



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Reducción de los tiempos de cambios de moldes en una línea
de producción de tuberías plásticas mediante la aplicación de
la metodología SMED”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Presentada por:

Carlos Gabriel Sarango Bustos

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2021

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi familia por todo el apoyo en cada decisión y proyecto de mi vida, a mis amigos y compañeros de la planta por compartirme sus conocimientos, a mi tutora del proyecto, la Ph.D. María Denise Rodríguez y a todas las personas que colaboraron de una u otra forma en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Este trabajo está
dedicado a mi hija
Domenica, mi pequeña
artista a quien amo
infinitamente.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

**Maria Rodriguez Z., Ph.D.
DIRECTOR DE PROYECTO**

**Maria Retamales G., MSc.
VOCAL**

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

Carlos Gabriel Sarango Bustos

RESUMEN

El presente proyecto se desarrolla en una empresa líder en la fabricación de tuberías, accesorios y tanques plásticos para la conducción de fluidos a presión y gravedad, situada en la ciudad de Durán. Los principales procesos de producción son extrusión para tuberías de PVC, polietileno y polipropileno; inyección para accesorios de PVC y polipropileno; y rotomoldeo para tanques de polietileno.

El proyecto se encuentra enfocado en el proceso de extrusión de tuberías de PVC de pared estructurada para conducción de fluidos a gravedad y consistió en un estudio para reducir los tiempos de cambios de moldes mediante la aplicación de la metodología SMED (Single Minute Exchange of Die).

El objetivo del proyecto es reducir los tiempos de cambios de moldes en una línea de tubería plástica de pared estructurada XT43 mediante la aplicación de la metodología SMED.

Se inicia el proyecto con una descripción general del proceso productivo para la fabricación de tuberías plásticas de pared estructurada y la situación actual del proceso de cambios de moldes, se realiza un levantamiento de información mediante la grabación de un video, análisis de datos históricos, toma de tiempos y entrevistas con personal de taller de moldes. Se procedió a clasificar las actividades internas, externas y desperdicios de los cambios de moldes para luego establecer una clasificación de actividades ideal.

Posteriormente se realiza un focus group con personal de taller de moldes y directivos de la empresa, se procede a conformar el equipo de proyecto SMED y a realizar un project charter con su respectivo plan de acción para la implementación de las mejoras acordadas. Se procede a exteriorizar las actividades internas para luego continuar con la optimización de las actividades internas y externas del proceso y finalmente estandarizar los nuevos procedimientos.

En su mayoría, las acciones tomadas fueron direccionadas a la preparación previa del molde entrante al proceso productivo, es decir realizar el ensamble del molde con antelación al paro de la línea de producción. Esta preparación previa fue posible dado que el molde consta de varios elementos que se ensamblan con pernos formando un bloque que luego puede ser transportado a la línea de producción en un solo cuerpo.

Luego de la implementación de las mejoras se procede a realizar una evaluación de resultados, realizando un montaje de molde de iguales características al analizado en el proceso de levantamiento de información. Se pudo observar que existe una reducción significativa del 50,31% del tiempo empleado en el cambio de molde.

Finalmente se realizó el análisis costo-beneficio donde se determina que las mejoras realizadas son justificables y reportan beneficios y ahorros para la empresa.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Descripción del proceso.....	2
1.3 Definición del problema.....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Descripción de la metodología.....	6
CAPÍTULO 2	
2. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	8
2.1 Estructura organizacional.....	8
2.2 Descripción de las actividades de cambios de moldes.....	8
2.3 Análisis de actividades y tiempos de cambios de moldes.....	17
2.4 Identificación de actividades internas, externas y desperdicios.....	18
CAPÍTULO 3	
3. IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA SMED.....	22
3.1 Conversión de actividades internas en externas.....	22
3.1.1 Orden y limpieza de perchas de herramientas.....	25
3.1.2 Limpieza y trabajos de pintura en taller de moldes.....	25
3.1.3 Tablero informativo con programas de producción.....	26
3.1.4 Elaboración de tablero y adquisición de carro móvil para herramientas.....	26
3.1.5 Distribución de funciones del personal de moldes.....	28
3.1.6 Programa de capacitación al personal.....	28
3.1.7 Construcción de banco de pruebas para moldes.....	30
3.2 Optimización de actividades internas.....	31
3.3 Estandarización y elaboración de formatos.....	33
CAPÍTULO 4	
4. RESULTADOS.....	36
4.1 Medición y evaluación de las mejoras.....	36
4.2 Análisis costo – beneficio.....	38
CAPÍTULO 5	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
5.1 Conclusiones.....	41

5.2 Recomendaciones..... 42

BIBLIOGRAFÍA
ANEXOS

ABREVIATURAS

SMED	Single Minute Exchange of Die
PVC	Poli cloruro de Vinilo
OEE	Overall Equipment Effectiveness
EVA	Etilvinilacetato
RQ	Requerimiento de trabajo
VAN	Valor actual neto
TIR	Tasa interna de retorno
TMAR	Tasa mínima atractiva de retorno

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
mm	Milímetro
°C	Grados centígrados
HH: MM: SS	Hora: Minuto: Segundo
\$	Dólares

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Esquema de torre de mezclas..... 2
Figura 1.2	Esquema de una extrusora..... 3
Figura 1.3	Recorrido de material fundido por el molde..... 3
Figura 1.4	Esquema de una línea de producción de tubería plástica..... 4
Figura 1.5	Metodología del proyecto..... 7
Figura 2.1	Organigrama del taller de moldes de extrusión..... 8
Figura 2.2	Diagrama de actividades conjuntas..... 9
Figura 2.3	Esquema de componentes de un molde de pared estructurada... 10
Figura 2.4	Esquema de un molde de pared estructurada ensamblado.....10
Figura 2.5	Desmontaje de mandril del molde..... 11
Figura 2.6	Aflojar pernos de hembra final-intermedia-inicial..... 11
Figura 2.7	Desconexiones eléctricas y retiro de fajas calentadoras..... 11
Figura 2.8	Aflojar pernos del adaptador y brida principal..... 12
Figura 2.9	Desmontaje y limpieza del molde..... 12
Figura 2.10	Armado de molde y traslado al taller..... 12
Figura 2.11	Herramientas y componentes del molde..... 13
Figura 2.12	Conexiones eléctricas de zonas de calentamiento..... 13
Figura 2.13	Acople de araña con macho del molde..... 13
Figura 2.14	Pasar cable por orificios de araña del molde..... 14
Figura 2.15	Acople flauta y distribuidor del molde..... 14
Figura 2.16	Acople de cono con tuerca punta del cono..... 14
Figura 2.17	Inspección del molde y medición de nivel de cromo..... 15
Figura 2.18	Acople hembra final con brida del molde..... 15
Figura 2.19	Acople hembra final con macho del molde..... 15
Figura 2.20	Acople de hembra inicial con hembra final del molde.....16
Figura 2.21	Acople de boquilla con macho del molde..... 16
Figura 2.22	Montaje de molde en extrusora..... 16
Figura 2.23	Conexiones eléctricas y calentamiento del molde..... 17
Figura 2.24	Clasificación actual de actividades de cambios de moldes..... 19
Figura 2.25	Clasificación ideal de actividades de cambios de moldes.....20
Figura 3.1	Focus group con personal de moldes de extrusión..... 22
Figura 3.2	Equipo de proyecto SMED..... 23
Figura 3.3	Project charter..... 24
Figura 3.4	Orden y clasificación de herramientas de moldes..... 25
Figura 3.5	Trabajos de limpieza y pintura en taller de moldes.....25
Figura 3.6	Tablero informativo de taller de moldes..... 26
Figura 3.7	Tablero de herramientas de moldes..... 27
Figura 3.8	Carro móvil para transporte de herramientas..... 27
Figura 3.9	Nuevo organigrama del taller de moldes..... 28
Figura 3.10	Perfil de personal técnico de moldes de extrusión.....29
Figura 3.11	Programa de capacitación..... 30
Figura 3.12	Capacitación de metodología SMED.....30
Figura 3.13	Banco de pruebas de moldes pared estructurada..... 31
Figura 3.14	Parte 1 de nueva boquilla..... 32
Figura 3.15	Parte 2 de nueva boquilla..... 32

Figura 3.16	Parte 3 de nueva boquilla.....	33
Figura 3.17	Formato de inspección de banco de pruebas.....	34
Figura 3.18	Formato de prueba de moldes.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Horas de paro por cambio de moldes año 2020..... 5
Tabla 2	Tiempos de cambios de moldes..... 18
Tabla 3	Tiempos de cambios de moldes con mejoras..... 37
Tabla 4	Comparativo entre tiempos de cambios de moldes..... 37
Tabla 5	Costo hora – hombre..... 38
Tabla 6	Costos por hora de producción..... 39
Tabla 7	Ahorro mensualizado por reducción de tiempos en cambios..... 39
Tabla 8	Costos de capacitación..... 40
Tabla 9	Otros costos de implementación..... 40
Tabla 10	Evaluación financiera..... 40

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

En sus inicios el mercado de las tuberías para conducción de fluidos a gravedad como aguas residuales, sanitarios, aguas negras y agua con desechos industriales estuvo dominado por materiales como el acero y el concreto, y no ha sido hasta finales de la década del 80 donde la tubería plástica de pared estructurada comenzó a tener acogida.

En América Latina actualmente el proceso de extrusión de plásticos es el preferido al momento de fabricar tuberías por su bajo costo de transformación y el PVC es uno de los materiales plásticos más populares en áreas como la construcción.

A inicios del año 2000 en Ecuador se inicia la fabricación de tubería plástica de pared estructurada de PVC para la conducción de fluidos a gravedad mediante el proceso de extrusión con gran aceptación y crecimiento por sus numerosas ventajas como facilidad y reducción de tiempos de instalación, bajo costo en relación a otros materiales, alta flexibilidad y resistencia al ser sometido a cargas, etc.

El proyecto se desarrolla en una empresa líder del Ecuador en la fabricación de tuberías, accesorios y tanques plásticos para la conducción de fluidos a presión y gravedad, situada en la ciudad de Durán. Los principales procesos de producción son extrusión para tuberías de PVC, polietileno y polipropileno; inyección para accesorios de PVC y polipropileno; y rotomoldeo para tanques de polietileno.

La empresa decide adquirir en el año 2010 una línea de producción XT43 para la fabricación de tubería desde 110mm hasta 175mm de diámetro nominal de pared estructurada. En el año 2019 se decide implementar técnicas de mejora continua en todos sus procesos. En lo referente a la planta de tuberías plásticas se obtuvieron excelentes resultados y un impacto positivo en los principales indicadores de gestión como scrap, sobrepeso y rendimiento, a excepción de los tiempos empleados en los cambios de moldes, donde se observa un incremento en las horas reportadas e incumplimiento del indicador de gestión.

El estudio se enfoca en el proceso de extrusión específicamente en la fabricación de tuberías de pared estructurada para conducción de fluidos a gravedad. El proceso de fabricación se subdivide en dos: El proceso de mezclado del compuesto y el proceso de extrusión, donde se han detectado inconvenientes que afectan la productividad y la tasa de disponibilidad del indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness). Entre las principales causas detectadas se encuentran los paros no programados de equipos y maquinarias, elevados tiempos de paros setups, fallas en los montajes de moldes.

Con la aplicación de la metodología SMED se realiza la identificación de actividades internas y externas en la preparación de cambios de moldes para luego separarlas y convertir las actividades de preparación internas en externas. Con la propuesta de mejora, se espera reducir los tiempos de cambios de moldes en la línea de producción

y dar cumplimiento al indicador de gestión, para de esta forma ofrecer al mercado local productos competitivos, de mejor calidad y con menores tiempos de entrega.

1.2. Descripción del proceso

El proceso productivo en estudio consiste en el proceso de extrusión donde se fabrican tuberías, mangueras, perfiles de ventanas, canales de aguas lluvias para el mercado local. La línea de producción XT43 fabrica tubería tipo pared estructurada en diámetros desde 110mm hasta 175mm, esta línea también fabrica tubería tipo drenaje perforada que son utilizadas en terrenos irregulares y evitar deslizamientos de tierra. El proceso de fabricación se subdivide en dos: El proceso de mezclado del compuesto y el proceso de extrusión de tubería. A continuación, se describen brevemente los elementos básicos que intervienen en el proceso en lo referente a materias primas, equipos y maquinarias.

Materia prima: En el área de extrusión se genera compuesto en base a una formulación cuya resina principal es el PVC, esta resina no puede ser procesada por sí sola, ya que las temperaturas normales de trabajo, entre 180 y 200°C lo quemarían casi de inmediato, por ello requiere que sea mezclada con aditivos que permitan su procesamiento a dichas temperaturas, tales como: estabilizantes térmicos, lubricantes externos e internos, dióxido de titanio, carbonato de calcio, pigmentos, modificador de impacto y ayuda de proceso.

Mezcladora: Es la máquina que mezcla las partes del compuesto. Trabaja con una hélice que hace que el material aumente su temperatura por la fricción que se genera cuando la mezcla va girando en el interior de la olla principal, también realiza la función de enfriar la mezcla en una segunda olla secundaria o de enfriamiento. Los aditivos son combinados con la resina de PVC dentro de los parámetros de temperatura establecidos.

El proceso de mezclado en cualquier planta de extrusión es el proceso más importante pues la calidad o la no calidad de este proceso se multiplicará posteriormente en toda el área productiva con muchas situaciones que pueden ser críticas. La figura 1.1 muestra el esquema de una torre de mezclas en la elaboración de compuestos de PVC.

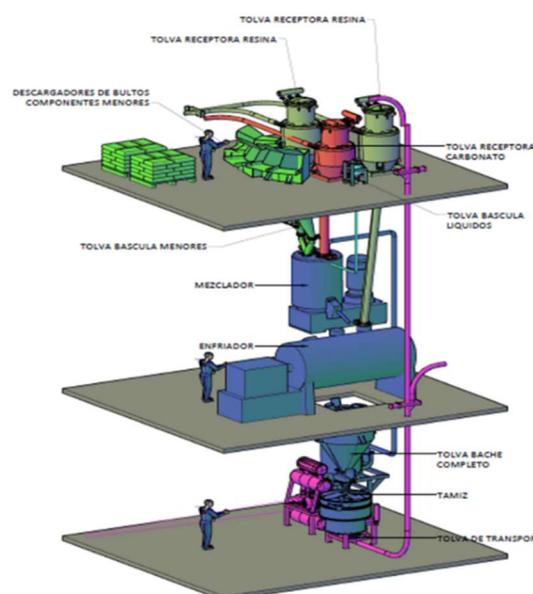


FIGURA 1.1 ESQUEMA DE TORRE DE MEZCLAS

Extrusora: Es la encargada de transformar el compuesto en material fundido listo para ser moldeado, la gelación o fusión del material se hace por medio de trabajo que la unidad de plastificación hace sobre el material friccionando y elevando su temperatura de forma controlada. La figura 1.2 muestra el esquema de una extrusora y sus partes principales

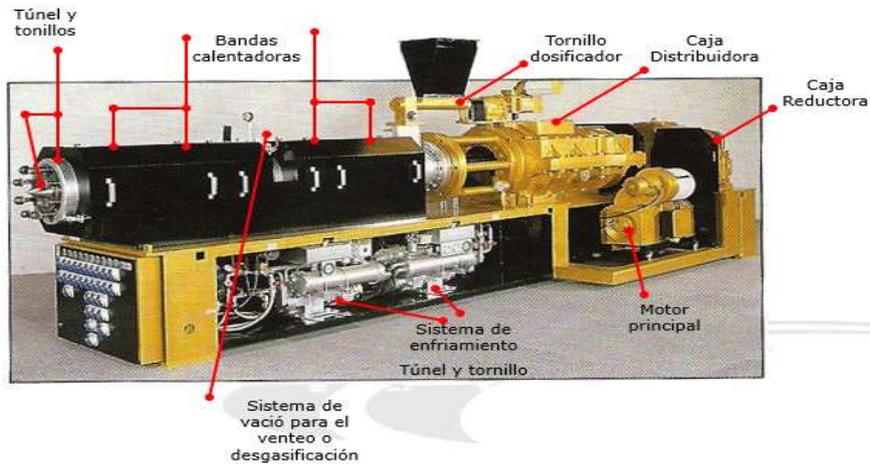


FIGURA 1.2 ESQUEMA DE UNA EXTRUSORA

Moldes: El molde es un conjunto de piezas metálicas diseñadas de tal forma que al hacer pasar PVC gelado dentro de él, a su salida por medio del proceso de presión y compresión es posible obtener tuberías libres de espacios vacíos y con las características físicas requeridas. El molde está sometido a altísimas presiones de trabajo y altas temperaturas, de manera constante estas temperaturas y presiones generan vapores compuestos de ácido clorhídrico, y muchísima fricción dentro de las paredes que un metal convencional no podría soportar, por este motivo es importante que los materiales con los que se fabrican sean los adecuados aceros con características especiales y que en todas las superficies donde hay contacto con PVC tengan un revestimiento de cromo duro. La figura 1.3 muestra el recorrido del material fundido a través del molde para fabricar tubería de pared estructurada.

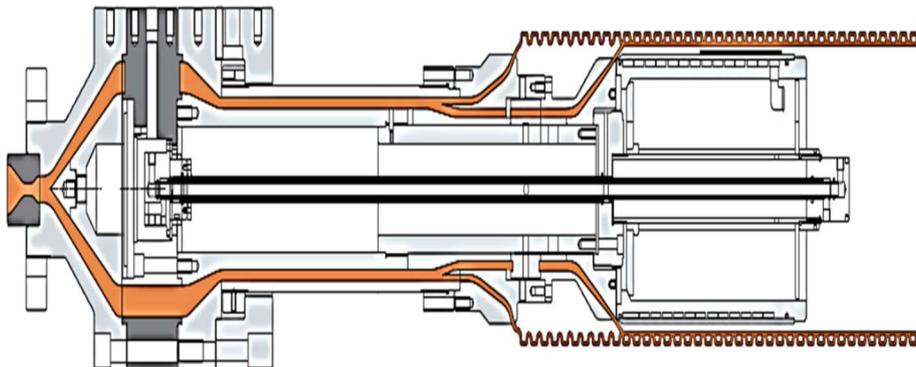


FIGURA 1.3 RECORRIDO DE MATERIAL FUNDIDO POR EL MOLDE

Equipos periféricos: Son equipos complementarios a la línea de producción entre ellos están: El corrugador donde se forma el perfil estructurado o también llamado “corrugado”, es el encargado de unir las dos capas de material fundido generando vacíos en su interior con la finalidad de dotar de mayor rigidez al tubo. La sierra cuya función principal es cortar la manga plástica sólida a la longitud establecida en las especificaciones técnicas del tubo. La impresora es la encargada de imprimir la leyenda requerida por normativa técnica nacional en la tubería, generalmente utiliza fluidos tipo solventes y de secado rápido. Finalmente, la acampanadora cuya función es calentar uno de los extremos del tubo para luego introducirlo en un formador que lo expande y lo enfría, de esta forma es posible que los tubos puedan ser ensamblados entre sí. La figura 1.4 muestra el esquema de una línea de producción de tubería plástica de pared estructurada.



FIGURA 1.4 ESQUEMA DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA PLÁSTICA.

El proceso de extrusión inicia al energizar máquina extrusora y encender el panel de control eléctrico, el siguiente paso es programar las condiciones de funcionamiento de la máquina para el producto deseado. Una vez cumplida las etapas de calentamiento de la línea se procede a dar marcha, el material situado en la tolva de alimentación es absorbido por el tornillo transportador de la extrusora y por fricción calentado hasta llegar a punto de plastificación, este material plastificado es pasado por un molde que cuenta con una boquilla que separa en dos capas el material fundido que luego son unidos en el equipo corrugador que a través de vacío o succión y enfriamiento otorga al perfil del tubo un aspecto corrugado. El corrugador generalmente cuenta con doce bloques formadores que permiten a su vez halar el tubo formado hacia la sierra donde se corta la manga de tubo sólida a 6 metros. Luego de realizarse el corte de la manga plástica se imprime la leyenda de la tubería, esta leyenda generalmente consta de marca, fecha de fabricación, empresa fabricante, diámetro nominal y características físicas del tubo. Finalmente, el tubo cortado a 6 metros llega a la estación de acampanado donde uno de sus extremos es calentado y luego introducido en un molde formador donde es expandido y enfriado para obtener una unión tipo campana que permita ensamblar los tubos entre sí. Estos tubos son estibados a racks metálicos y llevados a bodega de distribución para su posterior comercialización.

1.3. Definición del problema

Los tiempos de cambios de moldes en la línea de producción de tubos plásticos de pared estructurada XT43 se han incrementado desde inicios del año 2020. La medición muestra un resultado promedio de 4,32 horas cuando el máximo establecido por la empresa es de 3,00 horas. La tabla 1 muestra los datos históricos de horas de paro por cambios de moldes del año 2020.

TABLA 1. HORAS DE PARO POR CAMBIO DE MOLDES AÑO 2020.

ORDEN	HORAS DE PARO	SOLICITUD	ENTREGA	OPERADOR	TURNO	MES	MOTIVO
30641399	1,50	31-ene-20	3-feb-20	1967	2	enero	Cambios de moldes
30638014	4,20	29-ene-20	30-ene-20	2135	1	enero	Cambios de moldes
30638017	5,80	27-ene-20	28-ene-20	1949	2	enero	Cambios de moldes
30637694	8,40	22-ene-20	23-ene-20	1949	1	enero	Cambios de moldes
30643568	4,00	26-feb-20	27-feb-20	2338	1	febrero	Cambios de moldes
30641892	4,70	20-feb-20	27-feb-20	2166	1	febrero	Cambios de moldes
30641048	2,80	13-feb-20	14-feb-20	2104	1	febrero	Cambios de moldes
30641684	8,80	10-feb-20	11-feb-20	2398	1	febrero	Cambios de moldes
30641075	4,50	4-feb-20	10-feb-20	2104	1	febrero	Cambios de moldes
30641075	3,00	4-feb-20	10-feb-20	2104	1	febrero	Cambios de moldes
30642796	1,00	3-feb-20	10-feb-20	2104	1	febrero	Cambios de moldes
30642754	2,00	4-mar-20	13-mar-20	2421	2	marzo	Cambios de moldes
30642754	3,80	3-mar-20	13-mar-20	2281	2	marzo	Cambios de moldes
30651554	3,00	24-jun-20	2-jul-20	2421	1	junio	Cambios de moldes
30651554	2,00	22-jun-20	23-jun-20	2328	1	junio	Cambios de moldes
30651621	3,80	15-jun-20	21-jun-20	2135	1	junio	Cambios de moldes
30652199	6,50	26-jul-20	29-jul-20	2421	1	julio	Cambios de moldes
30654045	3,20	20-jul-20	29-jul-20	1784	1	julio	Cambios de moldes
30652999	3,50	13-jul-20	16-jul-20	2421	1	julio	Cambios de moldes
30652232	3,00	1-jul-20	2-jul-20	2421	1	julio	Cambios de moldes
30610365	2,50	25-ago-20	26-ago-20	1784	1	agosto	Cambios de moldes
30656612	3,50	21-ago-20	24-ago-20	2105	1	agosto	Cambios de moldes
30656607	2,00	17-ago-20	18-ago-20	2421	1	agosto	Cambios de moldes
30654522	6,50	14-ago-20	17-ago-20	1967	1	agosto	Cambios de moldes
30654522	8,00	1-ago-20	6-ago-20	2421	1	agosto	Cambios de moldes
30660830	1,80	29-sep-20	30-sep-20	2105	1	septiembre	Cambios de moldes
30660830	3,50	23-sep-20	24-sep-20	2105	1	septiembre	Cambios de moldes
30660246	9,50	17-sep-20	18-sep-20	1784	1	septiembre	Cambios de moldes
30659273	4,50	15-sep-20	16-sep-20	1967	1	septiembre	Cambios de moldes
30659273	2,50	13-sep-20	15-sep-20	2105	1	septiembre	Cambios de moldes
30657957	3,50	11-sep-20	15-sep-20	1784	1	septiembre	Cambios de moldes
30658535	2,80	1-sep-20	2-sep-20	1967	1	septiembre	Cambios de moldes
30661232	3,00	14-oct-20	16-oct-20	2068	1	octubre	Cambios de moldes
30660866	1,20	8-oct-20	12-oct-20	1967	1	octubre	Cambios de moldes
30665204	8,00	24-nov-20	25-nov-20	2398	1	noviembre	Cambios de moldes
30665614	5,70	11-nov-20	12-nov-20	2104	1	noviembre	Cambios de moldes
30665614	6,00	9-nov-20	10-nov-20	1784	1	noviembre	Cambios de moldes
30613183	8,00	17-dic-20	18-dic-20	2166	1	diciembre	Cambios de moldes
30667780	6,50	1-dic-20	2-dic-20	1967	1	diciembre	Cambios de moldes

En la tabla 1 se observa una elevada variabilidad en los tiempos empleados para los cambios de moldes que van desde 1,00 hasta 9,50 horas, esto se debe a la complejidad que existe dada la diferencia en el tamaño de los moldes y en algunos casos falta de repuestos, los moldes pequeños de 110 y 125mm pueden ser armados de forma manual mientras los moldes de 160 y 175mm requieren ser armados con ayuda de un puente grúa.

1.4. Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Reducir los tiempos de cambios de moldes en la línea de producción de tubería plástica de pared estructurada XT43 mediante la aplicación de la metodología SMED.

1.4.2 Objetivos Específicos

1.- Diagnosticar el estado actual del proceso y las variables críticas que incrementan los tiempos de cambios de moldes y que impactan la disponibilidad del tiempo de la máquina en la línea de tubería de pared estructurada.

2.- Clasificar y analizar las actividades internas y externas de los cambios de moldes en la línea de tubería plástica de pared estructurada.

3.- Implementar la metodología SMED para la reducción de los tiempos de cambios de moldes y evidenciar las mejoras de las acciones aplicadas.

1.5. Descripción de la metodología

La metodología del proyecto comienza con una descripción general de la empresa identificando su situación actual y la descripción del proceso de fabricación de tuberías plásticas de pared estructurada. Luego se realiza un levantamiento de información del proceso de cambios de moldes mediante la grabación de videos, elaboración de diagramas de procesos, revisión de datos históricos y estadísticas para finalmente realizar un estudio de tiempos y movimientos. Estas actividades permitirán identificar las principales actividades, métodos aplicados, materiales, herramientas, equipos, mano de obra, sus necesidades y principales problemas en los cambios de moldes realizados en la línea de producción.

Una vez identificadas las actividades de preparación de los cambios de moldes mediante el estudio de tiempos y movimientos, se procederá a realizar una clasificación y separación de las actividades de preparación internas y externas. El siguiente paso consiste en convertir la mayor cantidad posible de actividades de preparación internas en externas previo a la optimización de las actividades internas. Con la finalidad de garantizar que las mejoras realizadas sean sostenibles en el tiempo se procederá a elaborar una lista de chequeo (check list), modificar los procedimientos documentados de cambios de moldes y realizar capacitaciones al personal involucrado en el proceso.

A continuación, se realiza la medición y evaluación de las mejoras propuestas a través de los indicadores de control para observar si los objetivos propuestos se cumplen satisfactoriamente.

Para finalizar la metodología, una vez implementadas las mejoras se realizará la validación financiera del proyecto mediante un análisis costo – beneficio para observar si las reducciones obtenidas de los tiempos de cambios de los moldes justifican los costos incurridos, y finalmente determinar el beneficio económico para la empresa. La figura 1.5 describe la metodología del proyecto.

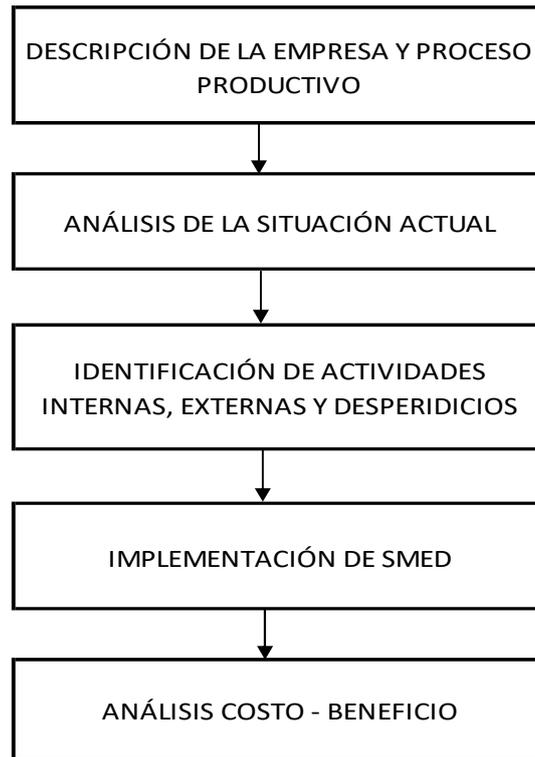


FIGURA 1.5 METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Lean Manufacturing es un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de desperdicio o excesos, entendiendo como excesiva toda actividad que no agrega valor en un proceso, pero sí costo y trabajo (Socconini, 2019). Para garantizar que la mejora sea sostenible en el tiempo se debe capacitar al personal y motivar su participación, esta actividad se describe comúnmente como una forma fácil de generar ideas rápidamente (Wilson, 2013). Si la gente es la respuesta, seleccionar gente de calidad es la clave (Liker & Meier, 2008). Una herramienta importante de Lean Manufacturing es SMED.

SMED es el acrónimo de Single Minute Exchange of Die “cambio de herramental en pocos minutos” y sirve para reducir el tiempo de cambio y para aumentar la fiabilidad del proceso de cambio, lo que reduce el riesgo de defectos y averías. Se entiende por tiempo de cambio de herramental al tiempo transcurrido desde la fabricación de la última pieza válida de una serie hasta la obtención de la primera pieza válida de la siguiente serie y no únicamente al tiempo del cambio y ajustes físicos de la máquina (Shingo, 1985).

CAPÍTULO 2

2.- ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Estructura organizacional

La estructura organizacional de la empresa es de tipo vertical, el área de manufactura reporta al director de operaciones que reside en el país de México y cuenta con 296 empleados, los cuales se dividen en: 1 gerente de producción; 5 superintendentes; 13 supervisores y 277 obreros, donde se incluye al taller de moldes de extrusión que cuenta con 1 supervisor, 7 mecánicos y 1 eléctrico.

El personal mecánico de moldes labora en turnos rotativos de 8 horas y cumplen funciones específicas de mantenimiento preventivo y correctivo, alistamiento y montaje de moldes. La figura 2.1 muestra el organigrama del taller de moldes de extrusión.

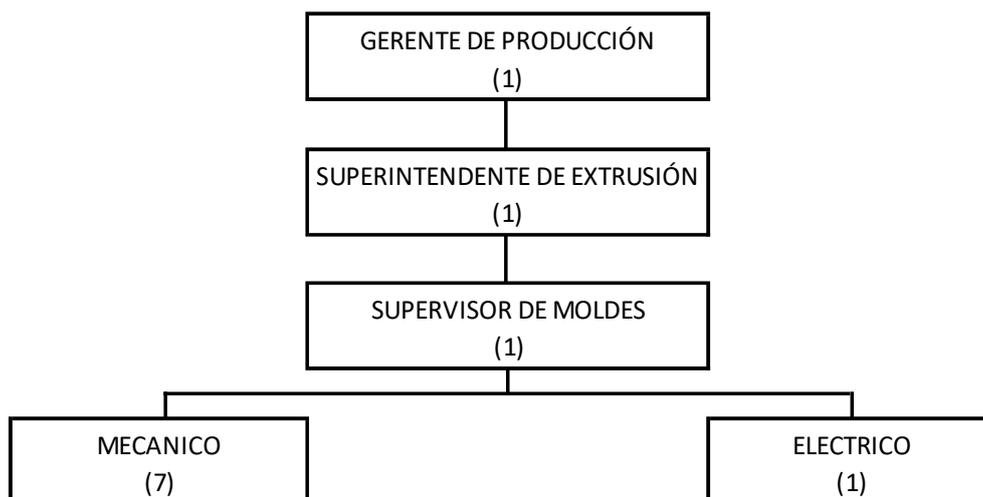


FIGURA 2.1 ORGANIGRAMA DEL TALLER DE MOLDES DE EXTRUSIÓN

2.2. Descripción de actividades de cambios de moldes

La extrusora marca Krauss Maffei XT43 se encuentra especializada para la fabricación de tubería de pared estructurada desde 110 hasta 175mm de diámetro nominal, esta línea de producción tiene un rendimiento máximo de 500 Kg/h y se realizan de 1 a 2 cambios de moldes por semana y los tiempos empleados en cada cambio de molde varían desde 1 hora hasta 9,50 horas, según registros del año 2020 mostrados en la tabla 1.

Analizando los distintos cambios de moldes que se realizan en la línea XT43 se escoge el cambio de 160mm porque es el más complejo de la línea, ya que regularmente se combina la fabricación de tubería estructurada de doble pared con tubería drenaje corrugado de pared simple perforada y a pesar de tener el mismo diámetro nominal, cada una de ellas representa un cambio total del molde.

El proceso de cambio es realizado por un operador, un mecánico encargado de todos los ajustes e instalación de las partes de acero del molde en la extrusora y un eléctrico encargado de la instalación y conexiones eléctricas de las fuentes de calor. La figura 2.2 muestra el diagrama de actividades conjuntas del personal mecánico, eléctrico y operador durante el cambio de un molde.

No.	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	MECÁNICO	ELÉCTRICO	OPERADOR
1	Parar la extrusora			X
2	Purgar la extrusora			X
3	Realizar RQ para cambio			X
4	Colocación de fajas calentadoras		X	
5	Desmontaje de mandril	X	X	
6	Aflojar pernos de hembras	X		
7	Retiro de fajas calentadoras		X	
8	Desconexión eléctricas de zonas		X	
9	Aflojar pernos del adaptador	X		
10	Desmontaje y limpieza del molde	X		
11	Armado de molde y traslado al taller	X		
12	Preparación de molde entrante	X		
13	Revisión de zonas internas de calentamiento	X	X	
14	Acoplar araña con macho	X		
15	Pasar cables por araña y macho	X	X	
16	Acoplar flauta y distribuidor con macho del molde	X		
17	Acoplar cono con tuerca y cañerías	X		
18	Medición de nivel de cromo e inspección	X		
19	Acoplar hembra final con hembra intermedia	X		
20	Acoplar hembra inicial con macho del molde	X		
21	Acoplar bloque de hembras con macho del molde	X		
22	Acoplar boquilla con macho del molde	X		
23	Traslado de molde armado hacia la extrusora	X	X	
24	Montaje de molde en extrusora	X	X	
25	Conexiones eléctricas del molde		X	
26	Montaje de mandril en el molde	X		
27	Llenado de formato entrega/recepción	X		X

FIGURA 2.2 DIAGRAMA DE ACTIVIDADES CONJUNTAS

Es necesario realizar el levantamiento de información del proceso de cambio de moldes mediante la grabación de dos cambios y un estudio de tiempos y movimientos dado que la empresa solo cuenta con un formato que describe las actividades e inspecciones a realizar en cada cambio de medida sin considerar los tiempos empleados.

A continuación, se detallan cada una de las actividades de cambios de moldes en la línea XT43 de tubería de pared estructurada. El proceso analizado es el cambio de moldes de 160mm pared estructurada a 160mm tipo drenaje.

Parar la extrusora: Es la primera parte del proceso, La extrusora se detiene una vez terminado en su totalidad el lote anterior para dar inicio al cambio de medida.

Purgar la extrusora: Por las características propias del PVC no es posible dejar la extrusora con PVC fundido en su interior, por este motivo es importante llenar el túnel de la extrusora con material tipo purga con mayor carga de estabilizante lo cual permite un arranque con facilidad y a bajas temperaturas. Luego de esta actividad se procede con el desmontaje del molde saliente pieza a pieza. La figura 2.3 muestra el esquema de los componentes de un molde de pared estructurada. La figura 2.4 muestra el esquema de un molde de pared estructurada ensamblado.

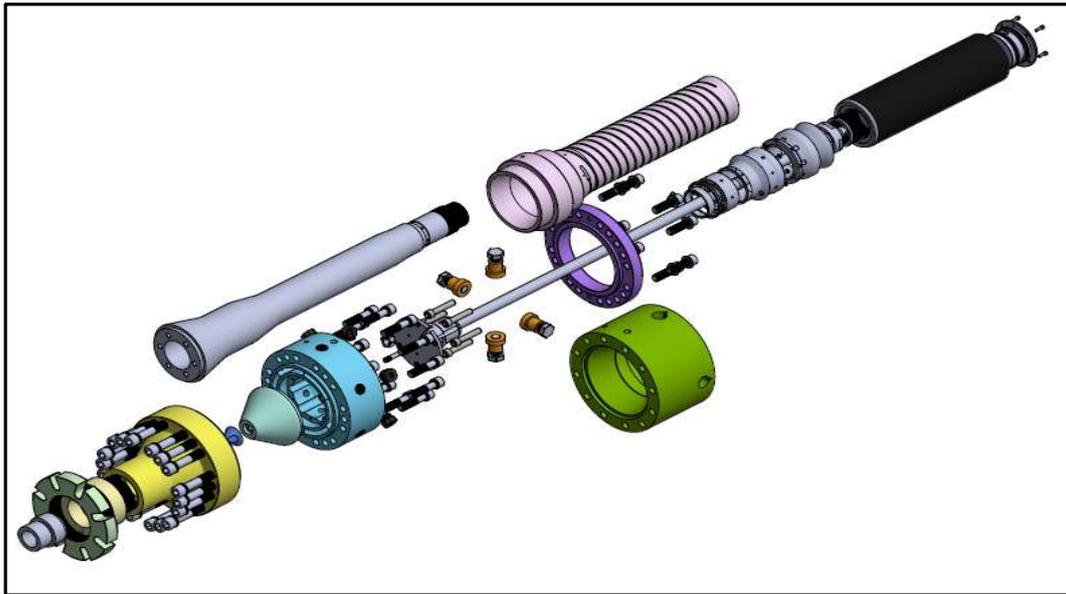


FIGURA 2.3 ESQUEMA DE COMPONENTES DE UN MOLDE DE PARED ESTRUCTURADA.

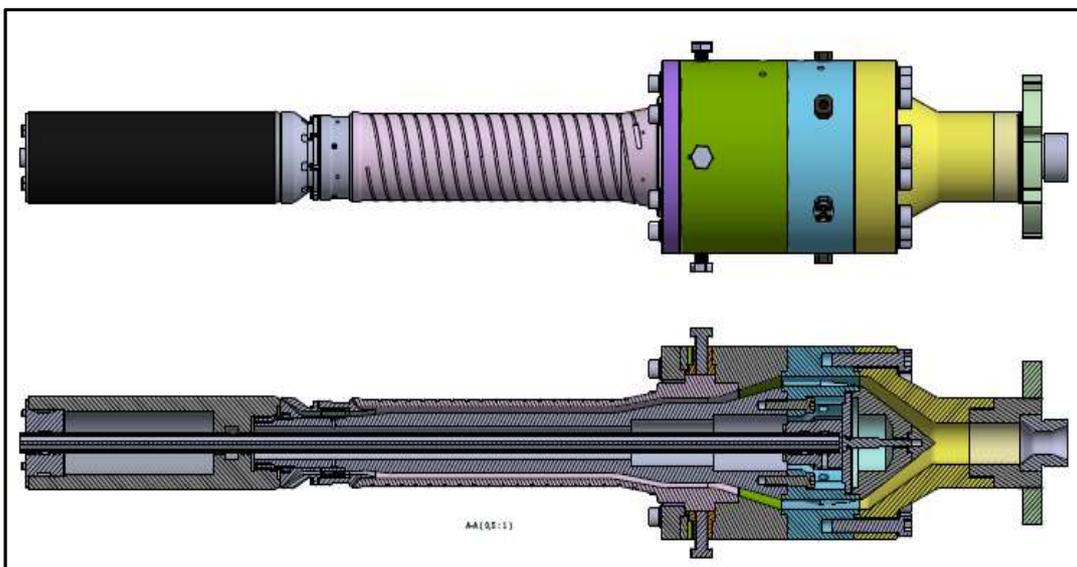


FIGURA 2.4 ESQUEMA DE UN MOLDE DE PARED ESTRUCTURADA ENSAMBLADO.

Desmontaje de mandril: Es una actividad conjunta entre el mecánico y el eléctrico, se inicia colocando fajas de calentamiento sobre la boquilla del molde para luego proceder a desenroscar y desacoplar el mandril, es importante recalcar que el mandril es el componente más importante y debe ser desmontado tomando muchas precauciones.



FIGURA 2.5 DESMONTAJE DE MANDRIL DEL MOLDE

Aflojar pernos de hembras: Se procede a aflojar todos los pernos que sujetan la hembra final e inicial del molde, con la finalidad de facilitar los pasos posteriores de desacople del molde y retiro de material tipo purga.



FIGURA 2.6 AFLOJAR PERNOS DE HEMBRA FINAL-INTERMEDIA-INICIAL

Retiro de fajas calentadoras y desconexión de zonas de calentamiento: Esta actividad inicia con el retiro de las fajas calentadoras que fueron colocadas para desacople del mandril, una vez retiras las fajas calentadoras el mecánico desacopla la boquilla del molde mientras el eléctrico realiza las desconexiones eléctricas de las zonas de calentamiento del molde.



FIGURA 2.7 DESCONEXIONES ELÉCTRICAS Y RETIRO DE FAJAS CALENTADORAS

Aflojar pernos del adaptador: El mecánico procede a aflojar los pernos del adaptador del molde para finalmente desmontar el molde de la extrusora, esta actividad se la realiza una vez el molde haya sido asegurado con cadenas al puente grúa utilizado para el izaje.



FIGURA 2.8 AFLOJAR PERNOS DEL ADAPTADOR Y BRIDA PRINCIPAL

Desmontaje y limpieza del molde: El desmontaje del molde se realiza en posición vertical a uno de los lados de la extrusora, el molde debe ser colocado en una superficie preparada con material tipo EVA para evitar daños en sus componentes. Luego se retiran los pernos que inicialmente se aflojaron para proceder al desarmado del molde y retiro de material tipo purga del interior.



FIGURA 2.9 DESMONTAJE Y LIMPIEZA DEL MOLDE

Armado de molde y traslado al taller: Una vez retirado todo el material tipo purga del interior del molde se procede a unir mediante el ajuste de los pernos todos los componentes. Finalmente, el molde es colocado en una carreta para transportarlo hacia el taller de moldes donde posteriormente realizarán una inspección y limpieza con diesel y químicos especiales.



FIGURA 2.10 ARMADO DE MOLDE Y TRASLADO AL TALLER

Preparación de molde entrante: Una vez terminado el desmontaje del molde saliente se procede a realizar el armado del molde entrante, el cual se encuentra desarmado posterior a su limpieza con diesel y realización de mantenimiento mecánico preventivo en base al plan establecido. Esta etapa inicia con la preparación de la mesa de trabajo y herramientas a utilizar.



FIGURA 2.11 HERRAMIENTAS Y COMPONENTES DEL MOLDE

Revisión de zonas de calentamiento internas del molde: El eléctrico procede a revisar las zonas de calentamiento desde el macho hasta el cono del molde con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento de las mismas, las características a evaluar son la potencia y el aislamiento.



FIGURA 2.12 CONEXIONES ELÉCTRICAS DE ZONAS DE CALENTAMIENTO

Acoplar araña con macho: Se procede a acoplar el componente del molde llamado araña con el macho del molde mediante el ajuste de pernos, este acople se lo realiza en la mesa de trabajo en forma horizontal.



FIGURA 2.13 ACOPLA DE ARAÑA CON MACHO DEL MOLDE

Pasar cables de zonas de calentamiento por araña: Se pasan los cables eléctricos de las zonas internas de calentamiento por los agujeros de la araña para posteriormente colocar los enchufes respectivos que permitirán las conexiones con la extrusora.



FIGURA 2.14 PASAR CABLES POR ORIFICIOS DE ARAÑA DEL MOLDE

Acoplar flauta y distribuidor con macho del molde: Se acopla la flauta entre el macho y la araña del molde verificando que los cables de las zonas de calentamiento no queden aplastados o sufran daños.



FIGURA 2.15 ACOPLA DE FLAUTA Y DISTRIBUIDOR DEL MOLDE

Acoplar cono con tuerca punta del cono y cañerías: Se acopla una base con pernos a la araña, luego se pasa el cono hueco del molde por el perno principal de la base y se ajusta utilizando la tuerca punta del cono. Luego se colocan las cañerías de entrada y salida de agua del molde sellando con tapones y silicón rojo los espacios vacíos.



FIGURA 2.16 ACOPLA DEL CONO CON TUERCA PUNTA DEL CONO

Medición de nivel de cromo e inspección del molde: Con los ajustes realizados hasta el momento se procede a realizar la medición del nivel de cromo mediante el uso de un medidor digital ultrasonido y al mismo tiempo una inspección visual de los componentes del molde. Las partes a medir son: macho, araña, hembra inicial, hembra intermedia, hembra final, cono y boquilla.



FIGURA 2.17 INSPECCIÓN DEL MOLDE Y MEDICIÓN DE NIVEL DE CROMO

Acoplar hembra final del molde con hembra intermedia: Este acople se lo realiza con el molde en posición vertical para esto se debe trasladar la hembra final con la brida y la hembra intermedia al piso sobre una superficie protegida con EVA, luego se ajustan los dos componentes mediante pernos.



FIGURA 2.18 ACOPLA HEMBRA FINAL CON BRIDA DEL MOLDE

Acoplar hembra inicial con macho del molde: Se realiza el acople de la hembra inicial con el macho del molde para formar un solo componente y luego facilitar los acoples finales del molde. Este ajuste se realiza mediante pernos y son realizados utilizando una tabla de torques establecidos.

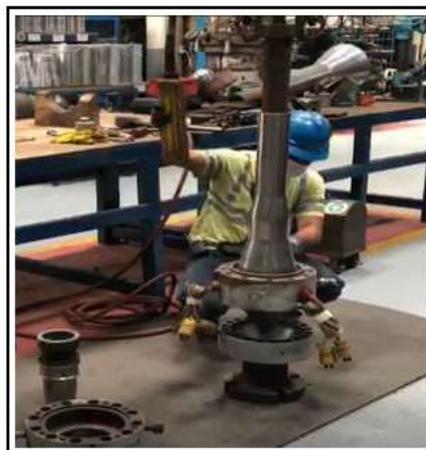


FIGURA 2.19 ACOPLA HEMBRA FINAL CON MACHO DEL MOLDE

Acoplar hembra inicial/final con macho del molde: Este acople se realiza en posición vertical con la utilización de un puente grúa. Se coloca el macho del molde que se encuentra acoplado con la araña y flauta sobre la hembra intermedia que se encuentra acoplada con la hembra inicial, una vez acopladas se procede al ajuste con los pernos.



FIGURA 2.20 ACOPLA DE HEMBRA INICIAL CON HEMBRA FINAL DEL MOLDE

Acoplar boquilla con macho del molde: Se acopla la boquilla con el macho del molde. En la boquilla es donde se separan las capas de material PVC fundido para posteriormente dar el aspecto de corrugado a la tubería plástica fabricada. Una vez acoplada la boquilla se procede a colocar el molde armado en una carreta para ser transportado a la extrusora.



FIGURA 2.21 ACOPLA DE BOQUILLA CON MACHO DEL MOLDE

Montaje de molde en extrusora: Se procede a realizar el montaje del molde armado en la brida principal de la extrusora, el acople de las partes se realiza mediante el ajuste de pernos. El molde debe descansar sobre la base de la extrusora donde posteriormente será alineado con el corrugador de la misma.



FIGURA 2.22 MONTAJE DE MOLDE EN LA EXTRUSORA

Conexiones eléctricas y acople de mandril: Se procede a realizar las conexiones eléctricas de las zonas de calentamiento del molde por parte del eléctrico mientras el mecánico realiza el acople del mandril en el molde. El mandril es el último componente en ser acoplado directamente en la extrusora para evitar que durante la manipulación y transporte sufra daños.



FIGURA 2.23 CONEXIONES ELÉCTRICAS Y CALENTAMIENTO DE MOLDE

Llenado de formato entrega-recepción y entrega de molde: Finalmente se realiza el llenado del formato entrega-recepción donde se solicita la firma del supervisor de producción para dejar constancia de la entrega del molde para iniciar la producción del lote programado.

2.3. Análisis de actividades y tiempos de cambios de moldes

Es necesario conocer perfectamente las condiciones reales de cada una de las actividades que actualmente se realizan durante los cambios de moldes y los tiempos empleados en cada una de ellas y la mejor forma es analizando el proceso mediante una medición de tiempos que me permita identificar variables críticas. Con el diagrama de actividades conjuntas y la descripción de actividades del proceso de cambio de moldes se realiza un diagrama de análisis de tiempos de cambios de moldes.

Se procede a obtener los tiempos utilizando el método continuo de lectura de cronómetro. La unidad de tiempo utilizada para los datos obtenidos y los cálculos realizados en el análisis está dada en horas. El cambio de molde analizado corresponde al término del lote de la tubería 160mm pared estructurada y al inicio de la tubería 160mm drenaje corrugado.

En la tabla 2 de tiempos de cambios de moldes se observa que el operador de la línea realiza 3 actividades; el mecánico realiza 25 actividades, el eléctrico realiza 5 actividades y 6 actividades son conjuntas. Las actividades realizadas por el operador suman un tiempo de 47 minutos, las realizadas por el mecánico suman un tiempo de 163 minutos, las realizadas por el eléctrico suman un tiempo de 32 minutos y las actividades conjuntas suman un tiempo de 79 minutos. El tiempo total de un cambio del cambio de molde de 160mm pared estructurada a 160mm drenaje es de 5 horas con 21 minutos.

Las actividades que demandan mayor tiempo son la revisión de las zonas de calentamiento y las conexiones eléctricas del molde en la extrusora, las cuales son realizadas con la línea de producción parada.

TABLA 2 TIEMPOS DE CAMBIOS DE MOLDES

No.	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	PERSONAL	MEDICIÓN (HH:MM:SS)	TIEMPO POR ACTIVIDAD (HH:MM:SS)
1	Parar la extrusora	Operador	10:15:00	0:19:18
2	Purgar la extrusora	Operador	10:34:18	0:18:11
3	Realizar RQ para cambio	Operador	10:52:29	0:09:31
4	Preparación y traslado de herramientas a extrusora	Mecánico	11:02:00	0:10:12
5	Colocación de fajas calentadoras	Eléctrico	11:12:12	0:04:04
6	Conexión eléctrica de fajas calentadoras	Eléctrico	11:16:16	0:02:09
7	Apertura de llave de agua helada para mandril	Mecánico	11:18:25	0:00:43
8	Enfriamiento del mandril	Mecánico	11:19:08	0:03:52
9	Desmontaje de mandril	Mecánico / Eléctrico	11:23:00	0:06:24
10	Aflojar pernos de hembras	Mecánico	11:29:24	0:14:47
11	Retiro de fajas calentadoras	Eléctrico	11:44:11	0:01:58
12	Desconexión eléctricas de zonas	Eléctrico	11:46:09	0:07:43
13	Desacople de la boquilla del molde	Mecánico	11:53:52	0:02:40
14	Aflojar pernos del adaptador	Mecánico	11:56:32	0:04:28
15	Desmontaje del molde	Mecánico	12:01:00	0:05:39
16	Desacople de la hembra final del macho del molde	Mecánico	12:06:39	0:03:51
17	Desacople de hembra inicial del macho del molde	Mecánico	12:10:30	0:03:21
18	Limpieza del molde y retiro de purga	Mecánico	12:13:51	0:12:09
19	Armado de molde	Mecánico	12:26:00	0:06:58
20	Traslado del molde al taller	Mecánico	12:32:58	0:03:23
21	Preparación de mesa de trabajo y herramientas	Mecánico	12:36:21	0:02:24
22	Colocación de piezas del molde en mesa	Mecánico	12:38:45	0:10:36
23	Revisión de zonas internas de calentamiento	Mecánico / Eléctrico	12:49:21	0:26:15
24	Acoplar araña con macho	Mecánico	13:15:36	0:03:35
25	Pasar cables por araña y macho	Mecánico / Eléctrico	13:19:11	0:09:27
26	Acoplar flauta y distribuidor con macho del molde	Mecánico	13:28:38	0:12:54
27	Acoplar cono con tuerca y cañerías	Mecánico	13:41:32	0:03:28
28	Buscar teflón y silicón rojo	Mecánico	13:45:00	0:07:36
29	Medición de nivel de cromo e inspección	Mecánico	13:52:36	0:09:09
30	Acoplar hembra final con hembra intermedia	Mecánico	14:01:45	0:05:04
31	Acoplar hembra inicial con macho del molde	Mecánico	14:06:49	0:12:34
32	Acoplar bloque de hembras con macho del molde	Mecánico	14:19:23	0:09:30
33	Acoplar boquilla con macho del molde	Mecánico	14:28:53	0:05:19
34	Colocar molde en carreta	Mecánico	14:34:12	0:03:57
35	Traslado de molde armado hacia la extrusora	Mecánico / Eléctrico	14:38:09	0:13:06
36	Montaje de molde en extrusora	Mecánico / Eléctrico	14:51:15	0:16:48
37	Conexiones eléctricas del molde	Eléctrico	15:08:03	0:15:49
38	Montaje de mandril en el molde	Mecánico	15:23:52	0:05:19
39	Llenado de formato entrega/recepción	Mecánico / Operador	15:29:11	0:07:21
TIEMPO TOTAL DE CAMBIO				5:21:32

2.4. Identificación de actividades internas, externas y desperdicios

Una vez identificadas todas las actividades necesarias para realizar un cambio de molde, se procede a clasificarlas como: internas, externas o desperdicios. Dado que actualmente todas las actividades son realizadas con la línea de producción parada, desde el apagado de la extrusora, el desmontaje del molde saliente, la preparación del molde entrante y su posterior montaje, son consideradas como actividades internas. También se han identificado algunos desperdicios relacionados a búsqueda de herramientas y materiales, traslados, pérdidas de tiempo y elaboración de documentos. La figura 2.24 muestra la clasificación de la situación actual de actividades en el proceso de cambio de moldes.

No.	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	TIEMPO POR ACTIVIDAD (HH:MM:SS)	CATEGORIA		
			INTERNA	EXTERNA	DESPERDICIO
1	Parar la extrusora	0:19:18	X		
2	Purgar la extrusora	0:18:11	X		
3	Realizar RQ para cambio	0:09:31	X		X
4	Preparación y traslado de herramientas a extrusora	0:10:12	X		X
5	Colocación de fajas calentadoras	0:04:04	X		
6	Conexión eléctrica de fajas calentadoras	0:02:09	X		
7	Apertura de llave de agua helada para mandril	0:00:43	X		
8	Enfriamiento del mandril	0:03:52	X		
9	Desmontaje de mandril	0:06:24	X		
10	Aflojar pernos de hembras	0:14:47	X		
11	Retiro de fajas calentadoras	0:01:58	X		
12	Desconexión eléctricas de zonas	0:07:43	X		
13	Desacople de la boquilla del molde	0:02:40	X		
14	Aflojar pernos del adaptador	0:04:28	X		
15	Desmontaje del molde	0:05:39	X		
16	Desacople de la hembra final del macho del molde	0:03:51	X		
17	Desacople de hembra inicial del macho del molde	0:03:21	X		
18	Limpieza del molde y retiro de purga	0:12:09	X		
19	Armado de molde	0:06:58	X		
20	Traslado del molde al taller	0:03:23	X		X
21	Preparación de mesa de trabajo y herramientas	0:02:24	X		X
22	Colocación de piezas del molde en mesa	0:10:36	X		X
23	Revisión de zonas internas de calentamiento	0:26:15	X		
24	Acoplar araña con macho	0:03:35	X		
25	Pasar cables por araña y macho	0:09:27	X		
26	Acoplar flauta y distribuidor con macho del molde	0:12:54	X		
27	Acoplar cono con tuerca y cañerías	0:03:28	X		
28	Buscar teflón y silicón rojo	0:07:36	X		X
29	Medición de nivel de cromo e inspección	0:09:09	X		
30	Acoplar hembra final con hembra intermedia	0:05:04	X		
31	Acoplar hembra inicial con macho del molde	0:12:34	X		
32	Acoplar bloque de hembras con macho del molde	0:09:30	X		
33	Acoplar boquilla con macho del molde	0:05:19	X		
34	Colocar molde en carreta	0:03:57	X		X
35	Traslado de molde armado hacia la extrusora	0:13:06	X		X
36	Montaje de molde en extrusora	0:16:48	X		
37	Conexiones eléctricas del molde	0:15:49	X		
38	Montaje de mandril en el molde	0:05:19	X		
39	Llenado de formato entrega/recepción	0:07:21	X		X
		TIEMPOS	5:21:32	0:00:00	

FIGURA 2.24. CLASIFICACIÓN ACTUAL DE ACTIVIDADES DE CAMBIOS DE MOLDES

Con la clasificación de las actividades de la situación actual en el cambio de moldes, se procede a realizar una clasificación del mejor escenario o ideal de las actividades que requieren que la línea se encuentre parada y las actividades que podrían realizarse con la línea en operación. La figura 2.25 muestra la clasificación ideal de las actividades, eliminando pasos innecesarios considerados desperdicios y considerando que la etapa de preparación del molde entrante puede ser realizada con anticipación, evitando así parar la máquina extrusora por este periodo de tiempo y generar pérdidas de producción, es decir modificar los procedimientos y trabajar con los programas de producción para de esta forma disponer del molde armado y listo para ser montado en la extrusora una vez sea recibida la solicitud RQ por parte de producción.

No.	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	TIEMPO POR ACTIVIDAD (HH:MM:SS)	CATEGORIA		
			INTERNA	EXTERNA	DESPERDICIO
1	Parar la extrusora	0:19:18	X		
2	Purgar la extrusora	0:18:11	X		
3	Realizar RQ para cambio	0:09:31	X		
4	Preparación y traslado de herramientas a extrusora	0:10:12		X	X
5	Colocación de fajas calentadoras	0:04:04	X		
6	Conexión eléctrica de fajas calentadoras	0:02:09	X		
7	Apertura de llave de agua helada para mandril	0:00:43		X	
8	Enfriamiento del mandril	0:03:52		X	
9	Desmontaje de mandril	0:06:24	X		
10	Aflojar pernos de hembras	0:14:47	X		
11	Retiro de fajas calentadoras	0:01:58	X		
12	Desconexión eléctricas de zonas	0:07:43	X		
13	Desacople de la boquilla del molde	0:02:40	X		
14	Aflojar pernos del adaptador	0:04:28	X		
15	Desmontaje del molde	0:05:39	X		
16	Desacople de la hembra final del macho del molde	0:03:51		X	
17	Desacople de hembra inicial del macho del molde	0:03:21		X	
18	Limpieza del molde y retiro de purga	0:12:09		X	
19	Armado de molde	0:06:58		X	
20	Traslado del molde al taller	0:03:23		X	
21	Preparación de mesa de trabajo y herramientas	0:02:24		X	
22	Colocación de piezas del molde en mesa	0:10:36		X	
23	Revisión de zonas internas de calentamiento	0:26:15		X	
24	Acoplar araña con macho	0:03:35		X	
25	Pasar cables por araña y macho	0:09:27		X	
26	Acoplar flauta y distribuidor con macho del molde	0:12:54		X	
27	Acoplar cono con tuerca y cañerías	0:03:28		X	
29	Medición de nivel de cromo e inspección	0:09:09		X	
30	Acoplar hembra final con hembra intermedia	0:05:04		X	
31	Acoplar hembra inicial con macho del molde	0:12:34		X	
32	Acoplar bloque de hembras con macho del molde	0:09:30		X	
33	Acoplar boquilla con macho del molde	0:05:19		X	
34	Colocar molde en carreta	0:03:57		X	
35	Traslado de molde armado hacia la extrusora	0:13:06		X	
36	Montaje de molde en extrusora	0:16:48	X		
37	Conexiones eléctricas del molde	0:15:49	X		
38	Montaje de mandril en el molde	0:05:19	X		
39	Llenado de formato entrega/recepción	0:07:21	X		
		TIEMPOS	2:22:09	2:51:47	

FIGURA 2.25 CLASIFICACIÓN IDEAL DE ACTIVIDADES DE CAMBIOS DE MOLDES

Se considera la posibilidad de convertir actividades internas a externas, si estas son realizadas con anticipación y sin esperar al apagado de la extrusora, por ejemplo: inspección y medición de nivel de cromo, lubricación, preparación de herramientas y piezas del molde y ensamble del molde entrante. Los componentes o piezas del molde son ajustables con pernos y pueden ser ensamblados en un solo bloque en el taller para luego transportarlo en una carreta hacia la máquina, en lo que respecta a las pruebas y revisiones de calentadores es posible realizarlas previamente en bancos de pruebas y con equipos de medición. Estas acciones permiten reducir significativamente el tiempo empleado en el cambio del molde. Es importante establecer una adecuada planificación de cambios de moldes basada en el programa de producción que se realiza a diario y una correcta distribución de funciones entre las personas que participan del proceso. El desarrollo de las acciones tomadas para la exteriorización de las actividades se muestra en las siguientes etapas de implementación de la herramienta en el capítulo 3 del proyecto.

Una vez realizada la clasificación ideal de las actividades del proceso de cambios de moldes y la adecuada implementación de las acciones, se espera reducir los tiempos empleados en las actividades internas de 5 horas con 21 minutos a 2 horas con 22 minutos, es decir una reducción del 57,38% en relación al tiempo empleado actualmente. La estandarización de los procedimientos, capacitación del personal, eliminación de los tiempos empleados en actividades consideradas como desperdicios y la proactiva preparación de los moldes entrantes al proceso productivo tienen un rol vital en el cumplimiento de este objetivo.

CAPÍTULO 3

3.- IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA SMED

3.1. Conversión de actividades internas en externas

Una vez realizada la clasificación actual de actividades internas y externas en el proceso de cambio de moldes para la fabricación de tubería de pared estructurada, se requiere implementar mecanismos que permitan convertir las actividades internas en externas teniendo en consideración la clasificación ideal de actividades de la figura 2.25 que permita cumplir con el objetivo de reducir los tiempos de cambios de moldes.

Se procede a realizar un focus group con el personal de taller de moldes y producción para analizar cada una de las actividades y buscar posibles soluciones. Se realiza la presentación formal del proyecto de mejora, los videos grabados del proceso de cambio de moldes, una explicación sobre la metodología SMED, su importancia y los resultados que se desean obtener, el análisis de actividades realizado y tiempos empleados en cada una de ellas, la clasificación ideal de actividades en un proceso de cambio de moldes, y finalmente se solicita aportar con experiencias y comentarios sobre la forma en la que se podía reducir el tiempo en los cambios.



FIGURA 3.1 FOCUS GROUP CON PERSONAL DE MOLDES DE EXTRUSIÓN

Se realiza la conformación del equipo del proyecto SMED con el personal que reúne los conocimientos y experiencia para realizar los análisis desde el punto de vista técnico, económico y metodológico que permita el adecuado desarrollo del proyecto. La figura 3.2 muestra el equipo SMED distribuido por áreas y funciones actuales dentro de la organización.

El equipo del proyecto SMED tiene como función principal el desarrollo y aplicación de mejoras para reducir los tiempos empleados en los cambios de moldes, para esto se establecen reuniones semanales donde se desarrollan metodologías, se evalúan avances, resultados obtenidos y asignación de recursos de ser necesario.

Los roles del equipo del proyecto SMED se definen:

Sponsor del proyecto. - Pertenece a la alta dirección y avala el proyecto, provee los recursos necesarios y autoriza los gastos del proyecto.

Líder del proyecto. - Es el responsable de garantizar el cumplimiento del proyecto, define el objetivo, alcance, limitaciones, riesgos y presupuesto.

Técnico especialista. – Realiza el análisis de las actividades, diseña métodos, apoya con su experiencia y conocimiento en el proceso de cambio de moldes.

Analista de datos. - Recopila información y datos técnicos, muestra avances del cronograma de actividades, realiza análisis estadísticos y realiza el análisis de costos de los proyectos.

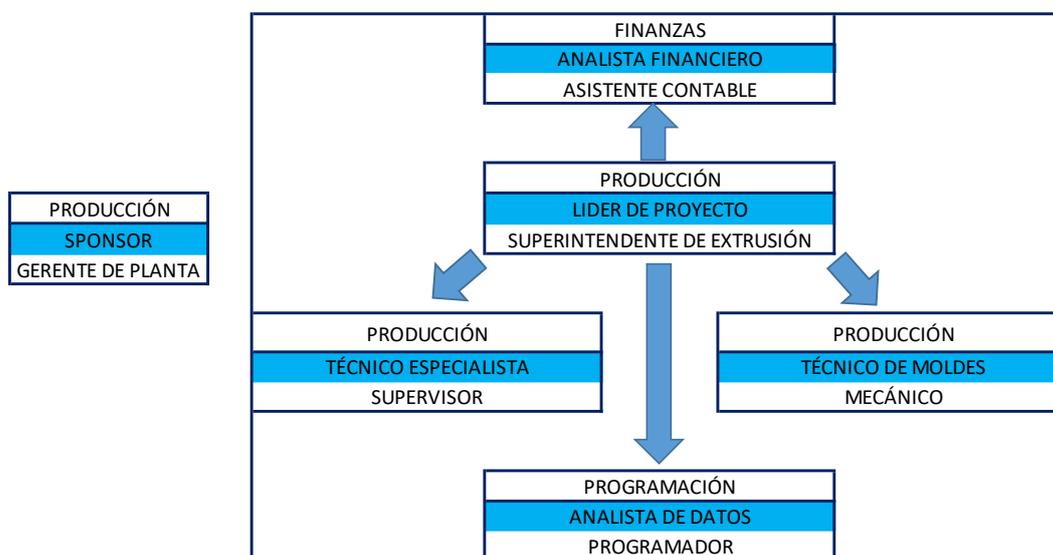


FIGURA 3.2 EQUIPO DEL PROYECTO SMED

Técnico de moldes. - Realiza las actividades en el proceso de cambio de moldes, cumpliendo paso a paso el proceso estandarizado.

Analista financiero. - Valida los ahorros obtenidos en la realización del proyecto.

Una vez conformado el equipo del proyecto SMED y con la información obtenida del proceso de cambio de moldes se procede a realizar un project charter o declaración del proyecto con la participación de todo el equipo. La figura 3.3 muestra el formato project charter con las actividades a realizar.

PROYECTO: Reducción de tiempos de cambios de moldes en la fabricación de tubería de pared estructura en la línea XT43.	
Lider de proyecto: Superintendente de extrusión	Fecha de inicio: 1 de agosto del 2021
ESTADO ACTUAL En la planta de tuberías de plásticos se evidencia que el tiempo de cambios de moldes en la línea XT43 se realiza en un promedio de 4,32 horas siendo el máximo establecido por la empresa 3,00 horas.	PLAN DE ACCIÓN 1.- Orden y limpieza de perchas del taller de moldes 2/8/2021 2.- Limpiar y pintar el taller de moldes 5/8/2021 3.- Colocación de tablero con ordenes de fabricación en taller 5/8/2021 4.- Elaboración de tablero de herramientas 7/8/2021 5.- Adquisición de carrito para herramientas 10/8/2021 6.- Abastecimiento de pernos y casillero 10/8/2021 7.- Distribución de funciones a personal de taller de moldes 10/8/2021 8.- Capacitación al personal en temas de SMED 15/8/2021 9.- Construcción de banco de pruebas en taller de moldes 15/8/2021 10.- Capacitación al personal en temas eléctricos y mecánicos 30/8/2021 11.- Construcción de boquilla para fabricación de tubo drenaje 30/8/2021 12.- Reconocimiento al personal 30/8/2021
OBJETIVO Reducir el tiempo promedio de los cambios de moldes de la línea XT43 que fabrica tubería de pared estructurada de 4,32 horas a 3,00 horas.	MIEMBROS DEL EQUIPO Superintendente de extrusión Supervisor de moldes de extrusión Mecánico de moldes Eléctrico de moldes Programador / Analista de datos Asistente contable
CLIENTES Extrusión Comercial Servicio al Cliente Planeación	PROVEEDORES Compras Gestión Humana Contabilidad Ecoeficiencia
RIESGOS DEL PROYECTO Falta de recursos Cultura del personal Falta de capacitación	FIRMAS Sponsor: Gerente de Planta Lider del proyecto: Superintendente de extrusión

FIGURA 3.3 PROJECT CHARTER

3.1.1. Orden y limpieza de perchas de herramientas.

Dando cumplimiento al plan de acción establecido en el project charter se procede a realizar un programa de orden y limpieza en el taller de moldes, iniciando con el ordenamiento de los componentes y herramientas utilizados en el armado de moldes. Los componentes de los moldes y herramientas se encuentran almacenados en perchas sin codificación alguna y no cuentan con un orden establecido, lo cual dificulta la búsqueda de los mismos al momento de realizar un armado de molde para cambio de programa.

Se asigna a 2 mecánicos de moldes la actividad de clasificación de herramientas por medida y tipo de producto a fabricar, los cuales posteriormente son almacenados en las perchas que se encuentran codificadas por niveles. La figura 3.4 muestra el trabajo de orden y limpieza realizado en las perchas del taller de moldes.



FIGURA 3.4 ORDEN Y CLASIFICACIÓN DE HERRAMENTALES DE MOLDES

3.1.2. Limpieza y trabajos de pintura en taller de moldes.

Teniendo en consideración que las actividades relacionadas al Visual Factory o planta visual son importantes para mejorar el ambiente de trabajo y reducir las pérdidas de tiempo, en el focus group se decide realizar un mantenimiento al taller de moldes en general que corresponde a trabajos de limpieza y pintura, estas actividades fueron realizadas con personal propio del taller durante un fin de semana.

La empresa dispone de una estandarización de colores para todos los elementos que se encuentran en las diferentes áreas: máquinas, tableros, paredes, pisos, etc. La figura 3.5 muestra los trabajos realizados en el taller de moldes.



FIGURA 3.5 TRABAJOS DE LIMPIEZA Y PINTURA EN TALLER DE MOLDES

3.1.3. Tablero informativo con programas de producción.

Para ajustar el proceso de cambio de moldes a lo establecido en la figura 2.25 que muestra la clasificación ideal de actividades de cambios de moldes, se requiere preparar el molde entrante a la línea de producción con anticipación a la parada. Es de vital importancia que el personal de taller de moldes este informado de la programación de producción por línea y de esta forma conocer la secuencia de moldes que se requiere preparar.

Se procede a elaborar un tablero informativo colocado a la entrada del taller de moldes, donde se publican avances de proyectos, nombre de los integrantes del equipo de proyecto SMED, mejoras realizadas, adquisiciones de equipos y herramientas, actualización de procedimiento o instructivos y el programa de producción semanal. La figura 3.6 muestra el tablero informativo para el taller de moldes.



FIGURA 3.6 TABLERO INFORMATIVO DE TALLER DE MOLDES

3.1.4. Elaboración de tablero y adquisición de carro móvil para herramientas.

Durante el análisis de actividades y toma de tiempos se pudo observar que existen pérdidas de tiempo al momento de seleccionar las herramientas para el armado y montaje de moldes e inclusive fue necesario improvisar con dispositivos que no correspondían a las herramientas adecuadas para algún trabajo específico, por tal motivo el equipo del proyecto decide elaborar un tablero de herramientas correctamente identificado y al alcance del personal. En este tablero cada herramienta es ubicada en un lugar específico y una vez utilizada se deberá colocar en el mismo lugar. Cabe recalcar que este tablero de herramientas será utilizado únicamente en el taller para el armado de moldes entrantes a la línea de producción. La figura 3.7 muestra el tablero de herramientas elaborado para el taller de moldes de extrusión.

Para los montajes de moldes en la línea de extrusión se realiza la adquisición de un carro móvil de herramientas, esto permite transportar la totalidad de herramientas a utilizar en el cambio de molde, evitando pérdidas de tiempo y realizar movimientos innecesarios. La figura 3.8 muestra el carro móvil adquirido para el traslado de las herramientas a la línea de extrusión.



FIGURA 3.7 TABLERO DE HERRAMIENTAS DE MOLDES



FIGURA 3.8 CARRO MÓVIL PARA TRANSPORTE DE HERRAMIENTAS

3.1.5. Distribución de funciones del personal de moldes.

Se procede a realizar una redistribución de las actividades realizadas por cada uno de los colaboradores del taller de moldes. Se considera necesario disponer de un mecánico encargado de la preparación previa de los moldes para la fabricación de tubería de pared estructurada y un mecánico encargado para los moldes de tubería de pared maciza, los demás colaboradores serán los responsables de realizar los montajes y desmontajes de las líneas de extrusión. Adicionalmente se requiere fusionar las actividades mecánicas y eléctricas, es decir el personal encargado de los montajes y desmontajes debe tener competencias técnicas en ambas actividades, para esto el equipo del proyecto SMED propone un plan de capacitación previo a su implementación. Estas acciones buscan reducir significativamente los tiempos de espera empleados en llamados a personal eléctrico o mecánico según corresponda. La figura 3.9 muestra el nuevo organigrama del taller de moldes de extrusión.

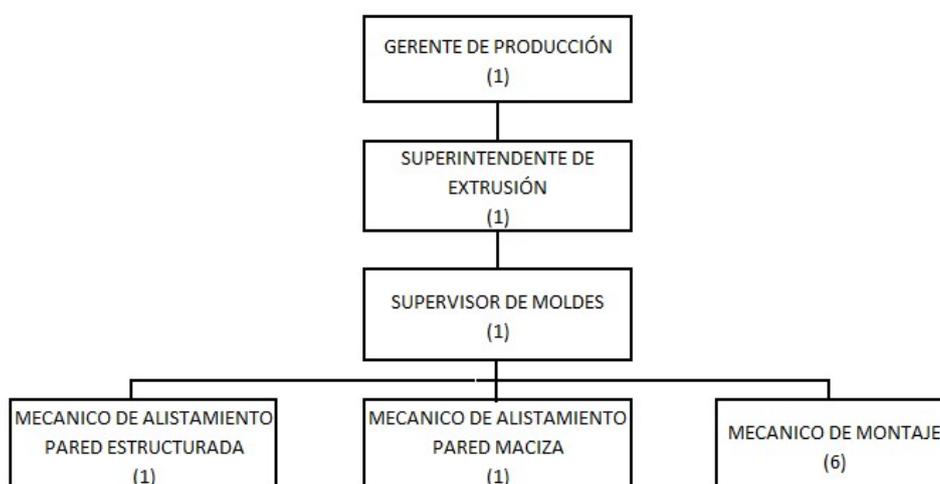


FIGURA 3.9 NUEVO ORGANIGRAMA DEL TALLER DE MOLDES

La figura 3.10 muestra el perfil requerido para el personal técnico de taller de moldes, dado los requerimientos actuales y en busca de reducir los tiempos de cambios de moldes.

3.1.6. Programa de capacitación al personal.

Con la finalidad de fortalecer las competencias del personal de taller de moldes, el equipo de proyecto acuerda realizar un programa de capacitación donde se incluye temas relacionados a procesamiento de plásticos, proceso de extrusión, materias primas y mezclas, metodología SMED, herramientas de mejora continua, electricidad básica y mecánica básica. El cumplimiento del programa de capacitación permitirá eliminar las actividades de espera entre personal mecánico y eléctrico para ejecutar una actividad, exteriorizar actividades internas, identificar desperdicios en el proceso de cambio de moldes. La figura 3.11 muestra el programa de capacitación para el personal técnico de taller de moldes.

Una vez culminado el programa todo el personal de taller de moldes debe cumplir con el perfil establecido para el cargo, para este fin se debe aprobar todas las pruebas teóricas y prácticas de cada módulo.

Edad	Sexo	Estado Civil	Disponibilidad de viajar	Frecuencia	
De 23 a 30 años	Femenino	Casado	Si	Ocasionalmente	
	Masculino	X Soltero			
	Indistinto	Indistinto	No	X Frecuentemente	
Idioma %			Otro Idioma %		
Inglés (Indispensable)					
Hablar	Leer	Escribir	Hablar	Leer	Escribir
0%	30%	0%			
Paquetes de Cómputo			Manejo de Utilitarios: Word, Excel, AutoCAD, Inventor.		
Formación Académica (Bachiller, Estudiante Universitario, Profesional 3er Nivel, Profesional 4to Nivel)			Área o Especialidad (Ingenierías, Tecnologías)		
Mínimo Bachiller			Técnico electromecánico		
Adiestramiento relacionado con el cargo					
Montaje y desmontaje de moldes, Electricidad básica, Mecánica básica, Manejo de PLC, Izaje de cargas, Supervisión de personal.					
Nivel de Competencias al que pertenece					
Contribuidor Individual Aplican Competencias del 1 al 8	X	Líder de Gente Aplican Competencias del 1 al 10	Líder Senior Aplican Competencias del 1 al 10		
Contribuidor Individual Aplican Competencias del 1 al 8	Competencias Técnicas Básicas				
1. Integridad	1.- Electricidad				
2. Pasión por Resultados	2.- Mecánica				
3. Excelencia Operativa	3.- Izaje de cargas				
4. Orientación al Cliente	4.- Procesamiento de plásticos				
5. Innovación	5.- Mejora continua				
6. Trabajo en Equipo					
7. Adoptando el Cambio					
8. Toma de Decisiones					
9. Liderazgo de Gente					
10. Dirigiendo el Cambio					
Experiencia Laboral	Si	X	No		
Áreas	Puestos			Años	
	Cargos similares			2 años	
Fuentes potenciales de satisfacción	Fuentes potenciales de frustración	Oportunidades de desarrollo profesional			
Cumplir con objetivos y metas	No cumplir con objetivos y metas	De acuerdo a su educación, adiestramiento, experiencia y habilidades puede postular a supervisor de taller de moldes.			
Capacitación, Reconocimiento y Desarrollo	Falta de capacitación, reconocimiento y desarrollo				
Cero Accidentes	Accidentes				
Requerimientos físicos generales	Requerimientos físicos especiales				
Buen estado de salud	No padecer de enfermedades auditivas, alérgicas, vasculares o psiquiátricas ni trastornos osteoarticulares de miembros superiores.				

IX. REVISADO Y APROBADO

Revisado	Superintendente de Extrusión	2021-08-10
Aprobado	Gerente de Planta	2021-08-10

FIGURA 3.10 PERFIL DE PERSONAL TÉCNICO DE MOLDES DE EXTRUSIÓN

MÓDULO	FECHA	DURACIÓN	INSTRUCTOR
Metodología SMED	15/8/2021	8 horas	Lider Lean Ecuador
Electricidad básica	20/8/2021	12 horas	Supervisor de taller eléctrico
Conexiones eléctricas de extrusora	30/8/2021	8 horas	Supervisor de taller eléctrico
Mecánica básica	15/9/2021	8 horas	Superisor de taller mecánico
Herramientas de mejora continua	30/9/2021	8 horas	Lider Lean Ecuador
Materias primas	1/10/2021	8 horas	Supervisor de calidad
Proceso de extrusión	15/10/2021	20 horas	Proveedor externo
Procesos de plásticos	1/11/2021	8 horas	Proveedor externo
Mecanizado y Soldadura	15/11/2021	20 horas	Proveedor externo

FIGURA 3.11 PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

La figura 3.12 muestra la ejecución de la primera capacitación relacionada a metodología SMED con el personal técnico de taller de moldes, producción y el supervisor del área.



FIGURA 3.12 CAPACITACIÓN DE METODOLOGÍA SMED

3.1.7. Construcción de banco de pruebas para moldes.

Para exteriorizar todas las actividades que corresponden a la preparación y armado del molde entrante se procede a construir un banco de pruebas que me garantice el correcto funcionamiento del molde una vez montado en la extrusora, las características a evaluar son:

- Evaluación de zonas de calentamiento internas
- Evaluación de zonas de calentamiento externas
- Adecuado ajuste de pernos entre componentes
- Caudal de agua del mandril

- Medición de temperatura en superficie del mandril
- Inspección visual de acabados de cada componente
- Medición de nivel de cromo de cada componente
- Medición del diámetro exterior del mandril

Se cuenta con un panel eléctrico y bridas de sujeción de la bodega de excedentes, el objetivo principal es construir un banco de pruebas que permita simular una extrusora dentro del taller de moldes. La brida principal es sujeta sobre una base sólida dentro del taller y las conexiones eléctricas del panel y bomba de agua son realizadas con personal propio. Una vez construido el banco de pruebas es posible armar un molde para fabricar tubería de pared estructurada en el taller, probar su correcto funcionamiento y llevarlo armado a la extrusora, exteriorizando por completo el proceso de armado del molde entrante. La figura 3.13 muestra el banco de pruebas construido para los moldes de tubería de pared estructurada.

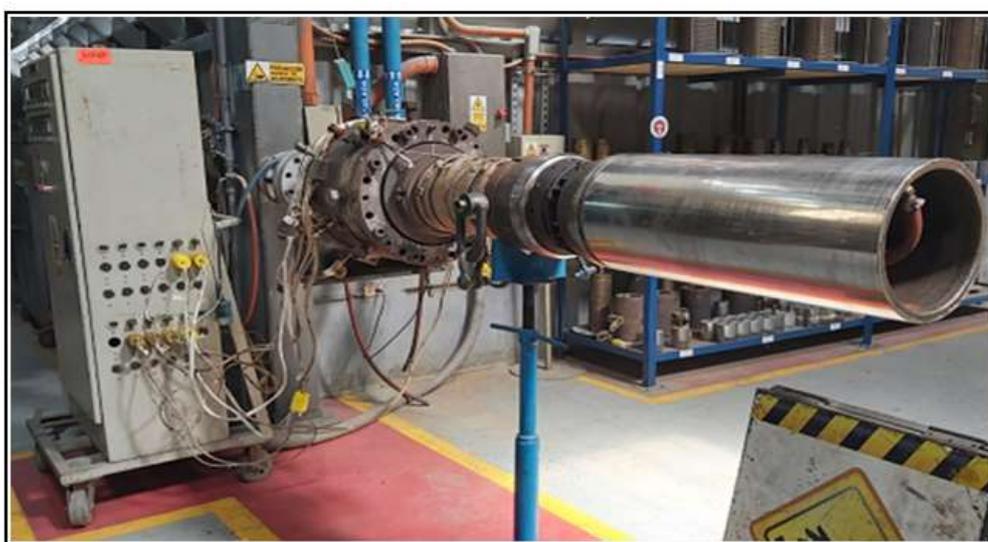


FIGURA 3.13 BANCO DE PRUEBAS DE MOLDES PARED ESTRUCTURADA

3.2. Optimización de actividades internas

La optimización de las actividades internas restantes, aún las reducciones obtenidas en etapa anterior de la implementación pueden ser mejoradas. Una vez exteriorizadas las actividades de preparación de molde entrante se busca reducir el tiempo de aquellas actividades que continúan siendo internas. Esta labor es de alto nivel de detalle y requiere de mucho ingenio y capacidad de diseño de nuevos dispositivos.

Se observa que las familias de productos de pared estructurada generalmente se programan por diámetros similares, por ejemplo, si se está fabricando un lote de tubería de pared estructurada de 160mm es común encontrar en el programa de producción que el lote siguiente es tubería de 160mm drenaje, ambas tuberías poseen el mismo diámetro exterior y la diferencia radica en el número de pieles o capas. El número de capas de la tubería depende de un componente del molde llamado boquilla.

En la actualidad cada tipo de producto, pared estructurada o drenaje poseen diferentes moldes de fabricación. El trabajo de optimización consiste en diseñar una boquilla con

características especiales que permita trabajar ambos tipos de tubería con un solo molde. Al momento que se requiere cambiar de un producto a otro del mismo diametro nominal solo será necesario realizar un cambio de boquilla, el tiempo empleado en este cambio es aproximadamente 20 minutos.

La boquilla está formada de 3 partes mecanizadas en acero inoxidable y su base debe ajustar al molde mediante pernos de sujeción. Las figuras 3.14, 3.15 y 3.16 muestran los planos del diseño realizado de las partes de la nueva boquilla.

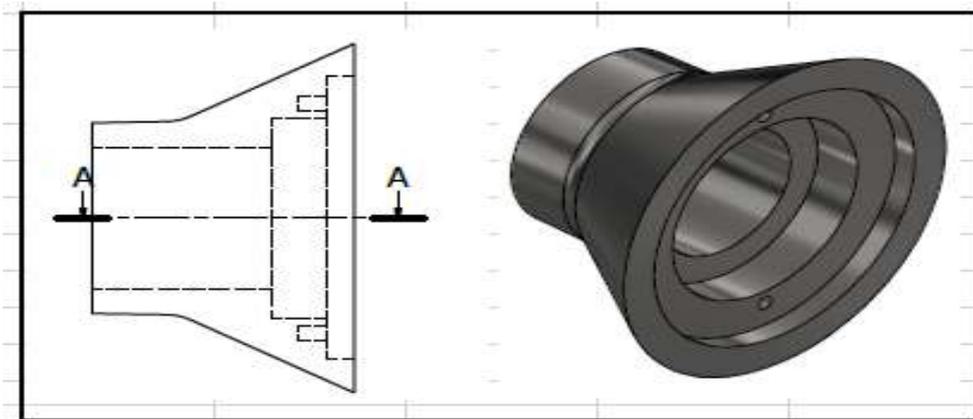


FIGURA 3.14 PARTE 1 DE NUEVA BOQUILLA

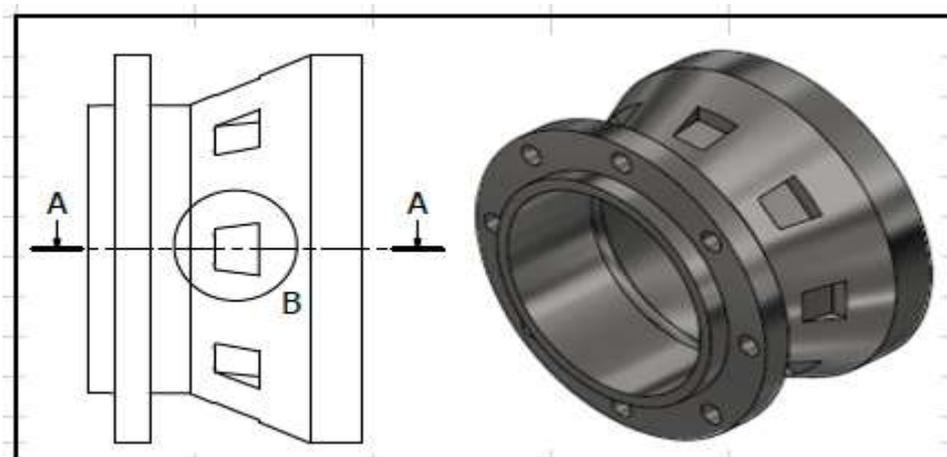


FIGURA 3.15 PARTE 2 DE NUEVA BOQUILLA

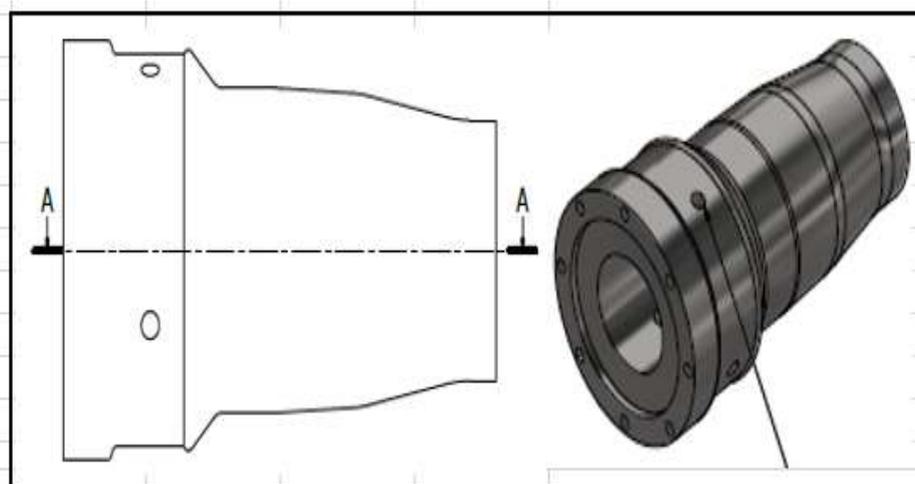


FIGURA 3.16 PARTE 3 DE NUEVA BOQUILLA

3.3. Estandarización y elaboración de formatos

Con el objetivo de garantizar la sostenibilidad en el tiempo de las mejoras realizadas en el proceso de cambio de moldes de tuberías de pared estructurada y el correcto funcionamiento del banco de pruebas, se procede a elaborar formatos de inspección y control. La figura 3.17 muestra el formato de inspección al banco de pruebas donde se indica la frecuencia y características a evaluar.

Es de vital importancia contar con registros de las inspecciones y controles realizados a los moldes entrantes a la línea de extrusión, de esta forma se garantizará el correcto ensamble de cada uno de los componentes, estos controles ahora son realizados en el taller y los resultados son obtenidos en el banco de pruebas. La figura 3.18 muestra el formato elaborado para el control de la prueba del molde previo al montaje en la línea de producción.

Fecha de revisión: 2021-08-15

INSPECCIÓN DE BANCO DE PRUEBAS PARED ESTRUCTURADA

Fecha:
 Hora de Inspección:
 Área: Taller Moldes Extrusion

Nombre del usuario:
 Equipo:
 Código de Equipo:

#	Ítems a verificar	Cumple	No Cumple	# Orden Trabajo	Observaciones
Lista de Verificación					
1	Revisar estado de piso EVA				
2	Revisar que no exista goteo de agua				
3	Revisar estado medidor de agua				
4	Revisar estado válvula de paso				
5	Revisar estado de manguera				
6	Revisar estado de acople rapido				
7	Revisar panel de eléctrico por zonas				
8	Revisar Señalizaciones de seguridad visible , entrada y salida de agua				
9	Revisar limpieza del equipo, presencia de oxido, desperdicios, etc.				
10	Revisar estado de pernos y tuercas en base fija				
11	Revisar estado de parantes de seguridad				
12	Revisar estado de soporte de cabezales				
13	Codificación del equipo				
Observaciones adicionales					
Daño observado (Cualquier daño observado, debe ser registrado aquí)					

Instrucciones:

* Si alguna de las condiciones anteriores no se cumple, se debe realizar una orden de trabajo para su respectiva reparación /seguimiento.

*Este formato se llenará cada vez que se use el equipo.

 Firma del Operador

 Firma del Jefe del Área
FIGURA 3.17 FORMATO DE INSPECCIÓN DE BANCO DE PRUEBAS

Fecha de revisión: 2021-08-15

PRUEBA DE MOLDE DE PARED ESTRUCTURADA	
Fecha: _____	Máquina : _____
Turno: _____	Cabezal: _____
Hora: _____	Medida a Entregar: _____

ITEM	LISTA DE VERIFICACION.	Cumple	No Cumple	Observaciones:
1	Estado y lubricación de pernos y tuercas del adaptador.			
2	Estado y lubricación de los pernos de la brida de hembras y boquillas.			
3	Estado y lubricación de los pernos con su bisel de centrado			
4	Estado y codificación del macho, no debe presentar suciedad ni porosidad.			
5	Estado, codificación y diámetros del mandril.			
6	Estado de la flauta interna			
7	Estado de los pernos reguladores de Gap de la boquilla NF.			
8	Estado de los prisioneros de las boquillas, y roscas donde se alojan.			
9	Estado de las roscas donde se aloja adaptacuplas de los moldes.			
10	Calentadores completos y en buen estado.			
11	Inexistencia de contras salidas en los diferentes emsanbles de los herramientas. (sin escalones).			

ITEM	REGISTRO DE CROMO	#1	#2	Observaciones:
1	Estrangulador			
2	Hembra de inicial			
3	Hembra intermedia			
4	Hembra final			
5	Tuerca de cono			
6	Cono			
7	Araña del molde			
8	Macho			
9	Araña de boquilla			
10	Boquilla			

ITEM	DIMENSIONES	Inicio	Final	Observaciones:
1	Diámetro del mandril			

OBSERVACIONES:

Realizado por:

Revisado por:

Recibido por:

Mecánico de moldes extrusión_____
Supervisor de moldes_____
Supervisor de producción**FIGURA 3.18 FORMATO DE PRUEBA DE MOLDE**

CAPÍTULO 4

4.- RESULTADOS

4.1. Medición y evaluación de las mejoras

Luego de establecer y aplicar las mejoras en el proceso de cambio de moldes en la línea XT43 para la fabricación de tubería de pared estructurada, se realiza la medición del impacto que la implementación de la herramienta SMED tiene en el proceso y determinar si las expectativas planteadas inicialmente en la clasificación ideal de actividades de cambios de moldes fueron logradas.

La reducción de los tiempos en los cambios de moldes mediante la aplicación de la metodología SMED significa grandes beneficios para la empresa, para lo cual se empezó con un cambio cultural de los colaboradores basado en la mentalidad de logro y trabajo en equipo, luego se realizaron reuniones de trabajo en las que se fueron definiendo las mejoras a implementar mediante un project charter y finalmente la aplicación de las mismas.

Se procede a realizar una medición de tiempos en un cambio de molde aplicando las mejoras realizadas. Cabe recalcar que este cambio de molde se lo realiza únicamente para evaluar las mejoras, dado que al momento no se cuenta con una orden de producción en firme asignada a esa línea de producción. Se realiza el montaje del molde de 160mm pared estructurada, el cual fue motivo de análisis en la situación actual del proceso en el capítulo 2 del presente proyecto, de esta forma el comparativo se dará en iguales condiciones. El operador seleccionado para ejecutar el cambio de molde cuenta con 15 años de experiencia y estará encargado de realizar las actividades mecánicas y eléctricas, de esta forma se espera simular la mejora relacionada a fusionar las actividades del personal de taller de moldes, en vista que aún no han sido culminadas las capacitaciones establecidas en el programa de capacitación de la figura 3.11 para todo el personal del taller.

En la tabla 3 se observan los tiempos empleados en cada una de las actividades del proceso de cambio de molde de 160mm pared estructurada con las mejoras implementadas.

Con la implementación de la metodología SMED se obtuvo una reducción en el tiempo de cambio de molde de 5 horas con 22 minutos a 2 horas con 40 minutos, es decir una reducción del 50,31% y el número de actividades se reducen de 39 a 26. Con este resultado se da cumplimiento al indicador máximo establecido por la empresa de 3 horas. La tabla 4 muestra los resultados obtenidos realizando comparativos entre los tiempos de cambios de moldes inicial, ideal y el tiempo empleado luego de las mejoras implementadas.

TABLA 3. TIEMPOS DE CAMBIOS DE MOLDES CON MEJORAS

No.	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	PERSONAL	MEDICIÓN (HH:MM:SS)	TIEMPO POR ACTIVIDAD (HH:MM:SS)
1	Parar la extrusora	Operador	8:22:00	0:17:11
2	Purgar la extrusora	Operador	8:39:11	0:13:28
3	Realizar RQ para cambio	Operador	8:52:39	0:08:21
4	Preparación y traslado de herramientas a extrusora	Mecánico	9:01:00	0:10:22
5	Colocación de fajas calentadoras	Mecánico	9:11:22	0:01:54
6	Conexión eléctrica de fajas calentadoras	Mecánico	9:13:16	0:01:09
7	Apertura de llave de agua helada para mandril	Mecánico	9:14:25	0:00:53
8	Enfriamiento del mandril	Mecánico	9:15:18	0:01:42
9	Desmontaje de mandril	Mecánico	9:17:00	0:04:44
10	Aflojar pernos de hembras	Mecánico	9:21:44	0:10:31
11	Retiro de fajas calentadoras	Mecánico	9:32:15	0:04:24
12	Desconexión eléctricas de zonas	Mecánico	9:36:39	0:05:13
13	Desacople de la boquilla del molde	Mecánico	9:41:52	0:01:38
14	Aflojar pernos del adaptador	Mecánico	9:43:30	0:04:30
15	Desmontaje del molde	Mecánico	9:48:00	0:08:59
16	Desacople de la hembra final del macho del molde	Mecánico	9:56:59	0:06:21
17	Desacople de hembra inicial del macho del molde	Mecánico	10:03:20	0:03:11
18	Limpieza del molde y retiro de purga	Mecánico	10:06:31	0:08:29
19	Armado de molde	Mecánico	10:15:00	0:07:16
20	Traslado del molde al taller	Mecánico	10:22:16	0:07:06
21	Colocar molde en carreta	Mecánico	10:29:22	0:05:47
22	Traslado de molde armado hacia la extrusora	Mecánico	10:35:09	0:04:08
23	Montaje de molde en extrusora	Mecánico	10:39:17	0:06:46
24	Conexiones eléctricas del molde	Mecánico	10:46:03	0:07:19
25	Montaje de mandril en el molde	Mecánico	10:53:22	0:05:50
26	Llenado de formato entrega/recepción	Mecánico	10:59:12	0:03:11
TIEMPO TOTAL DE CAMBIO				2:40:23

TABLA 4. COMPARATIVO ENTRE TIEMPOS DE CAMBIOS DE MOLDES

	TIEMPO POR ACTIVIDAD (HH:MM:SS)
ANTES DE LAS MEJORAS (INICIAL)	5:21:32
DESPUES DE LAS MEJORAS (FINAL)	2:40:23
EL MEJOR ESCENARIO (IDEAL)	2:22:09

Durante la medición del tiempo en el cambio de molde se pudo observar una reducción significativa en los tiempos de espera al momento de cambiar de una actividad realizada por el mecánico a una actividad realizada por el eléctrico o viceversa, esto fue posible porque luego de las mejoras implementadas el trabajo es realizado únicamente por el mecánico. Cabe recalcar que no fue posible cumplir con el tiempo establecido en nuestro mejor escenario o clasificación ideal de actividades de cambios de moldes, probablemente se deba a la falta de pericia por parte del mecánico al aplicar esta nueva metodología de trabajo, lo cual se espera mejorar a medida que se vayan realizando mayor cantidad de cambios de moldes y una vez cumplido el programa de capacitación propuesto.

4.2. Análisis Costo – Beneficio

Luego de detallar cada una de las mejoras implementadas, se realiza el análisis costo – beneficio para determinar la viabilidad de las acciones y el tiempo de recuperación de la inversión. El principal objetivo de este análisis es proporcionar una medida de rentabilidad mediante la comparación de los costos incurridos con los beneficios y ahorros obtenidos con el presente proyecto. En las siguientes tablas se muestran los detalles de los beneficios y ahorros obtenidos y los costos incurridos en la implementación de la metodología SMED.

TABLA 5. COSTO HORA - HOMBRE

COSTO HORA - HOMBRE	MECÁNICO	SUPERVISOR	SUPERINTENDENTE
Sueldo / mes	550,00	1000,00	2500,00
Días laborables	30	30	30
Horas / día	8	8	8
Sueldo / día	18,33	33,33	83,33
Sueldo / hora	2,29	4,17	10,42
Hora sobretiempo (pasado de las 8 horas)	3,44
Hora sobretiempo (sábados y domingos)	4,58

La principal mejora obtenida correspondiente a la aplicación de la metodología SMED es la reducción de horas de paro en la línea XT43 por motivo de cambio de moldes, lo cual permite incrementar la productividad, mantener la línea de producción operativa mayor tiempo y cumplir con mayor rapidez la orden establecida en el programa de producción. Con las mejoras implementadas se logró reducir en un 50,31% los tiempos empleados en los cambios de moldes. En el capítulo 1 se determinó que las horas empleadas en los cambios de moldes durante el año 2020 fueron de 168,50 horas. Se debe considerar que los meses de abril y mayo no registran tiempos de cambios de moldes ni ingresos de producción por cierre de planta debido al covid 19.

El costo por hora de producción sin considerar materia prima en la línea XT43 es de \$ 273.56 y corresponden a los costos por ajuste de inflación, arrendamientos, seguro de operación, impuestos y derechos, servicios externos, mano de obra directa, sueldo y otras prestaciones, mantenimiento, mano de obra de mantenimiento, depreciación de fábrica, agua, energía eléctrica, gas y otros gastos de fábrica. La tabla 6 muestra el detalle de los costos por rubros y centros de costo.

Se determina que el ahorro anual por la implementación de SMED en la línea XT43 es de 23190,32 dólares tomando como referencia la producción del año 2020 mostrada en el capítulo 1 del presente proyecto. La tabla 7 muestra el detalle de número de cambios, horas empleadas por mes, ahorro de horas y ahorro en dólares.

Luego de calcular los ahorros obtenidos se procede a determinar los costos incurridos por temas relacionados a capacitación del personal y otros costos asociados a orden y limpieza del taller, letreros, carro móvil para herramientas, la habilitación del banco de pruebas para moldes y la construcción de la boquilla de ensamble rápido. Cuando las capacitaciones son realizadas por personal interno se ha definido una tarifa de 10 dólares por hora de capacitación.

TABLA 6. COSTOS POR HORA DE PRODUCCIÓN

TARIFA	COSTO	CENTRO DE COSTO
INFLAC	\$ 0,01	Ajuste de Inflación
OGTO	\$ 6,10	Otros Gastos de Fabrica
ARREND	\$ 0,27	Arrendamientos
SEGURO	\$ 4,60	Seguros de Operación
IMPDER	\$ 0,01	Impuestos y Derechos
SEREXT	\$ 1,96	Servicios Externos
MOD	\$ 0,01	Mano de Obra Directa
MOI	\$ 53,16	Sueldo y Otras Prestaciones
MITO	\$ 17,02	Mantenimiento
MOMTTO	\$ 13,16	Mano Obra de Mantenimiento
DEPREC	\$ 161,56	Depreciación de Fabrica
AGUA	\$ 0,01	Agua
ENELEC	\$ 15,68	Energía Electrica
GAS	\$ 0,01	Gas
TOTAL	\$ 273,56	

TABLA 7. AHORRO MENSUALIZADO POR REDUCCIÓN DE TIEMPOS EN CAMBIOS DE MOLDES.

HORAS DE PARO	SOLICITUD	MES	TOTAL DE HORAS X MES	AHORRO DE HORAS	AHORRO EN USD
1,50	31-ene-20	enero	19,90	10,01	\$ 2.738,80
4,20	29-ene-20				
5,80	27-ene-20				
8,40	22-ene-20				
4,00	26-feb-20	febrero	28,80	14,49	\$ 3.963,69
4,70	20-feb-20				
2,80	13-feb-20				
8,80	10-feb-20				
4,50	4-feb-20				
3,00	4-feb-20				
1,00	3-feb-20	marzo	5,80	2,92	\$ 798,24
2,00	4-mar-20				
3,80	3-mar-20	junio	8,80	4,43	\$ 1.211,13
3,00	24-jun-20				
2,00	22-jun-20				
3,80	15-jun-20	julio	16,20	8,15	\$ 2.229,57
6,50	26-jul-20				
3,20	20-jul-20				
3,50	13-jul-20				
3,00	1-jul-20	agosto	22,50	11,32	\$ 3.096,63
2,50	25-ago-20				
3,50	21-ago-20				
2,00	17-ago-20				
6,50	14-ago-20				
8,00	1-ago-20	septiembre	28,10	14,14	\$ 3.867,35
1,80	29-sep-20				
3,50	23-sep-20				
9,50	17-sep-20				
4,50	15-sep-20				
2,50	13-sep-20				
3,50	11-sep-20				
2,80	1-sep-20	octubre	4,20	2,11	\$ 578,04
3,00	14-oct-20				
1,20	8-oct-20	noviembre	19,70	9,91	\$ 2.711,27
8,00	24-nov-20				
5,70	11-nov-20				
6,00	9-nov-20	diciembre	14,50	7,29	\$ 1.995,61
8,00	17-dic-20				
6,50	1-dic-20				
TOTAL				84,77	\$ 23.190,32

TABLA 8. COSTOS DE CAPACITACIÓN

DESCRIPCIÓN DE PERSONAL A CAPACITARSE	# DE PERSONAS A CAPACITARSE	SUELDO POR HORA	AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		TOTAL (\$)
			#HORAS	COSTO (\$)	#HORAS	COSTO (\$)	#HORAS	COSTO (\$)	#HORAS	COSTO (\$)	
Mecánicos	8	3,44	28	770,56	16	440,32	28	770,56	28	770,56	2752,00
Supervisor	1	4,17	28	116,76	16	66,72	28	116,76	28	116,76	417,00
Costo del Instructor	9	10	28	280,00	16	160,00	28	280,00	28	280,00	1000,00
COSTO TOTAL				1167,32		667,04		1167,32		1167,32	4169,00

TABLA 9. OTROS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

OTROS COSTOS		VALOR
Orden y Limpieza del taller	Pintura	120,00
	Implementos de limpieza	21,00
Tablero y Carro Móvil para herramientas	Elaboración de Tablero	60,00
	Carro Móvil	650,00
Banco de Pruebas para alistamiento de moldes	Elementos eléctricos	230,00
	Elementos Mecánicos	1750,00
Tablero Informativo con programas de producción		150,00
Construcción de boquilla de facil ensamble		830,00
TOTAL		3811,00

Con los valores mostrados se procedió a elaborar el flujo de caja para determinar si la implementación de la metodología SMED es rentable para la empresa. En el anexo A se observa el flujo de caja proyectado a 1 año con sus respectivos ingresos y egresos, así como los resultados del VAN y el TIR obtenidos.

TABLA 10. EVALUACIÓN FINANCIERA

VAN	\$ 5.755,00
TIR	19%
TMAR	12%

Siendo el TIR mayor a la tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) y el valor actual neto (VAN) mayor a 0, se concluye que la implementación de la metodología SMED para reducir los tiempos de cambios de moldes en la línea XT43 es rentable

CAPÍTULO 5

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La implementación de la metodología SMED en el proceso de cambio de moldes en la línea xt43 de fabricación de tubería plástica de pared corrugada ha logrado reducir los tiempos de cambios en un 50,31%, dando cumplimiento al objetivo planteado en este proyecto y el establecido por la empresa.

Se realizó la descripción de la situación actual del proceso del cambio de moldes y las variables críticas que impactan la disponibilidad del tiempo de la máquina en la línea de tubería de pared estructurada. El levantamiento de información del proceso se realizó mediante la grabación del método, revisión y análisis de datos históricos y un estudio de tiempos.

Se identificaron, clasificaron y analizaron todas las actividades internas y externas realizadas en el proceso de cambios de moldes, para luego establecer una clasificación de actividades ideal y reducir los tiempos empleados en el proceso.

Se realiza una reunión con personal de taller de moldes para la elaboración de un project charter y establecer el plan de acción. Se conforma el equipo de proyecto SMED incluyendo personal de apoyo de otras áreas.

Mediante la ejecución de un plan de acción se implementa la metodología SMED en el proceso de cambio de moldes, iniciando con la exteriorización de las actividades internas para luego continuar con la optimización de actividades internas y externas y finalmente estandarizar los nuevos procedimientos. Fue de vital importancia concentrar todos los esfuerzos en la preparación con antelación del molde entrante a la línea de producción y herramientas a utilizar, para este fin fue necesario la coordinación con el área de programación, realizar una redistribución de funciones del personal, establecer un programa de capacitación que permita mejorar la competencia técnica del personal de taller de moldes y la construcción de un banco de pruebas que permita garantizar el correcto funcionamiento del molde en la línea de producción.

Mediante el análisis costo – beneficio y a través de la elaboración de un flujo de caja se observan los ahorros generados mensualmente por la implementación de la metodología SMED y los resultados del VAN y el TIR muestran que las mejoras realizadas son justificables y reportan altos beneficios y ahorros a la empresa.

5.2. Recomendaciones

Conservar el equipo de proyecto SMED conformado para replicar la implementación en las demás líneas de producción de tubería plástica de pared estructurada y convencional.

Realizar reuniones periódicas con el personal de taller de moldes y producción con el objetivo de monitorear los resultados obtenidos y establecer nuevos parámetros de tolerancia de ser necesario.

Establecer un plan de mantenimiento preventivo para el banco de pruebas construido en el taller, con el fin de reducir el proceso de verificación previo a su uso, adicionalmente reemplazar aquellos componentes que presentan desgastes o deterioro al tratarse de equipos que no son nuevos.

Realizar reuniones semanales con el planeador y programador de producción para que el personal de moldes sea informado en detalle de las ordenes de producción programadas durante la semana y garantice la correcta preparación de los moldes con antelación.

Una vez culminado el programa de capacitación se debe actualizar toda la documentación relacionada a cargos y funciones del personal, procedimientos de cambio de moldes, procedimientos seguros de trabajo, formatos de inspección y control, etc.

Motivar al personal mediante charlas, planes de incentivos, recompensa por logros o proyectos ejecutados con la finalidad que el entusiasmo del colaborador no decaiga.

Finalmente, continuar aplicando herramientas de producción esbelta en el proceso productivo para la eliminación de desperdicios, es importante que se establezcan metas ambiciosas con la finalidad de potencializar la competencia técnica de los colaboradores y generar una cultura de mejoramiento continuo.

BIBLIOGRAFÍA

- Meier, D. P. & Liker, J.K. (2008). El talento Toyota. México D.F.: Mc Graw Hill.
- Shingo, S. (1985). A revolution in manufacturing: The SMED System. Tokyo: Cambridge.
- Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing Paso a Paso: Marge Books.
- Suzuki, T. (1995). TPM en industria de proceso. Madrid: Productivity Press.
- Wilson C. (2013). Lluvia de ideas y más allá. MK.

ANEXOS

ANEXO A

FLUJO DE CAJA

	Inicial	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
A. Inversión Inicial													
Orden y limpieza del taller	141,00												
Tablero y carro móvil para herramientas	710,00												
Banco de pruebas para aislamiento de moldes	1980,00												
Tablero informativo con programas de producción	150,00												
Construcción de boquilla de fácil ensamble	830,00												
B. Ingresos													
Reducción de tiempos en cambios de moldes	2738,80	3963,69	798,24	0,00	0,00	1211,13	2229,57	3096,63	3867,35	578,04	2711,27	1995,61	
C. Egresos													
Capacitación al personal	1167,32	667,04	1167,32	1167,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D. Flujo de fondos operativos durante el proyecto (B-C)		1571,48	3296,65	-369,08	-1167,32	0,00	1211,13	2229,57	3096,63	3867,35	578,04	2711,27	1995,61
E. Egresos no Operacionales													
Aportes al capital	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F. Egresos no Operacionales													
Pago de utilidades a empleados (15%)	235,72	494,50	-55,36	-175,10	0,00	181,67	334,44	464,49	580,10	86,71	406,69	299,34	
Pago de impuesto a la renta (25%)	392,87	824,16	-92,27	-291,83	0,00	302,78	557,39	774,16	966,84	144,51	677,82	498,90	
Inversiones	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total de egresos no operacionales	628,59	1318,66	-147,63	-466,93	0,00	484,45	891,83	1238,65	1546,94	231,22	1084,51	798,24	
G. Flujo de Fondos no operativos durante el proyecto (E-F)		-628,59	-1318,66	147,63	466,93	0,00	-484,45	-891,83	-1238,65	-1546,94	-231,22	-1084,51	-798,24
H. Flujo Neto Generado (D+G)		942,89	1977,99	-221,45	-700,39	0,00	726,68	1337,74	1857,98	2320,41	346,82	1626,76	1197,37
Flujo acumulado	3811	-2868,11	-890,12	-1111,57	-1811,96	-1811,96	-1085,28	252,46	2110,44	4430,85	4777,67	6404,43	7601,80
Flujo descontado	3811	920,79	1931,63	-216,26	-683,98	0,00	709,65	1306,39	1814,43	2286,03	338,70	1588,63	1169,30

* Tasa de interés ofrecida por los bancos nacionales

2,40%

VAN	\$ 5.755
TIR	19%
TMAR	12%