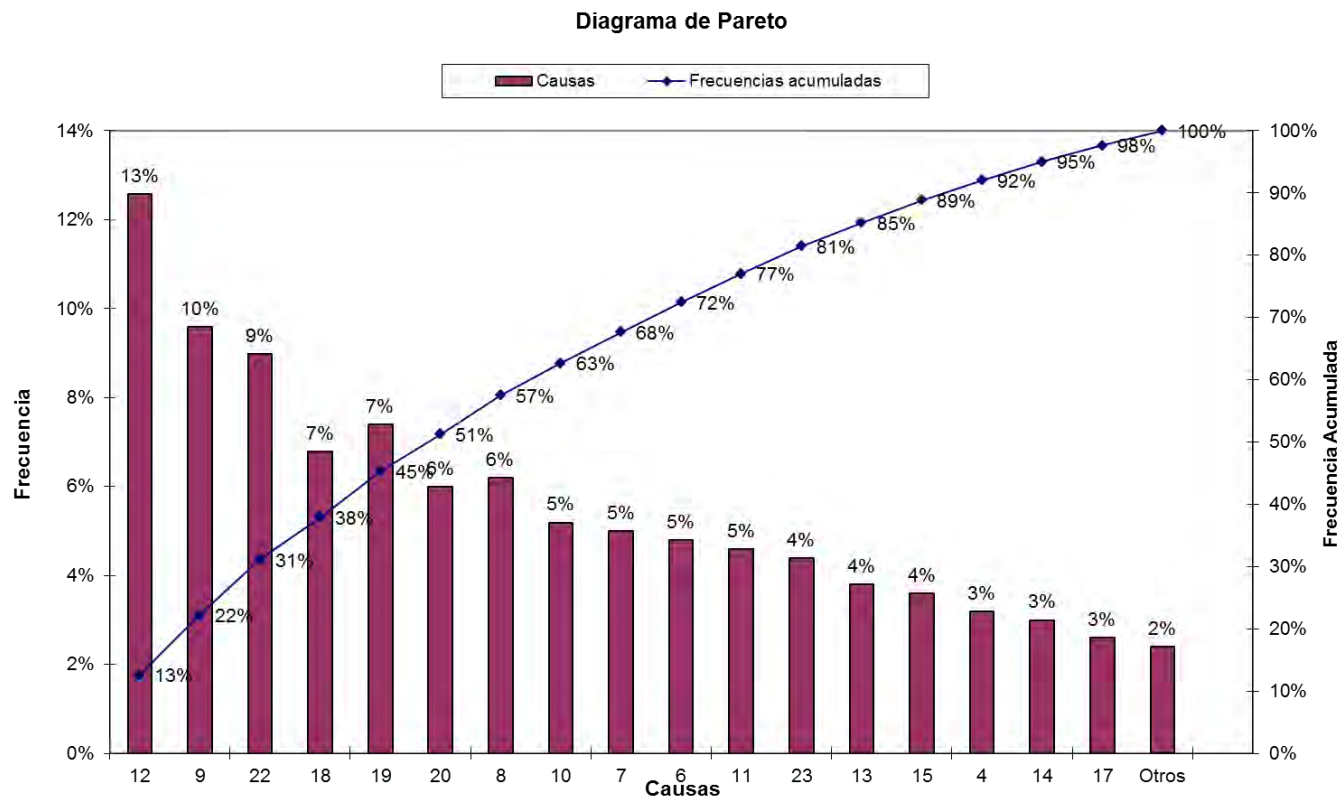


Figura 36. Gráfico de Pareto de los problemas en el proceso productivo
Fuente: Adaptado de “Administración de las Operaciones Productivas,” por F. A. D’Alessio, 2013, p.185. México D.F., México: Pearson.

7.3. Diagnóstico del proceso productivo

El sistema que actualmente se viene utilizando está enfocado en flujos por procesos (ver Figura 28. Diagrama de flujo del proceso), donde se tiene un flujo de línea sin conexión (ver Figura 40. Diagrama de Espaguetti) y que genera largas colas de espera en el procesamiento de componentes debido a la programación de operaciones del tipo “push”, enfocada en la capacidad máxima (ver Figura 34. HH Planificadas vs HH Ejecutadas). Lo que ha conllevado a un desorden dentro de la planta que se ha visto evidenciado en la evaluación de las 5'S (ver Anexo VI. Evaluación de las 5S').

Por otro lado, la planta tiene recurrentes problemas de espacios en los procesos de armado y soldadura y de disponibilidad en el uso de los puente grúa (ver Tabla 13 y Figura 36. Gráfico de Pareto de problemas en el proceso productivo).

En consecuencia de lo anterior, se ha generado una cadena de atrasos en el cumplimiento de las entregas de los proyectos, con un indicador de cumplimiento acumulado de tan solo 67% en el 2016 (ver Figura 31. Cumplimiento de entrega de Órdenes de Venta).

La solución que se avizora es un rediseño de la línea de Tuberías Pre-Ensambladas (Piping Spools), donde se tenga un nuevo enfoque basado en los flujos en línea, para una mayor especialización y una mejor productividad. Para ello se debe implementar la metodología detallada en el Capítulo 5: Tecnología de Grupo (GT) basadas en células de producción.

7.3.1. Diagrama de Ishikawa:

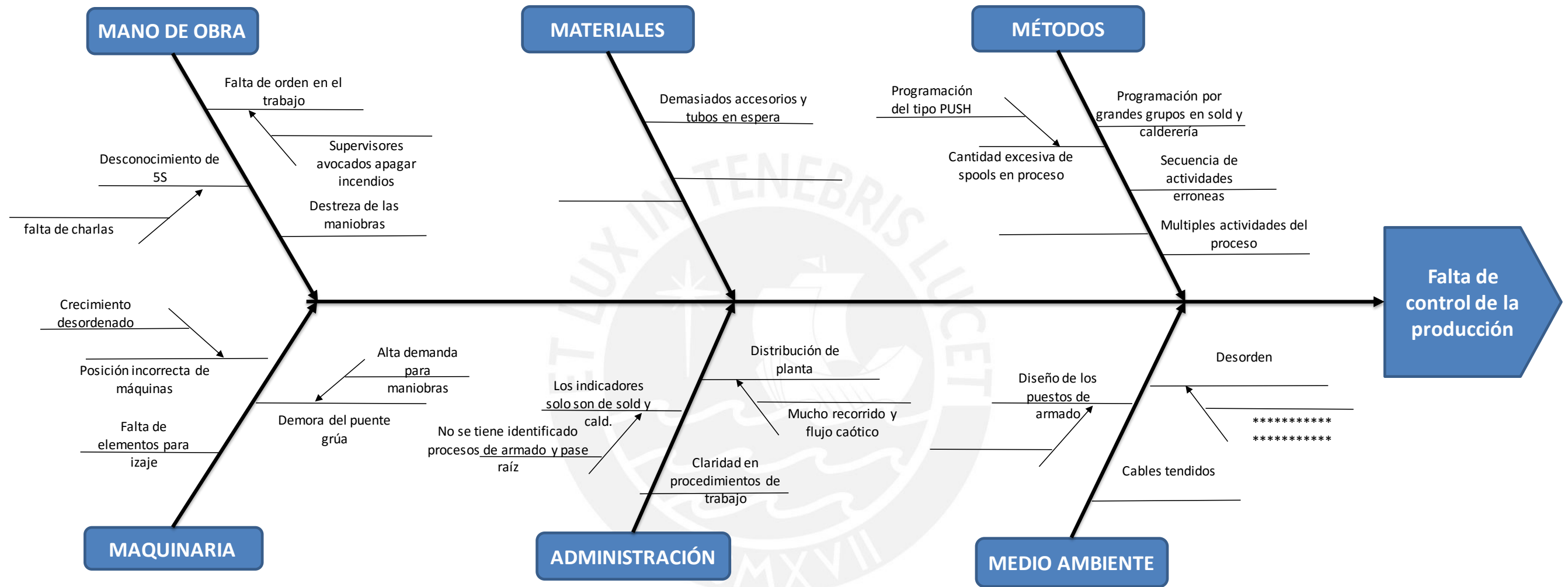


Figura 37. Diagrama de Ishikawa de los problemas en el proceso productivo
Fuente: Elaboración propia

7.4. Análisis de la distribución de planta

En este punto pasaremos a revisar cómo está actualmente distribuida la planta, para ello utilizaremos herramientas de análisis del lugar del trabajo que nos den una perspectiva global de la eficiencia actual, para ello cuantificaremos distancias recorridas, tiempos, interacciones de materiales entre procesos.

7.4.1. Layout actual de la planta

En esta parte procederemos a describir como es el layout actual de la planta de la empresa de estudio:

— Planta Nro.1

Actualmente la empresa donde se realiza el caso de estudio cuenta con dos plantas muy cercanas, en la Planta Nro.1 cuenta con un área de 9,400 m². Allí se realiza el almacenamiento de la materia prima, tales como planchas, perfiles, tubos, barras, etc. En esta planta también se realiza el Habilitado de la materia prima según las especificaciones y buscando optimizar el uso de los materiales para evitar mermas.

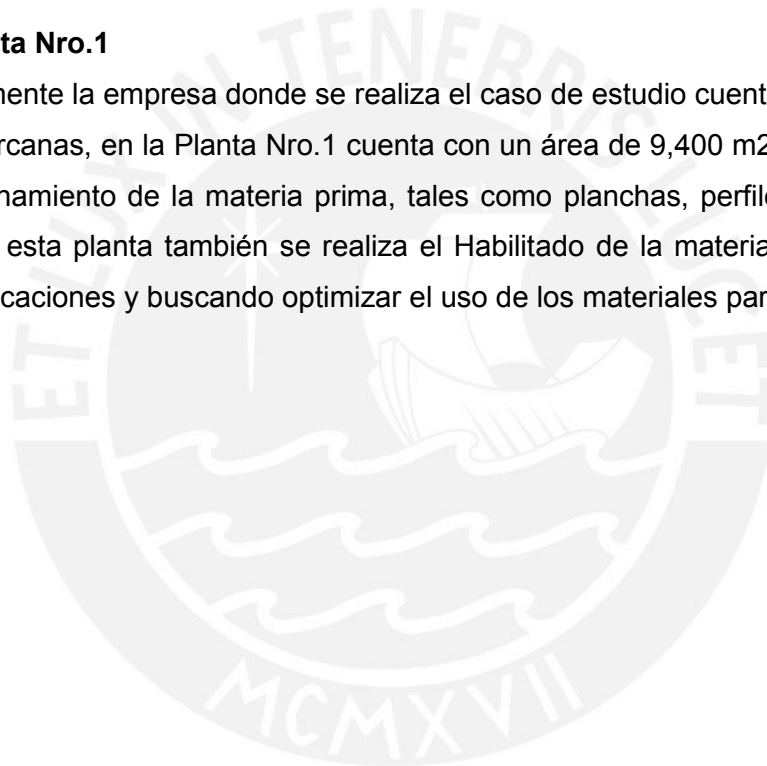




Figura 38. Layout de planta Nro.1
Fuente: Empresa de estudio.

En esta planta se tienen distribuidos las máquinas y centros de trabajo indicados en la Tabla 14 a continuación:

Tabla 14. Máquinas y centros de trabajo del área de habilitado.

Máquinas	Centro de trabajo
Sierras	SRA1
	SRA2
	SRA3
Pantógrafos	PAN1
	PAN2
Cortadora de tubos	VERN
	COR1
	COR2
Cizallas	CIZ1
	CIZ2

Fuente: Empresa de estudio.

Los materiales habilitados son trasladados mediante un tracto con una carreta de 13m de largo y con una capacidad de carga máxima de 32 toneladas de peso. El tracto recorre una distancia de 800m para llegar a la planta Nro.2 y entregar los materiales en la zona de recepción de la Planta Nro.2; el encargado de recepcionar estos materiales habilitados debe verificar las cantidades para cada WO recibida.

— **Planta Nro.2**

La segunda planta posee un área de 40,000 m², allí se encuentran el almacén de consumibles y de conexiones (fittings), también se encuentra el área de calderería, soldadura, mecánica, ensamble, granallado y pintura (ver Figura 39 Layout de la planta Nro. 2). Los materiales habilitados son recibidos por un encargado y luego son trasladados a cada proceso de acuerdo a lo indicado en la hoja de ruta de cada Orden de Trabajo (WO).

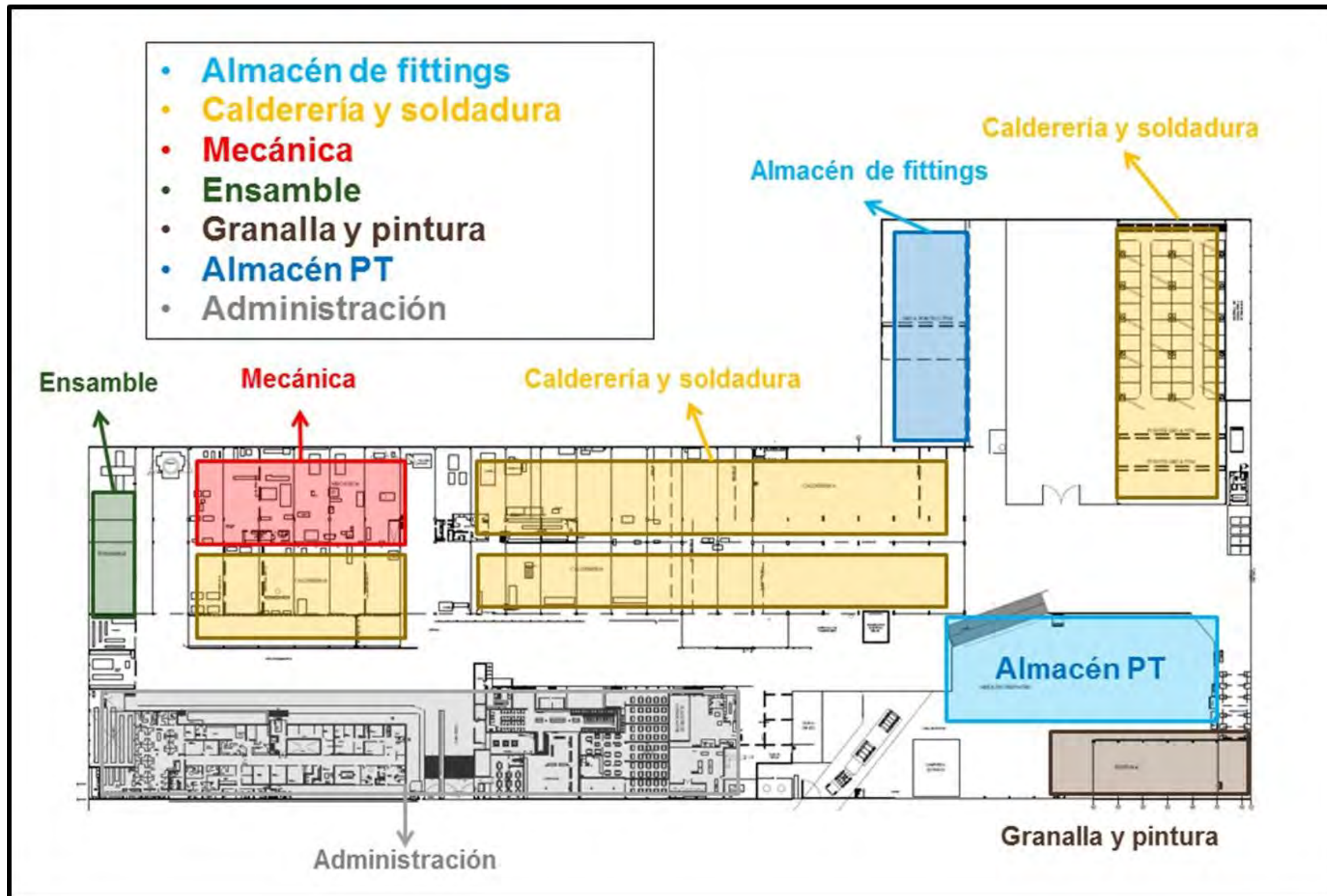


Figura 39. Layout de planta Nro.2
Fuente: Empresa de estudio.

7.4.1.1. Diagrama de recorrido

Esta herramienta nos permitirá identificar los indicadores de recorrido en la Planta Nro. 2, que van desde los pasos 8 hasta el 47 identificados en el DAP (ver Figura 30. DAP de la fabricación de Spools en la planta Nro. 2).

Tabla 15. Recorridos por traslados de materiales

Pasos del DAP	Descripción	Recorrido (mts)	Tiempo de recorrido (seg)	Observaciones
10	Traslado de materiales a calderería	177	226	Traslado en montacarga
13	Traslado de materiales a taladrado	123	177	Traslado en montacarga
16	Traslado de materiales a dobladora	48	110	Traslado en montacarga
19	Traslado de plegados a armado	176	225	Traslado en montacarga
22	Traslado de biselado a armado	13	122	Traslado en puente grúa
26	Traslado de armado a soldadura pase de raíz	11	120	Traslado en puente grúa
30	Traslado de pase de raíz a soldadura de relleno	14	123	Traslado en puente grúa
36	Traslado de soldadura a granallado	151	249	Traslado en vehículo grúa
39	Traslado de granallado a pintura	5	102	Traslado en vehículo grúa
47	Traslado a almacén de Producto terminado	5	102	Traslado en vehículo grúa
TOTALES		723	1556	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15 se han detallado todas las actividades de traslado de materiales para una unidad de tubería pre-ensamblada (piping spool), en donde se han identificado 10 operaciones de traslado (durante todo el proceso). Los materiales de cada spool recorren un total de 723 metros en un tiempo de 1556 segundos (ver columna 3 y 4 de la tabla).

Luego de obtener los datos de los metros recorridos y los tiempos requeridos de cada uno estos traslados, pasamos a graficar cada uno de estos recorridos en el layout del caso de estudio, siguiendo el orden previamente identificado en el DAP del proceso, de esta forma podremos identificar visualmente la sensación de congestión y tráfico (ver Figura 40. Diagrama de Espaghetti).

Pasos del DAP	Descripción	Recorrido (mts)	Tiempo de recorrido (seg)	Observaciones
10	Traslado de materiales a calderería	177	226	Traslado en montacarga
13	Traslado de materiales a taladrado	123	177	Traslado en montacarga
16	Traslado de materiales a dobladora	48	110	Traslado en montacarga
19	Traslado de plegados a armado	176	225	Traslado en montacarga
22	Traslado de biselado a armado	13	122	Traslado en puente grúa
26	Traslado de armado a soldadura pase de raíz	11	120	Traslado en puente grúa
30	Traslado de pase de raíz a soldadura de relleno	14	123	Traslado en puente grúa
36	Traslado de soldadura a granallado	151	249	Traslado en vehículo grúa
39	Traslado de granallado a pintura	5	102	Traslado en vehículo grúa
47	Traslado a almacén de Producto terminado	5	102	Traslado en vehículo grúa
TOTALES		723	1556	

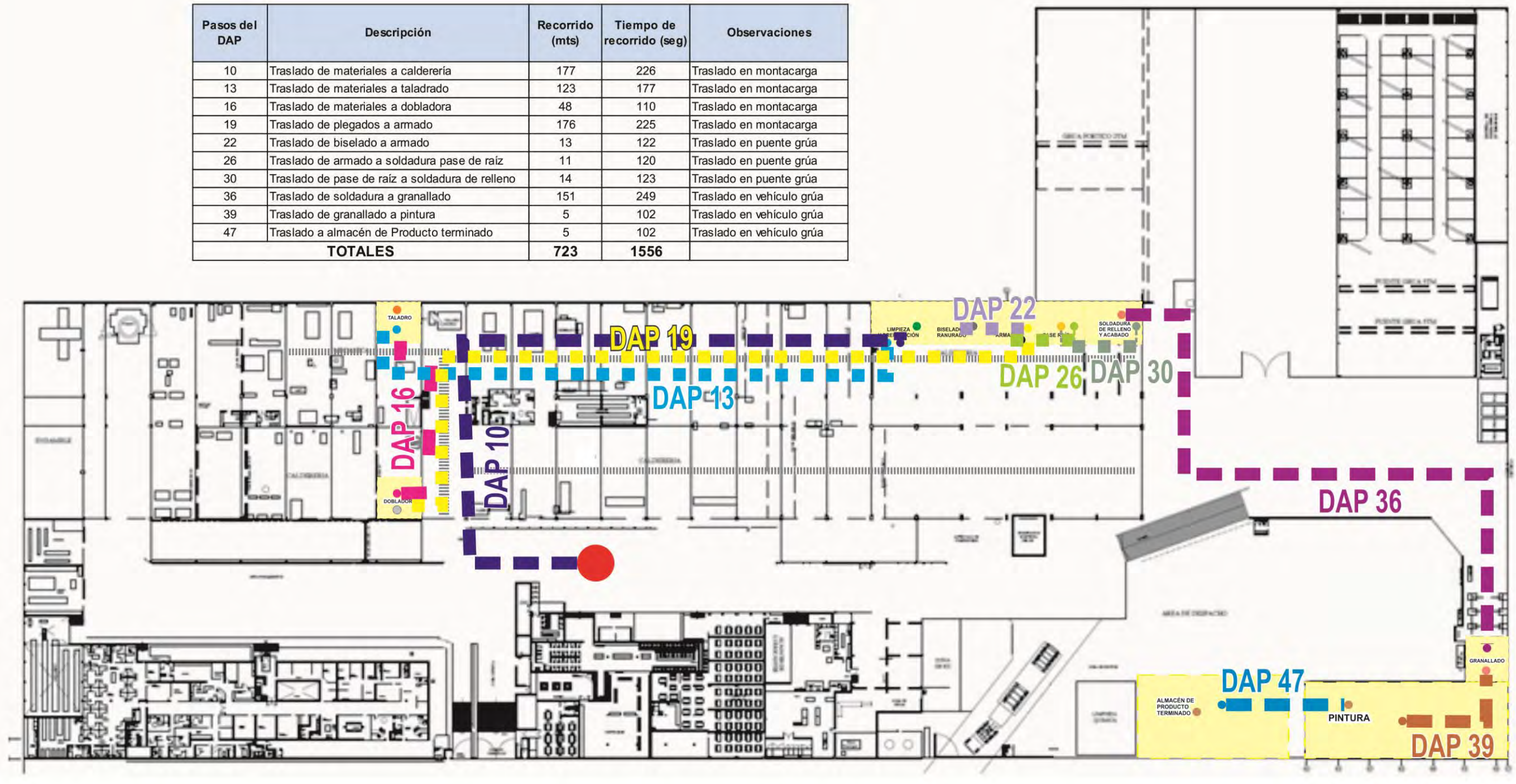


Figura 40. Diagrama de Espagheti
Fuente: Elaboración propia

7.4.1.2. Matriz de relación de cercanía

Esta herramienta nos permite visualizar la cantidad de traslados de materiales entre cada proceso para posicionar los centros de trabajo en una mayor cercanía según su flujo de materiales.

Tabla 16. Matriz de relación de cercanía en la producción de spools

		A:									
		Almacén	Habilitado HAB	Limpieza de fillos CASP	Taladrado TAL	Plegado DOB	Biselado y Ranurado CASP	Armado CASP	Soldadura SOLD	Granallado GRA	Pintura PIN
De:	Almacén		308								
	Habilitado HAB			293							
	Limpieza de fillos CASP				124		117	90			
	Taladrado TAL					131					
	Plegado DOB							129			
	Bisel. y Ranur. CASP							124			
	Armado CASP								340		
	Soldadura SOLD									344	44
	Granallado GRA										339
	Pintura PIN										

Fuente: Adaptado de “Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo” por B. J. Niebel, 2004, p.112. México D.F., México: Alfaomega.

En la Tabla 16, podemos observar una fuerte relación en el flujo de materiales entre granallado (GRA) y pintura (PIN), otro claro ejemplo es el tráfico de materiales entre el acabo de soldadura (SOLD) y el granallado (GRA) y también el de armado (CASP) con soldadura (SOLD). De esta forma podemos determinar que los procesos mencionados deben estar juntos debido al tráfico de materiales que circulan entre ellos.

7.5. Diagnóstico de la distribución de planta

La Planta Nro. 2 de la empresa en estudio tiene actualmente una capacidad máxima de producción diaria de 600 PD/Día (ver Tabla 6. Capacidad de producción en PD). Si comparamos este rendimiento con otras empresas especializadas en el rubro de Tuberías Pre-Ensambladas (Piping Spools), se conoce que estas pueden llegar a alcanzar una capacidad máxima de producción de 2,500 PD/Día de acuerdo a lo indicado por la empresa Perú Piping Spools SAC en su video institucional (<https://www.youtube.com/watch?v=nk0mqncGyBo>).

También se ha evidenciado demoras por concepto de espera de disponibilidad de montacargas y puente grúa, en un valor de 1.22 hrs por cada spool (ver Figura 30. DAP de la fabricación de Spools en la planta Nro. 2). Este problema también ha sido reportado por los supervisores de producción (ver Tabla 13. Frecuencia de problemas en el proceso productivo).

Adicional a ello, los traslado de materiales tienen recorridos excesivos que representan 1556 segundos por cada spool (ver Tabla 15. Recorridos por traslados de materiales). Estos recorridos generan una sensación de tráfico y desorden en los pasillos de la planta que merman la productividad (ver Figura 40. Diagrama de Espaghetti).

Finalmente, el flujo quincenal de materiales habilitados y limpieza de fillos es de 293 tuberías (spools) y el flujo entre soldadura y granallado es de 344 tuberías (ver Tabla 16. Matriz de relación de cercanía en la producción de spools). De esta forma podremos determinar que los procesos mencionados deben estar juntos o muy próximos debido al tráfico de materiales que circulan entre estos pero esto no se cumple con el layout de planta actual (ver Figura 40. Diagrama de Espaghetti).

En conclusión, se debe rediseñar el layout de planta actual para acortar los recorridos y evitar demoras en los traslados de los materiales para mejorar el ciclo de producción por cada spool y elevar la productividad. Para ello, se deberá aplicar la técnica de células de producción, el rediseño de la ubicación y las dimensiones de cada estación de trabajo y la implementación de plumas de izaje para el traslado de los componentes entre cada proceso.

7.5.1. Diagrama de Ishikawa:

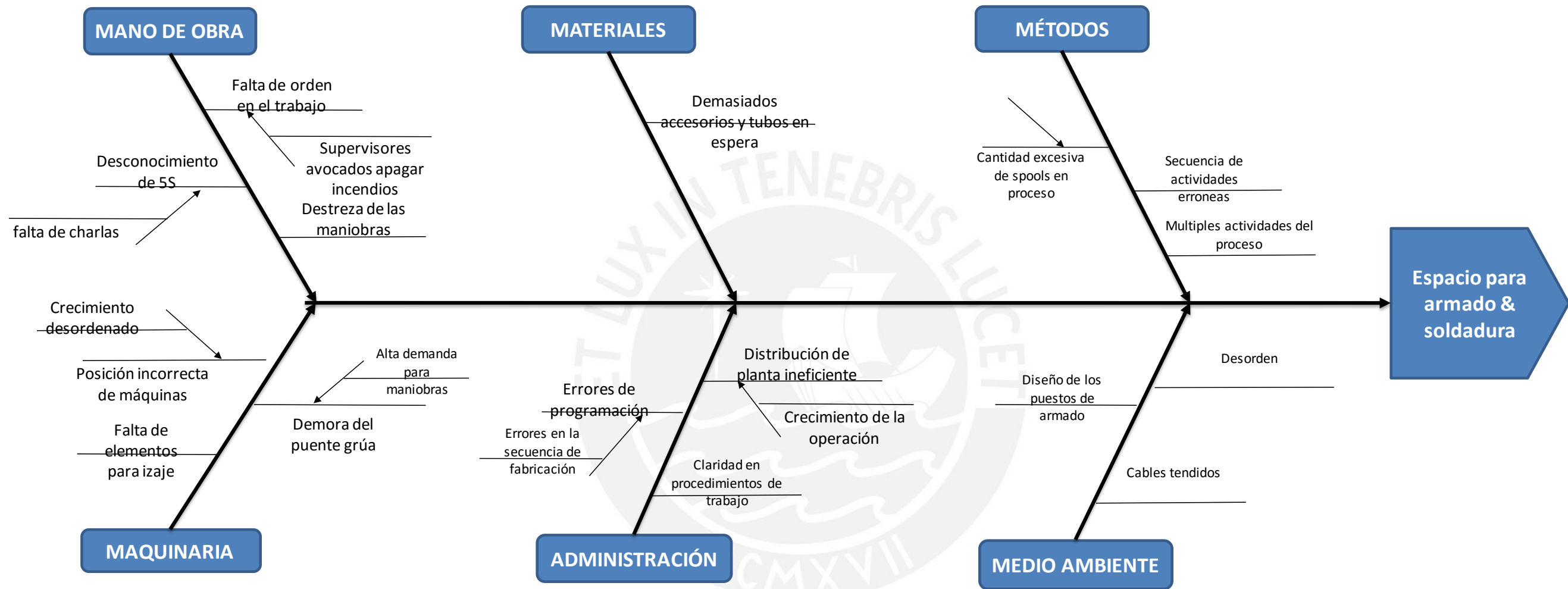


Figura 41. Diagrama de Ishikawa para problemas en distribución de planta
Fuente: Elaboración propia

7.6. Análisis de la Gestión de Producción

Para detectar las problemáticas en el proceso de planificación se realizará un análisis de los indicadores de gestión de la producción en la empresa. Este análisis nos servirá de base para poder diagnosticar la causa raíz de los problemas que aquejan el desempeño de la empresa de estudio.

7.6.1. Indicadores de la Gestión de Producción

En este punto, pasaremos a analizar los principales indicadores de la actual gestión de la producción de la empresa de estudio.

a) HH programadas vs. Capacidad Máxima

Se ha identificado que la gestión de la producción actual está basada en un sistema del tipo PUSH, en donde los analistas de Programación de Operaciones buscan programar las cargas de producción de cada centro de trabajo en función de la mayor cantidad de HH que pueda admitir su capacidad máxima.

Según el Capítulo 3 acerca de la Teoría de Restricciones (TOC), los procesos aguas abajo del cuello de botella sufren de capacidad ociosa debido al menor ritmo de producción en el cuello de botella. En nuestro caso, la empresa tiene problemas para programar carga de trabajo en los procesos de Granallado y Pintura (procesos posteriores a soldadura) durante las dos primeras semanas de cada mes y se incrementa su carga de trabajo significativamente durante la dos últimas semanas del mes, en gran parte por las entregas de los pedidos.

Para observar este problema, se tomó como ejemplo la SEM 46 por ser la segunda semana de Noviembre, con ello vamos a buscar evidenciar la capacidad ociosa que sufren los procesos de Granallado y Pintura a causa del menor ritmo de producción de Soldadura (cuello de botella).

Tabla 17. Cuadro con las HH programadas vs Capacidad Máxima

Nº de Operarios	SEC	Total Prog.	Capacidad Mínima	Capacidad Máxima incluyendo horas muertas	DIFERENCIA (PROG CAP. MAX.c/Horas Muertas)	RESPONSABLE
23	CAL1	958	972	994	-36	MO
28	CAL2	1127	1183	1210	-83	JLY
8	CAL3	298	338	346	-48	ET
30	CALF	1235	1267	1296	-61	JLY
30	CALQ	1258	1267	1296	-38	JLY
24	CASP	1003	1014	1037	-34	MO
2	CIZ	43	88	90	-47	ACU
1	CORT	5	44	45	-40	ACU
4	DOB	169	169	173	-4	JLY
4	ENS	168	177	181	-13	OM
8	GRA	215	353	361	-146	ACU
22	MEC	966	972	994	-28	SR
29	NUN2	1167	1225	1253	-86	JLY
2	PAN	77	88	90	-13	ACU
25	PIN	778	1104	1129	-352	ACU
4	ROL	98	169	173	-75	JLY
3	SRA	103	132	136	-33	ACU
112	SOL	4383	4731	4840	-457	JLY
359	Total general	14051	15293	15645	-	-

Fuente: Empresa de estudio

Analizando la Tabla 17, en la semana de ejemplo se observa que la carga de trabajo programada para los procesos de Granallado y Pintura (resaltados en la tabla) estaba por debajo de su capacidad mínima. Es decir, al proceso de Granallado se le programó el 61% de HH de su capacidad mínima (215 HH de 353 HH). Y en pintura se programó un 70% de la capacidad mínima (778 HH de 1104 HH). Sin embargo, el sistema arroja que aún se tiene 3,798 HH por programar a futuro en el área de Pintura (ver Anexo VIII. Detalle de carga de trabajo en GRA y PIN).

CUADRO DE CAPACIDADES DE SOLDADURA SEM 46
 Tabla 18. Cuadro de capacidades por grupo de soldadores

Nº de Operarios	SEC	Total Prog.	Capacidad Máxima incluyendo horas muertas	DIFERENCIA (PROG - CAP. MAX.c/Horas Muertas)
24	SOL CAL1	948	1037	-89
14	SOL CAL 2	548	605	-57
6	SOL CAL 3	163	259	-96
16	SOL CALF	595	691	-96
15	SOL CALQ	594	648	-54
16	SOL CALSP	687	691	-4
21	SOL NUN1	848	907	-59
112	Total general	4383	4840	-

Fuente: Empresa de estudio

De la Tabla 18, se observa que el proceso de Soldadura de Spools (resaltado en la tabla) se programa al 99.4% de su Capacidad Máxima (687 HH programadas con respecto a 691HH de capacidad máxima).

De los datos de la Tabla 7 y del análisis de la Tabla 17 y Tabla 18, se concluye que el área de soldadura se ha convertido en un cuello de botella que restringe la capacidad total del sistema, afectando a los procesos de Granallado y Pintura por ser secuencias posteriores a la soldadura.

Adicional a esto, la programación de operaciones del tipo PUSH basada en capacidades máximas (sin tomar en cuenta el ritmo de producción de los cuellos de botella), solo han generado saturar la planta con materiales en proceso (WIP), incrementando los costos variables por inventarios en exceso y mermando la rentabilidad de la empresa, según la Teoría de Restricciones (TOC).

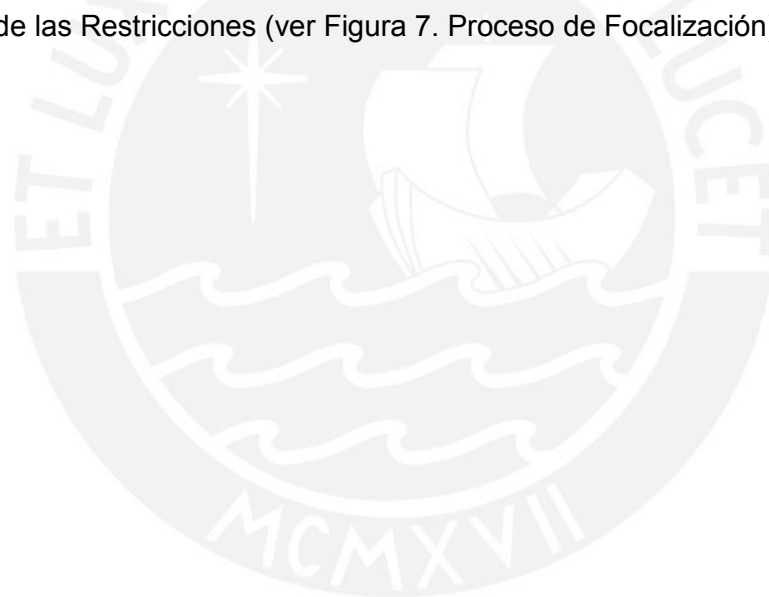
b) Cumplimiento de HH programadas

Este indicador se utiliza para dar seguimiento al cumplimiento de la cantidad de Horas-Hombre (HH) programadas en la planta con un horizonte de programación de una semana. Es un termómetro de cómo se están ejecutando las operaciones de planeamiento de recursos y de control de piso.

Adicional a esto, es un indicador muy usado por los analistas para dar seguimiento al avance de cada proyecto en función de las HH programadas vs las HH reales (ver Anexo IV. Indicador de Calidad de programación).

En la Figura 42 (en la página a continuación), se tiene un gráfico de barras en donde se evidencia que el cumplimiento de HH Programadas en el acumulado del 2015 fue de 80%. Es decir, 10% por debajo del valor objetivo propuesto por la misma empresa de estudio.

Este indicador, es un síntoma que se está programando muchas HH a la planta, pero que no se está realizando ningún tipo de estrategia de seguimiento y control a los procesos cuello de botella, los cuales están disminuyendo el flujo productivo de todo el sistema. En respuesta a esto, el sistema necesita un mayor control focalizado en los cuellos de botella, para ello se puede utilizar la metodología de la Teoría de las Restricciones (ver Figura 7. Proceso de Focalización).



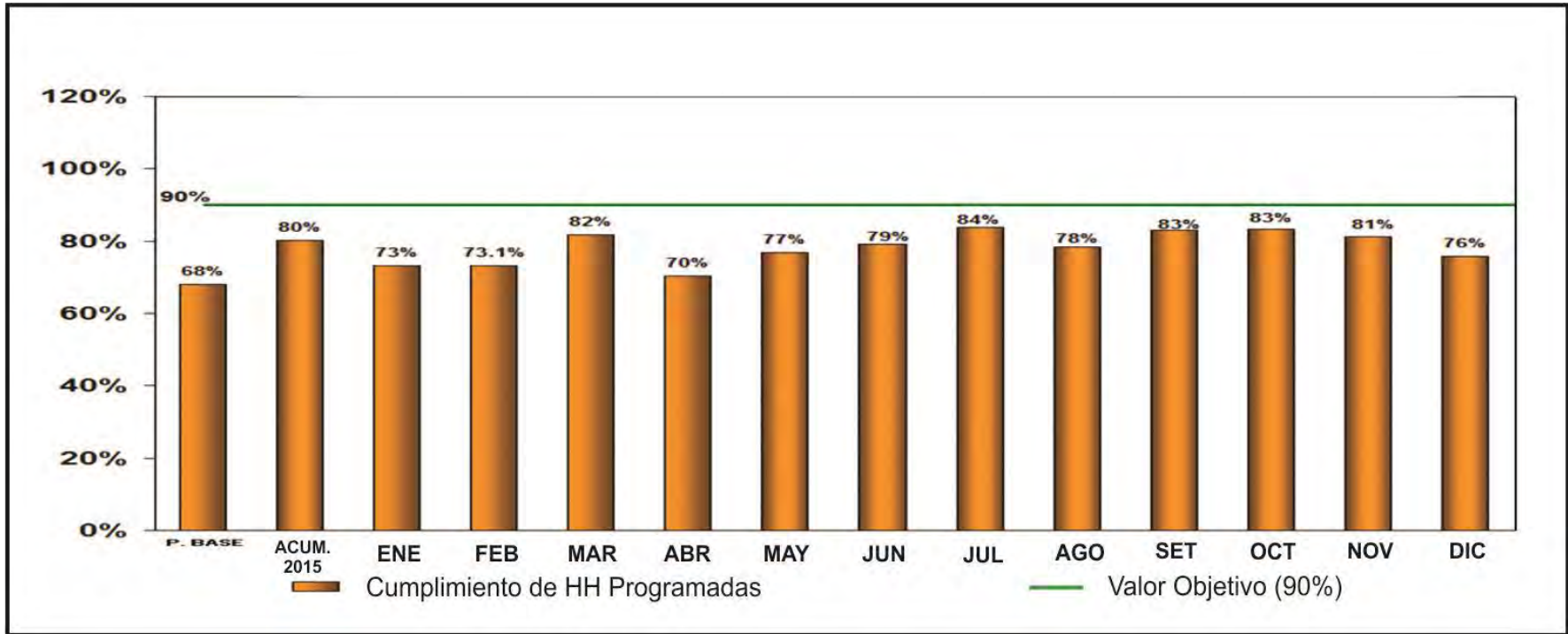


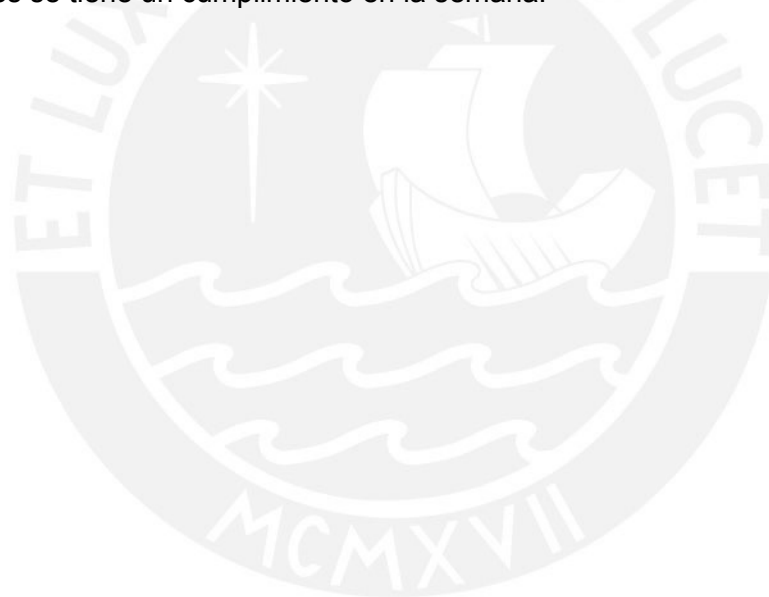
Figura 42. Cumplimiento HH Programadas
Fuente: Empresa de estudio

c) Indicador de Cumplimiento de secuencias programadas

Este indicador se utiliza para dar seguimiento al cumplimiento de cada una de las operaciones programadas en la planta, es decir es un indicador que mide el grado de cumplimiento de la programación de la producción.

A cada una de las operaciones requeridas para dar forma a un material se le conoce como "secuencia de fabricación". Entonces, un conjunto de secuencias de fabricación da lugar a una Orden de Trabajo (ver Anexo VII. Programación de una Orden de Trabajo).

Por ende, se dice que una secuencia se cumplió en fecha, cuando la secuencia fue cerrada (en el sistema) en la fecha programada (o antes). Si la secuencia fue cerrada después de la fecha programada, pero aun así dentro de la semana, entonces se tiene un cumplimiento en la semana.



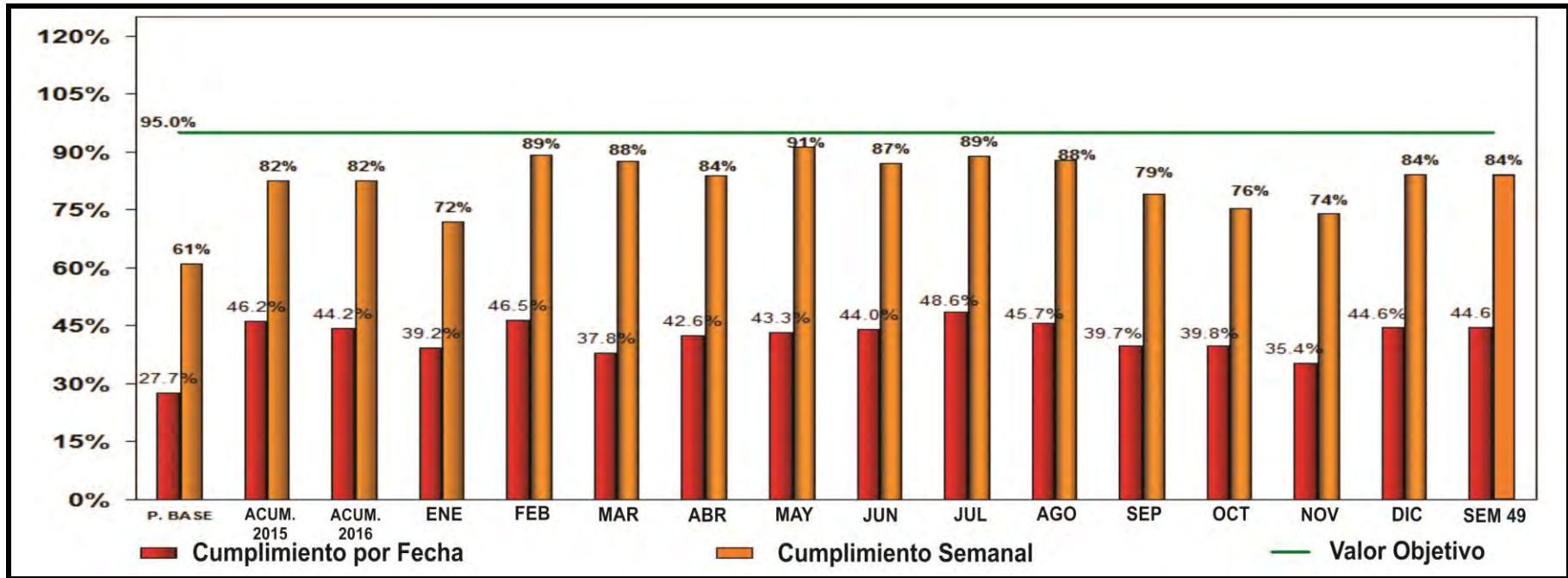


Figura 43. Cumplimiento Secuencias Programadas
Fuente: Empresa de estudio

En la Figura 43, se muestra un diagrama de barras con los históricos de los cumplimientos de las secuencias programadas tanto por fecha y en la semana. En donde el cumplimiento acumulado del 2015 fue de 46.2% de cumplimiento de secuencias en fecha y 82% de cumplimiento en la semana. Para el 2016, el cumplimiento iba de 44.2% en fecha y de 82% en la semana.

De este indicador se concluye, que existe una brecha grande entre los cumplimientos en fecha y en la semana (44.2% y 82% respectivamente), debido a que los procesos aguas abajo del cuello de botella (soldadura), reciben con atraso los materiales que deben procesar según su fecha de programación de acuerdo a su carga de trabajo. Como consecuencia, un 18% de las secuencias programadas no se cumplen en la semana de programación, esto genera un impacto en las entregas de los pedidos, porque muchas de estas secuencias pertenecen a la ruta crítica del proyecto o al cuello de botella.

d) Indicador de Horas extras y Horas muertas

El indicador de Horas extras y Horas muertas, nos muestra si los recursos de la planta se están utilizando de manera eficaz, ya que muchas veces las horas extra son respuesta a averías de máquinas, trabajos adicionales o reprocesos.

Adicional a esto, el exceso de horas extras merma rentabilidad a las organizaciones, ya que de acuerdo a la legislación peruana las horas extras tienen un mayor costo.

“Las horas extras se pagan con un recargo del 25% por las dos primeras, y de 35% a partir de la tercera”; cita tomada del Diario Gestión (<https://gestion.pe/tu-dinero/calculan-horas-extras-221817>).

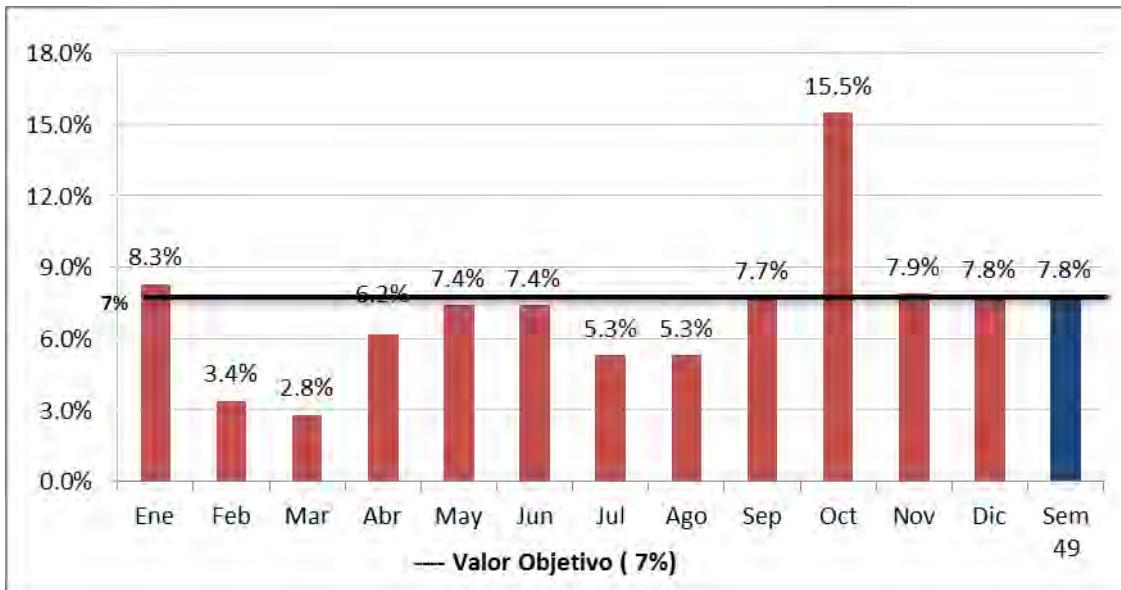


Figura 44. Indicador de Horas Extra
Fuente: Empresa de estudio

De la Figura 44, se aprecia que la empresa de estudio tiene casi controlado el uso de las horas extra, ya que en la mayoría de meses (a excepción de Octubre), logró gestionar que estas horas hombre no pasen significativamente por encima del 7% del total de horas reales.

Por otra parte, las horas muertas se obtienen de contabilizar las horas de asistencia menos las horas directas e indirectas. Por lo tanto, tener un alto porcentaje de este indicador es un síntoma de que algunos procesos tienen capacidad ociosa por algún cuello de botella aguas arriba o por una falta de control en el balance de las líneas.

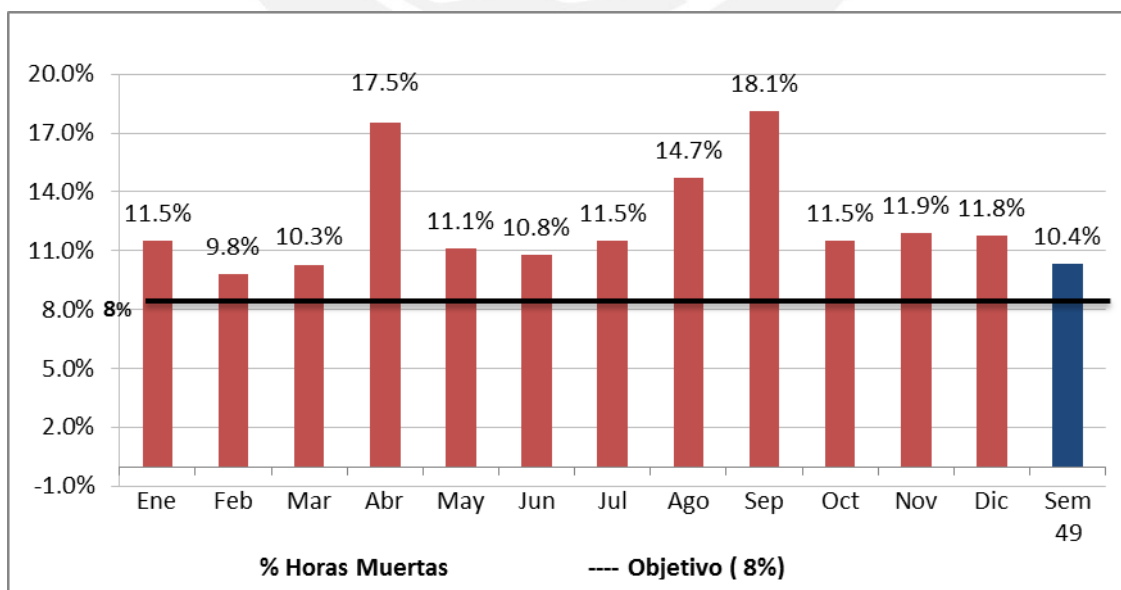


Figura 45. Indicador de Horas Muertas
Fuente: Empresa de estudio

De la Figura 45, se evidencia que la empresa de estudio no tiene controlado el porcentaje de horas muertas, ya que en todos los meses la cantidad de horas muertas ha sobrepasado significativamente el 8% que se tiene como valor objetivo para esta gestión. Incluso, en los meses de abril y septiembre, el porcentaje de horas muertas fue de 17.5% y 18.1% respectivamente, más del doble del valor objetivo de la empresa de estudio.

De estos dos indicadores se concluye que el porcentaje de horas muertas está afectando la productividad de la empresa, ya que se tiene muchos operarios que durante la jornada de trabajo no están generando valor, debido a que procesos posteriores a los cuellos de botella no tienen una suficiente carga de trabajo (ver filas resaltadas en amarillo de la Tabla 17. Cuadro con las HH programadas vs Capacidad Máxima).

e) Medición del ritmo de producción de Tuberías (Piping Spools)

— **Ritmo de producción de Armado de Tuberías**

El ritmo de producción por día es un indicador que mide la cantidad diaria de Pulgadas de Diámetro (PD) procesadas en la etapa de armado de Tuberías (Piping Spools). Se contabilizan por igual los armados de tuberías tridimensional (no rotado) y tuberías rotadas (para entender diferencia ver Anexo II. Piping Spools rotados y no rotados).

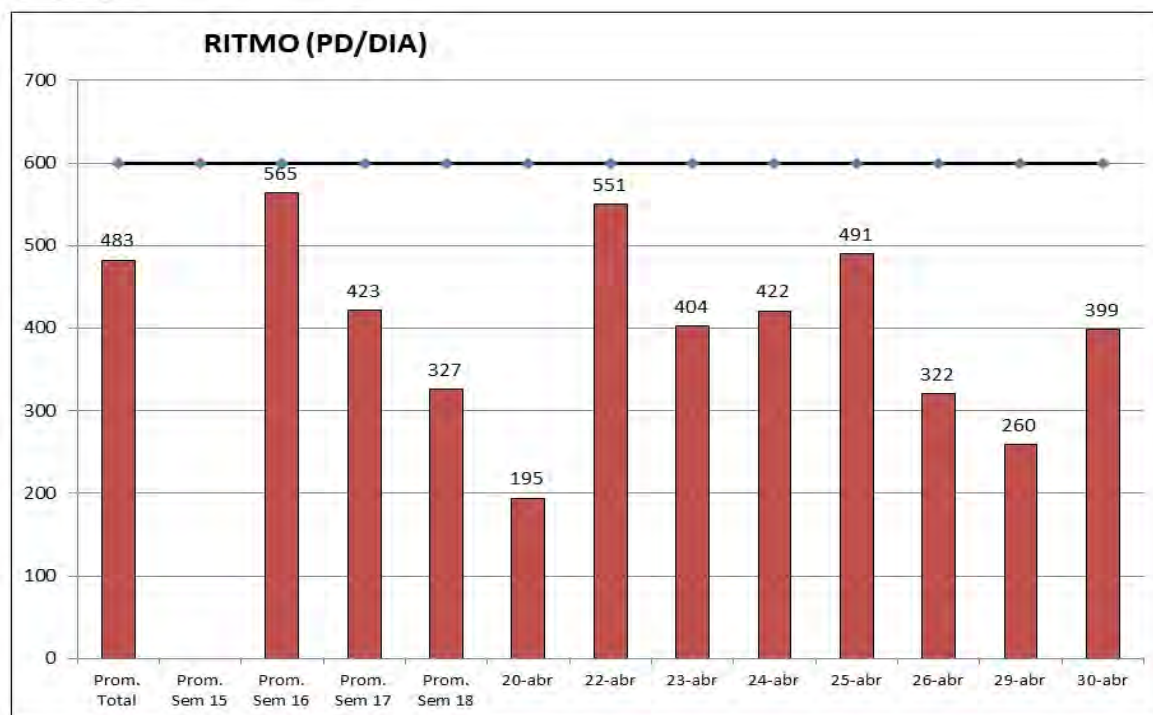


Figura 46. Indicador de ritmo de producción proceso de Armado

Fuente: Empresa de estudio

De la Figura 46, se ha identificado que el ritmo de producción promedio es de 483 PD/Día, el cual es un valor por debajo de las 600 PD/Día que tiene la empresa como valor objetivo. También se ha identificado que existe una variación en los resultados del ritmo de producción promedio de cada semana, ya que por ejemplo se obtuvo un valor pico de 565 PD/Día de promedio en la SEM 16 y un valor valle de 327 PD/Día de promedio en la SEM 18.

La variación de resultados del ritmo de producción, se debe a que los proyectos de Tuberías no rotadas (tridimensionales) requieren una mayor cantidad de horas hombre para su fabricación. Por otro lado, las Tuberías rotadas se producen más rápido porque al ser tuberías rectas, se ahorra los procesos de Armado tridimensional y Soldadura tridimensional (ver Figura 53. Flujo de producción de spools de acero al carbono).

— **Ritmo de producción de Soldadura de Tuberías**

El ritmo de producción por día registra la cantidad de Pulgadas de Diámetro (PD) de soldadura de Tuberías (Piping Spools) que se producen por día. Para ello, se contabilizan los cordones de soldadura en tuberías tridimensional (no rotado) y tuberías rotadas (para entender diferencia ver Anexo II. Piping Spools rotados y no rotados). El valor objetivo que se espera que alcance el proceso es de 600 PD/Día.

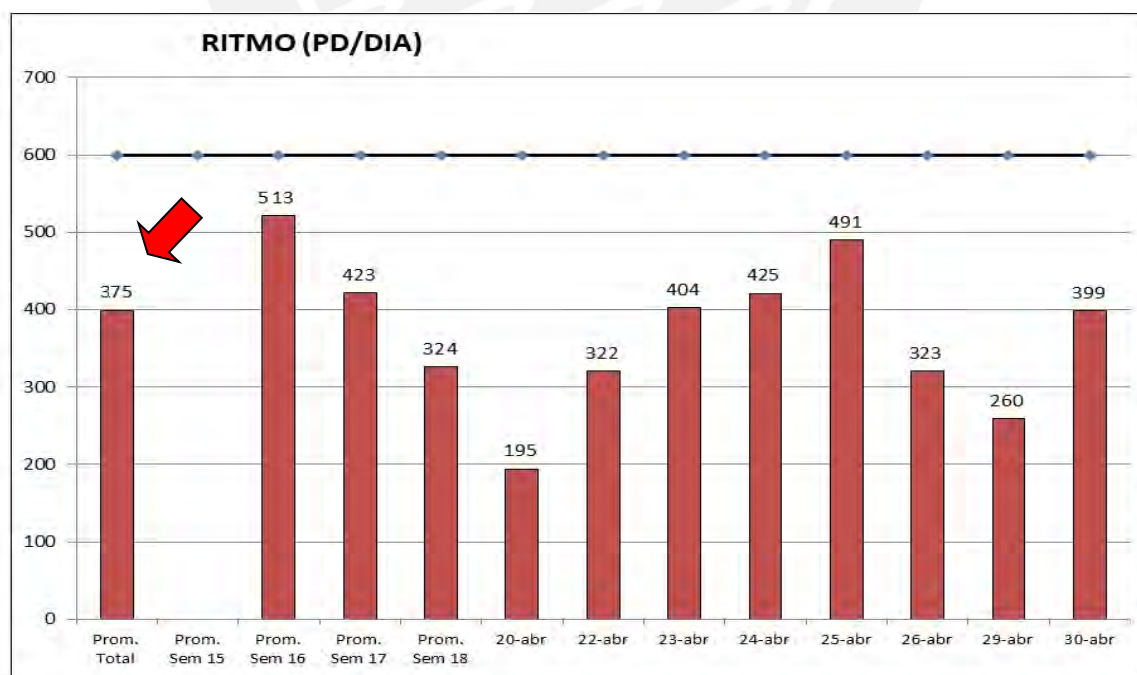


Figura 47. Indicador de ritmo de producción proceso de Soldadura

Fuente: Empresa de estudio

De la Figura 47, se ha identificado que el ritmo de producción promedio en soldadura es de 375 PD/día, el cual es un valor por debajo de las 600 PD/día que tiene la empresa como valor objetivo.

De la Figura 46 y Figura 47, se concluye que ambos valores, del ritmo de producción por día de los procesos de armado y soldadura, están por debajo del valor esperado, por ende se debe plantear una estrategia de incrementar la producción enfocándose en los cuellos de botella (ver Figura 7. Proceso de Focalización TOC).

f) Grado de utilización del recurso productivo de Soldadura

El grado de utilización es un indicador de la eficiencia del uso de algún recurso productivo, en este caso de soldadura. También permiten identificar cuáles son los principales tipos de problemas que no permiten (al recurso) generar valor, estos problemas pueden ser por reprocesos, falta de materiales, entre otros.

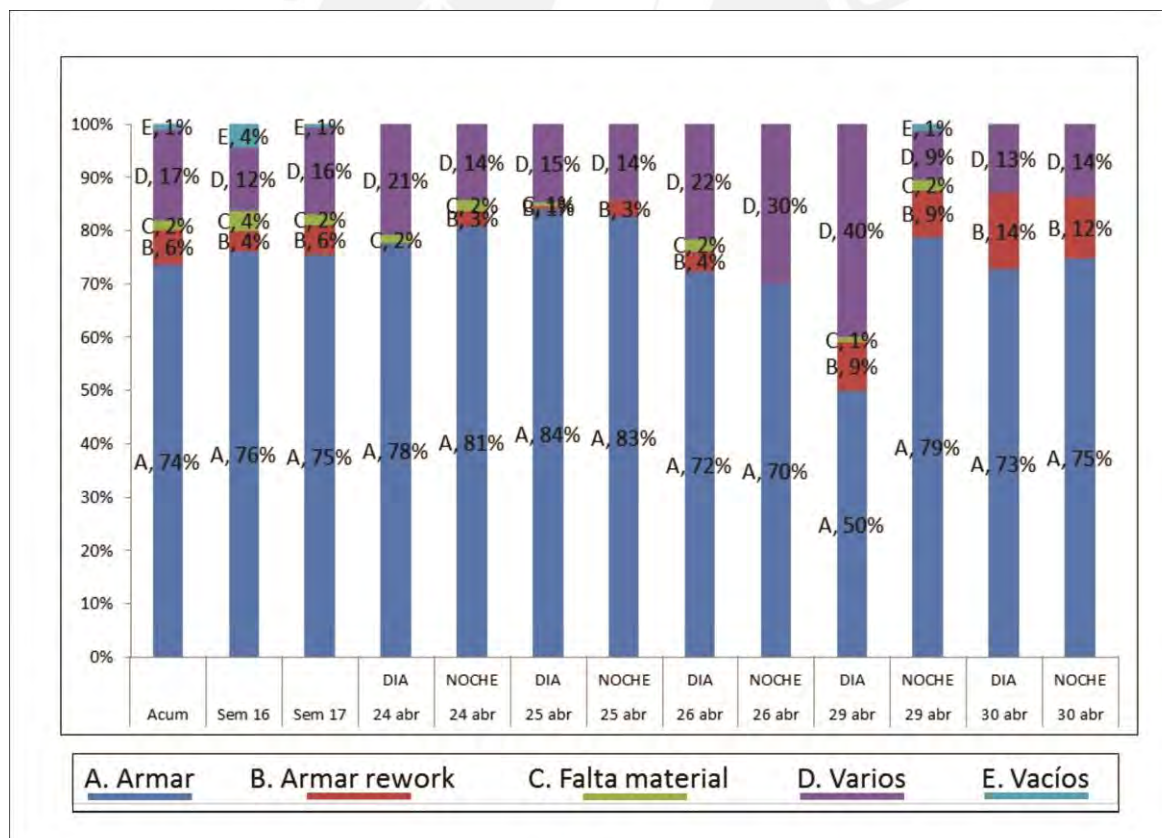


Figura 48. Grado de Utilización del recurso productivo de soldadura
Fuente: Empresa de estudio

De acuerdo a los indicadores de grado de utilización del recurso productivo de Soldadura, se observa que se tiene un grado de utilización acumulado de 74% en las operaciones de

soldadura, un 17% en varios (demoras por traslados, espacios, etc.), 6% por reproceso y 2% por falta de materiales para realizar su trabajo.

Se concluye, que el proceso de soldadura no está eficientemente gestionado, ya que al ser un proceso cuello de botella, se le debe implementar un proceso de focalización de Teoría de Restricciones (TOC) para alcanzar una mayor productividad.

g) Indicador de Exceso de Horas Reales vs Horas Estimadas

Este indicador nos muestra el porcentaje de exceso de las HH Reales versus las HH Estimadas registradas por el sistema por la ejecución de cada secuencia en una Orden de Trabajo (para mayor detalle de una secuencia de fabricación y la cantidad de Horas estimadas por secuencia (ver Anexo. VII).

Si el indicador es mayor a 100% (valor Objetivo), se dice que hubo un exceso de Horas Reales, pero si el indicador es menor al valor objetivo, se dice que hubo un ahorro de Horas.

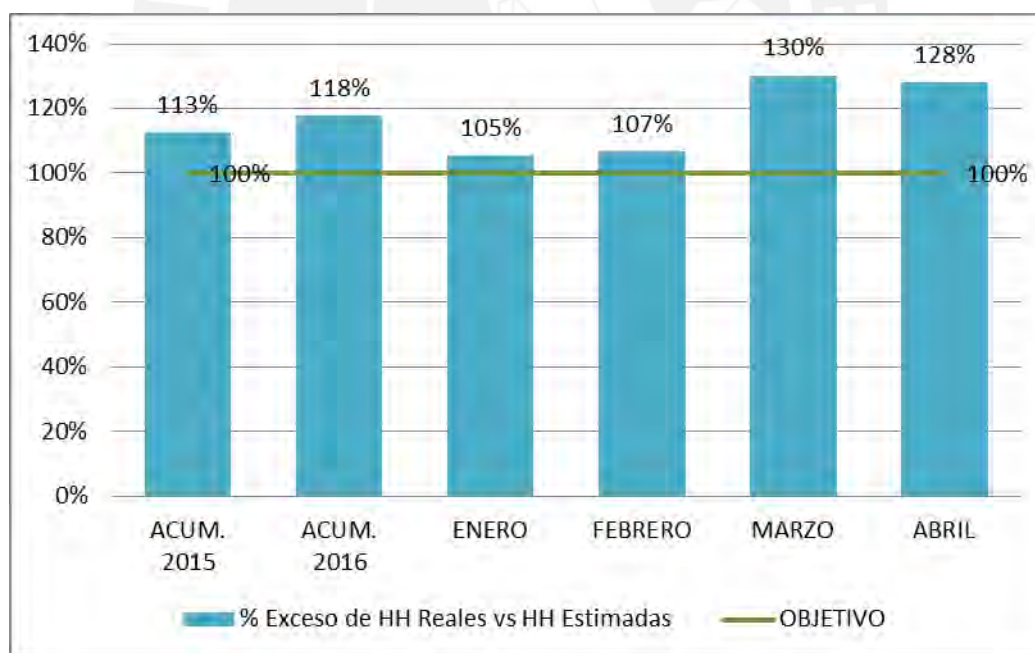


Figura 49. % Exceso Horas Reales vs Horas Estimadas
Fuente: Empresa de estudio

De la Figura 49, se observa en el acumulado del 2016 un resultado de 118%, es decir se tenía un 18% de exceso de Horas Reales vs las Horas Estimadas. Mientras que en el 2015, se obtuvo un exceso de horas reales de 13%. Adicional a esto, se observa que los meses de Marzo y Abril están teniendo un alto exceso de horas reales vs estimadas de 30% y 28% respectivamente, afectando directamente al ratio de productividad.

h) Ratio de productividad

El ratio de productividad nos permite evaluar que tan eficientemente estamos generando valor (o throughput) con los recursos que usamos. Para nuestro caso de estudio, la productividad se mide según la cantidad de pulgadas de diámetro de tuberías (entregadas al área de pintura) entre las Horas-Hombre reales que se registraron en el sistema por cada Orden de Trabajo.

La empresa en estudio, estimó que el ratio de productividad objetivo debe ser de 2.453 (ver línea objetivo de la figura a continuación).

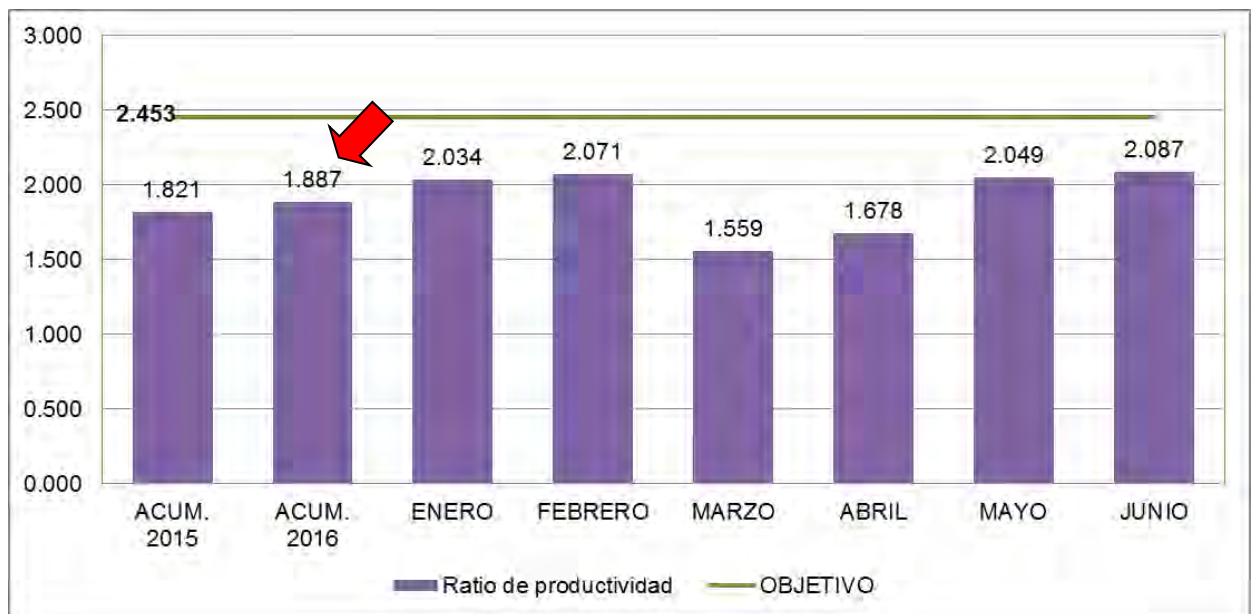


Figura 50. Ratio de productividad
Fuente: Empresa de estudio

De la Figura 50, se observa que el ratio acumulado de productividad (PD/HH) en lo que iba del 2016 era de 1.887, es decir 77 % del valor objetivo propuesto por la empresa en estudio, el cual es de 2.453.

De las Figuras 48, 49 y 50, se concluye que el ratio de productividad está relacionado con la eficiencia en el grado de utilización de los recursos (especialmente de los cuellos de botella); y de la estricta supervisión en que cada secuencia de trabajo sea realizada sin sobrepasar la cantidad de HH estimadas en la hoja de ruta de cada Orden de Trabajo.

7.7. Diagnóstico de la Gestión de Producción

- 1) Diagnóstico en el proceso productivo: debido a que la empresa en estudio, fabrica y comercializa un amplio portafolio de equipos industriales para distintos sectores económicos, se vio en la necesidad de tener un sistema de producción muy flexible. Por ende, sus ingenieros desarrollaron una distribución de planta por procesos (ver Figura 39. Layout de Planta), en donde las máquinas están agrupadas de acuerdo a los procesos que realizan (habilitado, calderería/soldadura, mecánica, ensamble y pintura).

En consecuencia, la productividad de las tuberías pre-ensambladas (piping spools) no han alcanzado los valores objetivos (ver Figura. 50 Ratio de productividad). Adicional a esto, se requieren recursos como maniobristas, plumas, vehículos grúa, montacargas y puentes grúa para el traslado de piezas entre centros de trabajo que prácticamente recorren toda la planta (ver Figura 40. Diagrama de Espaghetti).

La solución que se plantea a este problema es agrupar las máquinas en células de producción para incentivar un flujo continuo y elevar la productividad. Para ello se implementará la Tecnología de Grupo (GT).

- 2) Diagnóstico en el Layout de planta: se ha evidenciado recorridos excesivos en el traslado de los materiales, que representan 1556 segundos (o su equivalente de 0.4 horas) por cada spool (ver Tabla 15. Recorridos por traslados de materiales). Estos recorridos generan una sensación de tráfico y desorden en los pasillos de la planta que merman la productividad (ver Figura 40. Diagrama de Espaghetti).

En consecuencia, se ha evidenciado demoras de 1.22 hrs por cada spool (ver Figura 30. DAP de la fabricación de Spools en la planta) por concepto de espera de disponibilidad de montacargas y puente grúa para el traslado de materiales en proceso entre centros de trabajo. Este problema ha sido reportado como la causa más frecuente en los incumplimientos del programa de producción por parte de los supervisores (ver Tabla 13. Frecuencia de problemas en el proceso productivo).

3) Respecto a la Gestión de Producción, de acuerdo a los ritmos de producción registrados en la empresa de estudio, se evidenció que el proceso de soldadura es el cuello de botella (CCR) del sistema, ya que es el proceso con la menor tasa de producción, siendo esta de 375 PD/Día (ver Tabla 7. Ritmo de producción por procesos). Este resultado se da a pesar que se le programa constantemente una carga de planta al límite de su capacidad máxima en soldadura, según se observa en la semana de ejemplo de la Tabla 18. Cuadro de capacidades por grupo de soldadores.

De la Figura 45, se evidencia que la empresa de estudio no tiene controlado el porcentaje de horas muertas (Horas muertas > 8%), este resultado está afectando la productividad de la empresa ya que se tiene muchos operarios que durante la jornada de trabajo no están generando valor, debido a que procesos posteriores al cuello de botella (Soldadura), por ejemplo Pintura no tiene una suficiente carga de trabajo (ver filas resaltadas en amarillo de la Tabla 17. HH programadas vs Capacidad Máxima).

Finalmente, se ha identificado que Programación de Planta tiene una política del tipo PUSH, donde se programa las operaciones en función de la Capacidad Máxima de cada centro de trabajo. En la Figura 42, se tiene un gráfico de barras en donde se evidencia que el cumplimiento acumulado de HH Programadas fue de 80%. Es decir, 10% por debajo del valor objetivo propuesto por la misma empresa de estudio. Adicional a esto, en la Figura 43, se tiene un cumplimiento por fecha de secuencias programadas de 46.2%. Ambos indicadores, son un síntoma que se está programando muchas HH a la planta, pero que no se está realizando ningún tipo de estrategia de seguimiento y control a los procesos cuello de botella, los cuales están disminuyendo el flujo productivo de todo el sistema, generando incumplimientos en las HH programadas.

Se concluye, que el proceso de soldadura no está eficientemente gestionado, ya que el grado de utilización del recurso es de 74% (ver Figura 48. Grado de Utilización del recurso productivo de soldadura) siendo este un proceso cuello de botella, es fundamental mejorar su performance. Por lo tanto, se le debe implementar un proceso de focalización de Teoría de Restricciones (TOC) para alcanzar una mayor productividad (ver Figura 7. Proceso de focalización).

7.7.1. Diagrama de Ishikawa:

En base al análisis y de los diagnósticos detallados en el punto 7.7, se procederá a determinar la causa raíz de los problemas identificados en el sistema de producción de la empresa.

— Mano de Obra

Se identificó que el personal carece de orden en el trabajo y que los supervisores han dejado de sensibilizar a los operarios en el uso de las 5'S en la planta.

— Métodos

Se identificó que la programación de carga del tipo PUSH ha generado una cantidad excesiva de componentes en proceso y que no existe una estrategia de seguimiento y control en los procesos cuello de botella.

— Medio Ambiente

El diseño de los puestos de trabajo no es el adecuado ya que se ha identificado falta de espacio y sensación de tráfico en los pasillos entre los procesos.

— Administración

La distribución de planta actual no es la adecuada porque existe mucho recorrido y un flujo caótico de materiales, tampoco se ha controlado procesos cuello de botella como armado y soldadura rotacional.

— Maquinaria

Se ha identificado demoras en el uso de los puentes grúa por la alta demanda de este recurso para realizar maniobras, las posiciones de las máquinas no son las adecuadas ya que no están orientadas a una alta productividad sino a flexibilidad.

— Materiales

Existen materiales pequeños que se pierden fácilmente en la planta.

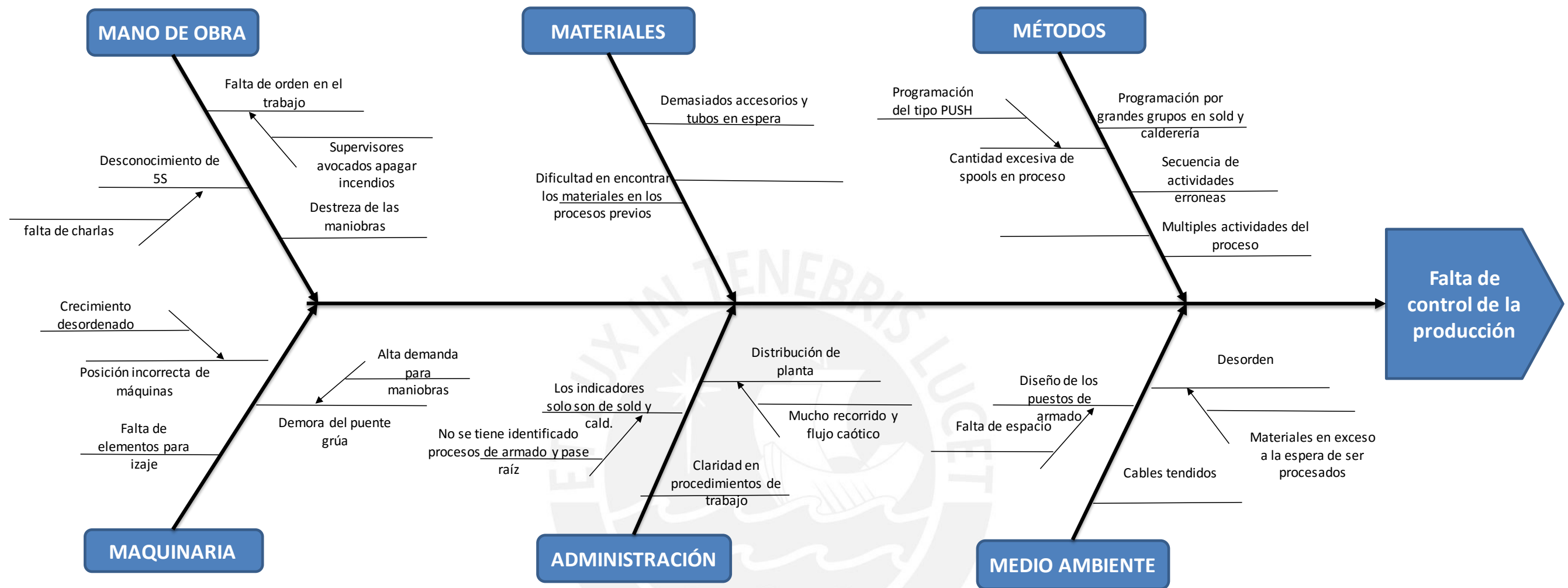


Figura 51. Diagrama de Ishikawa de los problemas de gestión de la producción
Fuente: Elaboración propia

PARTE III: PROPUESTAS DE MEJORA Y EVALUACIÓN ECONOMICA

Tras los diagnósticos realizados en 7.3. Diagnóstico del proceso productivo, 7.5. Diagnóstico de la distribución de planta y 7.7. Diagnóstico de la gestión de producción. Se plantean tres propuestas de mejora en cada uno de estos puntos. En primer lugar, se procura establecer una reingeniería en el proceso productivo. Como segundo punto, se realiza una propuesta de rediseño de layout de planta, para finalmente concluir con la mejora en la gestión de la producción.

Finalmente, se desarrollará la evaluación económica de la implementación de cada una de las propuestas de mejora para justificar los beneficios de su implementación.

CAPITULO 8: REINGENIERIA EN EL PROCESO PRODUCTIVO

En este capítulo desarrollaremos la propuesta de mejora en rediseñar el proceso productivo, cambiando la actual distribución de planta enfocado en procesos (ver layout actual de la Figura. 39), por un nuevo sistema enfocado en flujos en línea que pasan por células de producción para una alta eficiencia. Para ello aplicaremos la metodología de Tecnología de Grupo (GT), agrupando las maquinarias en células de producción, tal como se vio en la teoría del capítulo 5.

8.1. Implementación de Tecnología de Grupo (GT)

En esta parte de la investigación se propondrá el uso de la herramienta de Tecnología de grupos y células GT para un flujo lineal en la producción de spools. Este nuevo sistema nos brindará ventajas que se detallaran a continuación.

A. Agrupación por Familia de piezas

A continuación agruparemos los spools en familia de productos, con ello podremos reducir los tiempos por cambios de configuración o set up en cada una de las estaciones de trabajo de las líneas de spools.

a) Spools de acero al carbono mayores o iguales a 6 pulgadas de diámetro

El diseño que se propone es un diseño basado en tecnología de grupos donde la Línea 1 se encargará de producir los spools de acero al carbono para diámetros iguales o mayores a 6 pulgadas de diámetro.

Los procesos rotados se realizarán con el sistema de soldadura STT Lincoln para el pase de raíz y para el pase de relleno se utilizará el sistema SAW. Por otro lado, para los procesos no rotados o tridimensionales, la soldadura pase de raíz se realizará con el sistema TIG y para el pase de relleno se utilizará el sistema FCAW.

b) Spools de acero al carbono menores a 6 pulgadas de diámetro

La Línea 1 también se encargará de la producción de los spools de acero al carbono menores a 6 pulgadas de diámetro.

Para ello, los procesos rotados se realizarán con el sistema de soldadura STT Lincoln para el pase de raíz y para el pase de relleno se utilizará el sistema GMAW. Por otro lado, los procesos no rotados o tridimensionales, la soldadura pase de raíz se realizará con el sistema TIG y para el pase de relleno se utilizará el sistema FCAW.

c) Spools de acero inoxidable mayores a iguales a 6 pulgadas de diámetro

La Línea 2 se encargará de producir los spools de acero inoxidable para diámetros iguales o mayores a 6 pulgadas de diámetro.

Los procesos rotados se realizarán con el sistema de soldadura STT Lincoln para el pase de raíz y para el pase de relleno se utilizará el sistema SMAW. Por otro lado, para los procesos no rotados o tridimensionales, la soldadura pase de raíz se realizará con el sistema TIG y para el pase de relleno se utilizará el sistema FCAW.

d) Spools de acero inoxidable menores a 6 pulgadas de diámetro

La Línea 2 también se encargará de la producción de los spools de acero inoxidable menores a 6 pulgadas de diámetro.

Para ello, los procesos rotados se realizarán con el sistema de soldadura STT Lincoln para el pase de raíz y para el pase de relleno se utilizará el sistema SMAW. Por otro lado, los procesos no rotados o tridimensionales, la soldadura pase de raíz se realizará con el sistema TIG y para el pase de relleno se utilizará el sistema FCAW.

B. Creación de pieza compuesta

A continuación pasaremos a crear el concepto de la pieza compuesta para la fabricación de tuberías pre-ensambladas (spools). Para ello buscaremos un tipo de Spool que requiera de la mayor cantidad de procesos para su elaboración.



Figura 52. Concepto de pieza compuesta
Fuente: Elaboración propia

Para obtener un Spool no rotado (también llamado tridimensional), similar al mostrado en la Figura 51, se debe detallar todos los procesos y maquinarias requeridos para su construcción.

Tabla 19. Característica de diseño de la pieza compuesta en la figura 51

Etiqueta	Característica de diseño	Operación de manufactura correspondiente
1	Preparación de tubo	Esmerilado
2	Preparación de accesorios	Biselado
3	Armado rotacional	Armado
4	Pase de raíz rotado	Soldadura SST
5	Relleno y acabado rotado	Soldadura SAW
6	Armado no rotado	Armado
7	Pase de raíz no rotado	Soldadura TIG
8	Relleno y acabado no rotado	Soldadura FCAW

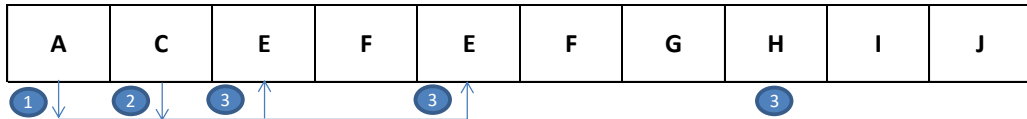
Fuente: Adaptado de “Fundamentos de manufactura moderna”, M. Groover, 2007, p. 914.
México D.F., México: McGraw-Hill

La Tabla 19 muestra las características y las operaciones de manufactura requerido para el desarrollo de la pieza compuesta.

C. Determinación de operaciones y máquinas para pieza compuesta

Una vez determinado las características de diseño de la pieza compuesta pasamos a definir cuales operaciones son requeridas para el desarrollo de la misma y las máquinas que se necesitan en la producción.

LÍNEA PILOTO DE SPOOL



<ul style="list-style-type: none"> A Preparación de accesorios C Preparación de tubos E Armado rotado F Soldadura rotada GMAW G Soldadura rotada SAW H Armado tridimensional I Soldadura tridimensional J Control dimensional 	<ul style="list-style-type: none"> 1 Se terminan de preparar los tubos de una WO y se registra en el formato de aseguramiento de buffer 2 Se terminan de preparar los accesorios de una WO y se registra en el formato de aseguramiento de buffer 3 Cuando se termina de armar el spool se registra en el formato de aseguramiento de buffer
---	---

Figura 53. Operaciones de pieza compuesta
Fuente: Elaboración propia.

Las máquinas requeridas para la realización de cada operación identificada en la Figura 52 se pasarán a detallar a continuación en la Figura 53 Spools de acero al carbono y Figura 54 Spools de acero inoxidable SS.

Las tuberías pre-ensambladas (spools) de material inoxidable nunca pueden ser mezcladas con materiales de acero al carbono (por norma ASME). Por tal motivo, es que se ha separado dos líneas diferentes para cada tipo de material.

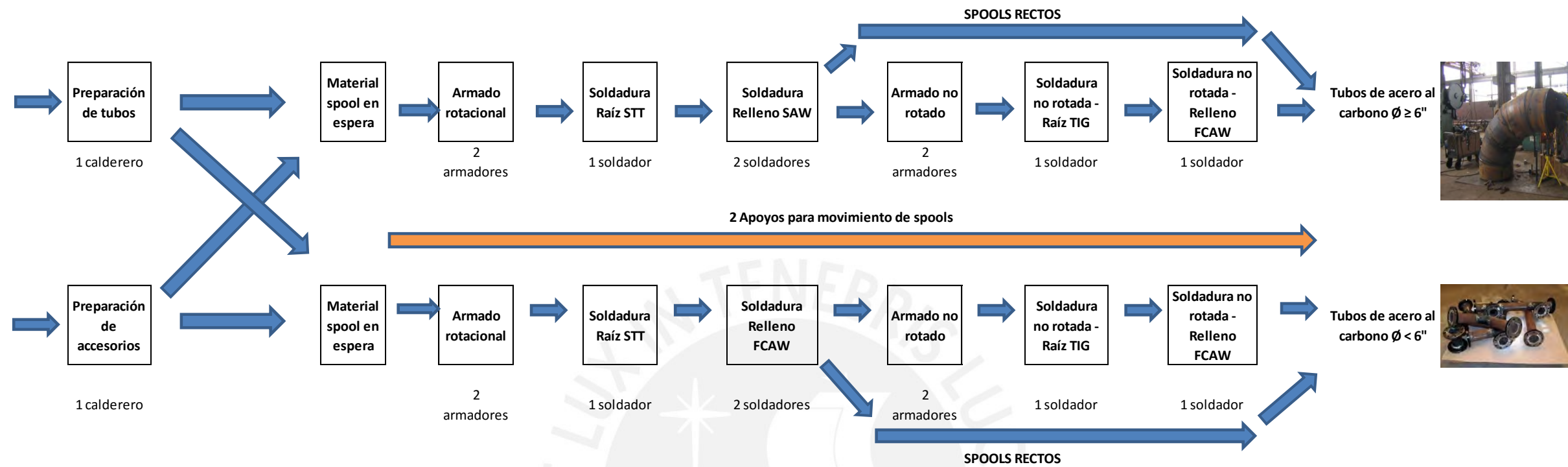


Figura 54. Flujo de producción de spools de acero al carbono
Fuente: Elaboración propia

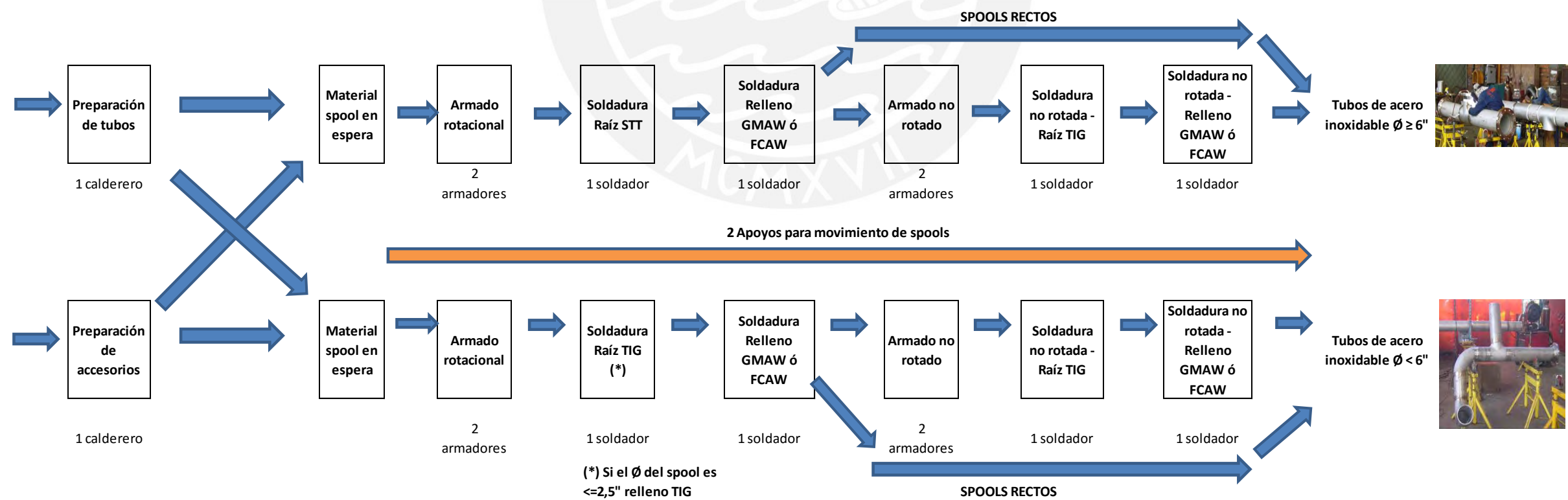


Figura 55. Flujo de producción de spools de acero inoxidable SS
Fuente: Elaboración propia

D. Implementación de células de producción

Con la agrupación por familias de componentes y productos (visto en el punto anterior), realizaremos la implementación de las células de producción. Para ello, se organizará y asignará máquinas y operarios en cada célula de producción de acuerdo a lo detallado en la figura 53 y 54.

Tabla 20. Descripción de los productos asignados a cada célula de producción

Célula asignada	Familia de productos
Célula 1	Tubos acero al carbono $\varnothing \geq 6''$
Célula 2	Tubos acero al carbono $\varnothing < 6''$
Célula 3	Tubos acero inoxidable $\varnothing \geq 6''$
Célula 4	Tubos acero inoxidable $\varnothing < 6''$

Fuente: Elaboración propia

Los procesos que formarán parte de cada célula de trabajo están descritos en la tabla a continuación.

Tabla 21. Descripción de los procesos por célula de producción

Proceso	Descripción
A	Preparación de accesorios
C	Preparación de tubos
E	Armado juntas rotadas
F	Soldadura pase de raíz juntas rotadas STT
G	Soldadura pase de relleno juntas rotadas SAW
H	Armado no-rotado
I	Soldadura pase de raíz juntas no-rotadas TIG
J	Soldadura pase de relleno juntas no-rotadas FCAW
K	Soldadura pase de relleno juntas rotadas GMAW
L	Soldadura pase de relleno juntas rotadas SMAW

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de las Tablas 20 y 21, pasaremos a detallar en la Figura 55 cada una de las células de producción y de cómo iría el flujo de los materiales entre cada proceso.

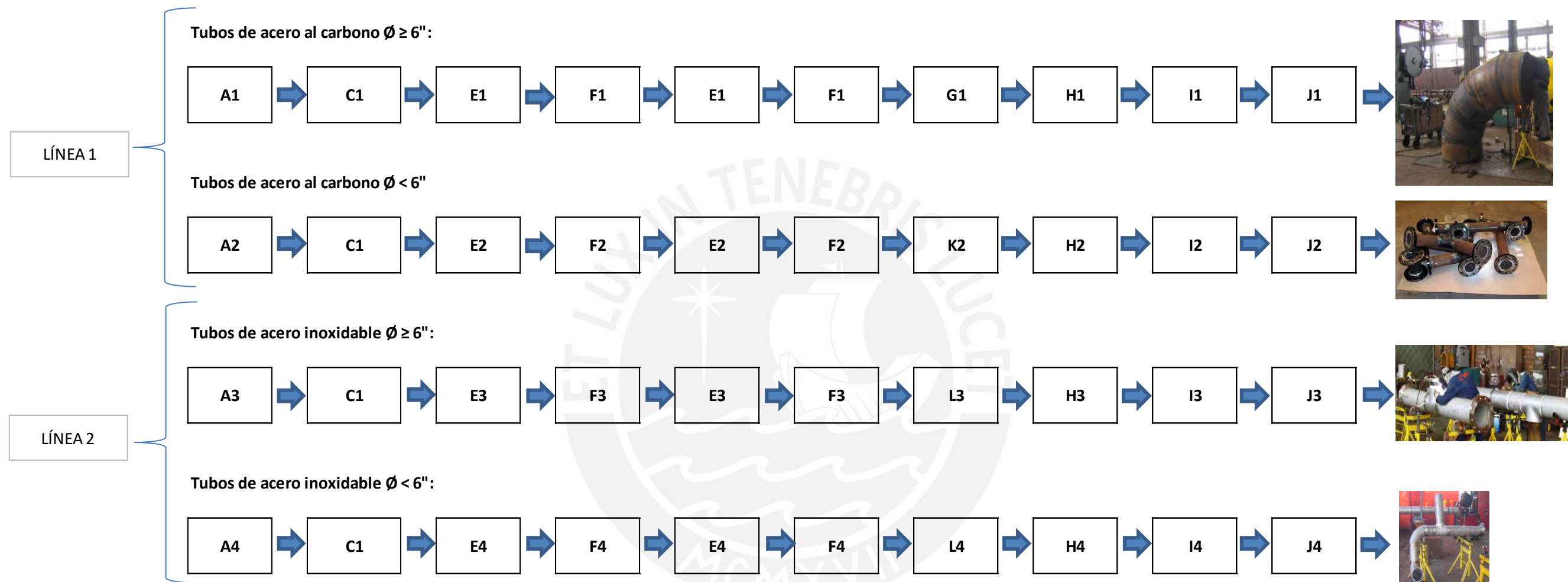


Figura 56. Flujos en línea en un taller de producción intermitente con cuatro células GT. Adaptado de "Administración de operaciones: Procesos y cadenas de valor"
Fuente: L. Krajewski, 2008, p. 319. México D.F., México: PEARSON EDUCACIÓN

8.2. Impacto de la propuesta de implementación de Tecnología de Grupo (GT)

Implementando las células de producción conseguiremos un flujo lineal del proceso productivo para lotes de producción. Con estos cambios planteados se logrará un incremento de la productividad por las mejoras detalladas en la Tabla 22 a continuación.

Tabla 22. Descripción de mejoras alcanzadas

Ítem	Descripción de Mejoras
1	Reducción de tiempos por preparación de máquina.
2	Menor recorrido de los componentes.
3	Eliminación de demoras por concepto de traslado.
4	Flujo de materiales ordenados.
5	Mejor control del proceso.
6	Incremento de la productividad.
7	Mejora de la calidad de los spools

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 9: REDISEÑO DEL LAYOUT DE PLANTA

Con los cambios propuestos en la implementación de la tecnología de grupo (ver capítulo 8), en esta parte de la tesis se propondrá el detalle de la ubicación de cada centro de trabajo, las herramientas y los equipos que se deben adquirir para cumplir con el objetivo de implementación de las líneas.

9.1. Distribución de estaciones de la nueva línea

A) Preparación de accesorios

Este centro de trabajo se encargará de realizar las operaciones de preparación de los bordes de los fittings (bridas, codos, reducciones, Tees, etc). Las operaciones a realizar serán: biselado, ranurado, limpieza y alineación de filos. Las especificaciones de estas actividades, como por ejemplo ángulo de bisel, estarán descritas en los planos de fabricación, siendo el supervisor de producción la persona que coordine la entrega de los planos a cada centro de trabajo.

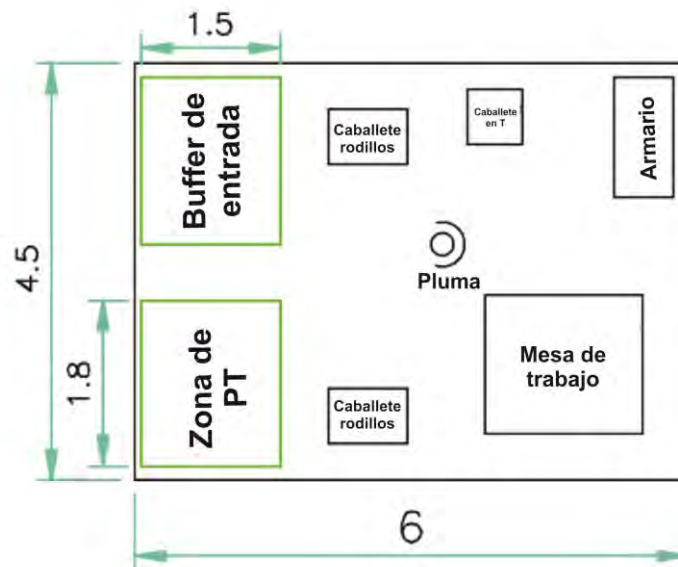


Figura 57. Diseño de estación de trabajo preparación de accesorios
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 56, se visualiza que se requerirá un área de trabajo con una dimensión de 6x4.5m y deberá contar con caballetes con rodillos, caballete en T y una mesa de trabajo.

B) Corte de tubos

El corte de tubos será realizado en el área de habilitado ubicado en la planta número uno (ver Figura 29. Layout de planta Nro.1), para ello se usará la máquina Vernon que la empresa tiene a su disposición para este fin.

C) Preparación de tubos

Este centro de trabajo debe realizar los trabajos de biselado y ranurado en las tuberías, en caso de encontrar irregularidades en los bordes (debido al corte) debe realizar la limpieza y alineación de estos.

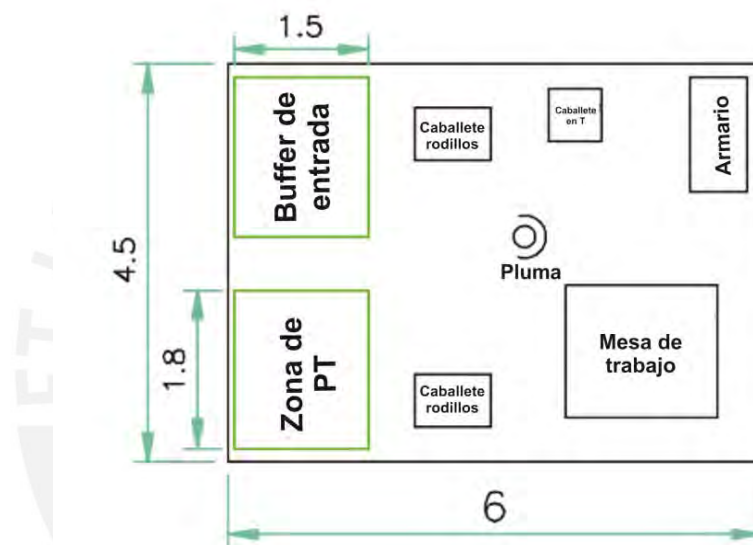


Figura 58. Diseño de estación de trabajo preparación de tubos
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 57, se observa que se requerirá un área de trabajo de una dimensión de 6x4.5m, y además deberá contar con caballetes con rodillos, caballetes en T y una mesa de trabajo.

D) Maniobristas

Esta actividad se encargara de seleccionar, agrupar y trasladar los tubos y fittings (codos, bridas, Tees, etc.) y hacía la siguiente etapa del proceso denominado Armado Rotado. Esta actividad no tiene centro de trabajo, ni posición fija en la planta por la característica de sus actividades pero se le asignará la responsabilidad a un operario que el supervisor de producción defina.

E) Armado Rotacional

En este centro de trabajo los caldereros deben realizar el armado de los tubos con sus respectivos fittings, colocando puntos de soldadura para mantenerlos fijos previo al pase de cordón de soldadura (pase raíz). Cada operación de armado debe seguir las especificaciones técnicas de los planos tales como ángulos, distancias, tolerancias, etc.

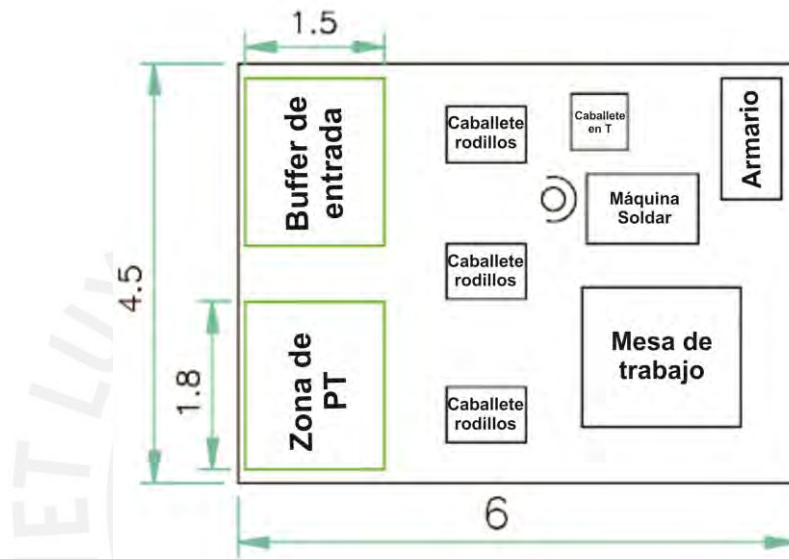


Figura 59. Diseño de estación de trabajo Armado Rotacional
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 58, se denota que se requerirá un área de trabajo de una dimensión de 6x4.5m y deberá contar con una máquina de soldar (apuntalado), caballetes con rodillos, caballetes en T y una mesa de trabajo.

F) Soldadura Rotacional - Pase de raíz

En este centro de trabajo se procesara la unión de tubos y accesorios (fittings), el proceso se realizará bajo la tecnología de soldadura por "Transferencia por Tensión Superficial" (STT por sus siglas en inglés) con una máquina de soldar Lincoln Electric (compañía propietaria de la patente).

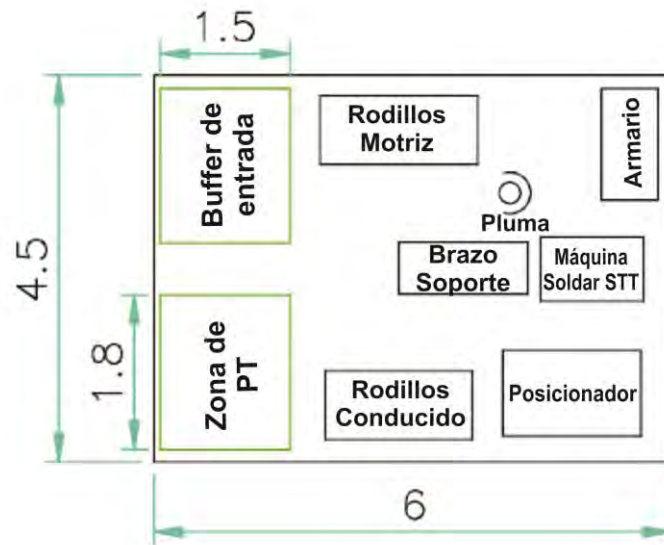


Figura 60. Diseño de estación de trabajo Soldadura Pase Raíz
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 59, se denota que se requerirá un área de 4.5x6m y será necesario el uso de una máquina de soldar STT, rodillos motriz y conducido, y también de un posicionador para facilitar el posicionamiento de los tubos bajo un ángulo de inclinación.

G) Soldadura Rotacional - Pase de relleno y acabado

Este centro de trabajo se encargará de realizar la soldadura uniendo los tubos y los accesorios de unión (fittings), utilizando el proceso de Soldadura de Arco Sumergido (SAW).

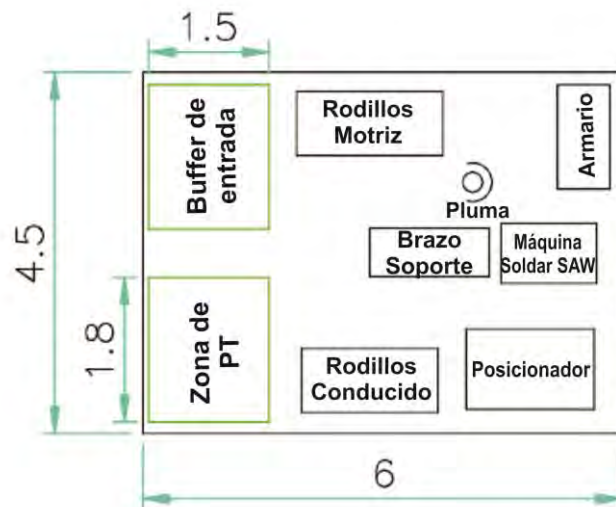


Figura 61. Diseño de estación de trabajo Soldadura Relleno y Acabado
Fuente: Elaboración propia

I) Soldadura Tridimensional – Pase de raíz

En este centro de trabajo se procesarán las operaciones de soldadura pase de raíz de las juntas de armado no rotadas (tridimensionales) con los accesorios de unión (fittings). Para este proceso se usará el sistema de soldadura TIG.

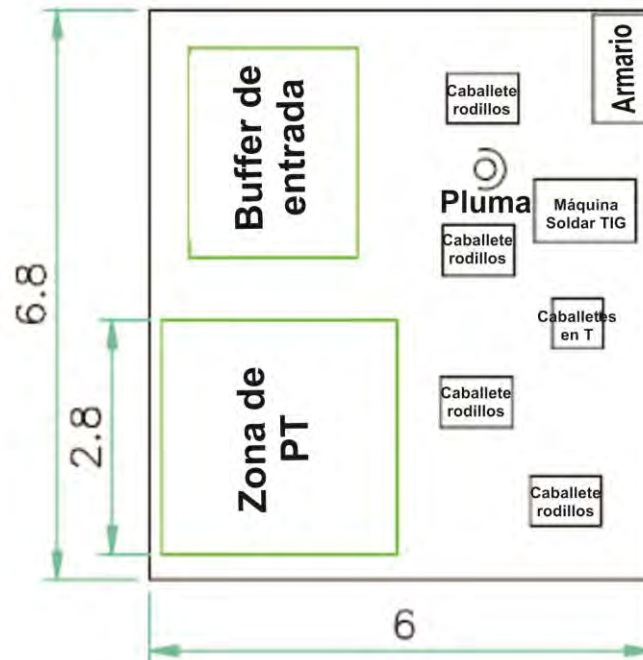


Figura 63. Diseño de estación de trabajo Soldadura Tridimensional – Pase de raíz
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 62, se denota que se requerirá un área de 6.8x6m y será necesario el uso de una máquina de soldar TIG, caballetes con rodillos y de caballetes en “T” para facilitar el posicionamiento de los tubos en el momento de ejecutar la soldadura.

J) Soldadura Tridimensional – Pase de relleno y acabado

En este centro de trabajo se procesarán las operaciones de soldadura de relleno y acabado de las juntas no rotadas (tridimensionales), que previamente fueron unidas con la soldadura pase de raíz. Para este proceso se usará el sistema de soldadura FCAW.

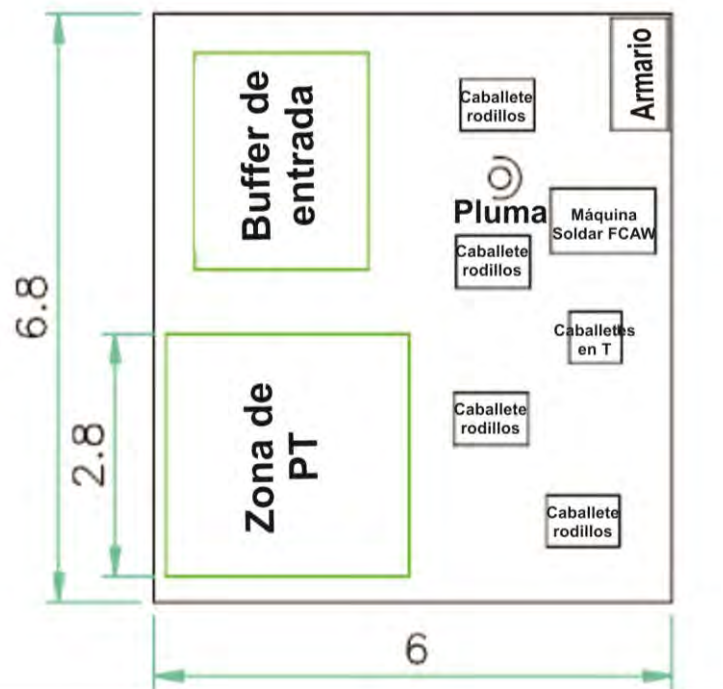


Figura 64. Diseño de estación de trabajo Soldadura Tridimensional – Relleno y acabado

Fuente: Elaboración propia

De la Figura 63, se denota que se requerirá un área de 6.8x6m y será necesario el uso de una máquina de soldar FCAW, caballetes con rodillos y de caballetes en “T” para facilitar el posicionamiento de los tubos en el momento de ejecutar la soldadura.

9.2. Equipamiento para implementación de las nuevas líneas

Para la implementación de las nuevas líneas de tuberías pre-ensambladas (piping spools), se detallan los equipos que se requieren en cada centro de trabajo en la Tabla 23 a continuación.

Tabla 23. Equipamiento requerido para la implementación de las nuevas líneas

CANT	DESCRIPCION	MARCA	MODELO
MAQUINAS DE SOLDAR			
20	Maquinas de soldar multipropósito	Lincoln Electric	Power Wave STT 455M
4	Maquina de soldar - arco sumergido	Lincoln Electric	DC 600 / Tractor LT - 7 / Recirculador fundente
3	Maquinas de soldar GTAW ORBITAL	Polysoude	ORBITAL PS-406
12	Máquinas de apuntalar	Lincoln Electric	Powertec 255C
POSICIONADORES Y SOPORTES			
200	Soportes para tubería	Sumner	Pro Jack - Max Jax - Pro Roll - Caballetes
6	Posicionador rotatorio de plato inclinable	Wusi Elite	SHB - 12 (de 150 a 500 mm de diámetro)
4	Manipulador (1.8 x 1.8 metro)	Wusi Elite	LHQ - 11
6	Rotador (de 2" a 70" de dia. - peso máx 2 Ton)	Wusi Elite	CHG - K2
ELEMENTOS DE IZAJE			
2	Puentes grúas de 5 Ton	Demag	
15	Plumas de 2 Ton x 7 mt de span	Xiang Degong	
100	Elementos de izaje	Crosby	Cadenas - cáncamos - eslingas - grilletes
HERRAMIENTAS			
30	Clamp champ variety	Sumner	de 1" a 36"
30	Abrazadera Ultra	Sumner	de 1" a 12"
172	Herramientas complementarias para armado	Varias	Niveles - reglas - pasadores - escuadras - amoladora - otros
72	Herramientas complementarias para soldadura	Varias	Amoladora - alicate - cincel - otros
20	Instrumentos de medición	Varias	Regla - nivel - medidor soldadura - medidor pintura - otros

Fuente: Empresa de estudio

9.3. Nuevo layout de las líneas de spools

En base a la propuesta de Tecnología de Grupo (ver Figura 55 Flujos en línea en un taller de producción intermitente con cuatro células GT), y a la nueva distribución de estaciones de trabajo detallados en las Figuras 56 al 63.

A continuación, se propone un nuevo layout para la distribución de 4 células de producción para la manufactura de 4 familias de tuberías pre-ensambladas (ver Tabla 20. Descripción de los productos asignados a cada célula de producción), las cuales representan el 90% de la producción de tuberías en la empresa en estudio.

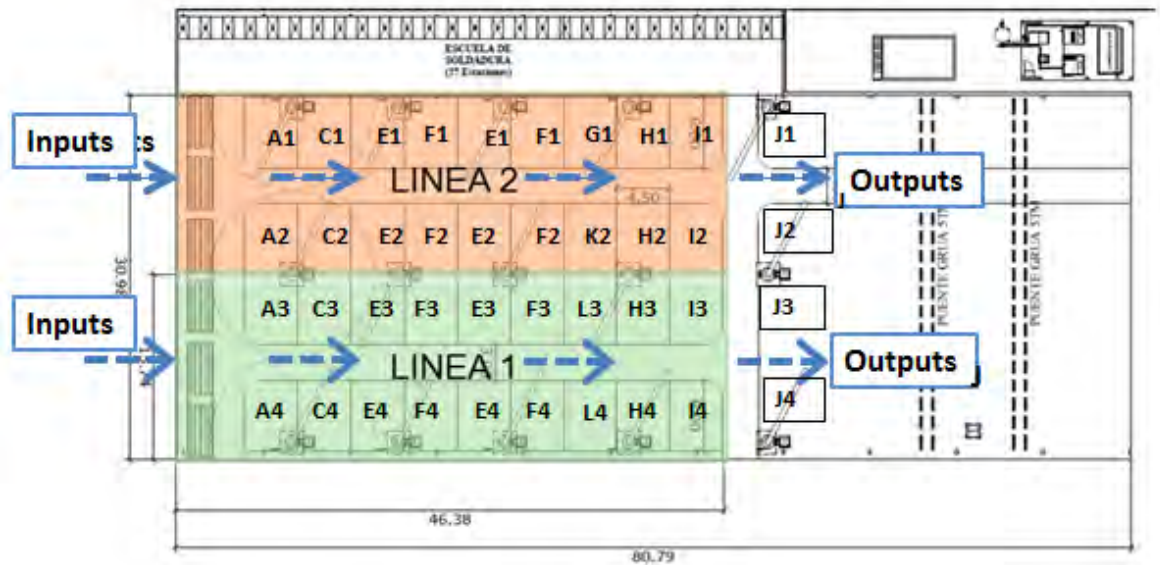


Figura 65. Nuevo layout de las líneas de spools
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 64, se observa que la distribución de máquinas del nuevo layout permite generar flujos en línea en las 2 Líneas de Producción, donde la Línea 2 sombreada en rojo corresponde a las tuberías de acero al carbono y la Línea 1 corresponde a las tuberías de acero inoxidable (ver Figura 55 Flujos en línea en un taller intermitente).

Para ver con mayor detalle la ubicación de la nueva línea de spools en la Planta Nro.2 ver Anexo IX. Nueva ubicación de la línea de spools en la planta Nro. 2.

9.4. Implementación de plumas de izaje

De acuerdo al punto 7.5. (Diagnóstico de la distribución de planta), es determinante implementar 15 plumas de izaje, con capacidad de carga de hasta 2 toneladas, para evitar las demoras en el traslado de materiales a causa de la alta demanda de los puentes grúa. La ubicación de las plumas de izaje se muestra en la Figura 64 y 65 a continuación.

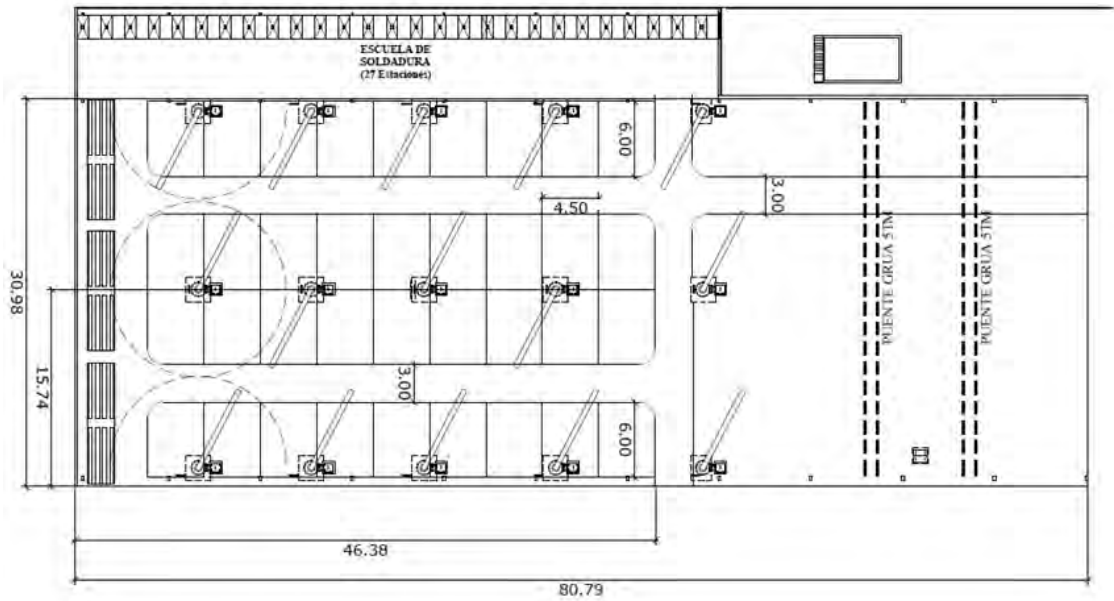


Figura 66. Vista superior de ubicación de plumas
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 65, se observa que se requieren 15 plumas de izaje para el traslado de los componentes en proceso entre los 10 centros de trabajo (ver Tabla 21. Descripción de los procesos por célula de producción) que forman parte de cada una de las cuatro células de producción (detallados en la Figura 64). Con esta propuesta eliminaremos las demoras por falta de disponibilidad del puente grúa (ver 7.5 Diagnostico de la distribución de planta).

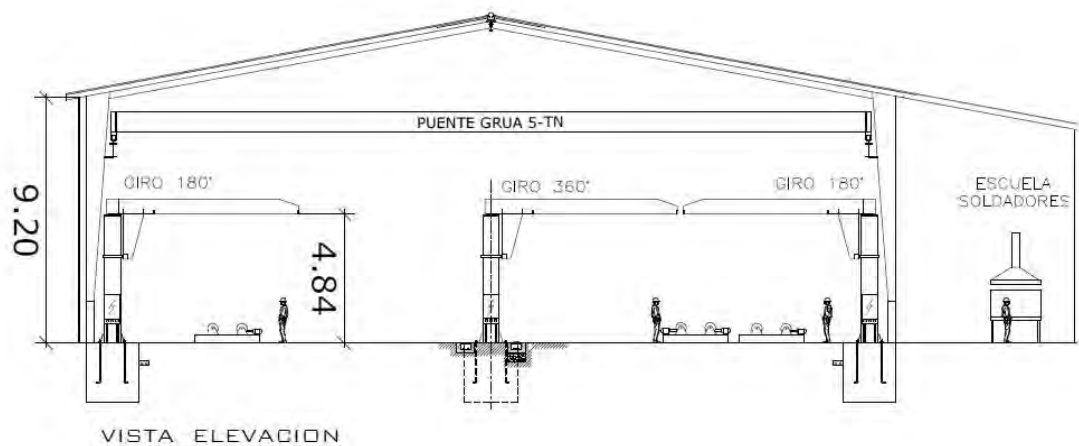


Figura 67. Vista frontal de ubicación de plumas
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 66, se detalla la altura que deberá tener cada pluma de izaje para el traslado de los componentes en procesos.

9.5. Impacto de la propuesta de rediseño del layout de planta

El impacto que tendría la propuesta de la nueva distribución de planta sería el siguiente.

— Reducción del ciclo de producción de la nueva línea de spools

A continuación pasaremos a volver a medir cual es el tiempo del ciclo de producción por unidad de spool aplicando las mejoras realizadas con la aplicación de células de producción y el nuevo layout de planta propuesto con las nuevas distribución de estaciones de trabajo y la implementación de plumas de izaje para el traslado de componentes en proceso.

DIAGRAMA DE ANALISIS DE PROCESOS (DAP)									
Proceso: Nueva Línea de spools - Planta Nro.2									
SIMBOLO	DESCRIPCION	TOTAL	TIEMPO TOTAL (HRS)				COMENTARIOS		
	OPERACIÓN	13	14.130						
	INSPECCIÓN	4	1.900						
	OPERACIÓN E INSPECCIÓN	1	0.300						
	TRASLADO	10	0.273				Se redujo 0.043 hrs (2.58 min) por cada spool con respecto al layout anterior.		
	ESPERA	3	12.098				Se redujo 0.912 hrs con respecto al layout anterior		
	ALMACENAMIENTO	1	0.000						
TOTALES		32	28.701						
Pasos	DESCRIPCION	OPERACIÓN	INSPECCIÓN	OPERACIÓN E INSPECCIÓN	TRASLADO	ESPERA	ALMACENA.	Tiempo (hrs)	OBSERVACIONES
8	Recepción y verificación de materiales							0.300	
10	Traslado de materiales a calderería							0.030	Traslado en montacarga
11	Limpieza de fillos							0.600	
13	Traslado de calderería a taladrado							0.041	Traslado en montacarga
14	Taladrado							0.400	
16	Traslado de taladrado a dobladora							0.022	
17	Plegado							1.000	
19	Traslado de dobladora a armado							0.060	Traslado en montacarga
20	Biselado y ranurado							2.000	
21	Traslado de biselados a armado							0.020	Traslado en pluma.
22	Armado							3.000	
23	Control dimensional							0.200	
25	Traslado de armado a soldadura pase de raíz							0.020	Traslado en pluma.
26	Soldadura pase raíz (96 PD)							1.730	
27	Pruebas de líquido penetrante							0.500	
29	Traslado de pase de raíz a soldadura de relleno							0.020	Traslado en pluma.
30	Soldadura relleno y acabado (96 PD)							1.730	
31	Soldadura de Spool y soporte							0.600	
32	Limpieza de soldadura							1.500	
33	Prueba de rayos X							1.100	
35	Traslado de materiales a granallado							0.020	Traslado en vehículo grúa
36	Granallado							0.500	
38	Traslado de granallado a pintura							0.020	Traslado en vehículo grúa
39	Aplicación de pintura base							0.370	
40	Demora de secado pintura base							6.000	
41	Aplicación de pintura de acabado							0.500	
42	Demora de secado pintura acabado							6.000	
43	Inspección de espesor de pintura							0.100	
44	Embalaje							0.200	
45	Espera de vehículo grúa							0.098	
46	Traslado a almacén de PT							0.020	Traslado en vehículo grúa
47	Almacenamiento							0.000	
TOTALES		13	4	1	10	11	1	28.701	

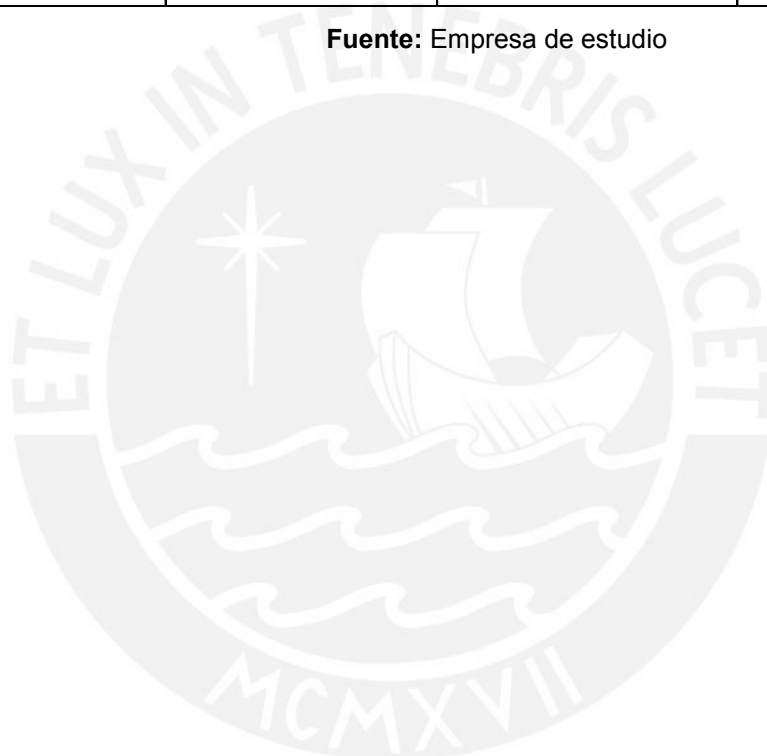
Figura 68. DAP de la nueva línea de spools con los cambios en layout de Planta Nro. 2.
Fuente: Adaptado de "Administración de las Operaciones Productivas," por F. A. D'Alessio, 2013, p.185. México D.F., México: Pearson.

De la Figura 67, se visualiza que el nuevo tiempo registrado del ciclo de producción por cada tubería (spool) es de 28.701 horas. Es decir, se consiguió reducir 1.274 horas por cada spool lo que representa un mejora en 4.25% con respecto al anterior ciclo producción de 29.975 hrs (ver Figura 30. DAP de la producción de spools en la Planta Nro.2).

Tabla 24. Porcentaje de mejora en la producción de spools

Tiempo anterior del ciclo de prod. (Horas)	Nuevo tiempo del ciclo de prod. (Horas)	Reducción de tiempo (Horas)	% de mejora en el ciclo de prod.
29.975	28.701	1.274	4.25%

Fuente: Empresa de estudio



CAPITULO 10: MEJORA EN LA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN

10.1. Estrategia de Administración de restricciones (TOC)

De acuerdo al diagnóstico realizado en el punto 6.7, se requiere implementar una estrategia de administración de restricciones para maximizar la tasa de entrega de Pulgadas de Diámetro de soldadura (Pulgada de Diámetro es la unidad de medida de salida de nuestro sistema) hacia pintura.

Para ello nos basaremos en el método sistemático DBR (Drum-Buffer-Rope) de la Teoría de Restricciones o TOC (del inglés “theory of constraints”), en base a este método buscaremos administrar las restricciones que impiden una mayor producción de spools y por ende un mayor ingreso por ventas, una menor cantidad de inventarios y menores costos variables, es decir alcanzar la meta de incrementar el throughput de spools de la compañía.

10.2. Identificación del tambor (DRUM)

De acuerdo a la teoría del profesor Goldratt (1984), la cantidad de producción que sale del sistema cada día está determinado por el ritmo del tambor del proceso cuello de botella (CCR). En base a nuestro análisis del punto 6.6.1, las líneas de spools fabricarán las Pulgadas de Diámetro en función de la capacidad de producción máxima del proceso de Soldadura (ver Figura 68), este proceso tiene un ritmo de producción promedio de 375 PD/día y es actualmente el cuello de botella que restringe al sistema.



Figura 69. Diagrama de flujo y tasas de producción del proceso
Fuente: Elaboración propia

Nótese también de la Figura 68, que el proceso de Armado es un potencial CCR una vez levantada la restricción en Soldadura. La metodología de Teoría de Restricciones (TOC), nos refiere a que es muy importante reducir los costos

variables, por ende debemos siempre buscar reducir el inventario, por este motivo no podemos programar más trabajo al sistema (método PUSH) de lo que el cuello de botella puede procesar ya que esto solo acarrea tener más inventario en proceso y que el sistema se obstruya de trabajo en proceso perdiendo eficiencia.

10.3. Explotar la restricción

Una vez identificado que el área de Soldadura es nuestro cuello de botella, pasamos a establecer acciones que permitan aprovechar al máximo la utilización de este recurso. Para ello tomaremos las siguientes medidas del método DBR (Drum-Buffer-Rope):

10.3.1. Implementación del amortiguador (buffer)

Debido a que la línea de spools de la compañía de estudio está basada en el trabajo humano y de su expertise, esto actualmente ocasiona eventuales atrasos en los procesos previos a Soldadura, generando horas muertas y paradas en Soldadura por falta de materiales que están en su programación del día.

Por este motivo se propone que el área de Programación de Operaciones deberá programar una carga de planta con horizonte de dos semanas, en donde cada centro de trabajo de la línea de spools tenga una zona asignada para paletas con los materiales a procesar en su carga de la presente semana y en otra zona de la planta se tenga las paletas con los materiales en espera de la semana siguiente (Ver Anexo XII. Programa de planta SEM 47 y aseguramiento de Buffer SEM 48).

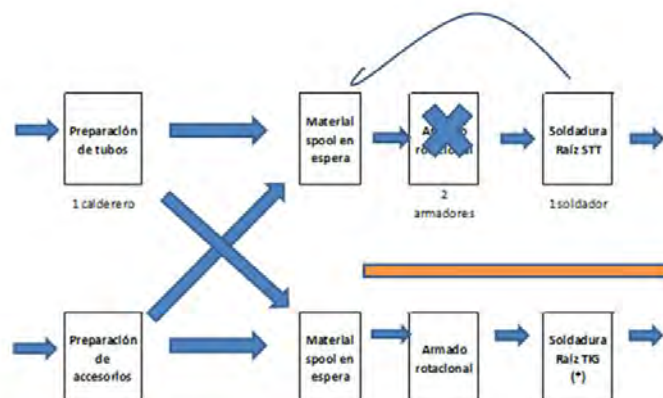


Figura 70. Aseguramiento de amortiguador (buffer)
Fuente: Elaboración propia

De la Figura 69 observamos, que si el proceso de Armado tuvo un problema y no pudo alimentar a Soldadura, este proceso pueda jalar otra orden de trabajo (WO) de la carga de la siguiente semana (tomados de las paletas de la zona de espera) y de esta forma su producción no se detenga.

10.3.2. Implementación de Cuerda (Rope-lenght)

De acuerdo a la metodología Teoría de Restricciones (TOC), el tiempo de ejecución de los procesos previo a soldadura, más el tiempo del Buffer de 1 día propuesto para soldadura, es llamado "Rope-lenght".

Es decir, la liberación de materiales y la cantidad de HH programadas para cada proceso previo a la soldadura estará en función de la programación de Soldadura; de esta forma cada Work Order a procesar es jalada por la cuerda de soldadura, con ello logramos sincronizar todas las operaciones al ritmo del "Drum" y evitar generar exceso de WIP (Work in Progress), ya que el exceso de esto genera que la operación se trabe y se pierda productividad alejándonos del Throughput objetivo de la compañía.

10.3.3. Reemplazo durante almuerzo

Se recomienda que la operación cuello de botella tenga un tratamiento especial, y que la producción de esta línea no se detenga nunca. Por ello es importante que se coordine que los soldadores de otras líneas de producción puedan reemplazar a los soldadores asignados a la línea de spools cuando estos se dirijan a almorzar, de esta forma se podría ganar hasta un 12.5% del total de HH disponible de Soldadura de la línea de Spools.

10.3.4. Subordinar los demás procesos

Identificándose que soldadura es nuestro cuello de botella y de acuerdo a la teoría de restricciones, que nos dice que cada hora perdida en el cuello de botella es una hora perdida en todo el sistema.

Buscaremos, en la medida de lo posible, subordinar operaciones del proceso de soldadura. Para esto asignaremos personal de calderería de los procesos previos que tienen mayor capacidad de producción, como son Limpieza de fillos y de Biselado y ranurado (vistos en la Figura 68), como ayudantes de soldador para maximizar la productividad del proceso más lento, que en este caso es soldadura.

Para ello se identificó las actividades realizadas por el proceso de soldadura, las cuales son mostradas en la Figura 70 a continuación, y se identificó cuales actividades pueden ser realizadas por un personal de ayuda.



DIAGRAMA DE ANALISIS DE SOLDADURA									
SIMBOLO	DESCRIPCION	TOTAL	TIEMPO TOTAL (MIN)				COMENTARIOS		
	OPERACIÓN	5	32.0				61% del tiempo directo de operación de soldadura.		
	INSPECCIÓN	1	1.0						
	OPERACIÓN E INSPECCIÓN	4	10.0						
	TRASLADO	3	9.0						
	ESPERA	0	0.0						
	SOSTIENE	0	0.0						
TOTALES		13	52.0						
Pasos	DESCRIPCION	OPERACIÓN	INSPECCIÓN	OPERACIÓN E INSPECCIÓN	TRASLADO	ESPERA	SOSTIENE	Tiempo (min)	OBSERVACIONES
1	Identificar Tubo y Fittings							5.0	Esta actividad puede ser subordinada.
2	Buscar elementos de izaje							2.0	Esta actividad puede ser subordinada.
3	Maniobrar tubería y colocarlo en rodillo							5.0	Esta actividad puede ser subordinada.
4	Revisar zona a soldar, limpiar area a soldar con líquido decapante							3.0	Esta actividad puede ser subordinada.
5	Limpiar boquilla de contacto de antorcha							1.0	
6	Revisar que hilo de contacto no esté largo							1.0	
7	Revisar presión del gas, subir si hace mucho viento.							1.0	
8	Realizar pase raíz							12.0	
9	Girar rodillo o posicionador							2.0	Esta actividad puede ser subordinada.
10	Revisar soldadura, limpiar soldadura							3.0	
11	Realizar pase de acabado							12.0	
12	Girar rodillo o posicionador							2.0	Esta actividad puede ser subordinada.
13	Revisar soldadura, limpiar soldadura							3.0	
TOTALES		5	1	4	3	0	0	52.00	

Figura 71. Diagrama de actividades del proceso de soldadura
Fuente: Adaptado de "Administración de las Operaciones Productivas," por F. A. D'Alessio, 2013, p.185. México D.F., México: Pearson.

De la Figura 70, llegamos a la conclusión de que las actividades Nro. 1, 2, 3, 4, 9 y 12 (resaltadas en amarillo que en conjunto representan 33.2 min), pueden ser realizadas por un apoyo de calderería.

Para visualizar mejor el impacto de la mejora, se realizará una comparativa del tiempo anterior que le tomaba a la operación de soldadura para procesar un spool, versus el nuevo tiempo que le toma ahora subordinando actividades a centros de trabajo con capacidad ociosa.

Tabla 25. Reducción de tiempo subordinando los demás recursos

Tiempo total de la actividad:	Nuevo tiempo con subordinación de actividades	Reducción de tiempo	Incremento Nominal de la productividad
52.4 min	33.2 min	19.2 min	37%↑

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 25, se calcula que subordinando los demás procesos a soldadura, actual cuello de botella, podríamos mejorar la productividad de soldadura en un 37%. Claro está, que el valor hallado es un incremento de productividad proyectado y que este debe ser validado por una prueba piloto.

10.3.5. Utilización de sujetadores en armado

Se ha analizado que actualmente se tiene una operación manual de posicionamiento de los accesorios al momento de ser armado con la tubería, esta operación recorta la productividad debido a que cada estación de armado debe requerir un auxiliar de calderería como apoyo para sujetar el accesorio que se quiere apuntalar para su posterior pase de raíz ver figura 71 a continuación.



Figura 72. Armado de spools sin sujetadores (clamps)

Fuente: Elaboración propia

Por este motivo, se propone utilizar herramientas de fijación denominadas “Clamps”, esto permitirá poder reducir tiempos en el proceso de armado, ver figura 72 a continuación.



Figura 73. Armado de spools con sujetadores (clamps)
Fuente: Empresa de estudio

10.3.6. Cambio tecnológico

De acuerdo a la consulta con especialistas del sector metal-mecánico, la operación de soldadura pase de raíz puede ser optimizada. Actualmente, esta operación se realiza con el proceso convencional GMAW, pero puede ser optimizado mediante el uso del proceso de Transferencia por Tensión Superficial (STT por sus siglas en inglés), desarrollado y patentado por The Lincoln Electric Company, para mayor detalle ver Anexo XIII. Soldadura STT para procesos de raíz abierta.

Las principales ventajas de usar este proceso son:

- Buen control del cordón y mayor velocidad de desplazamiento, esto nos permitirá ganar una mejor tasa de producción diaria de spools.
- Buena penetración y un control de entrada de bajo calor, ideal para la soldadura de unión con raíz abierta o materiales delgados.
- Reducidas salpicaduras y emanaciones por su excelente control de la corriente para una óptima transferencia de metal.
- Variedad en el uso gases de protección, esta ventaja permite utilizar alambres de mayor diámetro.

Estas ventajas mencionadas nos permitirán obtener una mejora en la capacidad de producción en soldadura, actual cuello de botella.

10.4. Impacto de la mejora en la Gestión de la Producción

A continuación, analizaremos el impacto de las mejoras en la gestión de la producción, al implementar la metodología TOC y focalizar los esfuerzos en los cuellos de botella, subordinando los demás procesos.

10.4.1. Implementación de línea piloto

Se realizó la implementación de una línea piloto para cuantificar el impacto de las mejoras propuestas en la producción. Para ello, se implementó una nueva línea de spools con los cambios propuestos en el capítulo 8, 9 y 10.



Figura 74. Línea piloto
Fuente: Empresa de estudio

La línea piloto tendrá la distribución de la Célula de producción GT Nro1, la cual se encargará de la manufactura de spools de acero al carbono de diámetros iguales o mayores a 6 pulgadas de diámetro (ver Tabla 20. Descripción de los productos asignados a cada célula de producción).

Se le programó una carga de trabajo para una determinada cantidad de Órdenes de Trabajo (Work Orders) con el fin de poder medir la nueva productividad con la aplicación de las propuestas de mejora. En la figura 73, se puede ver las estaciones de trabajo debidamente rotuladas y distribuidas de acuerdo al diseño propuesto (ver Figura. 64 Nuevo layout de las líneas de spools).

10.4.2. Medición de productividad de línea piloto

Durante varias semanas se tomaron registros de la productividad semanal para poder comparar la productividad la línea piloto de spools con los datos de productividad que se habían registrado previamente; la productividad se midió tomando la cantidad de pulgadas de diámetro de spools registrados en el área de pintura y dividieron este valor entre la cantidad de Horas-Hombre reales que se registraron en el sistema.

Tabla 26. Indicadores de productividad de la línea piloto

Fuente: Empresa de estudio

	REAL ACUMULADO ENE-JUN	OBJETIVO MENSUAL	LINEA PILOTO PROMEDIO	LINEA PILOTO SEM 27	LINEA PILOTO SEM 28	LINEA PILOTO SEM 29	LINEA PILOTO SEM 30
TOTAL PD	57,132	5,000	5,432	1,229	1,420	1,455	1,328
TOTAL HH	30,277	2,038	2,154	506	555	568	525
PD/HH	1.887	2.453	2.522	2.429	2.559	2.562	2.530

En la Tabla 26, se muestra las lecturas de la cantidad de tuberías (spools) medidos en pulgadas de diámetro (PD) versus la cantidad total de Horas-Hombre (HH). Con estos datos, finalmente se calcula la productividad (PD/HH) en periodos semanales.

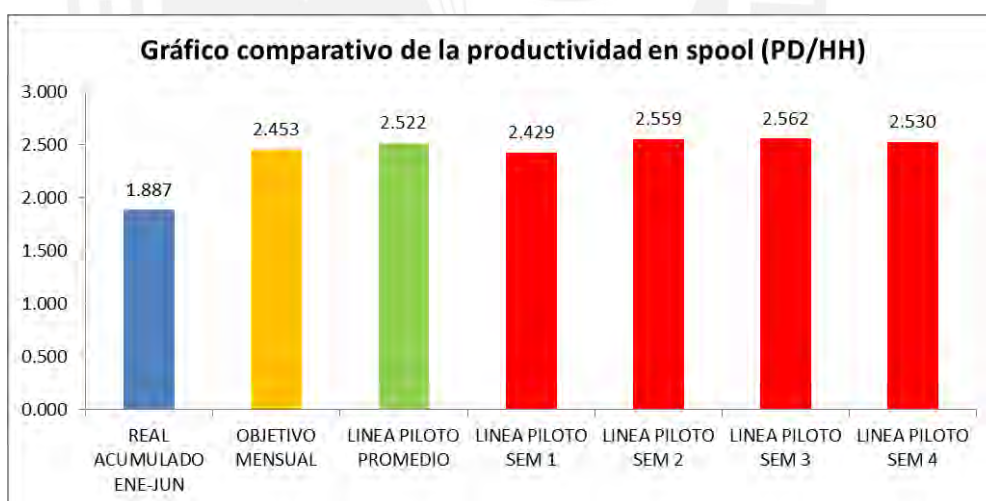


Figura 75. Gráfico comparativo de la productividad en la Línea piloto

Fuente: Empresa de estudio

De la Figura 74, se evidencia que los resultados obtenidos fueron satisfactorios, se consiguió una productividad promedio de 2.522, superando en 34% la productividad real acumulada de 1.887 (datos registrados de enero a junio) según los registros de la empresa de estudio.

Por otro lado, se realizó un seguimiento al grado de utilización del recurso productivo de soldadura, obteniéndose los resultados de la figura a continuación.

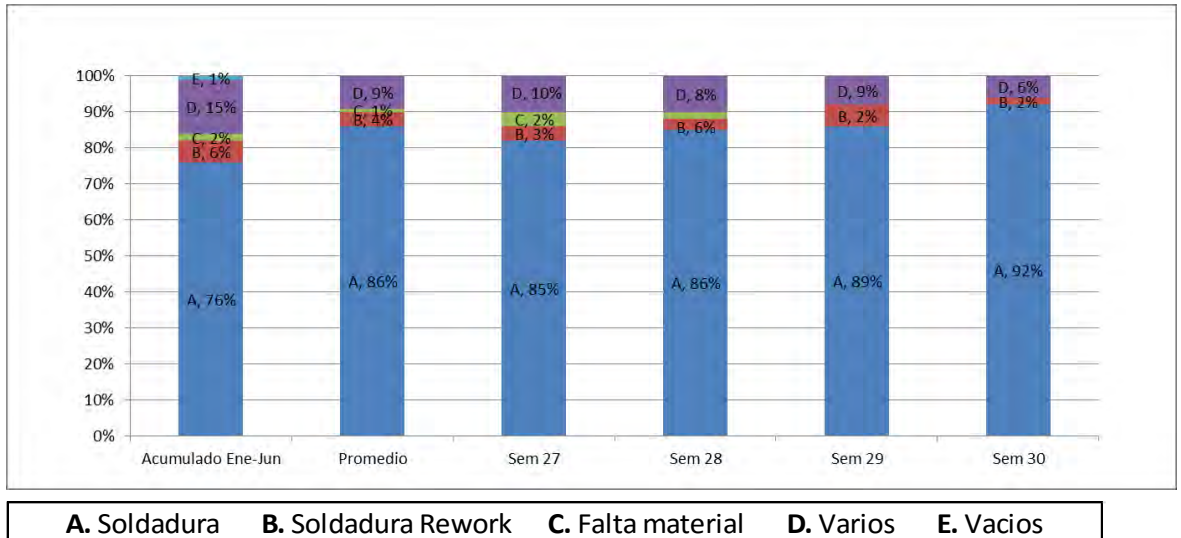


Figura 76. Grado de utilización del recurso productivo soldadura

Fuente: Empresa de estudio

De la Figura 75, se obtuvo un grado de utilización promedio del recurso soldadura de 86%, los indicadores muestran una tendencia en aumento en el grado de utilización obteniéndose un 92% en la última semana.

CAPITULO 11: EVALUACIÓN ECONOMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

11.1. Evaluación económica de las Propuestas del Capítulo 8 y 9

Según H. Peumans 1967, un proyecto de inversión es un conjunto de actividades de aplicación de recursos para generar producción adicional real que genere una tasa de rentabilidad atractiva para la empresa. Por tanto, iniciaremos el proceso de construcción del flujo neto de fondos de la propuesta de implementación detalladas en el Capítulo 8 (reingeniería en el proceso productivo) y del Capítulo 9 (rediseño del layout de planta).

11.1.1. Descripción de beneficios del proyecto de implementación de células de producción y rediseño del layout

— Incremento de Producción de Spools

Luego de la implementación de las mejoras de reingeniería del proceso productivo con la aplicación de células de producción y las mejoras del layout de planta. Se proyecta un incremento de 10% en la tasa de producción de tuberías, ya que según el portal de “Acceso Libre a Información Científica para la Innovación - CONCYTEC” (<http://alicia.concytec.gob.pe>), con la implementación de células de manufactura se puede lograr un incremento de la productividad hasta en 22.47%.

Tabla 27. Beneficios por el incremento de la tasa de producción

% del incremento de producción por mejoras	10%	
Descripción	Antes	Ahora
Ritmo de Producción (PD/Día)	375	412.5
PD de Spool promedio (PD/Und de Spool)	20	20
Producción de Spools por día (Und/Día)	18.75	20.625
Cantidad de spools adicionales por día (Und/Día)	1.88	

Fuente: Elaboración propia

Si sabemos que, el ritmo de producción diario es de 375 PD/Día (ver Figura 68) y tomamos un spool de 20 PD como estándar, entonces la producción de spools por día (aplicando las mejoras) será de 20.625 spools/día. Entonces, la cantidad adicional por día útil será de 1.88 unidades de spools. Posteriormente este resultado se multiplicará por los días útiles de cada mes y se obtendrá el incremento de la tasa de producción por mes.

Tabla 28. Beneficios por el incremento de la tasa de producción

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Incremento de Tasa de Producción (Unid)	41.25	37.5	39.375	37.5	41.25	37.5	41.25	39.375	39.375	41.25	37.5	39.375
Valor venta promedio por unid spool (S/)	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00	S/ 5,536.00
Ventas Adicionales por las mejoras de la Propuesta 1 y 2	S/ 228,360	S/ 207,600	S/ 217,980	S/ 207,600	S/ 228,360	S/ 207,600	S/ 228,360	S/ 217,980	S/ 217,980	S/ 228,360	S/ 207,600	S/ 217,980

Beneficio anual por incremento tasa de producción	S/ 2,615,760
--	---------------------

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 28, se observa que el beneficio anual por el incremento de la producción por las mejoras planteadas es de un valor de S/ 1'395,190 soles.

Adicional a esto, al fabricarse spools que se encuentran bajo pedido y que se despachan en plazos no mayores a una semana de terminada su producción, por política de la empresa el costo de almacenamiento se considerará cero.

El beneficio total por las mejoras en el sistema productivo se encuentra consolidado en la Tabla 29. Para ello se tomaron los datos calculados del incremento de la tasa de producción (ver Tabla 28), también se calcularon los ahorros por la reducción de los gastos del uso de montacargas y vehículos grúa en el transporte de los materiales ya que ahora se implementarán plumas de izaje de 2 toneladas de capacidad (ver Figura 65).

Tabla 29. Beneficio total de la implementación de propuestas Nro. 1 y 2

Impacto proyectado de las mejoras	Beneficio Mensual	Beneficio Annual
Incremento de la Tasa de Producción	S/ 121,802	S/ 2,615,760
Reducción de combustible, conductores y de desgaste de grúas y montacargas (Km recorridos)	S/ 1,966	S/ 23,590
Total Ahorro		S/ 2,639,350

Fuente: Elaboración propia

Se concluye que el beneficio anual por la implementación de las mejoras Nro. 1 y 2 será de S/ 2'639,350 soles, este dato será muy importante en la evaluación económica.

11.1.2. Descripción de costos de inversión y gastos operativos

A continuación analizaremos todos los conceptos de inversión que se requieren para la capacitación e implementación del nuevo diseño de la planta y los equipos que se requieren instalar en la planta (ver detalle de equipos a implementar en la Tabla 23).

— Costo de capacitaciones y asesorías

El costo de los estudios, las asesorías y la capacitación al personal con respecto a la metodología de Tecnología de Grupo se detalla a continuación.

Tabla 30. Costo de las asesorías y capacitaciones metodología GT

Descripción del personal a capacitar	Número de personas a capacitar	Costo promedio de hora laboral	Costo total de una hora de capacitación
Operarios	40	S/ 22.97	S/ 918.96
Jefes de Producción	4	S/ 45.94	S/ 183.75
Analistas de PCP	2	S/ 29.54	S/ 59.07
Costo total de todo el equipo por hora de capacitación:			S/ 1,161.78

Herramienta	Horas requeridas para implementación	Valor Hora de capacitación	Valor Hr. Extra Equipo capacitado	Costo total de la capacitación
Tecnología de Grupo (GT)	60	S/ 150.00	S/ 1,161.78	S/ 78,707

Fuente: Elaboración propia

Para no perjudicar la producción, las capacitaciones al personal operativo se realizarán en las horas extras. La capacitación será para todo el personal operativo, los cuatro Jefes de Producción y los dos analistas de Planeamiento encargados de la programación de planta de la línea de tuberías (spools). Se requiere que el equipo quede involucrado en los cambios a realizarse y se mejore el desempeño en cada uno de sus puestos de trabajo. El costo total de esta inversión es de S/ 78,707 soles.

— Costo de maquinarias y equipos

En el costo de adecuación de infraestructura vamos a detallar la inversión para la adecuación de la infraestructura, instalando las plumas de izaje indicadas en el capítulo 9.4, y la compra e instalación del equipamiento especializado para la producción de spools detallado en el capítulo 9.2; todos estos equipos serán instalado en la línea de tuberías (spools), que se le ha asignado en la planta (ver Anexo IX. Nueva ubicación de las líneas de spools).

Tabla 31. Costo de maquinarias y equipos

Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
Posicionadores y soportes			
200	Soportes para tubería	S/ 121.30	S/ 24,259
6	Posicionador rotatorio de plato inclinable	S/ 3,764.96	S/ 22,590
6	Rotadores - peso máx 2 Ton	S/ 9,143.48	S/ 54,861
Elementos de izaje			
15	Plumas de 2 Ton x 7 mts de span	S/ 33,807.84	S/ 507,118
2	Puentes grúas de 5 Ton	S/ 101,423.52	S/ 202,847
TOTAL			S/ 811,675

Fuente: Elaboración propia

Todos los costos mostrados en la tabla 31, incluyen: cálculo, montaje de equipos, instalación y supervisión. Todas estas tareas se encargaran al proveedor ganador de la licitación.

— **Costo de adecuación de instalaciones de la nueva línea**

Estos son los costos que incluyen: obra civil, materiales e instalaciones eléctricas y de redes para el traslado de los centros de trabajo en la nueva ubicación de las líneas.

Particularmente, para este caso la empresa ya cuenta con una nave industrial en la zona donde se mudará las líneas de spools (ver nueva ubicación en Anexo IX), por tal motivo no se ha tomado en cuenta el valor de una nave industrial.

Tabla 32. Costo de adecuación de instalaciones de la nueva línea de spools

Concepto	Total (S/)
Adecuación de Infraestructura para la nueva línea de spools	S/ 9,857

Fuente: Empresa de estudio

Para el traslado de los centros de trabajo de su anterior ubicación a la nueva ubicación en la planta, la empresa cotizó el trabajo en S/ 9,857 soles.

— **Capital de trabajo requerido para la suplir la producción adicional**

Al incrementarse la productividad por las mejoras planteadas, se requerirán materiales adicionales (tubos, fittings, materiales de aporte, etc.) para completar la fabricación de tuberías (spools) adicionales.

El dato del costo de materiales por unidad de spool de S/ 601.60 se tomó del valor “material” del presupuesto de fabricación de una unidad de spool (ver Anexo X. Engineering Cost Build-Up).

En la Tabla 33 a continuación, se visualiza cada uno de los costos mensuales por los materiales adicionales que se requieren suplir por la producción adicional de spools producto de las mejoras.

Siendo el valor total anualizado tiene un costo anual de S/ 284,256 soles anuales.

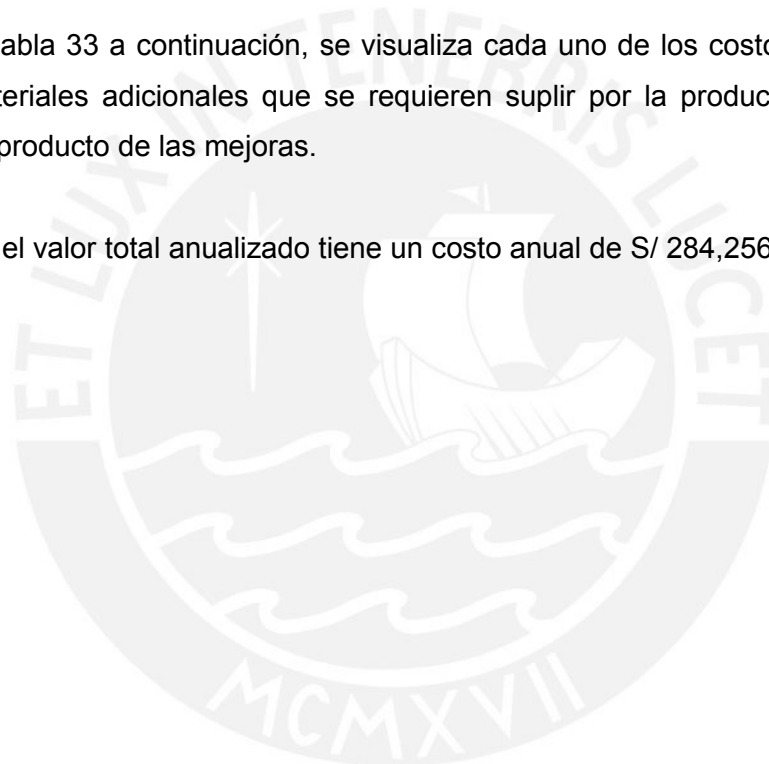


Tabla 33. Costo de capital para suplir los materiales por la producción adicional

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Incremento de Tasa de Producción (Unid)	41.25	37.5	39.375	37.5	41.25	37.5	41.25	39.375	39.375	41.25	37.5	39.375
Costo de materiales por spool (S/)	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60
Costo mensual de materiales por spools adicionales	S/ 24,816	S/ 22,560	S/ 23,688	S/ 22,560	S/ 24,816	S/ 22,560	S/ 24,816	S/ 23,688	S/ 23,688	S/ 24,816	S/ 22,560	S/ 23,688

Capital para compra de materiales adicionales	S/ 284,256
--	-------------------

Fuente: Empresa de estudio

11.1.3. Plan de inversión del proyecto

Una vez determinado las inversiones del proyecto, procederemos a realizar el plan de inversión del proyecto donde se detallan los montos a invertir por cada concepto requerido para la implementación.

Tabla 34. Plan de inversiones empleando las mejoras

PLAN DE INVERSION DEL PROYECTO		
Concepto	Vida útil (años)	Total Anual (S/)
Activos Fijos		S/ 821,532
Maquinarias y equipos	6	S/ 811,675
Adecuación de Infraestructura para la nueva línea de spools	6	S/ 9,857
Activos Intangibles		S/ 78,707
Estudios - Asesoría - Capacitación		S/ 78,707
Capital de trabajo		S/ 151,603
Materiales requeridos		S/ 151,603
VALOR TOTAL		S/ 1,051,842

Fuente: Elaboración propia

- Todos los costos ya vienen con el IGV incluido.
- El costo de la maquinaria como las plumas de izaje, máquinas de soldar, fijadores, rodillos ya tienen incluido el costo del montaje y instalación y supervisión.
- Los costos de adecuación de infraestructura ya vienen incluyendo: obra civil, materiales, instalaciones de energía y tendido de cables y tendido de redes de comunicación.
- Según SUNAT, las maquinarias industriales tienen una vida útil acelerada de 6 años, para fines prácticos utilizaremos este dato como vida útil del proyecto.

11.1.4. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto

En esta parte realizaremos el flujo neto de fondos del proyecto, esto nos permitirá organizar de forma estructurada las inversiones en el desarrollo de un proyecto en dos fases. En esta parte de la tesis analizaremos la primera fase del proyecto, tomando en cuenta solo la implementación de las células de producción y del rediseño del layout de planta.

Tabla 35. Flujo de fondos del proyecto (implementando las células de producción y rediseño del layout)

INFORMACION GENERAL							
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Incremento del Precio de Venta en 5% cada año por concepto de inflación y otros.	-	-	5%	5%	5%	5%	5%
Impuestos	-	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Costo de ventas (% sobre las ventas)	-	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Gastos operativos (% sobre las ventas)	-	26%	26%	26%	26%	26%	26%
Inflación	-	-	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO							
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Ventas		S/ 2,615,760	S/ 2,746,548	S/ 2,883,875	S/ 3,028,069	S/ 3,179,473	S/ 3,338,446
- Costo de Venta		S/ -1,307,880	S/ -1,373,274	S/ -1,441,938	S/ -1,514,035	S/ -1,589,736	S/ -1,669,223
Utilidad Bruta		S/ 1,307,880	S/ 1,373,274	S/ 1,441,938	S/ 1,514,035	S/ 1,589,736	S/ 1,669,223
- Gastos operacionales		S/ -680,098	S/ -714,102	S/ -749,808	S/ -787,298	S/ -826,663	S/ -867,996
Utilidad operacional		S/ 627,782	S/ 659,172	S/ 692,130	S/ 726,737	S/ 763,073	S/ 801,227
- Intereses		S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Utilidad antes de impuestos		S/ 627,782	S/ 659,172	S/ 692,130	S/ 726,737	S/ 763,073	S/ 801,227
- Provisión impuestos (30%)		S/ 188,335	S/ 197,751	S/ 207,639	S/ 218,021	S/ 228,922	S/ 240,368
Utilidad Neta		S/ 439,448	S/ 461,420	S/ 484,491	S/ 508,716	S/ 534,151	S/ 560,859
+ Ahorro por disminución de uso de vehículo grúa		S/ 23,590	S/ 24,180	S/ 24,784	S/ 25,404	S/ 26,039	S/ 26,690
- Inversión en capacitación	S/ -78,707	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
- Inversión en equipos	S/ -811,675	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
- Adecuación de infraestructura	S/ -9,857	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
- Inversión en capital de trabajo	S/ -151,603	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	S/ -1,051,842	S/ 463,038	S/ 485,600	S/ 509,275	S/ 534,119	S/ 560,190	S/ 587,549

Fuente: Elaboración propia

Las fabricaciones terminadas en promedio solo llegan a estar una semana en la planta antes de ser enviadas a la zona del proyecto del cliente, por tanto por política de la empresa no se consideran inventario inicial ni inventario final. Esto se debe a que toda producción es realizada bajo pedido por los proyectos de llave en mano. Es decir, que todas las fabricaciones de tuberías (spools) están acondicionadas a la geografía de la planta del cliente. Por tanto, es inviable almacenar spools para luego ser vendidos a otros clientes.

De la Tabla 35, se observa que el costo de ventas y gasto operativo se estima de un porcentaje del ingreso de ventas, estos valores fueron tomados del presupuesto de un proyecto tomado como ejemplo (ver Anexo X. Engineering BOM Cost Build-Up). Por otra parte, a partir del “Año 2” se consideró una inflación del 2.5% para el cálculo del concepto de ahorro en el uso de montacargas y vehículos grúa.

Finalmente, se consideró una proyección de 6 años, ya que es el tiempo “acelerado” de vida útil de maquinarias y equipos industriales.

11.1.5. Resultados de la evaluación de la propuesta de implementación de células de producción y del rediseño del layout

Posterior a determinar el flujo de fondos del proyecto, detallado en la Tabla 35, pasaremos a determinar el diagrama de flujo de fondos para visualizar los resultados anuales en los seis años de ciclo de vida del proyecto.

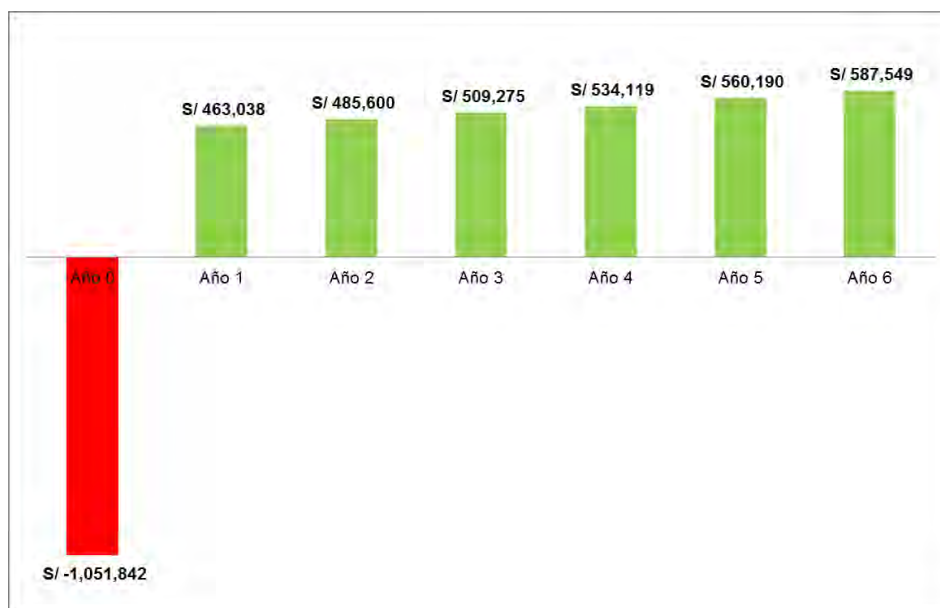


Figura 77. Diagrama de flujo de fondos (implementando las células GT)
Fuente: Elaboración propia

A partir de esta información, pasamos a evaluar la viabilidad económica del proyecto mediante los principales indicadores financieros mostrados en la Tabla 36, como son la Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva (TREMA), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN).

Tabla 36. Resultado de Técnicas financieras (implementando las células GT y rediseño del layout)

TREMA	14%
TIR	42%
VPN	S/ 1,197,351

Fuente: Elaboración propia

Los resultados hallados nos hacen llegar a ciertas conclusiones del proyecto:

- El proyecto tiene una TIR de 42%, resultado que es superior a la Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva (TREMA) de 14%, es decir que desde la perspectiva de la TIR el proyecto es viable.
- Desde la perspectiva del VPN, el indicador obtenido es mayor a cero, lo que indica que el proyecto de implementar células de producción y de reconfigurar el layout, podría obtener ganancias de hasta S/1'197,351 soles.
- Para el sector metal-mecánico, el proyecto se mantiene viable y atractivo, ya que los accionistas pueden esperar tasas de retorno superiores al costo de oportunidad de solo mantener el dinero en el banco.

11.2. Evaluación económica de las Propuestas del Capítulo 10

11.2.1. Descripción de beneficios del proyecto de implementación de Teoría de Restricciones (TOC)

— Incremento de Producción de Spools

Partiendo por la implementación de las mejoras mediante la herramienta de la Teoría de Restricciones y de los resultados de la prueba piloto, se proyecta un incremento de al menos 14% en la tasa de producción en el área de soldadura, actual cuello de botella del caso de estudio.

Tabla 37. Cálculo de incremento de la tasa de producción por mejoras TOC

	Promedio producción mensual Real (Ene-Jun)	Promedio de Producción Mensual Línea Piloto (x 2 Líneas)
Total PD (mes)	9522	10864
Incremento de producción mensual proyectado (PD)	1342	

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 37, se calculó el incremento proyectado de la producción adicional de spools producto de las mejoras de explotar la restricción (ver capítulo 10.3), de la Tabla 26 se tomó el promedio mensual de la producción en la línea piloto de 5,432 PD (pulgadas de diámetro de soldadura) y se multiplicó este valor por dos asumiendo que cuando se implemente la segunda línea obtendrá la misma capacidad de producción que la línea piloto, obteniéndose un valor de 10,864 PD de soldadura producidos adicionalmente producto de las mejoras (ver Tabla 37). Luego de ello se tomó el valor de la producción mensual real registradas de Enero a Junio (también obtenido de la Tabla 26), el cual fue de 57,132 PD y se le dividió entre seis para obtener en valor promedio mensual de producción real, obteniéndose un valor de 9,522 PD el cual se observa en la Tabla 37.

Finalmente, se restó ambos valores mencionados obteniéndose un incremento proyectado de producción mensual de 1342 PD de tuberías (spools) adicionales producto de las mejoras tomadas de la Teoría de Restricciones.

Tabla 38. Resultado de Técnicas financieras

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Incremento Promedio de la Tasa de Producción (en PD)	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342	1342
Valor venta promedio por unidad de PD de Spool	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82	S/ 276.82
Ventas Adicionales por las mejoras	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497	S/ 371,497

Beneficio anual por incremento Tasa de Producción:	S/ 4,457,964
---	---------------------

Fuente: Elaboración propia

11.2.2. Descripción de costos de inversión y gastos operativos

— Costo de capacitaciones y asesorías

El costo de los estudios, las asesorías y la capacitación al personal con respecto a la Teoría de Restricciones (TOC) se detalla a continuación.

Tabla 39. Costo de las asesorías y capacitaciones metodología TOC

Descripción del personal a capacitar	Número de personas a capacitar	Costo promedio de hora laboral	Costo total de una hora de capacitación
Operarios	40	S/ 22.97	S/ 918.96
Jefes de Producción	4	S/ 45.94	S/ 183.75
Analistas de PCP	2	S/ 29.54	S/ 59.07
Costo total de todo el equipo por hora de capacitación:			S/ 1,161.78

Herramienta	Horas requeridas para implementación	Valor Hora de capacitación	Valor Hr. Extra Equipo capacitado	Costo total de la capacitación
Teoría de Restricciones	60	S/ 150.00	S/ 1,161.78	S/ 78,707

Fuente: Elaboración propia

Para no perjudicar la producción, las capacitaciones al personal operativo se realizarán en las horas extras. La capacitación será para todo el personal operativo, los cuatro Jefes de Producción y los dos analistas de Planeamiento encargados de la programación de planta de la línea de tuberías (spools). Se requiere que el equipo quede involucrado en los cambios a realizarse y se mejore el desempeño en cada uno de sus puestos de trabajo. El costo total de esta inversión es de S/ 78,707 soles.

— Costo de maquinarias y equipos

A continuación, se detallará el costo de las adquisiciones para reemplazar el proceso de soldadura pase de raíz GMAW por el proceso Lincoln STT (en 10 und). En el proceso de soldar FCAW, para el pase de relleno y acabado en tuberías de material inoxidable, se cambiará el proceso por un sistema de soldadura orbital GTAW. Estos cambios tecnológicos permitirán ganar mayor eficiencia al área de soldadura y se vieron a detalle en el Capítulo 10.3.

Tabla 40. Costo de equipos

Cantidad	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
Máquinas de soldar			
10	Máquina de soldar MULTIPROCESOS-STT	S/ 14,406.75	S/ 144,067.50
2	Máquina de soldar GTAW Orbital	S/ 22,900.00	S/ 45,800.00
		TOTAL	S/ 358,907

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 40, se observa que el Costo total de la adquisición de equipos para mejorar la productividad en el área cuello de botella (soldadura) es de S/ 358,907 soles.

— **Capital de trabajo requerido para la suplir la producción adicional**

Al incrementarse la productividad por las mejoras planteadas, se requerirán materiales adicionales (tubos, fittings, materiales de aporte, etc.) para completar la fabricación de tuberías (spools) adicionales.

El dato del costo de materiales por unidad de spool de S/ 601.60 se tomó del valor “material” del presupuesto de fabricación de una unidad de spool (ver Anexo X. Engineering Cost Build-Up).

En la Tabla 41 a continuación, se visualiza cada uno de los costos mensuales por los materiales adicionales que se requieren suplir por la producción adicional de spools producto de las mejoras.

Siendo el valor total anualizado tiene un costo anual de S/ 484,408 soles anuales.

Tabla 41. Costo de capital para suplir los materiales por la producción adicional

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Incremento de Tasa de Producción (Und)	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Costo de materiales por spool (S/.)	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60	S/ 601.60
Costo mensual de materiales por spools adicionales	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367	S/ 40,367

Capital para compra de materiales adicionales	S/ 484,408
--	-------------------

Fuente: Elaboración propia

11.2.3. Plan de inversión del proyecto

Una vez determinado las inversiones del proyecto, procederemos a realizar el plan de inversión del proyecto donde se detallan los montos a invertir por cada concepto requerido para la implementación.

Tabla 42. Plan de inversiones empleando las mejoras

PLAN DE INVERSION DEL PROYECTO		
Concepto	Vida útil (años)	Total Anual (S/)
Activos Fijos		S/ 369,674
Maquinarias y equipos	6	S/ 358,907
Puesta en marcha		S/ 10,767
Activos Intangibles		S/ 78,707
Estudios - Asesoría - Capacitación		S/ 78,707
Capital de trabajo		S/ 484,408
Materiales requeridos		S/ 484,408
VALOR TOTAL		S/ 932,789

Fuente: Elaboración propia

- Todos los costos ya vienen con el IGV incluido.
- El costo de las maquinas de soldar, ya tienen incluido el costo del montaje e instalación y supervisión.
- El costo de puesta en marcha se calculó en 3% del costo de la adquisición de las maquinarias, ya que se debe contemplar aquellos costos ocultos que no se tienen en consideración al momento de la puesta en marcha.
- Según SUNAT, las maquinarias industriales tienen una vida útil acelerada de 6 años, para fines prácticos utilizaremos este dato como vida útil del proyecto. Cabe resaltar que el proyecto seguirá teniendo rendimientos positivos en el flujo de caja más allá de los 6 años.

11.2.4. Elaboración del flujo neto de fondos del proyecto

En esta parte realizaremos el flujo neto de fondos del proyecto, esto nos permitirá organizar de forma estructurada las inversiones en el desarrollo de un proyecto en dos fases. En esta parte de la tesis analizaremos la segunda fase del proyecto, tomando en cuenta solo la implementación de las mejoras en base a la Teoría de Restricciones (TOC).

Tabla 43. Flujo de fondos del proyecto (implementando las mejoras TOC)

INFORMACION GENERAL							
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Incremento del Precio de Venta en 5% cada año por concepto de inflación y otros.	-	-	5%	5%	5%	5%	5%
Impuestos	-	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Costo de ventas (% sobre las ventas)	-	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Gastos operativos (% sobre las ventas)	-	26%	26%	26%	26%	26%	26%
Inflación	-	-	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO							
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Ventas		S/ 4,457,964	S/ 4,680,862	S/ 4,914,905	S/ 5,160,651	S/ 5,418,683	S/ 5,689,617
- Costo de Venta		S/ -2,228,982	S/ -2,340,431	S/ -2,457,453	S/ -2,580,325	S/ -2,709,342	S/ -2,844,809
Utilidad Bruta		S/ 2,228,982	S/ 2,340,431	S/ 2,457,453	S/ 2,580,325	S/ 2,709,342	S/ 2,844,809
- Gastos operacionales		S/ -1,159,071	S/ -1,217,024	S/ -1,277,875	S/ -1,341,769	S/ -1,408,858	S/ -1,479,300
Utilidad operacional		S/ 1,069,911	S/ 1,123,407	S/ 1,179,577	S/ 1,238,556	S/ 1,300,484	S/ 1,365,508
- Intereses		S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
Utilidad antes de impuestos		S/ 1,069,911	S/ 1,123,407	S/ 1,179,577	S/ 1,238,556	S/ 1,300,484	S/ 1,365,508
- Provisión impuestos (30%)		S/ 320,973	S/ 337,022	S/ 353,873	S/ 371,567	S/ 390,145	S/ 409,652
Utilidad Neta		S/ 748,938	S/ 786,385	S/ 825,704	S/ 866,989	S/ 910,339	S/ 955,856
- Inversión en capacitación	S/ -78,707	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
- Inversión en equipos	S/ -358,907	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
- Puesta en marcha	S/ -10,767	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
- Inversión en capital de trabajo	S/ -484,408	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -	S/ -
FLUJO DE FONDOS DEL PROYECTO	S/ -932,789	S/ 748,938	S/ 786,385	S/ 825,704	S/ 866,989	S/ 910,339	S/ 955,856

Fuente: Elaboración propia

Las fabricaciones terminadas en promedio solo llegan a estar una semana en la planta antes de ser enviadas a la zona del proyecto del cliente, por tanto por política de la empresa no se consideran inventario inicial ni inventario final. Esto se debe a que toda producción es realizada bajo pedido por los proyectos de llave en mano. Es decir, que todas las fabricaciones de tuberías (spools) están acondicionadas a la geografía de la planta del cliente. Por tanto, es inviable almacenar spools para luego ser vendidos a otros clientes.

De la Tabla 43, se observa que el costo de ventas y gasto operativo se estima de un porcentaje del ingreso de ventas, estos valores fueron tomados del presupuesto de un proyecto tomado como ejemplo (ver Anexo X. Engineering BOM Cost Build-Up).

El Ingreso por ventas está afectado por un incremento del 5% a partir del Año 2, ya que por política de la empresa los precios de venta de los equipos incrementan en este valor por causas de la inflación y de transporte.

Finalmente, se consideró una proyección de 6 años en la vida útil del proyecto ya que según SUNAT ese es el tiempo de vida útil “acelerado” en maquinarias y equipos industriales. Cabe resaltar, que el proyecto aún puede ofrecer rendimientos de flujo de caja positivos aún después de la vida útil que estamos considerando.

11.2.5. Resultados de la evaluación de la propuesta de implementación de la Teoría de Restricciones (TOC)

Posterior a determinar el flujo de fondos del proyecto, detallado en la Tabla 43, pasaremos a determinar el diagrama de flujo de fondos para visualizar los resultados anuales en los seis años de ciclo de vida del proyecto.

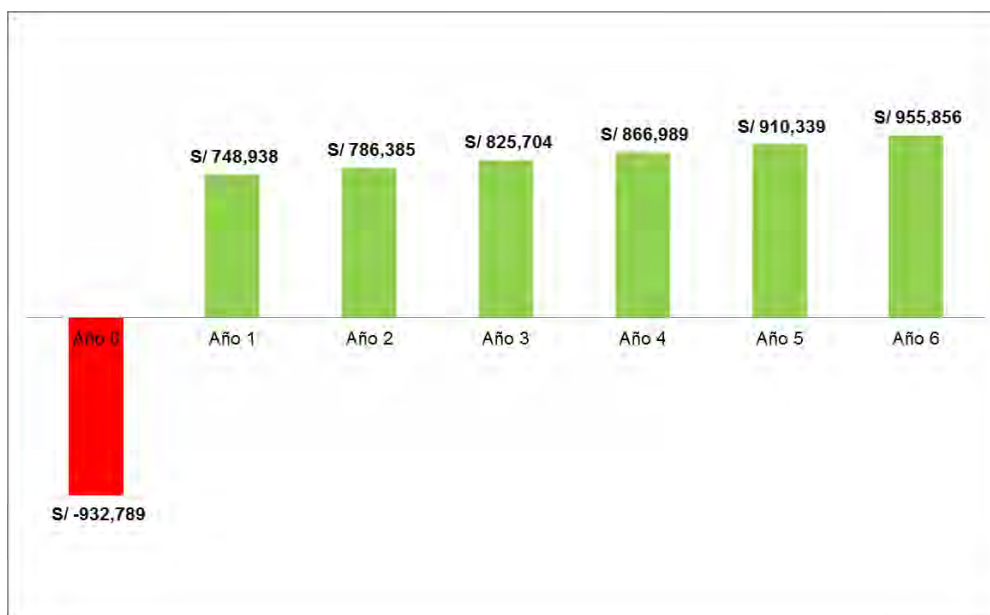


Figura 78. Diagrama de flujo de fondos (implementando la Teoría de Restricciones)

Fuente: Elaboración propia

A partir de esta información, pasamos a evaluar la viabilidad económica del proyecto mediante los principales indicadores financieros mostrados en la Tabla 46. Estos indicadores son, la Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva (TREMA), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Presente Neto (VPN).

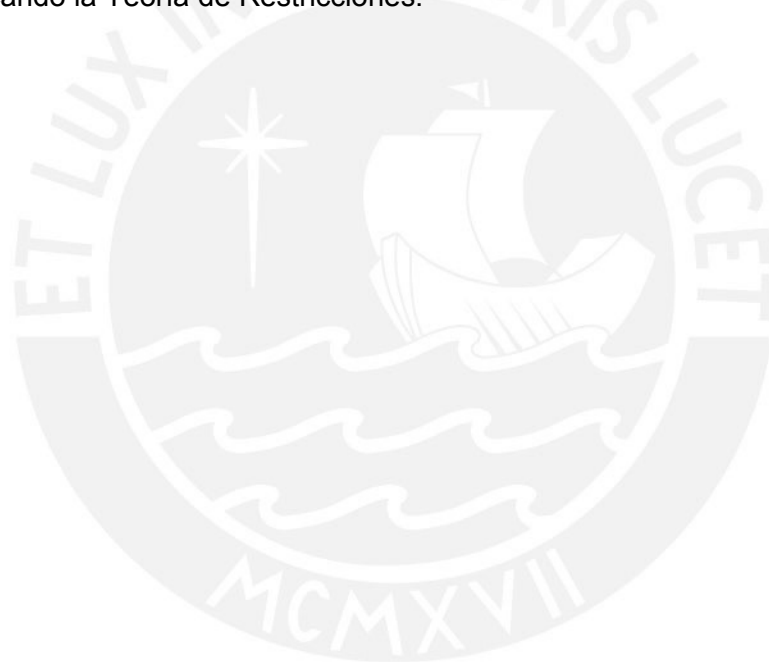
Tabla 44. Resultado de Técnicas financieras (implementando la Teoría de Restricciones)

TREMA	14%
TIR	82%
VPN	S/ 2,715,302

Fuente: Elaboración propia

Los resultados hallados nos hacen llegar a ciertas conclusiones del proyecto:

- El proyecto tiene una TIR de 82%, resultado que es superior a la Tasa de Rentabilidad Mínima Atractiva (TREMA) de 14%, es decir que desde la perspectiva de la TIR el proyecto es viable.
- Desde la perspectiva del Valor Presente Neto (VPN), el indicador obtenido es mayor a cero, lo que indica que el proyecto de implementar las mejoras siguiendo la metodología de focalización en el cuello de botella (Teoría de Restricciones), podría obtener ganancias de hasta S/2'715,302 soles.
- La teoría de restricciones al atacar el cuello de botella (focalizando todos los esfuerzos en mejorar su capacidad de producción) nos permite una mejora de productividad en todo el sistema, incrementando el ingreso por ventas y ofreciendo una oportunidad de negocio muy importante para el sector metal-mecánico, por lo que queda demostrado la viabilidad del proyecto de mejora aplicando la Teoría de Restricciones.



PARTE IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- 1) Estos valores obtenidos por la línea piloto se han alcanzado aplicándose las mejoras tanto en el cuello de botella actual (proceso de Soldadura), y en el siguiente proceso cuello de botella (Armado). De otra forma el cuello de botella habría sido expuesto de inmediato en Armado, generándose poco beneficio.
- 2) La Teoría de Restricciones permite enfocar las iniciativas de mejora en función de los cuellos de botella (CB), ya que cualquier mejora en un CB permite un impacto positivo en todo el ciclo productivo. Por otro lado, una iniciativa de mejora en un proceso que no es cuello de botella no garantiza el incremento de la productividad.
- 3) La Tecnología de Grupo (GT) es una herramienta que permite optimizar la producción en base a células GT. Estas producirán flujos lineales, con lo cual se ganará un mejor control de la producción, reducción de tiempos por preparación de máquina (setup) y reducción de tiempos por traslados y demoras.
- 4) La medición de los indicadores de productividad deben ser realizados en cada proceso y evitar las mediciones por áreas o grupos. Ejemplo, lo ocurrido con los indicadores de Calderería y Soldadura.
- 5) La implementación de los buffer o colchones de carga es fundamental para evitar la para total de una estación cuello de botella, para ello se debe programar con un horizonte de dos semanas.
- 6) La empresa de estudio puso sus esfuerzos en programar las operaciones según la capacidad máxima de los procesos, cuando lo correcto era enfocarse en el ritmo de producción.

Recomendaciones:

- 1) Un siguiente paso para mejorar la productividad sería la implementación de la metodología KAN-BAN, con ello se ganaría una producción del tipo PULL, reduciendo significativamente los costos de los trabajos en procesos.
- 2) En una próxima etapa del proyecto de productividad, se recomienda implementar la herramienta del HEIJUNKA, con lo cual se conseguiría un flujo continuo para lotes reducidos y una mayor flexibilidad de producción de spools.
- 3) En nuestro caso de estudio se observó que no existían indicadores específicos para el sub-proceso de armado, solo lo había para calderería como grupo lo cual quita precisión en el control de la producción.
- 4) Las empresas se deben enfocar en el ritmo de producción, no en la capacidad máxima.
- 5) Se recomienda el uso de transportadores semi-automatizados (conveyors) para una mayor rapidez del flujo de la producción de Piping Spools.

BIBLIOGRAFIA

D'ALESSIO, Fernando

2017 *Administración de las operaciones productivas: conceptos, casos y ejercicios razonados*. Segunda edición. Lima: Pearson Educación

2012 *Administración de las operaciones productivas: un enfoque en procesos para la gerencia*. México: Pearson Educación

GAITHER, Norman y Greg FRAZIER

2003 *Administración de producción y operaciones*. Octava edición. México DF: International Thomson Editores

GOLDRATT, Eliyahu y Jeff COX

2014 *La meta: un proceso de mejora continua*. Edición aniversario. Buenos Aires: Granica

GROOVER, Mikell

2007 *Fundamentos de manufactura moderna*. Tercera edición. México DF: McGraw-Hill

KRAJEWSKI, Lee, Larry RITZMAN y Manoj MALHOTRA

2008 *Administración de operaciones*. Octava edición. México DF: Pearson Educación

NIEBEL, Benjamin y Andris FREIVALDS

2004 *Ingeniería Industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. Onceava edición. México DF: Alfaomega

SCHONBERGER, Richard

1989 *Manufactura de categoría mundial: Aplicación de las últimas técnicas para optimizar la producción*. Bogotá: Norma

ZANDIN, Kjell y Harold MAYNARD

2005 *Maynard Manual del ingeniero industrial*. Quinta edición. México: McGraw-Hill

BLANCO, Luz y Luisa Sirlupú

2015 *Diseño e implementación de células de manufactura para aumentar la productividad en el área de armado de una empresa de calzado para dama*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de ingeniería.

CORDOVA, Frank

2012 *Mejoras en el proceso de fabricación de spools en una empresa metalmecánica usando la manufactura esbelta*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

FRANCISCO, Lorena

2014 *Análisis y propuesta de mejora de sistema de gestión de almacenes de un operador logístico*. Tesis de maestría en Ingeniería Industrial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de postgrado.

GNC CALDERERÍA

GNC: Qué tipo de soldadura se usa para acero inoxidable. Consulta: 11 de noviembre de 2016.

<http://www.gnccaldereria.es/que-tipo-de-soldadura-se-utiliza-para-acero-inoxidable/>

BLOG PUCP

Unión de materiales: La importancia del pase de raíz en tuberías de Acero inoxidable Super Duplex. Consulta: 29 de junio de 2015.

<http://blog.pucp.edu.pe/blog/uniondemateriales/2015/06/29/la-importancia-del-pase-de-raiz-en-tuberias-de-acero-inoxidable-super-duplex/>

METALMECANICA

Metalmecánica: Proceso de automatización mediante tecnología de grupos. Consulta: 01 de abril de 2004.

<http://www.metalmecanica.com/temas/Proceso-de-automatizacion-mediante-tecnologia-de-grupos+7031176>



ANEXOS

Anexo I. Secador de tubos FRT-8000 SC



Fuente: <http://es.fimaperu.com/productos/pesca/>

Anexo II. Piping Spools Rotado y No Rotado



Fuente: <http://www.youbestwelding.com>



Fuente: <http://www.parpipingfab.com/piping.html>

Anexo III. Programa Maestro de Producción

ACTUALIZACION DE HH AL 14/12												ENERO					FEBRERO					MARZO				
SO	CLIENTE	DESCRIPCION	ENTREGA EX WORK	ENTREGA EX WORK	F.I.	F.F.	DÍAS	SEC	HH	OPERTDIA	CAP. HH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
		REQ. CAL										14	20	31	35	31	28	21	20	11	9	10	13	13		
		CAP. CAL										31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31		
		DIF. CAL										17	11	0	-4	0	3	10	11	20	22	21	18	18		
		REQ. SOL										7	7	16	16	15	17	10	5	3	1	4	7	7		
		CAP. SOL										13	13	13	13	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
		DIF. SOL										6	6	-3	-3	-2	-3	5	11	14	17	15	13	14		
90727	TECHNOLOGY CANADA -CRIPPLE CREEK	072730/072731/072732 SP 0004 FEED PUMP BOX (VLC)	11/01/2013	11/01/2013	10-dic	11-ene	25	CAL	457	2	473	4														
90727	TECHNOLOGY CANADA -CRIPPLE CREEK	072730/072731/072732 SP 0004 FEED PUMP BOX (VLC)	11/01/2013	11/01/2013	10-dic	11-ene	25	SOL	195	1	237	2														
90727	TECHNOLOGY CANADA -CRIPPLE CREEK	072750/072751/072752 - SP 0006 HOPPER (VLC)	11/01/2013	11/01/2013	10-dic	11-ene	25	CAL	562	3	473	4														
90727	TECHNOLOGY CANADA -CRIPPLE CREEK	072750/072751/072752 - SP 0006 HOPPER (VLC)	11/01/2013	11/01/2013	10-dic	11-ene	25	SOL	195	1	237	2														
30381	Compañía Minera Alpamarca S.A.C	TAG 510-TK-002- TANQUE ACONDICIONADOR DE FLOTACION ROUGHER Cu (6'x 6')	17/04/2013	04/03/2013	04/02/2013	28/02/2013	19	CAL	254	2	237						1	2	2							
30381	Compañía Minera Alpamarca S.A.C	TAG 510-TK-002- TANQUE ACONDICIONADOR DE FLOTACION ROUGHER Cu (6'x 6')	17/04/2013	04/03/2013	04/02/2013	28/02/2013	19	SOL	99	1	95						1	1								
30381	Compañía Minera Alpamarca S.A.C	TAG 510-TK-003- TANQUE ACONDICIONADOR DE FLOTACION ROUGHER Cu (6'x 6')	17/04/2013	05/03/2012	04/02/2013	01/03/2013	20	CAL	254	2	237						1	2	2							
30381	Compañía Minera Alpamarca S.A.C	TAG 510-TK-003- TANQUE ACONDICIONADOR DE FLOTACION ROUGHER Cu (6'x 6')	17/04/2013	05/03/2012	04/02/2013	01/03/2013	20	SOL	99	1	95						1	1								
30381	Compañía Minera Alpamarca S.A.C	TAG 560-TK-003- TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE SULFATO DE COBRE (8.2' x 8.2') (VLC)	17/04/2013	01/03/2013	04/02/2013	08/02/2013	5	CAL	243	6	237						2	2	1							
30381	Compañía Minera Alpamarca S.A.C	TAG 560-TK-003- TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE SULFATO DE COBRE (8.2' x 8.2') (VLC)	17/04/2013	01/03/2013	04/02/2013	08/02/2013	5	SOL	96	3	95						1	1								
30381	Compañía Minera Alpamarca S.A.C	TAG 560-TK-018- TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE SULFATO DE COBRE (8.2' x 8.2') (VLC)	17/04/2013	05/03/2013	04/02/2013	11/02/2013	6	CAL	243	5	284						1	2	2	1						
30381	Compañía Minera Alpamarca S.A.C	TAG 560-TK-018- TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DE SULFATO DE COBRE (8.2' x 8.2') (VLC)	17/04/2013	05/03/2013	04/02/2013	11/02/2013	6	SOL	91	2	95						1	1								

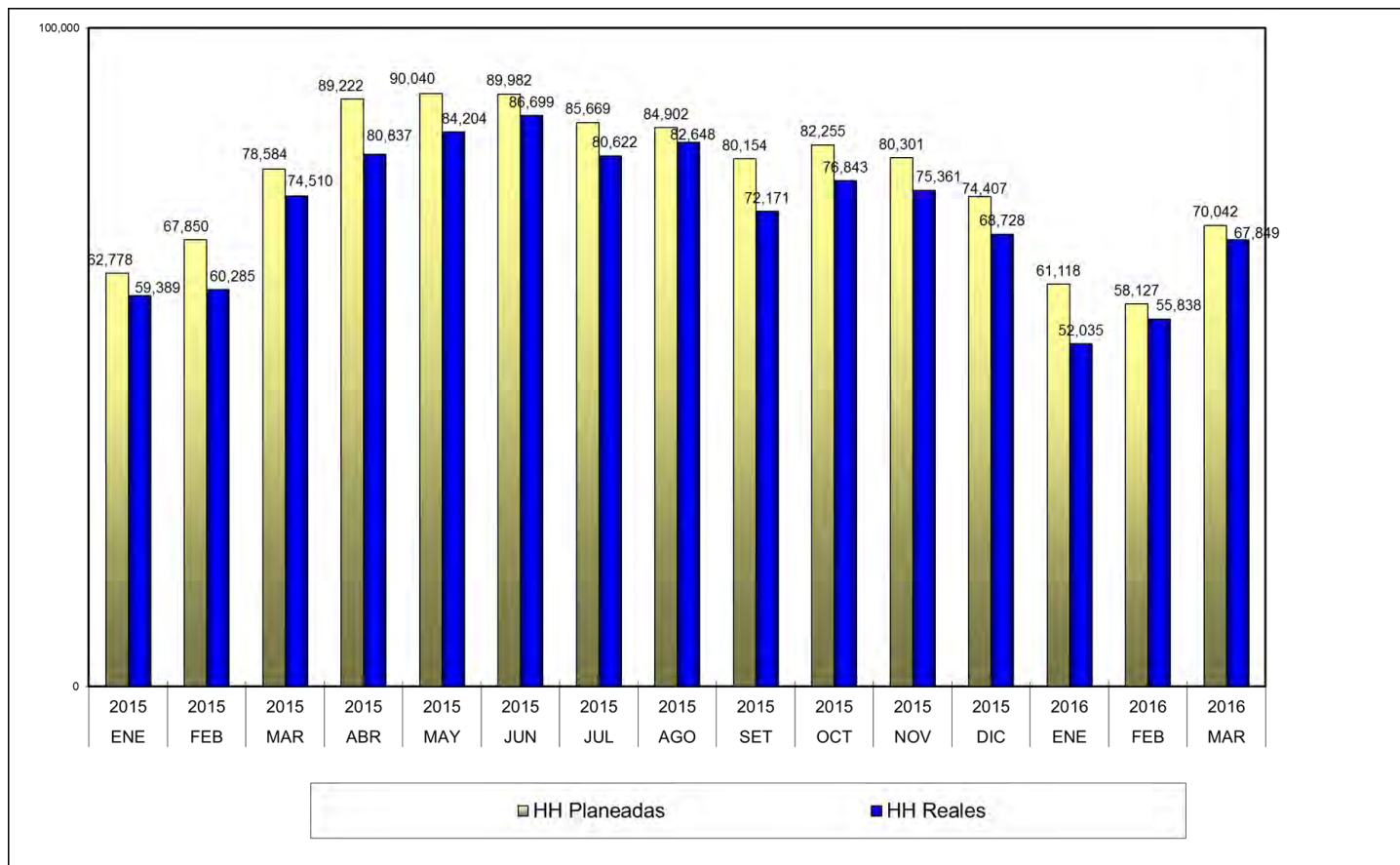
Fuente: Empresa de estudio

Anexo IV. Indicador de Calidad de Programación

SO	CLIENTE	DESCRIPCION	UHD	Planead	PROGRAMAD	REAL
S29689	PETRO PERU	COLUMNA DESTILACION (1)	HH	484	1,136	1,036
S29782	METSO PERU	AGITADORES Y TANQUES	HH	-	26	35
S29802	HAYDUK - VEGUETA	COCINA	HH	595	580	616
S29803	HAYDUK - TAMBO DE MORA	COCINA (6)	HH	644	520	319
S29808	MINERA CHINALCO PERU	CHUTES PLATEWORKS LININGS	HH	4,268	2,881	2,668
S29809	PROCESADORA IND. RIO SECO S.A	EQUIPOS VARIOS PLANTA MANGANESO	HH	781	584	435
S29827	HAYDUK - VEGUETA	SECADOR DE TUBOS FRT 8000, TRANSMISIÓN, GUSANO ALIMENTADOR (3)	HH	137	24	31
S29828	HAYDUK - VEGUETA	SECADOR DE TUBOS FRT 8000, TRANSMISIÓN, GUSANO ALIMENTADOR	HH	-	14	8
S29829	HAYDUK - TAMBO DE MORA	SECADOR DE TUBOS FRT 8000, TRANSMISIÓN, GUSANO ALIMENTADOR	HH	562	413	778
S29830	HAYDUK - TAMBO DE MORA	SECADOR DE TUBOS FRT 8000, TRANSMISIÓN, GUSANO ALIMENTADOR	HH	898	222	187
S29831	HAYDUK - TAMBO DE MORA	PAC FZE-4012-W (6)	HH	-	-	9
S29846/S29859	METSO (MIN HUALLANCA)	BANCO CELDAS RCS	HH	-	963	1,045
S29854	CASA GRANDE	CRISTALIZADORES	HH	1,683	1,313	706
S29870	METSO (SUYAMARCA)	2 ESPEADORES	HH	-	-	-
S29881	EXALMAR	PAC FZE 5012 W - SOLO EFECTO 2	HH	-	-	-
S29890	TECNOLOGICA DE ALIMENTOS SA	EQUIPOS VARIOS	HH	2,087	4,174	3,014
S29899	AUSTRAL GROUP	SECADOR DETUBOS FRT 8000 CC (4)	HH	379	457	349
S29931	METSO(BURKINA FASO)	BCO 6 CELDAS Suba 24. BCO 4 CELDAS Suba 24. BCO 2 CELDAS Sub A 24. CELDA UNITARIA R	HH	836	225	215
S29944	METSO(PACHAPAQUI)	BANCO 2 CEL RCS20, CELDA UNIT. RCS 20, BANCO 9 CEL DR 100	HH	962	459	359
S29945	CASAGRANDE	SECADOR DE AIRE CALIENTE	HH	-	-	-
S29972	MINERA CHINALCO PERU	MIXER SETTLE PACKAGES	HH	-	-	-
S29995	EXALMAR-HUACHO	EQUIPOS VARIOS	HH	528	102	96
S30005	METSO PERU(ARCATA)	2 TANQUES AGITADORES 3300-AG-002/003 CON ESTRUCTURA DE SOPORTE	HH	-	-	-
S30016	METSO PERU(ARCATA)	AGITADOR DE 3.5 x 3.9	HH	-	-	-
S30023	AKER SOLUTIONS	SPOOLS REVESTIDOS	HH	-	-	2
S30025	LATINTECNA S.A	2 TANQUES ASME / 4 TANQUES SIN ESTAMPA	HH	-	-	-
S30032	PLUSPETROL	07 TANQUES ASME	HH	-	-	-
S90650	METSO CANADA	CELDAS DR - 300 & DR -180	HH	977	1,690	1,838
S90652	METSO SWEDEN	BANCO DE CELDAS DR -300	HH	-	-	-
S90664	INDUSTRIAS BARRA (MEXICO)	PAC FZE 2508 W	HH	-	-	-
S90665	METSO MEXICO	BANCO CELDAS RCS 70 - RCS 20- RCS 10 (5)	HH	-	19	22
S90670	METSO BRASIL	BANCO 2 CEL DRS, 4 BANCOS 2 CEL DR7 Y UN SOPLADOR	HH	108	354	80
S90673	FOSTER WHEELER NORTH AMERICA	RPTOS MOLINOS 19.5 MbF	HH	117	-	1
S90676	METSO DANVILLE	BANCO 4 CELDAS DR 500	HH	367	217	108
S90680	FOSTER WHEELER NORTH AMERICA	MOLINOS 19.5 mbf	HH	-	-	0
S90681	COOPERATIVA MINERA 1ro ENERO	CARROS MINEROS U 24	HH	25	63	63
S90682	METSO AUSTRALIA	10 MECANISMO RCS 5 / 7 MECANISMO RCS 40	HH	854	-	-
S90687	METSO MEXICO	BANCO DECELDA 24 SUB-A	HH	-	1	1
S90689	FOSTER WHEELER NORTH AMERICA	COMPONENTES PARA 3 MOLINOS MBF 19.5 - REPUESTOS	HH	-	-	-
	VARIOS		HH	724	711	656
	TOTAL		HH	18,036	17,147	14,679
			HH Programadas Planeadas. / HH Planeadas	117%		
			HH Programadas. / HH Planeadas	95%		
			HH Reales / HH Programadas.	85.6%		
			CAPACIDAD DISPONIBLE	HH	17,027	
			CAPACIDAD MAXIMA	HH	18,219	

Fuente: Empresa de estudio

Anexo V. Histograma de Cumplimiento de horas Programadas vs horas Planificadas



Fuente: Empresa de estudio

Anexo VI. Evaluación de las 5S'

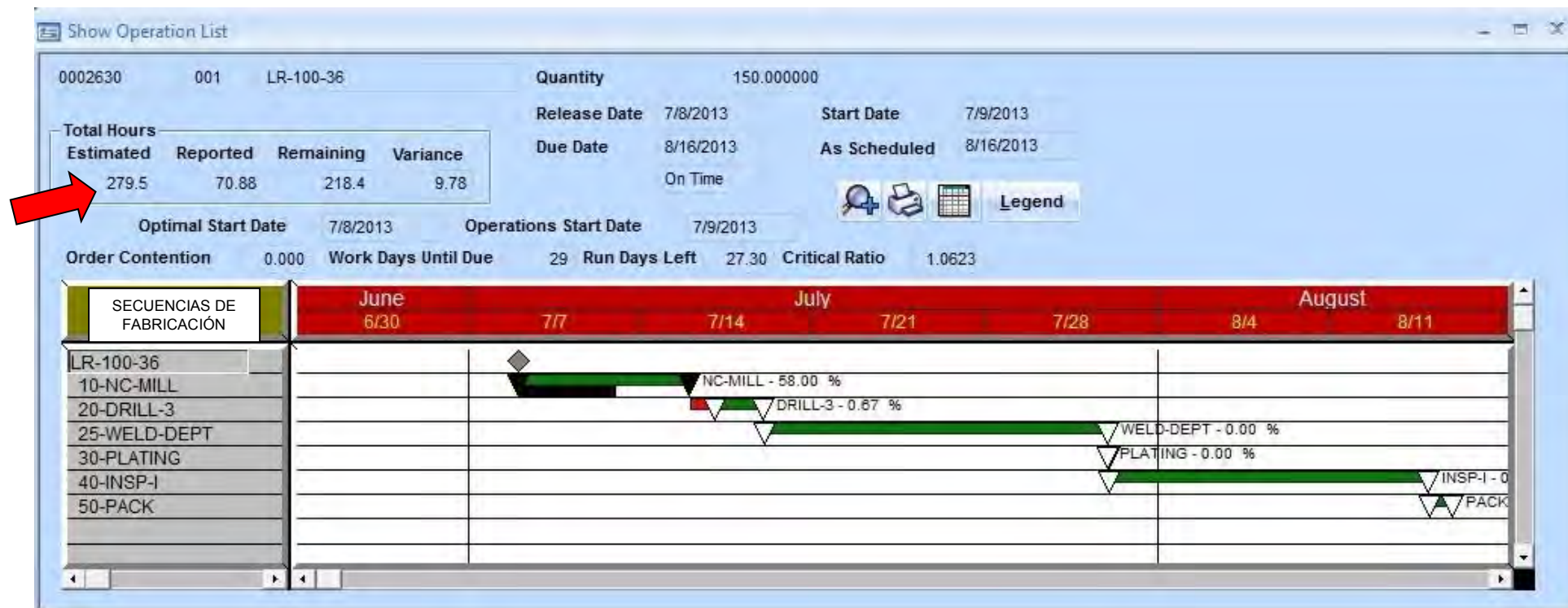
FORMATO DE EVALUACIÓN			
Guía de Calificación:		FECHA: 30/10 HORA: 13:50 Hrs	
0 = No hay implementación			
1 = Un 30% de cumplimiento			
2 = Cumple al 65%			
3 = Un 95% de cumplimiento			
ACTIVIDAD	SELECCIONAR	Calificación	Puntaje Máximo
1	Las herramientas de trabajo se encuentran en buen estado para su uso.	2	3
2	El armario y carrito de herramientas se encuentran en buenas condiciones.	2	3
3	Existen objetos sin uso detrás de las máquinas.	2	3
4	Pasillos libres de obstáculos.	2	3
5	La mesa de trabajo y el carrito de herramientas están libres de objetos sin uso.	2	3
6	Se cuenta con solo lo necesario para trabajar.	2	3
7	Las gabetas del carrito y armario de herramientas se encuentran bien ordenados.	2	3
8	El carrito, pizarra, parihuelas, herramientas, etc. Están en su lugar asignado.	2	3
9	Es difícil encontrar lo que se busca inmediatamente.	2	3
10	Todos los operarios cuentan con sus EPP's necesarios.	2	3
TOTAL		20	30
ACTIVIDAD	ORDENAR	Calificación	Puntaje Máximo
11	Las áreas estan debidamente identificadas.	2	3
12	No hay unidades encimadas en las mesas o áreas de trabajo.	2	3
13	No hay ninguna unidad o herramienta sin designación de espacio.	2	3
14	Lugares marcados para todo el material de trabajo.	2	3
15	Todas las paletas, pizarra de control y herramientas están en su sitio.	2	3
16	Las gabetas del carrito y armario de herramientas estan organizados y solo tienen lo necesario.	1	3
17	Todas las gabetas están señalizadas y rotuladas.	2	3
TOTAL		13	21
ACTIVIDAD	LIMPIAR	Calificación	Puntaje Máximo
18	Los armarios y carritos de herramientas se encuentran limpios, incluido gabetas.	1	3
19	Las herramientas de trabajo se encuentran limpias.	2	3
20	El piso esta libre de pedazos de papel, metal, madera, cartón, etc.	2	3
21	La mesa de trabajo y el carrito de herramientas están libres de polvo, manchas o residuos.	2	3
22	Se verifica que todos los días dejan el area de trabajo limpia.	2	3
TOTAL		9	15
ACTIVIDAD	ESTANDARIZAR	Calificación	Puntaje Máximo
23	La capacitación esta estandarizada para todo el personal.	2	3
24	Los operarios cumplen con los procedimientos de trabajo establecidos.	2	3
25	Todos los operarios tienen y usan sus EPP's.	3	3
26	Los dos turnos cumplen con los procedimientos y operativa de trabajo establecido.	2	3
27	Se monitorea y se toman medidas para mejorar las 5S en la reunión diaria de las 2pm.	1	3
TOTAL		10	15

Regular	Bien	Excelente
>42	>70	81

TOTAL	52
DIAGNÓSTICO	REGULAR

Fuente: Empresa de estudio

Anexo VII. Programación de Orden de Trabajo (WO)



Fuente: <https://www.profitkey.com/>

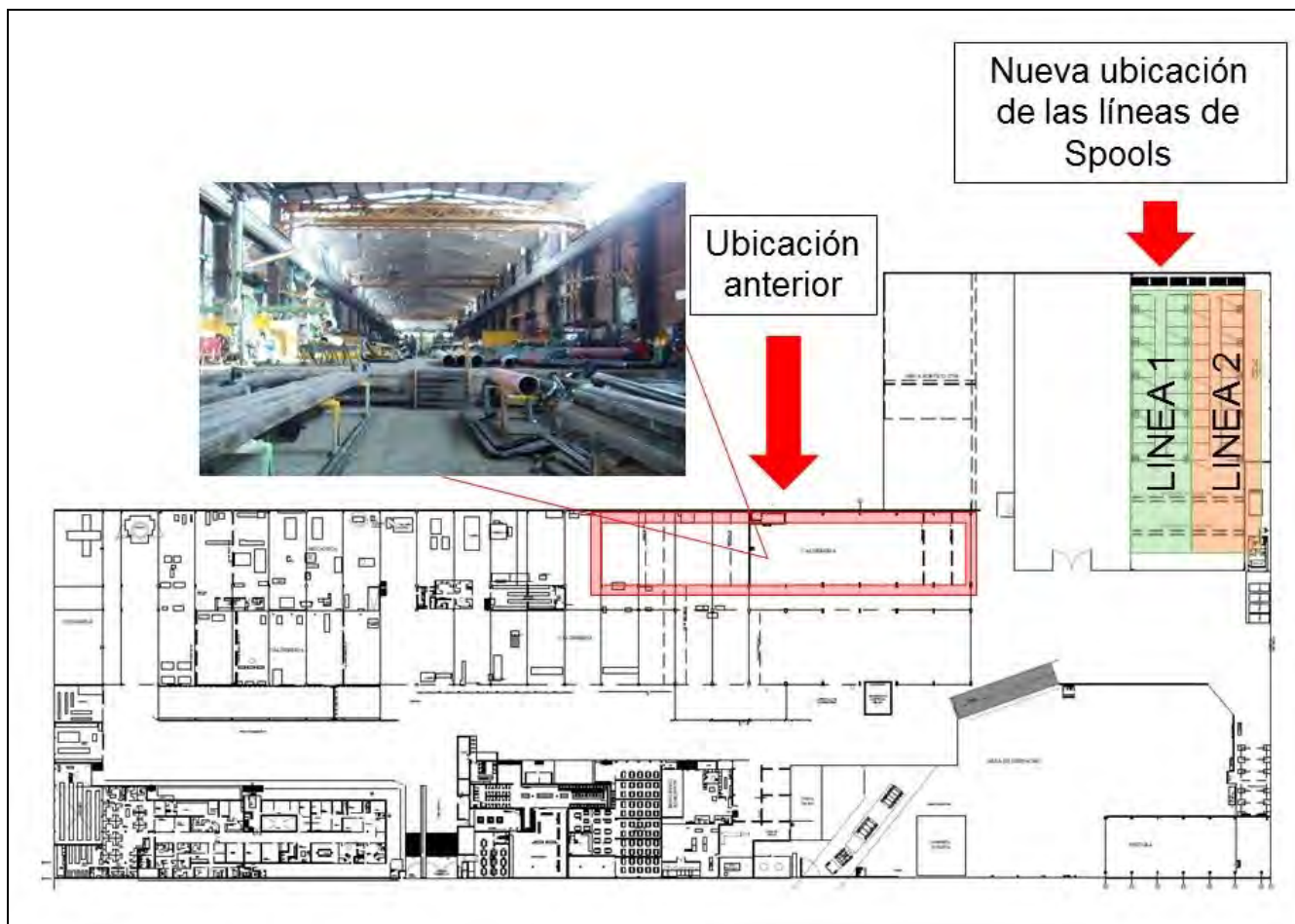
Nota: Orden de Trabajo con 279.5 de total de horas estimadas y con 5 secuencias de fabricación: 10.Mill (fresar), 20.Drill (taladrar), 25. Welding (Soldar), 30.Plating (Pintado), 40.Inspección y 50.Empacado.

Anexo VIII. Detalle de carga de trabajo en GRA y PIN (SEM 46)

				LUN	MAR	MIÉ	JUE	VIE	SAB	DOM	TOTAL L-V	Después	
HH programadas:				271	221	183	171	148	0	0	993	3798	
Work Center Load Detail - By Sequence Due Date (200)													
Fecha (dd/mm/yyyy)													
				Días de la semana									
WO - Sfx - Seq	Descripción	Secuencia	WorkCenter	Area	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total días 1-7	Después
007597-001-32000	BRAZO FIJAC.TAPA ABIERTA FSE25	GRANALLADO	GRA1	PIN	0.10	-	-	-	-	-	-	0.10	-
007597-001-33000	BRAZO FIJAC.TAPA ABIERTA FSE25	PINTURA BASE	PIN1	PIN	0.10	-	-	-	-	-	-	0.10	-
007597-001-34000	BRAZO FIJAC.TAPA ABIERTA FSE25	PINTURA ACABADO	PIN1	PIN	0.12	-	-	-	-	-	-	0.12	-
007597-003-25000	PALANCA D MEC.D CIERRE DE TAPA	GRANALLADO	GRA0	PIN	-	-	-	0.80	-	-	-	0.80	-
0075A6-001-36000	ADIC.MODIF.SELLOS C.DESC.1 Y 2	PASIVADO DE ELEMENTOS	PAS1	PIN	-	-	-	5.00	-	-	-	5.00	-
0075A7- -13000	ADIC.FAB.FIJADOR GATA HID.ENFR	GRANALLADO	GRA1	PIN	-	-	-	0.33	-	-	-	0.33	-
0075A7- -14000	ADIC.FAB.FIJADOR GATA HID.ENFR	PINTURA BASE + ACABADO	PIN0	PIN	-	-	-	0.40	-	-	-	0.40	-
0075A8- -5000	ADIC.MODIF.SOP.ENFRIAD.TASA	PINTURA RETOQUE	PIN1	PIN	0.50	-	-	-	-	-	-	0.50	-
015810-014-2000	CATALINA MOD.CTRL FRT8000 S/C	GRANALLADO	GRA1	PIN	2.33	-	-	-	-	-	-	2.33	-
015810-014-3000	CATALINA MOD.CTRL FRT8000 S/C	PINTURA BASE	PIN1	PIN	1.00	-	-	-	-	-	-	1.00	-
015810-088-7000	REFUERZO DE PISO ACC. DAMPER	GRANALLADO	GRA2	PIN	0.17	-	-	-	-	-	-	0.17	-
015810-088-8000	REFUERZO DE PISO ACC. DAMPER	PINTURA BASE + ACABADO	PIN5	PIN	0.17	-	-	-	-	-	-	0.17	-
015810-100-12000	ANG.BASE TEMP. JUNTA ROTATIVA	GRANALLADO	GRA1	PIN	-	-	-	-	0.85	-	-	0.85	-
015810-100-13000	ANG.BASE TEMP. JUNTA ROTATIVA	PINTURA	PIN1	PIN	-	-	-	-	0.85	-	-	0.85	-
015810-103-8000	CODO BRIDADO	GRANALLADO	GRA0	PIN	-	0.25	-	-	-	-	-	0.25	-
015810-103-9000	CODO BRIDADO	PINTURA	PIN4	PIN	-	0.25	-	-	-	-	-	0.25	-
015810-104-7000	TUBO CENTRAL	GRANALLADO	GRA1	PIN	-	0.17	-	-	-	-	-	0.17	-
015810-104-8000	TUBO CENTRAL	PINTURA	PIN4	PIN	-	0.17	-	-	-	-	-	0.17	-
015836- -2000	PRENSAESTOPA JUNTA ROT.COND.	GRANALLADO	GRA3	PIN	0.18	-	-	-	-	-	-	0.18	-
015836- -3000	PRENSAESTOPA JUNTA ROT.COND.	APLICAR BASE	PIN0	PIN	0.18	-	-	-	-	-	-	0.18	-
015837- -2000	CUBO CAJA PRENSAESTOPA JRV	GRANALLADO	GRA0	PIN	0.18	-	-	-	-	-	-	0.18	-
015837- -3000	CUBO CAJA PRENSAESTOPA JRV	APLICAR BASE	PIN1	PIN	0.18	-	-	-	-	-	-	0.18	-
020322-003-30000	ESCALERA DE GATO PLAT.CONDENS#	GRANALLADO	GRA2	PIN	-	-	2.70	-	-	-	-	2.70	-
020322-003-33000	ESCALERA DE GATO PLAT.CONDENS#	PINTURA BASE + ACABADO	PIN4	PIN	-	-	4.00	-	-	-	-	4.00	-
020322-004-30000	PLATAFORMAS DE CONDENSADOR	GRANALLADO	GRA2	PIN	9.50	-	-	-	-	-	-	9.50	-
020322-004-35000	PLATAFORMAS DE CONDENSADOR	PINTURA BASE + ACABADO	PIN2	PIN	8.70	3.30	-	-	-	-	-	12.00	-
020322-008-9000	PARRILLAS P/PLAT.CONDENSADOR	GRANALLADO DE PARRILLAS	GRA0	PIN	-	-	3.70	6.30	-	-	-	10.00	-
020322-008-10000	PARRILLAS P/PLAT.CONDENSADOR	PINTURA DE PARRILLAS	PIN2	PIN	-	-	-	11.92	5.08	-	-	17.00	-
020853-000-2000	ENS.PANEL MED.DIFER.FRT8000	RETOQUE PASIVADO	PAS1	PIN	-	-	0.17	-	-	-	-	0.17	-
020869- -2000	PRENSAESTOPA JUNTA ROT.COND.	GRANALLADO	GRA3	PIN	0.18	-	-	-	-	-	-	0.18	-
020869- -3000	PRENSAESTOPA JUNTA ROT.COND.	APLICAR BASE	PIN0	PIN	0.18	-	-	-	-	-	-	0.18	-
020881-000-3000	ADIC.TANQUE DESGACIFIC.FRT 800	GRANALLADO	GRA0	PIN	-	-	-	0.33	-	-	-	0.33	-
020881-000-4000	ADIC.TANQUE DESGACIFIC.FRT 800	PINTURA	PIN0	PIN	-	-	-	0.33	-	-	-	0.33	-
025313-003-9000	4133-0005-CB42-1-2	GRUPO GRANALLA SPOOL	GRA4	PIN	-	-	-	-	0.03	-	-	0.03	-
025313-003-10000	4133-0005-CB42-1-2	PINTURA	PI12	PIN	-	-	-	-	0.02	-	-	0.02	-
025313-015-10000	4133-0021-CB42-3-11	GRUPO GRANALLA SPOOL	GRA4	PIN	-	-	-	-	2.08	-	-	2.08	-

Fuente: Empresa de estudio

Anexo IX. Nueva ubicación de la línea de spools en la planta Nro. 2



Fuente: Empresa de estudio

Anexo X. Engineering BOM Cost Build-Up

Engineering BOM Cost Build-Up (Acumulado)

Parent/Com.	Description	COSTO TOTAL	MATERIAL	PESO (Kg)	LABOR	OVERHEAD	SERVICIOS TERCEROS	HRS	CANT.
RFQ 48243	Spool HDN-4501 . 6" MOD E	2 542 02	601 60	212 00	317 44	872 98	750 00	59 00	1
RFQ 116151002	BRAZO PALANC DER B DIAF 5" & 6"	443 04	175 00	70 00	73 53	194 51	0 00	14 00	1
RFQ 116150996	BRAZO PALANC IZQ B DIAF 5" & 6"	443 04	175 00	70 00	73 53	194 51	0 00	14 00	1
RFQ 116150863	BLOQUE REG DER B DIAF 5" & 6"	427 97	100 80	36 00	85 19	241 98	0 00	15 50	1
RFQ 116150855	BLOQUE REG IZQ B DIAF 5" & 6"	427 97	100 80	36 00	85 19	241 98	0 00	15 50	1
RFQ 48243 MOD	SERV FABRIC y REPARAC MODELOS	500 00	0 00	0 00	0 00	0 00	500 00	0 00	1
RFQ 48243 EMB	GASTOS EMB y FOB HASTA CALLAO	300 00	50 00	0 00	0 00	0 00	250 00	0 00	1

Breakout of Setup and Unit Cost

	Total	Setup Cost	Unit Cost
MATERIAL	601.60		
LABOR	317.44		
OVERHEAD	872.98		
SERVICIOS TERCEROS	750.00		
***TOTAL	2,542.02		

-- Quantity Estimates --

Labor	1.00	1.52	1.52	1.53	1.53	1.00
Material	1.00	1.13	1.05	1.05	1.05	1.34
Outside	1.00	1.13	1.05	1.05	1.05	1.34
	2,542.02	3,336.75	3,228.62	3,240.52	3,240.52	3,001.56

Fuente: Empresa de estudio

Anexo XI. Programa de producción

PROGRAMACION SEMANA 46 (DEL 09 AL 15 NOVIEMBRE)													
Area	SEC	Workt	SO	WO - Sfx - Seq	Descripción	09/11/20	10/11/20	11/11/20	12/11/20	13/11/20	14/11/20	15/11/20	Total Prog.
MEC	MEC	TR14	30057	005761-031-1000	SISTEMA DE RODADURA FIJA						1,58		1,58
MEC	MEC	CNC3	30057	005761-038-1000	ENSAMBLE RODILLO RADIAL					3,62			3,62
MEC	MEC	TR12	30057	005761-050-1000	SISTEMA DE RODADURA FLOTANTE							0,03	0,03
MEC	MEC	CNC3	30057	005761-052-1000	ENSAMBLE RODILLO RADIAL						3,60		3,60
MEC	MEC	CNC3	30057	005761-105-5000	FAB. NIPLES P' PURGA CHAQUETAS				1,00				1,00
MEC	MEC	TR14	30057	005763-006-6000	FAB. ANILLO LINTERNA						2,00		2,00
MEC	MEC	TLAR	30057	005765-001-4000	ENSAMBLE DE EJE HELICOIDAL				4,67				4,67
MEC	MEC	TR09	30203	020311-047-26000	VIGAS ADIC.NIVL 0@8.375 CON/CO	3,9	6,5333						10,43
MEC	MEC	CMH	30208	020811-011-8000	EJE CONDUCCION (INCLUYE SVT-UT)		11,95						11,95
MEC	MEC	TR09	30208	020811-079-6000	FAB. DISTANCIADOR 2					0,83			0,83
MEC	MEC	TR09	30208	020811-124-43000	SOPORT,BLOQUEAD SIST.TUB FSD60						2,10		2,10
MEC	MEC	HACH	30208	020811-126-6000	TAPA BOMBEAD LIN CONDENS FSD60					2,50			2,50
MEC	MEC	TLAR	30208	020812-010-8000	EJE MOTRIZ (INCLUYE SVT-UT)							1,60	1,60
MEC	MEC	HAME	30208	020812-011-7000	EJE CONDUCCION (INCLUYE SVT-UT)					9,60	7,40		17,00
MEC	MEC	CMH	30208	020812-011-8000	EJE CONDUCCION (INCLUYE SVT-UT)						7,32	1,20	8,52
MEC	MEC	TR09	30208	020812-024-5000	FAB.BRIDA"Q"DE 6"JUNTA JOHNSON					0,50			0,50
MEC	MEC	TR11	30208	020826-002-10000	FAB.CAJA PRENSAESTOPA JRC	6							6,00
MEC	MEC	TR12	30256	025643-003-13000	SOPORTES AH-410.07-600-K24-H	5,3							5,30
MEC	MEC	TLAR	30270	027011-011-5000	EJE CONDUCCION (INCLUYE SVT-UT)	9,0833							9,08
MEC	MEC	FRE2	30270	027011-096-7000	FAB.EJE CREMALLERA CON PIN				0,83				0,83
MEC	MEC	FRE5	30270	027011-096-8000	FAB.EJE CREMALLERA CON PIN	9,6							9,60
MEC	MEC	CEP4	30270	027011-102-4000	FAB. ACOPLAMIENTO	1,4999							1,50
MEC	MEC	TR15	30270	027011-102-5000	FAB. ACOPLAMIENTO	1,5							1,50
MEC	MEC	FRE5	30270	027011-110-8000	FAB. CHAVETA				1,00				1,00
MEC	MEC	TAC1	30270	027011-117-8000	MODIF.FUNDA DISCO FSD60					0,67			0,67
MEC	MEC	TR14	30270	027013-001-6000	PANEL MED.DIF.FSD					1,50			1,50
MEC	MEC	CNC3	30270	027013-005-4000	NIPLE DIAM.1/2"NPT MED.DIFER				0,33				0,33
MEC	MEC	TR09	30273	027302-007-5000	PG-3711103-10				0,50				0,50
MEC	MEC	TR09	30273	027302-016-5000	PG-3711103-3						2,00		2,00
MEC	MEC	TR09	30273	027302-018-4000	PG-3711103-12				0,50				0,50
MEC	MEC	TR11	30273	027303-022-5000	PG-3711004-2							0,49	0,49
MEC	MEC	TFUJ	30273	027304-005-4000	PG-3101004-12	0,0166							0,02
MEC	MEC	TR09	30273	027304-007-5000	PG-3711101-1						0,43		0,43
MEC	MEC	TFUJ	30273	027304-008-4000	PG-3711101-4	4,5999							4,60
MEC	MEC	TR15	30273	027304-008-5000	PG-3711101-4	0,8833							0,88

Fuente: Empresa de estudio

Anexo XII. Programa y aseguramiento de buffer SEM47 y 48

ASEGURAMIENTO DE BUFFER PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PROGRAMA DE LA PLEGADORA SEM 47 rev 0						
FECHA	PLAN SEMANAL	FECHA DE CORTE	BUFFER	Rev	Materiales	COMENTARIOS
VIERNES 15/11	0365P3-010-21000 - PANEL 1 C2-3240-ST-071USC 0365P3-011-30000 - PANEL 2 C2-3240-ST-071USC 0365P3-014-30000 - PANEL 7 C2-3240-ST-071USC 0365P3-015-18000 - PANEL 8 C2-3240-ST-071USC 0365P3-016-13000 - PANEL 11 C2-3240-ST-071USC 0365X5-003-29000 - SKIRT HOOD C2-3240-CV-031 0365V2-016-54000 - PART1-PANEL4 C2-3310-ST-096HDC 041529-015-49000 - ARM. DE CUERPO MED.1 041529-030-41000 - PUERTAS DE INSPECCION		05742E-019-6000 - FORRO INFER./R CAJA D.DR-24 05743E-018-6000 - FORRO TANK LATERAL CELD.18 DR 060106-003-12000 - TRANSICION #600 DUCTOS INTER 062101-017-13000 - CANAL Y SOPORTE INT. T.H 1B 062101-021-8000 - SOPORTE LADO INF. TH 1B 062101-022-6000 - BOCA DE DESCARGA TH 1B 062101-023-6000 - ASIENTOS DE CUBIERTA TH 1B 076710-014-6000 - FAB.PALETAS DE AVANCE FSD 30 076710-026-11000 - FAB. BASE 076710-057-25000 - FAB. CAMARA DE VAHOS 076710-063-6000 - BOCA DE DESCARGA			
SABADO 16/11	05742E-019-6000 - FORRO INFER./R CAJA D.DR-24 05743E-018-6000 - FORRO TANK LATERAL CELD.18 DR 060106-003-12000 - TRANSICION #600 DUCTOS INTER 062101-017-13000 - CANAL Y SOPORTE INT. T.H 1B 062101-021-8000 - SOPORTE LADO INF. TH 1B 062101-022-6000 - BOCA DE DESCARGA TH 1B 062101-023-6000 - ASIENTOS DE CUBIERTA TH 1B 076710-014-6000 - FAB.PALETAS DE AVANCE FSD 30 076710-026-11000 - FAB. BASE 076710-057-25000 - FAB. CAMARA DE VAHOS 076710-063-6000 - BOCA DE DESCARGA		0365P3-012-18000 - PANEL 3 C2-3240-ST-071USC 0365Q3-002-25000 - BOTTOM DRA. C2-3240-ST-072USC 0365Q3-011-30000 - PANEL 2 C2-3240-ST-072USC 0365Q3-013-19000 - PANEL 6 C2-3240-ST-072USC 0365Q3-014-30000 - PANEL 7 C2-3240-ST-072USC 0365Q3-016-13000 - PANEL 11 C2-3240-ST-072USC 058538-009-22000 - PLATAFORMA TH2 LADO CONDUCCIDO 041529-015-49000 - ARM. DE CUERPO AVANCE 062104-024-4000 - SOPORTES DE CLAMP TH 3A 062106-023-5000 - ASIENTOS DE CUBIERTA TH 3B 062106-024-4000 - SOPORTES DE CLAMP TH 3B 062109-003-7000 - FAB.CANALETAS TH 8A Ø12" 062109-024-8000 - ASIENTO DE CUBIERTA TH 8A 062111-024-8000 - ASIENTO DE CUBIERTA TH 8B 700042-079-7000 - FAB. BASE CAJA ENGRANAJE 700042-100-6000 - BRACKETS PASARELA SERVICIO FSD 700042-106-33000 - SOPORT. BLOQUEAD SIST. TUB FSD60			
DOMINGO 17/11						
LUNES 18/11	0365P3-012-18000 - PANEL 3 C2-3240-ST-071USC 0365Q3-002-25000 - BOTTOM DRA. C2-3240-ST-072USC 0365Q3-011-30000 - PANEL 2 C2-3240-ST-072USC 0365Q3-013-19000 - PANEL 6 C2-3240-ST-072USC 0365Q3-014-30000 - PANEL 7 C2-3240-ST-072USC 0365Q3-016-13000 - PANEL 11 C2-3240-ST-072USC 058538-009-22000 - PLATAFORMA TH2 LADO CONDUCCIDO 041529-015-49000 - ARM. DE CUERPO AVANCE 062104-024-4000 - SOPORTES DE CLAMP TH 3A 062106-023-5000 - ASIENTOS DE CUBIERTA TH 3B 062106-024-4000 - SOPORTES DE CLAMP TH 3B 062109-003-7000 - FAB.CANALETAS TH 8A Ø12" 062109-024-8000 - ASIENTO DE CUBIERTA TH 8A 062111-024-8000 - ASIENTO DE CUBIERTA TH 8B 700042-079-7000 - FAB. BASE CAJA ENGRANAJE 700042-100-6000 - BRACKETS PASARELA SERVICIO FSD 700042-106-33000 - SOPORT. BLOQUEAD SIST. TUB FSD60		0365M5-001-8000 - PANEL&SKIRTS C2-3230-CV-050 0365O5-002-12000 - SKIRT HOOD C2-3230-CV-051 0365P5-002-25000 - BOTTOM DRA. C2-3240-ST-071USC 0365S1-004-20000 - PANEL 7 C2-3240-ST-0640SC 0365S1-010-36000 - PANEL 2 C2-3240-ST-0640SC 0365S1-016-18000 - CLAMP B+SOP. C2-3240-ST-0640SC 0365S2-016-13000 - PANEL 11 C2-3240-ST-074USC 041529-015-49000 - ARM. DE CUERPO AVANCE 062104-024-4000 - SOPORTES DE CLAMP TH 3A 062106-023-5000 - ASIENTOS DE CUBIERTA TH 3B 062106-024-4000 - SOPORTES DE CLAMP TH 3B 062109-003-7000 - FAB.CANALETAS TH 8A Ø12" 062109-024-8000 - ASIENTO DE CUBIERTA TH 8A 062111-024-8000 - ASIENTO DE CUBIERTA TH 8B 700042-079-7000 - FAB. BASE CAJA ENGRANAJE 700042-100-6000 - BRACKETS PASARELA SERVICIO FSD 700042-106-33000 - SOPORT. BLOQUEAD SIST. TUB FSD60			
MARTES 19/11	0365M5-001-8000 - PANEL&SKIRTS C2-3230-CV-050 0365O5-002-12000 - SKIRT HOOD C2-3230-CV-051 0365P5-002-25000 - BOTTOM DRA. C2-3240-ST-071USC 0365S1-004-20000 - PANEL 7 C2-3240-ST-0640SC 0365S1-010-36000 - PANEL 2 C2-3240-ST-0640SC 0365S1-016-18000 - CLAMP B+SOP. C2-3240-ST-0640SC 0365S2-016-13000 - PANEL 11 C2-3240-ST-074USC 041529-015-49000 - ARM. DE CUERPO AVANCE 041529-028-42000 - ARM. DE CUERPO INF. 2 045152-011-6000 - FAB. TRUNNION Ø 8 TIPO H 045152-013-6000 - FAB. TRUNNION Ø 12 TIPO H 058530-001-18000 - FAB. CHUTE14 INTERC. SEC FSD TH7 058531-002-8000 - BOCA DESCARGA ADICC TH4 058539-019-7000 - BOCA ALIMENTACION PLATAF TH 10 060181-003-37000 - ESCALERA 1 PLATAF TIPO1 CICLON 062101-014-14000 - TAPA LATERAL L/MOTRIZ TH 1B 062104-002-7000 - FAB.CANALETAS TH 3A Ø14"x10" 062109-003-7000 - FAB.CANALETAS TH 8A Ø12" 062111-003-7000 - FAB.CANALETAS TH 8B 062114-003-6000 - FAB.CANALETAS TH 9 Ø20" 062114-022-7000 - ASIENTOS DE CUBIERTA TH 9 076710-059-20000 - BOCA DE ALIMENTACION 700042-047-8000 - FAB. DE GRAPAS 700042-090-5000 - FAB. ADAPTADOR BASE REDUCTOR		0365M6-005-17000 - PANELA-C SUP. C2-3230-ST-215HDC 0365O5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-051 0365P5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-052 0365P6-005-17000 - PANELA-C SUP. C2-3230-ST-217HDC 0365R5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-053 0365R3-012-18000 - PANEL 8 C2-3240-ST-073USC 0365R3-015-18000 - PANEL 8 C2-3240-ST-073USC 0365S1-009-38000 - PANEL 1 C2-3240-ST-0640SC 0365X1-004-13000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-017 0365X5-004-13000 - BACKING&COVER C2-3240-CV-031 051412-006-6000 - BAFLE 1200-TK-008 057717-015-8200 - SOPORTES CLAMP THØ18" 058535-004-22000 - ESCALERA TH 3 060140-002-15000 - MEDIDOR DE PRESION SEC AUSTRAL 062108-030-7000 - ASIENTO DE CUBIERTA TH 5 076710-015-9000 - FAB.PALETAS ALIMEN+DESCAR FSD30 700042-029-20000 - TAPA INSPECCION BOCA DESCARGA 700042-122-5000 - SOP. PANEL MEDID. DIFER. FSD60			
MIERCOLES 20/11	0365M6-005-17000 - PANELA-C SUP. C2-3230-ST-215HDC 0365O5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-051 0365P5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-052 0365P6-005-17000 - PANELA-C SUP. C2-3230-ST-217HDC 0365R5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-053 0365R3-012-18000 - PANEL 8 C2-3240-ST-073USC 0365R3-015-18000 - PANEL 8 C2-3240-ST-073USC 0365S1-009-38000 - PANEL 1 C2-3240-ST-0640SC 0365X1-004-13000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-017 0365X5-004-13000 - BACKING&COVER C2-3240-CV-031 051412-006-6000 - BAFLE 1200-TK-008 057717-015-8200 - SOPORTES CLAMP THØ18" 058535-004-22000 - ESCALERA TH 3 060140-002-15000 - MEDIDOR DE PRESION SEC AUSTRAL 062108-030-7000 - ASIENTO DE CUBIERTA TH 5 076710-015-9000 - FAB.PALETAS ALIMEN+DESCAR FSD30 700042-029-20000 - TAPA INSPECCION BOCA DESCARGA 700042-122-5000 - SOP. PANEL MEDID. DIFER. FSD60		0365M6-005-17000 - PANELA-C SUP. C2-3230-ST-215HDC 0365O5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-051 0365P5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-052 0365P6-005-17000 - PANELA-C SUP. C2-3230-ST-217HDC 0365R5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-053 0365R3-012-18000 - PANEL 8 C2-3240-ST-073USC 0365R3-015-18000 - PANEL 8 C2-3240-ST-073USC 0365S1-009-38000 - PANEL 1 C2-3240-ST-0640SC 0365X1-004-13000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-017 0365X5-004-13000 - BACKING&COVER C2-3240-CV-031 051412-006-6000 - BAFLE 1200-TK-008 057717-015-8200 - SOPORTES CLAMP THØ18" 058535-004-22000 - ESCALERA TH 3 060140-002-15000 - MEDIDOR DE PRESION SEC AUSTRAL 062108-030-7000 - ASIENTO DE CUBIERTA TH 5 076710-015-9000 - FAB.PALETAS ALIMEN+DESCAR FSD30 700042-029-20000 - TAPA INSPECCION BOCA DESCARGA 700042-122-5000 - SOP. PANEL MEDID. DIFER. FSD60			
JUEVES 21/11	0365M5-002-12000 - SKIRT HOOD C2-3230-CV-050 0365O5-004-15000 - RETAIN&CLAMP C2-3230-CV-050 0365P6-006-44000 - PANELS-C SUP. C2-3230-ST-217HDC 0365P6-011-22000 - C.INFERIOR C2-3230-ST-217HDC 0365R5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-054 041528-003-43000 - ARM. DE CUERPO SUP. 1 041529-007-41000 - ARM. DE CUERPO SUP. 2 041529-007-41000 - PUERTAS DE INSPECCION 041584-003-7000 - CONEXION 1 - 330-STP-0115 058537-015-10000 - REGISTRO 062104-023-5000 - ASIENTOS DE CUBIERTA TH 3A 062104-025-13000 - CUBIERTAS PLANAS TH 3A 062106-002-7000 - FAB.CANALETAS TH 3B 062106-025-13000 - CUBIERTAS PLANAS TH 3B 062108-003-6000 - FAB.CANALETAS TH 5 062108-028-18000 - CUBIERTAS PLANAS TH 5 062114-023-9000 - CUBIERTA PLANA TH9		0365K2-013-22000 - PANEL12 C2-3110-ST-001 0365K2-014-22000 - PANEL13 C2-3110-ST-001 0365M5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-050 0365P6-006-44000 - PANELS-C SUP. C2-3230-ST-217HDC 0365R1-002-22000 - PANEL 5 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-003-22000 - PANEL 6 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-004-20000 - PANEL 7 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-005-38000 - PANEL 7 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-010-36000 - PANEL 2 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-016-18000 - CLAMP B+SOP. C2-3240-ST-0630SC 0365S1-002-22000 - PANEL 5 C2-3240-ST-0640SC 0365S1-006-21000 - LOWER PART C2-3240-ST-0640SC 0365S2-002-25000 - BOTTOM DRA. C2-3240-ST-074USC			

ASEGURAMIENTO DE BUFFER PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PROGRAMA DE LA PLEGADORA SEM 48								REV 0
FECHA	PLAN SEMANAL	FECHA DE CORTE	BUFFER	Prog	Rev	Materiales	COMENTARIOS	
VIERNES 22/10/13	0365K2-013-22000 - PANEL12 C2-3110-ST-001 0365K2-014-22000 - PANEL13 C2-3110-ST-001 0365M5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-050 0365P6-004-13000 - PANEL3-C.SUP.C2-3230-ST-217HDC 0365R1-002-22000 - PANEL 5 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-003-22000 - PANEL 6 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-004-20000 - PANEL 7 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-009-38000 - PANEL 1 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-010-36000 - PANEL 2 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-016-18000 - CLAMP B+SOP.C2-3240-ST-0630SC 0365S1-002-22000 - PANEL 5 C2-3240-ST-0640SC 0365S1-006-21000 - LOWER PART C2-3240-ST-0640SC 0365S2-002-25000 - BOTTOM DRA.C2-3240-ST-0740SC		0365K2-013-22000 - PANEL12 C2-3110-ST-001 0365K2-014-22000 - PANEL13 C2-3110-ST-001 0365M5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-050 0365P6-004-13000 - PANEL3-C.SUP.C2-3230-ST-217HDC 0365R1-002-22000 - PANEL 5 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-003-22000 - PANEL 6 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-004-20000 - PANEL 7 C2-3240-ST-0630SC					
SABADO 23/10/13	0365K2-013-22000 - PANEL12 C2-3110-ST-001 0365K2-014-22000 - PANEL13 C2-3110-ST-001 0365M5-003-9000 - BACKING&COVER C2-3230-CV-050 0365P6-004-13000 - PANEL3-C.SUP.C2-3230-ST-217HDC 0365R1-002-22000 - PANEL 5 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-003-22000 - PANEL 6 C2-3240-ST-0630SC 0365R1-004-20000 - PANEL 7 C2-3240-ST-0630SC		0365M6-009-14000 - PANEL8-C.SUP.C2-3230-ST-215HDC 0365M6-010-12000 - PANEL9-C.SUP.C2-3230-ST-215HDC 0365W5-002-12000 - SKIRT HOOD C2-3230-CV-057 0365W5-004-15000 - RETAIN&CLAMP C2-3230-CV-057 0365Y3-004-51000 - PANE2Y3 C.I. C2-3310-ST-096 041529-017-125000 - ARM. DE CUERPO MED. 3 058523-003-16000 - BRACKET + COLUMNNA-DIAGONAL 058538-004-27000 - ESCALERA PARTE 1-2 LADO MOTRIZ 0586A1-005-9000 - EMPALME TH 3A, 4A 062101-003-6000 - FAB.CANALETAS TH 1B 700044-001-21000 - SISTEMA DE TRANSMISIÓN T.HEL.					
DOMINGO 24/10/13								
LUNES 25/10/13	0365M6-009-14000 - PANEL8-C.SUP.C2-3230-ST-215HDC 0365M6-010-12000 - PANEL9-C.SUP.C2-3230-ST-215HDC 0365W5-002-12000 - SKIRT HOOD C2-3230-CV-057 0365W5-004-15000 - RETAIN&CLAMP C2-3230-CV-057 0365Y3-004-51000 - PANE2Y3 C.I. C2-3310-ST-096 041529-017-125000 - ARM. DE CUERPO MED. 3 058523-003-16000 - BRACKET + COLUMNNA-DIAGONAL 058538-004-27000 - ESCALERA PARTE 1-2 LADO MOTRIZ 0586A1-005-9000 - EMPALME TH 3A, 4A 062101-003-6000 - FAB.CANALETAS TH 1B 700044-001-21000 - SISTEMA DE TRANSMISIÓN T.HEL.		0365V5-001-8000 - PANEL&SKIRTS C2-3230-CV-056 0365X5-005-19000 - RETAIN&CLAMP C2-3240-CV-031 0365Y3-005-41000 - PANEL4 C.I. C2-3310-ST-096 0365ZD-001-29000 - PANEL1 C.I. C2-3310-ST-106-TR 0365ZD-003-29000 - PANE 3YS C.I. C2-3310-ST-106-TR 053903-003-28000 - PANEL3 TAG:3212-CH-059 053903-005-27000 - PANEL5 TAG:3212-CH-059 053903-006-27000 - PANEL6 TAG:3212-CH-059 053903-007-27000 - PANEL7 TAG:3212-CH-059 053903-007-29000 - PANEL7 TAG:3212-CH-059 053905-001-16000 - PANEL1 TAG:3211-CH-010 053905-002-29000 - PANEL2 TAG:3211-CH-010 058536-011-73000 - ESCALERAS PLATAF MOLINOS 058538-004-27000 - ESCALERA PARTE 1-2 LADO MOTRIZ 060145-002-15000 - MEDIDOR DE PRESIÓN SEC AUSTRAL 060182-003-44000 - ESCALERA 2 PLATAF TIPO2 CICLON 07741R- -6000 - JG GRAMPA ESP..INOX.CELD DR300					
MARTES 26/10/13	0365V5-001-8000 - PANEL&SKIRTS C2-3230-CV-056 0365X5-005-19000 - RETAIN&CLAMP C2-3240-CV-031 0365Y3-005-41000 - PANEL4 C.I. C2-3310-ST-096 0365ZD-001-29000 - PANEL1 C.I. C2-3310-ST-106-TR 0365ZD-003-29000 - PANE 3YS C.I. C2-3310-ST-106-TR 053903-003-28000 - PANEL3 TAG:3212-CH-059 053903-005-27000 - PANEL5 TAG:3212-CH-059 053903-006-27000 - PANEL6 TAG:3212-CH-059 053903-007-27000 - PANEL7 TAG:3212-CH-059 053903-007-29000 - PANEL7 TAG:3212-CH-059 053905-001-16000 - PANEL1 TAG:3211-CH-010 053905-002-29000 - PANEL2 TAG:3211-CH-010 058536-011-73000 - ESCALERAS PLATAF MOLINOS 058538-004-27000 - ESCALERA PARTE 1-2 LADO MOTRIZ 060145-002-15000 - MEDIDOR DE PRESIÓN SEC AUSTRAL 060182-003-44000 - ESCALERA 2 PLATAF TIPO2 CICLON 07741R- -6000 - JG GRAMPA ESP..INOX.CELD DR300		0365P5-002-12000 - SKIRT HOOD C2-3230-CV-052 0365P5-004-15000 - RETAIN&CLAMP C2-3230-CV-052 0365Q5-002-12000 - SKIRT HOOD C2-3230-CV-053 0365X2-005-24000 - RETAIN&CLAMP C2-3230-CV-027SK 041529-006-55000 - ARM. DE CUERPO SUP.4 045152-008-7000 - FAB. TRUNNION Ø 2 TIPO H 053905-003-28000 - PANEL3 TAG:3211-CH-010 053905-004-27000 - PANEL4 TAG:3211-CH-010 053905-005-27000 - PANEL5 TAG:3211-CH-010 053905-006-27000 - PANEL6 TAG:3211-CH-010 058536-011-73000 - ESCALERAS PLATAF MOLINOS					
MIÉRCOLES 27/10/13	0365P5-002-12000 - SKIRT HOOD C2-3230-CV-052 0365P5-004-15000 - RETAIN&CLAMP C2-3230-CV-052 0365Q5-002-12000 - SKIRT HOOD C2-3230-CV-053 0365X2-005-24000 - RETAIN&CLAMP C2-3230-CV-027SK 041529-006-55000 - ARM. DE CUERPO SUP.4 045152-008-7000 - FAB. TRUNNION Ø 2 TIPO H 053905-003-28000 - PANEL3 TAG:3211-CH-010 053905-004-27000 - PANEL4 TAG:3211-CH-010 053905-005-27000 - PANEL5 TAG:3211-CH-010 053905-006-27000 - PANEL6 TAG:3211-CH-010 058536-011-73000 - ESCALERAS PLATAF MOLINOS		0365M6-006-44000 - PANEL5-C.SUP.C2-3230-ST-215HDC 0365M6-007-44000 - PANEL6-C.SUP.C2-3230-ST-215HDC 0365P6-007-44000 - PANEL6-C.SUP.C2-3230-ST-217HDC 0365Q5-004-15000 - RETAIN&CLAMP C2-3230-CV-053 0365S5-001-8000 - PANEL&SKIRTS C2-3230-CV-055 0365W5-001-8000 - PANEL&SKIRTS C2-3230-CV-057 045154-007-7000 - FAB. TRUNNION Ø 8 TIPO H 053902-002-29000 - PANEL2 TAG:3212-CH-057 060120-002-15000 - MEDIDOR DE PRESIÓN SEC AUSTRAL					
JUEVES 28/10/13	0365M6-006-44000 - PANEL5-C.SUP.C2-3230-ST-215HDC 0365M6-007-44000 - PANEL6-C.SUP.C2-3230-ST-215HDC 0365P6-007-44000 - PANEL6-C.SUP.C2-3230-ST-217HDC 0365Q5-004-15000 - RETAIN&CLAMP C2-3230-CV-053 0365S5-001-8000 - PANEL&SKIRTS C2-3230-CV-055 0365W5-001-8000 - PANEL&SKIRTS C2-3230-CV-057 045154-007-7000 - FAB. TRUNNION Ø 8 TIPO H 053902-002-29000 - PANEL2 TAG:3212-CH-057 060120-002-15000 - MEDIDOR DE PRESIÓN SEC AUSTRAL							

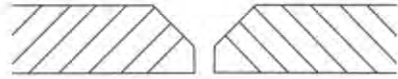
Fuente: Empresa de estudio

Anexo XIII. Soldadura STT para procesos de raíz abierta

UN VISTAZO MÁS DE CERCA

Usando STT® para soldadura de raíz abierta

Se usa la soldadura de raíz abierta para tubería y soldadura de placa de un solo lado en situaciones que impiden la soldadura en ambos lados del material. Este tipo de soldadura es común en las industrias petroquímica y de tubería de proceso.



Ventajas de la STT® de raíz abierta

- **Control de la penetración**
 - Proporciona un paso confiable de raíz y un cordón completo. Asegura una excelente fusión de las paredes laterales.
- **Reducción de costos**
 - Utiliza 100% CO₂, el gas de menor costo, para la soldadura de acero al carbono.
- **Flexibilidad**
 - Proporciona la capacidad de soldar acero inoxidable, aleaciones de níquel, y aceros dulces o de alta resistencia sin comprometer la calidad de la soldadura.
 - Capacidad para soldar fuera de posición.
- **Baja entrada de calor**
 - Reduce la perforación y la distorsión.
- **Depósito de metal soldado con bajo hidrógeno**
- **Velocidad**
 - Soldaduras de raíz abierta de alta calidad a mayor velocidad de desplazamiento que la GTAW.
- **Control de corriente independiente de la velocidad de alimentación de alambre**
 - Permite al operador que controle la entrada de calor al charco de soldadura.
- **Facilidad de uso por el operador**
 - Un proceso más fácil que la soldadura convencional de transferencia de corto circuito con máquinas CV.



Paso de raíz abierta con electrodo de varilla

Soldadura con electrodos revestidos celulósicos proporciona buenas características de fusión, pero deja profundas huellas (necesitando más trabajo de esmerlado), un cordón muy convexo de raíz, y un depósito alto en hidrógeno.



El paso de raíz abierta con STT® proporciona un espesor de ligamento de soldadura de aproximadamente 0.22 in.

Note estas ventajas:

- Superior perfil de soldadura (sin huellas)
- Ligera convexión de la soldadura de raíz
- Bajo depósito de hidrógeno

STT® Aplicación de raíz abierta



Dentro de una tubería de pared de 8 pulg. x 37.5 pulg. API 5L X52, soldado en posición 5G.

Comparando la STT® con los procesos convencionales: Ventajas de STT® reemplazando la GMAW de arco corto:

- Reduce significativamente la falta de fusión
- Buen control de charco
- Capacidad para producir soldaduras de calidad consistente de rayos X
- Reducido tiempo de capacitación
- Menor generación de emanaciones y salpicaduras
- Puede usar diversas composiciones de gas de protección
- 100% CO₂ (en acero dulce)

Ventajas de la STT® reemplazando a la GTAW:

- Cuatro veces más rápida que la GTAW
- Soldadura vertical descendente
- Reducido tiempo de capacitación
- Puede usar diversas composiciones de gas de protección
- 100% CO₂ (en acero dulce)
- Suelda acero inoxidable, aleaciones de níquel y acero dulce
- Soldaduras de calidad consistente de rayos X

Cuando usar STT®

STT® es el proceso de elección para soldaduras de baja entrada de calor.

STT® también es ideal para:

- Raíz abierta – tubería y placa
- Material de bajo calibre – automotriz
- Acero inoxidable y aleación de níquel – industrias petroquímica, servicios públicos y de alimentos
- Bronce al silicio - automotriz
- Acero galvanizado
- Aplicaciones semiautomáticas y robóticas

Invertec® STT® II | [3]

LINCOLN
ELECTRIC
THE WELDING EXPERTS®