



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE PINTURA DE CIAUTO AMBATO EN BASE A UN MÉTODO DE BALANCE DE LÍNEAS PARA LOS MODELOS M4.**

**AUTOR: ANGEL GEOVANNY GUAMÁN LOZANO**

Proyecto de investigación presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de Magister en “*Gestión Industrial y Sistemas Productivos*”.

Riobamba – Ecuador

Febrero 2016



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación, titulado “Optimización del Sistema de Producción de la Planta de Pintura de CIAUTO Ambato en Base a un Método de Balance de Líneas para los Modelos M4”, de responsabilidad del Sr. Angel Geovanny Guamán Lozano ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

_____ Ing. Harold Zabala Jarrín MsC. <b>PRESIDENTE</b>	_____ FIRMA
_____ Ing. Carlos Santillán Mariño MsC. <b>DIRECTOR</b>	_____ FIRMA
_____ Ing. Gloria Miño Cascante PhD. <b>MIEMBRO</b>	_____ FIRMA
_____ Ing. Jorge Freire Miranda MsC. <b>MIEMBRO</b>	_____ FIRMA
_____ <b>DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH</b>	_____ FIRMA

Riobamba, 24 de Febrero de 2016.

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Angel Geovanny Guamán Lozano, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Proyecto de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

FIRMA  
0603788563

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Angel Geovanny Guamán Lozano, declaro que el presente Proyecto de Investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, 24 de Febrero de 2016

---

Angel Geovanny Guamán Lozano  
FIRMA  
0603788563

## **DEDICATORIA**

A mi madre Victoria, por su apoyo y cariño que me dan la fuerza para crecer cada día.

A mis hermanos Lisseth, Jimmy y Brando, por su apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mi recordado abuelo Valerio, porque junto a Dios me sigue guiando desde el cielo.

## **AGRADECIMIENTO**

A la empresa ensambladora de vehículos CIAUTO Ltda. en la persona del Ing. Juan Carlos Escobar por el respaldo y apoyo recibido en transcurso de la investigación.

A los ingenieros Carlos Santillán, Gloria Miño y Jorge Freire por su guía tan acertada en el desarrollo de este trabajo.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN .....	xii
SUMARY .....	xiii

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1 Planteamiento de problema.....	1
1.2 Formulación del problema .....	4
1.3 Sistematización del problema.....	4
1.4 Objetivos de la investigación .....	5
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	5
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.5 Justificación de la investigación .....	5
1.6 Hipótesis .....	7

### CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL .....	8
2.2 Introducción .....	8
2.3 Balance de líneas de ensamblaje (ALB).....	9
2.3 Diagrama de precedencia .....	9
2.4 Número de operadores.....	10
2.5 Tiempo del ciclo. ....	10
2.6 Tiempo disponible.....	10
2.7 Takt time .....	10
2.8 Takt time real (actual takt time) .....	11
2.8.1 <i>Por el tipo de producto a fabricar</i> .....	11
2.8.1.1 <i>Modelo de línea simple (single - model line):</i> .....	11
2.8.1.2 <i>Modelo de línea mixto (mixed-model line):</i> .....	11
2.8.1.3 <i>Modelo de línea múltiple (multi-model line):</i> .....	12
2.8.2 <i>Por el diseño de la línea de ensamble</i> .....	12
2.8.2.1 <i>Línea serial</i> .....	12
2.8.2.2 <i>Líneas con estaciones en paralelo</i> .....	13
2.8.2.3 <i>Líneas paralelas</i> .....	13
2.8.2.4 <i>Líneas de dos lados (two- sided)</i> .....	13
2.8.3 <i>Por el tipo de operador de la línea de ensamble</i> .....	14

2.8.3.1	<i>Líneas manuales</i> .....	14
2.8.3.2	<i>Líneas Semirobotizadas</i> .....	14
2.8.3.3	<i>Líneas Robotizadas</i> .....	14
2.8.4	<b><i>Por la entrada de piezas a la línea de ensamble</i></b> .....	14
2.8.4.1	<i>Líneas de entrada fija</i> .....	14
2.8.4.2	<i>Líneas de entrada variables</i> .....	14
2.9	<b>Problemas simples de balanceo de línea (simple assamble line balancing problem - SALBP)</b> .....	15
2.9.1	<i>Clasificación de los SALBP</i> .....	16
2.10	<b>Modelos para la solución de los</b> .....	16
2.10.1	<i>Algoritmos para la resolución de SALBP</i> .....	17
2.10.2	<i>Algoritmos exactos (programación lineal mixta</i> .....	18
2.11	<b>Proceso de pintura</b> .....	19
2.11.1	<i>Fosfatado</i> .....	19
2.11.2	<i>Pasivado</i> .....	20
2.11.3	<i>Electroforesis</i> .....	20
2.11.4	<i>Sellado</i> .....	21
2.11.5	<i>Acabado</i> .....	21

### CAPÍTULO III

3.	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	22
3.1	<b>Descripción de la empresa y del área de pintura</b> .....	22
3.1.1	<b><i>Descripción de la empresa</i></b> .....	22
3.1.1.1	<i>Misión</i> .....	23
3.1.1.2	<i>Visión</i> .....	23
3.1.1.3	<i>Estructura funcional de la organización</i> .....	23
3.1.1.4	<i>Directrices estratégicas</i> .....	25
3.1.1.5	<i>Política de calidad</i> .....	25
3.1.1.6	<i>Objetivos estratégicos de calidad</i> .....	25
3.1.1.7	<i>Principios organizacionales</i> .....	25
3.1.2	<b><i>Descripción del proceso de ensamblaje</i></b> .....	26
3.1.3	<b><i>Proceso general de CIAUTO.</i></b> .....	29
3.1.3.1	<i>Proceso de electroforesis (ELPO)</i> .....	29
3.1.3.2	<i>Primer</i> .....	30
3.1.3.3	<i>Esmalte</i> .....	31
3.1.4	<b><i>Flujo de proceso ELPO</i></b> .....	32
3.1.5	<b><i>Flujo de proceso sellado y primer</i></b> .....	33
3.1.6	<b><i>Flujo de proceso top coat</i></b> .....	34



<b>3.2</b>	<b>Determinación de tiempos</b> .....	<b>35</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Determinación de takt time y tiempos de ciclo</b> .....	<b>35</b>
3.2.1.1	<i>Tiempo disponible</i> .....	35
3.2.1.2	<i>Takt time</i> .....	36
3.2.1.3	<i>Takt Time real (Actual Takt Time)</i> .....	36
3.2.1.4	<i>Sistemas de transporte</i> .....	37
<b>3.2.2</b>	<b>Etapa de desengrasar</b> .....	<b>37</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Etapa de enjuague 1 y 2</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Acondicionamiento de superficies</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Fosfato</b> .....	<b>39</b>
<b>3.3</b>	<b>Especificaciones del proceso ELPO</b> .....	<b>39</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Capacidad del horno ELPO</b> .....	<b>42</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Dimensiones de horno</b> .....	<b>43</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Dimensiones de las cabinas de sellado y pulido</b> .....	<b>44</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Dimensiones de cabina de aplicación de primer y toap coat</b> .....	<b>45</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Dimensionamiento de horno pintura</b> .....	<b>47</b>
<b>3.3.6</b>	<b>Dimensiones del proceso de finesse</b> .....	<b>48</b>
<b>3.3.7</b>	<b>Cabina de pre desengrase</b> .....	<b>48</b>
<b>3.3.8</b>	<b>Métricas de la planta</b> .....	<b>49</b>
<b>3.4</b>	<b>Resumen de manufactura</b> .....	<b>49</b>
<b>3.5</b>	<b>Cálculo de la eficiencia de la línea</b> .....	<b>52</b>

#### CAPÍTULO IV

<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>53</b>
<b>3.1</b>	<b>Modelo de Optimización para líneas de ensamblaje de tipo SALB-2</b> .....	<b>53</b>
<b>3.2</b>	<b>Algoritmo COMSOAL (Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines)</b> .....	<b>54</b>
<b>3.3</b>	<b>Aplicación en la estación de horno ELPO</b> .....	<b>54</b>
<b>3.4</b>	<b>Aplicación del algoritmo al horno primer</b> .....	<b>66</b>
<b>3.5</b>	<b>Aplicación del algoritmo al horno Toap Coat</b> .....	<b>69</b>
<b>3.6</b>	<b>Cálculo de la eficiencia de la línea</b> .....	<b>72</b>

	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>74</b>
--	---------------------------	-----------

	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>76</b>
--	------------------------------	-----------

#### BIBLIOGRAFÍA

#### ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1-1:</b> Esquema general del proceso de pintura.....	4
<b>Figura 1-2:</b> Un elemento de diez diagrama de precedencia .....	10
<b>Figura 2-2:</b> Ensamble de línea para uno y múltiples productos.....	12
<b>Figura 3-2:</b> Línea serial .....	12
<b>Figura 4-2:</b> Línea de ensamble con estaciones en paralelo.....	13
<b>Figura 5-2:</b> Líneas en paralelo.....	13
<b>Figura 6-2:</b> Tipos de líneas de ensamble .....	15
<b>Figura 7-2:</b> Esquema del proceso de electroforesis catódica .....	20
<b>Figura 1-3:</b> Logo de la empresa CIAUTO.....	22
<b>Figura 2-3:</b> Mapa satelital de la planta de CIAUTO.....	22
<b>Figura 3-3:</b> Organigrama estructural de la empresa.....	24
<b>Figura 4-3:</b> (a) Piso, (b) Compartimiento Motor .....	26
<b>Figura 5-3:</b> Proceso de ensamblaje de un vehículo modelo M4. ....	28
<b>Figura 6-3:</b> Carrocería sumergida en baño .....	29
<b>Figura 7-3:</b> Cubas de la planta de ELPO .....	29
<b>Figura 8-3:</b> Salida de la carrocería desde el horno ELPO.....	30
<b>Figura 9-3:</b> Cabina de lijado y sellado .....	30
<b>Figura 10-3:</b> Cabina de pintura de fondo.....	31
<b>Figura 11-3:</b> Aplicación de color y brillo .....	31
<b>Figura 12-3:</b> Cabina de control de calidad .....	31
<b>Figura 13-3:</b> Flujo de procesos de Electroforesis .....	32
<b>Figura 14-3:</b> Flujo de procesos de sellado y primer.....	33
<b>Figura 15-3:</b> Flujo de procesos de toap coat.....	34
<b>Figura 16-3:</b> Modelo M4 de Great Wall.....	35
<b>Figura 17-3:</b> Dimensiones principales de la estructura.....	39
<b>Figura 18-3:</b> Sistema de transporte .....	40
<b>Figura 19-3:</b> Tiempos de cada estación vs takt time.....	51
<b>Figura 1-4:</b> Diagrama de predecesoras para actividades del horno ELPO.....	56
<b>Figura 2-4:</b> Nueva asignación de actividades del horno ELPO .....	66
<b>Figura 3-4:</b> Diagrama de predecesoras del horno primer .....	68
<b>Figura 4-4:</b> Nueva asignación de actividades del horno primer.....	68
<b>Figura 5-4:</b> Diagrama de predecesoras del horno <i>toap coat</i> .....	70
<b>Figura 6-4:</b> Reasignación de actividades para estación. ....	70
<b>Figura 7-4:</b> Gráfica de estaciones vs tiempo de ciclo .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1-1:</b> Etapas del proceso de pintura.....	3
<b>Tabla 1-3:</b> Parámetros de cálculo .....	35
<b>Tabla 2-3:</b> Distribución de tiempos en la planta .....	36
<b>Tabla 3-3:</b> Datos del sistema de transporte .....	37
<b>Tabla 4-3:</b> Especificaciones del sistema de transporte .....	40
<b>Tabla 5-3:</b> Especificaciones del proceso de electroforesis.....	40
<b>Tabla 6-3:</b> Matriz de tiempos y longitudes del horno ELPO .....	42
<b>Tabla 7-3:</b> Tiempos para curado en el horno ELPO .....	43
<b>Tabla 8-3:</b> Lista auxiliar para el proceso de sellado.....	43
<b>Tabla 9-3:</b> Los tiempos y temperaturas de curado para los sellantes .....	44
<b>Tabla 10-3:</b> Tipo de transferencia de calor .....	44
<b>Tabla 11-3:</b> Parámetros generales del horno .....	44
<b>Tabla 12-3:</b> Dimensiones y tiempos aplicados en el horno .....	44
<b>Tabla 13-3:</b> Tipos de sellantes utilizados en la estación .....	45
<b>Tabla 14-3:</b> Tiempos de curado para los sellantes .....	45
<b>Tabla 15-3:</b> Matriz de cálculo para tiempos de primer y toap coat.....	46
<b>Tabla 16-3:</b> Tiempos necesarios para el horno de pintura .....	47
<b>Tabla 17-3:</b> Tiempos y temperaturas de curado para estos sellantes .....	47
<b>Tabla 18-3:</b> Tipo de transferencia de calor para horno de pintura .....	47
<b>Tabla 19-3:</b> Dimensiones del horno de pintura.....	48
<b>Tabla 20-3:</b> Tipos de colores para verificación.....	48
<b>Tabla 21-3:</b> Dimensiones totales de la planta .....	49
<b>Tabla 22-3:</b> Descripción de tiempos y procesos en la línea de pintura. ....	50
<b>Tabla 1-4:</b> Hoja de procesos del horno de electroforesis .....	55
<b>Tabla 2-4:</b> Resumen de la asignación de estaciones con TC=40,07 .....	66
<b>Tabla 3-4:</b> Hoja de procesos del horno primer .....	67
<b>Tabla 4-4:</b> Resumen de la asignación tareas en la estación .....	68
<b>Tabla 5-4:</b> Diagrama de procesos del horno <i>toap coat</i> .....	69
<b>Tabla 6-4:</b> Resultados de la aplicación del algoritmo COMSOAL.....	70
<b>Tabla 7-4:</b> Tiempos empleados por unidad .....	71

## **RESUMEN**

El presente trabajo tuvo como objetivo optimizar el sistema de producción en la empresa CIAUTO en base a la aplicación de un modelo de balance de líneas para el mejoramiento de la eficiencia en la línea de pintura. Se partió de la cuantificación de los principales procesos y sus respectivos tiempos procesamiento mediante la aplicación de un estudio. A continuación, se identificó como el principal tiempo de ejecución a la estación del horno de electroforesis con 42 minutos de proceso mayor al takt time requerido de 40 minutos para lograr las metas de producción. Posteriormente se procedió a la selección del modelo matemático para el balance de la línea, mediante un análisis bibliográfico se llegó a determinar que el algoritmo COMSOAL (Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines) llegó a adaptarse de manera adecuada en el estudio. Como resultado de la investigación, se determinó un incremento del 24,20% en la eficiencia de la línea de pintura generando un total de 47,78%, lo que reflejó que con los mismos recursos se puede producir más. Se concluyó que el algoritmo COMSOAL es adaptable a la industria automotriz y se recomienda la aplicación de este estudio en la línea de ensamblaje.

**Palabras clave:** <BALANCE DE LÍNEAS> <EFICIENCIA LÍNEA ENSAMBLAJE>  
<ALGORITMO COMSOAL> <OPTIMIZACIÓN SISTEMA> <MODELO HEURÍSTICO>  
<INGENIERIA INDUSTRIAL>

## **SUMMARY**

The present work took as an object to optimize the production system in the company CIAUTO based on the application of a model of balance of lines for the improvement of the efficiency in the painting line. It was assumed from the quantification of key processes and their respective times processing by the application of a study, then, It was identified as the main execution time to the station from the oven of electrophoresis with 42 minutes of process more than the takt time 40 minutes required to achieve production goals. Later proceeded to the selection of the mathematical model for the balance of the line, Using a bibliographic analysis was to determine the algorithm COMSOAL (Computer Method For Sequencing Operations for Assembly Lines), Arrived to adapt in the appropriate manner in the study. As a result of the research, it was determined a 24,20% increase in the efficiency of the paint line generating a total of 47.78%, which reflects that same resources can produce more. It was concluded that the algorithm COMSOAL is adaptable to the automotive industry and it is recommended that the application of this study on the assembly line.

**Key words:** <BALANCE OF LINES><EFFICIENCY LINE ASSEMBLY><COMSOAL ALGORITHM><OPTIMIZATION SYSTEM><HEURISTIC MODEL><INDUSTRIAL ENGINEERING>

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Planteamiento de problema

CIAUTO (La Ciudad del Auto) empresa ambateña ensambladora de vehículos de la marca Great Wall, trabaja en alianza comercial con China a través de uno de los mayores fabricantes de vehículos asiáticos. Esta empresa entrega al país un producto de alta calidad con una inversión privada que aporta al desarrollo del país con la generación de empleo y a la construcción del buen vivir. En febrero 2012 se instaló la planta ensambladora, siendo la cuarta del país. En este lugar se producen los modelos Haval H5 y la camioneta Wingle de la marca ya mencionada. La empresa es joven y requiere de una adecuada organización de su sistema de manufactura y de su línea de montaje.

Una línea de montaje es un proceso de fabricación en donde las partes y componentes de una lista de materiales están unidos uno por uno a una unidad de una manera secuencial y ordenada. En términos generales este método de producción ha demostrado ser uno de los más eficientes.

La inversión inicial de CIAUTO fue de USD 25 millones, con proyección a 50 millones en los próximos cinco años. Por ahora la ensambladora funciona con 80 operarios, quienes fueron capacitados por técnicos chinos de Great Wall. Ellos se encargan de incorporar al chasis, la zapatas, discos, llantas, sistemas de frenos, tracción, escape, el guardachoque, motor, caja de cambios y la carrocería. (PROEcuador, 2013, pp.1)

En la actualidad CIAUTO Cia. Ltda. se encuentra implementando una planta de pintura para vehículos livianos modelo M4 de 1500 cm<sup>3</sup>, cuya máxima capacidad de producción es de 30 unidades por turno. Con la nueva línea de soldadura y pintura de autos compactos se espera que la mano de obra suba de 80 a 280 puestos de empleos directos e indirectos en este año. Las instalaciones están previstas para cumplir con los siguientes procesos:

- Fosfatizado
- Cataforesis (electroforesis) y Sellado
- Pintura *primer* (Fondo)
- Pintura final (Color y Barniz)

Los procesos expuestos están constituidos por subprocessos propios y normalmente estándar en la industria automotriz mundial. Inicialmente se pintaran 4 colores que son: Blanco, negro, plateado y rojo

El sistema de pintura es uno de los más complicados por su dificultad y por su importancia ante los ojos del consumidor. Este proceso empieza con el fosfatizado que es cuando se aplica a la superficie mecánica una preparación química para que reciba la cataforesis (ELPO) y los subsiguientes pasos de pintura.

Posteriormente se cargan las unidades en el sistema de transporte automático. Después llegan a una tina para limpiar cualquier resto o mugre que haya caído sobre la superficie de la carrocería. Sigue el proceso de pintura, que se da a través de inmersión, que es cuando la carrocería está conectada a tierra y los ánodos a través de un rectificador cargan positivamente la pintura para que se produzca una atracción electrostática y el color se adhiera a las superficies internas y externas.

A la pintura le sigue el ultrafiltrado uno y dos, en donde se produce el enjuague de la carrocería, retirando el exceso de pintura. Todos estos residuos retornan a la cuba central, de manera que no hay ningún desperdicio. Inmediatamente ingresa al horno, en donde se hace el curado de la pintura, llegando a 170 grados centígrados durante 20 minutos.

Luego pasan al enfriamiento y la descarga de las unidades. Se procede con el lijado ELPO y el sellado. En el calafeteo se aplica PVC bajo el piso para insonorizar el vehículo y protegerlo contra la corrosión. Sigue el proceso de fondo, que es donde se aplican los cuatro colores 'tráiler' disponibles y su lijado. Por último la unidad sigue a la cabina de base y barniz; el horneado es el procedimiento final. En conjunto el proceso está descrito en la tabla 1-1

**Tabla 1-1:** Etapas del proceso de pintura

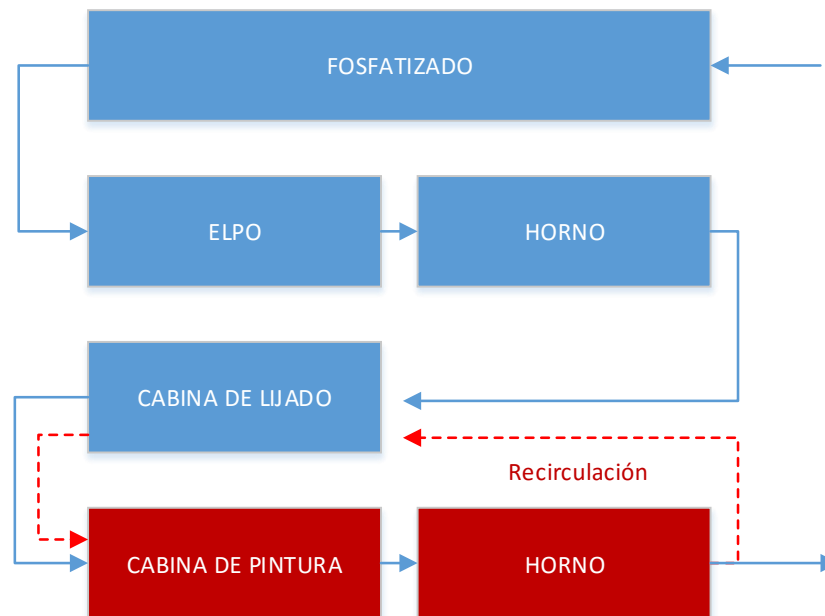
ETAPA	PROCESO	METODO
1	Pre-desengrase	Aspersión y manual
2	Desengrase	Aspersión - Inmersión
3	Enjuague 1	Aspersión - Inmersión
4	Enjuague 2	Aspersión - Inmersión
5	Activado (afinado) o acondicionador	Aspersión - Inmersión
6	Fosfato	Aspersión - Inmersión
7	Enjuague (Agua DI)	Aspersión - Inmersión
8	Enjuague (Agua DI)	Aspersión - Inmersión
9	Tanque de transferencia	
10	ELPO Electrodeposición KTL	Inmersión
11	Enjuague con ultra filtrado UFR1	Aspersión - Inmersión
12	Enjuague con ultra filtrado UFR2	Aspersión - Inmersión
13	Enjuague Agua DI	Aspersión - Inmersión
14	Horno ELPO	
15	Lijado Elpo	
16	Sellado y calafateo	
17	Primer o fondo	
18	Horno	
19	Lijado Primer	
20	Preparación de carrocería (limpieza)	
21	Pintura (color)	
22	Clear o barniz	
23	Horno	

Fuente: CIAUTO, 2015

CIAUTO tomó la determinación de unificar el horno de *primer* y el de *top coat*, que generalmente se usa de forma independiente en el resto de ensambladoras del país (Comercio, 2015, pp.1), generando un ahorro de alrededor de 8 millones de dólares. Dicha eliminación del equipo se



compensa estableciendo un proceso de recirculación de las unidades hacia el horno de pintura, como se ilustra en la figura 1-1.



**Figura 1-1:** Esquema general del proceso de pintura  
Elaborado por: Angel Guamán, 2016.

Bajo estas condiciones de trabajo la empresa requiere establecer datos específicos de velocidades de producción, tiempos por puesto de trabajo, operarios por estación, tiempos de para programados, temperaturas de curado, de tal forma que la línea de pintura sea totalmente balanceada para una producción de 10 vehículos por turno de 8 horas, cifras que CIAUTO ha determinado como meta de trabajo.

## 1.2 Formulación del problema

¿La aplicación de un método de balance de líneas permite la optimización del sistema de producción en la planta de pintura de la empresa CIAUTO Ambato para los modelos M4?

## 1.3 Sistematización del problema

- ¿Cuáles son los métodos de balance de líneas a utilizar para la optimización del proceso de pintura en la empresa ensambladora CIAUTO?
- La ausencia de un estudio de optimización del sistema de producción de la planta de pintura ¿de qué manera incide en el procesos de fabricación de los modelos M4?
- ¿En qué magnitud se alcanza una mejora en los procesos de producción al realizar un estudio de optimización del sistema?

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Desarrollar un estudio para la optimización del sistema de producción de la planta de pintura de la empresa CIAUTO Ambato, en base a un método de balance de líneas para los modelos M4.

### ***1.4.2 Objetivos específicos.***

- Describir el contexto operacional de la planta de pintura de la empresa ensambladora de autos.
- Determinar los diferentes modelos de balance de líneas empleados en la industria automotriz.
- Desarrollar el estudio de tiempos y procesos para todas las estaciones de trabajo que constituyen la planta de pintura.
- Aplicar un algoritmo de balance de líneas para la optimización del proceso de pintura.
- Determinar el incremento de eficiencia en la línea de producción.

## **1.5 Justificación de la investigación**

El artículo 334, inciso 3 de la Constitución de la República del Ecuador 2008 establece que: “El Estado promoverá el acceso equitativo a los factores de producción, para lo cual le corresponderá: Impulsar y apoyar el desarrollo y la difusión de conocimientos y tecnologías orientados a los procesos de producción” (Constituyente, 2008, pp. 156). Base esencial de este desarrollo es la investigación científica en las áreas de producción, para fortalecer la tecnificación en la industria local y nacional, además de democratizar los factores de producción.

El Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, PNVB, establece como objetivo N°10 el impulsar la transformación de la matriz productiva, diversificando y generando mayor valor agregado en la producción nacional a través de la consolidación de la transformación productiva de los sectores prioritarios industriales y de manufactura, con procesos de incorporación de valor agregado que maximicen el componente nacional y fortalezcan la capacidad de innovación y de aprendizaje colectivo. Asimismo, promoviendo la intensidad tecnológica en la producción primaria, de bienes intermedios y finales, articulando la investigación científica, tecnológica y la educación superior con el sector productivo, para una mejora constante de la productividad y competitividad sistémica, conjuntamente con la tecnificación de los encadenamientos productivos en la generación de materias primas y la producción bienes de capital, con mayor intensidad tecnológica en sus procesos productivos. (Desarrollo, 2013, pp.513)

El MCP (Ministerio de Coordinación de la Producción, 2010, pp. 167) a través de la Agenda para la Transformación Productiva del Ecuador obedece a políticas transversales como la Política de Innovación que ayuda a fortalecer y desarrollar el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología, Innovación y Saberes Ancestrales mediante la implementación intensiva de políticas de innovación para la transformación productiva y la articulación de los actores relacionados en la economía nacional de la siguiente manera:

- Articulación de las instituciones de investigación, Centros Educativos y sector privado.
- Acceso del sector productivo a investigación y desarrollo de productos.
- Mejoramiento de la Calidad.

La Universidad Ecuatoriana fortalece esta sinergia fomentando la investigación técnica y responsable con el ánimo de alcanzar la máxima eficiencia productiva, con un enfoque tecnológico orientado a mejorar las condiciones de vida de las personas.

En este contexto, la mejora en el manejo de los recursos hace que una organización sea competitiva, innovadora y eficiente. Un correcto estudio de optimización del sistema de producción del área de pintura de CIAUTO. S.A. a través de modelos matemáticos de balance de líneas permitirá que la empresa aproveche al máximo los recursos con los que dispone, teniendo la capacidad de planificar adecuadamente su producción, asignar eficientemente el personal en cada puesto de trabajo, establecer las tareas correctas y determinar índices de medición del trabajo.

Los resultados del estudio permitirán a la alta gerencia de la organización tener una información base, técnicamente sustentada, que incluyen: tiempos para cada estación de trabajo, colaboradores asignados, producción por turno, entre otros, y que permitirá iniciar las operaciones en la línea de pintura para los modelos M4 de Great Wall sin desmedro de la calidad del producto y que servirá para establecer modificaciones futuras en el proceso integral de producción, obedeciendo a la filosofía de mejora continua que promulga esta ensambladora de autos.

Cabe mencionar que el presente trabajo está dentro de la línea de investigación de tecnologías de la información, comunicación y procesos industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y alineada a las establecidas en el programa de maestría y denominada Productividad y Sistemas de Calidad, dedicada analizar novedosas formas para incrementar la productividad y calidad en las organizaciones con herramientas modernas de la Ingeniería Industrial.

## **1.6 Hipótesis**

La optimización del sistema de producción de la planta de pintura de la empresa CIAUTO Ambato en base a un método de balance de líneas para los modelos M4 permite mejorar en la eficiencia de la empresa ensambladora.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO REFERENCIAL

#### 2.2 Introducción

En la actualidad, el cambio en la industria automotriz toma mayor importancia dada la creciente tendencia en la personalización en masa, el esfuerzo enfocado en reducir los costos, el incremento de la flexibilidad en las plantas de fabricación y el mejoramiento en la relación con las empresas proveedoras de partes.

Al principio las líneas de montaje fueron desarrolladas para una producción en masa eficiente considerando tan solo a los costos con muy pocos productos estándar. Actualmente existen varias opciones que el cliente pueden escoger en el mercado, de modo que los fabricantes de estos productos necesitan ofrecer una variedad de bienes que supera los varios millones de modelos (Roder y Tibken, 2006, pp. 1010-1029).

Para disponer de una cantidad de productos tan diversificado y sin poner en peligro los beneficios del flujo eficiente de un proceso se utilizan las llamadas líneas de montaje de modelos mixtos. En este tipo de modelos se hace presente el problema de balanceo de líneas de ensamblaje a medio plazo; además, las líneas de montaje de modelos mixtos originan un problema de secuenciación de actividades, en los que se decide sobre la secuencia de producción de un determinado número de unidades en un periodo de planificación, teniendo en cuenta el objetivo de minimizar la sobrecarga de trabajo y nivelar el consumo de componentes (Bard, 1994, pp. 2431-2454).

Adicionalmente, es necesario enfocar los esfuerzos de la organización en la reducción de los desperdicios como el exceso de capacidad (Monden, 1993, p. 423), el objetivo es eliminar cualquier trabajo de la línea que no funcione a plena capacidad, lo que significa que la secuencia de operaciones debe ser lo más estable posible.

Además de la flexibilidad en los recursos, la manufactura de productos requiere un nivel mínimo de uniformidad. En las siguientes secciones se discuten los principales enfoques de planificación presentados en la literatura.

El análisis de un sistema productivo real para producción de automóviles obliga a considerar el problema de secuenciación en la línea de montaje como un proceso particularmente dinámico, en el que se consideran los productos según su disponibilidad antes de ser secuenciados.

Kumar y Mahto establecen que equilibrio de línea significa equilibrar la producción línea, o cualquier cadena de montaje. El principal objetivo de balanceo de la línea es la de distribuir la tarea de manera uniforme sobre la estación de trabajo de manera que el tiempo de inactividad del hombre o de la máquina puede ser minimizado. Equilibrio que tiene por objeto agrupar las instalaciones y los trabajadores en un patrón eficiente, con el fin de obtener un equilibrio óptimo o más eficiente de las capacidades y flujos de la producción o el montaje de los procesos (Kumar & Mahto, 2013, pp. 29).

### 2.3 Balance de líneas de ensamblaje (ALB).

Es el término comúnmente utilizado para referirse al proceso de asignación de tareas a estaciones de trabajo en un sistema de producción en serie. La tarea consiste en organizar las operaciones elementales necesarias para convertir la materia prima en productos terminados. Es una técnica clásica de optimización de la investigación de operaciones que tiene importancia industrial significativa en el sistema de producción (Thomopoulos, 2014, p. 143).

### 2.3 Diagrama de precedencia

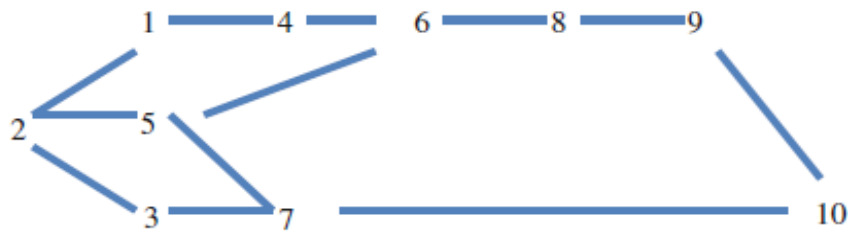
Es conveniente para dibujar un gráfico llamado diagrama de precedencia, para representar la relación entre todos los elementos. El diagrama muestra los elementos que pueden comenzar sin ningún elemento predecesor, y qué elementos tienen elementos predecesores (Thomopoulos, 2014, p. 143). El diagrama de precedencia es un modelo sobre cómo montar la unidad. Un ejemplo de  $N_e = 10$  elementos y cualquier elemento predecesor asociados aparece en la Tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Diez elementos de  $e$ ,  $t_e$  tiempos estándar, y sus elementos predecesores

$e$	$t_e$	Predecessor elements
1	1.1	2
2	2.6	
3	1.8	2
4	2.0	1
5	2.3	2
6	0.5	4, 5
7	1.4	3, 5
8	0.8	6
9	1.2	8
10	0.8	7, 9

Fuente: Thomopoulos, 2014

El diagrama de precedencia correspondiente se muestra en la figura 1-2. El flujo es de izquierda a derecha. Los números indican los elementos y las líneas de conexión a identificar los elementos predecesores inmediatos (Thomopoulos, 2014, p. 143).



**Figura 1-2:** Un elemento de diez diagrama de precedencia  
Fuente: Thomopoulos, 2014

## 2.4 Número de operadores.

El número mínimo de operadores,  $n$ , necesaria para llevar a cabo la programación se calcula como sigue (Thomopoulos, 2014, p. 143):

$$n = \sum \frac{t_e \cdot N}{T}$$

## 2.5 Tiempo del ciclo.

El tiempo de ciclo, denotado como  $c$ , es una medida del tiempo entre dos unidades que salen al final de la línea como buenos artículos terminados (Thomopoulos, 2014, p. 143). Esta medida se calcula como:

$$C = \frac{T}{N}$$

Donde  $T$  es el tiempo de desplazamiento y  $N$  es la secuencia de cambios.

## 2.6 Tiempo disponible

Es la cantidad de tiempo efectivo que se tiene para trabajar restándole el tiempo de descansos, refrigerios, preparaciones, mantenimiento, etc.

## 2.7 Takt time

Es el tiempo en el que se debe obtener una unidad de producto. Es un término muy conocido en la manufactura el cual se utiliza para establecer el tiempo que se debe tardar en completar una unidad para cumplir con la demanda (Ortiz, 2006, p. 260).

$$TT = \frac{\textit{Tiempo disponible para la demanda}}{\textit{Número de unidades requeridas por la demanda}}$$

## 2.8 Takt time real (actual takt time)

Es el tiempo real que toma producir un vehículo o un componente del mismo. Depende de muchos factores tales como el tiempo de arranque, el estado del stock de unidades, la frecuencia de paros de línea, ineficiencias, etc (Ortiz, 2006, p. 260).

$$ATT = TT \times \eta$$

Clasificación de las líneas de ensamblaje

### 2.8.1 *Por el tipo de producto a fabricar*

Las líneas de ensamble se clasifican de acuerdo con la variedad de productos que se fabrican en la línea (Adam, & Ebert., 1991, p.739). Para la manufactura de uno, dos o más productos pueden ser utilizados varios modelos que se describen a continuación:

#### 2.8.1.1 *Modelo de línea simple (single - model line):*

Se caracteriza por la producción en masa de un solo producto o una familia de productos con diferencias mínimas entre los modelos de la familia. Debido a que la línea es dedicada a un solo producto, los operarios desarrollan un alto grado de especialización (Rekiek & Delchambre, 2006, pp. 399-404)

#### 2.8.1.2 *Modelo de línea mixto (mixed-model line):*

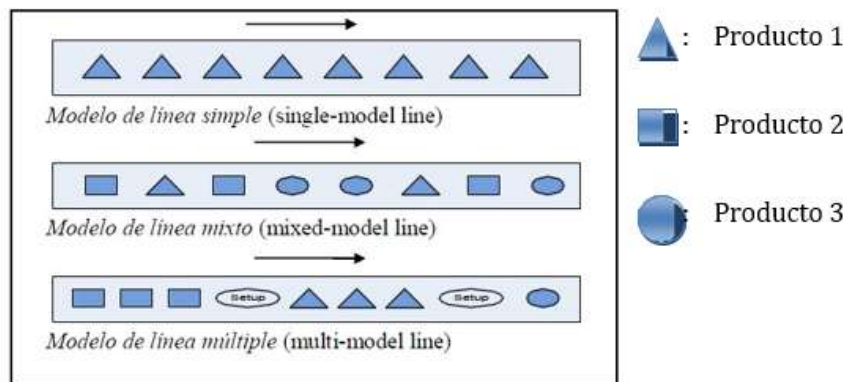
Se caracteriza por la manufactura de variedades de un producto básico, la producción no implica tiempos de alistamiento o de paradas entre una variedad y otra, dado que se requieren las mismas operaciones básicas para fabricar todos los productos; por tanto, se producen unidades de diferentes modelos en una secuencia mixta arbitraria.

Debido a la variedad de productos que se ensamblan en la línea los operarios son multifuncionales, es decir deben estar capacitados para realizar diferentes tipos de tareas en la estación de acuerdo con el tipo de producto; en consecuencia la línea debe poseer flexibilidad para adaptar la variedad de las rutas que siguen los productos (Rekiek & Delchambre, 2006, pp. 399-404).



### 2.8.1.3 Modelo de línea múltiple (multi-model line):

Se caracteriza por la fabricación de diferentes tipos de productos en una misma línea, pero en este caso, los procesos de producción entre un tipo de producto (o modelo) y otro varía significativamente, los tiempos de alistamiento y la secuenciación de productos juegan un papel importante en la optimización del uso de los recursos. Los diferentes tipos de líneas se muestran en la figura 2-2.

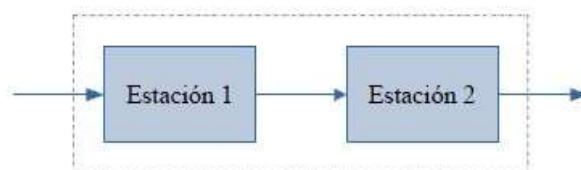


**Figura 2-2:** Ensamble de línea para uno y múltiples productos.  
Fuente: Becker & Scholl, 2006

## 2.8.2 Por el diseño de la línea de ensamble.

### 2.8.2.1 Línea serial

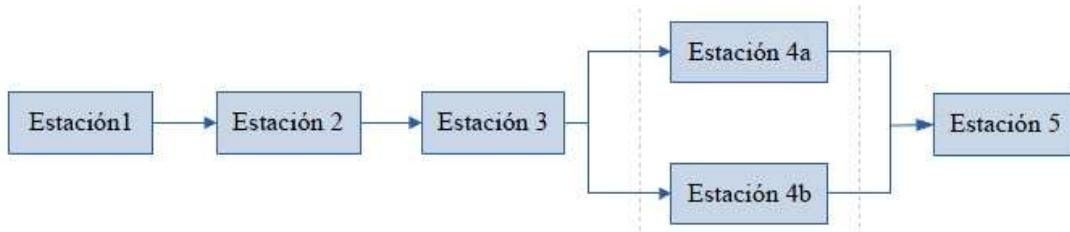
Las estaciones son colocadas en serie a lo largo de un mecanismo de transporte (banda transportadora), en donde las tareas pasan consecutivamente de una estación a la próxima, ver figura 3-2. Las líneas de ensamble con estaciones de trabajo en serie tienen la desventaja de ser inflexibles cuando se requiere aumentar o disminuir la capacidad de producción de la línea para ajustarse a cambios en demanda y cuando se desea manufacturar otra variedad de productos (Lee, 2000, pp. 1-5).



**Figura 3-2:** Línea serial  
Fuente: Rekiek & Delchambre, 2006

### 2.8.2.2 Líneas con estaciones en paralelo

Se tiene dos o más estaciones idénticas que realizarán en paralelo las mismas tareas, por tanto, los equipos requeridos para ejecutar las tareas deben instalarse tantas veces como estaciones en paralelo existan en la línea, como se muestra en la figura 4-2.

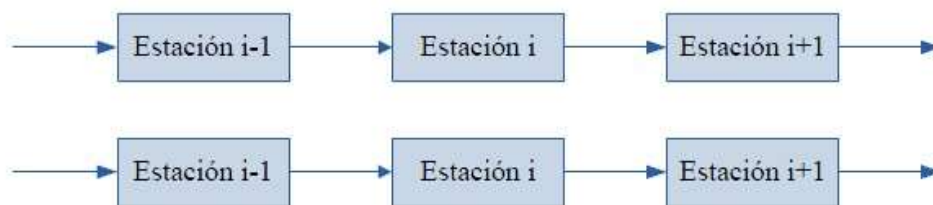


**Figura 4-2:** Línea de ensamblaje con estaciones en paralelo  
Fuente: Rekiek & Delchambre, 2006

Las estaciones en paralelo pueden ser usadas para solucionar el problema que se presenta cuando se tienen tareas indivisibles y la duración total es mayor que el tiempo de ciclo, ya que el valor promedio de la duración de la tarea se reduce proporcionalmente al número de estaciones.

### 2.8.2.3 Líneas paralelas

Son varias líneas colocadas en paralelo; este tipo de configuración puede ser muy útil para el caso de modelos múltiples, en el que se asigna una línea para cada modelo o para cada familia de modelos, ver figura 5-2. En el caso de líneas en paralelo se tiene un problema de diseño adicional, el cual consiste en decidir cuántas líneas serán instaladas y cómo será distribuido el equipo y la fuerza de trabajo entre las líneas.



**Figura 5-2:** Líneas en paralelo  
Fuente: Rekiek & Delchambre, 2006

### 2.8.2.4 Líneas de dos lados (two-sided)

Consisten en dos líneas seriales en paralelo; en donde, en lugar de una estación simple, se tienen pares de estaciones opuestas a cada lado de la línea (estación derecha y estación izquierda) que procesan simultáneamente una misma pieza. Aunque puede ser usado para cualquier tipo de producto, las líneas de dos lados suelen implementarse para productos grandes en los que se

requieren desarrollar tareas en ambos lados, un ejemplo clásico se presenta en la industria automotriz, en donde se deben realizar las mismas tareas en ambos lados del automóvil (Rekiek & Delchambre, 2006, pp. 399-404).

### ***2.8.3 Por el tipo de operador de la línea de ensamble.***

#### ***2.8.3.1 Líneas manuales***

Éste tipo de línea son manejadas por operarios (humanos) los cuales pueden desarrollar las tareas de forma manual o utilizando algún tipo de herramienta.

#### ***2.8.3.2 Líneas Semirobotizadas***

En este tipo de líneas intervienen tanto operarios como robots y los procesos a desarrollar son más especializados o en su defecto necesita una precisión mayor.

#### ***2.8.3.3 Líneas Robotizadas***

Son líneas en las que los operadores son robots y los procesos son totalmente automatizados. Cuando se tiene este tipo de línea, además de planificar el procesamiento de las tareas en las estaciones, se deben planificar las actividades de los robots (Lee, 2000, pp. 1-5).

### ***2.8.4 Por la entrada de piezas a la línea de ensamble***

#### ***2.8.4.1 Líneas de entrada fija***

Las piezas llegan a la línea a intervalos regulares, en el caso de líneas sincrónicas este intervalo es el tiempo de ciclo  $c$  (Lee, 2000, pp. 1-5).

#### ***2.8.4.2 Líneas de entrada variables***

La tasa de entrada de las piezas a la línea es variable.

Los tipos de líneas descritos previamente se pueden resumir en la figura 6-2.



**Figura 6-2:** Tipos de líneas de ensamble  
**Fuente:** Moreno y Montealegre, 2013

Las líneas de ensamble se caracterizan por el movimiento de una pieza semi-procesada de una estación de trabajo a otra, hasta que es completado el producto final. A su vez las tareas requeridas para completar este producto son divididas y asignadas a las estaciones de trabajo y la pieza permanece en cada estación por un período de tiempo llamado tiempo de ciclo. (Moreno y Montealegre, 2013, pp. 21)

En la siguiente sección se mostrarán los problemas al balancear los diferentes tipos de líneas de ensamble. Estos problemas básicamente consisten en asignar las tareas a las estaciones de trabajo, tal que se optimice un indicador de desempeño determinado (Cortés & Vásquez, 2009, p. 155).

### **2.9 Problemas simples de balanceo de línea (simple assembly line balancing problem - SALBP).**

El *SALBP* pretende determinar cómo se deben asignar las tareas a las máquinas y como ordenar su procesamiento en cada máquina de manera que se minimice el tiempo de procesamiento del conjunto de las tareas y se minimice el número de máquinas empleadas

Restrepo, y otros, en el 2008 publican un artículo titulado (*Problemas de Balanceo de Línea Salbp-1 y Salbp-2*) en donde definen que el SALBP supone que todos los parámetros son conocidos con certeza, así, una tarea no puede ser dividida entre dos o más estaciones de trabajo, ya que existen secuencias tecnológicas que deben respetarse (relaciones de

precedencia e incompatibilidad entre las tareas) y todas las tareas deben llevarse a cabo (Cortés & Vásquez, 2009, pp. 24-26).

También se presupone que todas las estaciones de trabajo están equipadas para poder realizar cualquier tarea y bajo el mismo costo. A la vez, la duración de realización de una tarea es independiente de la estación de trabajo a la que sea asignada y de las tareas que la hayan precedido en ella.

### **2.9.1 Clasificación de los SALBP**

Se distinguen cuatro tipos de SALBP (Becker & Scholl, 2006):

- SALBP-1: Consiste en asignar un conjunto de tareas a las estaciones, de tal forma que se minimice el número de estaciones, la suma del tiempo ocioso en cada estación, dado un tiempo de ciclo (o tasa de producción). Es muy común que se dé cuando la demanda externa puede ser estimada y un nuevo sistema de montaje vaya a ser instalado.
- SALBP-2: Busca minimizar el tiempo de ciclo (o maximizar la tasa de producción) garantizando el mínimo tiempo ocioso, dado un número de estaciones fijo. Se acostumbra a presentar dicho problema cuando la línea de montaje ya existe.
- SALBP-E: Maximiza la *eficiencia E de la línea*, o lo que es equivalente, minimizar el producto del número de estaciones y el tiempo de ciclo. Una maximización de E también minimiza los tiempos ociosos.
- SALBP-F: En este caso no se busca maximizar ni minimizar ningún valor, sino determinar si existe alguna solución factible para la combinación de un número  $m$  de estaciones y un tiempo de ciclo  $c$ ; es decir, determinar si la línea puede operar con  $m$  estaciones y un tiempo de ciclo  $c$ .

### **2.10 Modelos para la solución de los ALBP**

Existen numerosos algoritmos capaces de resolver problemas de balanceo de líneas, principalmente para el caso simple (*Simple Assembly Line Balancing Problem*); entre ellos se distinguen dos grupos: los métodos exactos (basados en programación lineal, programación dinámica y procedimientos *branch & bound*) y los métodos heurísticos que aproximan la solución del problema. . (Cortés & Vásquez, 2009, pp. 44-50)

Los métodos exactos garantizan una solución óptima, con la problemática que sólo pueden utilizarse, normalmente, en casos con un reducido número de tareas, ya que cuando se tiene un gran número de variables y de restricciones, el problema se hace intratable por problemas de tiempo de cálculo y recursos. Esto es debido a que el problema de balanceo de líneas de ensamble es de carácter combinatorio. Por esta razón se han desarrollado diversos métodos heurísticos para la solución eficiente de problemas reales (Cortés & Vásquez, 2009, p. 155).

Los procedimientos para resolver líneas de ensamble pueden ser categorizados en tres grupos (Bautista & Pereira, 2008, pp. 787-794):

1. Un primer grupo compuesto por procedimientos constructivos o “greedy”. Estos procedimientos hacen uso de regla prioritaria estática o dinámica para asignar tareas o las diferentes estaciones de trabajo

2. Un segundo grupo compuesto por la enumeración de procedimientos, usualmente el árbol de búsqueda basado en procedimientos como Branch & Bound (rama y acotamiento) o gráfico basado en Programación Dinámica (Scholl, 1999, pp. 90-100). De los diferentes procedimientos para esta clase, se resalta SALOME, un algoritmo Branch & Bound capaz de resolver 260-269 casos óptimamente de la literatura usada para los propósitos de comparación (Klein & Scholl, 1996, 367-385).

3. El tercer y último grupo está compuesto por diferentes acercamientos metaheurísticos. Aunque, los resultados normalmente no son tan buenos como aquéllos proporcionados por el segundo grupo de procedimientos, estos todavía son un área de investigación importante debido a la aplicación superior de estos procedimientos a los problemas generales. Esto se debe a la dependencia de procedimientos exactos para el buen uso de límites para encontrar soluciones óptimas. Entre los procedimientos más efectivos se encuentran la Tabú Search, Colonia de hormiga y el algoritmo Beam-ACO (Cortés & Vásquez, 2009, p. 155).

### ***2.10.1 Algoritmos para la resolución de SALBP***

Las diferentes investigaciones referentes a los SALBP se han enfocado en modelos que resuelven los SALBP-1 (problema que comprende todas las posibles combinaciones de las asignaciones de tareas), pero se han formulado pocos modelos para la solución de los SALBP-2 (problema cuyo objetivo es minimizar el tiempo de ciclo). No obstante, diferentes autores proponen que para la solución de los SALBP-2, se usa el mismo procedimiento que se utiliza para los SALBP-1 pero variando el tiempo de ciclo: la solución óptima es la de menor tiempo de ciclo que proporciona un número de estaciones igual al que se dispone.

Posteriormente, se han presentado descripciones detalladas de este tipo de procedimientos, como las que se pueden encontrar en el artículo científico *A Comparative Evaluation of Heuristic Line Balancing Techniques* de Talbot, *Simple assembly line balancing - heuristic approaches* de Scholl y Voss y el libro de Scholl (Scholl, 1999, pp. 90-100)

Además de los trabajos anteriormente mencionados, también se pueden encontrar diferentes estudios, que se clasifican en tres categorías: Algoritmos exactos, trabajos de Branch & Bound y Programación Dinámica, y heurísticos (Sentinella & Solsona, 2007, pp. 22-25)

### 2.10.2 Algoritmos exactos (programación lineal mixta)

Una de las primeras modelizaciones del problema como Programación Lineal Binaria fue la propuesta por White en 1961 que constituye un trabajo usado posteriormente como base para muchos otros investigadores, el modelo es el siguiente (White, 1961, pp. 274-276):

$$Z_{MIN} = \sum_{i \in F} \sum_{j=m_{min}+1}^{m_{max}} C_j * x_{i,j}$$

$$\sum_{j=1}^m x_{i,j} = 1 \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n t_i * x_{i,j} \leq T_{max} \quad j = 1, \dots, m$$

$$k = 1, \dots, m \quad i = 1, \dots, n \quad h \in P(i)$$

$$x_{i,k} \leq \sum_{j=1}^k x_{h,j}$$

Donde,

$$C_{j+1} \geq M + C_j$$

$$j = m_{min} + 1, \dots, m_{max} - 1$$

$$x_{i,k} \in \{0,1\} \forall i,j$$

Con,

$x_{i,j}$  Es la variable que indica si la tarea  $i$  se realiza la estación  $j$ , entonces toma 1 (0 en el caso contrario).

$t_i$  Expresa la duración de la tarea  $i$ .

$T_{max}$  Es el máximo del tiempo de ciclo.

$M$  Expresa un valor lo suficientemente grande

$F$  Es el conjunto de tareas las cuales no tienen sucesoras.

<i>(i)</i>	Son el conjunto tareas predecesoras inmediatas de <i>i</i> .
<i>n</i>	Es el número de tareas que forman la línea.
<i>m</i>	Corresponde al número de estaciones.

## 2.11 Proceso de pintura

Según CESVIMAP (2015) durante el proceso de pintado en una línea de ensamblaje se aplican sucesivamente distintos productos de pintura, cada uno de estas etapas con una misión específica.

Manteniendo la referencia anterior, el pintado de la carrocería durante la fabricación de los automóviles se desarrolla después del ensamblaje y antes de comenzar el montaje de los accesorios y del equipamiento. En ese momento, la carrocería, aún desnuda, resulta ser una superficie generalmente de acero, que se someterá a diferentes tratamientos y recibirá productos protectores y embellecedores.

Los pasos de este proceso son los siguientes: limpieza y desengrasado, fosfatado, pasivado, secado, cataforesis, aplicación de otras protecciones, aparejado y acabado. Limpieza y desengrasado durante el proceso de ensamblaje de la carrocería, las superficies pueden acumular grasas, polvo y otras impurezas, que deben eliminarse antes de pasar a la zona de pintura (CESVIMAP, 2015, p. 5)

Además, se preparan las superficies para garantizar la perfecta adherencia de los productos que se van a depositar sobre ellas. El proceso se realiza por aspersion, a presión normal o con alta presión, así como mediante rociado o inmersión. Se emplean soluciones de gran poder desengrasante. Finalmente, se somete la carrocería a un lavado, pulverizando agua desmineralizada. Antes de pasar a la fase siguiente, se seca, evaporándose los productos empleados en la limpieza.

### 2.11.1 Fosfatado

El proceso de fosfatado es un tratamiento de conversión de la superficie metálica, mediante el cual el metal es atacado, formándose una capa microcristalina de fosfato de zinc. Para conseguirlo, se sumerge la carrocería en un baño compuesto, fundamentalmente, por ácido fosfórico, fosfatos primarios de zinc y aditivos acelerantes, a temperatura entre 40 y 60 °C, durante 90-180 segundos. Esta inmersión proporciona un recubrimiento más uniforme y una mejor penetración en las partes huecas que si se hiciera mediante pulverización (CESVIMAP, 2015, p. 5)

La capa así creada es porosa y, gracias a su estructura cristalina, aumenta la superficie de contacto, facilitando la adherencia. Esta capa es prácticamente insoluble y eléctricamente aislante, por lo



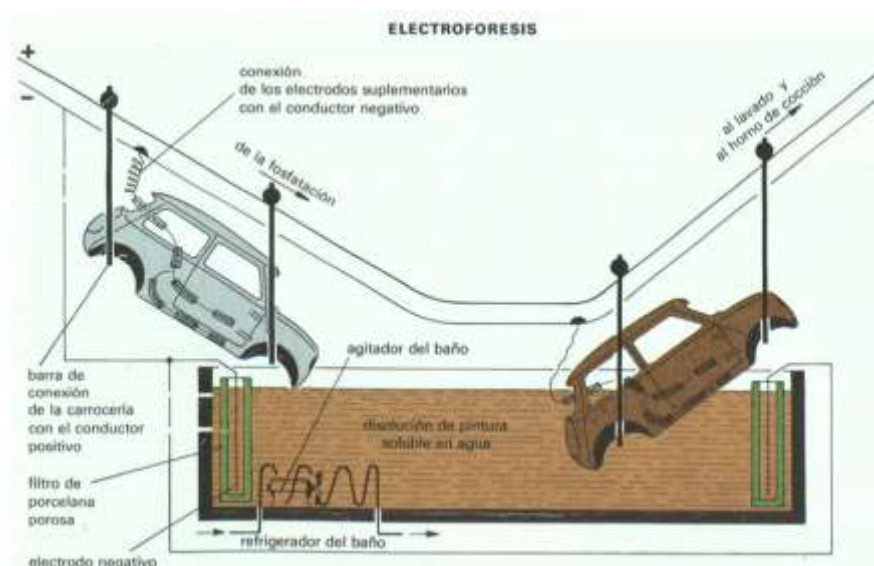
que protege frente a la humedad y la corrosión. Su espesor depende, principalmente, del tiempo de inmersión y de la acidez total del baño, influyendo otros aspectos como la temperatura o la agitación, según la referencia anteriormente indicada (CESVIMAP, 2015, p. 5).

### 2.11.2 Pasivado

Tras el proceso de fosfatado, se lava la superficie con una solución acuosa pasivante, tratamiento que mejora la adherencia y la protección anticorrosiva. Tradicionalmente, se realizaba el proceso con cromo hexavalente pero, por sus riesgos cancerígenos, se está sustituyendo por cromo trivalente y otros compuestos exentos. Al lavar la superficie con estas soluciones, se rellenan las cavidades de la capa microcristalina, consiguiendo una superficie sin poros. Con objeto de eliminar electrolitos y restos de producto de los tratamientos anteriores, se realiza un lavado final de la carrocería con agua desionizada (CESVIMAP, 2015, p. 5).

### 2.11.3 Electroforesis

Es un tratamiento de protección anticorrosiva que recibe la carrocería. Se crea una capa mediante electrodeposición, el producto se deposita sobre la carrocería por la acción de la corriente eléctrica. La carrocería, conectada al polo negativo o cátodo, se introduce en un baño de pintura cataforética, cuya cuba está conectada al polo opuesto, el positivo o ánodo. Mediante la corriente eléctrica, la pintura cataforética, que se caracteriza porque contiene pigmentos anticorrosivos, se deposita sobre la carrocería (CESVIMAP, 2015, p. 5).



**Figura 7-2:** Esquema del proceso de electroforesis catódica

Fuente: Motorgiga, 2010

La tensión con que se trabaja puede estar comprendida entre 100 y 400 voltios. El espesor de la capa depende fundamentalmente de la tensión aplicada, pues la capa que se va depositando no conduce la corriente eléctrica, por lo que el efecto eléctrico cesa cuando la capa alcanza un determinado espesor. Los espesores suelen estar entre 18 y 25 micras, con un tiempo de inmersión de entre 2 y 4 minutos (CESVIMAP, 2015, p. 5).

Tras la cataforesis, la carrocería se lava con agua desionizada para eliminar los restos de producto que no se han adherido. Seguidamente, se seca a una temperatura cercana a los 180 °C, entre 10 y 20 minutos.

#### ***2.11.4 Sellado***

Mediante el sellado y la hermetización, se evita la filtración de agua en las zonas de unión de las distintas piezas que conforman la carrocería. También se emplean paneles insonorizantes que disminuyen las vibraciones, reduciendo los riesgos de aparición de corrosión por fatiga, a la vez que decrece el ruido de la carrocería por vibraciones de los paneles más grandes (CESVIMAP, 2015, p. 5).

Otra protección consiste en la pulverización de protectores de bajos y antivillas sobre las zonas expuestas: piso del vehículo, estribos, pase de rueda, etc. Los productos empleados, por su composición plástica soportan el impacto de pequeñas piedras y gravillas, impidiendo que se dañe la carrocería.

#### ***2.11.5 Acabado***

Al igual que el aparejo, la pintura de acabado suele aplicarse mediante sistemas electrostáticos. En algunos casos por la dificultad de acceso de los brazos de los robots, se completa el proceso con aplicaciones manuales. En el acabado monocapa se pulveriza un único producto que proporciona el color y el brillo, mientras que en las bicapas se emplean dos productos: el color y el barniz transparente que dará el brillo (CESVIMAP, 2015, p. 5)

A pesar de utilizar dos productos en estos procesos, no es necesario secar el primero (el color) para aplicar el segundo, sino que basta con la evaporación de los disolventes para poder dar el barniz. El espesor de la capa de color es de, aproximadamente, 45 micras en monocapas y de sólo 15 en bicapas, ya que en estos últimos la capa final de barniz contará con unas 40 micras. La pintura monocapa y el barniz se secan en hornos durante unos diez minutos a temperaturas que oscilan entre 120 y 160 °C. El espesor de todas las capas y tratamientos aplicados puede estar entre 90 y 135 micras (CESVIMAP, 2015, p. 5)

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Descripción de la empresa y del área de pintura

A continuación se detalla el funcionamiento de la planta de pintura de la empresa CIAUTO Ambato.

##### 3.1.1 Descripción de la empresa



**Figura 1-3:** Logo de la empresa CIAUTO  
**Fuente:** CIAUTO, 2015.

Ambato es una ciudad de gran dinamismo industrial y comercial, que cumple un rol destacado en el convivir nacional en varias áreas de la producción del país, por este motivo en febrero del año 2013 se inaugura en esta ciudad la ensambladora de vehículos CIAUTO, la misma que se encuentra instalada en la parroquia Unamuncho al norte de la ciudad, camino del rey sector El Conde.

CIAUTO ensambla vehículos SUV y Pickup con chasis de la marca Great Wall Motors que se comercializan a nivel nacional por la empresa hermana AMBACAR quien a través de su red de concesionarios pone a disposición del mercado estos vehículos.



**Figura 2-3:** Mapa satelital de la planta de CIAUTO  
**Fuente:** Google maps, 2016.

### *3.1.1.1 Misión*

Somos una empresa dedicada al ensamblaje de partes y vehículos automotores de calidad. Fomentamos el desarrollo de la industria automotriz en el centro del país, así como también el crecimiento de nuestra gente generando al mismo tiempo la rentabilidad necesaria para asegurar la continuidad y desarrollo de nuestra organización (CIAUTO, 2015, p. 21)

### *3.1.1.2 Visión*

Nuestra cultura organizacional impulsa la búsqueda de la excelencia en un ambiente acogedor que facilita el desarrollo constante de nuestro equipo humano.

Mantenemos procesos de fabricación innovadores, confiables, seguros y competitivos que nos permiten ensamblar vehículos de calidad.

Fomentamos el desarrollo de la industria a través del crecimiento paulatino del número de unidades que ensamblamos y del tipo de partes locales que instalamos en nuestros vehículos, lo que nos permite adoptar y transferir tecnología, generando nuevos y mejores negocios para todas las partes involucradas con nuestra organización (CIAUTO, 2015, p. 21)

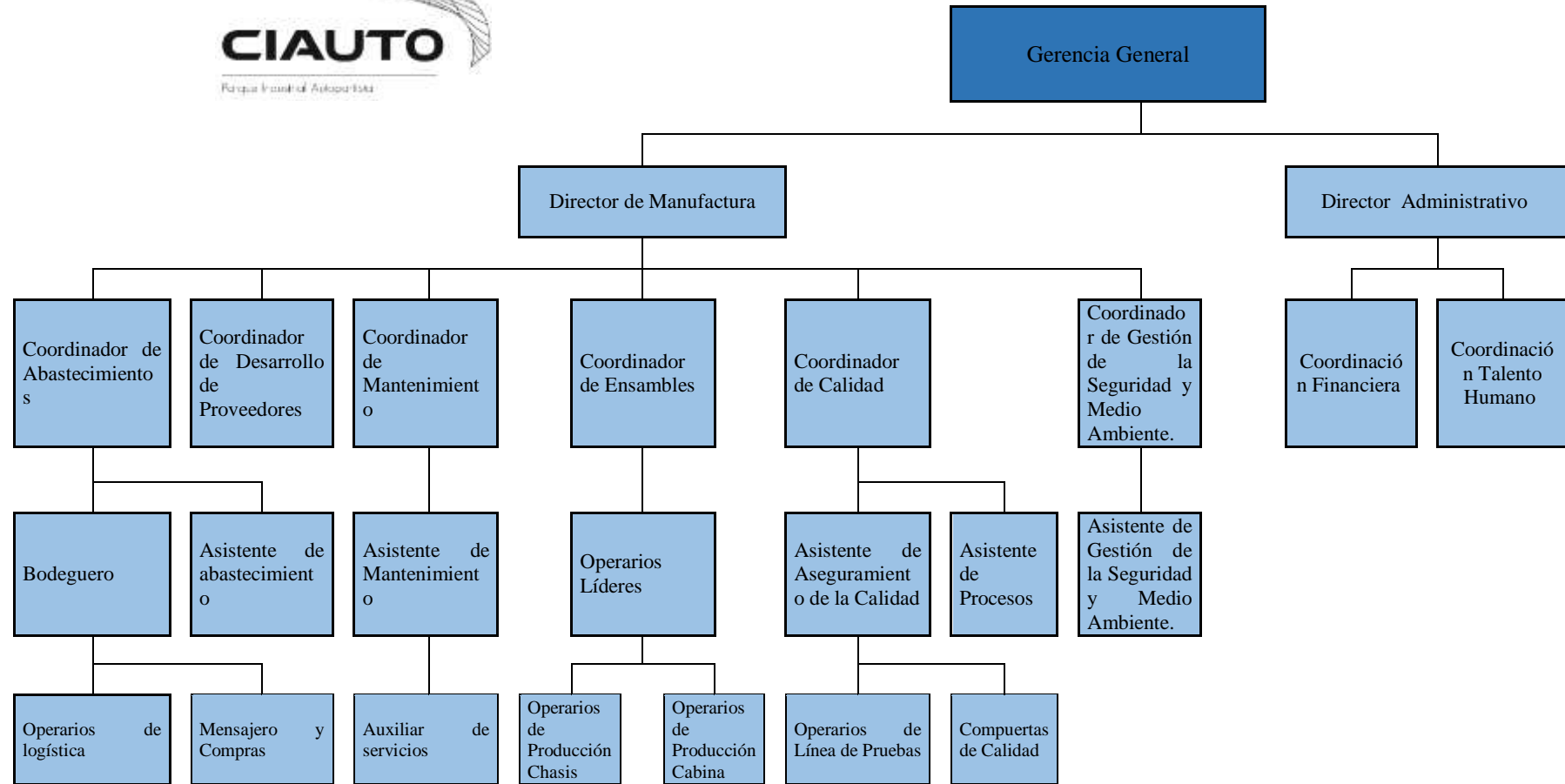
Gestionamos nuestros procesos de acuerdo a los requisitos establecidos en la norma ISO 9001, lo que nos brinda las herramientas y recursos necesarios para trabajar ordenadamente y con calidad, facilitándonos el logro de la satisfacción de nuestros clientes internos y externos.

Logramos clientes entusiasmados con nuestros productos, esto nos permite construir un gran nombre de respaldo y seriedad asegurando el crecimiento y sustentabilidad de nuestro negocio.

Generamos la rentabilidad adecuada para asegurar la continuidad y desarrollo de nuestra empresa así como de la sociedad.

### *3.1.1.3 Estructura funcional de la organización*

La ensambladora de autos se encuentra en el proceso de organización de su estructura funcional, por lo cual muchas de las nuevas áreas no están contempladas en organigrama actual como se aprecia a continuación de la figura 11-3.



**Figura 3-3:** Organigrama estructural de la empresa  
 Fuente: CIAUTO, 2015.

#### *3.1.1.4 Directrices estratégicas*

Las directrices que marcan el rumbo de CIAUTO son las siguientes:

- Cliente
- Calidad
- Colaboradores
- Rentabilidad
- Operaciones

#### *3.1.1.5 Política de calidad*

Somos una empresa dedicada al ensamblaje de partes y vehículos automotores de calidad. Estamos comprometidos con el cumplimiento de los requisitos de la norma ISO 9001 que nos permite mantener la integridad y eficacia de nuestro Sistema de Gestión así como su Mejora Continua.

#### *3.1.1.6 Objetivos estratégicos de calidad*

- Impulsar el desarrollo de nuestro equipo humano logrando su competencia compromiso y satisfacción con la organización.
- Mantener procesos de ensamblaje innovadores, confiables, seguros y competitivos que nos permiten ensamblar vehículos de calidad.
- Fomentar el desarrollo de la industria a través del crecimiento paulatino del número de unidades que ensamblamos y del tipo de partes locales que instalamos en nuestros vehículos.
- Gestionar nuestros procesos de acuerdo a los requisitos establecidos en la norma ISO 9001.
- Lograr clientes entusiasmados con nuestros productos asegurando el crecimiento y sustentabilidad de nuestro negocio.
- Tener una Organización que genera la rentabilidad adecuada para asegurar la continuidad y desarrollo de nuestra empresa.

#### *3.1.1.7 Principios organizacionales*

- INTEGRIDAD: Hacemos lo que decimos que vamos a hacer.
- HONESTIDAD: Transparencia en todo lo que hacemos.
- SOLIDARIDAD: No sirve de nada llegar alto si llegas solo.

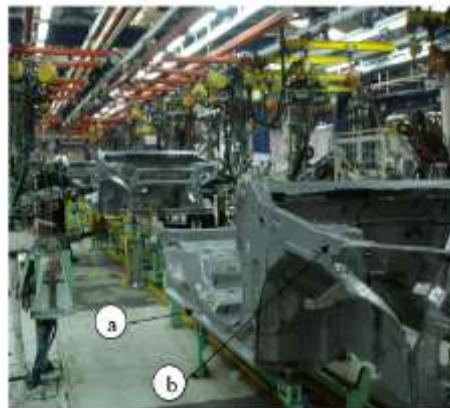
- **TRABAJO EN EQUIPO:** Somos flexibles con nuestras funciones para contribuir con el logro de los objetivos de la empresa.
- **ORIENTACION A RESULTADOS:** Damos lo mejor y requerimos lo mejor para lograr nuestros objetivos.
- **HUMILDAD:** Escuchamos para aprender y estamos dispuestos siempre a mejorar.
- **CONFIANZA EN DIOS.**

### 3.1.2 Descripción del proceso de ensamblaje

El proceso de ensamblaje de un vehículo Great Wall modelo M4 en la planta de CIAUTO se desarrolla de la siguiente manera:

El proceso empieza en la línea de soldadura donde las partes metálicas de un vehículo que llegan por importación desde la China son desempacadas, clasificadas y colocadas en racks. El conjunto es llevado a las diferentes áreas de trabajo o también denominadas celdas de producción.

En las celdas se unen y sueldan las placas metálicas que conforman el piso posterior, y el piso delantero. Además se fortalece al soldarse los estribos en cada lado de la carrocería. Posteriormente se unen las placas metálicas que conforman el compartimiento del motor.



**Figura 4-3:** (a) Piso, (b) Compartimiento Motor  
Elaborado por: Angel Guamán, 2016

A continuación se sueldan los refuerzos laterales. De forma paralela las placas que conforman el techo y sus refuerzos también se sueldan. Las estructuras del piso, techo y laterales se colocan en un molde con ganchos neumáticos que unen todos estos elementos y los sueldan. Así se obtiene una sola estructura metálica que es la preforma del auto.

La preforma de la carrocería o el auto es transportado con la ayuda diversas herramientas de transporte como el overhead, elevador y conveyors hacia una línea común de trabajo donde se

suelde los puntos de suelda comunes para los diferentes modelos y se realiza la costura. Después la carrocería pasa a la línea donde se colocan y cuadran las puertas delanteras, traseras, y el capot; se colocan aquí también las vestiduras laterales (guardafangos).

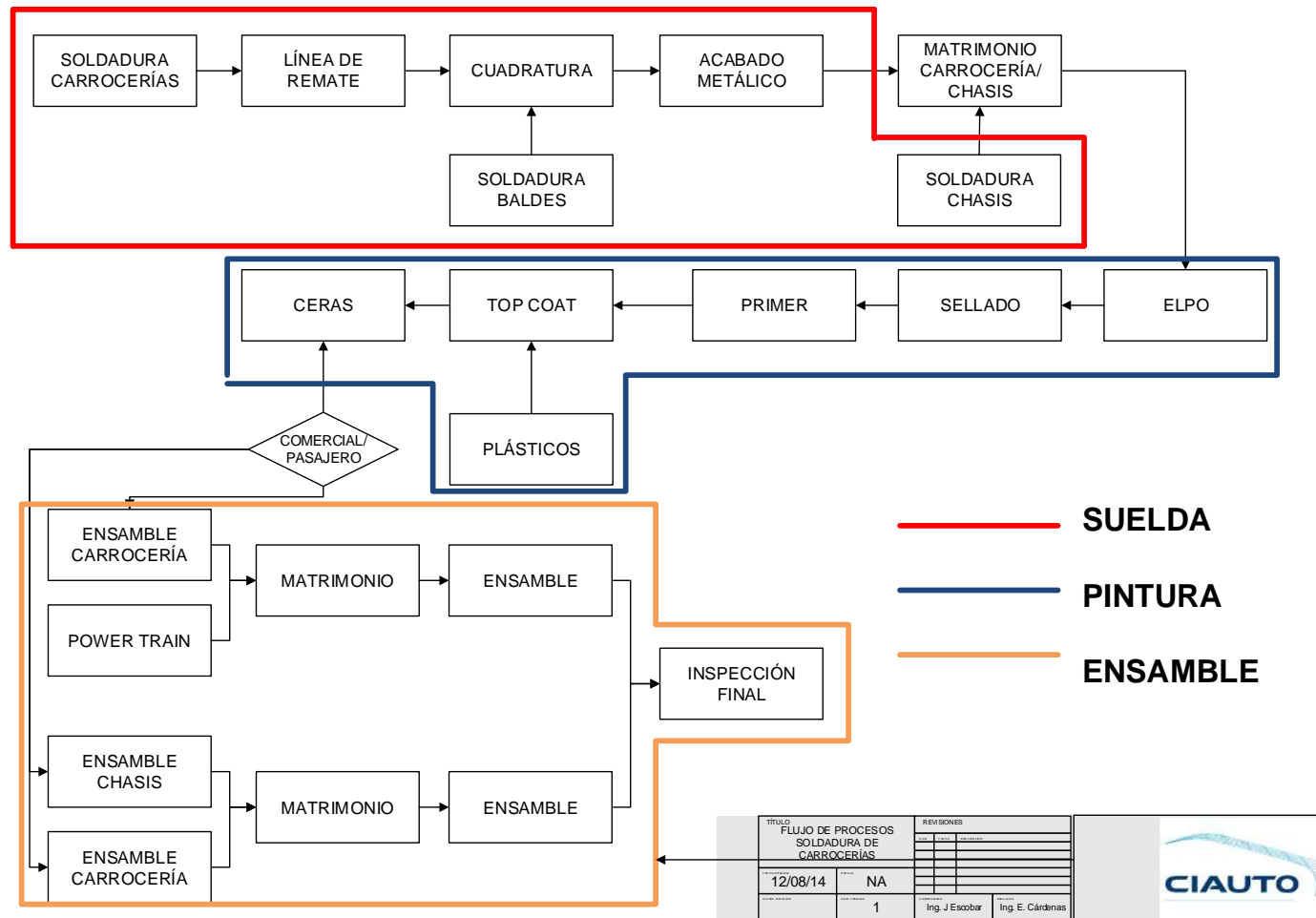
Se obtiene así finalmente una estructura metálica de un vehículo que como siguiente paso va a ser lijado, limpiado y pulido para eliminar imperfecciones y las ceras que evitan que las latas se oxiden.

Una vez que la carrocería está limpia, ésta pasa a la planta de Pintura. En esta planta la estructura metálica es bañada en diferentes piscinas para adquirir totalmente una pintura que evita que el metal se corra. A continuación se coloca pega epóxica en las hendiduras para sellarlas y tapones en los orificios más grandes que ya no sean necesarios. Después es pintada con un color de fondo que hace más fácil a la carrocería adquirir el color final y el barniz. Luego de cada aplicación de pintura es necesario secarla y esto se consigue al hacer parar el automóvil a través de hornos.

Cuando ya se tiene la carrocería pintada se hace una revisión de calidad y se procede a ensamblar los componentes internos del vehículo. El ensamblaje del vehículo pintado puede comenzar por colocar primero los empaques luego la caja de fusibles, los pedales, el radiador, el forro del techo; luego los vidrios de las puertas, los soportes, los cinturones de seguridad, los retrovisores, los forros de las puertas, los interiores del piso a continuación se colocan las bisagras de las puertas, el tablero, las cavidades para fluidos, los soportes para el motor, los faros, el freno de mano, los vidrios delantero posterior. Se coloca la batería, los asientos, el tanque de gasolina, el silenciador, los parachoques, la suspensión, las llantas, el volante.

Una vez el vehículo está totalmente armado se enciende, se realiza el alineado de llantas y de luces. Finalmente se hacen pruebas eléctricas, de frenos, de potencia, de agua, etc. El auto al pasar todas las pruebas y los controles de calidad está listo para ser vendido y usado por el consumidor final. Dicho proceso se resume en el diagrama de la figura 5-3.





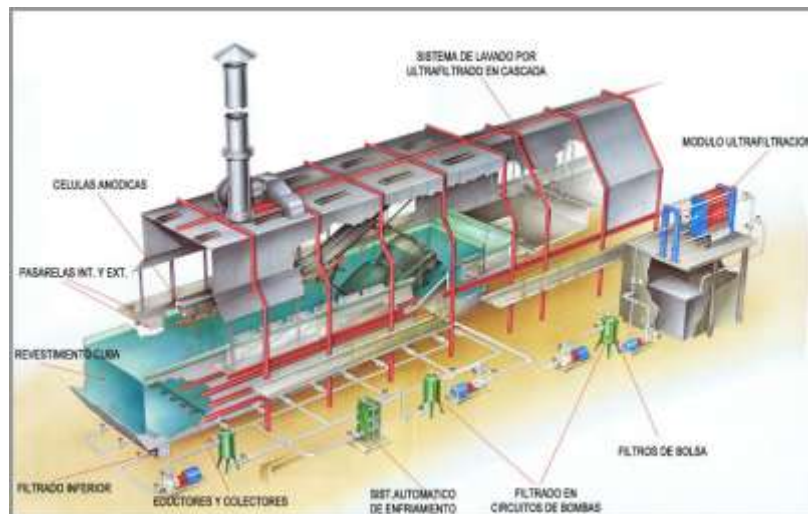
**Figura 5-3:** Proceso de ensamblaje de un vehículo modelo M4.

Fuente: CIAUTO, 2015.

### 3.1.3 Proceso general de CIAUTO.

#### 3.1.3.1 Proceso de electroforesis (ELPO)

Se envía por un riel aéreo automático a la sección de ELPO, donde por electrodeposición catódica se da limpieza y tratamiento químico a la carrocería por el método combinado de aspersión e inmersión, tanto en el interior como al exterior. La carrocería se desplaza alrededor de 6 cubas como se muestra en la figura de la siguiente manera: desengrase, activado, fosfatizado y pasivado, cada proceso tiene su cuba de enjuague.



**Figura 6-3:** Carrocería sumergida en baño  
Fuente: DRYSYS, 2015.

Luego se dirige a las tres últimas cubas, la primera cataforesis, que consiste en aplicar pintura utilizando descargas eléctricas y termina en dos cubas de enjuague.



**Figura 7-3:** Cubas de la planta de ELPO  
Realizado por: Angel Guamán, 2016

El secado del ELPO se realiza en un horno, generado por movimiento de aire caliente (por resistencias), a través de ventiladores ubicados en su interior, para dirigirse al área de lijado y sellado.



**Figura 8-3:** Salida de la carrocería desde el horno ELPO  
Realizado por: Angel Guamán, 2016

### 3.1.3.2 Primer

Se pinta la carrocería para dar fondo usando el *primer*, que sirve para brindar protección y uniformidad al acabado antes de pintar y luego se seca el fondo en un horno accionado por radiación y convección como se muestra a continuación en la figura.



**Figura 9-3:** Cabina de lijado y sellado  
Realizado por: Angel Guamán, 2016



**Figura 10-3:** Cabina de pintura de fondo  
Realizado por: Angel Guamán, 2016

### 3.1.3.3 Esmalte

Se limpia la carrocería e ingresa a la cabina de lacado, donde se aplica el color definitivo con su respectivo brillo. Enseguida se ubica en el horno de secado para ir a la cabina de control de calidad, donde se revisan minuciosamente defectos y no conformidades que se presenten como se muestra en la figura 11-3.



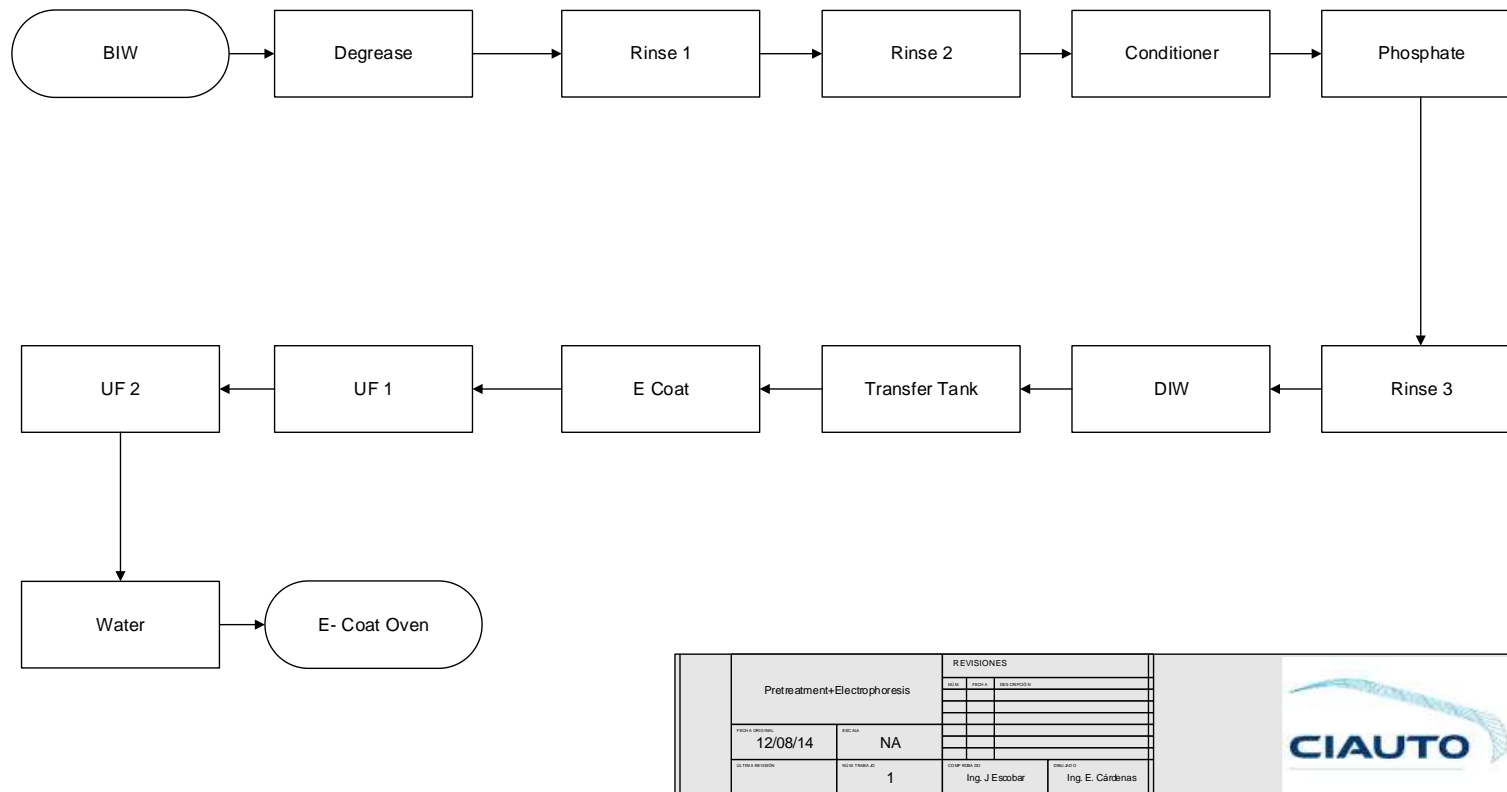
**Figura 11-3:** Aplicación de color y brillo  
Realizado por: Angel Guamán, 2016




**Figura 12-3:** Cabina de control de calidad  
Realizado por: Angel Guamán, 2016

### 3.1.4 Flujo de proceso ELPO

El proceso es sigue el flujograma mostrado a continuación en la figura 13-3.

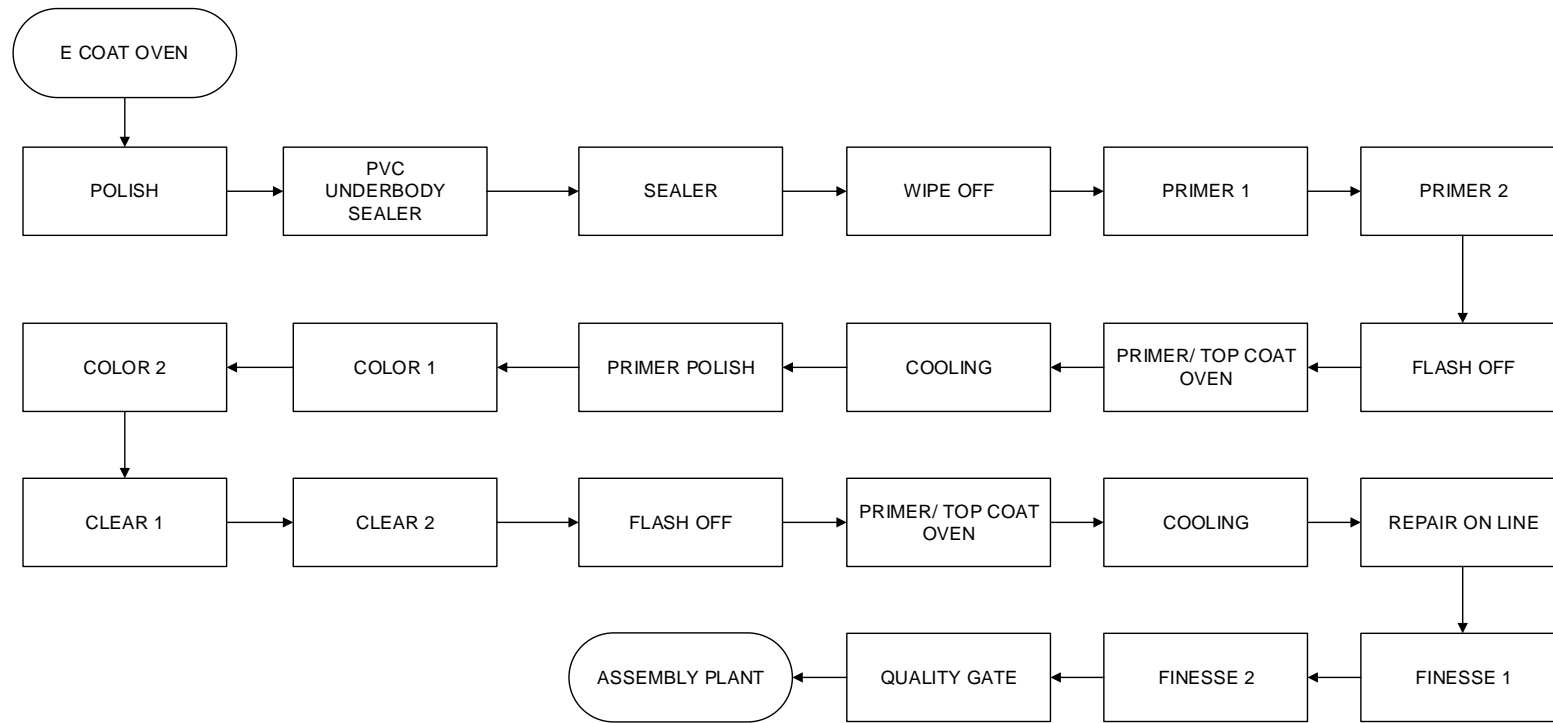


Pretreatment+Electrophoresis		REVISIONES	
FECHA DE EMISIÓN	ESTADO	FECHA	REALIZADO POR
12/08/14	NA		
ÚLTIMA REVISIÓN	NÚMERO DE REVISIÓN	FECHA DE EMISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN
	1	Ing. J. Escobar	Ing. E. Cárdenas



**Figura 13-3:** Flujo de procesos de Electroforesis  
Fuente: CIAUTO, 2015.

3.1.5 Flujo de proceso sellado y primer



NOTE : BOTH PROCESS PRIMER AND TOP COAT, USE THE SAME CABIN AND OVEN

SEALER/ PRIMER/TOP COAT/ FINESSE		REVISIONES		
FECHA ORIGINAL	ESCALA	NUM.	FECHA	DESCRIPCION
12/08/14	NA			
ULTIMA REVISION	NUM. TRABAJO	COMPROBADO	DIBUJADO	
	1	Ing. J. Escobar	Ing. E. Cárdenas	

Figura 14-3: Flujo de procesos de sellado y primer  
Fuente: CIAUTO, 2015

3.1.6 Flujo de proceso top coat

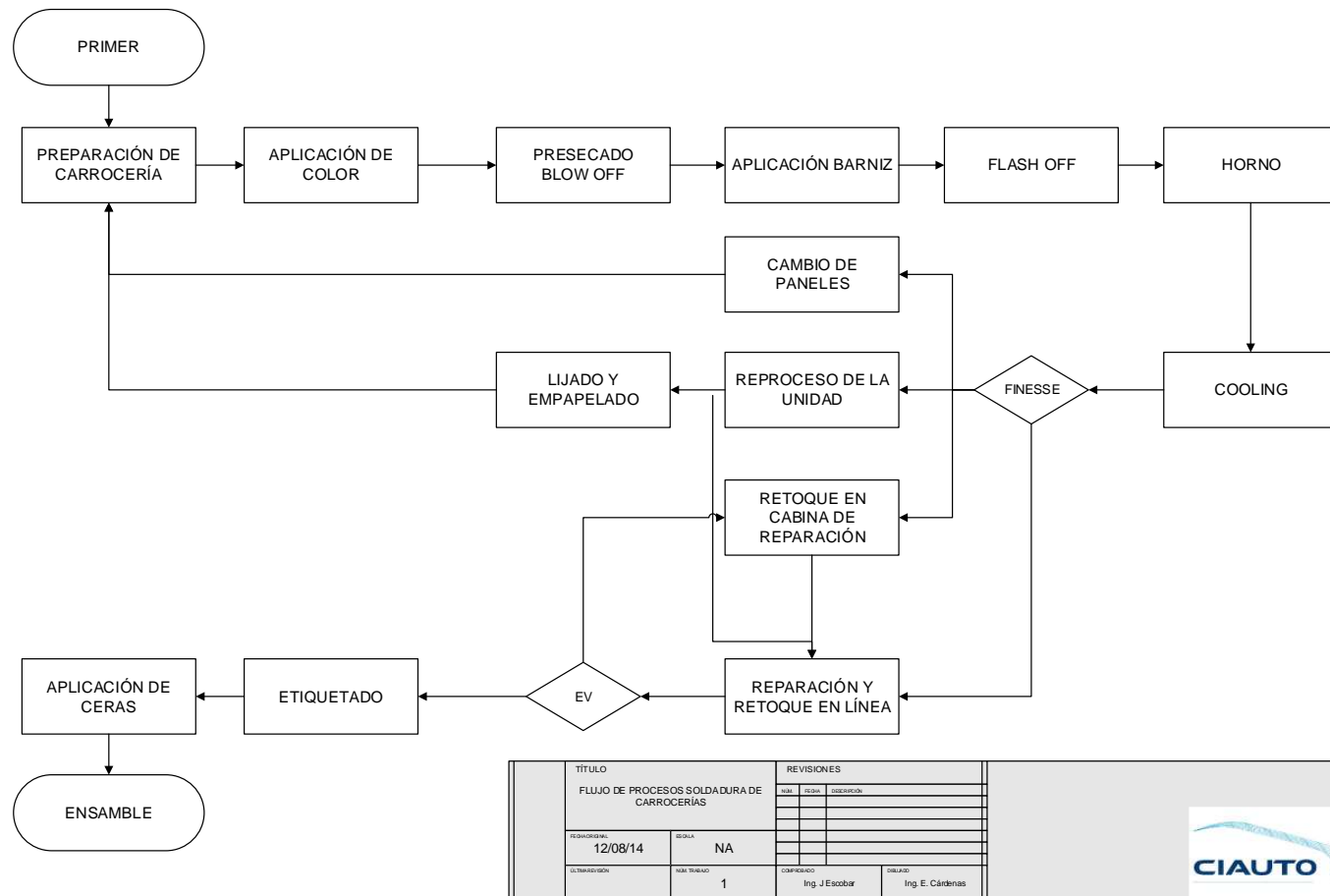


Figura 15-3: Flujo de procesos de toap coat  
Fuente: CIAUTO, 2015.

Estos diagramas indican que los procesos para *Primer* y *Toap Coat* son bastante similares, dichos datos serán empleados para el análisis de los tiempos ejecución del proceso de pintura.

### 3.2 Determinación de tiempos

Par el desarrollo de la investigación es necesaria la obtención de todos los tiempos en las actividades del proceso de pintura. Dichos datos se obtienen de los cálculos se realizan basándonos en la documentación entregada por la ensambladora CIAUTO.

#### 3.2.1 Determinación de takt time y tiempos de ciclo

La definición del estudio está basada en los siguientes parámetros proporcionados por la ensambladora:

**Tabla 1-3:** Parámetros de cálculo

<b>Horas operativas:</b>	8 H/turno
<b>Velocidad Requerida:</b>	10 Veh/turno
<b>Modelo de Diseño:</b>	M4
<b>Colores:</b>	4 Colores

Fuente: CIAUTO, 2016

La rata de producción fijada por la empresa es 10 vehículos por turno, cabe mencionar que la planta está diseñada para una producción de 30 vehículos por día.



**Figura 16-3:** Modelo M4 de Great Wall

Fuente: GreatWall Motors, 2015.

##### 3.2.1.1 Tiempo disponible.

Es la cantidad de tiempo efectivo que se tiene para trabajar restándole el tiempo de descanso, refrigerios, preparaciones, mantenimiento, etc. En la empresa se ha fijado los siguientes parámetros de tiempo para la jornada laboral diaria:



**Tabla 2-3:** Distribución de tiempos en la planta

DESCRIPCIÓN	TIEMPO
Refrigerio	10 min
Preparación para entrada	5 min
Preparación para salida	5 min
Almuerzo	10 min
Para programada	5 min
<b>TOTAL</b>	<b>35 min = 0.583 h</b>

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

*Tiempo Disponible por turno:*  $8 - 0,58 = 7,42 \text{ h}$

Es decir, contamos con un tiempo efectivo de menos de 8 horas.

### 3.2.1.2 Takt time

Es el tiempo en minutos y/o segundos que debe durar la ejecución de una operación u operaciones dentro del proceso de un producto.

$$TT = \frac{\textit{Tiempo disponible para la demanda}}{\textit{Número de unidades requeridas por la demanda}}$$

$$TT = \frac{7,42 \text{ h}}{10 \textit{ unidades por turno}}$$

$$TT = 0,742 \text{ h}$$

### 3.2.1.3 Takt Time real (Actual Takt Time)

Es el tiempo real que toma producir un vehículo o un componente del mismo. Depende de muchos factores tales como el tiempo de arranque, el estado del stock de unidades, la frecuencia de paros de línea, ineficiencias, etc. Para ello se utiliza una eficiencia del 90%.

$$ATT = TT \times \eta$$

$$ATT = 0,742 \text{ h} \times 0,9$$

$$ATT = 0,668 \text{ h} = 40,07 \textit{ minutos}$$

Se dispone de 40 minutos con 3 segundos para finalizar la fase de pintura de un vehículo M4 y cumplir con las 10 unidades diarias demandas.

#### 3.2.1.4 Sistemas de transporte

**Tabla 3-3:** Datos del sistema de transporte

PROCESO	TIPO DE TRANSPORTE
FOSFATO/ ELPO	Cargobuses con unidad de traslación y descenso manual Tipo stop and go
SELLADO BAJO PISO	Traslado manual y fosa
ÁREAS DE TRABAJO	Traslado manual
CABINAS	Conveyor
HORNOS	Conveyor

Fuente: CIAUTO, 2016

Dada las características particulares de la manufactura de la planta, CIAUTO toma la determinación de unificar el horno de *primer* y el de *top coat*, esta decisión se toma dados los tiempos y temperaturas de curado.

#### 3.2.2 Etapa de desengrasar

Esta fase del proceso de pintura cuenta con los siguientes equipos pesados: el tanque, los dispositivos de separación aceite-agua, las bombas de circulación, un sistema de calefacción, y un sistema de agitación. Dichos equipos son descritos con mayor detalle a continuación.

- Tanque: formado por barras 14 # y 10 # i y chapas de acero Q235A 5mm con una capa de 6 mm de fibra de vidrio sobre el lado interno. Cuenta con una tubería de abastecimiento de agua colocada en la parte superior del tanque.

El fondo del tanque está estructurado con un sistema de decantación de un lado a otro con un ángulo de 3 ° y una salida de descarga en la posición más baja para la limpieza y eliminación de escorias. La agitación y circulación es por tubería ss.

- Sistema de calefacción: consiste en la válvula de temperatura, el tubo y la placa de intercambiador de calor y sistema de control de temperatura. Se requiere menos de 50 minutos para calentar. Tanque y las tuberías están construidas con un material de la preservación del calor de la lana de roca de 50 mm.

- Sistema de separación de aceite y agua: calienta el líquido desbordado para separar el petróleo. Cabe mencionar que el líquido en el tanque debe ser con aceite de menos de 2 g / l

- Sistema de agitación: Consta de una bomba centrífuga con un caudal de 100 l / h, cabeza de 20m, poder de 11kw. Todas las tuberías son de 304 ss con filtro de bolsa y medidor de presión.

### 3.2.3 *Etapa de enjuague 1 y 2*

Los principales equipos: tanque, bombas de circulación, válvula, boquilla de pulverización, etc.

- Tanque: formado por barras 14 # y 10 # i y chapas de acero Q235A 5mm con una capa de 6 mm de fibra de vidrio sobre el lado interno. Cuenta con una tubería de abastecimiento de agua colocada en la parte superior del tanque.

El fondo del tanque está estructurado con un sistema de decantación de un lado a otro con un ángulo de 3 ° y una salida de descarga en la posición más baja para la limpieza y eliminación de escorias. La agitación y circulación es por tubería ss.

- Sistema de circulación: Consta de una bomba centrífuga con un caudal de 100 l / h, cabeza de 20m, poder de 11kw. Todas las tuberías son de 304 ss con filtro de bolsa y medidor de presión.
- Sistema de rocío: la tubería de pulverización está colocada a los dos equipos más delicados del tanque, con un ventilador regulable.
- Suministro de agua: mediante el accionamiento de una válvula manual.

### 3.2.4 *Acondicionamiento de superficies*

Los principales equipos: tanque, bombas de circulación, sistema de agitación, válvulas y tuberías, etc.

- Tanque: formado por barras 14 # y 10 # I y chapas de acero Q235A 5mm con una capa de 6 mm de fibra de vidrio sobre el lado interno. Cuenta con una tubería de abastecimiento de agua colocada en la parte superior del tanque.

El fondo del tanque está estructurado con un sistema de decantación de un lado a otro con un ángulo de 3 ° y una salida de descarga en la posición más baja para la limpieza y eliminación de escorias. La agitación y circulación es por tubería ss.

- Sistema de circulación: Consta de una bomba centrífuga con un caudal de 100 l / h, cabeza de 20m, poder de 11kw. Todas las tuberías son de 304 ss con filtro de bolsa y medidor de presión.
- Sistema de rocío: pulverización tubería se colocó a los dos mejores equipos del tanque, con boquilla 26988 para pulverización de flujo mixto .La pulverización y la agitación son de una tubería y sistema de bombeo.

### 3.2.5 Fosfato

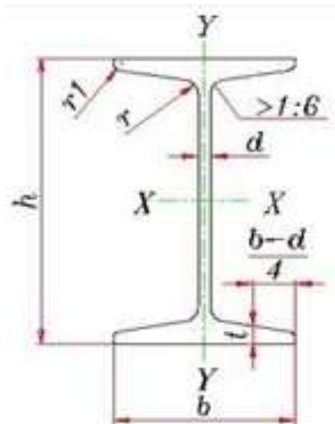
Los principales equipos: tanque, sistema de agitación, equipos desescoriado, sistema de calefacción.

- Tanque: formado por barras 14 # y 10 # i y chapas de acero Q235A 5mm con una capa de 6 mm de fibra de vidrio sobre el lado interno. Cuenta con una tubería de abastecimiento de agua colocada en la parte superior del tanque.
- Sistema de circulación: Consta de una bomba centrífuga con un caudal de 100 l / h, cabeza de 20m, poder de 11kw. Todas las tuberías son de 304 ss con filtro de bolsa y medidor de presión.
- Desescoriación de fosfato será por sedimentación del líquido bombeado desde el depósito de fosfato al tanque slopping alta posicionado, entonces filtrada por bastidor de la prensa. Líquido se recircula al tanque mientras que la escoria se descartará de vez en cuando.
- Sistema de calefacción: proceso de calentamiento tomará menos de 60 minutos para llegar a 40-55 °C mediante intercambiador de calor de placas. La temperatura es automático ajustado con precisión de  $\pm 2$  °C.
- El intercambiador de calor tiene una descalcificación de forma independiente para evitar la mezcla de fluido.

### 3.3 Especificaciones del proceso ELPO

El tamaño de las tinajas que se decidió para el proceso de ELPO son de longitud: 7.5 m ancho: 3.4 m, y altura: 3.2 m.

La estructura del ELPO tiene como dimensiones generales una longitud de 71.2 m un ancho de 13.4 y una altura de 8.9 m, para la colocación de los cargobuses se estimó una distancia de 2 m. el perfil de riel sobre la que se moverán los cargobuses está de acuerdo al siguiente esquema.



**Figura 17-3:** Dimensiones principales de la estructura  
Fuente: CIAUTO, 2015

**Tabla 4-3:** Especificaciones del sistema de transporte

Modelo	H	B	D	T
2	250	116	8	13

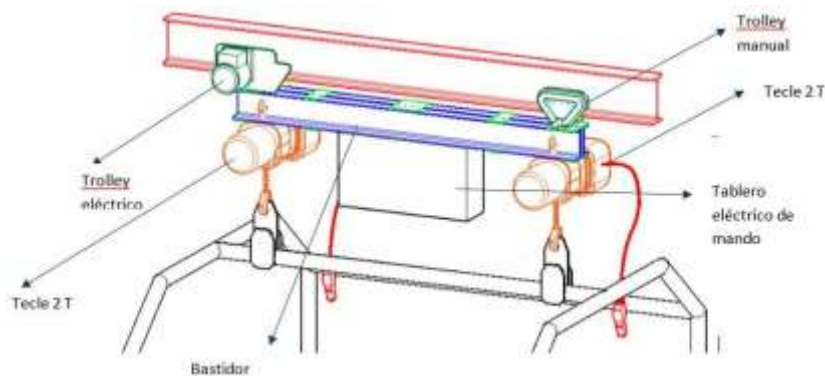
Fuente: CIAUTO, 2015.

Para la verificación del proceso ELPO se realizó la tabla adjunta en la que se compara los diferentes procesos de aplicación de electroforesis. El cargobus a utilizar es la siguiente:

**Tabla 5-3:** Especificaciones del proceso de electroforesis

ESTACIÓN	MACRO PROCESO	PROCESO	TIPO DE OPERACIÓN	PARÁMETROS DE PROCESO		OBSERVAC
				TEMPER. °C	TIEM (min)	
1	PRETRATAMIENTO	DESENGRASE	INMERSIÓN	50 – 70	3	CALENTAM.
2		ENJUAGUE 1	INMERSIÓN	AMBIENTE	1	
3		ENJUAGUE 2	INMERSIÓN	AMBIENTE	1	
4		ACONDICIONADOR	INMERSIÓN-SPRAY	AMBIENTE	1	
5		FOSFATO	INMERSIÓN-SPRAY	35 - 55	3	CALENTAM.
6		ENJUAGUE 3	INMERSIÓN-SPRAY	AMBIENTE	1	
7		ENJUAGUE AGUA DI 1	INMERSIÓN-SPRAY	AMBIENTE	1	
8	ELECTROFORESIS	ELECTROFORESIS	INMERSIÓN-SPRAY	28 +- 1	3	CALENTAM.
9		ULTRA FILTRADO 1	INMERSIÓN-SPRAY	AMBIENTE	1	
10		ULTRA FILTRADO 2	INMERSIÓN-SPRAY	AMBIENTE	1	
11		ENJUAGUE AGUA DI 2	INMERSIÓN-SPRAY	AMBIENTE	1	

Fuente: CIAUTO, 2015.



**Figura 18-3:** Sistema de transporte

Fuente: CIAUTO, 2015.

La aplicación de fosfato se lo realiza de acuerdo con las especificaciones entregadas por parte de Kenneth Shao, empresa analista de China y asesora de la ensambladora:

El equipo utilizado para los cargobuses es el siguiente Ver Anexo A.

Tecele y Unidad de Traslación:

Marca: Kito

Capacidad: 2 T

Código: (N)ER020L-LS

Y basándonos en las velocidades de izaje y traslado de acuerdo con el catálogo presentado a continuación, se tiene:

$$Tiempo = \frac{Espacio}{Velocidad}$$

Para Izaje: Distancia 6m; Velocidad: 4,3 m/min Tiempo: 1,39 min

Para Traslado: Distancia 7,8m; Velocidad: 24,4 m/min Tiempo: 3,12 min

### 3.3.1 Capacidad del horno ELPO

**Tabla 6-3:** Matriz de tiempos y longitudes del horno ELPO

		ENJUAGUE AGUA DI		ENJUAGUE 3		FOSFATO		ACONDICIONADOR DE SUPERFICIE		ENJUAGUE 2		ENJUAGUE 1		DESENGRASE	
	3,13	I+S 1	3,13	I+S 1	3,13	I+S 35-55 3 CALENT	3,13	I+S 1	3,13	I+S 1	3,13	I+S 1	3,13	I+S 40-60 3 CALENT	3,13
TANQUE DE TRANSFERENCIA	SUBIDA		1,39		1,39		1,39		1,39		1,39		1,39		1,39
	BAJADA		1,39		1,39		1,39		1,39		1,39		1,39		1,39
	TOTAL		10,04		6,91		8,91		6,91		6,91		6,91		8,91
		ELECTROFORESIS		ULTRA FILTRADO 1		ULTRA FILTRADO 2		ENJUAGUE AGUA DI 2							
	3,13	I+S 28 3 COOLING	3,13	I+S 1	3,13	I+S 1	3,13	I+S 1	3,13						
	SUBIDA		1,39		1,39		1,39		1,39						
	BAJADA		1,39		1,39		1,39		1,39						
	TOTAL		8,91		6,91		6,91		10,04						

Fuente: CIAUTO, 2015.

Del análisis de la matriz se desprende que las operaciones que marcan la velocidad del proceso son desengrase, fosfato y electroforesis cada una con un tiempo de 8.9 minutos por operación el otro tiempo alto es el de traslado más el proceso de enjuague de agua DI con 10.04 minutos.

Calculando la capacidad del proceso con este tiempo, se tiene una capacidad instalada de 39.9 unidades por turno trabajando a su máxima capacidad con todas las cubas ocupadas. En caso de colocar únicamente 3 cargobuses el tiempo máximo de operación sube a 32.77 minutos por unidad, con la que la capacidad de producción a esta rata sería de 12.27 unidades/turno.

### 3.3.2 Dimensiones de horno

Las temperaturas y tiempos para el horno fue proporcionada por parte de CIAUTO y se presenta a continuación:

**Tabla 7-3:** Tiempos para curado en el horno ELPO

PROCESO	TIEMPO DE ELEVACIÓN (min)	TIEMPO DE MANTENIMIENTO (min)	TEMPERATURA °C
ELPO	10	20	175

Fuente: CIAUTO, 2015

La condición particular de este proceso es la unificación del horno el curado de para *Primer y Top Coat*.

El horno ELPO cuenta con dos estaciones para la zona de elevación y otra para la zona de mantenimiento. Dada la longitud del skid cada estación es de 7 m., y el horno trabaja bajo el sistema stop and go de acuerdo al esquema de funcionamiento. Es necesario que el horno cumpla con el curado de los sellantes que se aplican en suelda, estos sellantes de acuerdo con la información entregada son:

**Tabla 8-3:** Lista auxiliar para el proceso de sellado

No.	Nombre del Material	Función	Unidad de medida	Dosis por unidad
1	Spot Welding Sealant	Sealment	KG	0,088
2	Shock Absorption Expansion Adhesive	Shock Absorption Expansion	KG	0,11
3	Finger Seal Sealant	Sealment	KG	0,01

Fuente: CIAUTO, 2015



**Tabla 2-3:** Los tiempos y temperaturas de curado para los sellantes

S/N	Material auxiliar	Tiempo de curado/min	Temperatura de curado / ° C
1	Spot Welding Sealant	20	170
2	Shock Absorption Expansion Adhesive	20	170
3	Shock Absorption Expansion Adhesive	20	140

Fuente: CIAUTO, 2015

Con estos datos de los sellantes se deduce que los sellantes aplicados en suelda si resultaran curados en el horno del ELPO. El tipo de transferencia de calor para diseño del horno se presenta de acuerdo con la siguiente tabla.

**Tabla 103-3:** Tipo de transferencia de calor

Proceso	Calentamiento	Estabilización de temperatura	Mantenimiento
ELPO	Convección superior e inferior	Convección superior e inferior	Convección inferior

Fuente: CIAUTO, 2016

Con los datos antes expuestos se determina el tamaño del horno

**Tabla 11-3:** Parámetros generales del horno

PARÁMETRO	
Capacidad de red veh / shift	10
Eficiencia %	90%
Capacidad Gross jobs/ shift	11,11
Capacidad Gross jobs/ h	1,49
Velocidad m/min	0,50

Fuente: CIAUTO, 2015

**Tabla 12-3:** Dimensiones y tiempos aplicados en el horno

PARÁMETROS	CORTINAS	CALENTAR	MANTENER	CORTINAS	TOTAL
Velocidad (m/min)	0,5	0,5	0,5	0,5	
Tiempo (min)	6	10	20	6	
Longitud (m)	3	5	10	3	21

Fuente: CIAUTO, 2015

El horno tiene una longitud de 21 metros. Para determinar el tamaño del buffer requerido entre el proceso ELPO y el proceso de Sellado, se tiene:

- Velocidad Neta= 10 Veh/turno

### 3.3.3 Dimensiones de las cabinas de sellado y pulido

Los sellantes a utilizar en las estaciones de sellado y PVC son los siguientes:

**Tabla 13-3:** Tipos de sellantes utilizados en la estación

S/N	N° PARTE	NOMBRE DE LA PARTE
1	ALAB000069	The protective PVC glue for base coating
2	ALAB000127	The protective PVC glue for base coating
3	ALAB000072	PVC Weld sealant

Fuente: CIAUTO, 2015

Los tiempos de curado para los mismos son:

**Tabla 14-3:** Tiempos de curado para los sellantes

S/N	Material auxiliar	Tiempo de curado/min	Temperatura de curado /°C
1	The protective PVC glue for base coating-DT-125	30	140
2	The protective PVC glue for base coating-UC	30	140
3	PVC Weld sealant	30	140

Fuente: CIAUTO, 2015

El horno de *primer* está en la capacidad de realizar el curado de estos materiales. Para la aplicación de sellado y con la rata de producción se dispone de 2 estaciones de sellado y una estación para la aplicación de sellado bajo piso. Para la aplicación de sellado bajo piso y PVC se previó la instalación de un elevador de tal manera que se eleve la unidad y se realice la colocación de estos materiales.

### 3.3.4 Dimensiones de cabina de aplicación de primer y top coat.

Dado que en la misma cabina se aplicará primer y la capa superior, para poder conservar la capacidad de producción de 10 veh/turno, es necesario que en esta instalación se produzca al doble de la velocidad ya que los vehículos al terminar el proceso de primer deberán regresar nuevamente a la cabina, por lo que la velocidad final de esta cabina es de 20 veh/turno. Con este dato como parámetro de entrada se tiene:

- Velocidad Gross= 20 Veh / turno / 90%
- Velocidad Gross= 22,22 Veh / turno
- Velocidad Gross= 22,22 Veh / 7,42 h
- Velocidad Gross= 2,99 Veh / h

Actual Takt Time

$$ATT = \frac{1h}{8.98} \times \frac{60 \text{ min}}{1h} = 6,67 \frac{\text{min}}{\text{veh}}$$

La determinación del tamaño de la cabina se establece con la siguiente matriz de cálculo

**Tabla 15-3:** Matriz de cálculo para tiempos de primer y toap coat

**CABINA PRIMER**

ESTACIÓN DE TRABAJO	TIEMPO (MIN)	TIEMPO TOTAL	LONGITUD
			m
1 ERA CAPA	4,01	7,91	4,11
2 DA CAPA	3,9		

	WIPE OFF	NO SPRAY ZONE	PRIMER/ BASE COAT	NO SPRAY ZONE	CLEAR COAT	NO SPRAY ZONE	TOTAL
<b>TIEMPO</b>	6,7		10,17	2	8,21		27,08
<b>LONGITUD</b>	6,52	1,50	9,90	1,95	7,99	1,5	29,36
<b>LONGITUD REAL</b>	6,5	1,5	11	1,5	11	1,5	<b>33</b>

**CABINA CAPA SUPERIOR**

ESTACIÓN DE TRABAJO	TIEMPO (MIN)	TIEMPO TOTAL	LONGITUD
			m
1 ERA CAPA	5,36		
2 DA CAPA	4,81	10,17	5,29
1 RA CAPA CLEAR	4,8		
2 DA CAPA CLEAR	3,41	8,21	4,27

PARÁMETROS	
Capacidad veh/ shift	20
Eficiencia %	90%
Capacidad Gross veh/ shift	22,22
Capacidad Gross veh/ h	2,99
ATT min/veh	20
Velocidad m/min	0,97

Fuente: CIAUTO, 2015.

Para una rata de producción de 20 unidades/turno, no es necesario que se coloque un heatead flash, para la aplicación de Top Coat entre base y clear coat es necesario tener un tiempo de secado previo de *base coat* de 2 minutos, los dos minutos equivalen a 1.9 m. Dada la utilización de una sola cabina de aplicación de pintura, el proceso de aplicación consistiría en la aplicación inicial de la capa de *primer* y su posterior curado en el horno, a partir de esta aplicación y curado las unidades deberán volver hacia la cabina para la aplicación de la capa de *top coat*.

### 3.3.5 Dimensionamiento de horno pintura

Las temperaturas y tiempos para el diseño de los hornos fue proporcionada por parte de CIAUTO y se presenta a continuación:

**Tabla 16-3:** Tiempos necesarios para el horno de pintura

PROCESO	TIEMPO DE ELEVACIÓN (min)	TIEMPO DE MANTENIMIENTO (min)	TEMPERATURA °C
PRIMER	10	20	135
TOP COAT	10	20	135

Fuente: CIAUTO, 2015

El horno cumple con el curado del sellante aplicado luego del proceso ELPO, este sellantes de acuerdo con la información entregada es:

**Tabla 47-3:** Tiempos y temperaturas de curado para estos sellantes

N°	Materiales Auxiliares	Tiempo de curado/min	Temperatura de curado / °C
1	The protective PVC glue for base coating-DT-125	30	140
2	The protective PVC glue for base coating-UC	30	140
3	PVC Weld sealant	30	140
4	Spot Welding Sealant	20	170
5	Shock Absorption Expansion Adhesive	20	170
6	Figure seal sealant	20	140

Fuente: CIAUTO, 2015

El tipo de transferencia de calor para diseño del horno se presenta de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 18-3:** Tipo de transferencia de calor para horno de pintura

PROCESO	Calentamiento	Estabilización de temperatura	Mantenimiento
PRIMER/ TOP COAT	Convección superior e inferior	Convección superior e inferior	Convección inferior

Fuente: CIAUTO, 2015

En consecuencia el tamaño del horno está determinado por los siguientes parámetros:

Primer/top coat

**Tabla 5-3:** Dimensiones del horno de pintura

PARÁMETRO	CORTINAS	CALENTAR	MANTENER	CORTINAS	TOTAL
Velocidad m/min	0,97	0,97	0,97	0,97	
Tiempo min	0,00	10,00	20,00	0,00	
Longitud m		9,73	19,47		29,20







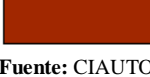
Fuente: CIAUTO, 2015

Esto indica que el horno tiene una longitud de 30 metros, este dato sirve para calcular la capacidad del horno de curado.

### 3.3.6 Dimensiones del proceso de finesse

El proceso de *finesse* incluye una estación de reparación en línea, dos estaciones de finesse y una estación de verificación. Estas estaciones tienen una iluminación de 600 luxes, y un anillo de aire para poder conectar todas las herramientas neumáticas.

**Tabla 20-3:** Tipos de colores para verificación

COLOR	CODIGO RAL	DESCRIPCION	APLICACIÓN
	RAL 1003	Signal Yellow	GLP
	RAL 2008	Bright Red Orange	ACID LIQUIDS
	RAL 3001	Signal Red	FIRE PROTECTION
	RAL 4008	Signal violet	ALKALINE BASES
	RAL 5005	Signal Blue	AIR COMPRESSED
	RAL 6029	Mint Green	WATER
	RAL 8023	Orange Brown	LIQUIDS FUEL LIQUIDS LUBRICANTS

Fuente: CIAUTO, 2015

### 3.3.7 Cabina de pre desengrase

La construcción de la cabina de pre desengrase se decide ya que la empresa retiró la cuba de pre desengrase en el proceso ELPO, para este proceso se diseña una pequeña cabina que permita realizar este trabajo en un sitio aislado del resto de operaciones de la planta de pintura.

La cabina consta básicamente de dos partes, la primera la cabina como tal, la segunda una trampa de grasa ubicada en la parte inferior de la cabina, para realizar la limpieza de las unidades se recomienda la utilización de una hidrolavadora que permita el lavado por aspersión de las unidades. Esta hidrolavadora tiene un consumo de 25 l/min

### 3.3.8 Métricas de la planta.

**Tabla 6-3:** Dimensiones totales de la planta

MÉTRICA	VALOR	UNIDAD	OBSERVACIONES
ÁREA TOTAL	8617	m <sup>2</sup>	Este valor incluye los caminos perimetrales
ÁREA PLANTA	5585	m <sup>2</sup>	
ÁREA PRODUCTIVA	3564	m <sup>2</sup>	Interior del galpón
ÁREA OPERATIVA	2407,26	m <sup>2</sup>	
ÁREA PASILLOS-BUFFERS	1156,74	m <sup>2</sup>	
ÁREAS DE SOPORTE	193,5	m <sup>2</sup>	
ÁREAS DE FACILIDADES	555	m <sup>2</sup>	
ESTACIONES DE TRABAJO	40		
ESTACIONES DE TRANSICIÓN	9		
ESTACIONES DE VERIFICACIÓN	1		
ESTACIONES DE REPARACIÓN EN LÍNEA	1		
ESTACIONES DE REPARACIÓN FUERA DE LÍNEA	0		

Fuente: CIAUTO, 2015

Cuenta con 50 operarios de forma inicial.

### 3.4 Resumen de manufactura

A continuación se describe en forma sintetizada los resultados obtenidos del estudio exploratorio efectuado con el detalle de los procesos y tiempos de ejecución (Ver tabla 24). La operación que determina el ritmo de producción de la línea es el horno de electroforesis con un tiempo total de cuarenta y dos (42) minutos, con un tiempo total del proceso de 331,91 minutos con 32 estaciones de trabajo.

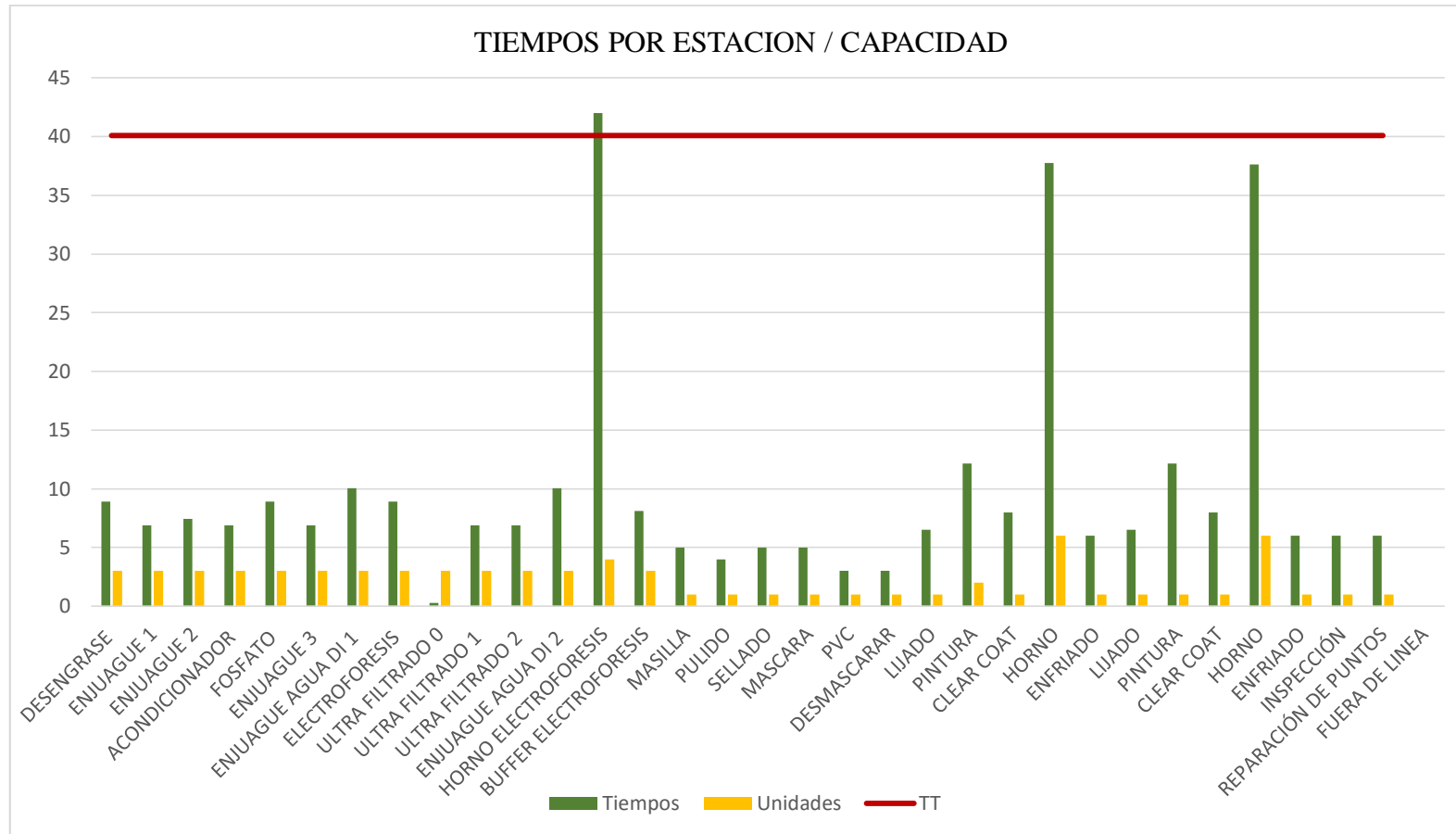
Aplicando una gráfica de barras (ver figura 25) se puede determinar que la línea no se encuentra balanceada.

**Tabla 7-3:** Descripción de tiempos y procesos en la línea de pintura.

ESTACIÓN	MACRO	PROCESO	PARÁMETROS DE PROCESO			OBSERVACIONES
	PROCESO		TIEMPO	Tiempo más transporte	Capacidad	
1	PRETRATAMIENTO	DESENGRASE	3	8,9	3	CALENTAMIENTO
2		ENJUAGUE 1	1	6,91	3	
3		ENJUAGUE 2	1	7,42	3	
4		ACONDICIONADOR	1	6,91	3	
5		FOSFATO	3	8,91	3	CALENTAMIENTO
6		ENJUAGUE 3	1	6,91	3	
7		ENJUAGUE AGUA DI 1	1	10,04	3	
8	ELECTROFORESIS	ELECTROFORESIS	3	8,91	3	CALENTAMIENTO
9		ULTRA FILTRADO 0	0,3	0,3	3	
10		ULTRA FILTRADO 1	1	6,91	3	
11		ULTRA FILTRADO 2	1	6,91	3	
12		ENJUAGUE AGUA DI 2	1	10,04	3	
13		HORNO ELECTROFORESIS	35	42	4	
14		BUFFER ELECTROFORESIS	2,7	8,1	3	
15		MASILLA	5	5	1	2 CABINAS
16		PULIDO	4	4	1	
17		SELLADO	5	5	1	
18		MASCARA	5	5	1	
19		PVC	3	3	1	
20		DESMASCARAR	3	3	1	
21	PRIMER	LIJADO	6,5	6,5	1	
22		PINTURA	12	12,17	2	
23		CLEAR COAT	8	8	1	
24		HORNO	36	37,76	6	
25		ENFRIADO	6	6	1	
26	TOP COAT	LIJADO	6,5	6,5	1	
27		PINTURA	12	12,17	1	
28		CLEAR COAT	8	8	1	
29		HORNO	36	37,64	6	
30		ENFRIADO	6	6	1	
31		INSPECCIÓN	6	6	1	
32		REPARACIÓN DE PUNTOS	6	6	1	

316,91

Elaborado por: Angel Guamán, 2016



**Figura 20-3:** Tiempos de cada estación vs takt time  
 Elaborado por: Angel Guamán, 2016



### 3.5 Cálculo de la eficiencia de la línea.

La métrica utilizada para determinar el porcentaje de aprovechamiento de la estación es la eficiencia, cuya fórmula de cálculo se la describe a continuación (Grover, 2007):

$$e = (1 - p) \times 100$$

Donde  $p$  está definido por:

$$\frac{\textit{T tiempo total de trabajo requerido /unidad} - \textit{tiempo de trabajo/unidad}}{\textit{T tiempo total de trabajo requerido /unidad}}$$

Esta expresión es conocida como retardo en el balanceo.

Definidas las variables, se procede al cálculo de la eficiencia actual de la línea de pintura en CIAUTO.

$$e = \left(1 - \frac{32 \times 42 - 316,91}{32 \times 42}\right) \times 100$$

$$e = 23,58\%$$

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los algoritmos de optimización de las líneas de ensamble son un conjunto de operaciones organizadas de forma matemática y lógica ejecutadas en una secuencia específica y bajo parámetros establecidos. Los modelos matemáticos tienden a buscar minuciosamente una solución óptima de forma tal que cada solución subsecuente tiene que ser mejor en cada corrida. Este tipo de algoritmos tiene la limitación del tiempo de procesamiento en las computadoras, es por esto que son utilizados para la resolución de problemas sencillos. La programación lineal es el método más recomendado para generar la optimización de la presente investigación.

#### 3.1 Modelo de Optimización para líneas de ensamblaje de tipo SALB-2

La programación lineal es una técnica matemática cuyo objetivo es la determinación de soluciones óptimas a los problemas en los que intervienen recursos limitados entre actividades competitivas. Es un método matemático que permite asignar una cantidad fija de recursos con el fin de satisfacer las restricciones, de tal forma que mientras se optimiza algún objetivo, se satisfacen otras condiciones definidas.

*Min C*

*s.a*

$$\sum_{i=1}^N t_i \cdot x_{ij} \leq C \quad j = 1, \dots, M \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^M x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^M j \cdot x_{kj} \leq \sum_{j=1}^M j \cdot x_{ij} \quad \forall k \prec i \quad (3)$$

$$x_{ij} = \{0,1\} \quad \forall(i, j); \quad C \in \mathbb{R}^+$$

$x_{ij} = 1$  si la operación  $i$  se hace en la estación  $j$

$C =$  tiempo de ciclo

$M = n^\circ$  de estaciones

- (1) Duración en cada estación, menor que C
- (2) Cada operación, a una estación
- (3) Cumpliendo las relaciones de precedencia

### **3.2 Algoritmo COMSOAL (Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines)**

Ronald Aski desarrollo en 1993 un algoritmo que cumple con todas las condiciones antes mencionadas para el modelo matemático. El algoritmo consta de los siguientes 6 pasos:

1. Para cada tarea, se identifican las tareas predecesoras e inmediatas.
2. Crear una lista A con las tareas no asignadas, sus predecesoras inmediatas (no asignadas) y el número total de tareas que la preceden (no asignadas).
3. De la lista A cree una lista B conformada por las tareas que tienen cero (0) predecesores. Si no hay tarea sin ser asignadas a estaciones, entonces parar.
4. De la lista B, crear una lista C compuesta de las tareas que tienen tiempo de proceso que no supera el tiempo disponible de la estación. Si la lista C está vacía, abra una nueva estación y repita el paso 2.
5. Aleatoriamente seleccione de la lista C una tarea para asignarla a la estación.
6. Actualice el tiempo disponible en la estación y la lista A. retorne al paso 3.

El algoritmo es aplicado en las principales actividades que se desarrollan en los siguientes puestos de trabajo, considerados los de mayor duración en el proceso pintura de la planta de CIAUTO:








































































- Horno ELPO
- Horno *Primer*
- Horno *Toap Coat*

### **3.3 Aplicación en la estación de horno ELPO**

Inicialmente se ha elaborado el diagrama de proceso que describe las actividades que se ejecutan en el horno de curado de proceso de Electroforesis como se muestra en la tabla 10. En este punto es necesario indicar que de acuerdo a las especificaciones técnicas de los materiales empleados, el

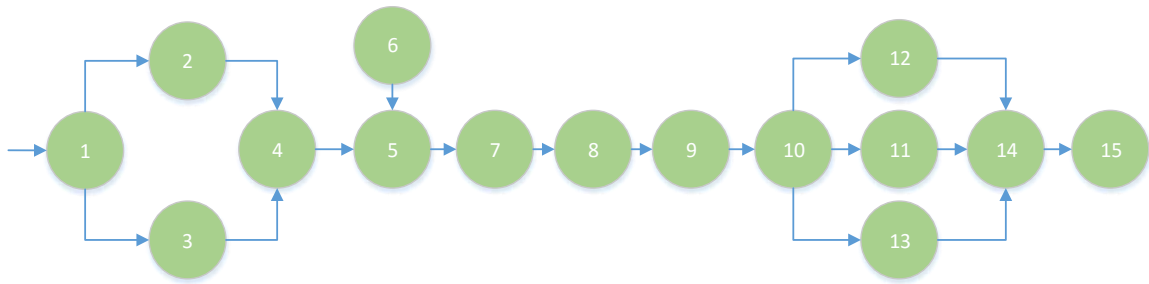
curado debe cumplir con un mínimo de treinta (30) minutos; por lo tanto el tiempo de ciclo no puede ser menor al periodo señalado.

**Tabla 1-4:** Hoja de procesos del horno de electroforesis

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO												
		INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA										
MAESTRÍA EN GESTIÓN INDUSTRIAL Y SISTEMAS PRODUCTIVOS												
HOJA DE PROCESOS												
HOJA:	1 de 1					FECHA:	12/08/2015					
ESTACIÓN DE TRABAJO:	HORNO DE ELECTROFORESIS					MODELO:	M4					
NOMBRES DEL OPERADOR:	JAVIER GALARZA SANDRO TITE					DEPARTAMENTO:	PRODUCCIÓN					
NOMBRE DEL JEFE RESPONSABLE:	ING. JUAN ZULETA					ÁREA:	PINTURA					
N°	OPERACIONES					DESCRIPCIÓN	t1	t2	t3	t4	tm	Ts
1						Transporte carrocería armada hacia ELPO	0,70	0,74	0,67	0,69	0,70	0,72
2						Desembarque de carrocería	0,94	0,99	0,89	0,92	0,94	0,97
3						Montaje de la carrocería sobre el dollies	1,30	1,37	1,24	1,27	1,29	1,34
4						Posicionamiento de la carrocería en el conveyor	0,50	0,53	0,48	0,49	0,50	0,51
5						Ajuste de las mordazas	0,50	0,53	0,48	0,49	0,50	0,51
6						Verificación de la temperatura interna del horno a 175°C	1,20	1,26	1,14	1,18	1,19	1,24
7						Elevación de la carrocería a una altura de 0,5 m	5,20	5,50	5,30	4,90	5,23	5,41
8						Encendido del sistema de transporte Fast Transfer	0,50	0,53	0,48	0,49	0,50	0,51
9						Mantenimiento de la temperatura de 175°C	19,80	20,50	20,40	20,00	20,18	20,88
10						Descenso de la carrocería de una altura de 0,5 m	4,95	5,40	5,30	5,10	5,19	5,37
11						Desacople de la carrocería del dollier	1,50	1,58	1,43	1,47	1,49	1,54
12						Desmontaje de carrocería del conveyor	1,50	1,58	1,43	1,47	1,49	1,54
13						Verificación de acabado	2,10	2,21	2,00	2,06	2,09	2,16
14						Transporte de producto hacia overhead de sellado	0,60	0,63	0,57	0,59	0,60	0,62
15						Desembarque de carrocería	0,50	0,53	0,48	0,49	0,50	0,51
T	10	0	2	1	2							
										TOTAL	42,37	43,85

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

El mayor tiempo identificado en este proceso es el mantenimiento de la carrocería dentro de horno de pintura con un total de 20,88 minutos. Una vez identificadas las actividades de la estación se establece el diagrama de precedencias para el horno ELPO.



**Figura 1-4:** Diagrama de precedesoras para actividades del horno ELPO  
Fuente: Angel Guamán, 2016

El algoritmo: Primera iteración:

1. Para cada tarea, se identifican las tareas precedesoras

LISTA GENERAL

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES
1	0,72	-
2	0,97	1
3	1,34	1
4	0,51	2, 3
5	0,51	4
6	1,24	-
7	5,41	5
8	0,51	7
9	20,88	8
10	5,37	9
11	1,54	10
12	1,54	10
13	2,16	10
14	0,62	11, 12, 13
15	0,51	14

2. Se crea una lista A con las tareas no asignadas, sus precedesoras inmediatas (no asignadas) y el número total de tareas que la preceden (no asignadas).

LISTA A

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
1	0,72	-	0
2	0,97	1	1
3	1,34	1	1
4	0,51	2, 3	2
5	0,51	4	1
6	1,24	-	0

7	5,41	5	1
8	0,51	7	1
9	20,88	8	1
10	5,37	9	1
11	1,54	10	1
12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

3. De la lista A se crea una lista B conformada por las tareas que tienen cero (0) predecesores. Si no hay tarea sin ser asignadas a estaciones, entonces se detiene la iteración.

LISTA B

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
1	0,72	-	0
6	1,24	-	0

4. De la lista B, se crea una lista C compuesta de las tareas que tienen tiempo de proceso que no supera el tiempo disponible de la estación. Si la lista C está vacía, se abre una nueva estación y se repite el paso 4.

LISTA C

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
1	0,72	-	0
6	1,24	-	0

5. Aleatoriamente se selecciona de la lista C una tarea para asignarla a la estación.

Se selecciona la tarea 1 para asignarla a la subestación A.

6. Se actualiza el tiempo disponible en la estación y la lista A. retornar al paso 3

A la estación A se asigna la tarea 1 con un tiempo de 0,72 minutos. El tiempo disponible es = Capacidad de la estación menos tiempo total asignado= 40,07 min – 0,72 min= 39,35 min.

Es necesaria la aplicación de 14 iteraciones extra para determinar el ordenamiento total de la estación de trabajo. Dichas iteraciones son descritas a continuación:

- **ITERACIÓN 2**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
2	0,97	-	0
3	1,34	-	0
4	0,51	2, 3	2
5	0,51	4	1
6	1,24	-	0
7	5,41	5	1
8	0,51	7	1
9	20,88	8	1
10	5,37	9	1
11	1,54	10	1
12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
2	0,97	-	0
3	1,34	-	0
6	1,24	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
2	0,97	-	0
3	1,34	-	0
6	1,24	-	0

Se escoge la tarea 2 para asignarla a la subestación A.

- **ITERACIÓN 3**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
3	1,34	-	0
4	0,51	3	1
5	0,51	4	1
6	1,24	-	0
7	5,41	5	1
8	0,51	7	1

9	20,88	8	1
10	5,37	9	1
11	1,54	10	1
12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
3	1,34	-	0
6	1,24	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
3	1,34	-	0
6	1,24	-	0

• **ITERACIÓN 4**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
4	0,51	-	0
5	0,51	4	1
6	1,24	-	0
7	5,41	5	1
8	0,51	7	1
9	20,88	8	1
10	5,37	9	1
11	1,54	10	1
12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
4	0,51	-	0
6	1,24	-	0



<b>LISTA C</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
4	0,51	-	0
6	1,24	-	0

- **ITERACIÓN 5**

<b>LISTA A ACTUALIZADA</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
5	0,51	-	0
6	1,24	-	0
7	5,41	5	1
8	0,51	7	1
9	20,88	8	1
10	5,37	9	1
11	1,54	10	1
12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

<b>LISTA B</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
5	0,51	-	0
6	1,24	-	0

<b>LISTA C</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
5	0,51	-	0
6	1,24	-	0

- **ITERACIÓN 6**

<b>LISTA A ACTUALIZADA</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
6	1,24	-	0
7	5,41	-	0
8	0,51	7	1
9	20,88	8	1
10	5,37	9	1
11	1,54	10	1

12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
6	1,24	-	0
7	5,41	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
6	1,24	-	0
7	5,41	-	0

• **ITERACIÓN 7**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
7	5,41	-	0
8	0,51	7	1
9	20,88	8	1
10	5,37	9	1
11	1,54	10	1
12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
7	5,41	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
7	5,41	-	0

- **ITERACIÓN 8**

<b>LISTA A ACTUALIZADA</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
8	0,51	-	0
9	20,88	8	1
10	5,37	9	1
11	1,54	10	1
12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

<b>LISTA B</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
8	0,51	-	1

<b>LISTA C</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
8	0,51	-	1

- **ITERACIÓN 9**

<b>LISTA A ACTUALIZADA</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
9	20,88	-	0
10	5,37	9	1
11	1,54	10	1
12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

<b>LISTA B</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
9	20,88	-	0

<b>LISTA C</b>			
<b>TAREAS</b>	<b>TIEMPO (MIN)</b>	<b>PREDECESORES</b>	<b>NÚMERO DE PREDECESORES</b>
9	20,88	-	0

- **ITERACIÓN 10**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
10	5,37	-	0
11	1,54	10	1
12	1,54	10	1
13	2,16	10	1
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
10	5,37	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
10	5,37	-	0

- **ITERACIÓN 11**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
11	1,54	-	0
12	1,54	-	0
13	2,16	-	0
14	0,62	11, 12, 13	3
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
11	1,54	-	0
12	1,54	-	0
13	2,16	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
11	1,54	-	0
12	1,54	-	0
13	2,16	-	0

- **ITERACIÓN 12**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
12	1,54	-	0
13	2,16	-	0
14	0,62	12, 13	2
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
12	1,54	-	0
13	2,16	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
-	-	-	-

En esta etapa se puede identificar que el tiempo de ciclo es mayor que el tiempo disponible es decir que según el algoritmo de optimización de debe abrir la subestación B y de regreso al paso 2 para continuar con las iteraciones.

- **ITERACIÓN 13**

**LISTA A**

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
12	1,54	-	0
13	2,16	-	0
14	0,62	12, 13	2
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
12	1,54	-	0
13	2,16	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
12	1,54	-	0
13	2,16	-	0

- **ITERACIÓN 14**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
13	2,16	-	0
14	0,62	13	1
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
13	2,16	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
13	2,16	-	0

- **ITERACIÓN 15**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
14	0,62	-	0
15	0,51	14	1

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
14	0,62	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
14	0,62	-	0

- **ITERACIÓN 16**

**LISTA A ACTUALIZADA**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
15	0,51	-	0

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
15	0,51	-	0

**LISTA C**

TAREAS	TIEMPO (MIN)	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
15	0,51	-	0

El ordenamiento total arroja como resultado la generación de dos estaciones dentro del proceso de horno ELPO, con un tiempo de ciclo para la estación A de 39 minutos, mientras que la estación B cuenta con un total de 4,83 minutos.

**Tabla 2-4:** Resumen de la asignación de estaciones con TC=40,07

TAREAS	TIEMPO (MIN)	ESTACIÓN ASIGNADA	TIEMPO RESTANTE (MIN)
1	0,72	A	39,35
2	0,97	A	38,38
3	1,34	A	37,04
4	0,51	A	36,53
5	0,51	A	36,02
6	1,24	A	34,78
7	5,41	A	29,37
8	0,51	A	28,86
9	20,88	A	7,98
10	5,37	A	2,61
11	1,54	A	1,07
12	1,54	B	38,53
13	2,16	B	36,37
14	0,62	B	35,75
15	0,51	B	35,24

Elaborado por: Angel Guamán, 2016



**Figura 2-4:** Nueva asignación de actividades del horno ELPO




































































Fuente: Angel Guamán, 2016

### 3.4 Aplicación del algoritmo al horno primer.

Al igual que el caso anterior, se sigue el mismo esquema de resolución. Inicialmente se elabora la hoja de procesos que detalla cada una de las actividades efectuadas en el puesto de trabajo, a

continuación se desarrolla el diagrama de predecesoras, se aplica el algoritmo COMSOAL y se obtiene el reordenamiento de actividades.

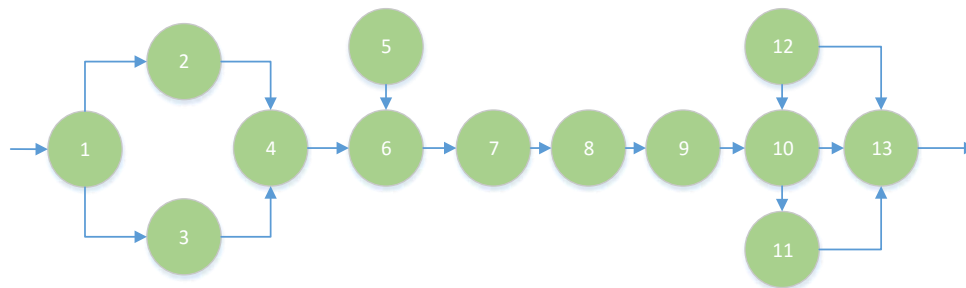
**Tabla 3-4:** Hoja de procesos del horno primer

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO													
		INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA											
MAESTRÍA EN GESTIÓN INDUSTRIAL Y SISTEMAS PRODUCTIVOS													
HOJA DE PROCESOS													
HOJA:	1 de 1					FECHA:	12/08/2015						
ESTACIÓN DE TRABAJO:	HORNO PRIMER					MODELO:	M4						
NOMBRES DEL OPERADOR:	JAVIER GALARZA SANDRO TITE					DEPARTAMENTO:	PRODUCCIÓN						
NOMBRE DEL JEFE RESPONSABLE:	ING. JUAN ZULETA					ÁREA:	PINTURA						
N°	OPERACIONES					DESCRIPCIÓN	t1	t2	t3	t4	tm	Ts	
1						Transporte desde clear coat hacia el horno de curado	0,95	1,00	0,90	0,93	0,95	0,98	
2						Montaje de la carrocería sobre el dollies	0,30	0,32	0,29	0,29	0,30	0,31	
3						Posicionamiento de la carrocería en el conveyor	0,30	0,32	0,29	0,29	0,30	0,31	
4						Ajuste de la cabina a la mesa	0,20	0,21	0,19	0,20	0,20	0,21	
5						Verificación de la temperatura interna del horno a 135°C	0,35	0,37	0,33	0,34	0,35	0,36	
6						Elevación de la cabina del M4	10,20	10,30	10,10	10,10	10,18	10,53	
7						Encendido del sistema de transporte Fast Transfer	0,35	0,37	0,33	0,34	0,35	0,36	
8						Mantenimiento de la temperatura de 135°C	19,85	20,10	20,30	19,90	20,04	20,74	
9						Descenso de la carrocería	0,55	0,58	0,52	0,54	0,55	0,57	
10						Desacople de la carrocería del dollier	0,50	0,53	0,48	0,49	0,50	0,51	
11						Desmontaje de carrocería del conveyor	0,65	0,68	0,62	0,64	0,65	0,67	
12						Inspección del acabado	1,55	1,63	1,47	1,52	1,54	1,60	
13						Transporte de producto hacia enfriado	0,60	0,63	0,57	0,59	0,60	0,62	
T	8	0	2	1	2						TOTAL	36,48	37,76

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

Se desarrolla un diagrama de precedencias con las actividades de se desarrollan en el horno primer, se puede notar que existen varias tareas que se realizan en forma simultánea.





**Figura 3-4:** Diagrama de precedesoras del horno primer  
 Elaborado por: Angel Guamán, 2016

Como resultado de la aplicación del algoritmo para esta estación, se obtiene los siguientes resultados, considerando un tiempo de ciclo disponible para la subestación A de 13,05 y para B de 24,7.

**Tabla 4-4:** Resumen de la asignación tareas en la estación

TAREAS	TIEMPO (MIN)	ESTACIÓN ASIGNADA	TIEMPO RESTANTE (MIN)
1	0.98	A	24.02
2	0.31	A	23.71
3	0.31	A	23.40
4	0.21	A	23.20
5	0.36	A	22.84
6	10.53	A	12.31
7	0.36	A	11.95
8	20.74	B	4.26
9	0.57	B	3.69
10	0.51	B	3.18
11	0.67	B	2.51
12	1.60	B	0.91
13	0.62	B	0.30

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

La siguiente gráfica muestra cómo queda organizada la estación en las dos subestaciones, esto permite cumplir con un menor tiempo de ciclo en la estación.






































































**Figura 4-4:** Nueva asignación de actividades del horno primer  
 Elaborado por: Angel Guamán, 2016

### 3.5 Aplicación del algoritmo al horno *Toap Coat*.

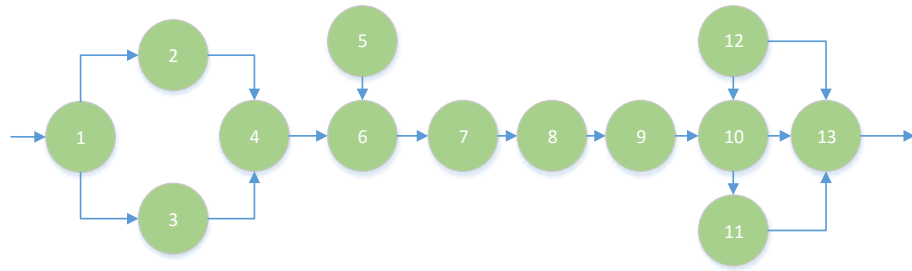
Inicialmente se describen todas las actividades desarrolladas en esta estación de trabajo a través de la elaboración de la siguiente hoja de procesos:

**Tabla 5-4:** Diagrama de procesos del horno *toap coat*

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO													
			INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA										
MAESTRÍA EN GESTIÓN INDUSTRIAL Y SISTEMAS PRODUCTIVOS													
HOJA DE PROCESOS													
HOJA:	1 de 1					FECHA:	12/08/2015						
ESTACIÓN DE TRABAJO:	HORNO TOP COAT					MODELO:	M4						
NOMBRES DEL OPERADOR:	JAVIER GALARZA SANDRO TITE					DEPARTAMENTO:	PRODUCCIÓN						
NOMBRE DEL JEFE RESPONSABLE:	ING. JUAN ZULETA					ÁREA:	PINTURA						
Nº	OPERACIONES					DESCRIPCIÓN	t1	t2	t3	t4	tm	Ts	
1						Transporte desde clear coat hacia el horno de curado	0,90	0,95	0,86	0,88	0,90	0,93	
2						Montaje de la carrocería sobre el dollies	0,35	0,37	0,33	0,34	0,35	0,36	
3						Posicionamiento de la carrocería en el conveyor	0,25	0,26	0,24	0,25	0,25	0,26	
4						Ajuste de la cabina a la mesa	0,27	0,28	0,26	0,26	0,27	0,28	
5						Verificación de la temperatura interna del horno a 135°C	0,35	0,37	0,33	0,34	0,35	0,36	
6						Elevación de la cabina del M4	10,05	10,10	10,20	10,15	10,13	10,48	
7						Encendido del sistema de transporte Fast Transfer	0,35	0,37	0,33	0,34	0,35	0,36	
8						Mantenimiento de la temperatura de 135°C	19,90	20,05	20,20	19,85	20,00	20,70	
9						Descenso de la carrocería	0,55	0,58	0,52	0,54	0,55	0,57	
10						Desacople de la carrocería del dollier	0,51	0,54	0,48	0,50	0,51	0,53	
11						Desmontaje de carrocería del conveyor	0,65	0,68	0,62	0,64	0,65	0,67	
12						Inspección del acabado	1,54	1,62	1,46	1,51	1,53	1,59	
13						Transporte de producto hacia enfriado	0,55	0,58	0,52	0,54	0,55	0,57	
T	8	0	2	1	2						TOTAL	36,36	37,64

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

Una vez determinadas las actividades se procede al análisis de las actividades predecesoras por medio del siguiente diagrama:



**Figura 4-4:** Diagrama de predecesoras del horno *toap coat*

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

Se vuelve a aplicar el modelo utilizado en los anteriores casos. Como resultado de la aplicación del algoritmo para esta estación, se obtiene los siguientes resultados, considerando un tiempo de ciclo disponible para la subestación A de 13,02 y para B de 24,61.

**Tabla 6-4:** Resultados de la aplicación del algoritmo COMSOAL

TAREAS	TIEMPO (MIN)	ESTACIÓN ASIGNADA	TIEMPO RESTANTE
1	0,93	A	24,07
2	0,36	A	23,71
3	0,26	A	23,46
4	0,28	A	23,18
5	0,36	A	22,82
6	10,48	A	12,34
7	0,36	A	11,98
8	20,70	B	4,30
9	0,57	B	3,73
10	0,53	B	3,21
11	0,67	B	2,54
12	1,59	B	0,95
13	0,57	B	0,39

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

Obteniendo además la organización de las actividades de la siguiente manera:



**Figura 5-4:** Reasignación de actividades para estación.

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

Estos resultados son incorporados al proceso general de planta de pintura de CIAUTO, considerando la capacidad de producción de las estaciones en función de sus dimensiones del puesto.

**Tabla 7-4:** Tiempos empleados por unidad

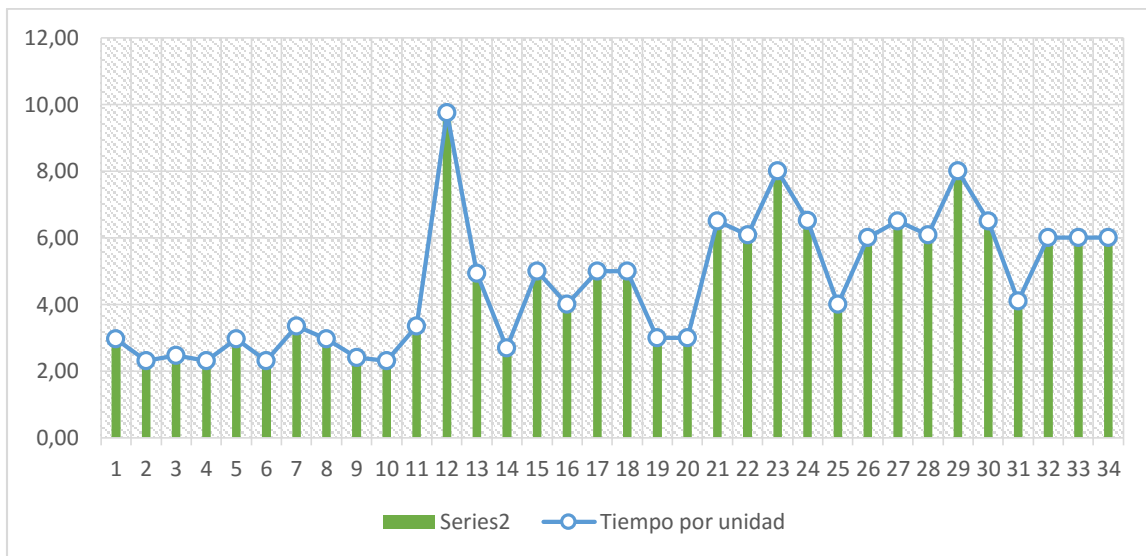
ESTACIÓN	PROCESO	PARÁMETROS DE PROCESO		
		TIEMPO (MIN)	CAPACIDAD DE LA ESTACIÓN	TIEMPO POR UNIDAD
1	DESENGRASE	8,90	3	2,97
2	ENJUAGUE 1	6,91	3	2,30
3	ENJUAGUE 2	7,42	3	2,47
4	ACONDICIONADOR	6,91	3	2,30
5	FOSFATO	8,91	3	2,97
6	ENJUAGUE 3	6,91	3	2,30
7	ENJUAGUE AGUA DI 1	10,04	3	3,35
8	ELECTROFORESIS	8,91	3	2,97
9	ULTRA FILTRADO 1	7,21	3	2,40
10	ULTRA FILTRADO 2	6,91	3	2,30
11	ENJUAGUE AGUA DI 2	10,04	3	3,35
12	HORNO ELECTROFORESIS ESTACIÓN A	39,00	4	9,75
13	HORNO ELECTROFORESIS ESTACIÓN B	4,93	1	4,93
14	BUFFER ELECTROFORESIS	8,10	3	2,70
15	MASILLA	5,00	1	5,00
16	PULIDO	4,00	1	4,00
17	SELLADO	5,00	1	5,00
18	MASCARA	5,00	1	5,00
19	PVC	3,00	1	3,00
20	DESMASCARAR	3,00	1	3,00
21	LIJADO	6,50	1	6,50
22	PINTURA	12,17	2	6,09
23	CLEAR COAT	8,00	1	8,00
24	HORNO ESTACIÓN A	13,05	2	6,53
25	HORNO ESTACIÓN B	24,07	6	4,01
26	ENFRIADO	6,00	1	6,00
27	LIJADO	6,50	1	6,50
28	PINTURA	12,17	2	6,09
29	CLEAR COAT	8,00	1	8,00

30	HORNO ESTACIÓN A	13,02	2	6,51
31	HORNO ESTACIÓN B	24,61	6	4,10
32	ENFRIADO	6,00	1	6,00
33	INSPECCIÓN	6,00	1	6,00
34	REPARACIÓN DE PUNTOS	6,00	1	6,00

158,39

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

De la información establecida se puede determinar que la aplicación de la capa de pintura *Primer* y *Toap Coat* marca el ritmo o rata de producción. Según el diagrama se puede establecer que se ha mejorado los tiempos en cada uno de los procesos de pintura.



**Figura 6-4:** Gráfica de estaciones vs tiempo de ciclo

Elaborado por: Angel Guamán, 2016

### 3.6 Cálculo de la eficiencia de la línea.

Una vez determinados los tiempos de cada proceso es necesario el cálculo de la eficiencia de la línea de pintura en CIAUTO para establecer el efecto de la aplicación del modelo de balance de líneas de tipo SALB-2. Se debe considerar para este cálculo que se ha incorporado tres estaciones extras como consecuencia del modelo, además se ha integrado las estaciones de Ultrafiltrado 0 en la de Ultrafiltrado 1 dando un total de 34 estaciones de trabajo.

$$e = (1 - p)x100$$
$$e = \left(1 - \frac{34x9,75 - 158,39}{34x9,75}\right)x100$$
$$e = 47,78\%$$

La eficiencia obtenida se puede considera baja, incluso considerando el gran incremento obtenido después de la aplicación del balance de líneas, pero también se debe tomar en cuenta que la capacidad instalada de la planta es del triple de la meta fijada por esta investigación, esta restricción surge debido a las limitaciones que el mercado impone a través de contracción de la economía mundial.

## CONCLUSIONES

1. La planta de pintura de la empresa ensambladora CIAUTO de la ciudad de Ambato funciona bajo un sistema de Justo a Tiempo (JIT), desarrollando sus actividades de forma semiautomática mediante la interacción dinámica entre sus treinta y dos (32) estaciones de trabajo. Inicialmente la empresa cuenta con escasas herramientas para el estudio los tiempos de operación y su consiguiente balance de líneas.
2. El estudio bibliográfico determina que una línea de montaje puede ser clasificada de acuerdo al tipo de producto, diseño de la línea, variabilidad de la línea, entre otros; de esta manera se ha llegado a determinar que la línea de pintura de la planta CIAUTO corresponde a un modelo SALB-2 debido a que sus estaciones se encuentra en funcionamiento y es complicado cambiar la ubicación física de estos puestos de trabajo, sin embargo sí es posible la reasignación de actividades en dichas estaciones con el objetivo de minimizar el tiempo de ciclo garantizando la menor cantidad de tiempos ociosos.
3. El estudio de tiempos determinó que para obtener una carrocería pintada son necesarios un total de 316,91 minutos, iniciando las operaciones en la estación de pre desengrase, con un total de (32) estaciones de trabajo hasta la estación de reparación de puntos. El tiempo inicialmente no es adecuado para la rata de producción de 10 automóviles diarios debido a que el takt time requerido es de 40,07 minutos y la estación del horno ELPO tarda 42 minutos en el curado y sellado de la capa base, dicho análisis refleja una eficiencia en línea del 23,58%.
4. La adaptación y aplicación del algoritmo COMSOAL (Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines) para balanceo de líneas determina una nueva organización y asignación de las actividades en las estaciones de horneado ELPO, primer y toap coat, generando en cada uno de estos puestos de trabajo dos subestaciones A y B; esta condición reduce los tiempos de ciclo para la ejecución de las tareas.
5. Como resultado de la aplicación del algoritmo COMSOAL se puede notar que existe un incremento del 24,20% en la eficiencia de toda la línea de pintura generando un 47,78% de eficiencia. Además se puede establecer una condición más armónica en las actividades de

fabricación en comparación con la situación inicial presentada. De forma paralela se puede determinar un nuevo takt time de 9,75 minutos.



## **RECOMENDACIONES**

1. La implementación de un sistema de control de tiempos de operación en la empresa CIAUTO Ambato serviría para mantener monitoreada las actividades en la línea de pintura y establecer un ritmo de producción estable, de manera que le permita a la organización ser más dinámica y competitiva.
2. El desarrollo de una programa informático que ejecute el balance de líneas de forma automática generar mejores tiempos de respuesta para la toma de decisiones en el sistema de producción, estableciendo parámetros básicos para la asignación de recursos
3. Para incrementar el impacto de los resultados de la aplicación del balance de líneas es importante incorporar un plan de capacitación para el personal a fin de potenciar las habilidades de los operarios en el manejo de los conveyors y dolliers de la planta de pintura.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Adam, & Ebert. (1991). *Administración de la producción y las operaciones, conceptos, modelos y funcionamiento*. Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
2. Bard, J. F.; Shtub, A.; Joshi, S. B. (1994). Sequencing mixed-model assembly lines to level parts usage and minimize line length. *International Journal of Production Research*. 32 (10), 2431-2454.
3. Bautista, J., & Pereira, J. (2009). A dynamic programming based heuristic for the assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 194(3), 787-794.
4. Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694-715.
5. CESVIMAP. (2015, Agosto 11). *mapfre*. Obtenido de mapfre:  
<http://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/cesvimap/ficheros/CFPreparacionSuperficiesEXTRACTO.pdf>
6. CIAUTO. (2015). *Memoria de asesoría diseño de planta de pintura CIAUTO*. Quito.
7. Comercio, E. (2015, Agosto 13). *www.elcomercio.com*. Obtenido de [www.elcomercio.com](http://www.elcomercio.com):  
<http://www.elcomercio.com/deportes/maresa-vez-mas-alto.html>
8. Constituyente, A. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi. I(1). Publicación oficial de la Asamblea Constituyente.
9. Cortés Corrales, L., & Vásquez Álvarez, L. (2009). Sistematización de las técnicas modernas de balanceo de líneas utilizadas en los sistemas de producción tipo taller. 155.
10. Desarrollo, (2013). *Plan Nacional Buen Vivir 2013-2017*. Quito: Senplades.
11. Grover, M. (2007). *Work Systems and the Methods, Measurement, and Management of Work*. United States of America: Pearson Education International.

12. Klein, & Scholl. (1996). Maximizing the production rate in simple assembly line balancing- A branch and bound procedure. *European Journal of Operations Research*, 91(2), 367-385.
13. Lee. (2000). How to balance a manufacturing work cell. *Institute of Industrial Engineers - IE Solutions Conference*. Cleveland Ohio.
14. León, A. (1998). *Manual práctico de Investigación de Operaciones*. Uninorte.
15. Ministerio de Coordinación de la Producción, E. y. (2010). *Agenda de Transformación Productiva*. Quito.
16. Naveen Kumar & Dalgobind Mahto. (2013). Assembly Line Balancing: A Review of Developments and Trends in Approach to Industrial Application. *Global Journals Inc. (USA)*, 13(2), 29-50 .
17. Ortíz, C. (2006). *Kaizen assembly: designing, constructing, and managing a lean assembly line*. New York. CRC Press.
18. PROECUADOR. (2013, febrero 12). *www.proecuador.gob.ec*. Obtenido de <http://www.proecuador.gob.ec/2013/02/19/la-ensambadora-ciauto-opera-en-ambato/>
19. Rekiek, & Delchambre. (2006). *Assembly Line Design*. Londres: Springer.
20. Restrepo, H; Medina, D.; Cruz, E. (2008). Assembly balancing line problem SALBP-1 and SALBP-2: a case of study. *Scientia et Technica* . Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 14(4), 105-110.
21. Röder, A.; Tibken, B. (2006). A methodology for modeling inter-company supply chains and for evaluating a method of integrated product and process documentation. *European Journal of Operational Research*, 169(3),1010-1029.
22. Scholl, A., (1999). *Balancing and sequencing of assembly lines*. Heidelberg: Physica-Verlag..

23. Sentinella, & Solsona. (2007). Exposición y resolución del caso multi-min-max en el problema de equilibrado de líneas de montaje. *Universidad de Cataluña*, 14(3), 22-25.
24. Thomopoulos, N. T. (2014). *Assembly Line Planning and Control*. Chicago, IL: Springer Cham Heidelberg.
25. White. (1961). Comment on a paper by Bowman. *Operation Research*, 274-276.

## ANEXOS

### Anexo A. Catálogo del polipasto de cargobuses.

#### POLIPASTO/TECLE DE VELOCIDAD SENCILLA CON TROLE DE VELOCIDAD SENCILLA – ESPECIFICACIONES

Cap.	Código de producto	Elev. est. (m)	Cable de la botonera L (m)	Motor de elevación trifásico 60 Hz <sup>1</sup>				Motor de elevación trifásico 50 Hz			Motor de traslación trifásico 60 Hz			Motor de traslación trifásico 50 Hz		Ajuste del ancho de pestaña B (mm)		Radio mínimo permitido para curva (mm)	Diámetro de carga (mm) x Líneas de caída de cadena	Peso neto (kg)		Peso para un metro adicional de elevación (kg)		
				Velocidad de elevación (m/min)	Rendimiento (kW)	Corriente nominal (amps)		Velocidad de elevación (m/min)	Rendimiento (kW)	Corriente nominal (amps)	Velocidad transversal (m/min)	Rendimiento (kW)	Corriente nominal (amps)		Velocidad transversal (m/min)	Rendimiento (kW)	Corriente nominal (amps)			Std	Opt		NER	ER
						@208-230V	@460V						@280-230V	@460V										
125kg	(N)ERM001H-L/S	3.0	2.5	16.8	0.56	3.4	1.7	14.1	0.56	2.0	L=12.2 S=24.4	0.4	3.2	1.6	L=10 S=20	58 a 127	128 a 153 154 a 305	800*	4.3 x 1	58	59	0.42		
250kg	(N)ERM003S-L/S			11.0	0.56	3.4	1.7	9.1	0.56	2.0		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	4.3 x 1	58	59	0.42
250kg	(N)ERM003H-L/S			16.2	0.9	4.8	2.5	13.4	0.9	2.7		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	6.0 x 1	67	68	0.81
500kg	(N)ERM005L-L/S			4.6	0.56	3.4	1.7	3.8	0.56	2.0		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	6.0 x 1	63	66	0.81
500kg	(N)ERM005S-L/S			8.8	0.9	4.8	2.5	7.3	0.9	2.7		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	6.0 x 1	67	68	0.81
1 t	(N)ERM010L-L/S			4.3	0.9	4.8	2.5	3.5	0.9	2.7		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	7.7 x 1	77	80	1.33
1 t	(N)ERM010S-L/S			8.5	1.8	8.6	4.2	7.1	1.8	4.0		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	7.7 x 1	84	84	1.33
1.5 t	(N)ERM015S-L/S			5.5	1.8	8.6	4.2	4.5	1.8	4.0		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	10.2 x 1	110	115	2.3
2 t	(N)ERM020C-L/S			2.1	0.9	4.8	2.5	1.8	0.9	2.7		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	7.7 x 2	97	99	2.7
2 t	(N)ERM020L-L/S			4.3	1.8	8.6	4.2	3.7	1.8	4.0		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	10.2 x 1	111	116	2.3
2 t	(N)ERM020S-L/S			8.5	3.5	16.4	7.9	7.0	3.5	7.9		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	10.2 x 1	129	128	2.3
2.5 t	(N)ERM025S-L/S			6.7	3.5	16.4	7.9	5.7	3.5	7.9		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	11.2 x 1	151	150	2.8
3 t	(N)ERM030C-L/S			5.2	3.5	16.4	7.9	4.4	3.5	7.9		0.4	3.2	1.6					0.4	1.6	10.2 x 2	154	154	4.7
5 t	(N)ERM050L-L/S			2.8	3.4	3.5	16.4	7.9	2.9	3.5		7.9	0.75	5.1					2.5	0.75	2.6	100 a 178	179 a 193 194 a 305	1800

Todas las velocidades anunciadas son a 60Hz.

\* Los anchos de pestaña más pequeños que 100 mm tendrán un radio mínimo de 3500 mm.

<sup>1</sup> Los anchos de pestaña más pequeños que 150 mm tendrán un radio mínimo de 1000 mm.

**Anexo B.** Iteraciones para horno primer y toap coat

**PRIMERA ITERACIÓN**

**LISTA GENERAL**

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES
1	0.98	-
2	0.31	1
3	0.31	1
4	0.21	2,3
5	0.36	-
6	10.53	4
7	0.36	6
8	20.74	7
9	0.57	8
10	0.51	9
11	0.67	10
12	1.60	10
13	0.62	10, 11, 12

**LISTA A**

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
1	0.98	-	0
2	0.31	1	1
3	0.31	1	1
4	0.21	2,3	2
5	0.36	-	0
6	10.53	4	1
7	0.36	6	1
8	20.74	7	1
9	0.57	8	1
10	0.51	9	1
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10, 11, 12	3

**LISTA B**

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
1	0.98	-	0
5	0.36	-	0

LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
1	0.98	-	0
5	0.36	-	0

SEGUNDA ITERACIÓN

LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
2	0.31	-	0
3	0.31	-	0
4	0.21	2,3	2
5	0.36	-	0
6	10.53	4	1
7	0.36	6	1
8	20.74	7	1
9	0.57	8	1
10	0.51	9	1
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10, 11, 12	3

LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
2	0.31	-	0
3	0.31	-	0
5	0.36	-	0

LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
2	0.31	-	0
3	0.31	-	0
5	0.36	-	0

TERCERA ITERACIÓN

LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
3	0.31	-	0
4	0.21	3	1
5	0.36	-	0

6	10.53	4	1
7	0.36	6	1
8	20.74	7	1
9	0.57	8	1
10	0.51	9	1
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10 , 11 , 12	3

LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
3	0.31	-	0
5	0.36	-	0

LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
3	0.31	-	0
5	0.36	-	0

## CUARTA ITERACIÓN

LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
4	0.21	-	0
5	0.36	-	0
6	10.53	4	1
7	0.36	6	1
8	20.74	7	1
9	0.57	8	1
10	0.51	9	1
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10 , 11 , 12	3

LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
4	0.21	-	0
5	0.36	-	0



LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
4	0.21	-	0
5	0.36	-	0

QUINTA ITERACIÓN

LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
5	0.36	-	0
6	10.53	-	0
7	0.36	6	1
8	20.74	7	1
9	0.57	8	1
10	0.51	9	1
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10 , 11 , 12	3

LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
5	0.36	-	0
6	10.53	-	0

LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
5	0.36	-	0
6	10.53	-	0

SEXTA ITERACIÓN

LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
6	10.53	-	0
7	0.36	6	1
8	20.74	7	1

9	0.57	8	1
10	0.51	9	1
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10 , 11 , 12	3

LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
6	10.53	-	0

LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
6	10.53	-	0

## SEPTIMA ITERACIÓN

LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
7	0.36	-	0
8	20.74	7	1
9	0.57	8	1
10	0.51	9	1
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10 , 11 , 12	3

LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
7	0.36	-	0

LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
7	0.36	-	0

## OCTAVA ITERACIÓN

SE ABRE OTRA  
ESTACION

### LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
8	20.74	-	0
9	0.57	8	1
10	0.51	9	1
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10 , 11 , 12	3

### LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
8	20.74	-	0

### LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
8	20.74	-	0

## NOVENA ITERACIÓN

### LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
9	0.57	-	0
10	0.51	9	1
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10 , 11 , 12	3

### LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
9	0.57	-	0

### LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
9	0.57	-	0

## DÉCIMA ITERACIÓN

### LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
10	0.51	-	0
11	0.67	10	1
12	1.60	10	1
13	0.62	10 , 11 , 12	3

### LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
10	0.51	-	0

### LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
10	0.51	-	0

## DÉCIMA PRIMERA ITERACIÓN

### LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
11	0.67	-	0
12	1.60	-	0
13	0.62	11 , 12	3

### LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
11	0.67	-	0
12	1.60	-	0

### LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
11	0.67	-	0
12	1.60	-	0

## DÉCIMA SEGUNDA ITERACIÓN

### LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
12	1.60	-	0
13	0.62	12	1

### LISTA B

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
12	1.60	-	0

### LISTA C

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
12	1.60	-	0

### LISTA A ACTUALIZADA

TAREAS	TIEMPO	PREDECESORES	NÚMERO DE PREDECESORES
13	0.62	-	0

