

**Sistema de análisis de tiempos de manufactura de tanques cilíndricos en resina poliéster
reforzada con fibra de vidrio**

Yair de Jesús Zapata Londoño

Asesor

Constanza Eugenia Posada Salazar

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECTBI

Ingeniería Industrial

2024

Agradecimientos

Gracias a Dios por todo; cuando estamos logrando materializar nuestros sueños, es fácil creer que todo se debe a un esfuerzo individual, cuando en realidad es gracias al esfuerzo en equipo que se logra el triunfo, por esta razón, no hubiese sido posible cumplir esta meta sin las motivaciones y experiencias valiosas de las personas que formaron parte de este maravilloso proceso.

Mi más sincera gratitud a Invesa S.A. por darme la oportunidad de dirigir este proyecto en su unidad de negocio dedicada a la manufactura de tanques en PRVF, a los líderes de la Planta Materiales Compuestos por sus orientaciones y su apoyo constante, a los tutores de la Universidad y todas las personas que hicieron parte directa e indirecta de este proceso.

Resumen

El proyecto que será llevado a cabo tiene la finalidad de resolver una problemática relacionada al análisis de tiempos de manufactura para los tanques que fabrica la planta de materiales compuestos en resina Poliéster Reforzada en Fibra de Vidrio (PRFV) de la compañía Invesa S.A. Mediante la creación de un sistema de análisis probabilístico de tiempos de manufactura de tanques cilíndricos que divide el producto en 6 estaciones de trabajo para determinar, en cada una de ellas, el tiempo requerido en el proceso a partir de unas condiciones específicas de tamaño, forma, cantidad de accesorios y materia prima requerida para su elaboración.

Se pretende diseñar dicho sistema con las herramientas avanzadas que otorga el programa Excel y mediante un seguimiento de seis meses a cada una de las estaciones de trabajo, tomando tiempos de procesamiento registrados en un formato de captura de datos que contendrá cada una de las variables que intervienen en el proceso como son, el tipo de materia prima, la geometría de la superficie, la cantidad de operarios, temperatura ambiental y tipo de herramienta utilizada.

Al final del proceso se desea obtener una herramienta que le facilite a la empresa calcular los costos de cada tanque de manera que permita entregar un precio al cliente que no sea muy elevado pero que tampoco produzca pérdidas de dinero a futuro.

Palabras clave: Resina poliéster, fibra de vidrio, tanques cilíndricos, tiempo de manufactura, materiales compuestos, hand lay-up.

Abstract

The project that will be carried out has the purpose of solving a problem related to the analysis of manufacturing times for the tanks manufactured by the plant of composite materials in Fiberglass Reinforced Polyester resin (PRFV) of the company. Through the creation of a probabilistic analysis system of manufacturing times for cylindrical tanks that divides the product into 6 workstations to determine, in each of them, the time required in the process based on specific conditions of size, shape, quantity of accessories and raw material required for its elaboration.

It is intended to design said system with the advanced tools provided by the Excel program and through a six-month follow-up of each of the workstations, taking recorded processing times in a data capture format that will contain each of the variables that They intervene in the process such as the type of raw material, the geometry of the surface, the number of operators, ambient temperature and type of tool used.

At the end of the process, it is desired to obtain a tool that makes it easier for the company to calculate the costs of each tank in a way that allows a price to be delivered to the customer that is not very high but does not cause future money losses.

Keywords: Polyester resin, fiberglass, cylindrical tanks, manufacturing time, composite materials, hand lay-up.

Tabla de contenido

Introducción	11
Justificación	12
Objetivos	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos	13
Contenido del Trabajo – Descripción del escenario del proyecto.....	14
Estación 1: Vaciado de Lámina.....	14
Estación 2: Fondos y abombados.	15
Estación 3. Refuerzos	16
Estación 4. Accesorios y Acabados	20
Estación 5. Accesorios metálicos y complementarios.....	23
Diseño del sistema analizador de tiempos de manufactura	25
Pedido de ingeniería mecánica	25
Estándar de tiempos de manufactura	26
Tiempo Cronometrado	26
Factor de Calificación	28
Porcentaje de suplementos	29
Matriz de estándares de manufactura.....	33
Estación 1	37
Análisis de datos de manufactura estación 1.....	37
Tabla de análisis de tiempos estación 1.	38

Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 1	39
Estación 2	45
Análisis de datos de manufactura estación 2.....	46
Tabla de análisis de tiempos estación 2.	47
Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 2	47
Estación 3	50
Análisis de datos de manufactura estación 3.....	51
Tablas de análisis de tiempos estación 3.....	52
Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 3	54
Estación 4.....	56
Análisis de datos de manufactura estación 4.....	57
Tablas de análisis de tiempos estación 4.....	57
Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 4	58
Estación 5	59
Análisis de datos de manufactura estación 5.....	60
Tablas de análisis de tiempos estación 5.....	60
Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 5	61
Resultados	62
Consolidación del sistema completo.....	62
Optimización de los resultados.....	63
Caracterización de los resultados.....	65
Conclusiones	67
Referencias Bibliográficas	68

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Factor de calificación</i>	29
Tabla 2. <i>Valoración de suplementos</i>	30
Tabla 3. <i>Matriz de aplicación de coberturas</i>	35

Lista de figuras

Figura 1. <i>Proceso de Fabricación de Láminas.</i>	14
Figura 2. <i>Etapas de la fabricación del fondo y abombado.</i>	16
Figura 3. <i>Sellado de lámina en forma ovoide.</i>	17
Figura 4. <i>Lámina anillada con ruedas de madera.</i>	17
Figura 5. <i>Ensamble de fondo y abombado.</i>	18
Figura 6. <i>Levantamiento vertical de piezas a ensamblar.</i>	18
Figura 7. <i>Tanque ensamblado en vertical.</i>	19
Figura 8. <i>Rodillos eléctricos.</i>	19
Figura 9. <i>Aplicación de telas de refuerzo.</i>	20
Figura 10. <i>Trazado de accesorios sobre el fondo.</i>	21
Figura 11. <i>Perforación de agujeros para la instalación de bridas.</i>	21
Figura 12. <i>Instalación de Bridas y Manholes.</i>	22
Figura 13. <i>Pintado del tanque.</i>	22
Figura 14. <i>Instalación de accesorios metálicos.</i>	23
Figura 15. <i>Despacho final del tanque.</i>	24
Figura 16. <i>Formato de pedido inicial de ingeniería mecánica.</i>	25
Figura 17. <i>Formato de registro de tiempos de la estación de fondos y abombados.</i>	28
Figura 18. <i>Clasificación de suplementos por la OIT</i>	29
Figura 19. <i>Construcción de matriz de estándares en Excel.</i>	36
Figura 20. <i>Analizador de telas y resinas de la estación 1.</i>	37
Figura 21. <i>Tabla de análisis de tiempos de estación 1.</i>	39

Figura 22. <i>Hoja de Resultados de la estación 1.</i>	39
Figura 23. <i>Tabla de escenarios de estación 1.</i>	41
Figura 24. <i>Matriz de tiempos de manufactura con estación 2.</i>	45
Figura 25. <i>Analizador de telas y resinas de la estación 2.</i>	46
Figura 26. <i>Tabla de análisis de tiempos de estación 2.</i>	47
Figura 27. <i>Resultados de la estación 2.</i>	48
Figura 28. <i>Tabla de escenarios de la estación 2.</i>	49
Figura 29. <i>Tabla de escenarios de la estación 2 con vaciado al unísono.</i>	49
Figura 30. <i>Matriz de tiempos de manufactura con estación 3.</i>	50
Figura 31. <i>Analizador de telas y resinas de las estaciones 2 y 3.</i>	51
Figura 32. <i>Tabla de análisis de tiempos de estación 3 (parte 1).</i>	52
Figura 33. <i>Tabla de análisis de tiempos de estación 3 (parte 2).</i>	53
Figura 34. <i>Tabla de análisis de tiempos de estación 3 (parte 3).</i>	54
Figura 35. <i>Resultados de la estación 3.</i>	55
Figura 36. <i>Tabla de escenarios de la estación 3.</i>	55
Figura 37. <i>Matriz de estándares de fabricación de tanques para estación 4.</i>	56
Figura 38. <i>Analizador de telas y resinas de la estación 4.</i>	57
Figura 39. <i>Tablas de análisis de tiempos estación.</i>	58
Figura 40. <i>Resultados de la estación 4.</i>	59
Figura 41. <i>Analizador de telas y resinas de la estación 5.</i>	60
Figura 42. <i>Analizador de telas y resinas de la estación 5.</i>	60
Figura 43. <i>Resultados de la estación 5.</i>	61
Figura 44. <i>Hoja completa de resultados de tiempos de manufactura.</i>	62

Figura 45. <i>Matriz de variables de operarios.</i>	63
Figura 46. <i>Solver para análisis de tiempos mínimos.</i>	64

Introducción

En la compañía, cada tanque se fabrica sobre pedido, puesto que las características de diámetro, altura, capacidad, tipo de líquido que será contenido, cantidad y posición de bridas y accesorios, son especiales y corresponden a una única necesidad de un cliente en particular. Es por esta razón, que la probabilidad de realizar dos tanques idénticos es realmente baja. Sin embargo, actualmente, la empresa le entrega un precio de venta al cliente según el tipo y cantidad de materia prima, así como la cantidad de horas de trabajo que conlleva fabricar un tanque con las características deseadas, pero, la empresa no cuenta con un sistema de análisis de manufactura que pueda calcular el tiempo de elaboración de cada tanque por lo que utiliza una técnica de tanteo. Este proyecto busca solventar la problemática a través de la creación del sistema de análisis de tiempos de manufactura, para el cual, se iniciará por diseñar un formato de recolección de datos con todas las variables que intervienen en el proceso para cada una de las 6 estaciones de trabajo definidas como: vaciado de lámina, fondos y abombados, refuerzos, accesorios y acabados, accesorios metálicos y complementos. Se realizará una matriz de estándares de fabricación 112 filas y 14 columnas que contenga cada uno de los 1764 tiempos tomados, organizados para que el sistema pueda registrarlos y comenzar su análisis como punto de partida. Posteriormente se dividirá la creación del sistema en las estaciones de trabajo anteriormente mencionadas para evaluar su funcionamiento de forma independiente y finalmente unir los tiempos mediante una suma final. Para la creación del sistema se utilizará Microsoft Excel como programa principal junto con sus herramientas estadísticas de apoyo como Macros y Solver para la estructuración final.

Justificación

La planta de materiales compuestos actualmente maneja una lista de 7 resinas, 8 tipos diferentes de telas de fibra de vidrio, con dos modelos de catalizadores conocidos como MEK y BPO, lo que nos da un resultado de 112 combinaciones diferentes. Cada una de estas mezclas conlleva un tiempo diferente de manufactura según el proceso en el que deba ser aplicada; para la fabricación de tanques cilíndricos se observan 14 procedimientos diferentes los cuales son: Vaciado Lamina, Pegas Ensamble Lámina, Recuperación Telas Vaciado Vertical, Ensamble Entre Anillos, Knucle Abombado, Knucle Fondo, Telas De Refuerzo, Sellos Circunferenciales, Sellos Verticales, Vaciado Cabezal, Vaciado Fondo, Refuerzo Fondo, Ruanas y Pega Accesorios. Finalmente, multiplicamos las 112 combinaciones de materia prima por 14 procesos para un total de 1568 tiempos diferentes de manufactura.

¿Será posible que exista una herramienta de análisis de datos que permita tomar los 1568 tiempos diferentes de manufactura y combinarlos para predecir con un nivel satisfactorio de precisión el tiempo de fabricación de cualquier tipo de tanque cilíndrico solicitado por sus clientes?

Este proyecto pretende solventar la problemática que enfrenta la compañía relacionada con las pérdidas de dinero por cálculos de tiempo mal estimados mediante el diseño de un sistema de análisis de tiempos de manufactura que permita predecir los tiempos de fabricación de todo tipo de tanques cilíndricos PRFV hand lay-up.

Objetivos

Objetivo General

Implementar un sistema de análisis de tiempos de fabricación de tanques cilíndricos en resina poliéster reforzada con fibra de vidrio que pueda predecir con alta precisión el tiempo de manufactura de un tanque bajo condiciones estructurales y materia prima específicas.

Objetivos Específicos

Reconocer los diferentes tipos de materias primas, estaciones de trabajo y procedimientos de manufactura que conlleva la fabricación de los tanques en la planta de Materiales Compuestos.

Elaborar un formato de registro de tiempos de manufactura de las diferentes estaciones de trabajo diferenciando las variables de tamaño de la pieza, cantidad y tipo de materia prima requerida.

Diseñar una herramienta de predicción de tiempos de manufactura a partir del análisis de los datos obtenidos del registro de tiempos de manufactura.

Analizar los datos entregados por la herramienta en materia de predicción de tiempos de manufactura en contraste con los tiempos reales para localizar fallas y mejoras de cálculo.

Evaluar los resultados obtenidos en la creación de la herramienta digital de predicción de tiempos de manufactura para determinar la viabilidad de su implementación.

Contenido del Trabajo – Descripción del escenario del proyecto

Estación 1: Vaciado de Lámina

La estación de Vaciado de Lámina se compone de un molde metálico en forma de mesa rectangular de 1.8 metros de ancho por 23 metros de largo. El proceso para fabricar las láminas inicia con la aplicación del Gelcoat, el cual se compone de una fina capa de resina sin fibra que actuará como primer contacto con el líquido que será contenido, luego le sigue la aplicación de velo que refuerza la barrera corrosiva y posterior a este, se aplica un grupo de combinaciones preestablecidas de Mat y Roving. Dependiendo del tipo de resina y las condiciones de temperatura se pueden obtener tiempos diferentes de secado entre cada capa por ello es importante registrar los tiempos de manufactura que pueda tener en cuenta cada una de estas variables.

En la figura 1 podemos observar el proceso de vaciado de una lámina la cual, se encuentra en la fase de humectación y rodillado de las telas de fibra de vidrio.

Figura 1.

Proceso de Fabricación de Láminas.



Fuente. Autor

Finalizado el proceso de vaciar capa por capa las telas de fibra de vidrio, se deja reposar (generalmente una noche) para que la resina se termine de endurecer, luego se inicia el proceso de desmolde que consiste en despegar la lámina de la mesa utilizando rodillos para posteriormente trasladar la pieza por una escotilla en el suelo al nivel inferior donde se encuentra la etapa inicial de la estación de refuerzos.

Estación 2: Fondos y abombados.

La estación de Fondos y Abombados se compone de una serie de moldes circulares de pasta de diferentes diámetros que van desde 1 metro hasta 3.66 metros. El proceso para fabricar Fondos y Abombados es similar al Vaciado de lámina iniciando con la aplicación del Gelcoat, luego le sigue la aplicación de velo que refuerza la barrera corrosiva y posterior a este, se aplica un grupo de combinaciones preestablecidas de Mat y Roving. También depende del tipo de resina y las condiciones de temperatura para obtener tiempos diferentes de secado entre cada capa.

Luego de que la resina se encuentra seca, se procede a insertar una manguera que bombeará aire a alta presión entre el molde y la pieza vaciada con el fin de separarlas y poder trasladarla a la estación de refuerzos donde será pulida y ensamblada con las láminas de la estación 1 en un proceso que será descrito más adelante.

En la figura 2, podemos observar las cuatro diferentes etapas de la fabricación de un fondo que va desde la aplicación de cera desmoldante, la disposición de las telas de fibra de vidrio, la humectación con resina y finalmente el rodillado.

Figura 2.

Etapas de la fabricación del fondo y abombado.



Fuente. Autor

Estación 3. Refuerzos

La estación de Refuerzos se compone de una serie de actividades que toman las láminas vaciadas en la estación 1 y las tapas fabricadas en la estación 2, para luego ensamblar y constituir un tanque completo, y finalmente proceder a reforzar su superficie.

Se toma la lámina y se procede a pulir su perímetro con el fin eliminar las rebabas y obtener un rectángulo, luego se procede a tomar los extremos de la lámina para doblarlos hasta conseguir juntarlos y obtener una forma ovoide (figura 3), paso siguiente, con resina se sellan los extremos y finalmente con dos ruedas de madera del diámetro del tanque se le otorga la forma cilíndrica deseada (figura 4), la cual es llamada “anillo”.

Figura 3.

Sellado de lámina en forma ovoide.



Fuente. Autor

Figura 4.

Lámina anillada con ruedas de madera.



Fuente. Autor

Para ensamblar las tapas con los anillos, se procede a posicionar el abombado encima del anillo y se realiza un sello circunferencial como se observa en la figura 5, así mismo se ensamblará el fondo y finalmente, con ayuda del puente grúa, se levanta la

pieza desde el abombado como se observa en la figura 6, para posicionar cada anillo en la parte inferior y sellarlo hasta terminar con el fondo.

Figura 5.

Ensamble de fondo y abombado.



Fuente. Autor

Figura 6.

Levantamiento vertical de piezas a ensamblar.



Fuente. Autor

El tanque completamente ensamblado iniciará en posición vertical (figura 7), para acostarlo, se ayudará con el puente grúa el cual va descendiendo el cabezal hasta que es recibido en el suelo por dos carretillas. Finalmente, se traslada hasta el puesto de trabajo

y con ayuda de gatos hidráulicos, se sustraen las carretillas y se reposa el tanque sobre una serie de rodillos eléctricos que ayudan a girarlo sobre su propio eje como se observa en la figura 8.

Figura 7.

Tanque ensamblado en vertical.



Fuente. Autor

Figura 8.

Rodillos eléctricos.



Fuente. Autor

Para el proceso final de la estación de refuerzos con el tanque en posición horizontal, comienza la instalación de las telas de refuerzo en el área cilíndrica, se humectan las telas con resina catalizada y se rodilla de forma vertical como se observa en

la figura 9, luego con ayuda de los rodillos eléctricos, se gira el tanque para continuar con el proceso hasta cubrir la zona completamente Finalmente, se procede a instalar los knuckles y ruanas en zonas específicas descritas en el plano de ingeniería.

Figura 9.

Aplicación de telas de refuerzo.



Fuente. Autor

Estación 4. Accesorios y Acabados

Cuando el tanque se encuentra totalmente reforzado, se inicia el proceso de trazado de accesorios el que consiste en posicionar un plano de la vista inferior en el centro del fondo y trazar las líneas guías de las posiciones de cada uno de los accesorios como se evidencia en la figura 10 y luego paralelo a la longitud del cilindro se trazan las alturas de estos.

Paso siguiente, se procede a realizar los cortes circunferenciales con diferentes tipos de herramientas de corte como pulidoras según el diámetro del agujero que será

perforado (Imagen 11) para luego instalar las bridas y demás accesorios y ser fijados con masilla y telas adicionales de fibra de vidrio ejemplificadas con la figura 12.

Figura 10.

Trazado de accesorios sobre el fondo.



Fuente. Autor

Figura 11.

Perforación de agujeros para la instalación de bridas.



Fuente. Autor

Figura 12.

Instalación de Bridas y Manholes.



Fuente. Autor

Como procedimiento final, luego de que el tanque se encuentra con sus accesorios PRFV completamente instalados, se procede a realizar el acabado con pintura en base a resina poliéster conocida como top-coat como se ejemplifica en la figura 13 y posteriormente se instalan los letreros que serán embebidos o pintados.

Figura 13.

Pintado del tanque.



Fuente. Autor

Estación 5. Accesorios metálicos y complementarios.

Esta estación se comprende como la etapa final de la fabricación del tanque en PRFV en el cual se instalan los accesorios metálicos tales como escalera, guarda, baranda, izajes, anclajes y demás implementos metálicos que el cliente requiera para el correcto funcionamiento del tanque como se observa en la figura 14, y Finalmente, se realiza el proceso de poscurado que consiste en bombear aire caliente a 80° Celsius durante cuatro horas con el fin de que la resina de las paredes del tanque alcancen una mayor dureza y se garantice su durabilidad en el tiempo.

Figura 14.

Instalación de accesorios metálicos.



Fuente. Autor

Con la finalización de la estación de accesorios metálicos y complementarios, el tanque es posicionado nuevamente de forma vertical para proceder a realizar la prueba de estanqueidad que consiste en llenarlo por completo de agua y dejarlo reposar por 24 horas con el fin de evaluar la aparición de zonas de filtración de líquido o posible formación de grietas que deban ser reparadas; Si la prueba de estanqueidad arroja resultados satisfactorios, el tanque ha cumplido todas las etapas y se encuentra listo para ser embarcado en un tracto camión (figura 15) y ser transportado a su destino final.

Figura 15.

Despacho final del tanque.



Fuente. Autor

Diseño del sistema analizador de tiempos de manufactura

Pedido de ingeniería mecánica

La manufactura de un tanque en PRFV inicia con el formato del diseño preliminar de las características físicas del producto, en donde se alojan los detalles cliente, dimensiones, líquido que será almacenado, tipo de resinas a utilizar, cantidad y tipos de telas de fibra de vidrio y cantidad y tipo de accesorios que contiene el producto a manufacturar como se observa en la figura 16.

Desde allí, el departamento de producción actualmente debe realizar un análisis que parte desde la experiencia en el historial de manufactura de tanques similares para poder entregar un estimado de horas y por lo tanto el nuevo sistema que será creado partirá desde la misma información inicial.

Figura 16.

Formato de pedido inicial de ingeniería mecánica.

TCV FONDO plano 75M3					
CLIENTE			RESINAS		
			RESINA BC	VINILESTER BISFENOLA 411	
			LAMINADO BC	2 VELO NEXUS + 3 MAT ECR	
			RESINA ESTRUCTURAL	VINILESTER BISFENOLA 411 MECK	
			TOP COAT	ISOFTALICO BLANCO + UV	
DIMENSIONES			ACCESORIOS		
CANTIDAD DE TANQUES	1	Un	MANHOLE SUPERIOR	24" CON TORNILLOS INOX	1
DIAMETRO	3,4	m	MANHOLE INF	24" CON TORNILLOS INOX	1
LONGITUD CILINDRICA	8,4	m	ACCESORIOS PRFV BRIDA ANSI	2"	2
CABEZAL	ABOMBADO	0,46	B.16.5	3"	4
FONDO	PLANO	0	BANDAS TRASLUCIDAS	CON Y SIN AFORO	2
LONG TOTAL APROX	8,86	m	IZAJES GRANDES	INOXIDABLES	4
VOLUMEN UTIL	75	m3	MENSULAS DE BOLSILLO 6"x3/8"	INOXIDABLES	6
			VENTEO CUELLO GANSO	CODOO 4" PVC PRESION	SI
			PERNOS DE ANCLAJE	-	NO INCLUYE
			ESCALERA TIPO GATO Y GUARDA y	-	NO INCLUYE
			POSTCURADO	AIRE CALIENTE @ 80°C	SI
LIQUIDO A ALMACENAR			INFORMACIÓN PARA MONTAJE		
PRODUCTO					
DENSIDAD		Ton/m3			
PRESION		ATM			
TEMPERATURA	OP: AMB / DISEÑO: 50	°c			
PH	>11	-			
CONCENTRACIÓN	12 AL 19	%			
DESCRIPCIÓN DE LAMINADOS GENERALES					
ANILLO 1	2V-3M-M-9WR-9M	ABOMBADO SUP	2V-3M-4PIC-CORE-4PIC	KILOS TOTALES PLANTA	
ANILLO 2	2V-3M-M-7WR-7M	FONDO PLANO	2V-3M-6PIC	DIAS PROPUESTOS	
ANILLO 3	2V-3M-M-6WR-6M	KNUCLE SUPERIOR	M-2WR-2M	HORAS TOTALES	
ANILLO 4	2V-3M-M-4WR-4M	KNUCLE INFERIOR	M-9WR-9M	RENDIMIENTO TOTAL	
ANILLO 5	2V-3M-M-3WR-3M	RUANA INF	M-9WR-9M		
ANILLO 6	2V-3M-M-2WR-2M	PEGAS IZAJES	ESTANDAR		
ANILLO 7					
ANILLO 8					
ANILLO 9					
ANILLO 10					

Fuente. Autor

Estándar de tiempos de manufactura

La etapa inicial del diseño del sistema de análisis de manufactura consiste en realizar un estudio de métodos y tiempos para calcular el estándar de fabricación, para ello se utiliza la fórmula de estándar presentada a continuación:

$$Te = Tc \times Fc \times (1 + \%Sup)$$

Dónde,

Te: Tiempo Estándar de Fabricación en unidades de horas por metro cuadrado (h/m^2)

Tc: Tiempo Cronometrado en unidades de horas por metro cuadrado (h/m^2)

Fc: Factor de calificación expresado en porcentaje.

%Sup: Porcentaje de suplementos o tolerancias.

Tiempo Cronometrado

Para obtener el cálculo del tiempo cronometrado se procedió a diseñar una herramienta de registro de tiempos de manufactura donde se permitan diferenciar los datos de tamaño, tipo de resina, temperatura, porcentaje de catalizador, cantidad de operarios, herramienta de aplicación, tiempos de secado y tiempos de preparación del molde al igual que desmoldado de la pieza terminada.

En la figura 17 se observa el formato utilizado para la recolección de tiempo cronometrado, diseñado en forma de tabla con un encabezado que contiene la información inicial de número de proyecto, fecha de inicio, fecha final, cliente y descripción. Para el cuerpo de la tabla se realizó la configuración que relaciona en las

columnas los diferentes aspectos físicos que intervienen en la fabricación descritos a continuación:

- Inicio: Hora exacta de inicio del proceso.
- Área: Dimensiones en metros cuadrados de la pieza.
- Temp: Temperatura ambiental de la zona de fabricación.
- Resina: Tipo de resina utilizada en el proceso.
- Cataliza: Tipo de catalizador peróxido utilizado.
- Operarios: Cantidad de trabajadores.
- Herramienta: Tipo de utensilio dispuesto en la fabricación.
- T. muerto: Cantidad de tiempo en el que no se está trabajando.
- Complemento: Cantidad de tiempo en el que se realiza un reproceso.
- Fin: Hora exacta del final del proceso.

En cuanto a las filas de la tabla, se encuentra ordenadas según el proceso que será realizado descrito a continuación:

- Limpieza Molde: proceso de raspado de residuos de vaciado anterior.
- Encerado: Aplicación de cera desmoldante sobre la superficie del molde.
- Gel coat: aplicación de la capa inicial de resina.
- Corte de velo: Cortado geométrico de la capa inicial de fibra de vidrio.
- Aplicación de velo: Aplicación de la capa inicial de fibra de vidrio.
- Corte de fibra: Cortado geométrico de las capas restantes de fibra de vidrio.
- 1° a 10° capa de fibra: cada una de las coberturas de fibra de vidrio.
- Desmolde: Proceso de levantamiento de la pieza fabricada.

- Observaciones: información adicional importante.

Figura 17.

Formato de registro de tiempos de la estación de fondos y abombados.

FORMATO DE CONTROL DE TIEMPO EN FABRICACIÓN DEL ABOMBADO Y FONDO												
Número proyecto										Fecha inicio		Fecha fin
Cliente										Descripción		
PROCESO	INICIO	RADIO	ALTURA	TEMP	RESINA	CATALIZA	CANT	OPERARIOS	HERRAMIENTA	T. MUERTO	COMPLEMEN	FIN
LIMPIEZA MOLDE												
ENCERADO												
GEL COAT												
CORTE DE VELO												
APLICACIÓN VELO												
CORTE DE FIBRA												
1° CAPA DE FIBRA												
2° CAPA DE FIBRA												
3° CAPA DE FIBRA												
4° CAPA DE FIBRA												
5° CAPA DE FIBRA												
6° CAPA DE FIBRA												
7° CAPA DE FIBRA												
8° CAPA DE FIBRA												
9° CAPA DE FIBRA												
10° CAPA DE FIBRA												
DESMOLDE												
PULIDO												
OBSERVACIONES												

Fuente. Autor

Factor de Calificación

Para definir el factor de calificación se optó por usar el sistema de calificación Westinghouse, debido a que, es de los métodos más completos y utilizados por la mayor parte de los analistas en los estudios de tiempos, definida en la siguiente fórmula.

$$F_c = 1 + Habilidad + Esfuerzo + Condiciones + Consistencia$$

Las variables de Habilidad, Esfuerzo, Condiciones y Consistencia se calculan mediante la asignación de seis grados para cada una, formando una tabla de calificación descrita en la tabla 1.

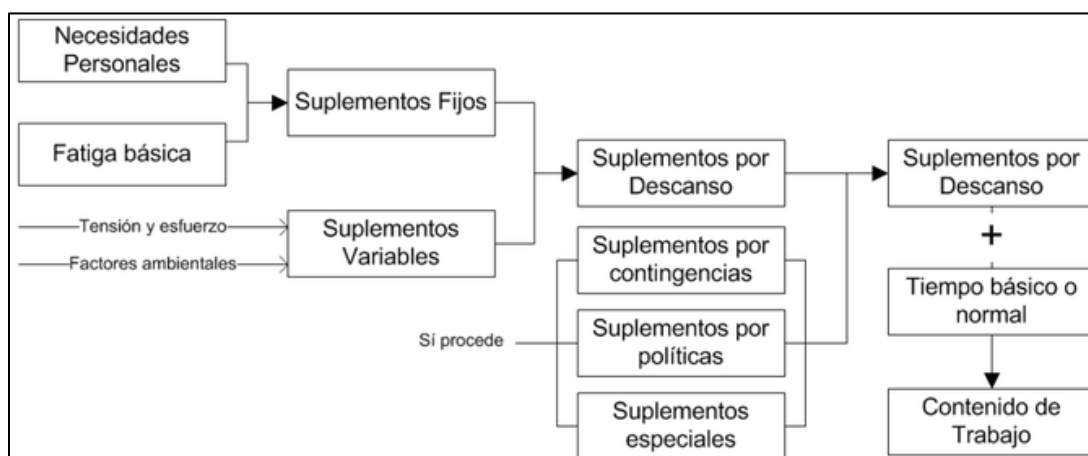
Tabla 1.*Factor de calificación.*

<i>Grado</i>	<i>Habilidad</i>	<i>Esfuerzo</i>	<i>Condiciones</i>	<i>Consistencia</i>
Superior	0.15	0.13	0.06	0.04
Excelente	0.11	0.10	0.04	0.03
Bueno	0.06	0.05	0.02	0.01
Promedio	0.00	0.00	0.00	0.00
Regular	-0.05	-0.04	-0.03	-0.02
Pobre	-0.16	-0.12	-0.07	-0.04

Fuente: Roberto García Criollo, Estudio del trabajo, ingeniería de métodos.

Porcentaje de suplementos

En la realización del cálculo se designó la clasificación propuesta por la Organización Internacional del Trabajo como se muestra en la figura 18 descrita a continuación.

Figura 18.*Clasificación de suplementos por la OIT*

Fuente. Revista de la OIT N° 57 (2006, pp. 4-7)

Tal como se puede apreciar en la anterior figura, los suplementos por descanso son la única parte esencial del tiempo que se añade al tiempo básico.

En base a lo anterior, se realiza el diseño de una tabla de suplementos donde se le asigna un valor en porcentaje de acuerdo a su clasificación dado únicamente para personal operativo masculino, como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2.

Valoración de suplementos.

<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>	<i>Valor %</i>
Suplementos Constantes	Necesidades personales	5
	Básico por fatiga	4
Postura	Trabajo de pie	2
	Postura incómoda	2
	Postura muy incómoda	7
Uso de la fuerza	Peso menor 10 kg	3
	Peso entre 10 y 20 kg	7
	Peso entre 20 y 25 kg	10
Iluminación	Baja	2
	Insuficiente	5
Condiciones atmosféricas	Trabajo en alta temperatura	5
	Tormentas	3
Tensión Visual	Trabajos de precisión	2
	Trabajos de gran precisión	5
Ruido	Sonidos fuertes	2
	Sonidos estridentes	5
Tensión mental	Proceso complejo	4
	Proceso muy complejo	8

Fuente: Roberto García Criollo, Estudio del trabajo, ingeniería de métodos.

En concordancia con la anterior tabla se valoraron los porcentajes de suplementos para cada una de las estaciones de trabajo dando como resultado los siguientes valores:

Vaciado de lámina:

Necesidades personales: 5

Básico por fatiga: 4

Trabajo de pie: 2

Peso menor 10 kg: 3

Iluminación baja: 2

Trabajo en alta temperatura: 5

Proceso complejo: 4

% Suplementos: 25%

Fondos y Abombados:

Necesidades personales: 5

Básico por fatiga: 4

Trabajo de pie: 2

Postura incómoda: 2

Peso menor 10 kg: 3

Trabajo en alta temperatura: 5

Proceso complejo: 4

% Suplementos: 25%

Refuerzos:

Necesidades personales: 5

Básico por fatiga: 4

Trabajo de pie: 2

Postura muy incómoda: 7

Peso entre 10 y 20 kg: 7

Trabajo en alta temperatura: 5

Trabajos de precisión: 2

Sonidos fuertes: 2

Proceso complejo: 4

% Suplementos: 38%

Accesorios y acabados:

Necesidades personales: 5

Básico por fatiga: 4

Trabajo de pie: 2

Postura muy incómoda: 7

Peso entre 10 y 20 kg: 7

Iluminación baja: 2

Trabajo en alta temperatura: 5

Trabajos de gran precisión: 5

Sonidos estridentes: 5

Proceso complejo: 4

% Suplementos: 46%

Accesorios Metálicos y Complementos:

Necesidades personales: 5

Básico por fatiga: 4

Trabajo de pie: 2

Postura incomoda: 2

Peso entre 20 y 25 kg: 10

Trabajos de precisión: 2

Proceso complejo: 4

% Suplementos: 29%

Matriz de estándares de manufactura.

Con la aplicación de la fórmula de estándares de tiempos de manufactura para las diferentes estaciones, se procede a construir una matriz de tiempos donde se alojan los cálculos de dichos estándares. Para ello se inició con la primera columna que contiene los diferentes tipos de tela de fibra de vidrio utilizados en la manufactura de tanques correspondientes a Mat 450, Mat 300, Velo tipo C, Velo Nexus, LT, WR 800, Core 4mm, Roving 2400 y finalmente Gelcoat que corresponde a resina sin fibra. La segunda columna dispone los 7 tipos de resinas utilizadas en la compañía que son

correspondientes a RP 096, RP 700, RP 901, RP 600, Swancor 901, Swancor 907 y RP 411. La tercera columna realiza la diferencia entre los dos tipos de catalizadores usados para endurecer la resina, correspondientes a MEK y BPO.

Con la multiplicación de las tres columnas iniciales obtenemos una cantidad teórica total de filas 112 filas que corresponden a la totalidad de los diferentes tipos de coberturas usados en la planta de materiales compuestos. Es importante resaltar que los procedimientos que llevan resina catalizada con BPO Se realiza un mezclado manual debido a que este catalizador posee una estructura física similar a un gel que le impide ser bombeado, así mismo, el catalizador MEK se encuentra en forma líquida y puede ser mezclado de forma automática por una maquina neumática conocida como aspersor.

En la tabla 3 podemos observar la tela Mat 450 y sus 21 diferentes combinaciones, según la resina, catalizador y tipo de mezclado empleado.

Tabla 3.*Matriz de aplicación de coberturas.*

<i>Tipo de Tela</i>	<i>Resina</i>	<i>Catalizador</i>
Mat 450	RP 096	MEK
Mat 450	RP 096	MEK
Mat 450	RP 096	BPO
Mat 450	RP 700	MEK
Mat 450	RP 700	MEK
Mat 450	RP 700	BPO
Mat 450	RP 901	MEK
Mat 450	RP 901	MEK
Mat 450	RP 901	BPO
Mat 450	RP 600	MEK
Mat 450	RP 600	MEK
Mat 450	RP 600	BPO
Mat 450	RP 411	MEK
Mat 450	RP 411	MEK
Mat 450	RP 411	BPO
Mat 450	Swancor 901	MEK
Mat 450	Swancor 901	MEK
Mat 450	Swancor 901	BPO
Mat 450	Swancor 907	MEK
Mat 450	Swancor 907	MEK
Mat 450	Swancor 907	BPO

Fuente: Autor.

Para la construcción inicial de la matriz se agrega la cuarta columna que corresponderá a los datos de estándares de tiempos de fabricación para la estación de vaciado de lámina en unidades de horas por metro cuadrado (h/m^2) y utilizamos Excel para albergar cada uno de los datos como se observa en la figura 19.

Figura 19.

Construcción de matriz de estándares en Excel.

	A	B	C	D	E	F	G
1	TIPO DE TELA	RESINA	CATALIZADOR	VACIADO LAMINA			
2	MAT 450	RP 096	MEK				
3	MAT 450	RP 096	BPO				
4	MAT 450	RP 700	MEK				
5	MAT 450	RP 700	BPO				
6	MAT 450	RP 901	MEK				
7	MAT 450	RP 901	BPO				
8	MAT 450	RP 600	MEK				
9	MAT 450	RP 600	BPO				
10	MAT 450	RP 411	MEK				
11	MAT 450	RP 411	BPO				
12	MAT 450	SWANCOR 901	MEK				
13	MAT 450	SWANCOR 901	BPO				
14	MAT 450	SWANCOR 907	MEK				
15	MAT 450	SWANCOR 907	BPO				
16	MAT 300	RP 096	MEK				
17	MAT 300	RP 096	BPO				
18	MAT 300	RP 700	MEK				
19	MAT 300	RP 700	BPO				
20	MAT 300	RP 901	MEK				
21	MAT 300	RP 901	BPO				
22	MAT 300	RP 600	MEK				
23	MAT 300	RP 600	BPO				
24	MAT 300	RP 700	MEK				
25	MAT 300	RP 700	MEK				
26	MAT 300	RP 700	BPO				
27	MAT 300	RP 901	MEK				
28	MAT 300	RP 901	MEK				

Fuente. Autor

Estación 1

Análisis de datos de manufactura estación 1.

Las láminas fabricadas en la estación 1 no pueden contener más de seis telas consecutivas de fibra de vidrio debido a que a partir de esa cantidad, el grosor de esta dificultaría su posterior enrollado y anillado. Por ello, el nuevo sistema reconocerá como vaciado de lámina, únicamente las primeras 5 o 6 telas descritas en los anillos de manufactura del pedido (figura 16) y partiendo de allí, utilizará la información de la resina que contiene la barrera corrosiva para separar los tipos de resinas y realizar una búsqueda estándar de fabricación en la matriz, como se observa en la figura 20.

Figura 20.

Analizador de telas y resinas de la estación 1.

	B.C									
	L.E									
ANILLOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ANILLO 1	2V	3M	M	9WR	9M					
ANILLO 2	2V	3M	M	7WR	7M					
ANILLO 3	2V	3M	M	6WR	6M					
ANILLO 4	2V	3M	M	4WR	4M					
ANILLO 5	2V	3M	M	3WR	3M					
ANILLO 6	2V	3M	M	2WR	2M					
ANILLO 7										
ANILLO 8										
ANILLO 9										
ANILLO 10										
ANILLOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ANILLO 1	VNEXUSB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	WRB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK					
ANILLO 2	VNEXUSB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	WRB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK					
ANILLO 3	VNEXUSB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	WRB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK					
ANILLO 4	VNEXUSB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	WRB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK					
ANILLO 5	VNEXUSB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	WRB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK					
ANILLO 6	VNEXUSB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	WRB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK					
ANILLO 7										
ANILLO 8										
ANILLO 9										
ANILLO 10										
	6	6	6	6	6	0	0	0	0	0
V DE LAMINA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ANILLO 1	0,256125356	0,171449913	0,51434974							
ANILLO 2	0,256125356	0,171449913	0,51434974							
ANILLO 3	0,512250712	0,171449913	0,51434974							
ANILLO 4	0,512250712	0,171449913	0,51434974							
ANILLO 5	0,512250712	0,171449913	0,51434974							
ANILLO 6	0,512250712	0,171449913	0,51434974							
ANILLO 7										
ANILLO 8										
ANILLO 9										
ANILLO 10										

Fuente. Autor

Nótese que se generan tres tablas ordenando la información de forma que la primera tabla separa en celdas cada una de las telas descritas para cada uno de los anillos; la segunda tabla realiza una codificación del tipo de tela, tipo de resina y tipo de catalizador para cada una de las celdas de la primera tabla y finalmente, la última tabla realiza una búsqueda de los estándares de manufactura alojados en la matriz de tiempos. En esta última tabla se observan únicamente 3 columnas con datos para el vaciado de lámina, esto debido a que la primera celda contiene dos telas referentes a 2V, la segunda celda contiene también tres telas referentes a 3M y la tercera celda contiene una única tela de M, para un total de 6 capas consecutivas. Así mismo, como dato adicional, cada columna esta demarcada con un color de modo que azul para la barrera corrosiva (B.C.) y verde para el laminado estructural (L.E.).

Tabla de análisis de tiempos estación 1.

Como etapa final, luego de haber organizado y recolectado los datos de tiempos de manufactura, se crea la hoja de tablas de tiempos de procesos en la que se realizarán las operaciones matemáticas que multiplican el área de cada lamina por la velocidad de aplicación de cada tipo de tela de fibra de vidrio para obtener el tiempo manufactura, así mismo, se relaciona el tiempo de secado de cada cobertura que depende del tiempo de gel de la resina utilizada obtenido en el laboratorio, como se observa en la figura 21.

Figura 21.

Tabla de análisis de tiempos de estación 1.

VACIADO DE LAMINA											
CAPA	GELCOAT	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10
FIBRA	GELCOAT	2V	3M	M							
TIEMPO APLICACION	17,56	67,35	100,61	33,54							
TIEMPO DE SECADO	54,07	47	60	10							

Fuente. Autor

Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 1

Como paso final, se crea la hoja de resultados donde se realiza una demostración gráfica de todos los datos analizados con el fin de observar con un mayor detalle, todos los tiempos de fabricación para la estación 1 como se observa en la figura 22.

Figura 22.

Hoja de Resultados de la estación 1.

ANALIZADOR DE TIEMPOS DE MANUFACTURA DE TANQUES CILINDRICOS											TCV FONDO plano 75M3	
											FECHA	11/12/2022
											CLIENTE	CODIGO
											X	3
FABRICACION DE LAMINAS												
											CANTIDAD DE LAMINAS	5
											PREPRACION MOLDE	23,09
											VACIADO	41,89
											SECADO	32,71
											HORAS DE INDUCCION	5,74
											ALISTAMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES	1,24
											ORDENADO Y LIMPIEZA	2,87
											TIEMPO MUERTO	1,46
SWANCOR 907	GELCOAT 17,56min	2V 1,12h	3M 1,68h	M 33,54min						SWANCOR 907	TOTAL	109

Fuente. Autor

En esta última hoja podemos observar a modo de resumen los resultados de los cálculos de tiempo de manufactura, distribuidos de forma que en la parte superior se relacionan los datos de logos empresariales, nombre del tanque, fecha, cliente y código único de producción. Luego, en el cajetín izquierdo podemos observar una gráfica interactiva donde se visualizan las dimensiones de cada lamina que será manufacturada y debajo de esta, se encuentran las diferentes coberturas con sus respectivos tiempos de fabricación y su tipo de resina que se diferencian con los colores azul y verde dependiendo de si corresponde a B.C y a L.E respectivamente.

Finalmente, en el cajetín derecho encontramos los diferentes tiempos de manufactura dependiendo del tipo de proceso que se llevará a cabo, como es, la preparación del molde, el tiempo de vaciado de las coberturas de fibra de vidrio, el tiempo de secado en conjunto de las coberturas, así también como los procesos que no aportan valor a la producción como son, la horas de inducción, el alistamiento de equipos, el orden y limpieza y el tiempo muerto que corresponde a las horas que por efecto de turno no serán utilizadas en el proceso productivo según la estimación para un total de 109 horas.

Es importante resaltar que la cantidad de operarios involucrados en el proceso afecta directamente el tiempo de manufactura, por lo tanto, se crea una tabla paralela que calcula los tiempos de manufactura de acuerdo con los diferentes escenarios de cantidad de operarios como se observa en la figura 23.

Figura 23.

Tabla de escenarios de estación 1.

LONGITUD TOTAL	53,91	COSTOS FIJOS	5,45	HORAS TURNO	10,9	MINIMO DE DIAS	3
total	123,08	93,73	89,69	84,16	82,49	62,51	19,98
MOLDES DE LAMINA	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	1,8	0,52
COLABORADORES	1	2	3	4	4 y 2	4	2
MEDIOS TURNOS ESPERADOS	19	10	7	5	6	4	2
DIAS ESPERADOS	10	5	4	3	3	2	1
MEDIOS TURNOS REALES	26	10	7	5	6	4	2
TOTAL VACIADO	36,51	36,51	36,51	36,51	36,51	28,33	8,18
SECADO DE LAMINA	57,02	28,51	22,81	17,11	17,11	11,40	5,70
INDUCCION	5	5	6	6	5,00	4	1
ALISTAMIENTO	1,92	1,08	1,25	1,42	1,25	1,17	0,08
ORDEN FINAL	2,50	2,50	3,00	3,00	2,50	2,00	0,50
TOTAL CRONOMETRADO	123,1	93,7	89,7	84,2	82,5	62,5	20,0
TOTAL HORAS HOMBRE	141	108	103	97	95	72	23
TOTAL REAL	142	109	115	109	109	87	22

Fuente. Autor

En la ilustración anterior, se evidencia el uso de formato condicional para demarcar el menor tiempo en cuanto a las variables de Total cronometrado, Total ajustado a turnos y Total Estimado, donde para efectos del ejemplo, se genera un empate entre el vaciado con 2 y con 4 colaboradores en un total de 109 horas.

El encabezado y la primera columna de la ilustración anterior corresponde a las formulas usadas en los cálculos de tiempos de manufactura descritos a continuación:

Longitud total: Corresponde a la medida en metros de la sumatoria de las longitudes de las láminas necesarias para la manufactura del tanque expresada como:

$$\text{Longitud Total} = (\text{Longitud de lámina}) \times (\text{Cantidad de láminas})$$

Costos Fijos: Corresponde a la medida en horas de la cantidad mínima de tiempo que puede dedicar un operario a una actividad de manufactura en la planta expresada como:

$$\text{Costos fijos} = \frac{(\text{Horas turno})}{2}$$

Horas turno: Corresponde a la medida en horas de un turno real de 9,5 horas reales multiplicada por un factor de ajuste actual de 1.15 diseñado para resumir los costos por dominicales y festivos expresada como:

$$\text{Horas turno} = (\text{Turno Real}) \times (\text{Factor de ajuste})$$

Mínimo de días: Corresponde a la medida mínima en días posible para manufacturar la cantidad de láminas necesarias para la fabricación de un tanque, debido a que la longitud máxima del molde de lámina es de 23,2m, expresado como:

$$\text{Minimo de dias} = \text{Redondear.mas}(\text{Moldes de lámina})$$

Moldes de Lamina: Corresponde a la cantidad de moldes teóricos necesitados para la fabricación de la totalidad de las láminas, expresado como:

$$\text{Moldes de lámina} = \frac{\text{Longitud total}}{\text{Longitud del Molde}}$$

Colaboradores: Corresponde a la cantidad de operarios calificados involucrados en la fabricación de la totalidad de las láminas que va desde 1 a 4.

Costos fijos esperados: Corresponde la cantidad de medios turnos que le tomará a una cantidad determinada de operarios la fabricación de las láminas, expresada como:

$$\text{Costos fijos esperados} = 8 \frac{\text{Moldes de lámina}}{\text{Colaboradores}}$$

Días esperados: Corresponde la cantidad de días que le tomará a una cantidad determinada de operarios la fabricación de la totalidad de las láminas, expresada como:

$$\text{Días esperados} = \text{Redondear. mas} \left(\frac{\text{Costos fijos esperados}}{2} \right)$$

Horas de vaciado: Corresponde la cantidad de horas que necesitan las láminas para ser manufacturadas expresadas como:

$$\text{Horas de vaciado} = \frac{\text{Estandar de tiempo}}{\text{Area de la lámina}} \times \frac{\text{Costos fijos esperados}}{\text{Moldes de lámina}}$$

Secado de lámina: Corresponde la cantidad de horas que necesitan las láminas para solidificar la resina expresada como:

$$\text{Secado de lámina} = \text{Estandar de secado} \times (\text{días esperados})$$

Donde: $\text{Estandar de secado} = 0.90h \times \text{Cantidad de telas}$

Inducción: Corresponde la cantidad de horas que necesitan los operarios para la retroalimentación diaria de históricos e instructivos de fabricación expresada como:

$$\text{Inducción} = 0.50h \times \text{Dias esperados} \times \text{Colaboradores}$$

Alistamiento: Corresponde la cantidad de horas que necesitan los operarios para adecuar los equipos de fabricación e iniciar labores, expresada como:

$$\text{Alistamiento} = 0.25h \times \text{Dias esperados} \times \text{Colaboradores}$$

Orden final: Corresponde la cantidad de horas que necesitan los operarios para realizar labores de limpieza de equipos de fabricación y puestos de trabajo expresada como:

$$\text{Orden final} = 0.30h \times \text{Dias esperados} \times \text{Colaboradores}$$

Total Cronometrado: Corresponde la sumatoria de las horas de las diferentes actividades para la fabricación de la totalidad de las láminas, expresada como:

$$\text{Total vaciado} + \text{Secado de lamina} + \text{Inducción} + \text{Alistamiento} + \text{Orden final}$$

Total Horas Hombre: Corresponde al tiempo cronometrado con el ajuste por el factor de turnos, expresado como:

$$\text{Total ajustado a turnos} = (1.15) \times \text{Total Cronometrado}$$

Total Real: Corresponde al redondeo del total ajustado a turnos con respecto a los turnos de trabajo de los operarios, expresado como:

$$\text{Total real} = \text{Total horas hombre} + \text{Tiempo muerto}$$

Estación 2

Continuando con la construcción de la matriz de estándares, se agrega la sexta y séptima columna que corresponderán a los datos de velocidad de aplicación de la cobertura en el fondo y el abombado en unidades de metros cuadrados por hora (m²/h) y utilizamos Excel para albergar cada uno de los datos como se observa en la figura 24.

Figura 24.

Matriz de tiempos de manufactura con estación 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	TIPO DE TELA	RESINA	CATALIZADOR	VACIADO LAMINA	VACIADO DE FONDO	VACIADO DE CABEZAL		
2	MAT 450	RP 096	MEK	0,731562				
3	MAT 450	RP 096	MEK	0,310835				
4	MAT 450	RP 096	BPO	0,537426				
5	MAT 450	RP 700	MEK	0,700821				
6	MAT 450	RP 700	MEK	0,815282				
7	MAT 450	RP 700	BPO	0,394734				
8	MAT 450	RP 901	MEK	0,790424				
9	MAT 450	RP 901	MEK	0,311190				
10	MAT 450	RP 901	BPO	0,878569				
11	MAT 450	RP 600	MEK	0,681446				
12	MAT 450	RP 600	MEK	0,736330				
13	MAT 450	RP 600	BPO	0,766696				
14	MAT 450	RP 411	MEK	0,777257				
15	MAT 450	RP 411	MEK	0,557729				
16	MAT 450	RP 411	BPO	0,665401				
17	MAT 450	SWANCOR 901	MEK	0,757643				
18	MAT 450	SWANCOR 901	MEK	0,355175				
19	MAT 450	SWANCOR 901	BPO	0,670552				
20	MAT 450	SWANCOR 907	MEK	0,618231				
21	MAT 450	SWANCOR 907	MEK	0,695070				
22	MAT 450	SWANCOR 907	BPO	0,785157				
23	MAT 300	RP 096	MEK	0,629271				
24	MAT 300	RP 096	MEK	0,432600				
25	MAT 300	RP 096	BPO	0,630333				
26	MAT 300	RP 700	MEK	0,573613				
27	MAT 300	RP 700	MEK	0,478570				
28	MAT 300	RP 700	BPO	0,780291				
29	MAT 300	RP 901	MEK	0,453764				
30	MAT 300	RP 901	MEK	0,470401				

Fuente. Autor

Análisis de datos de manufactura estación 2.

Los fondos y cabezales manufacturados en la estación 2, deben contener una combinación de fibras y resinas descritas en la zona inferior del formato de pedido inicial de ingeniería mecánica (Figura 16), partiendo de los datos de diámetro y área de ambas piezas, se proceden a generar las tablas analizadoras de velocidad de aplicación de telas de la estación 2 (Figura 25), donde se almacena en cada celda la información del tipo de tela para luego buscar su velocidad en la matriz de tiempos de manufactura (Figura 24).

Figura 25.

Analizador de telas y resinas de la estación 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABOMBADO SUP	2V	3M	4PIC	CORE	4PIC					
FONDO PLANO	2V	3M	6PIC							
KNUCLE SUPERIOR										
KNUCLE INFERIOR										
RUANA INF										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABOMBADO SUP	VNEXUSB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	R40B.CSW907MEK	COREB.CSW907MEK	R40B.CSW907MEK					
FONDO PLANO	VNEXUSB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	R40B.CSW907MEK							
KNUCLE SUPERIOR										
KNUCLE INFERIOR										
RUANA INF										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABOMBADO SUP	0.256125356	0.039597157	0.070234375	0.118791472	0.070234375					
FONDO PLANO	0.256125356	0.039597157	0.046822917							
KNUCLE SUPERIOR										
KNUCLE INFERIOR										
RUANA INF										

Fuente. Autor

Al igual que en la estación 1, se generan tres tablas que corresponden a la separación en celdas de cada una de las telas descritas tanto para el fondo como para el cabezal, la codificación del tipo de tela, tipo de resina y tipo de catalizador para cada una de las celdas de la primera tabla y finalmente, la última tabla realiza una búsqueda de los tiempos de manufactura alojados en la matriz de tiempos. Así mismo, cada columna se etiqueta de color azul o verde diferenciando entre la barrera corrosiva o el laminado estructural.

Tabla de análisis de tiempos estación 2.

Al igual que en la etapa anterior, se crea la hoja de tablas de tiempos de procesos de cada pieza para calcular la velocidad de aplicación de cada tipo de tela de fibra de vidrio para obtener el tiempo manufactura, así mismo, se relaciona el tiempo de secado de cada cobertura que depende del tiempo de gel de la resina utilizada obtenido en el laboratorio, como se observa en la figura 26.

Figura 26.

Tabla de análisis de tiempos de estación 2.

ABOMBADO											
CAPA	GELCOAT	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10
FIBRA	GELCOAT	2V	3M	4PIC	CORE	4PIC	0	0	0	0	0
TIEMPO APLICACION	89.7157025	38.04373	246.07736	138.734968	82.0257851	138.73497					
TIEMPO DE SECADO	28.457525	47	60	80	20	40					
FONDO											
CAPA	GELCOAT	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10
FIBRA	GELCOAT	2V	3M	6PIC	0	0	0	0	0	0	0
TIEMPO APLICACION	83.5950413	35.448278	229.28926	193.905109							
TIEMPO DE SECADO	28.457525	47	60	60							

Fuente. Autor

Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 2

Como paso final, se crea la hoja de resultados donde se realiza una demostración gráfica de todos los datos analizados con el fin de observar con una mayor facilidad, todos los tiempos de fabricación para la estación 2 de modo que en el cajetín superior izquierdo se presenta de forma interactiva la visualización de las dimensiones del cabezal del tanque y a su derecha podemos relacionar todos los diferentes tiempos de manufactura que van desde la preparación de molde hasta el tiempo muerto que se genera como las horas restantes de un proceso que culmina antes de tiempo; así mismo en el cajetín inferior izquierdo se presenta la gráfica de fondo y a su derecha sus respectivos ítems de horas clasificadas con la misma estructura que su contraparte como se observa en la figura 27.

Figura 28.

Tabla de escenarios de la estación 2.

COLABORADORES	1	2	3	4	5
MEDIOS TURNOS	9	5	3	3	2
DIAS LABORADOS	5	3	2	2	2
MEDIOS TURNOS REALES	10	5	4	3	3
TOTAL VACIADO	24.44	24.44	24.44	24.44	24.44
SECADO	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18
INDUCCION	2.5	3.0	3.0	4.0	5.0
ALISTAMIENTO	1.67	2.00	2.67	3.33	4.33
ORDEN FINAL	1.78	1.65	1.77	2.30	2.83
TOTAL CRONOMETRADO	44.9	45.6	46.4	48.6	51.1
TOTAL HORAS HOMBRE	51	52	53	56	59
TOTAL REAL	55	55	66	66	82
 					
COLABORADORES	1	2	3	4	5
MEDIOS TURNOS	7	4	3	2	2
DIAS LABORADOS	4	2	2	2	2
MEDIOS TURNOS REALES	8	4	3	3	2
TOTAL VACIADO	18.07	18.07	18.07	18.07	18.07
SECADO	6.52	6.52	6.52	6.52	6.52
INDUCCION	2.0	2.0	3.0	4.0	5.0
ALISTAMIENTO	1.33	1.67	2.67	3.33	4.33
ORDEN FINAL	1.37	1.23	1.77	2.30	2.83
TOTAL CRONOMETRADO	34	35	37	39	42
TOTAL HORAS HOMBRE	39	40	43	45	48
TOTAL REAL	44	44	50	66	55

Fuente. Autor

Figura 29.

Tabla de escenarios de la estación 2 con vaciado al unísono.

ABOMBADO Y FONDO CONSECUTIVOS					
71	72.48	70.18	71.47	72.25	74.95
COLABORADORES	1	2	3	4	5
MEDIOS TURNOS	16	8	6	4	4
DIAS LABORADOS	8	4	3	2	2
MEDIOS TURNOS REALES	16	8	6	4	4
TOTAL VACIADO	42.52	42.52	42.52	42.52	42.52
SECADO	9.18	9.18	9.18	9.18	9.18
INDUCCION	4.0	4.0	4.5	4.0	5.0
ALISTAMIENTO	3.33	2.33	3.00	3.50	4.50
ORDEN FINAL	3.03	1.73	1.85	2.63	3.33
TOTAL CRONOMETRADO	73	71	72	73	75
TOTAL HORAS HOMBRE	84	81	83	84	86
TOTAL REAL	87	87	98	87	109

Fuente. Autor

Análisis de datos de manufactura estación 3.

Luego de tener vaciadas las láminas de la estación 1, en la estación de refuerzos de tanque, serán pulidas y enrolladas para posteriormente cilindrarlas y finalmente unir las una después de la otra hasta formar la estructura completa del tanque, todos esos procesos no conllevan vaciado de telas de fibra de vidrio, sin embargo, se vuelven variables en el registro de tiempos en cuanto a su tamaño geométrico, por ello, aunque no se incluyen dichos procesos en la matriz de tiempos de manufactura, se tienen en cuenta y son analizados individualmente en la estación de refuerzos. Para los procesos que, si conllevan vaciado de fibra de vidrio tales como telas de refuerzos, knuckles y demás, se deben generar las tablas de analizadoras de velocidad, las cuales corresponden a las mismas descritas en la figura 25, quedando totalmente formuladas como se evidencia en la figura 31.

Figura 31.

Analizador de telas y resinas de las estaciones 2 y 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABOMBADO SUP	2V	3M	4PIC	COFE	4PIC					
FONDO PLANO	2V	3M	6PIC							
KNUCLE SUPERIOR	M	2WR	2M							
KNUCLE INFERIOR	M	3WR	3M							
RUANA INF	M	3WR	3M							
PEGAS ENSAMBLE LAMINA		3M	M							
SELLOS VERTICALES	2V	3M								
RECUPERACION DE TELAS VACIADO VERTICAL		3M	M							
SELLOS CIRCUNFERENCIALES	2V	3M								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABOMBADO SUP	VNEXUSB.CSV907MEK	MB.CSV907MEH	R40B.CSV907M	COFEB.CSV907	R40B.CSV907MEH					
FONDO PLANO	VNEXUSB.CSV907MEK	MB.CSV907MEH	R40B.CSV907M							
KNUCLE SUPERIOR	MB.CSV907MEK	VFRB.CSV907MEH	MB.CSV907MEH							
KNUCLE INFERIOR	MB.CSV907MEK	VFRB.CSV907MEH	MB.CSV907MEH							
RUANA INF	MB.CSV907MEK	VFRB.CSV907MEH	MB.CSV907MEH							
PEGAS ENSAMBLE LAMINA		MB.CSV907MEH	MB.CSV907MEH							
SELLOS VERTICALES	VNEXUSB.CSV907MEK	MB.CSV907MEH								
RECUPERACION DE TELAS VACIADO VERTICAL		MB.CSV907MEH	MB.CSV907MEH							
SELLOS CIRCUNFERENCIALES	VNEXUSB.CSV907MEK	MB.CSV907MEH								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABOMBADO SUP	0.256125356	0.039587167	0.070234375	0.116791472	0.070234375					
FONDO PLANO	0.256125356	0.039587167	0.046522317							
KNUCLE SUPERIOR	0.017556594	0.197149123	0.008773237							
KNUCLE INFERIOR	0.017556594	0.197149123	0.009503655							
RUANA INF	0.23093375	6.30877193	0.031215278							
PEGAS ENSAMBLE LAMINA		0.171449913	0.51434974							
SELLOS VERTICALES	0.128062678	0.085724957								
RECUPERACION DE TELAS VACIADO VERTICAL		0.171449913	0.51434974							
SELLOS CIRCUNFERENCIALES	0.512250712	0.171449913								

Fuente. Autor

Tablas de análisis de tiempos estación 3.

Al igual que en la etapa anterior, se crea la hoja de tablas de tiempos de procesos pieza por la velocidad de aplicación de cada tipo de tela de fibra de vidrio para obtener el tiempo manufactura, así mismo, se relaciona el tiempo de secado de cada cobertura que depende del tiempo de gel de la resina utilizada obtenido en el laboratorio, como se observa en la figura 32 y figura 33.

Figura 32.

Tabla de análisis de tiempos de estación 3 (parte 1).

KNUCLE SUPERIOR											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA	M	2WR	2M	0	0	0	0	0	0	0	0
TIEMPO APLICACION	36.4494	3.2463	72.8988								
TIEMPO DE SECADO	30	3	20								
KNUCLE INFERIOR											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA	M	9WR	9M	0	0	0	0	0	0	0	0
TIEMPO APLICACION	36.4494	3.2463	328.0445								
TIEMPO DE SECADO	30	3	90								
RUANAS											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA	M	9WR	9M	0	0	0	0	0	0	0	0
TIEMPO APLICACION	3.5595	0.1585	32.0356								
TIEMPO DE SECADO	20	2	90								
PEGAS ENSAMBLE LAMINA											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA		3M	M								
TIEMPO APLICACION		25.1535	8.3845								
TIEMPO DE SECADO		30	10								
SELLOS VERTICALES											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA	2V	3M	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIEMPO APLICACION	4.9976	7.4657									
TIEMPO DE SECADO	20	30									
RECUPERACION DE TELAS VACIADO VERTICAL											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA		3M	M								0
TIEMPO APLICACION		3.7329	1.2443								
TIEMPO DE SECADO		30	10								
SELLOS CIRCUNFERENCIALES											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA	2V	3M									0
TIEMPO APLICACION	8.4189	25.1535									
TIEMPO DE SECADO	20	30									

Fuente. Autor

Figura 33.

Tabla de análisis de tiempos de estación 3 (parte 2).

REFUERZO 1											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				9WR	9M	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION				11.3930	1151.2968						
TIEMPO DE SECADO				3	90						
REFUERZO 2											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				7WR	7M	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION				11.3930	895.4531						
TIEMPO DE SECADO				3	70						
REFUERZO 3											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				6WR	6M	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION				11.3930	767.5312						
TIEMPO DE SECADO				3	60						
REFUERZO 4											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				4WR	4M	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION				11.3930	511.6875						
TIEMPO DE SECADO				3	40						
REFUERZO 5											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				3WR	3M	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION				11.3930	383.7656						
TIEMPO DE SECADO				3	30						
REFUERZO 6											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				2WR	2M	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION				11.3930	255.8437						
TIEMPO DE SECADO				3	20						
REFUERZO 7											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				0	0	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION											
TIEMPO DE SECADO											
REFUERZO 8											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				0	0	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION											
TIEMPO DE SECADO											
REFUERZO 9											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				0	0	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION											
TIEMPO DE SECADO											
REFUERZO 10											
CAPA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3	CAPA 4	CAPA 5	CAPA 6	CAPA 7	CAPA 8	CAPA 9	CAPA 10	CAPA 11
FIBRA				0	0	0	0	0	0	0	
TIEMPO APLICACION											
TIEMPO DE SECADO											

Fuente. Autor

En la figura 33 correspondiente a las tablas de análisis de vaciado de refuerzos desde el anillo 1 al 10, se puede evidenciar que las celdas que corresponden a la capa 1, capa 2 y capa 3, se encuentran vacías, esto debido a que corresponden a las tres primeras telas que ya fueron vaciadas en la estación 1, pero su fórmula las obvia para no repetir.

Como paso final de la creación de tablas de análisis de tiempos, se genera la tabla de análisis de procesos que no llevan vaciado de telas de fibra de vidrio como se observa en la figura 34.

Figura 34.

Tabla de análisis de tiempos de estación 3 (parte 3).

ELEMENTO	CANTIDAD	TIEMPO UNITARIO HORAS	TIEMPO TOTAL
PULIDO DE LAMINA	5	1.24	6.19
PULIDO DE ABOMBADO	1	2.14	2.14
PULIDO DE FONDO	1	2.14	2.14
ENROLLADO DE LAMINA	5	0.38	2.30

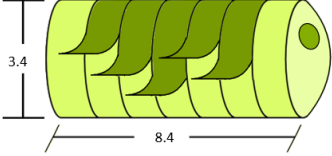
Fuente. Autor

Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 3

Se procede a crear la hoja de resultados donde se realiza una demostración gráfica de todos los datos analizados con el fin de observar con un mayor detalle, todos los tiempos de fabricación para la estación 3 de modo que en el cajetín izquierdo se presenta de forma interactiva la visualización de las dimensiones del tanque ensamblado en su totalidad, y en la parte baja se visualizan las telas de los refuerzos, knucles y ruanas con sus respectivos tiempos de manufactura; para el cajetín derecho se almacenan cada uno de los ítems que conlleva la estación 3, como se muestra en la figura 35.

Figura 35.

Resultados de la estación 3.

REFUERZOS																																																													
		VACIADO TELAS DE REFUERZO: 154.28 Horas																																																											
		19.38h 15.11h 12.98h 8.72h 6.59h 4.45h																																																											
9WR	9M																																																												
7WR	7M																																																												
6WR	6M																																																												
4WR	4M																																																												
3WR	3M																																																												
2WR	2M																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">NUCKE SUPERIOR</th> <th>TIEMPO DE SECADO</th> <th>0.88 Horas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M</td> <td>2WR 2M</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>36.45</td> <td>3.25 72.90</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		NUCKE SUPERIOR		TIEMPO DE SECADO	0.88 Horas	M	2WR 2M			36.45	3.25 72.90																																																		
NUCKE SUPERIOR		TIEMPO DE SECADO	0.88 Horas																																																										
M	2WR 2M																																																												
36.45	3.25 72.90																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">NUCKE INFERIOR</th> <th>TIEMPO DE SECADO</th> <th>2.05 Horas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M</td> <td>9WR 9M</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>36.45</td> <td>3.25 328.04</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		NUCKE INFERIOR		TIEMPO DE SECADO	2.05 Horas	M	9WR 9M			36.45	3.25 328.04																																																		
NUCKE INFERIOR		TIEMPO DE SECADO	2.05 Horas																																																										
M	9WR 9M																																																												
36.45	3.25 328.04																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">RIJANAS</th> <th>TIEMPO DE SECADO</th> <th>1.87 Horas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M</td> <td>9WR 9M</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.56</td> <td>0.16 32.04</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		RIJANAS		TIEMPO DE SECADO	1.87 Horas	M	9WR 9M			3.56	0.16 32.04																																																		
RIJANAS		TIEMPO DE SECADO	1.87 Horas																																																										
M	9WR 9M																																																												
3.56	0.16 32.04																																																												
			<table border="1"> <tbody> <tr><td>PULIDO</td><td>14.21</td></tr> <tr><td>ENROLADO</td><td>5.74</td></tr> <tr><td>CIERRE DE LAMINA</td><td>1.91</td></tr> <tr><td>ENSAMBLE ABOMBADO CON ANILLO</td><td>0.57</td></tr> <tr><td>ENSAMBLE FONDO CON ANILLO</td><td>0.57</td></tr> <tr><td>PEGA CON ANILLO ABOMBADO</td><td>1.28</td></tr> <tr><td>PEGA CON ANILLO FONDO</td><td>1.28</td></tr> <tr><td>ENSAMBLE ENTRE LAMINAS</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>SELLOS CIRCUNFERENCIALES</td><td>7.70</td></tr> <tr><td>SELLOS VERTICALES</td><td>2.38</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 1</td><td>44.47</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 2</td><td>34.68</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 3</td><td>29.79</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 4</td><td>20.01</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 5</td><td>15.11</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 6</td><td>10.22</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 7</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 8</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 9</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>VACIADO REFUERZO 10</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>APLICACION NUCKE SUPERIOR</td><td>4.31</td></tr> <tr><td>APLICACION NUCKE INFERIOR</td><td>14.06</td></tr> <tr><td>PEGA DE RIJANAS</td><td>5.47</td></tr> <tr><td>SECADO</td><td>30.71</td></tr> <tr><td>INDUCCION</td><td>13.77</td></tr> <tr><td>ALISTAMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES</td><td>5.74</td></tr> <tr><td>ORDENADO Y LIMPIEZA</td><td>6.20</td></tr> <tr><td>TIEMPO MUERTO</td><td>0.52</td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td>273</td></tr> </tbody> </table>	PULIDO	14.21	ENROLADO	5.74	CIERRE DE LAMINA	1.91	ENSAMBLE ABOMBADO CON ANILLO	0.57	ENSAMBLE FONDO CON ANILLO	0.57	PEGA CON ANILLO ABOMBADO	1.28	PEGA CON ANILLO FONDO	1.28	ENSAMBLE ENTRE LAMINAS	2.29	SELLOS CIRCUNFERENCIALES	7.70	SELLOS VERTICALES	2.38	VACIADO REFUERZO 1	44.47	VACIADO REFUERZO 2	34.68	VACIADO REFUERZO 3	29.79	VACIADO REFUERZO 4	20.01	VACIADO REFUERZO 5	15.11	VACIADO REFUERZO 6	10.22	VACIADO REFUERZO 7	0.00	VACIADO REFUERZO 8	0.00	VACIADO REFUERZO 9	0.00	VACIADO REFUERZO 10	0.00	APLICACION NUCKE SUPERIOR	4.31	APLICACION NUCKE INFERIOR	14.06	PEGA DE RIJANAS	5.47	SECADO	30.71	INDUCCION	13.77	ALISTAMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES	5.74	ORDENADO Y LIMPIEZA	6.20	TIEMPO MUERTO	0.52	TOTAL	273
PULIDO	14.21																																																												
ENROLADO	5.74																																																												
CIERRE DE LAMINA	1.91																																																												
ENSAMBLE ABOMBADO CON ANILLO	0.57																																																												
ENSAMBLE FONDO CON ANILLO	0.57																																																												
PEGA CON ANILLO ABOMBADO	1.28																																																												
PEGA CON ANILLO FONDO	1.28																																																												
ENSAMBLE ENTRE LAMINAS	2.29																																																												
SELLOS CIRCUNFERENCIALES	7.70																																																												
SELLOS VERTICALES	2.38																																																												
VACIADO REFUERZO 1	44.47																																																												
VACIADO REFUERZO 2	34.68																																																												
VACIADO REFUERZO 3	29.79																																																												
VACIADO REFUERZO 4	20.01																																																												
VACIADO REFUERZO 5	15.11																																																												
VACIADO REFUERZO 6	10.22																																																												
VACIADO REFUERZO 7	0.00																																																												
VACIADO REFUERZO 8	0.00																																																												
VACIADO REFUERZO 9	0.00																																																												
VACIADO REFUERZO 10	0.00																																																												
APLICACION NUCKE SUPERIOR	4.31																																																												
APLICACION NUCKE INFERIOR	14.06																																																												
PEGA DE RIJANAS	5.47																																																												
SECADO	30.71																																																												
INDUCCION	13.77																																																												
ALISTAMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES	5.74																																																												
ORDENADO Y LIMPIEZA	6.20																																																												
TIEMPO MUERTO	0.52																																																												
TOTAL	273																																																												

Fuente. Autor

Al igual que las estaciones 1 y 2 anteriormente descritas, la estación 3 debe contar con la analítica de tiempos de manufactura enfocada en la cantidad de colaboradores presentes en las actividades de ensamble y refuerzos de tanque con las mismas variables aplicadas en el estudio como se muestra en la figura 36 descrita a continuación.

Figura 36.

Tabla de escenarios de la estación 3.

	1	2	3	4	5
COLABORADORES					
MEDIOS TURNOS	48	24	16	12	10
DIAS LABORADOS	24	12	8	6	5
MEDIOS TURNOS REALES	52	25	17	13	10
total	244.79	237.49	235.52	234.39	235.75
TOTAL VACIADO	167.94	167.94	167.94	167.94	167.94
SECADO	26.77	26.77	26.77	26.77	26.77
INDUCCION	12.0	12.0	12.0	12.0	12.5
ALISTAMIENTO	8.00	5.00	4.67	4.00	4.83
ORDEN FINAL	9.70	5.40	3.77	3.30	3.33
TOTAL CRONOMETRADO	245	237	236	234	236
TOTAL HORAS HOMBRE	281	272	270	269	270
TOTAL REAL	284	273	278	284	273

Fuente. Autor

Análisis de datos de manufactura estación 4.

Al igual que las estaciones anteriores, se realiza la asignación de estándares de fabricación con la generación de tres columnas, sin embargo, debido a que un accesorio PRFV debe penetrar la totalidad del tanque, al momento de instalarlo, se debe de hacer una recuperación de las mismas telas y resinas utilizadas en la fabricación del tanque, por ello se toman la suma de los estándares del anillo número 1, el cual conlleva la mayor cantidad de telas como se muestra en la figura 38.

Figura 38.

Analizador de telas y resinas de la estación 4.

ACCESORIOS	1	2	3	4	5	6
TELAS	2V	3M	M	9WR	9M	
BUSQUEDA	VNEXUSB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	WRB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK	
ESTANDAR	0.256125356	0.171449913	0.51434974	3.154385965	0.057149971	

Fuente. Autor

Tablas de análisis de tiempos estación 4.

A diferencia de las estaciones anteriores, la tabla de análisis de la estación 4, no puede basar sus estándares de fabricación en horas por metro cuadrado, sino que se debe clasificar por tamaño de accesorio, de modo que los accesorios grandes comprenden un diámetro mayor a 10”, los accesorios medianos se comprenden entre 5” y 10”, los accesorios pequeños se componen de un diámetro menor de 5” y los accesorios superficiales como izajes y ménsulas poseen un tiempo estándar de manufactura previamente establecido y solo debe ser sumado en la calidad de la cantidad de los mismos como se muestra en la figura 39 descrita a continuación.

Figura 39.

Tablas de análisis de tiempos estación.

ACCESORIOS			
TIPO	EJES	BASE	LATERAL
TIEMPO DE TRAZADO	60	147	210
PERFORACIONES	GRANDES	MEDIANOS	PEQUEÑOS
	60	0	30
PUNTEO	80	0	160
REFUERZO	50	0	160
SELLO	48	0	144
EMPAPELADO	20	0	80

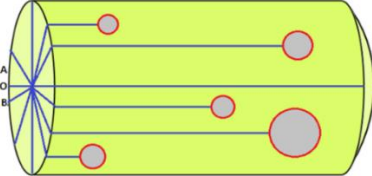

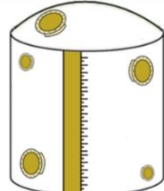
Fuente. Autor

Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 4

Como paso final, se crea la hoja de resultados donde se realiza una demostración gráfica de todos los datos analizados con el fin de observar con un mayor detalle, todos los tiempos de fabricación para la estación 4 de modo que en el cajetín izquierdo en la parte superior se presenta de forma interactiva la visualización de la suma de los trazos sobre la superficie del tanque, junto a la lista de los accesorios que deben ser instalados, para la parte inferior se muestra una visión grafica de la forma estándar de aplicación de la pintura (Top Coat) con la instalación de los respectivos letreros del tanque y el total en metros cuadrados de la superficie del producto; para el cajetín derecho se almacenan cada uno de los ítem que conlleva la estación 4, donde se presentan resaltados en color rojo los ítem de Liberación y en primera y segunda fase, debido a que son procedimientos exclusivos del personal de calidad y se encuentran estandarizados en 1.15 horas independiente del producto y sus dimensiones como se muestra en la figura 40.

Figura 40.

Resultados de la estación 4.

TRAZADO Y PEGA DE BRIDAS Y MH			
1 MANHOLE SUPERIOR 24" CON TORNILLOS INOX 1 MANHOLE INF 24" CON TORNILLOS INOX 24 ACCESORIOS PRFV BRIDA ANSI B.16.5 2" 3" 2 BANDAS TRASLUCIDAS CON Y SIN AFORD 4 IZAES GRANDES INOXIDABLES 6 MENSULAS DE BOLSILLO 6"X3/8" PARA ANCLA SI VENTEO CUELLO GANSO CODO 4" PVC PRESIO NO INCLUYE ESCALERA TIPO GATO Y GUARDA Y B SI POSTCURADO AIRE CALIENTE @ 80°C INFORMACIÓN PARA MONTAJE	 <p style="text-align: center;">21 TRAZOS</p>	CANTIDAD ACCESORIOS	21
		NIVELACION DEL TANQUE	1.10
		TRAZADO	15.95
		LIBERACION EN PRIMERA FASE	1.15
		PERFORACIONES	3.44
		PUINTEO DE ACCESORIOS	9.18
		REFUERZO DE ACCESORIOS	8.03
		SELLO DE ACCESORIOS	7.34
		INDUCCION	3.44
		ALISTAMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES	2.29
ORDENADO Y LIMPIEZA	1.89		
TIEMPO MUERTO	3.43		
TOTAL	55.00		
ACABADOS			
  <p>105.07 m2 DE SUPERFICIE</p> <p>ISOFTALICO BLANCO + UV</p>		PULIDO EXTERIOR	8.61
		LIBERACION EN SEGUNDA FASE	1.15
		PREPARACION DEL TANQUE	3.82
		APLICACION DE PINTURA	4.59
		INSTALACION DE LETREROS	1.15
		AFORD	2.60
		INDUCCION	2.29
		ALISTAMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES	1.91
		ORDENADO Y LIMPIEZA	1.42
		TIEMPO MUERTO	7.75
TOTAL	33.00		

Fuente. Autor

A diferencia de las demás estaciones de trabajo, esta no cuenta con análisis por cantidad de operarios debido a que en esta empresa, estas actividades son llevadas a cabo de manera constante únicamente por una pareja de operarios.

Estación 5

Finalmente, la estación número 5 correspondiente a Accesorios Metálicos y Complementos de tanque, será analizada con la misma columna de estándares de la estación 4, debido a que en esta estación el proceso de manufactura es similar a esta, con la diferencia de que los accesorios que deberán ser instalados, son superficiales, por lo tanto, solo conllevan fibra y resina en la parte exterior del tanque.

Análisis de datos de manufactura estación 5.

Al igual que las estaciones anteriores, se realiza la asignación de estándares de fabricación con la generación de tres columnas. Debido a que los accesorios metálicos pueden ser muy específicos del tanque, se requiere que la descripción inicial de ingeniería contenga definidas las telas y resinas que deberán ser implementadas para la instalación de los mismos, de este modo se procede a crear un analizador de datos de manufactura como se muestra en la figura 41.

Figura 41.

Analizador de telas y resinas de la estación 5.

ACCESORIOS METALICOS	1	2	3	4	5
TELAS	M	WR	M		
BUSQUEDA	MB.CSW907MEK	WRB.CSW907MEK	MB.CSW907MEK		
ESTANDAR	0.057149971	3.154385965	0.057149971		

Fuente. Autor

Tablas de análisis de tiempos estación 5.

Al igual que la estación 4, no es posible basar los estándares de fabricación en horas por metro cuadrado, sino que se debe clasificar por tipo de accesorio metálico, diferenciando entre, Guarda, Baranda, Escalera Recta y Escalera de caracol, como se muestra en la figura 42.

Figura 42.

Analizador de telas y resinas de la estación 5.

ACCESORIOS METALICOS			
	ESCALERA	GUARDA	BARANDA
PUNTEO	8	0	1.6
REFUERZO	5	0	1.4
EMPAPELADO	3	0	0.4

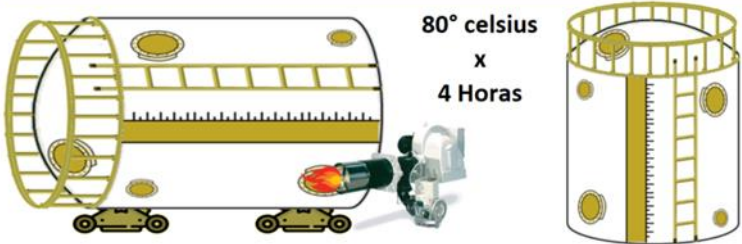
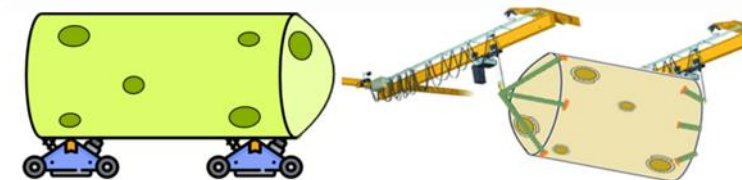
Fuente. Autor

Hoja de resultados del analizador de tiempos para la estación 5

Finalmente, se procede a crear la hoja de resultados donde se realiza una demostración gráfica de todos los datos analizados con el fin de observar con un mayor detalle, todos los tiempos de fabricación para la estación 5 de modo que en el cajetín izquierdo en la parte superior se presenta la visualización de los accesorios metálicos que normalmente conlleva un tanque, más el procedimiento de poscurado del mismo, la parte inferior se muestra una representación gráfica de los movimientos normales aplicados en un tanque; para el cajetín derecho se almacenan cada uno de los ítem que conlleva la estación 45 donde se presenta el resultado en color rojo del ítem de Liberación y en tercera fase, debido a que es procedimiento exclusivo del personal de calidad y se encuentra estandarizado en 1.15 horas independiente del producto y sus dimensiones como se muestra en la figura 43.

Figura 43.

Resultados de la estación 5.

ACCESORIOS METÁLICOS		
	ESCALERA	2.60
	GUARDA	2.29
	BARANDA	1.91
	SOPORTE TUBERIA	1.42
	LIBERACION EN TERCERA FASE	1.0
	PRUEBA HIDROESTATICA Y LAVADO	1.0
	INDUCCION	2.29
	ALISTAMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES	1.91
	ORDENADO Y LIMPIEZA	1.42
	TIEMPO MUERTO	9.49
	POSCURADO	6.88
TOTAL	22.00	
MOVIMIENTOS Y COMPLEMENTOS		
	TRANSPORTE DE LAMINAS	5.74
	TRANSPORTE DE ABOMBADO	1.15
	TRANSPORTE DE FONDO	1.15
	TRANSPORTE DE TANQUE	1.15
	IZAJE DE TANQUE	1.15
	TOTAL	10

Fuente. Autor

Tal y como sucede con la estación 4, esta no cuenta con análisis por cantidad de operarios debido a que, en esta empresa, estas actividades son llevadas a cabo de manera constante únicamente por una pareja de operarios.

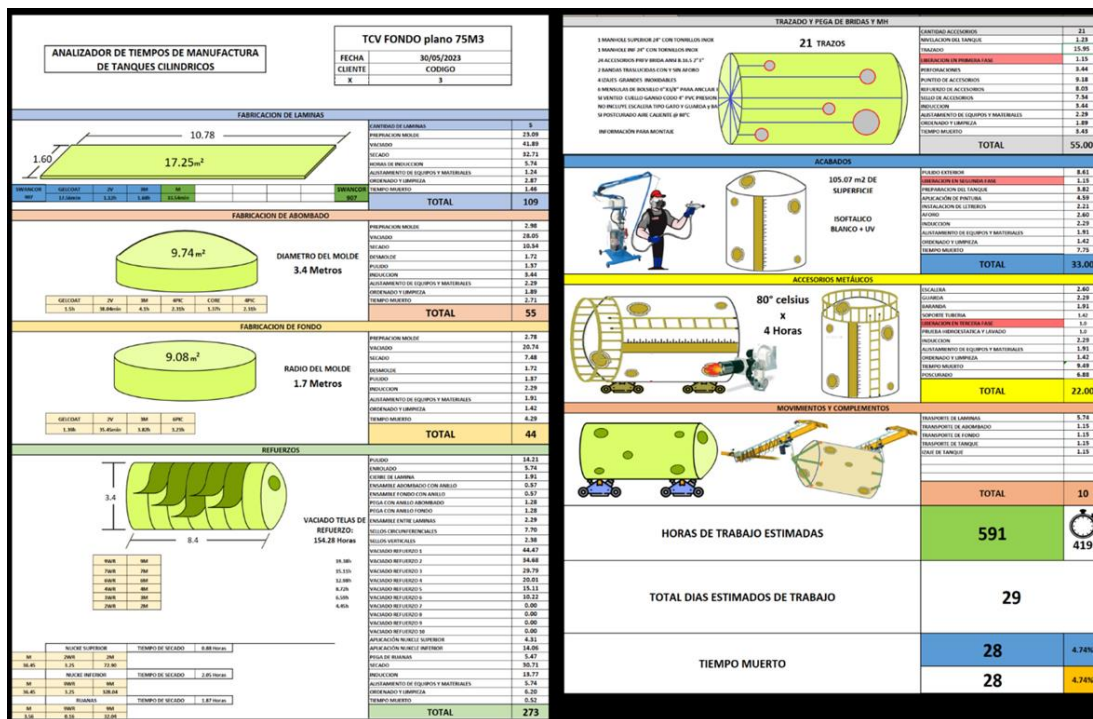
Resultados

Consolidación del sistema completo.

Luego de generar los diferentes sistemas de análisis para cada una de las estaciones de manufactura, el procedimiento final, consistirá en hacer un análisis global de los resultados que consta de la suma total de las horas calculadas en cada estación, así mismo, se realiza el cálculo de la suma de días requeridos para llevar a cabo la totalidad del proyecto, dando como resultado un sistema de análisis completo y altamente descriptivo de la manufactura de tanques cilíndricos en poliéster reforzado con fibra de vidrio como se muestra en la figura 44.

Figura 44.

Hoja completa de resultados de tiempos de manufactura.



Fuente. Autor

Optimización de los resultados

Debido a que algunas estaciones de trabajo pueden contener una cantidad variables de operarios, es necesario disponer de una herramienta que permita realizar un análisis de todos los escenarios posibles, para ello, se crea una tabla matriz de comparación entre las estaciones de trabajo y tres diferentes tiempos denominados como, Menor tiempo cargado, Menores días de trabajo y Menor tiempo de trabajo, donde la variable será la cantidad de Operarios y los resultados corresponden a los campos de Horas de cargue, Días de trabajo y Horas cronometro como se muestra en la figura 45.

Figura 45.

Matriz de variables de operarios.

PROCESO	COLABORADORES		
	MENOR TIEMPO CARGADO	MENORES DIAS DE TRABAJO	MENOR TIEMPO DE TRABAJO
VACIADO DE LAMINA	2	4	4
FONDO Y ABOMBADO	4	4	4
REFUERZOS	2	5	4
ACCESORIOS Y ACABADOS	2	2	2
ACCESORIOS METALICOS Y COMPLEMENTOS	2	2	2
HORAS DE CARGUE	575	591	586
DIAS DE TRABAJO	28	15	22
HORAS CRONOMETRO	413	408	398

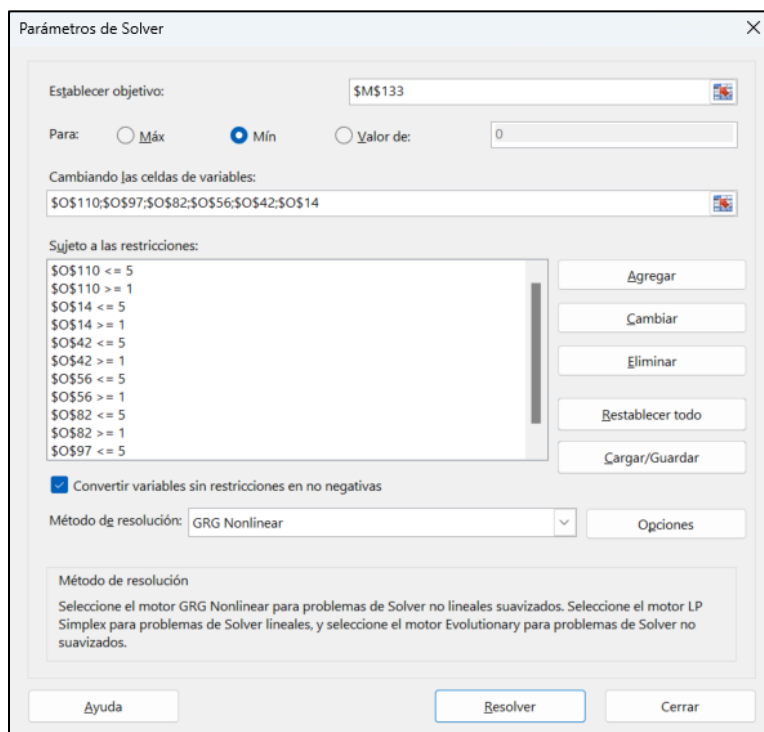
Fuente. Autor

Debido a que la matriz solo muestra los resultados de menor cantidad según corresponda el criterio, es necesaria la utilización de la herramienta Solver de Excel para encontrar los resultados óptimos, eligiendo como criterio de búsqueda, el mínimo valor posible de las horas de cargue de la columna Menor tiempo Cargado y las variables serán delimitadas como la cantidad

de operarios de uno a cinco, de cada una de las respectivas estaciones como se muestra en la figura 46.

Figura 46.

Solver para análisis de tiempos mínimos.



Fuente. Autor

Finalmente, se repite este proceso para las otras dos columnas llamadas: Menores días de Trabajo y Menor tiempo de trabajo, tomando sus respectivos valores mínimos y las variables de operarios, luego se comparan los valores mínimos añadiendo un formato condicional en escala de colores de verde a rojo para diferenciar los resultados como se muestra en la parte posterior de la figura 45.

Caracterización de los resultados

Se definen los resultados del diseño del sistema ordenados por cada estación de trabajo descrita a continuación.

Estación Vaciado de Lámina: Esta estación se muestra como la fase inicial de fabricación, en ella se contemplaron inicialmente las variables de longitud y diámetro del cilindro y las variables de resina, fibra y catalizador contempladas en la matriz de estándares para generar exitosamente los cálculos automáticos de cantidad de láminas y su separación entre Barrera Corrosiva y el Laminado Estructural. Así mismo, en el trayecto se incorporó una variable inicialmente no contemplada descrita como la cantidad de operarios involucrados en el proceso, de modo que, el cálculo de los tiempos de manufactura puede cambiar en función de esta variable dando resultados más específicos y dirigidos a unas condiciones propias de las decisiones de los líderes de producción.

Estación Fondo y Abombados: La segunda fase de la fabricación de tanques contempla únicamente la variable inicial de diámetro del cilindro debido a que es suficiente para conocer la forma tanto del fondo como de la tapa superior del tanque, así, al combinarse con las variables de la matriz de estándares se genera un conjunto de cálculos que definen el tiempo de fabricación, sin embargo, esta estación fue afectada de forma similar a la anterior por la variable de cantidad de operarios, además al ser dos piezas distintas, se generó una configuración del cálculos al contemplarse la fabricación de estas de forma unísona, generando diferencias considerables al compararlas con los cálculos de manufacturar las piezas por separado.

Estación Refuerzos: La tercera fase se posiciona como la estación con más demanda de tiempo de manufactura, debido a que sus fases comprenden tanto el ensamble y el pulido que le da la forma final al producto, como la adición de una cantidad considerable de telas que aseguran

la pieza para impedir que ésta se colapse por la gran presión que ejercerá el líquido que será contenido en su interior, así mismo, la variable de cantidad de operarios también se hizo presente generando varios escenarios con cálculos distintos de tiempos de manufactura. Por todo lo anterior, esta estación tuvo un grado más alto de complejidad que sus análogas y relució la importancia de la creación de este sistema como medio de solución a un intrincado grupo de factores no contemplados en la idea inicial del proyecto.

Estación Accesorios y Acabados: Al igual que la estación anterior, esta se divide en dos procesos diferentes que comprenden el posicionamiento de una variedad de accesorios y el detalle final del producto en calidad de pintura y demás elementos estéticos, sin embargo, a diferencia de las demás, esta no depende directamente de la forma geométrica del tanque, sino que, sus variables principales están diferenciadas como la cantidad de accesorios PRFV y los tamaños estándar de los mismos. Así pues, Esta estación se comprende como una fase cuya naturaleza permitió un análisis de tiempos de manufactura cuyos cálculos fueron significativamente más sencillos de obtener, generando una alta confiabilidad de los mismos.

Estación Accesorios Metálicos y Complementos: Finalmente esta fase comprende los tiempos que requiere la instalación superficial de accesorios tales como escaleras, guardas y barandas de seguridad, para ello, la única variable contemplada en el proceso fue la cantidad dichos accesorios debido a que la instalación es un procedimiento estándar y el tiempo no depende de la geometría del tanque, por lo que el cálculo de tiempos de manufactura, se limitó exclusivamente a las variables de la matriz de estándares, así mismo, se contemplan los movimientos y complementos como una serie de actividades residuales de las estaciones anteriores dando como resultado un cálculo preciso y confiable de esta estación.

Conclusiones

Se logró dar solución a la problemática inicialmente presentada mediante la creación de una herramienta de análisis de datos que permite combinar las diversas materias primas, con las diferentes fases que conlleva cada una de las estaciones de trabajo, prediciendo el tiempo de fabricación de cualquier tipo de tanque cilíndrico manufacturado en Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio (PRFV).

Este sistema se consolida como una herramienta versátil debido a que cuenta con un enfoque independiente en cada una de las estaciones de trabajo. Si bien, aunque las cinco etapas de fabricación de tanques se relacionan entre sí de forma completamente secuencial, cada una de ellas actúa con una serie diferente de entradas, por lo tanto, si llegase a cambiar un procedimiento, una fase o una estación de trabajo, el sistema podrá tener modificaciones en cualquiera de sus partes sin presentar afectaciones en las demás.

Con la culminación de ese realiza la entrega satisfactoria de un sistema de análisis de tiempos de manufactura de tanques cilíndricos en resina poliéster reforzada con fibra de vidrio que representa un gran valor corporativo como una herramienta importante en el costeo de productos y en la búsqueda de reducir pérdidas y generar una mayor confianza en los clientes de la compañía.

Referencias Bibliográficas

- Antequera, P., Miravete, A., & Jiménez, L. (1991). Los materiales compuestos de fibra de vidrio. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=126536>
- Cano, C. E. V. (2003). Diseño de tanques de plásticos reforzados con fibra de vidrio (PRFV) para la industria de procesos.
- Eckold, G. (1994). Design and manufacture of composite structures. En Woodhead Publishing Limited eBooks. <https://doi.org/10.1533/9781845698560>
- García Criollo, R. (1998). Estudio del trabajo: Ingeniería de métodos y medición del trabajo (Segunda edición) [Kindle]. McGraw Hill.
https://faabenavides.files.wordpress.com/2011/03/estudio-del-trabajo_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw_hill.pdf
- Mayer, R. M. (1994). Design with Reinforced Plastics: A Guide for Engineers and Designers (1.a ed.). Springer Dordrecht.
<https://doi.org/10.1007/978-94-011-2210->
- Neira, A. C. (2006). Técnicas de medición del trabajo (Segunda Edición). Fundación Confemetal.
<https://fdiazca.files.wordpress.com/2020/06/tecnicas-de-medicion-del-trabajo-2da-ed.pdf>

Niebel, B., Freinvals, A. (2004). Ingeniería industrial: métodos estándares y diseño del trabajo (11ª Edición) Alfaomega.

<https://www.cursovirtual.cl/BIBLIOTECA/MenuAcceso/libroguia/IDS1.pdf>

Reina, J. M. A. (2000). Control de tiempos y productividad: ¡la ventaja competitiva! (1ª Edición) Paraninfo.

<https://books.google.com.co/books?id=q1ebAAAACAAJ>