



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

REDISEÑO DE PROCESOS DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CALEFONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

SANDRA ANDREA JERALDO PASTÉN

**PROFESOR GUÍA:
NICOLAS JADUE MAJLUF**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
HERNAN CÁRDENAS HERMOSILLA
OMAR CERDA INOSTROZA**

**SANTIAGO DE CHILE
NOVIEMBRE 2011**

REDISEÑO DE PROCESOS DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CALEFONES

El presente trabajo se realizó en una planta dedicada a la fabricación de calefones que atiende principalmente el mercado nacional pero que a su vez exporta a países tales como; México, Colombia, Portugal, entre otros.

Los principales problemas que presentaba la planta era una baja productividad de su mano de obra en torno al 50%, un mal diseño de layout que generaba trasporte innecesarios de productos de un lado hacia otro, una alta variabilidad de calefones que eran encausadas a través de cinco plataformas y rechazos por parte de control de calidad, donde más del 80% tenía directa relación con la planta.

Frente a todo lo anterior, el estudio estuvo orientado a encontrar una asignación de recursos técnicos y humanos de forma tal de incrementar la capacidad de la planta y la productividad de la mano de obra, además de disminuir los costos de ésta última. Para ello, se decidió solucionar a través de un problema de programación lineal (PPL), donde se podría determinar el plan de producción y saber si la planta con su actual dotación estaba capacitada para dicha producción. Por lo tanto, lo primero que se hace es una estimación de la demanda a partir de los registros de las ventas mensuales anteriores y luego se hace una modelación de red, planteándose el PPL respectivo.

Los resultados obtenidos, arrojan que el principal problema que existe es la mala asignación de la mano de obra al interior de la planta, debido a que con la misma dotación, se puede incrementar en 10.000 unidades la producción, llevar la productividad a un 67% y disminuir los costos de mano de obra en 2.25 USD/unidad, todo lo anterior satisfaciendo la demanda respectiva. Cabe destacar, que para dar más holgura se propone contratar 3 operarios, de forma tal que el porcentaje de utilización de la mano de obra no exceda el 96%.

Por otro lado, para incrementar la capacidad de la planta, la empresa debe hacer una inversión por 113.000 USD que está dirigido a comprar 4 nuevas prensas o dispositivos, los cual se recuperaría en dos meses ya que la propuesta genera un ahorro mensual de 85.419 USD.

Finalmente, se propone un sistema de bonos de producción que van en la línea de nivelar el volumen y la calidad, es decir, que no se fabrique ni más ni menos de lo planificado y que éstos aprueben las pruebas de Control de Calidad. Todo lo anterior generará un gasto de \$ 6.000.000 mensuales.

Agradecimientos

A Dios y a la Virgen de Andacollo por darme la fortaleza e iluminarme cada vez que lo necesité, sobre todo en primer año donde dude de continuar con este sueño.

A mis padres, por su constante apoyo y por confiar tanto en mí, por darme la oportunidad de estudiar lejos de ellos, asumir ese costo con tanto esfuerzo y por estar siempre conteniéndome a pesar de la distancia.

A mi hermano, por haberme incentivado desde primero medio a estudiar Ingeniería en la Universidad de Chile y por convencer a mis padres de que me dejaran venir, lejos fui una de las mejores decisiones.

A mis abuelos paternos, por darme apoyo y cariño, por refugiarme cada vez que iba a La Serena.

A mis abuelos maternos, que si bien partieron antes que yo terminara mi carrera, sé que desde el cielo me están protegiendo y comparten esta alegría junto a mí.

A mis incondicionales amigos de primer año, por darme tanto cariño y estar para mí cada vez que los necesité. Estamos comenzando las etapas finales de este largo camino que partimos juntos y sé que cada uno de ustedes lo terminará de la mejor forma. Gracias por su paciencia y apoyo hasta el día de hoy, son grandes personas y feliz ser parte de sus vidas.

A mis amigos de la U en general, aquellas personas que fui conociendo a lo largo de mi paso por la escuela, gracias por todos esos lindo momentos que me entregaron, por esas conversaciones de aliento y por estar disponibles ante cualquier problema que tuviese, contenta de haberme rodeado de personas tan buenas y leales.

A mi profesor guía, Nicolás Jadue por orientarme y guiarme cada vez que me sentí perdida en este proceso y no sabía cómo continuar, por mostrarme de forma sencilla lo que debía aplicar a un proceso macro y complejo.

A mi profesores Co-guía e Integrante, por todas las correcciones realizadas que sin duda ayudaron a mejorar este trabajo.

Tabla de Contenidos

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Definición del proyecto. | 9 |
| 1.1 | Presentación del proyecto. | 9 |
| 1.2 | Justificación. | 12 |
| 1.3 | Objetivos. | 17 |
| 1.4 | Alcance. | 17 |
| 1.5 | Resultados esperados. | 18 |
| 2. | Marco Conceptual. | 19 |
| 3. | Metodología. | 21 |
| 3.1 | Levantamiento y análisis de información. | 21 |
| 3.2 | Problema de programación lineal (PPL). | 21 |
| 3.3 | Análisis de resultados de PPL. | 22 |
| 4. | Análisis de la situación actual. | 23 |
| 4.1 | Productos principales. | 23 |
| 4.2 | Producción y demandas para cada producto. | 26 |
| 4.3 | Sub-procesos. | 27 |
| 4.4 | Detalles de máquinas y mano de obra de los sub-procesos. | 41 |
| 4.5 | Análisis de tiempos de ciclo y ruta crítica. | 44 |
| 4.6 | Tiempos muertos. | 44 |
| 4.7 | Posibles puntos críticos del sistema. | 45 |
| 4.8 | Costos Mano de obra. | 46 |
| 5. | Modelo de programación lineal (PPL). | 48 |
| 5.1 | Estimación de demanda. | 48 |
| 5.2 | Modelo de optimización. | 51 |
| 6. | Resultados obtenidos y análisis. | 55 |
| 6.1 | Resultados y análisis para primer escenario. | 55 |
| 6.2 | Resultados y análisis para segundo escenario. | 61 |
| 6.3 | Resultados y análisis para tercer escenario. | 65 |
| 6.4 | Dotación final de mano de obra y máquinas. | 70 |
| 6.5 | Productividad de la mano de obra. | 73 |
| 6.6 | Costos de la mano de obra. | 74 |
| 7. | Conclusiones. | 75 |

| | |
|---|----|
| 8. Bibliografía..... | 80 |
| 9.1 Libros y apuntes..... | 80 |
| 9.2 Memorias..... | 80 |
| 9.3 Sitios web..... | 81 |
| 9. Anexos. | 82 |
| Anexo A: Actual layout..... | 82 |
| Anexo B: Tiempos muertos para subprocesos..... | 84 |
| Anexo C: Esquemas de planteamientos para la resolución del PPL..... | 92 |

Índice de Figuras.

| | |
|---|----|
| Figura 1: Organigrama grupo CEM. | 9 |
| Figura 2: Producción anual por modelo. | 13 |
| Figura 3: Esquema de la metodología. | 21 |
| Figura 4: Producción acumulada por plataforma. | 25 |
| Figura 5: Ventas mensuales del último año por producto..... | 26 |
| Figura 6: Principales mercados..... | 27 |
| Figura 7: Ruta crítica para un calefón emplomado. | 28 |
| Figura 8: Ruta crítica para un calefón no emplomado..... | 29 |
| Figura 9: Ruta crítica para Cámara emplomada. | 30 |
| Figura 10: Ruta crítica para Cámara no emplomada..... | 32 |
| Figura 11: Ruta crítica para Frentes..... | 34 |
| Figura 12: Ruta crítica para Respaldo. | 35 |
| Figura 13: Ruta crítica para Kit electrónico. | 36 |
| Figura 14: Ruta crítica para Cortatiro. | 37 |
| Figura 15: Ruta crítica para Conjunto bujía. | 38 |
| Figura 16: Ruta crítica para Conjunto batería..... | 39 |
| Figura 17: Ruta crítica línea de ensamble..... | 40 |
| Figura 18: Gráficos de las estimaciones de demandas para cada modelo. | 50 |
| Figura 19: Red para Respaldo. | 52 |
| Figura 20: Esquema de planteamiento para el producto Respaldo. | 53 |
| Figura 21: Resultados máquinas Conjunto Batería en el primer escenario..... | 56 |
| Figura 22: Resultados máquinas Cámaras emplomadas en el primer escenario. | 57 |
| Figura 23: Resultados máquinas Cámaras no emplomadas en el primer escenario. | 58 |
| Figura 24: Resultados máquinas Cortatiro en el primer escenario. | 58 |
| Figura 25: Resultados máquinas Frentes en el primer escenario. | 59 |
| Figura 26: Resultados máquinas Respaldo en el primer escenario..... | 59 |
| Figura 27: Resultados mano de obra en el primer escenario. | 60 |
| Figura 28: Resultados máquinas Conjunto batería en el segundo escenario. | 61 |
| Figura 29: Resultados máquinas Cámaras emplomadas en el segundo escenario. | 62 |
| Figura 30: Resultados máquinas Cámara no emplomada en el segundo escenario. | 62 |
| Figura 31: Resultados máquinas Cortatiro en el segundo escenario. | 63 |
| Figura 32: Resultados máquinas Frentes en el segundo escenario. | 63 |
| Figura 33: Resultados máquinas Respaldo en el segundo escenario..... | 64 |
| Figura 34: Resultados mano de obra en el segundo escenario. | 65 |
| Figura 35: Resultados máquinas Conjunto batería en el tercer escenario. | 66 |
| Figura 36: Resultados máquinas Cámaras emplomadas en el tercer escenario..... | 66 |
| Figura 37: Resultados máquinas Cámaras no emplomadas en el tercer escenario. | 67 |
| Figura 38: Resultados máquinas Cortatiro en el tercer escenario. | 67 |
| Figura 39: Resultados máquinas Frentes en el tercer escenario. | 68 |
| Figura 40: Resultados máquinas Respaldo en el tercer escenario..... | 68 |
| Figura 41: Resultados mano de obra en el tercer escenario. | 69 |

Figura 42: Resultados mano de obra propuesta final.....70

Índice de Ilustraciones.

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: Dotación personal empresas CEM. | 11 |
| Ilustración 2: Producción mensual planta Uncal 2009-2010. | 12 |
| Ilustración 3: Detalle de la cantidad de rechazo..... | 14 |
| Ilustración 4: Fallas principales acumuladas 2009-2010. | 14 |
| Ilustración 5: Productividad Octubre 2010. | 15 |
| Ilustración 6: Producción anual por modelo. | 24 |
| Ilustración 7: Dotación de personal de cada sub proceso. | 41 |
| Ilustración 8: Detalle de máquinas para cada sub proceso. | 42 |
| Ilustración 9: Tiempos de ciclo para cada sub proceso. | 44 |
| Ilustración 10: Posibles puntos críticos del sistema..... | 45 |
| Ilustración 11: Puntos críticos adicionales para los distintos sub procesos..... | 46 |
| Ilustración 12: Costos de mano de obra para cada su proceso..... | 47 |
| Ilustración 13: Resultados bondad estimación de demanda en SPSS..... | 49 |
| Ilustración 14: Demandas estimadas para cada plataforma. | 49 |
| Ilustración 15: Dotación propuesta de operarios..... | 71 |
| Ilustración 16: Decisiones para las distintas máquinas de la planta. | 72 |
| Ilustración 17: Detalle inversión final..... | 73 |
| Ilustración 18: Productividad de la mano de obra. | 73 |
| Ilustración 19: Diferencias costos mano de obra. | 74 |
| Ilustración 20: Valores para el Factor Volumen..... | 77 |
| Ilustración 21: Valores para el Factor Calidad..... | 77 |
| Ilustración 22: Bonos de producción. | 78 |

Índice de Figuras de Anexos

| | |
|---|-----|
| Figuras Anexos 1-A: Ubicación de los subprocesos en general al interior de la planta. | 82 |
| Figuras Anexos 2-A: Actual layout de la planta y recorrido para Frentes. | 83 |
| Figuras Anexos 3-B: Tiempos muertos para Cámara emplomada. | 84 |
| Figuras Anexos 4-B: Tiempos muertos para Cámara no emplomada. | 85 |
| Figuras Anexos 5-B: Tiempos muertos para Frentes. | 87 |
| Figuras Anexos 6-B: Tiempos muertos para Respaldo. | 88 |
| Figuras Anexos 7-B: Tiempos muertos para Kit electrónico. | 88 |
| Figuras Anexos 8-B: Tiempos muertos para Conjunto bujía. | 88 |
| Figuras Anexos 9-B: Tiempos muertos para Cortatiro. | 89 |
| Figuras Anexos 10-B: Tiempos muertos para Conjunto batería. | 90 |
| Figuras Anexos 11-C: Esquema para Cortatiro. | 92 |
| Figuras Anexos 12-C: Esquema para Frentes. | 93 |
| Figuras Anexos 13-C: Esquema para Kit electrónico. | 94 |
| Figuras Anexos 14-C: Esquema para Conjunto bujía. | 95 |
| Figuras Anexos 15-C: Esquema para Conjunto batería. | 96 |
| Figuras Anexos 16-C: Esquema para Línea de ensamble. | 97 |
| Figuras Anexos 17-C: Esquema para Cámara no emplomada. | 98 |
| Figuras Anexos 18-C: Esquema para Cámara emplomada. | 99 |
| Figuras Anexos 19-C: Utilización de máquinas de Cámara emplomada por otros subproceso que fueron considerados en la modelación. | 101 |

1. Definición del proyecto.

1.1 Presentación del proyecto.

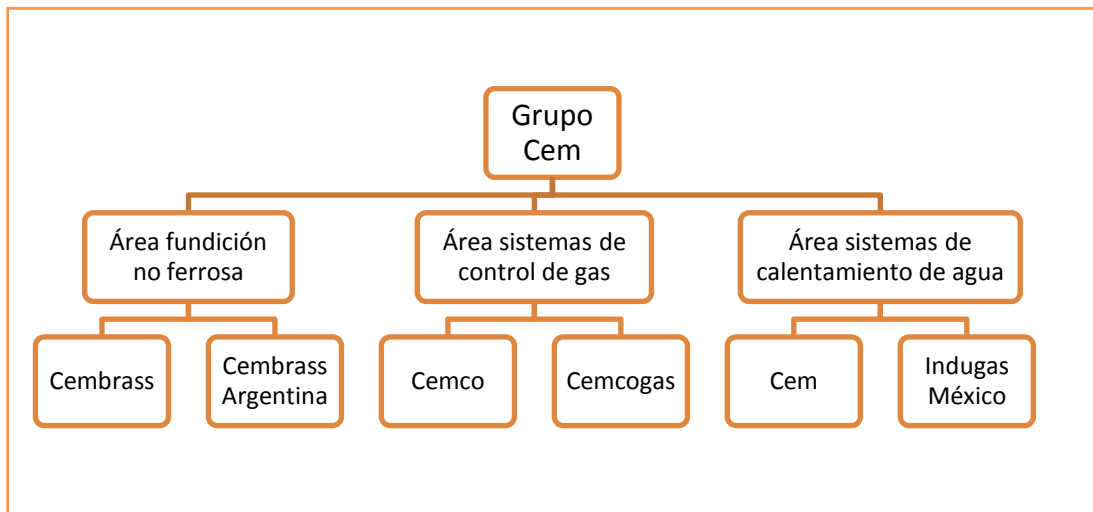
La Compañía elaboradora de metales (CEM) es un consorcio de empresas del área industrial con más de 40 años en el mercado nacional e internacional, teniendo presencia principalmente en países Latinoamericanos tales como: México, Brasil, Ecuador y Colombia. Además de una baja presencia en países Europeos (España, Dinamarca, Alemania) y Estados Unidos. Su principal actividad es la producción y comercialización de materiales y productos relacionados con la industria del gas, desde materias primas hasta productos finales de alto valor agregado.

El grupo CEM está formado por seis compañías relacionadas, las cuales son:

- CEMBRASS y CEMBRASS ARGENTINA: Fabricantes de barras y flejes de latón.
- CEMCO: Negocio de control gas.
- CEMCOGAS: Fabrica, comercializa y re inspecciona envases para gas.
- CEM: Negocio de calentamiento de agua y sistemas de calefacción.
- INDUGAS MEXICO: empresa comercializadora de calefones.

A continuación se presenta el organigrama en la Figura 1:

Figura 1: Organigrama grupo CEM.



Fuente: Memoria CEM, 2009.

En cuanto a sus estados financieros, el resultado consolidado del año 2010 muestra que la empresa alcanzó US\$ 14.192.000, lo cual superó el resultado del periodo anterior (US\$ 5.508.000), esto se explica por los ingresos obtenidos del traspaso de un negocio a manos italianas (Válvulas y Reguladores) y la venta del 50% de las acciones de CEMCOGAS. Lo anterior generó una utilidad de US\$ 8.186.500 en el periodo.

Respecto a los ingresos económicos, éstos se incrementaron de US\$ 75.405.000 (2009) a US\$ 103.112.000 en el 2010, producto de un mayor volumen y precios de venta para el negocio fundición de latón de la filial CEMBRASS debido al incremento del precio del cobre.

En relación a las distintas unidades de negocio, se tiene que:

- En el área de fundición no ferrosa, el negocio de fundición de latón logró US\$ 1.629.998 de utilidad para el año 2010, comparado con US\$ 984.096 del año anterior.
- En el área de sistemas de control de gas, la venta del negocio de Válvulas y Reguladores produjo un menor nivel de actividades que se refleja en la disminución del nivel de ventas en un 31%, lo que generó una pérdida de US\$ 358.241.
- En el área de sistemas de calentamiento de agua, el resultado operacional fue de MUS\$ 4.741, que representa el 19% por sobre el año anterior.

Analizando esta última área en mayor profundidad, se puede apreciar que el negocio del calentamiento de agua creció un 22% debido al comportamiento del mercado interno, en el cual se ha logrado fortalecer una posición competitiva debido a una preocupación constante por la calidad y el diseño de los productos, reducciones permanente de costos, incorporación de nuevas tecnologías y modelos y un uso correcto de estrategias comerciales. A lo anterior, se debe considerar que la empresa posee un extenso y profundo *how know* debido a sus más de 30 años de comercialización de productos para el calentamiento del agua, además es la empresa con más capacidad y mejor tecnología del continente americano. Dentro de los factores de riesgo, se encuentra la importación de productos asiáticos de bajo costo que pueden generar una disminución del nivel de ventas.

En relación a los Recursos Humanos de la compañía, se puede apreciar el detalle en la Ilustración 1.

Ilustración 1: Dotación personal empresas CEM.

| Compañía | Dotación Operarios [personas] | Dotación Administración & Venta y Técnico [personas] | Total |
|---------------------------|--------------------------------------|---|--------------|
| Cembrass | 55 | 28 | 83 |
| Cembrass Argentina | 55 | 26 | 81 |
| Cem | 278 | 116 | 394 |
| MTE Cemcogas | 137 | 7 | 144 |
| TOTAL | 525 | 77 | 602 |

Fuente: Memoria CEM, 2010.

El desarrollo del proyecto se llevará a cabo en la empresa CEM, en la cual existen dos plantas que se dedican a la fabricación de diferentes productos. Por un lado, se encuentra la planta de grifos, la cual está destinada a la fabricación de los quemadores utilizados en las cocinas y por el otro lado está la planta Uncal, que se dedica a la producción de calefones y lavaplatos.

El desarrollo de la memoria se llevará a cabo en la planta Uncal de tal forma que quede implementada solo para la fabricación de calefones.

En dicha planta se producen distintas plataformas de productos, las cuales son:

- **Plataforma Beyond**

Es la plataforma más nueva de calefones que se está construyendo, con el cual se busca estandarizar los modelos y procesos. Posee una válvula plástica y la electrónica es china. Se fabrican modelos de 5-6 L, 7-8 L, 10-11L y 13 L.

- **Plataforma DOM**

Estos calefones presentan una válvula de latón y la electrónica es China. Se fabrican modelos de 13L, 14L y 16 L.

- **Plataforma Mixer**

Los modelos que se producen son de 6, 10 y 13 Litros. Se caracteriza por ser TFI (Tiro forzado), los cuales presentan un motor que apaga el calefón automáticamente en caso de condiciones inseguras.

- Plataforma PTC

Estos calefones presentan una válvula de latón y la electrónica es china y el modelo de producción corresponde a 13 L.

- Plataforma Master

Los modelos que se producen en esta plataforma son de 5, 6, 7, 8, 11, 13 y 14 Litros. Su electrónica es china.

La producción mensual de la planta del último año es presentada en la siguiente ilustración:

Ilustración 2: Producción mensual planta Uncal 2009-2010.

| Mes-Año | Producción [unidades] |
|----------|-----------------------|
| sep-09 | 17.650 |
| oct-09 | 17.414 |
| nov-09 | 17.835 |
| dic-09 | 19.358 |
| ene-10 | 17.420 |
| feb-10 | 11.383 |
| mar-10 | 20.767 |
| abr-10 | 24.002 |
| may-10 | 28.002 |
| jun-10 | 29.910 |
| jul-10 | 29.005 |
| ago-10 | 27.197 |
| Promedio | 21.662 |

Fuente: Gerencia de Producción CEM.

1.2 Justificación.

En esta memoria se busca rediseñar los procesos de la planta de producción de calefones de tal manera que se aumente la productividad de la mano de obra en un 10%, se aumente la capacidad a 30.000 unidades mensuales y se disminuyan los costos de mano de obra (2 USD por unidad de calefón), todo lo anterior a través de un rediseño de los procesos de la planta, inversiones en maquinaria, análisis de la mano de obra para disminuir la cantidad de horas extras por parte de los operarios.

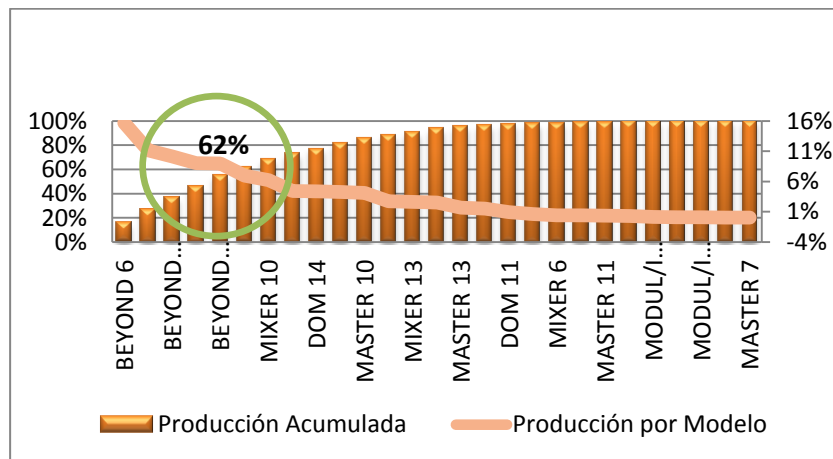
Actualmente en la planta se tienen los siguientes problemas:

-Mal diseño de Layout (ver Figura Anexos 1-A y 2-A), el cual genera un traslado de productos al interior de la planta sobre todo en aquellos procesos que comparten máquinas, o aquellos sub procesos que se realizan en dos partes de la planta cuando perfectamente se puede hacer en el mismo espacio físico de trabajo. Además se puede apreciar que la planta está diseñada por células de trabajo, las cuales convergen a las tres líneas centrales de ensamble.

Si se logra un diseño más fluido y/o continuo en la fabricación y ensamble de cada uno de los productos se eliminaría el traslado de sub productos de un lado a otro al interior de la planta, que actualmente suceden debido al mal diseño de layout. En la Figura Anexos 2-A (Anexos A) se presenta el recorrido para Frentes, que es uno de los sub procesos presente en la planta.

-Alta variedad de productos. Hoy en día se fabrican más de 20 tipos de calefones agrupados en las 5 plataformas existentes que difieren tanto en la tecnología como en el nivel de ventas que presentan. En la figura 2 se puede apreciar la producción anual por modelo.

Figura 2: Producción anual por modelo.



Fuente: Gerencia de Producción, CEM.

En la Figura 2 se puede apreciar que actualmente la plataforma Beyond posee el 62% de la producción de la planta, el 38% restante corresponde a la producción de las otras plataformas.

Por otro lado, existe entre un 4-5% de rechazo de los calefones por el área Control de Calidad. En la Ilustración 3, se presenta el porcentaje de rechazo de los últimos meses y la cantidad de calefones incurridos.

Ilustración 3: Detalle de la cantidad de rechazo.

| Mes | Cantidad revisada | Cantidad rechazada | % rechazo |
|------------------------|-------------------|--------------------|-----------|
| Octubre-09 | 16.438 | 883 | 5.37 |
| Noviembre-09 | 17.325 | 824 | 4.76 |
| Diciembre-09 | 16.931 | 975 | 5.76 |
| Enero-10 | 15.640 | 1494 | 9.55 |
| Febrero-10 | 7.300 | 577 | 7.90 |
| Marzo-10 | 18.810 | 1527 | 8.12 |
| Abril-10 | 14.290 | 938 | 6.56 |
| Mayo-10 | 20.157 | 698 | 3.46 |
| Junio-10 | 28.510 | 1270 | 4.45 |
| Julio-10 | 25.820 | 1136 | 4.40 |
| Agosto-10 | 27.440 | 1540 | 5.61 |
| Septiembre-10 | 21.120 | 1142 | 5.41 |
| Acumulado meses | 12 229.781 | 13.004 | 5.66 |

Fuente: Informe rechazos, Control de Calidad.

El detalle de las causas de los rechazos por parte de Control de Calidad se puede apreciar en la Ilustración 4.

Ilustración 4: Fallas principales acumuladas 2009-2010.

| Descripción de la falla | Nº rechazo | % rechazo |
|----------------------------------|------------|-----------|
| Combustión defectuosa | 7.898 | 51.97 |
| Armado defectuoso y/o incompleto | 4.739 | 31.18 |
| Definición técnica incorrecta | 2.245 | 14.17 |
| CF fuera de rangos | 5 | 0.03 |
| Componente defectuoso | 3 | 0.02 |
| Funcionamiento defectuoso | 1 | 0.01 |

Fuente: Informe rechazos, Control de Calidad.

Como se puede apreciar la mitad de los rechazos es generado por la combustión defectuosa (51.97%), la cual tiene directa relación con la planta, puesto que allí se fabrican las cámaras de los calefones. Por otro lado, un 31.18% de los rechazos provienen de un armado defectuoso o incorrecto, lo cual se hace en la línea de ensamble de la planta. Las demás fallas de los calefones tienen relación con el área de Ingeniería de la empresa.

Por lo tanto, se tiene que más de un 83% de los rechazos se originaron en la planta. Dado este escenario, se tiene que ambos procesos son críticos para las pruebas de calidad ya que genera el mayor % de rechazo y se debe entrar a analizar al interior de cada una de ellas, ya sea la forma de fabricación, mano de obra involucrada, los sub procesos empleados, maquinaria, etc. De manera tal de bajar el % de rechazo.

Finalmente, la última justificación es la baja productividad de la mano de obra, la cual en algunos casos es producto de horas extras en los sub procesos. En la Ilustración 5 se puede apreciar la productividad de la mano de obra de cada subproceso.

Ilustración 5: Productividad Octubre 2010.

| Sub-proceso | Productividad mano de obra[%] | Dotación [personas] |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------|
| Cámaras emplomadas | 37.5 | 37 |
| Cámaras no emplomadas | 68.8 | 17 |
| Frentes | 61.9 | 11 |
| Respaldos | 43.6 | 5 |
| Conjunto batería | 30.9 | 26 |
| Cortatiros | 46.4 | 11 |
| Kit electrónico | 60.2 | 7 |
| Línea de ensamble | 52.0 | 33 |
| Total | 50.2 | 147 |

Fuente: Gerencia de Producción, CEM

Donde la productividad de la mano de obra fue calculada como:

$$\begin{aligned}
 \text{Productividad Mano de obra} &= \frac{\text{Tiempo total requerido}}{\text{Tiempo total disponible actual}} * 100\% \\
 &= \frac{(\text{Cantidad a producir} * \text{tiempo ruta crítica})/60}{\text{Horas trabajadas} * \text{N}^{\circ} \text{ trabajadores} * 21} * 100\%
 \end{aligned}$$

En detalle:

- 21: Son los días hábiles de cada mes.
- Horas trabajadas: Cantidad de horas que se trabajan en cada sub proceso, en algunas son 9 horas (turno normal) y en otras son un poco más debido a las horas extras.
- Tiempo ruta crítica: tiempo mínimo en minutos que tardaría un producto en salir de cada sub proceso, el detalle de su cálculo se muestra más adelante. Cabe destacar que estos tiempos son calculados a partir de los tiempos entregados por la empresa (tiempos reales).

Ejemplo: Cálculo de mano de obra de frentes para una producción de 25.155 correspondiente al mes de Octubre.

$$Productividad\ Mano\ de\ obra = \frac{(25.155 * 3.07\ minutos)/60}{9 * 11 * 21} * 100\% = 61.9\ %$$

Si se analiza la Ilustración 5, se puede apreciar que hay varios sub procesos que se encuentran bajo el 50%; tales como cámaras emplomadas, respaldos, conjunto batería, cortatiros. Por lo tanto, si se aumenta la productividad de cada una de ella se aumenta la productividad de la mano de obra total puesto que éste es el promedio de las productividades de los sub-procesos.

1.3 Objetivos.

Objetivo General

- Encontrar una asignación de recursos técnicos y humanos para una planta productora de calefones que permitan incrementar la capacidad y productividad de la mano de obra y a su vez, disminuir los costos asociados a esta última.

Objetivos Específicos

- Determinar la ruta de los productos al interior de la planta.
- Estudiar y analizar las relaciones que se dan entre las distintas actividades al interior de la planta.
- Determinar los procesos que generan los mayores costos en mano de obra.
- Encontrar una reasignación de la mano de obra de forma tal que se aumente la productividad de ésta en un 10%.
- Reducir el costo total de mano de obra en 2USD/unidad a través de una nueva reasignación de mano de obra.
- Determinar la inversión en maquinaria que se necesita para incrementar la capacidad de la planta en 10.000 unidades.

1.4 Alcance.

- La información entregada por la empresa es de suma importancia a la hora de generar una solución. Por lo tanto, cualquier manipulación o falta a la veracidad de ésta tendrá consecuencias directas sobre la propuesta de rediseño.
- La empresa no entrega una información detallada acerca de la forma en cómo se hace la programación de ingreso de los materiales al interior de la planta. Por lo tanto en la solución de rediseño se tiene la libertad para definir una forma de programación de ingreso del material.
- La implementación del rediseño no está dentro del proyecto de rediseño de la planta.
- La propuesta de rediseño de la planta no asegura una completa eliminación de las horas extras por parte de los operarios, pero sí una disminución de ellas. Se determinará en qué casos será necesario tener horas extras y/o doble turno.

1.5 Resultados esperados.

Los resultados esperados son:

- Determinar la ruta que siguen los productos al interior de la planta.
- Determinar la asignación de mano de obra necesaria para aumentar la producción.
- Determinar la inversión necesaria para el aumento de la capacidad de la planta.

2. Marco Conceptual.

La investigación de operaciones es una disciplina muy exitosa que soluciona problemas tanto de empresas de manufactura como de servicios, de distintos tamaños y de diversa índole, ya sea público o privado. Sus principales beneficios es que apoya la toma de decisiones conforme a la disponibilidad de recursos que se tiene, logra incrementar los niveles de productividad y eficiencia de dichas compañías. Dentro de las aplicaciones más exitosas está el uso de sistemas integrados que combinan la programación matemática con sistemas de pronósticos, herramientas del flujo de redes que permite solucionar problemas relativos a los sistemas integrados de logísticas, entre otros.

Las principales etapas o fases que son necesarias para llevar a cabo la investigación de operaciones son:

- **Definición del problema**
Consiste en el estudio acabado del sistema, determinando los objetivos que se quieren lograr, las restricciones sobre lo que se puede hacer, las alternativas de las decisiones y los tiempos incurridos en éstas.
- **Construcción del modelo**
Luego de la definición del problema, se debe pasar a la construcción de un modelo matemático que represente la esencia del problema. El modelo matemático puede ser entendido como el problema de elegir valores para variables de forma tal de satisfacer la función objetivo sujeta a las restricciones dadas.
- **Solución del modelo**
Esta etapa consiste en desarrollar un procedimiento (generalmente se utilizan herramientas computacionales) para llegar a una solución del problema a partir del modelo establecido en la etapa anterior, de forma tal de cumplir las restricciones y satisfacer la función objetivo.
- **Validación del modelo**
Luego que se concibe el modelo, se debe analizar la capacidad de éste para predecir bajo ciertas alternativas de decisión, es normal que luego de su primera versión tenga fallas y se deba dar origen a una serie exhaustiva de pruebas para tratar de corregir y darle validez al modelo.

- Implantación del modelo

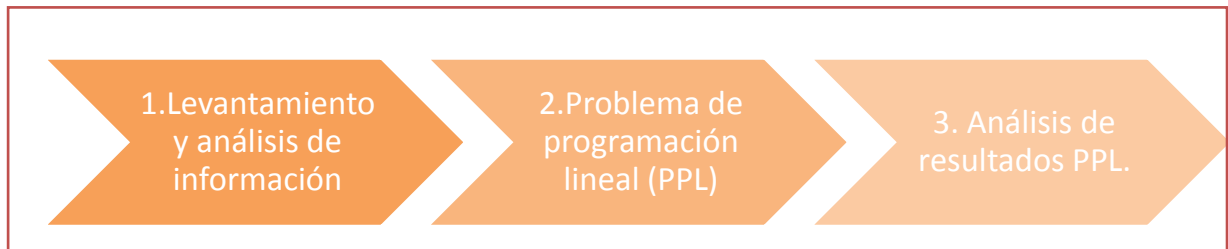
Como una etapa previa a la implantación, se debe desarrollar e instalar un sistema bien documentado para aplicar el modelo establecido. Luego de lo anterior, la implantación del modelo se puede determinar en los siguientes pasos:

- 1- Se debe explicar cuidadosamente a las gerencias involucradas sobre el nuevo sistema que se va a adoptar y su relación con la realidad.
- 2- Se deben generar los procedimientos (manuales y/o computacionales) requeridos que garanticen la operación de este nuevo sistema.
- 3- Las gerencias respectivas se deben responsabilizar de dar una adecuada capacitación al personal que participa en el nuevo sistema.
- 4- Finalmente, se debe supervisar la experiencia y las acciones iniciales en el tiempo, para ver si se deben hacer modificaciones.

3. Metodología.

La metodología es separada en tres grandes pasos que son presentados en la Figura 3.

Figura 3: Esquema de la metodología.



Fuente: Elaboración propia.

3.1 Levantamiento y análisis de información.

Se debe realizar un completo levantamiento de información de forma tal de comprender claramente el modelo de negocio y su forma de producción, además de juntar todos los datos necesarios que se necesita para calcular el PPL.

Para ello es necesario un minucioso trabajo de forma tal de establecer:

- Los principales productos.
- La ruta que siguen los productos al interior de la planta.
- Los distintos workcenter (tanto mano de obra como máquinas utilizadas)
- Rendimientos observados.
- Sistema de producción.

3.2 Problema de programación lineal (PPL).

Luego de realizar el primer paso, se establece un problema de programación lineal que busca minimizar los costos de mano de obra en la producción de forma tal de satisfacer la demanda.

Para ello, se debe hacer una estimación de la demanda usando el software SPSS a partir de una data de ventas mensuales que es facilitada por la empresa.

Para el PPL se necesita establecer de forma explícita:

- Condición de optimización: En este caso se busca minimizar los costos de mano de obra.
- Función objetivo: En la mayoría de los casos representa costos, beneficios, etc.

- Restricciones: Para este caso particular, las restricciones reflejarán las limitaciones del sistema, por ejemplo: horas de mano de obra disponibles versus horas ocupadas. Además de tratar de cumplir las restricciones típicas tales como; naturaleza de las variables y satisfacción de la demanda.
- Parámetros: Son los datos que presenta actualmente la empresa y que son útiles a la hora de modelar, tales como; los tiempos en las diversas tareas, costos de mano de obra, demanda, etc.

Después de todo el planteamiento anterior, se utiliza la herramienta Solver de Excel para resolver el PPL.

3.3 Análisis de resultados de PPL.

Finalmente, se debe hacer un análisis de los resultados obtenidos con la modelación de forma tal de calcular:

- La nueva dotación requerida para cada sub proceso.
- Listado de máquinas que se debe adquirir para aumentar la capacidad de la planta.
- Definir qué máquinas operan a dos turnos.
- La productividad de la mano de obra.
- Otros.

4. Análisis de la situación actual

Tras el recorrido en el interior de la planta y las distintas reuniones y/o entrevistas con trabajadores, operarios y directivos se realiza un completo levantamiento de información, el cual es presentado a continuación con su respectivo análisis.

4.1 Productos principales

Los productos al interior de la planta son producidos a partir de cinco plataformas distintas que fueron caracterizadas anteriormente, las cuales son:

- Plataforma Beyond.
- Plataforma Mixer.
- Plataforma Master.
- Plataforma DOM.
- Plataforma PTC.

Cada plataforma está formada por los productos de los sub procesos de: Frentes, Respaldo, Cámaras emplomadas, Cámaras no emplomadas, Conjunto batería, Cortatiro, Kit electrónico y Línea de ensamble.

Las principales diferencias de las distintas plataformas son:

- Capacidad del calefón: Cantidad de litros tales como; 6, 7, 10, etc. Esta diferencia no genera rutas distintas al interior de la planta.
- Tecnología del sub producto del Kit electrónico: Esta tecnología (material de las válvulas) varían dependiendo del origen de ésta. En todas las plataformas es importado, solo se debe poner correctamente en un soporte por lo cual no genera diferencias de rutas al interior de la planta.
- Tipo de cámara: Este sub proceso si genera rutas distintas y depende de si la cámara del calefón recibe o no un baño de plomo.

Debido al tipo de cámara, existen solo dos rutas de productos al interior de la planta que son para los calefones emplomados y no emplomados. Cabe destacar que los calefones no emplomados son todos aquellos que tienen una capacidad de 13 litros y no se le da un baño de plomo a su cámara de combustión. De forma similar, los calefones emplomados son todos aquellos modelos de capacidad de 11 litros o menor y a los cuales se le da un baño de plomo a su cámara.

En la Ilustración 6 se puede apreciar la producción anual que tiene cada modelo de calefón.

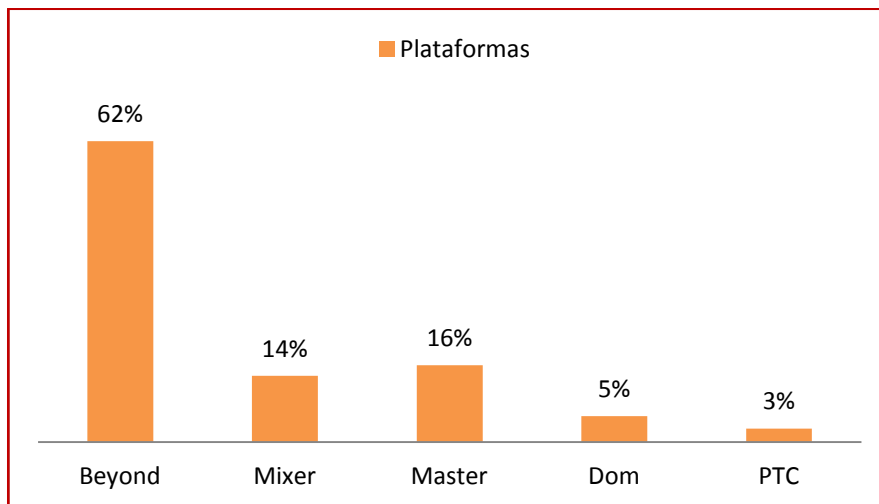
Ilustración 6: Producción anual por modelo.

| Modelo | Producción anual [unidades] | Producción anual [%] |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------|
| Beyond 6 | 51.021 | 15.68 |
| Beyond 10 | 36.260 | 11.15 |
| Beyond 11 | 32.980 | 10.14 |
| Beyond 8 | 29.350 | 9.02 |
| Beyond 13 | 29.286 | 9.00 |
| Beyond 7 | 22.750 | 6.99 |
| Mixer 10 | 20.300 | 6.24 |
| Master 8 | 14.400 | 4.43 |
| Dom 14 | 14.250 | 4.38 |
| Master 6 | 13.850 | 4.26 |
| Master 10 | 13.300 | 4.09 |
| Mixer 11 | 8.975 | 2.76 |
| Mixer 13 | 8.620 | 2.65 |
| Modul/ioni/ptc 16 | 8.300 | 2.55 |
| Master 13 | 5.500 | 1.69 |
| Mixer 8 | 5.000 | 1.54 |
| Dom 11 | 2.980 | 0.92 |
| Master s/ cortatiro 5 | 1.950 | 0.60 |
| Mixer 6 | 1.420 | 0.44 |
| Tfi 10 | 1.350 | 0.41 |
| Master 11 | 1.100 | 0.34 |
| Master 14 | 1.000 | 0.31 |
| Modul/ioni/ptc 13 | 400 | 0.12 |

| | | |
|----------------------------------|---------|--------|
| TFI 13 | 300 | 0.09 |
| Modul/ioniz/ptc 11 | 300 | 0.09 |
| Estandar 5 | 200 | 0.06 |
| Master 7 | 200 | 0.06 |
| Modul/ioniz/ptc 14 | 0 | 0.00 |
| Mixer 14 | 0 | 0.00 |
| Mixer 7 | 0 | 0.00 |
| Estandar 11 | 0 | 0.00 |
| Modul/ioniz/ ptc no modulante 11 | 0 | 0.00 |
| Estandar 14 | 0 | 0.00 |
| Estandar 13 | 0 | 0.00 |
| TFI 6 | 0 | 0.00 |
| Total | 325.342 | 100.00 |

Fuente: Gerencia de producción, CEM.

Figura 4: Producción acumulada por plataforma.



Fuente: Gerencia de producción, CEM.

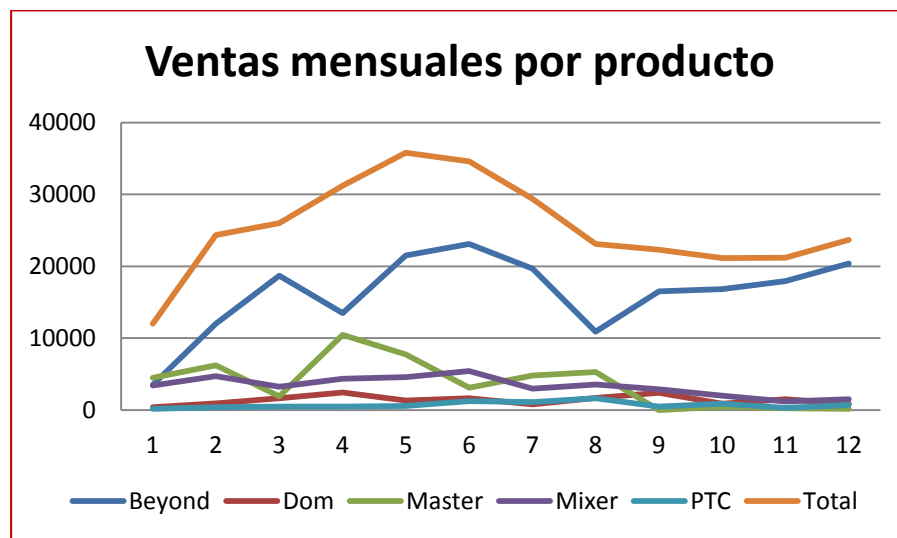
De la Figura 4, se puede apreciar que la plataforma Beyond representa el 62% de la producción anual. Por lo tanto, los calefones de dicha plataforma representan el principal producto de fabricación de la planta. En segundo lugar, queda la plataforma Master con un 16% y en tercer lugar la plataforma Mixer.

De lo anterior, se tiene que el 92% de la producción corresponde a calefones emplomados (Beyond, Mixer y Master) y el 8% restante corresponde a calefones no emplomados de las plataformas Dom y PTC.

4.2 Producción y demandas para cada producto

La producción al interior de la planta trata de alimentar los inventarios de las bodegas de forma tal de satisfacer las diversas demandas, las cuales son calculadas a partir de las ventas de los meses anteriores. En la Figura 5 se presentan las ventas de los distintos productos en el último año.

Figura 5: Ventas mensuales del último año por producto.

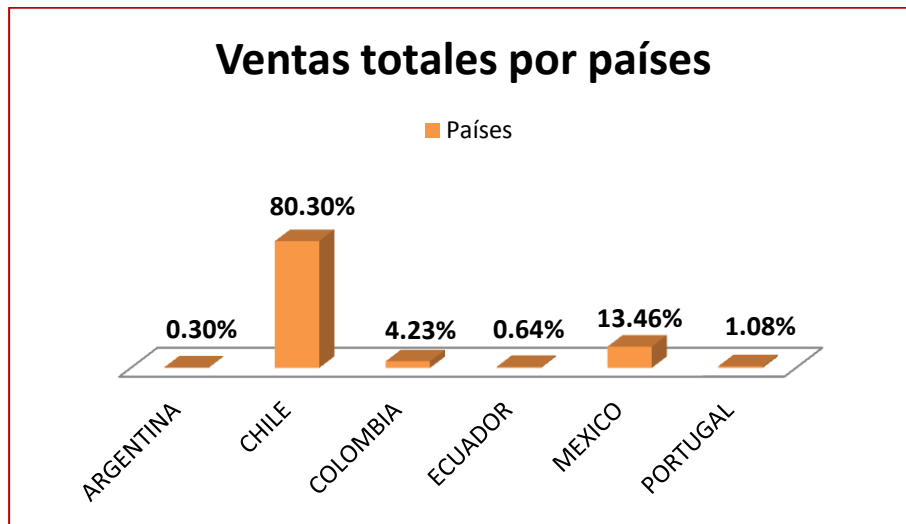


Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, la plataforma Beyond es la que mayor aporta a las ventas totales, seguida por Master. Tanto PTC como Dom presentan ventas bajas las 10.000 unidades en cada mes. Esta información es útil puesto que sirve para estimar las demandas de cada plataforma en los próximos meses.

Por otro lado, los principales mercados son presentados en la Figura 6.

Figura 6: Principales mercados.



Fuente: Elaboración propia.

De la Figura anterior, se puede apreciar que más del 80% del mercado está constituido por el mercado nacional, lo cual no es de extrañar puesto que es proveedor de importantes marcas de línea blanca como Mabe y Mademsa. Además se debe tener presente el buen posicionamiento que tiene su línea propia Splendid.

En segundo lugar se encuentra México y con menor presencia de ventas está la nación de Portugal. De esto último se puede apreciar la baja participación (casi nula) en el mercado Europeo.

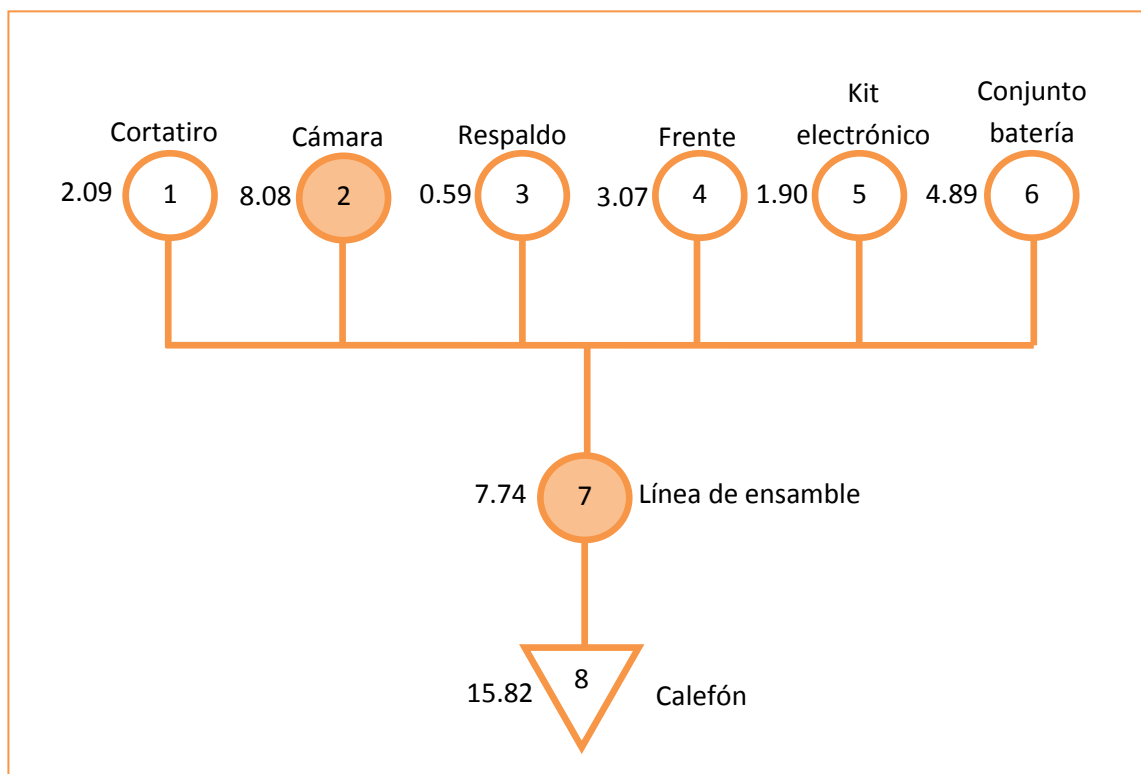
4.3 Sub-procesos

Tal como se mencionó, la fabricación de un calefón se realiza a partir de una serie de partes que se fabrican en paralelo o serie y posteriormente son unidas en la línea de ensamble. Las partes o sub- procesos que están presentes en la planta son:

- Cámaras emplomadas o Cámaras no emplomadas.
- Frentes.
- Respaldos.
- Cortatiros.
- Kit electrónico.
- Conjunto Batería.
- Línea de ensamble.

La ruta crítica en minutos de un calefón emplomado se presenta la Figura 7.

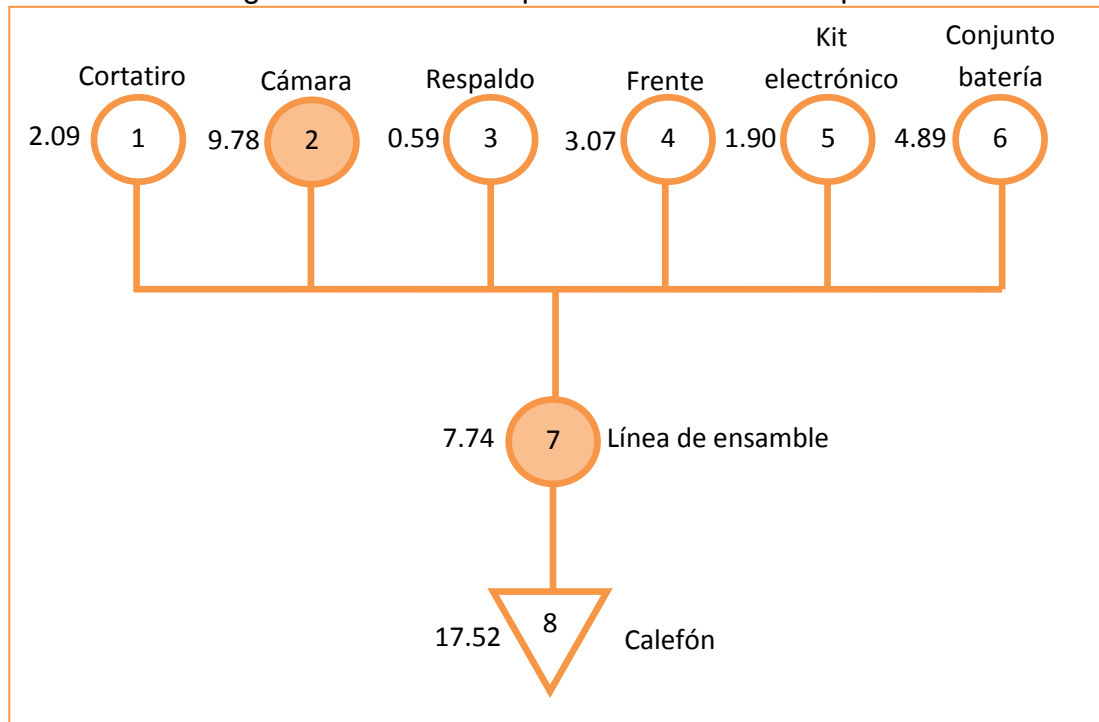
Figura 7: Ruta crítica para un calefón emplomado.



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de un Calefón no emplomado, su ruta crítica se puede apreciar en la Figura 8.

Figura 8: Ruta crítica para un calefón no emplomado.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta el detalle de cada sub proceso:

Cámaras emplomadas

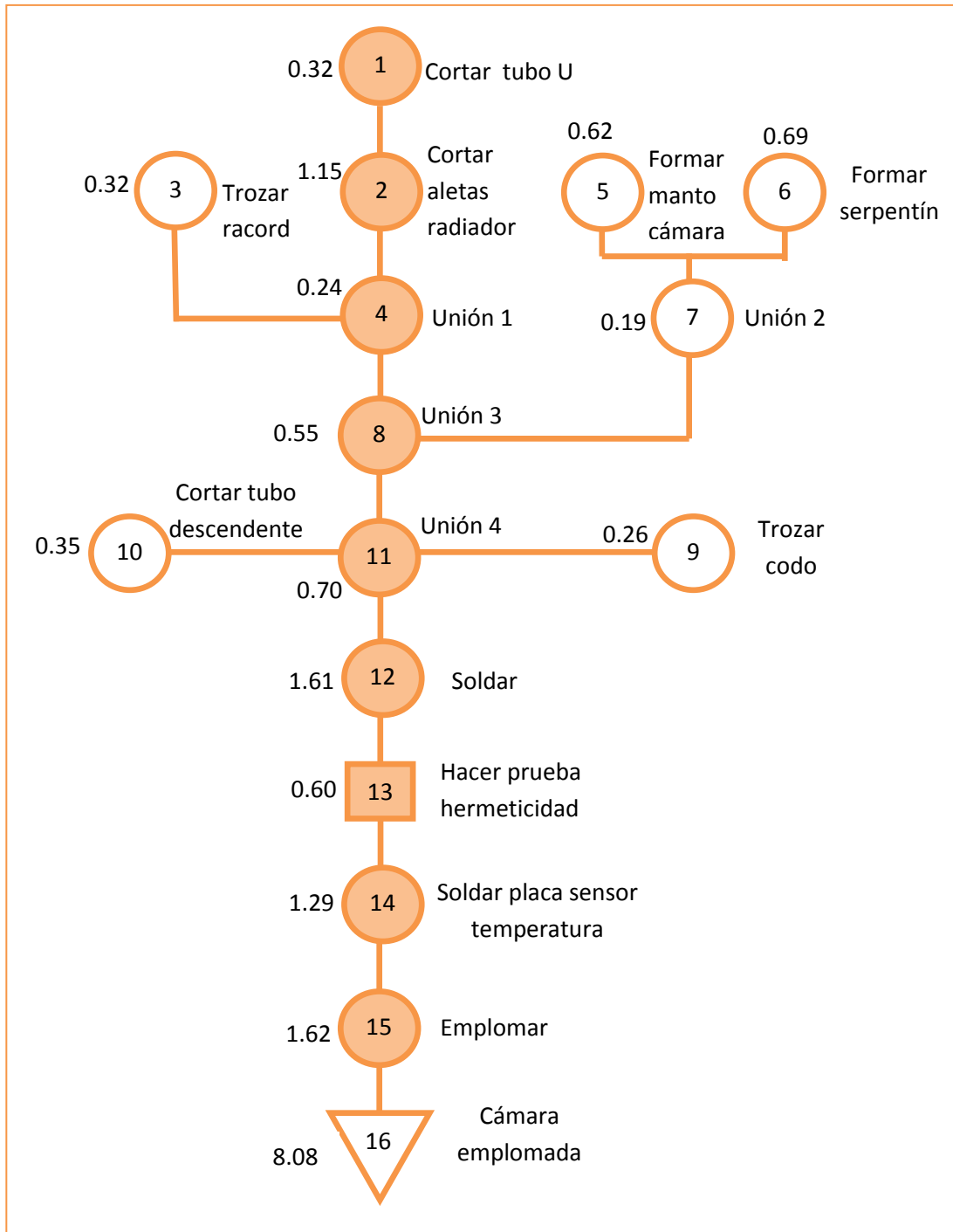
Este proceso parte de los rollos de cañería y planchas de cobre hasta las cámaras de combustión emplomadas lista para ser ensambladas en las líneas. Una cámara emplomada está compuesta por:

- Manto cámara: Manto cuadrado de cobre y la base sobre la cual se unen las otras piezas.
- Codo: Tubo de cobre que es utilizado para unir el tubo descendente a la estructura de la cámara, es la última unión antes de soldar.
- Racord: Tubo de cobre similar al codo, sirve para unir el radiador con el tubo U.
- Serpentín: Tubo de cobre en forma de serpentín, el cual va ubicado alrededor del manto de la cámara.
- Radiador: Estructura de cobre formada por una gran cantidad de aletas de cobre enlazadas a través de dos tubos en U, es la base de una cámara emplomada.

- Tubo U: Tubo de cobre que se une a las aletas para formar el radiador.
- Tubo descendente: Tubo de cobre por el cual baja el agua del calefón y es la pieza que se une al final antes de pasar la cámara a soldar.

El flujo del proceso es presentado a continuación:

Figura 9: Ruta crítica para Cámara emplomada.



Fuente: Elaboración propia.

Cámaras no emplomadas

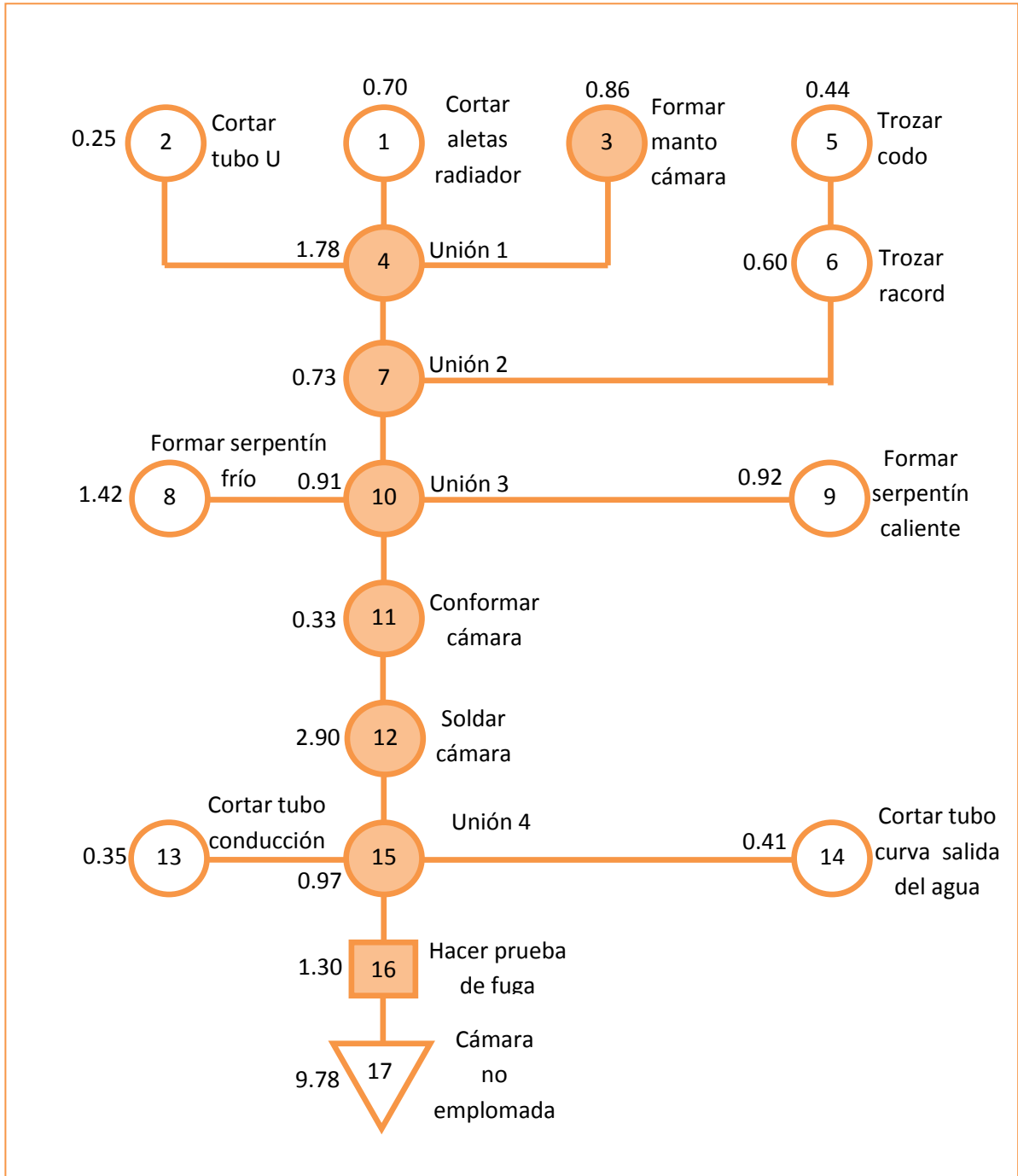
Este proceso parte de los rollos de cañería y planchas de cobre hasta las cámaras de combustión soldadas en el horno de atmósfera para ser ensambladas en las líneas. Una cámara no emplomada está compuesta por:

- Serpentín caliente: Tubo de cobre con forma de serpentín, presenta 5 dobleces.
- Serpentín frío: Tubo de cobre con forma de serpentín, presenta 7 dobleces.
- Radiador: Pieza formado por aletas de cobre que son unidas por medio de dos tubos U, es la base de la cámara no emplomada.
- Tubo U: Tubo de cobre doblado en forma de U, sirve para unir las aletas y formar el radiador.
- Manto cámara: Manto cuadrado de cobre que tiene como base al radiador y a su alrededor la envuelven los tubos serpentín, descendente o salida del agua.
- Codo: Tubo de cobre que se une al racord.
- Racord: Tubo de cobre que junto al codo son unidos al manto cámara y radiador.
- Tubo conducción: Tubo de cobre que es instalado después de que la cámara sea soldada en el horno de atmósfera.
- Curva salida del agua: tubo de cobre que es instalado al igual que el tubo de conducción.

La principal diferencia entre las cámaras emplomadas y no emplomadas, es que las primeras pasan por un baño de plomo.

La ruta de las cámaras se puede apreciar en la Figura 10.

Figura 10: Ruta crítica para Cámara no emplomada.



Fuente: Elaboración propia.

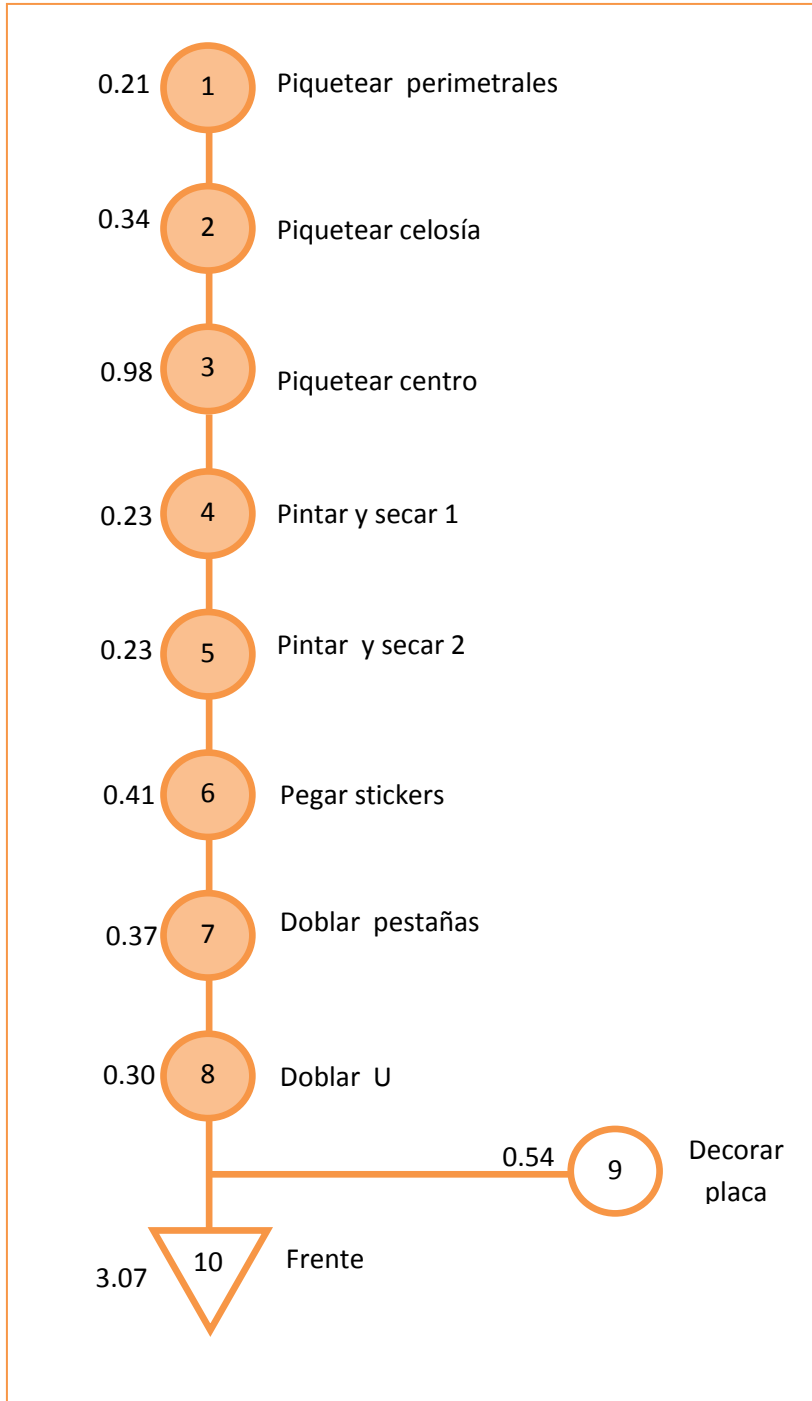
Frentes

Este proceso parte con las planchas lisas y termina con el frente terminado listo para ser ensamblado, es un proceso casi en serie en comparación a los dos anteriores. Las partes del frente son:

- Perimetrales: Son los cortes que se le realizan a la plancha del frente, que van alrededor de ésta, son unos cortes cuadrados y/o rectangulares pequeños.
- Celosía: Son unas perforaciones de forma rectangular muy finas que van en los costados de los frentes.
- Punzonado: Son perforaciones en la plancha del frente que permiten poner la perilla y apreciar las llamas del quemador cuando se está utilizando el calefón.
- Pintura y secado 1: Este paso consiste en pintar el frente con el logo de la marca correspondiente y además se pintan las placas de la marca del calefón, posteriormente se pasan por el horno para su secado.
- Pintura y secado 2: En este paso se decora la leyenda de instrucciones de uso y se pasa por el otro horno para su correspondiente secado.
- Sticker: A los frentes se les pega etiquetas cesmec y de seguridad.
- Doblado pestañas: Se hacen cuatros dobleces en las orillas del frente.
- Doblado U: El frente se dobla en forma de U, es decir, queda con la forma de carcasa características que tienen los calefones.

La relación entre ellos, se puede apreciar en la Figura 11.

Figura 11: Ruta crítica para Frontes.



Fuente: Elaboración propia.

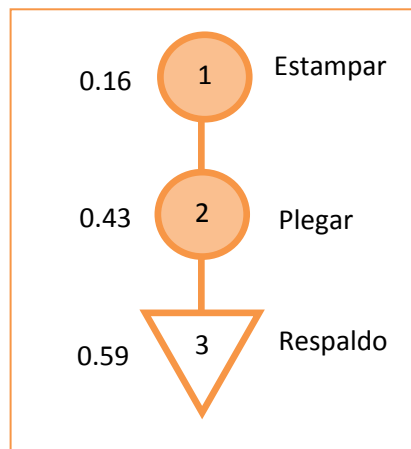
Respaldos

Este proceso es muy corto y es en serie. Al igual que los frentes se origina en las planchas y termina con los respaldos listos para partir el proceso de la línea de ensamble. Las partes del respaldo son:

- Estampado: Esta tarea se realiza con una prensa, la cual estampa, piqueta y perfora la plancha del respaldo, dejando ciertas figuras impresas en ella.
- Plegado: Luego de ser estampado, la plancha se lleva a otra prensa, en la cual se le hacen 5 pliegues.

La ruta se puede apreciar en la Figura 12.

Figura 12: Ruta crítica para Respaldo.



Fuente: Elaboración propia.

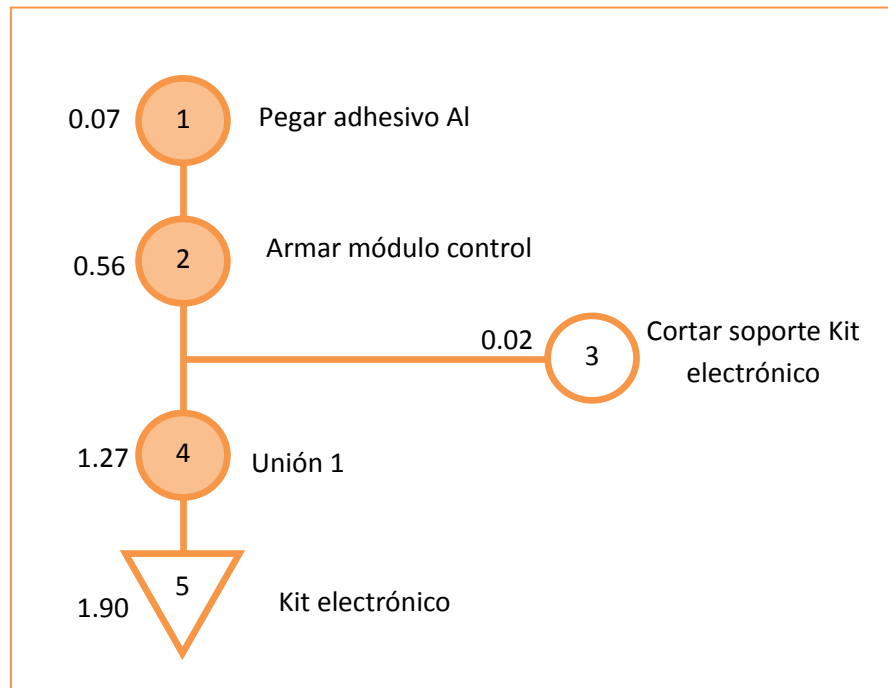
Kit electrónico

Este proceso es muy corto y es realizado casi en serie. Sus tareas son:

- Pegar adhesivo Al: Esta tarea consiste en pegar el autoadhesivo de aluminio a la caja de pilas.
- Armado módulo control: consiste en el armado manual del control del kit electrónico.
- Soporte Kit electrónico: Se realiza con una prensa y consiste en el corte, piqueteado y doblado del material de forma tal de formar el soporte.

La ruta de este producto se puede apreciar en la Figura 13.

Figura 13: Ruta crítica para Kit electrónico.



Fuente: Elaboración propia.

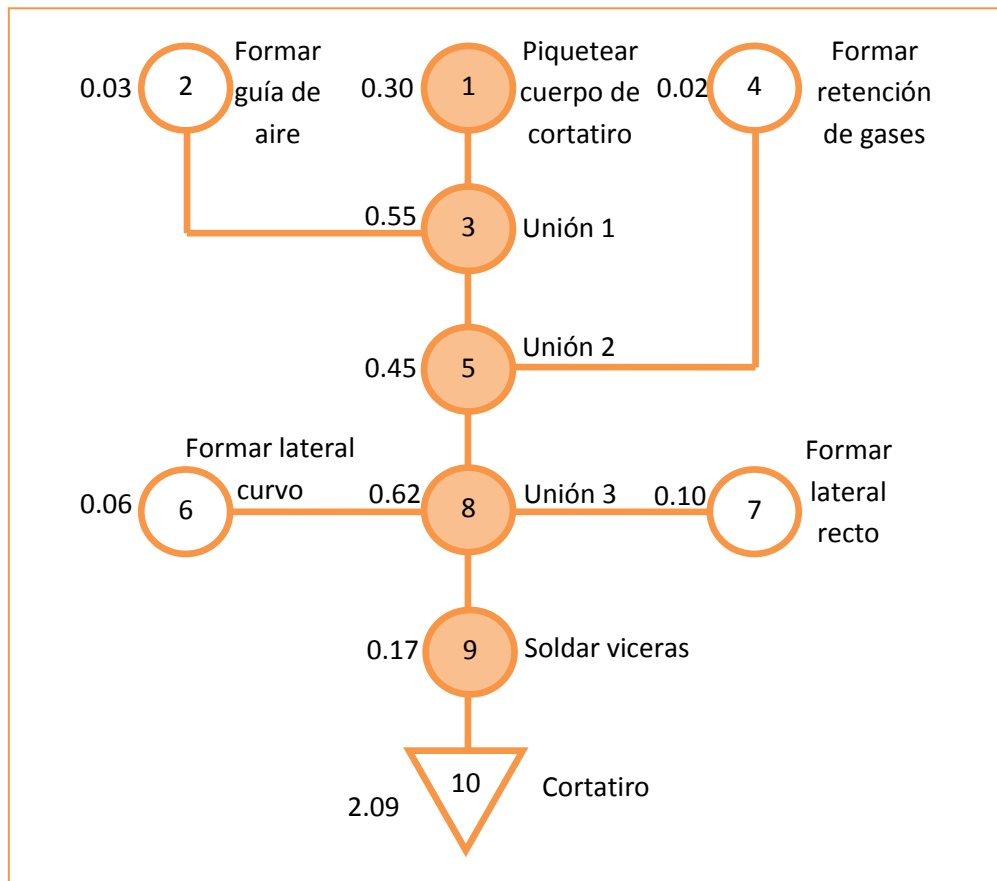
Cortatiro

Este proceso es similar al de frentes y respaldos, se parte de las planchas y se lleva a una estructura a través de cortes, estampados y perforaciones. Sus partes son:

- Retención de gases: Se toma una plancha y se corta, estampa y se dobla en un ángulo de 90°.
- Guía de aire: Similar al anterior, se corta y se estampa una plancha usando para ello una prensa.
- Cuerpo de cortatiro: Se toma una plancha y se piqueta, estampa, perfora, corta y se dobla en forma de U.
- Lateral curvo: Se toma una plancha y se corta, piqueta y se estampa cierta forma.
- Lateral recto: Similar al lateral curvo, se toma la plancha, se corta, se piqueta y se estampa en el centro del lateral.

La ruta se puede apreciar en la Figura 14.

Figura 14: Ruta crítica para Cortatiro.

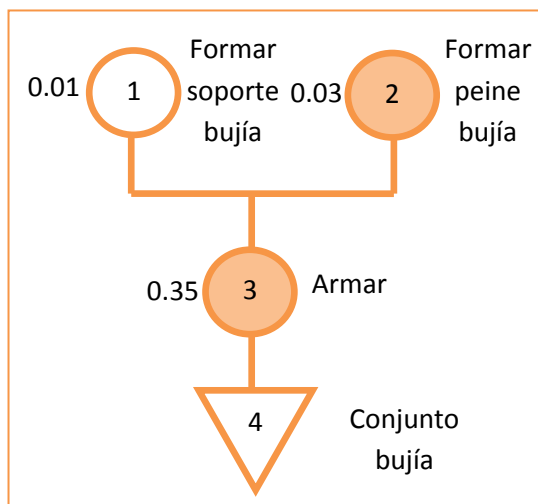


Fuente: Elaboración propia.

Conjunto bujía

Este conjunto está inserto en el Conjunto batería, pero para que esté más ordenado se realiza su ruta crítica de forma separada. Su ruta se encuentra en la Figura 15.

Figura 15: Ruta crítica para Conjunto bujía.



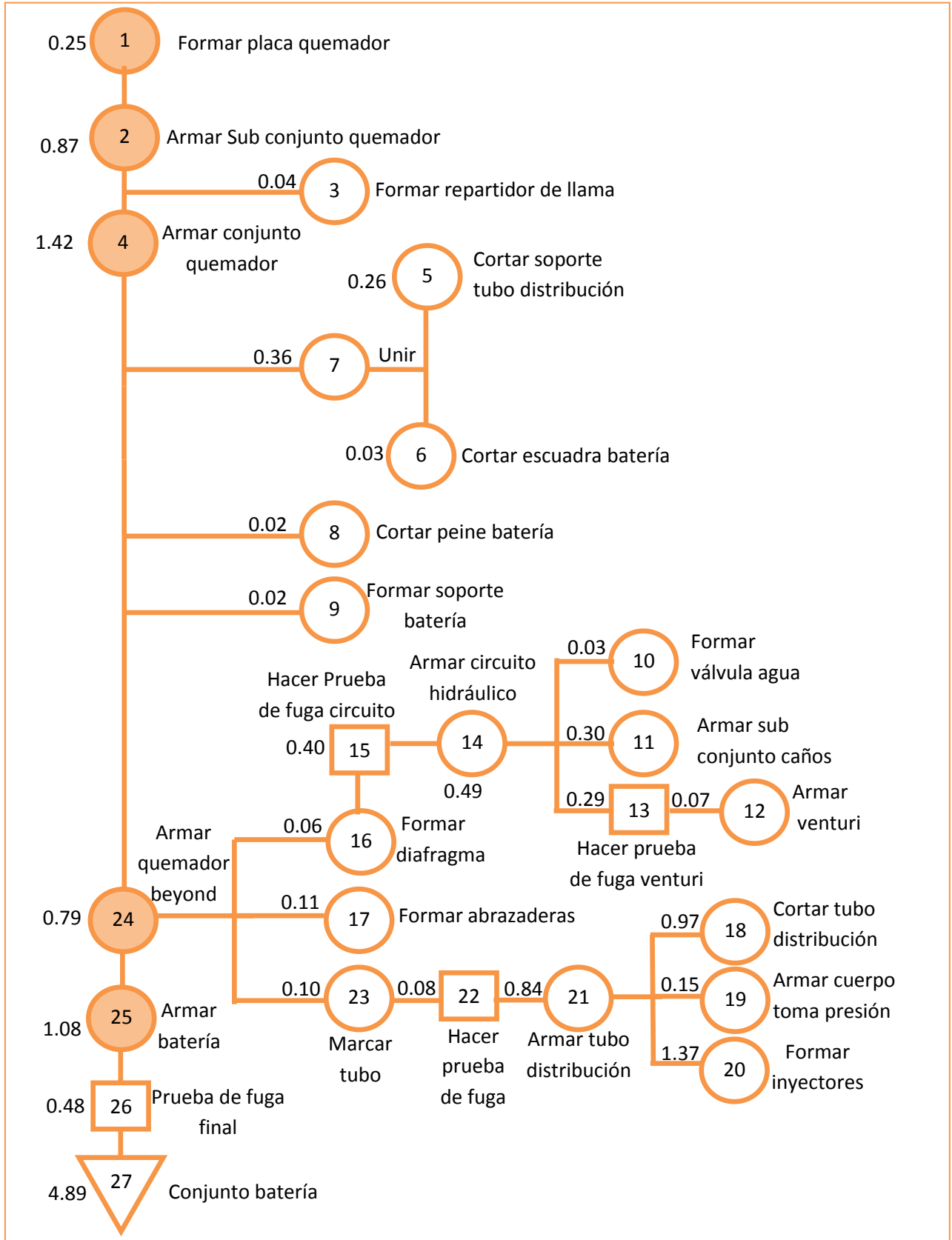
Fuente: Elaboración propia.

Conjunto batería

Este proceso consiste principalmente en el armado de la estructura de los quemadores, junto al conector beyond. Es un proceso difícil de graficar puesto que la mayoría de las tareas se realizan en forma paralelas. Sus partes son: placa quemador, sub conjunto quemador emballetado, repartidor de llama, conjunto quemador, soporte tubo distribución, s/a soporte tubo distribución, escuadra batería, peine batería, soporte batería beyond, soporte bujía, peine bujía, conjunto bujía, tubo distribución, toma presión, inyectores, armar tubo distribución, abrazaderas, diafragma, armar circuito hidráulico, válvula agua, armado venturi y subconjunto caños.

La ruta se puede apreciar en la Figura 16.

Figura 16: Ruta crítica para Conjunto batería.

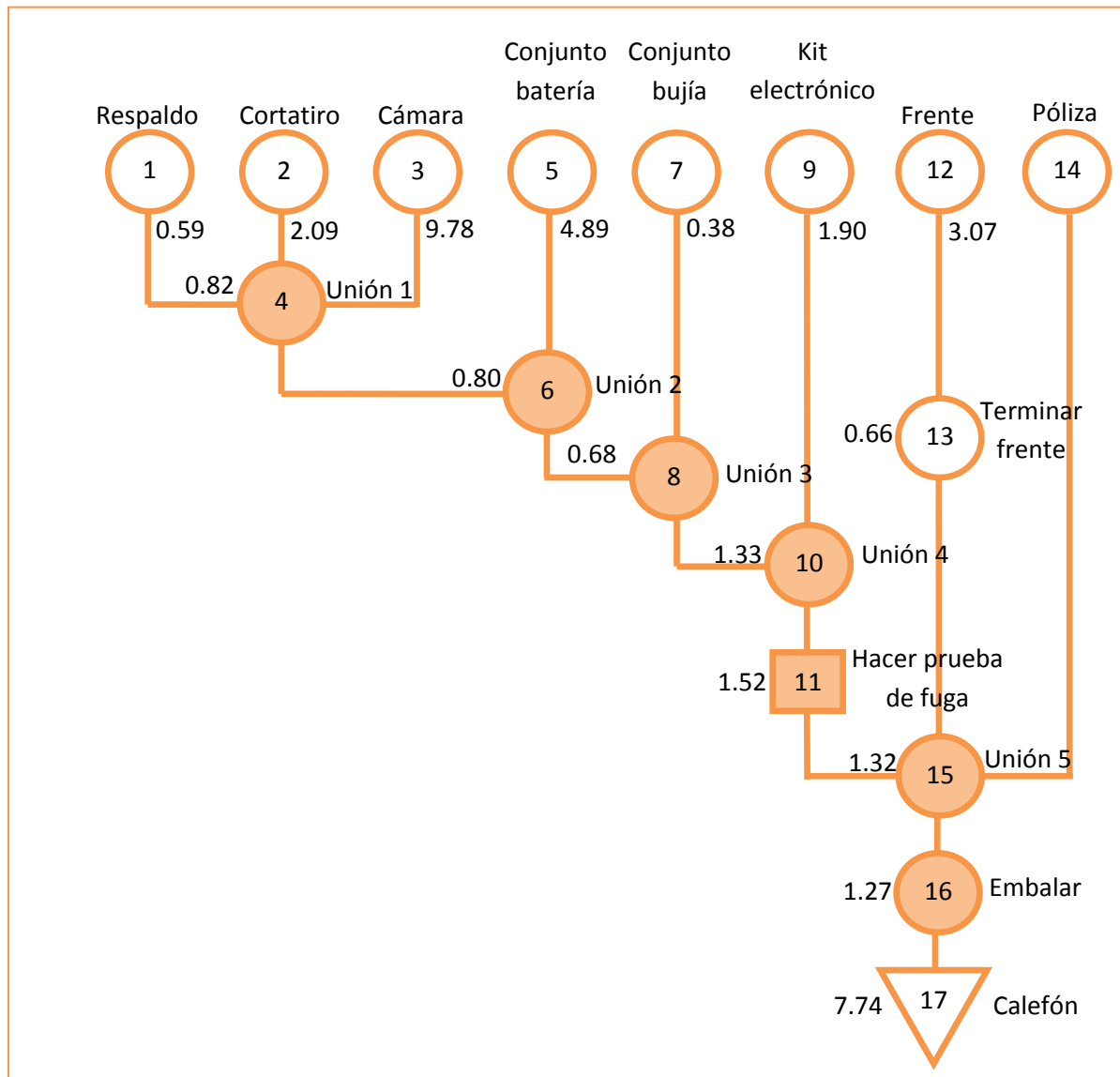


Fuente: Elaboración propia.

Línea de ensamble

Este proceso consiste en la unión de los productos fabricados en los sub procesos descritos anteriormente. Es un sub proceso principalmente manual y parte desde la unión de todas las piezas, pasando por pruebas de fugas hasta el calefón embalado listo para ser llevado a la bodega. La ruta que describe cómo se realiza el ensamblaje de las piezas se puede apreciar en la Figura 17.

Figura 17: Ruta crítica línea de ensamble.



Fuente: Elaboración propia.

4.4 Detalles de máquinas y mano de obra de los sub-procesos

Cada sub-proceso está formado por una dotación de operarios y una serie de maquinaria que ayuda a la elaboración de los calefones, algunas máquinas pueden ser compartidas por uno o dos sub-procesos al igual que los trabajadores que manipulan a éstas. El detalle de cada uno de ellos se presenta a continuación.

Ilustración 7: Dotación de personal de cada sub proceso.

| Sub-proceso | Dotación [personas] |
|-----------------------|---------------------|
| Cámaras emplomadas | 37 |
| Cámaras no emplomadas | 17 |
| Frentes | 11 |
| Respaldos | 5 |
| Conjunto batería | 26 |
| Cortatiros | 11 |
| Kit electrónico | 7 |
| Línea de ensamble | 33 |
| Total | 147 |

Fuente: Gerencia de Producción, CEM.

Ilustración 8: Detalle de máquinas para cada sub proceso.

| | | | |
|--|---|---|---|
| <p>Respaldo</p> | <p>Cortatiro</p> | <p>Frentes</p> | <p>Kit electrónico</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> •Prensa Riva •Prensa Mach | <ul style="list-style-type: none"> •Taci Arrasate •Prensa Copress 1 •Prensa Hidráulica •Soldadora de punto 2 | <ul style="list-style-type: none"> •Arrasate •Fagor •Nisshimbo •Horno 1 •Horno 2 •Plegadora | <ul style="list-style-type: none"> •Prensa Spiertz |
| <p>Conjunto bujía</p> | <p>Conjunto batería</p> | <p>Camáras emplomadas</p> | <p>Cámaras no emplomadas</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> •Prensa Copress 2. | <ul style="list-style-type: none"> •Prensa Shuller •Prensa Emballetadora 1 •Prensa Roche •Prensa Búlgara •Prensa Spiertz. •Prensa Copress 2 •Emballetadora 2 •Equipo prueba de fuga Venturi •Equipo de prueba de fuga circuito •Torno Traub •Motor rebabado •Torno automático •Dimensionadora tubos •Transfer Cipo •Taladro Webo •Equipo burbujeador •Dispositivo armador •Equipo de prueba de fuga final | <ul style="list-style-type: none"> •Máquina china #2 •Bonfiglio •Copress •Expandidor radiador •Máquina china #3 •Expandidora racord-codo •Prensa neumática 1 •Emballetadora •Conformadora •Máquina china #1 •Curvadora OMS •Expandidora tubo descendente •Crippa •Lazpiur •Kerne | <ul style="list-style-type: none"> •Prensa remiremont •Prensa exc remiremont •Dispositivo móvil neumático •Prensa agrafadora •Prensa conformadora •Curvadora manual •Prensa neumática 2 •Sierra circular •Reductor de diámetro •Dispositivo neumático radiador •Dispositivo neumático fijación •Horno atmósfera •Abocardadora •Transfer giratoria de sopletes •Remiremont •Soldadora de punto 1 |

Fuente: Gerencia de Producción, CEM.

Las máquinas que son utilizadas por dos sub procesos o más son:

- Bonfiglio (Cámaras emplomadas): También es utilizada por Cámaras no emplomadas y por Conjunto Batería. En este caso, una persona de Cámara emplomadas se encarga de lavar todos los tubos de todos los sub procesos, por lo cual se puede apreciar que tanto la lavadora Bonfiglio como el operador pertenecen a Cámaras emplomadas pero además realizan tareas de los otros dos sub procesos.
- Máquina China # 3 (Cámaras emplomadas): Es utilizada además por Cámaras no emplomadas, en trozar codos y racords. En este caso la máquina y el operario pertenecen al sector de Cámaras emplomadas realizando sus respectivas tareas y además trozan codos y racords para Cámaras no emplomadas, los cuales después son trasladados a su sector en cajones.
- Expandidora racord-codo (Cámaras emplomadas): Es utilizada a su vez por Cámaras no emplomadas en las tareas de expandir racord y codos. Al igual que el caso anterior, la expandidora y sus operarios se encuentran localizados en el sector de Cámaras emplomadas realizando sus respectivas tareas de este sub proceso y, además expanden racords y codos para las Cámaras no emplomadas.
- Máquina china #1 (Cámaras emplomadas): También es utilizada por Cámaras no emplomadas, especialmente en las tareas de dimensionado de tubos de curva de salida de agua, conducción y serpentines. Al igual que los casos anteriores, esta máquina se encuentra ubicada en el sector de Cámaras emplomadas con su respectivo operario y además de realizar sus respectivas tareas realizan el dimensionado de los tubos señalados anteriormente para Cámara no emplomada.

El detalle para saber qué máquinas son utilizadas en qué tareas se puede apreciar en las Figuras Anexos de Anexos B, al igual que sus tiempos y periodos de fallas.

4.5 Análisis de tiempos de ciclo y ruta crítica

El análisis de los tiempos de cada una de las tareas para cada sub-proceso, permite determinar los tiempos puros de ciclo y las rutas críticas de fabricación para cada uno de éstos. En la Ilustración 9 se puede apreciar los tiempos de ciclo.

Ilustración 9: Tiempos de ciclo para cada sub proceso.

| Sub proceso | Tiempo de ciclo [min] | Tiempo ruta crítica [min] |
|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Frente | 3.61 | 3.07 |
| Respaldo | 0.59 | 0.59 |
| Cortatiro | 2.30 | 2.09 |
| Kit electrónico | 1.92 | 1.90 |
| Cámara emplomada | 10.51 | 8.08 |
| Cámara no emplomada | 14.87 | 9.78 |
| Conjunto batería | 10.88 | 4.89 |
| Línea de ensamble | 8.40 | 7.74 |
| Calefón emplomado | 38.21 | 15.82 |
| Calefón no emplomado | 42.57 | 17.52 |

Fuente: Elaboración propia.

De la ilustración anterior, se puede apreciar que un Calefón no emplomado tarda más en su fabricación que un calefón emplomado, al igual que su ruta crítica. A su vez, llama la atención la diferencia entre los tiempos para Conjunto batería, esto se debe a que este sub procesos es en su gran mayoría un sub proceso en paralelo. Por otro lado, se puede rescatar que tanto Respaldos como Kit electrónico poseen tiempos muy similares para tiempo de ciclo y tiempo de ruta crítica, y es principalmente a que son procesos cortos y en serie.

4.6 Tiempos muertos

El detalle de los tiempos muertos para cada sub proceso se puede apreciar en Anexos B.

Respecto al análisis de éstos, llama profundamente la atención que el tiempo de falla de la máquina Kerne (Cámara emplomadas) sea de 60 minutos y su periodo de falla sea de una vez al día, es decir, esta máquina está parada una hora diaria. Si se considera su tiempo estándar (0.66 min/unidades), se tiene:

$$\frac{1}{0.66 \text{ min/unidades}} = 1.52 \frac{\text{unidades}}{\text{min}}$$

Considerando su tiempo de falla, se obtiene:

$$1.52 \frac{\text{unidades}}{\text{min}} * 60 \text{ min} = 91.2 \text{ unidades}$$

Por lo tanto, en un día normal por culpa de la falla de Kerne, se dejan de producir 91 unidades de cualquier pedido.

Por otro lado, llama la atención el periodo de set up del horno atmósfera (Cámaras no emplomadas), puesto que su periodo de set up es diario y demora 120 minutos, es decir, 2 horas. Por lo tanto, hay que poner bastante ojo en este caso ya que además presenta un tiempo estándar bastante considerable aunque haya dos hornos que disminuyen el tiempo estándar.

4.7 Posibles puntos críticos del sistema

Tras realizar los diagramas de flujo para cada sub-proceso, con sus respectivos tiempos, se puede apreciar que las siguientes máquinas podrían convertirse en potenciales cuellos de botella al momento de modelar la planta. Es por ello que se debe tener especial atención. De todas formas, luego de la modelación se determinará que máquinas habrá que duplicar su dotación o dejarlas a dos turnos.

Ilustración 10: Posibles puntos críticos del sistema.

| Sub proceso | Tarea | Tiempo estándar [min/unidades] | Comentario |
|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|
| Frente | Punzado (Nisshinbo) | 0.49 | El tiempo estándar final era de 0.98 min/unidades, pero se dividió por 2 puesto que la planta tiene 2 Nisshinbo. |
| Respaldo | Plegado (Mach) | 0.43 | Hay solo una plegadora |
| Cortatiro | Cuerpo cortatiro (Taci Arrasate) | 0.30 | Tiempo estándar bajo. |
| Kit electrónico | Armado | 0.38 | Proceso manual |
| Cámara emplomada | Emplomar (Kerne) | 0.67 | Solo hay una máquina Kerne en la planta. |
| Cámara no emplomada | Horno atmósfera | 0.73 | La planta tiene dos hornos pero solo usa uno. |
| Conjunto batería | Tubo distribución (Transfer CIPO) | 0.77 | Solo hay una máquina |
| Línea de ensamble | Prueba de fuga | 0.51 | Hay tres líneas de ensamble cada una de ellas con tres banco de pruebas. |

Fuente: Elaboración propia.

Además se encontraron otros puntos críticos, que presentan tiempos estándar puros mayores pero que si se contrarresta con la capacidad, estos tiempos estándar disminuyen, pero no dejan de ser en algunos casos peligrosos. Los puntos críticos adicionales se pueden apreciar en la Ilustración 11.

Ilustración 11: Puntos críticos adicionales para los distintos sub procesos.

| Sub proceso | Tarea | Tiempo estándar [min/unidades] | Comentario |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--|
| Cámaras emplomadas | Curvadora | 0.67 | - |
| Cámaras emplomadas | Prensa copress radiador | 0.97 | La planta posee cuatro prensas y en proceso normal usa dos ó tres. |
| Cámaras emplomadas | Prueba de hermeticidad | 0.60 | Posee dos bancos para hacer las pruebas pero utiliza solo uno. |
| Cámara no emplomada | Curvadora serpentín | 0.79 | Actualmente la planta posee una prensa y otra máquina. |
| Conjunto batería | Camas | 0.59 | Tiene una máquina alternativa a la Camas (Twins) pero se debe reparar. |
| Conjunto batería | Prensa emballetadora 1 | 0.507 | - |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, la empresa posee en algunos casos máquinas alternativas que no están siendo usadas y/o se deben reparar, lo cual puede ser una opción muy rentable en comparación al adquirir una máquina nueva. Además estas posibles soluciones ayudarán a disminuir el tiempo estándar para cada tarea, lo cual permitirá mantener un flujo más constante y disminuir los posibles cuellos de botellas que se originarían.

4.8 Costos Mano de obra

Los costos de mano de obra son calculados utilizando la dotación del personal para cada sub proceso, el costo de mano de obra del último mes que fue de 210.000 USD y la producción que fue de aproximadamente 27.000 unidades.

El cálculo fue realizado de la siguiente forma:

$$\% \text{ Prorrrateado} = \frac{\text{Dotación sub proceso}}{\text{Dotación total}} * 100\%$$

Entonces,

$$\text{Costo mano de obra} = 210.000 * \% \text{ Prorrrateado}$$

Luego,

$$\text{Costo mano de obra por unidad} = \frac{210.000 * \% \text{ Prorrrateado}}{27.000}$$

El detalle de los cálculos es presentado en la Ilustración 12.

Ilustración 12: Costos de mano de obra para cada su proceso.

| Sub proceso | Dotación [personas] | % Prorrrateado | Costo mano de obra [USD] | Costo de mano de obra [USD/unidades] |
|----------------------------|---------------------|----------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Frente | 11 | 7.48 | 15.708 | 0.58 |
| Respaldo | 5 | 3.40 | 7.140 | 0.26 |
| Cortatiro | 11 | 7.48 | 15.708 | 0.58 |
| Kit electrónico | 7 | 4.76 | 9.996 | 0.37 |
| Cámara emplomada | 37 | 25.17 | 52.857 | 1.96 |
| Cámara no emplomada | 17 | 11.56 | 24.276 | 0.90 |
| Conjunto batería | 26 | 17.69 | 37.149 | 1.38 |
| Línea de ensamble | 33 | 22.45 | 47.145 | 1.75 |
| Total | 147 | 99.99 | 209.979 | 7.78 |

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior, se puede apreciar que los subprocesos con mayores costos de mano de obra [USD/unidades] son; Cámara emplomada, Línea de ensamble y Conjunto Batería. De forma análoga, los sub procesos con menores costos de mano de obra son; Respaldo y Kit electrónico. Finalmente, el costo total de mano de obra es 7.78 USD/unidades.

5. Modelo de programación lineal (PPL)

Primero que todo, se debe tener presente que se realiza una estimación de demanda para el próximo año y se corre el modelo matemático para tres escenarios (demandas) que son detallados más adelante.

5.1 Estimación de demanda

La estimación de demanda se realizó utilizando el Software SPSS, específicamente se hizo un alisamiento exponencial simple. Este alisamiento se realiza en aquellas series que presentan un comportamiento estacionario, es decir, son series que no poseen una tendencia y se pueden representar a través de la siguiente relación matemática:

$$X_t = a + u_t$$

Donde:

u_t : Término de perturbación aleatorio, con valor esperado cero y varianza constante $\forall t$.

a : Parámetro estimado a través de sumas ponderadas de las observaciones anteriores.

La expresión para cada estimación viene definida por:

$$S_T = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{T-1}$$

Donde:

S_{T-1} : Es la estimación de "a" obtenido en el periodo T-1.

α : Constante de alisamiento que toma valores entre 0 y 1.

Así el modelo va calculando en cada iteración S_T , que representaría la estimación de demanda para el periodo T.

Utilizando SPSS, se realizó una estimación de demanda para cada plataforma. Los resultados de la bondad del modelo son presentados a continuación:

Ilustración 13: Resultados bondad estimación de demanda en SPSS.

| Model Statistics | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|----------------------|-----------|--------|-----------------|----|------|--------------------|
| Model | Number of Predictors | Model Fit statistics | | | Ljung-Box Q(18) | | | Number of Outliers |
| | | Stationary R-squared | R-squared | MAPE | Statistics | DF | Sig. | |
| Beyond-Model_1 | 0 | ,914 | ,997 | 1,991 | . | 0 | . | 0 |
| Dom-Model_2 | 0 | ,910 | ,898 | 18,341 | . | 0 | . | 0 |
| Master-Model_3 | 0 | ,786 | ,967 | 60,548 | . | 0 | . | 0 |
| Mixer-Model_4 | 0 | ,946 | ,898 | 14,935 | . | 0 | . | 0 |
| PTC-Model_5 | 0 | ,896 | ,885 | 19,226 | . | 0 | . | 0 |
| Total-Model_6 | 0 | ,921 | ,963 | 4,060 | . | 0 | . | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior, se puede apreciar que cada estimación de demanda tiene un valor de R^2 bastante bueno, el mayor de ellos presenta un valor de 0.997 y el menor tiene un valor de 0.885.

A los resultados anteriores, se añaden los valores de las demandas estimadas para cada modelo los cuales son:

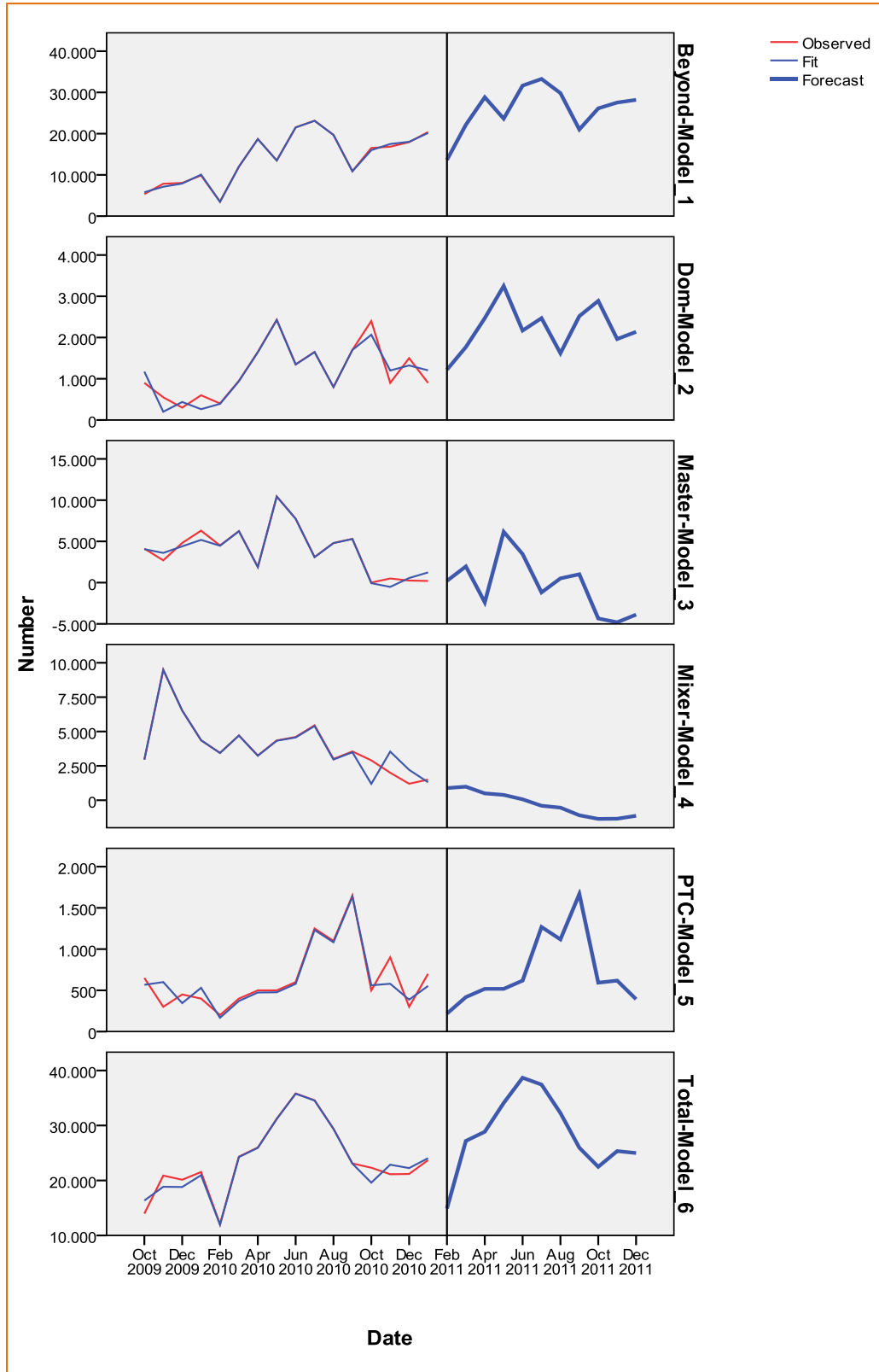
Ilustración 14: Demandas estimadas para cada plataforma.

| Modelo | Mes 1 | Mes 2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes 5 | Mes 6 | Mes 7 | Mes 8 | Mes 9 | Mes 10 | Mes 11 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Beyond | 13.631 | 22.151 | 28.827 | 23.631 | 31.652 | 33.261 | 29.831 | 21.021 | 26.135 | 27.540 | 28.190 |
| Dom | 1.219 | 1.769 | 2.469 | 3.249 | 2.169 | 2.469 | 1.619 | 2.519 | 2.887 | 1.962 | 2.137 |
| Master | 211 | 1.961 | 0 | 6.161 | 3.461 | 0 | 511 | 1.011 | 0 | 0 | 0 |
| Mixer | 884 | 983 | 497 | 386 | 65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PTC | 217 | 417 | 517 | 517 | 617 | 1.267 | 1.117 | 1.667 | 592 | 617 | 392 |
| Calefón c/plomo | 14.726 | 25.095 | 29.324 | 30.178 | 35.178 | 33.261 | 30.342 | 22.032 | 26.135 | 27.540 | 28.190 |
| Calefón s/plomo | 1.436 | 2.186 | 2.986 | 3.766 | 2.786 | 3.736 | 2.736 | 4.186 | 3.479 | 2.579 | 2.529 |
| Total | 16.162 | 27.281 | 32.310 | 33.944 | 37.964 | 36.997 | 33.078 | 26.218 | 29.614 | 30.119 | 30.719 |

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se presenta una forma gráfica de la estimación de cada modelo en la Figura 18, donde se puede apreciar visualmente las tendencias de las distintas demandas de cada modelo.

Figura 18: Gráficos de las estimaciones de demandas para cada modelo.



Fuente: Elaboración propia.

5.2 Modelo de optimización

Luego de estimar las demandas para cada plataforma, se hace el planteamiento del PPL, el cual es detallado a continuación:

- Parámetros

$T_{i,j,k}$: Tiempo de la máquina j que participa en la actividad k del producto i .

$M_{i,k}$: Tiempo de mano de obra en la actividad k del producto i .

M_i : Tiempo total disponible de mano de obra para el producto i .

M_j : Tiempo total disponible de la máquina j .

$C_{i,k}$: Costo del producto i en la actividad k .

$D_{i,k}$: Demanda del producto i de la actividad k .

$Z_{i,k,m}$: Valor del nodo m en la actividad k del producto i .

- Variables de decisión:

$X_{i,k}$: Cantidad de producto i de la actividad k .

- Restricciones

Naturaleza de las variables:

$$X_{i,k} \geq 0 \quad \forall i, k$$

Satisfacción de la demanda:

$$D_{i,k} \leq X_{i,k} \quad \forall i, k$$

Mano de obra:

$$\sum_k M_{i,k} * X_{i,k} \leq M_i \quad \forall i$$

Máquinas:

$$\sum_i \sum_k T_{i,j,k} * X_{i,k} \leq M_j \quad \forall j$$

Balance de productos para cada nodo:

$$\sum_k Z_{i,k,m} * X_{i,k} \leq X_{i,k} \quad \forall m, i$$

- Función objetivo:

$$\text{Min} \sum_i \sum_k C_{i,k} * X_{i,k}$$

Para la resolución con la herramienta Solver, se desagrega el problema de una forma muy peculiar y se utiliza las rutas críticas presentadas anteriormente. Primero que todo, se trabaja independientemente cada producto, los cuales son: Respaldo, Cortatiro, Frentes, Kit electrónico, Conjunto bujía, Conjunto Batería, Cámara emplomada y Cámara y que en su conjunto son necesarios para formar un calefón en la Línea de ensamble.

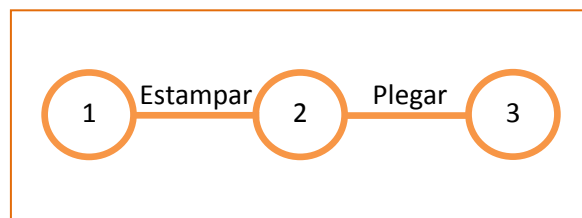
Por lo tanto, cada uno de los productos es una unidad de trabajo que tiene sus propias restricciones de recursos disponibles (humanos y técnicos) y para describir la secuencia de sus actividades y/o tareas para su formación se utilizan las rutas críticas indicadas anteriormente.

Finalmente, en la Línea de ensamble se muestra la secuencia necesaria para unir cada producto y formar finalmente el calefón, incluyendo las restricciones de recursos disponibles y utilizados, demandas, etc. La función objetivo del PPL se encuentra en la Línea de ensamble.

Para ejemplificar todo lo anterior, se explicará en detalle cómo se modeló el producto Respaldo:

1. Primero que todo, se piensa el problema como un modelo de red, es decir, una secuencia de nodos y arcos, donde los nodos son la cantidad de productos que transitan al interior de la planta y los arcos reflejan las distintas actividades que se deben llevar a cabo para que se pueda formar un producto.

Figura 19: Red para Respaldo.



Fuente: Elaboración propia.

En este caso se utilizan dos actividades (Estampar y Plegar) y se tienen 3 nodos para unir estas actividades en serie y en cada nodo hay una cantidad de prospectos Respaldo, como es en serie, las unidades que parten en el nodo 1 (planchas lisas iniciales) debe ser igual a lo que salga del nodo 3 (respaldo listos).

Por lo tanto, esta red genera restricciones de balance de productos, es decir todo lo que entra a un nodo debe ser igual a lo que sale.

Todo lo anterior se replica para cada producto que se hace al interior de la planta, incluido la línea de ensamble.

2. Luego de formar la red, se plantea el caso con el siguiente esquema:

Figura 20: Esquema de planteamiento para el producto Respaldo.

| Respaldo | | | | |
|---------------------|--------|----------|--------|--------------------|
| | | Estampar | Plegar | |
| Costo | | 0.13 | 0.13 | |
| X | | 37964 | 37964 | |
| Dda | | 37964 | 37964 | |
| Productos | | | | |
| Estampar | Nodo 1 | 1 | | 37964 37964 |
| Plegar | Nodo 2 | -1 | 1 | 0 4.54747E-13 |
| Respaldo | Nodo 3 | | -1 | -37964 -37964 |
| Máquinas | | | | |
| Prensa Riva | | 0.003 | | 101.237 166.5 |
| Prensa Mach | | | 0.007 | 272.075 333 |
| Mano de obra | | | | |
| | | 0.003 | 0.007 | 373.313 535.5 |

Fuente: Elaboración propia.

Estos esquemas, contienen información muy relevante para la herramienta Solver. En la parte superior de la figura 20 se presentan en las columnas las actividades necesarias para formar el producto. Luego en las filas, se encuentran los parámetros (costos de mano de obra [USD/unidades] y Demanda estimada) y la variable de decisión de la cantidad a producir (X).

Luego en “Productos”, se hace el balance de productos a través de la red, para ello se ubican los tres nodos definidos en el paso anterior y sus respectivas actividades, los valores (1,-1) son utilizados para realizar dicho balance de productos, es decir, que todo lo que ingrese a un nodo sea igual a lo que salga de él.

Posteriormente en “Máquinas”, se ingresan los tiempos que tardan en las distintas actividades las máquinas y a un costado se encuentran las restricciones de las horas de máquinas ocupadas versus las horas de máquinas disponibles. Análogamente, “Mano de obra” se plantea de la misma forma que Máquinas.

Se debe tener presente que se agrega la restricción del cumplimiento de la demanda y las modelaciones son para tres escenarios de demandas definidos.

3. Línea de ensamble

Cuando se termina de fabricar cada uno de los productos necesarios para la formación de un calefón, se llevan todo a Línea de ensamble, la cual se representa con el mismo planteamiento de Respaldo. Cabe destacar que para describir la actividad de la unión de la cámara en la línea de ensamble, se considera un nodo que tiene dos arcos con productos de ingreso y que saldrá solo uno, esto debido a la consideración de que la cámara puede ser emplomada o no. En Anexos C se puede apreciar figuras similares a Figuras 20 que fueron creadas para los productos restantes.

Finalmente, para ver el completo recorrido que hace un producto al interior de la planta, en este caso se trazó para Frentes, se puede apreciar en Anexo A.

6. Resultados obtenidos y análisis

Se debe tener presente que para el análisis de los resultados se utilizan tres escenarios definidos por niveles de demanda, los cuales son:

- Escenario 1 con una demanda de 16.162.
- Escenario 2 con una demanda de 27.281.
- Escenario 3 con una demanda de 37.964.

Se escogieron dichas demandas puesto que en el caso de Escenario 1 representa la menor demanda que podría tener el negocio y sería importante saber cómo serían los rendimientos de la planta en ese caso. Para el segundo escenario, se tiene que es una buena aproximación del mes correspondiente con el cual se calculó la productividad de la mano de obra y los tiempos utilizados en cada actividad, lo cual permitiría comparar si la reasignación de mano de obra es útil y produce beneficios para la planta. Finalmente, el Escenario 3 refleja el objetivo hacia el cual se quiere dejar la planta, (aumentar la capacidad de ésta en 10.000 unidades) y permitiría ver qué rendimientos se obtendrían.

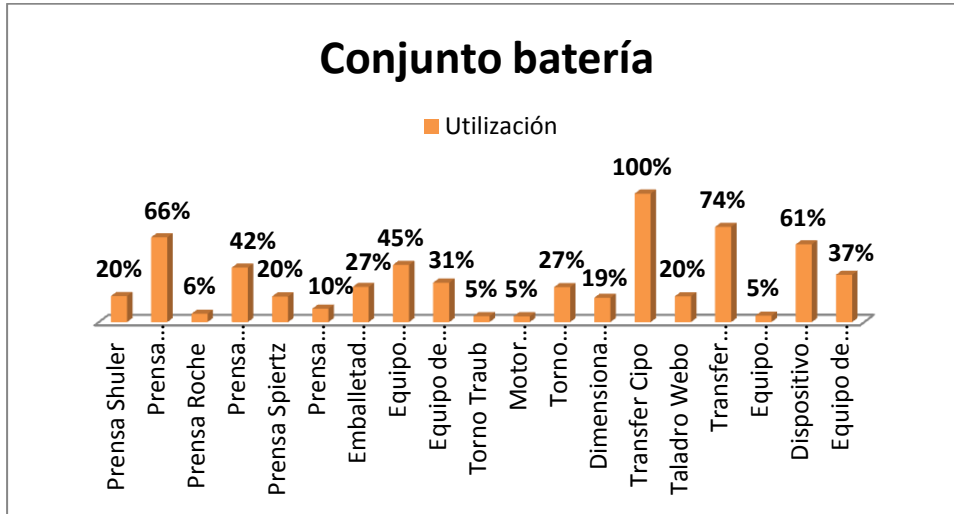
Tener en cuenta que de un escenario a otro, las máquinas podían llegar al 100% de utilización fácilmente e impedir que se encontrase una solución al PPL, puesto que no se cumplían las restricciones respecto a las horas utilizadas v/s horas disponibles, es decir, para fabricar más productos se debían contar con mayor horas disponibles para ciertas máquinas. Por lo tanto, frente a ese problema se fueron modificando la cantidad de horas disponibles, dependiendo si se dejaba a dos turnos una máquina o si se adquiría una nueva. Lo anterior conlleva a una baja de la utilización de máquinas en los escenarios mayores.

Considerar que el análisis de los resultados se realiza para cada recurso que es usado por la planta, es decir, para máquinas y mano de obra.

6.1 Resultados y análisis para primer escenario.

Los resultados obtenidos para las máquinas utilizadas de los distintos productos bajo el primer escenario son presentados a continuación:

Figura 21: Resultados máquinas Conjunto Batería en el primer escenario.

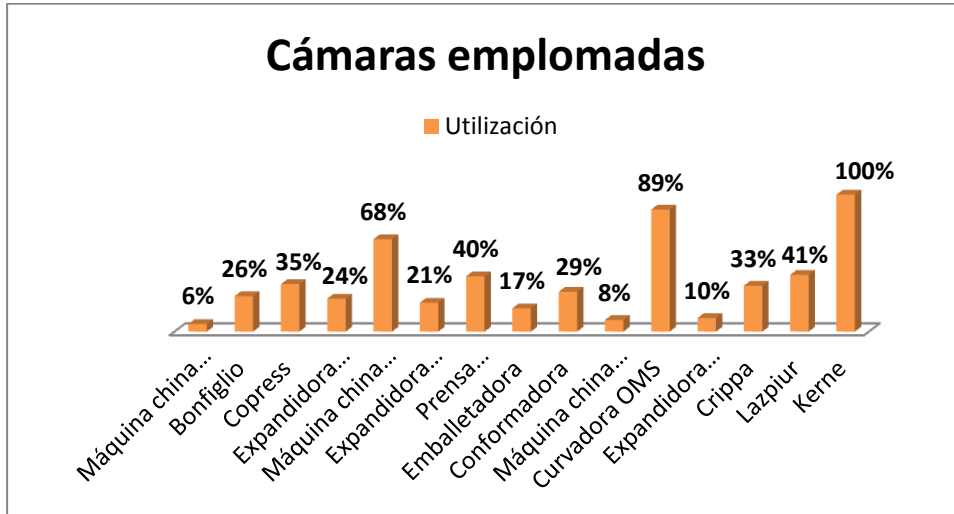


Fuente: Elaboración propia.

De la Figura anterior, se puede apreciar que existe un dispositivo que bajo la demanda de 16.162 alcanza un grado de utilización de un 100%, por lo cual se convierte inmediatamente en un cuello de botella de este sub proceso, que correspondería a la máquina Transfer Cipo. Frente a este caso, se debería adquirir una nueva máquina que se encargue de esta tarea para poder aumentar la producción.

Otros equipos que son de cuidado, serían Transfer Camas y Prensa Emballetadora 1. Para la primera, existe una máquina que realiza la misma función (Twins) pero se debe reparar, lo cual es muy conveniente porque se ahorraría una inversión. Para la segunda, a pesar que ya hay dos en la planta, sería útil agregar una nueva puesto que lo más probable es que al aumentar la producción se convierta nuevamente en cuello de botella.

Figura 22: Resultados máquinas Cámaras emplomadas en el primer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

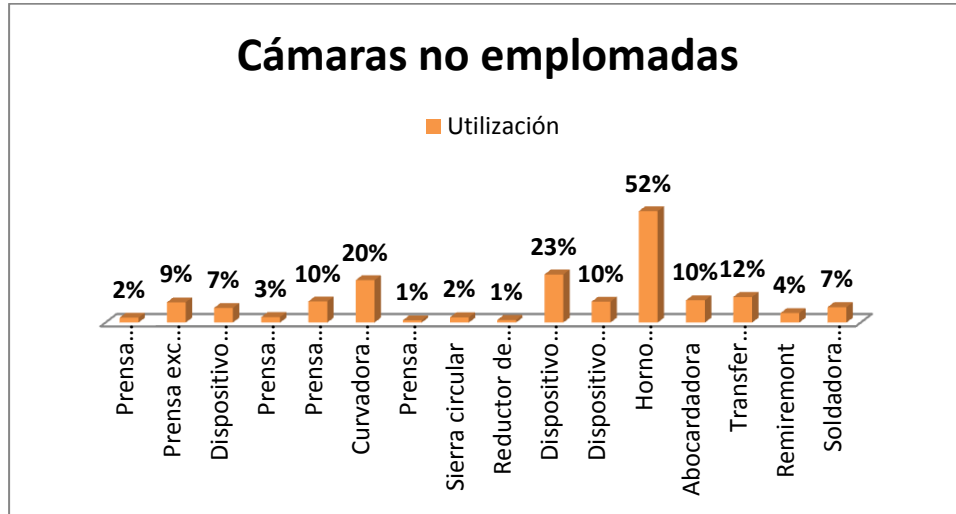
Para el caso de cámaras emplomadas, el dispositivo encargado del baño de plomo (Kerne) colapsa con la primera demanda, luego lo sigue: Curvadora OMS y Máquina china #3. Para Kerne, se tienen dos posibles soluciones:

- Adquirir una nueva máquina Kerne, lo cual no es una opción 100% recomendable puesto que la maquina presenta tiempos muertos altos (una hora al día).
- Hacer funcionar la máquina en dos turnos, de esta forma se consigue llevar su capacidad de producción al doble.

De lo anterior, la segunda solución es más factible ya que se evitaría la compra de una máquina que no es muy productiva debido a sus altos tiempos muertos.

Para el caso de la Curvadora OMS, se tendrá que adquirir una nueva máquina puesto que solo se cuenta con una para que cuando se modele el segundo escenario no se convierta en cuello de botella.

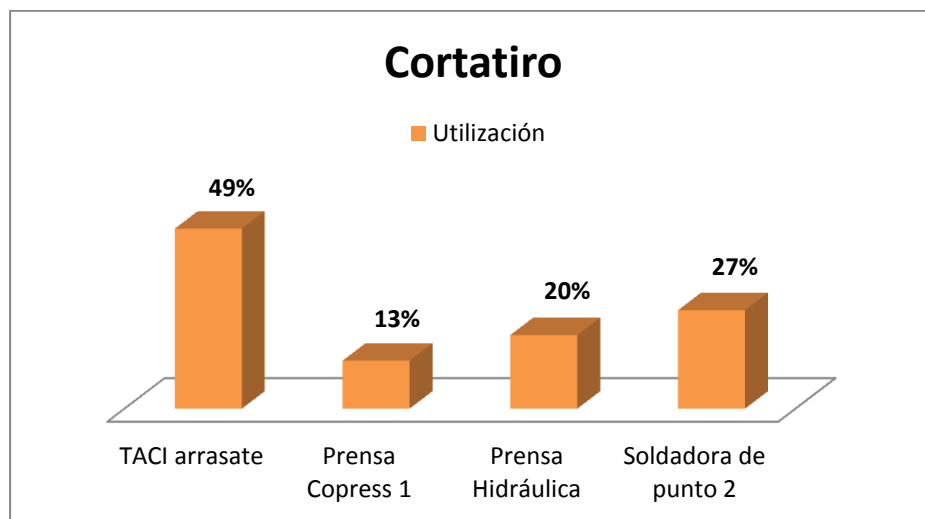
Figura 23: Resultados máquinas Cámaras no emplomadas en el primer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de Cámaras no emplomadas, se presta atención al comportamiento del Horno atmósfera, en este caso alcanza un 52% de utilización. De todas formas, la planta cuenta con un horno similar pero que no es utilizado actualmente. Entonces, si se necesita más cantidad de horas disponibles para Horno atmósfera en los escenarios con mayor demanda, se deberá considerar las horas del horno que hoy no es usado.

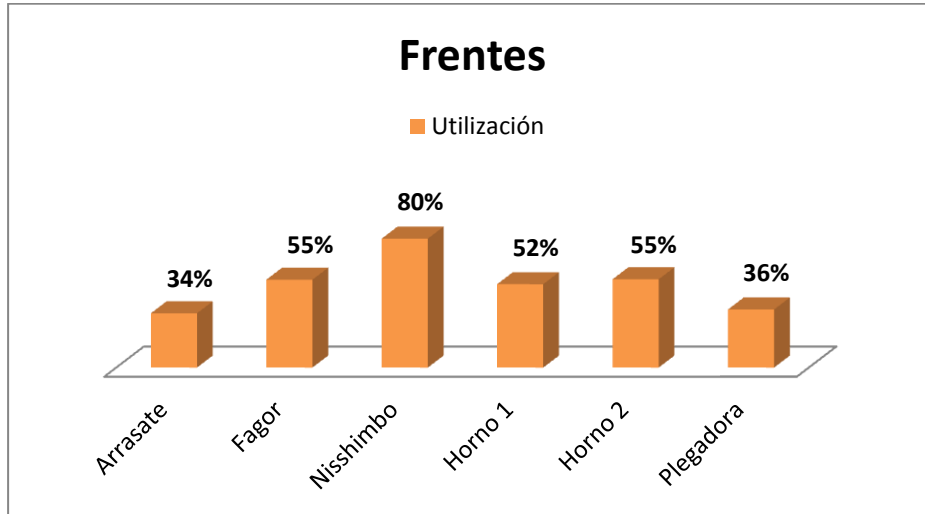
Figura 24: Resultados máquinas Cortatiro en el primer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de Cortatiro, ninguno supera el 50%. Pero se debe tener precaución con la prensa TACI arrasate.

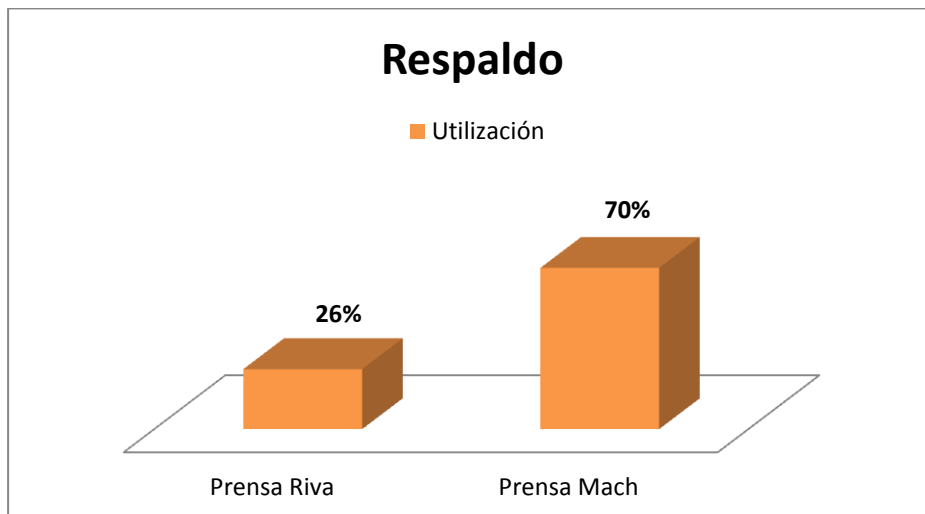
Figura 25: Resultados máquinas Frentes en el primer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso particular de Frentes, se tiene que Nisshimbo tienen un 80% de utilización, aun cuando se considera trabajar con las dos máquinas conjuntamente. El principal problema de estas máquinas es que presentan un tiempo de falla alto (4 horas al mes). Además, su set up es con cada cambio de modelo. Claramente estos equipos se comportarán como cuellos de botellas si se aumenta la demanda, entonces para anteponerse a este caso se decide poner ambos equipos a dos turnos para la modelación del escenario 2.

Figura 26: Resultados máquinas Respaldo en el primer escenario.



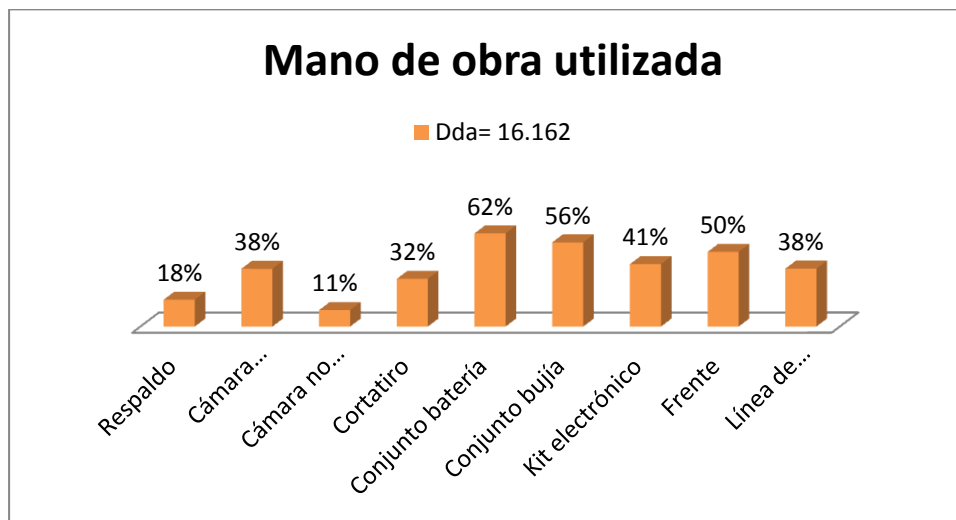
Fuente: Elaboración propia.

Para el sub proceso de Respaldo se tiene que la Prensa Mach sería una máquina que se puede convertir en cuello de botella si se aumenta la capacidad de la planta. Por lo tanto, se debe comprar una plegadora similar ya que la planta no cuenta con otra que permita dar fluidez a la producción. Entonces, para la modelación del escenario 2, se considera las horas disponibles de esta máquina como el doble.

Para el caso de kit electrónico y conjunto bujía, se obtiene un 3% de utilización de las prensas, las cuales no son un problema si se aumenta la capacidad de producción.

En cuanto a la mano de obra para el primer escenario, se tiene que:

Figura 27: Resultados mano de obra en el primer escenario.



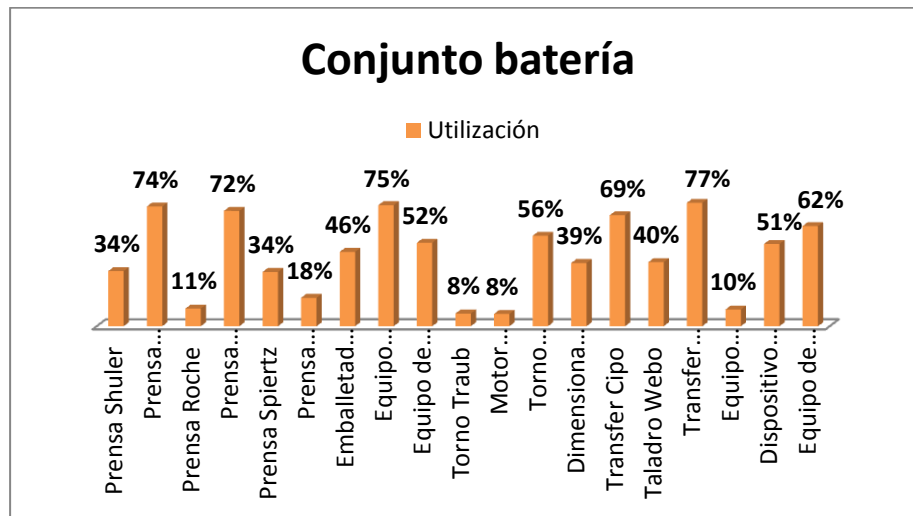
Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que la mayoría de los procesos están bajo el 70%, pero hay algunos que tienen un bajo porcentaje de utilización como es Cámara no emplomada y Respaldo (ambos bajo el 20%). De lo anterior, se realiza una reasignación de mano de obra, aumentando la dotación para Conjunto batería y Conjunto bujía en cuatro y un operario respectivamente. Los recursos anteriores son sacados de Cámara no emplomada.

6.2 Resultados y análisis para segundo escenario.

Los resultados obtenidos para el segundo escenario, son a partir de las sugerencias y conclusiones que se obtuvieron de la simulación del Escenario 1, es decir, aquellas máquinas que se decidió dejarlas a dos turnos y/o adquirir en esta modelación se consideran como hechos reales, por lo que sus horas disponibles se incrementaron y los % de utilización de algunas máquinas pueden disminuir respecto al Escenario 1. De forma similar se actuó con horas disponibles en mano de obra. Por lo tanto, los resultados obtenidos para una demanda equivalente a 27.281 unidades son:

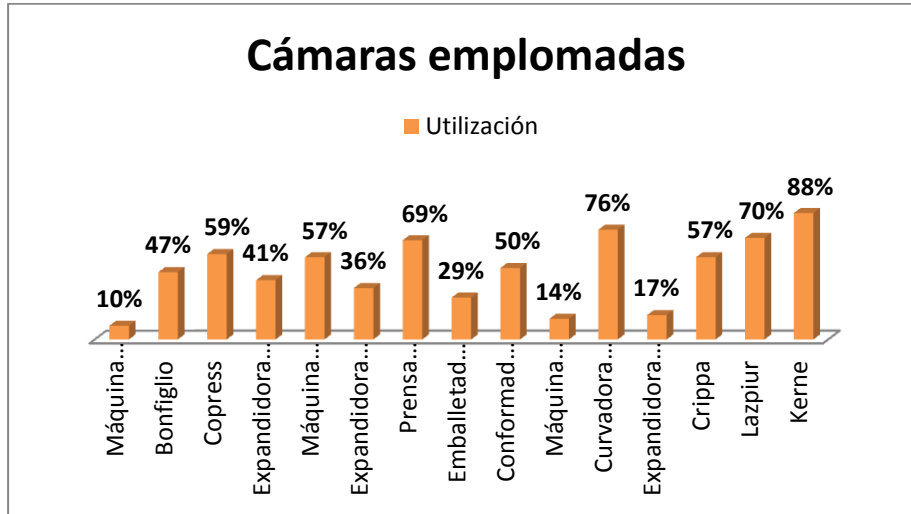
Figura 28: Resultados máquinas Conjunto batería en el segundo escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para Conjunto batería, existen varias máquinas sobre el 70% de utilización. Por lo tanto, se debe prestar atención a: Prensa Emballetado 1, Transfer camas, Equipo prueba de fuga Venturi, Prensa Búlgara y Transfer CIPO. Lo más conveniente es poner a éstas en doble turno en el caso de incrementar la demanda.

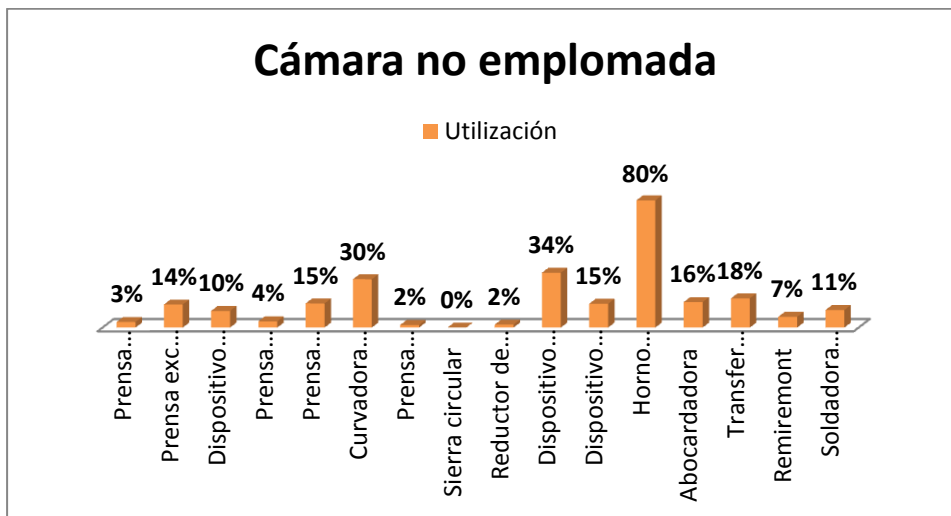
Figura 29: Resultados máquinas Cámaras emplomadas en el segundo escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para este caso, las que poseen un mayor porcentaje de utilización son; Kerne, Curvadora OMS, Lazpiur y Prensa neumática 1. La mayoría fue objeto de estudio en el Escenario 1 y al parecer son casos límite si se aumenta la demanda en 10.000 unidades. Una de las opciones de solución es dejarla a cada una de ella en doble turno, o adquirir otras nuevas para que puedan responder al aumento de la demanda del escenario 3. Pero frente a la posibilidad de incurrir en una gran inversión, está el caso de disponer la planta en doble turno para aquellas actividades que lo requieran y así se ahorra en inversión.

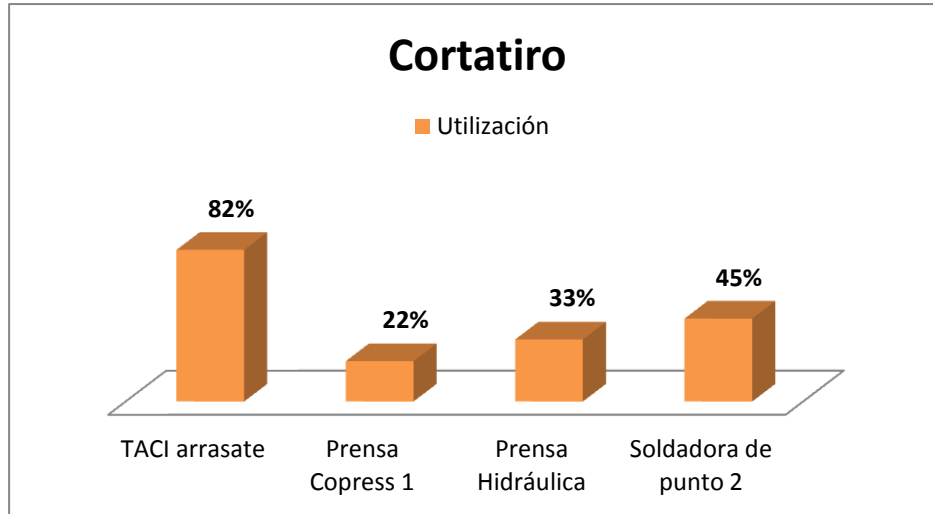
Figura 30: Resultados máquinas Cámara no emplomada en el segundo escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de cámaras no emplomadas, la máquina que presenta el mayor porcentaje de utilización y que se puede transformar en un cuello de botella para este sub proceso, sería el Horno Atmósfera, actualmente la planta presenta otro dispositivo pero no está en uso. Por lo anterior, la solución es usar el segundo horno para la modelación del escenario 3.

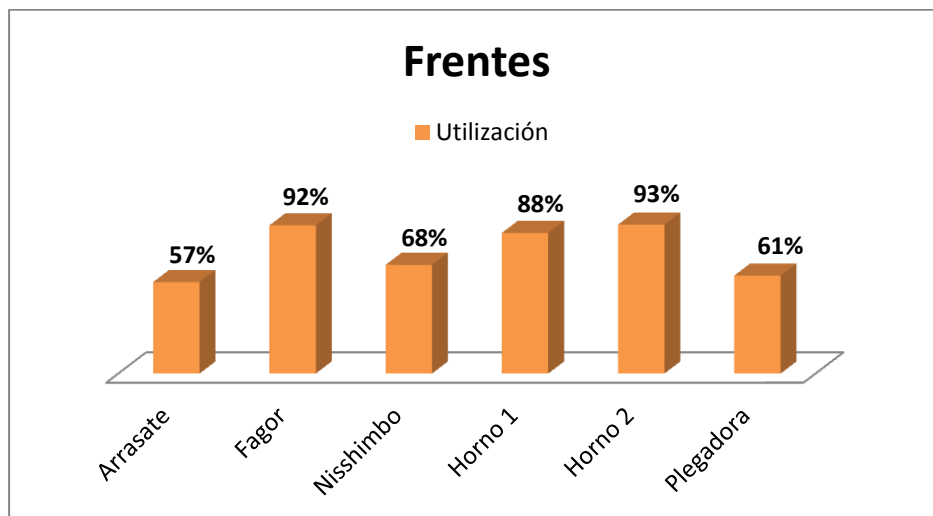
Figura 31: Resultados máquinas Cortatiro en el segundo escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para Cortatiro, se aprecia que hay un comportamiento dentro de lo normal, pero se debe prestar atención a TACI arrasate, puesto que si se incrementa la demanda en 10.000 unidades, se alcanza el límite de utilización de la máquina. Una posible solución es poner otra TACI arrásate o dejarla funcionando a dos turnos.

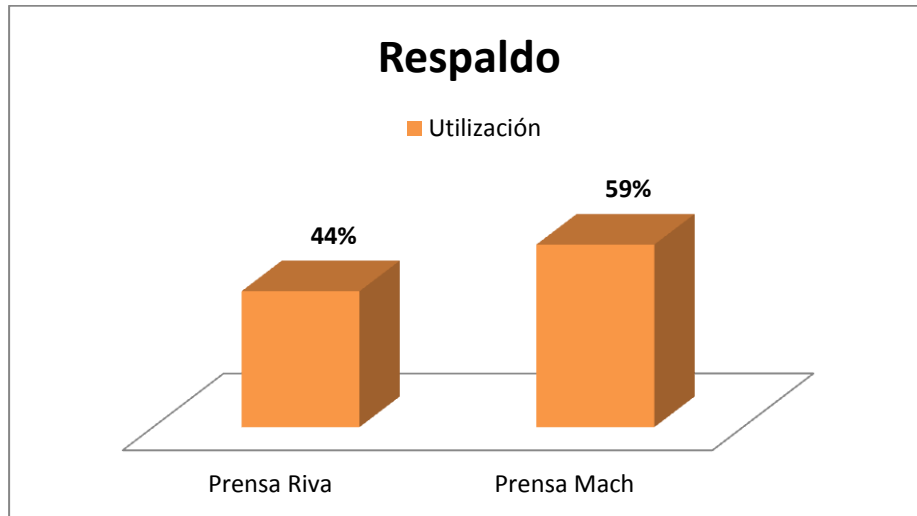
Figura 32: Resultados máquinas Frentes en el segundo escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de Frentes, se tienen que la prensa Fagor y los hornos están en un caso crítico puesto que si se aumenta la demanda, lo más probable es que éstas no den abasto. Por lo tanto, se sugiere que para Fagor, Horno 1 y 2, se dejen en doble turno.

Figura 33: Resultados máquinas Respaldo en el segundo escenario.



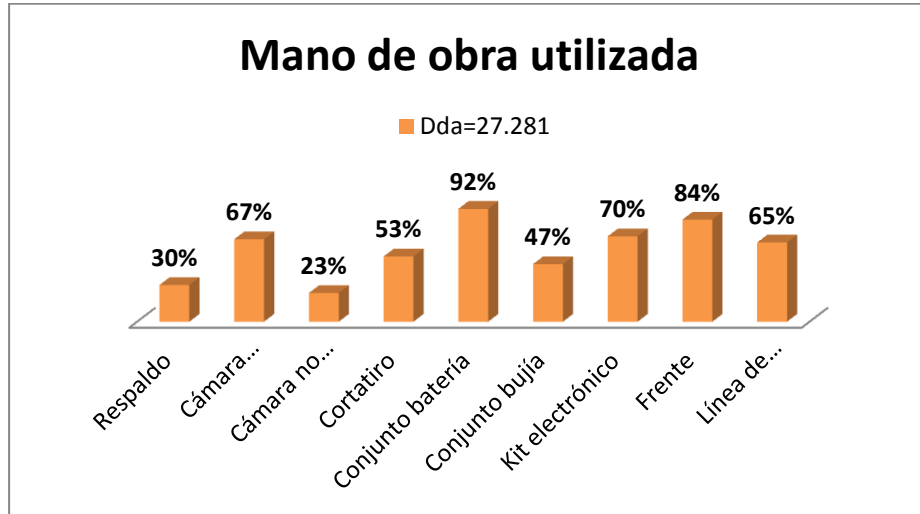
Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados indican que la decisión de incrementar la dotación de la Prensa Mach es una buena decisión puesto que se baja la utilización de este recurso. Sin embargo, lo más probable es que si se aumenta la demanda en 10.000 unidades se logre una utilización de un 100%.

En cuanto a la mano de obra, se hace una reasignación para equilibrar la utilización de ésta. De esta forma se traspasa una persona de Respaldo para frentes y dos personas desde Cámaras no emplomadas a Conjunto batería.

La utilización de la mano de obra de cada sub proceso, son presentados en la Figura 34.

Figura 34: Resultados mano de obra en el segundo escenario.



Fuente: Elaboración propia.

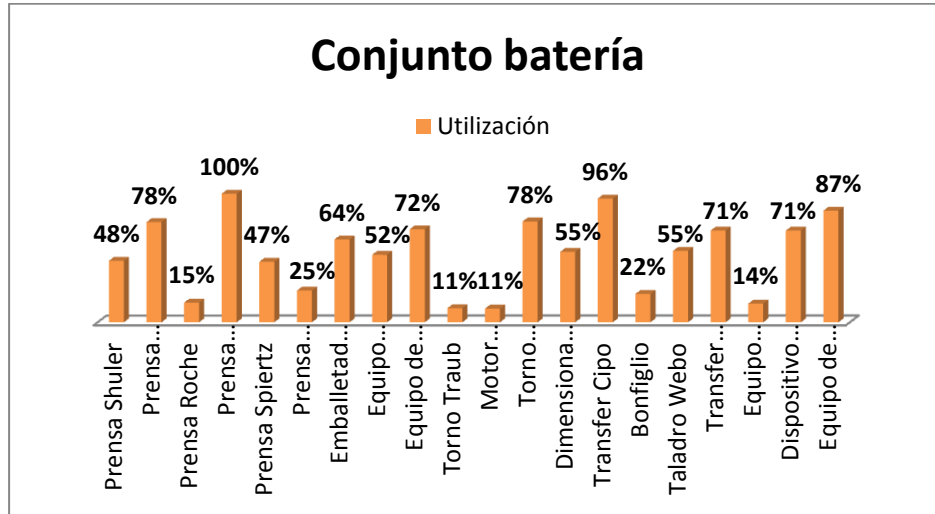
Se puede apreciar, que si bien se reasignaron recursos humanos, Conjunto batería sigue con un alto porcentaje de utilización de mano de obra. De lo anterior, si se aumenta la demanda se deberá destinar más recursos para este sub proceso, En tanto Respaldo y Cámaras no emplomadas son buenos candidatos para liberar recursos. Para aquellas máquinas que se dejen a dos turnos y necesiten un operario, se designará a un operario del producto al cual pertenece la máquina para esa labor, es decir, de esta mano de obra habrá algunas personas que se irán al segundo turno (en menor cantidad) y otras trabajarán en el primer turno, no es que se doble la dotación de personal, solo se reasigna las personas en distintos turnos al interior de la planta.

6.3 Resultados y análisis para tercer escenario.

Tal como en el escenario anterior, las sugerencias que surgieron en el Escenario 2, fueron consideradas como decisiones reales para la modelación, por lo que se incrementó las horas disponibles de dichas máquinas y es probable que los % de utilización de algunas máquinas disminuyan respecto al Escenario 2. De forma similar se actuó para las horas disponibles de mano de obra, es decir, si se sugirió incrementar la dotación en la modelación del Escenario 3 se dio por hecho y se incrementaron las horas disponibles.

Los resultados obtenidos para una demanda correspondiente a 37.964 unidades son presentados a continuación:

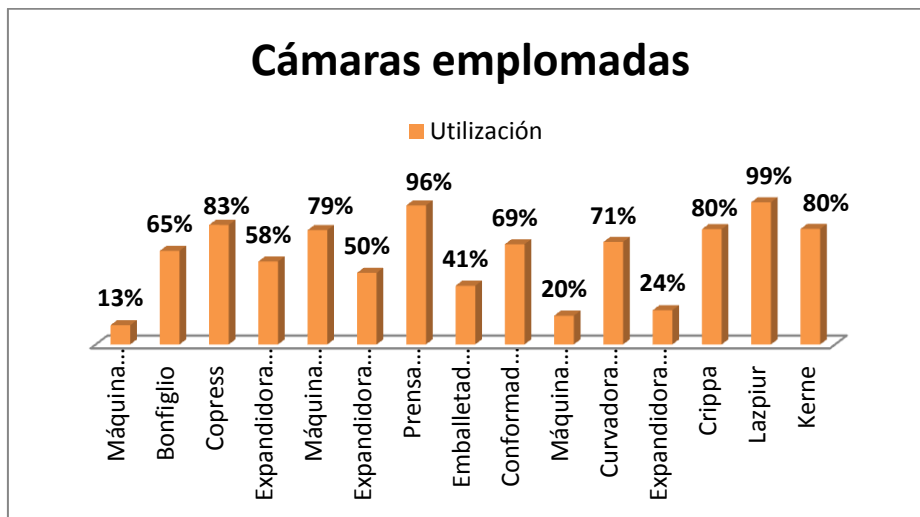
Figura 35: Resultados máquinas Conjunto batería en el tercer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para Conjunto batería se obtiene una gran diferencia de porcentajes de utilización de sus máquinas. Hay dispositivos que están muy al límite de su utilización y que si se aumenta la demanda no podrán satisfacerla, y por otro lado, existen máquinas con muy bajo porcentaje de utilización. Se debe prestar cuidado a Prensa búlgara, Transfer Cipo, Equipo de prueba de fuga final, Torno automático, Prensa emballetadora 1, entre otros.

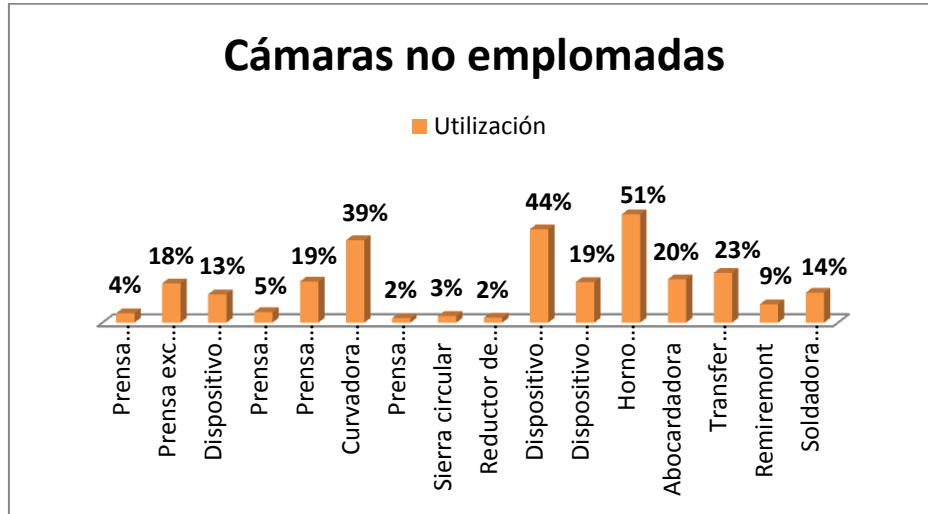
Figura 36: Resultados máquinas Cámaras emplomadas en el tercer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para este caso, las horas disponibles de máquinas son suficientes para producir 37.000 calefones, pero hay algunas de ellas que presentan porcentajes de utilización muy altos como; Lazpiur, Prensa neumática 1, Kerne, Crippa y Copress.

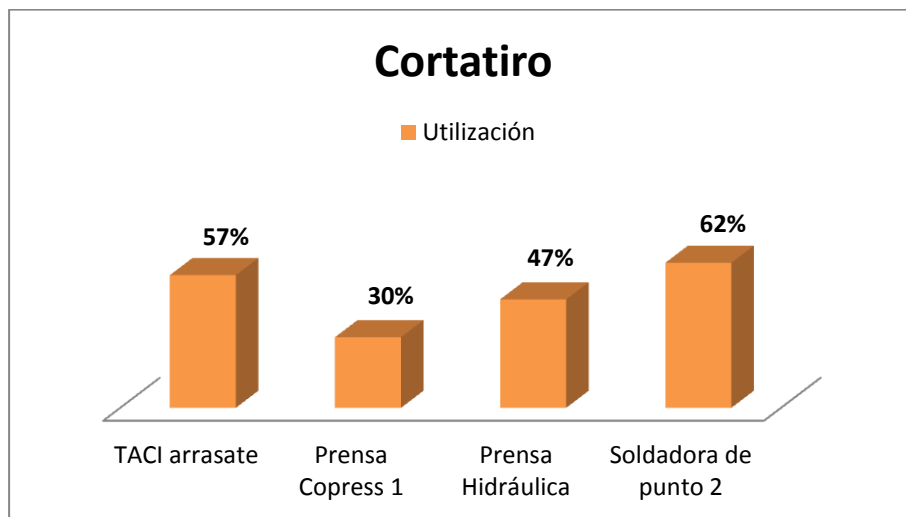
Figura 37: Resultados máquinas Cámaras no emplomadas en el tercer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Para este sub proceso, la utilización de la maquinaria es relativamente bajo, solo tres de ellas logran porcentajes mayores al 39%. En caso de que se aumente la demanda por calefones no emplomados, se debe poner en curso el otro horno existente y dejar a doble turno la Curvadora manual y el Dispositivo neumático radiador.

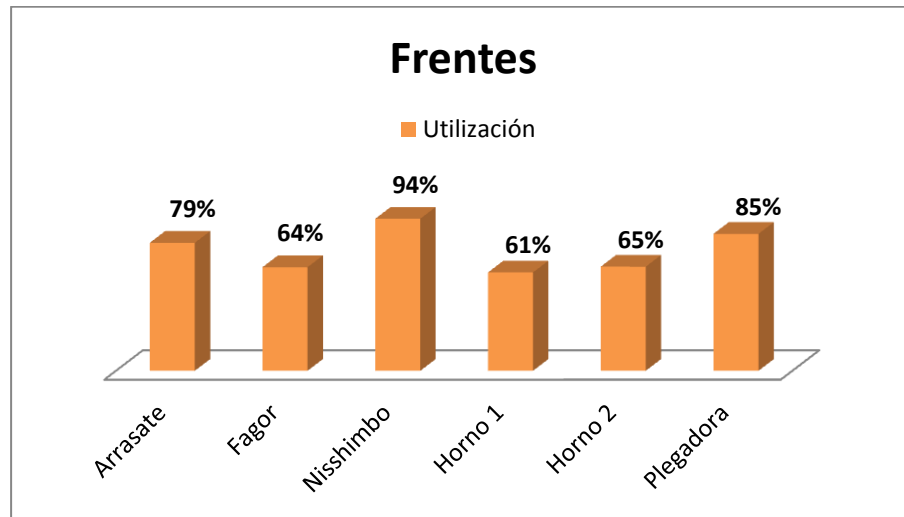
Figura 38: Resultados máquinas Cortatiro en el tercer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

En este caso, se obtienen porcentajes de utilización bastante ideales y hasta bajos. Si se aumenta la demanda lo más probable es que no corran un riesgo de no poder satisfacer dicha demanda.

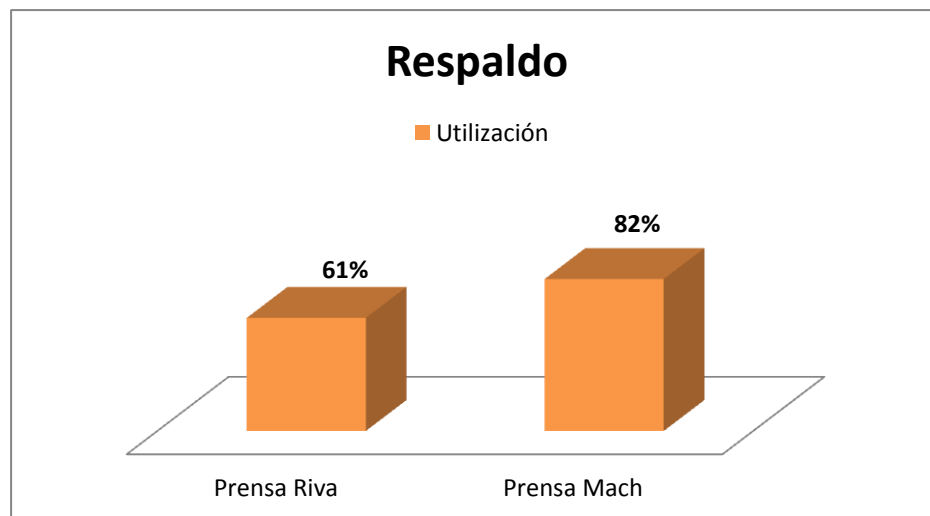
Figura 39: Resultados máquinas Frentes en el tercer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

En este caso se obtiene índices de utilización un poco más uniformes que el resto de los sub procesos, pero en general pueden desarrollar tranquilamente las tareas asignadas.

Figura 40: Resultados máquinas Respaldo en el tercer escenario.

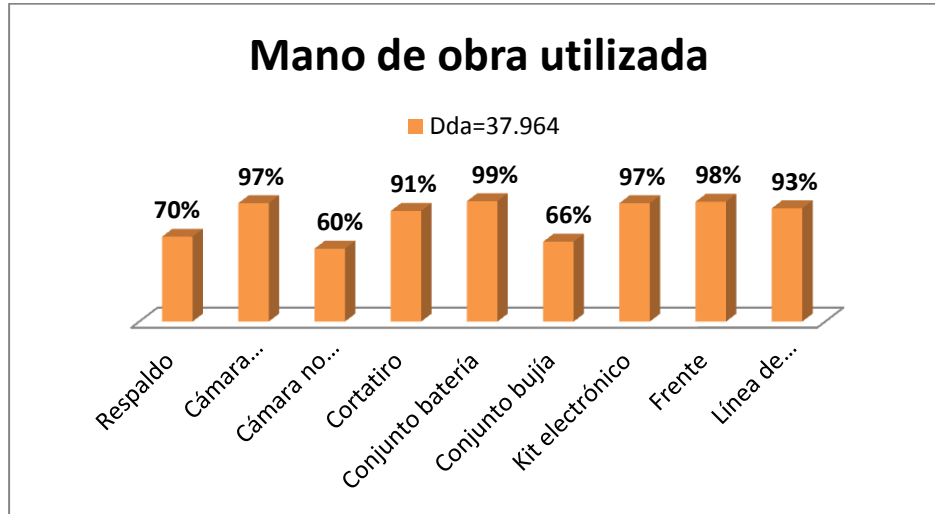


Fuente: Elaboración propia.

Para este sub proceso, se aprecia que las dos máquinas alcanzan a cubrir la demanda estipulada y poseen porcentajes de utilización bastante aceptables

Por otro lado, Conjunto bujía y Kit electrónico no tienen problemas en cuanto a la utilización de las prensas puesto que ésta alcanza un 7% en cada uno de ellos.

Figura 41: Resultados mano de obra en el tercer escenario.



Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que para alcanzar este resultado, se reasigna nuevamente los recursos de dotación al interior de la planta, de forma tal que Respaldo resultó con 3 personas, Cortatiro con 9, Frentes con 13, Kit electrónico con 7, Conjunto bujía con 2, Conjunto batería con 39, Cámaras emplomadas con 36, Cámaras no emplomadas con 6 y Línea de ensamble con 32.

De lo anterior, si bien con la misma cantidad de dotación de trabajadores se puede llevar a cabo las diferentes tareas, hay muchas de ellas que alcanzan niveles de utilización sobre el 90% tales como; Cámara emplomada, Cortatiro, Conjunto batería, Kit electrónico, Frente y Línea de ensamble. De todas formas, se sugiere que se contrate más personal puesto que no es posible asegurar que los operarios estén 100% del turno trabajando, siempre habrá un delta tiempo que se debería considerar, como por ejemplo los tiempos destinados a la serie de ejercicios al interior de la planta (para evitar problemas de salud al llevar tanto tiempo en una misma tarea), los tiempos que se dirijan al baño, etc. Aunque en la modelación si se consideró el horario de colación de cada trabajador.

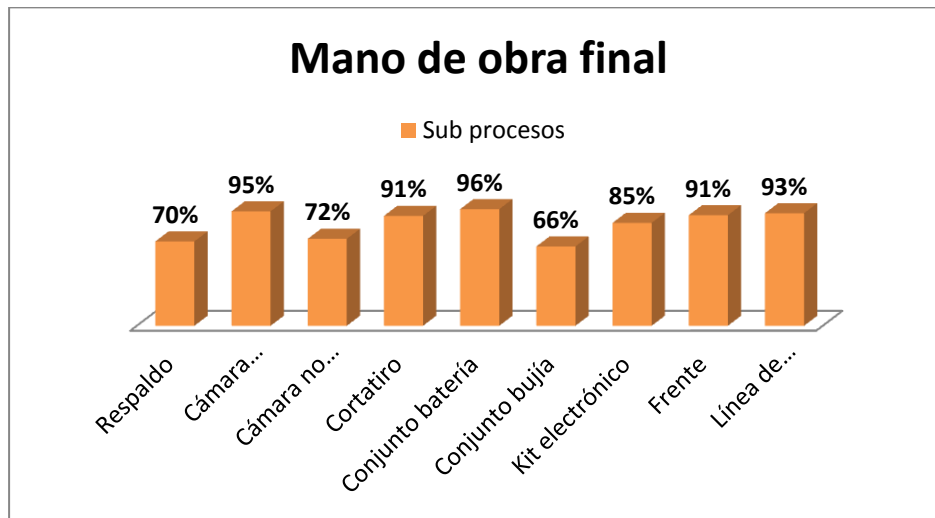
Por otro lado, se debe tener presente que de esta dotación se asignarán a operadores para que trabajen en el segundo turno en aquellas máquinas que requieran esto. Entonces, no es que esta dotación se vea duplicada por la existencia de dobles turnos en la planta, solo se asignarán operarios a primer y segundo turno dependiendo de las necesidades.

6.4 Dotación final de mano de obra y máquinas.

A partir de los resultados obtenidos bajo los tres escenarios, especialmente del último ya que dejaría la planta para una producción de 37.000 calefones aproximadamente, se toman decisiones tanto para mano de obra como para el recurso máquinas.

Para mano de obra, se determina aumentar la cantidad de operarios al interior de la planta, de forma tal de bajar y nivelar la utilización de la mano de obra en todos los subprocesos. Los resultados son presentados en la Figura 42.

Figura 42: Resultados mano de obra propuesta final.



Fuente: Elaboración propia.

Para lograr lo anterior, se deben contratar tres personas más, las cuales llegan para reforzar los equipos de Conjunto batería, kit electrónico y Frente. Además se traspasó una persona de Cámara no emplomada a Cámara emplomada. La dotación final de la planta se puede apreciar en la Ilustración 15.

Ilustración 15: Dotación propuesta de operarios.

| Sub proceso | Dotación [Personas] |
|----------------------------|----------------------------|
| Respaldo | 3 |
| Cámara emplomada | 37 |
| Cámara no emplomada | 5 |
| Cortatiro | 9 |
| Conjunto batería | 42 |
| Kit electrónico | 8 |
| Frente | 14 |
| Línea de ensamble | 32 |
| Total | 150 |

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar, que la dotación de Conjunto bujía está incluida en Conjunto batería y fue tratado como sub proceso aparte solo para resolver el PPL por un tema de simplicidad del modelo.

Además, para aquellas máquinas que necesiten operario en caso de que queden en segundo turno, se reasignarán trabajadores de la dotación total para que trabajen en el segundo turno y otros en el primer turno, no implica que la dotación total se vaya a duplicar debido a que se trabajará en doble turno toda la plata. Lo anterior, se puede hacer debido a la forma en cómo se modeló el problema, considerándose las horas disponibles totales de mano de obra mayores que las horas disponibles totales requeridas.

Para el caso del recurso máquinas, a través de los tres escenarios se fue determinando cuáles de ellos se deberían dejar en dos turnos y cuáles se deberían adquirir. Un resumen de todas las decisiones que se deben llevar a cabo en cuanto a este recurso es presentado en la Ilustración 16.

Ilustración 16: Decisiones para las distintas máquinas de la planta.

| Sub proceso | Máquina | Decisión |
|----------------------------|----------------------------|---|
| Respaldo | Prensa Mach | Dejar a dos turnos. |
| Cortatiro | Prensa TACI Arrasate | Dejar a dos turnos. |
| Frente | Horno 1 | Dejar a dos turnos |
| Frente | Horno 2 | Dejar a dos turnos |
| Frente | Nisshimbo | Dejar las dos máquinas a dos turnos. |
| Frente | Fagor (celosía) | Dejar a dos turnos. |
| Kit electrónico | Prensa Spiertz | Ninguna. |
| Conjunto bujía | Prensa Copress 2 | Ninguna. |
| Conjunto batería | Prensa emballetadora 1 | Dejar a dos turnos las dos máquinas. |
| Conjunto batería | Prensa búlgara | Dejar a dos turnos |
| Conjunto batería | Equipo prueba fuga Venturi | Adquirir otro equipo. |
| Conjunto batería | Transfer CIPO | Adquirir otra máquina y dejar a dos turnos una de ellas. |
| Conjunto batería | Transfer Camas | Adquirir otra máquina y dejar a dos turnos una de ellas. |
| Cámara emplomada | Kerne | Funcionando todo el día |
| Cámara emplomada | Curvadora OMS | Adquirir otra máquina y dejar a dos turnos una de ellas. |
| Cámara no emplomada | Horno atmósfera | Poner en funcionamiento el segundo horno que posee la planta. |

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que para Respaldo, la prensa Mach se deja a dos turnos, puesto que su utilización para la última demanda es cercana al 80%, la cual es bastante aceptable. Pero en caso de que se quiera volver aumentar la capacidad de la planta puede que esta prensa se convierta en cuello de botella. De lo anterior, se tiene que la inversión total necesaria es de 113.000 USD, el de detalle de ésta se puede apreciar en la Ilustración 17.

Ilustración 17: Detalle inversión final.

| Máquina | Inversión [USD] |
|-----------------------------------|------------------------|
| Equipo prueba fuga Venturi | 10.000 |
| Transfer CIPO | 65.000 |
| Transfer Camas | 10.000 |
| Curvadora OMS | 28.000 |
| Total | 113.000 |

Fuente: Elaboración propia.

6.5 Productividad de la mano de obra.

Luego de determinar una nueva dotación y reasignación de la mano de obra, se calcula la productividad que tendría ésta, la cual se calcula de la misma forma que fue calculada al comienzo de este informe.

Ilustración 18: Productividad de la mano de obra.

| Sub proceso | Dotación [Personas] | Productividad mano de obra [%] |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Respaldo | 3 | 66 |
| Cámara emplomada | 37 | 68 |
| Cámara no emplomada | 5 | 48 |
| Cortatiro | 9 | 78 |
| Conjunto batería | 42 | 39 |
| Kit electrónico | 8 | 80 |
| Frente | 14 | 73 |
| Línea de ensamble | 32 | 81 |
| Total | 150 | 67 |

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados anteriores, se puede apreciar que la productividad total se aumentó a un 67%, el cual es un buen resultado puesto que esta nueva reasignación de mano de obra se consigue principalmente con los mismos recursos que tenía la planta. En general, se consiguen buenas productividades para cada sub proceso, salvo Conjunto batería que disminuye debido a que es el sub proceso que consume más dotación debido a que sus actividades son más manuales.

6.6 Costos de la mano de obra.

Para poder realizar una correcta comparación respecto a los costos de mano de obra, se utiliza una de las asignaciones posibles encontradas, en este caso el Escenario 3. Esto se debe principalmente a la forma como fueron calculados los costos de mano de obra en el origen de este informe, ya que para ello se utilizó un dato de 210.000 USD que se gastaron en mano de obra de 147 operarios para producir 27.000 unidades en un mes correspondiente. Por lo tanto, si se calculan los costos pero se tienen 150 operarios, no sería comparable. En cambio, si se compara con el Escenario 3, donde se mantiene la dotación pero se incrementa la producción permite visualizar si la reasignación de mano de obra consigue disminuir los costos de mano de obra finales de un calefón. Bajo este supuesto, el detalle de los nuevos costos de mano de obra se detalla en la Ilustración 19.

Ilustración 19: Diferencias costos mano de obra.

| Sub proceso | Costos inicial mano de obra [USD] | Costos final mano de obra [USD] |
|----------------------------|---|--|
| Respaldo | 0.26 | 0.11 |
| Cámara emplomada | 1.96 | 1.35 |
| Cámara no emplomada | 0.90 | 0.23 |
| Cortatiro | 0.58 | 0.34 |
| Conjunto batería | 1.38 | 1.54 |
| Kit electrónico | 0.37 | 0.26 |
| Frente | 0.58 | 0.49 |
| Línea de ensamble | 1.75 | 1.20 |
| Total | 7.78 | 5.53 |

Fuente: Elaboración propia.

De la Ilustración anterior, se puede apreciar que los costos finales de mano de obra son menores en la mayoría de los sub procesos, salvo Conjunto batería. Pero si se mira el costo total de un calefón, se puede ver que este disminuye en 2.25 USD, que correspondería a un 29%.

7. Conclusiones

Luego de todo el trabajo realizado se puede concluir que el principal problema encontrado en esta planta de manufactura es la pésima asignación de su mano de obra en los sub procesos, lo cual generaba que hubiese bajos índices de productividad, altos costos de mano de obra, entre otros.

Por otro lado, respecto al objetivo general planteado en el comienzo de este informe se tiene que éste se cumplió debido:

- Con la nueva reasignación de mano de obra la planta quedó habilitada para una producción de 37.000 unidades, es decir, se consiguió un aumento en 10.000 unidades de la capacidad de ésta y además se puede satisfacer la demanda que estaba perdiendo debido a su baja e inconstante producción.
- La productividad de la mano de obra se incrementó de un 50% a un 67%, lo cual se consiguió solo con una reasignación de mano de obra y agregando tres operarios más a la planta.
- Los costos de mano de obra se bajaron de 7.78 USD/ unidad a 5.53 USD/unidad, esta baja se debe a que se aumentó la producción, es decir, con el mismo costo total de mano de obra (210.000 USD) se fabrican más unidades en un mes.

En cuanto a los objetivos generales se tiene que:

- Se determinó la ruta al interior de la planta para cada sub proceso.
- Los procesos que generan mayores costos de mano de obra en la nueva reasignación son: Cámara emplomada, Conjunto batería y Línea de ensamble, que a su vez son coincidentes con la antigua resignación de mano de obra. Esto se debe a que son los sub procesos que consumen mayor cantidad de operarios debido a que sus tareas son principalmente manuales o en el caso de cámara emplomadas, algunas máquinas necesitan de un trabajador permanente como por ejemplo con la máquina de emplomado (Kerne).
- En cuanto al diseño de la planta (layout), se descubrió que si bien es un poco desordenado no es el causante directo de los problemas que presentaba la planta, por lo que solo se harán sugerencias que sin duda aportarán con orden y limpieza.

- La mano de obra total necesaria es de 150 operarios y su porcentaje de utilización no sobrepasa el 96%, se estimó dejar un 4% de la utilización como pérdida puesto que los operarios no estarán todo el tiempo de sus turnos en sus labores respectivas.
- La inversión final necesaria es de 113.000 USD, la cual es para la compra de cuatro dispositivos, los cuales ayudarán principalmente a Conjunto batería y Cámara emplomada. La inversión en su gran medida se trató de minimizar, por lo que varias máquinas se dejarán a dos turnos de forma tal de cumplir con la producción mensual.

Los principales riesgos es la inversión en maquinaria requerida, dado que puede darse el caso que la demanda no se comporte como las estimaciones, es decir, que no aumente. Pero a pesar de ello, la inversión es un riesgo menor ya que la propuesta generaría un ahorro mensual de 85.419 USD, es decir, con dos meses de ahorro se paga con holgura la inversión requerida y si la demanda se mantiene en sus niveles (27.000 unidades), generaría un ahorro mensual de 60.750 USD, por lo cual la inversión igual se pagaría con dos meses de ahorro.

La gracia de la propuesta es que solo se invertiría en el recurso técnico, puesto que la dotación actual debe ser solo reasignada y contratar tres operarios más, que ese costo sería despreciable frente al ahorro mensual que genera la propuesta.

Finalmente, se debe tener claro que este trabajo es solo una propuesta de solución a los problemas presentados por CEM y que hasta la fecha no ha sido implementada.

Recomendaciones:

A continuación se deja una serie de recomendaciones que sería útiles para mejorar y/o complementar la solución encontrada.

Primero que todo, se recomienda implementar un sistema de bonos de producción de forma tal de incentivar a los trabajadores a producir una cantidad de acuerdo a lo estipulado en la programación y que sean productos que presenten bajo porcentaje de rechazo por parte de Control de calidad, de esta forma se controlaría los productos defectuosos.

Para ello, se considerarán dos factores para el cálculo de los bonos, los cuales son:

- Volumen: Para este caso se evaluará la diferencia que existe en la producción, es decir, en cuánto varía lo que se tenía presupuestado y lo que realmente se produjo al interior de la planta.
- Calidad: Este factor se utiliza para asegurar que la producción al interior de la planta pase las distintas pruebas de calidad, es decir, bajar el porcentaje de rechazo por parte de Control de Calidad.

Los valores propuestos para cada factor son presentados a continuación:

Ilustración 20: Valores para el Factor Volumen.

| Porcentaje [%] | Valor del factor |
|----------------|------------------|
| Menor a 90 | 0 |
| 90-110 | 0.9-1.1 |
| Mayor a 110 | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

De la Ilustración anterior se puede apreciar que se premiará a los operarios si logran producir una cantidad que sea medianamente cercana a lo que tenía presupuestado el departamento, por lo mismo si la diferencia es muy grande debido a una baja o alta producción respecto a lo planificado no se pagarán incentivos.

En tanto, para el Factor Calidad se tiene:

Ilustración 21: Valores para el Factor Calidad.

| Porcentaje [%] | Valor del factor |
|----------------|------------------|
| 0-76 | 0 |
| 77-81 | 0.5 |
| 82-85 | 0.8 |
| 86-96 | 1 |
| 97-100 | 1.1 |

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar de la Ilustración 21, este factor premiará si se logra un porcentaje de rechazo menor a un 3%. Este factor va directamente enfocado a controlar la cantidad de productos defectuosos.

Luego el valor del Factor Final se calculará como:

$$\text{Factor final} = \text{Factor calidad} * \text{Factor Volumen} * 100$$

En la Ilustración 22 se presentan los montos a pagar para los distintos valores de Factor Final.

Ilustración 22: Bonos de producción.

| Valor Factor Final | Criterio | Bono [\$] |
|--------------------|-------------|-----------|
| 0-55 | No hay bono | 0 |
| 72-88 | Bono mínimo | 10.000 |
| 90-110 | Bono medio | 20.000 |
| 99-121 | Bono máximo | 40.000 |

Fuente: Elaboración propia.

El bono será pagado mensualmente, es decir, al final de cada mes se debe calcular lo anterior y determinar si se paga el bono. Cabe destacar que los operarios reciben el sueldo mínimo, por lo tanto un bono de \$40.000 es una cantidad considerable y que sin duda los motivará a realizar su trabajo. Por lo cual se generaría un gasto de \$6.000.000, el cual puede ser costado por la empresa puesto que el margen que le deja un calefón es bastante alto.

Por otro lado, para el tema de layout se aconseja dejar juntas áreas que compartan máquinas, tal es el caso de Cámara emplomada y Cámara no emplomada ya que actualmente se encuentran en lados opuestos de la planta y de esta forma se evitaría el traslado de los canastos de una lado a otro con los codos, racords y tubo de cobre. De forma similar, se recomienda dejar Frentes, Cortatiro y Conjunto batería en un solo espacio físico al interior de la planta.

Además, se recomienda que aquellas máquinas que no se utilicen para la fabricación de calefones se trasladen o se saquen del área destinada a la planta, tal es el caso de aquellas prensas que corresponden a Lavaplatos, que son otros productos que fabrica la empresa.

En cuanto a la variabilidad de los productos, se simuló en el Escenario 3 dos posibles soluciones más, si llevar toda la planta a calefones no emplomados o dejar 50% de producción para cada una de ellas, es decir 50% calefones emplomados, y 50% calefones no emplomados. De la primera propuesta se obtuvo que la productividad de la mano de obra llega a un 60%, pero el costo de mano de obra sería de 1.72 USD/unidad. En el segundo caso, la mano de obra llega al 68% de productividad y el costo de mano de obra es de 1.98 USD/unidad. Las inversiones no se pudieron calcular debido a que no se pudo cotizar pero en ambos casos debía comprarse más de 4 dispositivos ya que la planta cuenta con pocos dispositivos para cámara no emplomada y en casi todo había que duplicar la cantidad de máquinas.

Además, se descubrió que el horno atmósfera se convierte en un gran cuello de botella para el sistema debido a sus grandes tiempos de fallas; su tiempo de set up es de dos horas diarias y su periodo de falla es de cuatro horas al mes. Por lo tanto, con esto se obtiene que la solución encontrada era la mejor frente a todas las posibilidades.

También se recomienda utilizar algún programa para trabajar con la programación del ingreso de los materiales a la planta, se podría utilizar MRP. Lo cual sin duda ayudaría a prevenir y evitar los quiebre de stock de la bodega.

En la misma línea de lo anterior, se ruega que se mantenga una buena comunicación con áreas que presentan una gran interacción con Producción, tales como; Materiales, Control de Calidad y Logística. De forma tal de que se privilegie la comunicación y el trabajo conjunto ya que los errores que se comentan y/o problemas en cualquiera de ellas repercutirán en la otra. Actualmente esto no existe con Logística, ambas áreas ven el trabajo como independiente y no se ven como clientes y abastecedor.

8. Bibliografía.

9.1 Libros y apuntes.

- ADMINISTRACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y LAS OPERACIONES. 1991. Por Everett E. Adam, Jr. Ronald J. Ebert. 4º edición. México. Prentice-Hall Hispanoamericana. 739 p.
- ELIYAHU M. GOLDRATT. 2005 La meta, un proceso de mejora continua. 3º edición. Madrid.402p.
- MUTHER RICHARD.1968. Planificación y proyección de la empresa industrial. Editores técnicos asociados. Barcelona. 259 p.
- Apuntes curso IN78K – Tópicos Avanzados en Manufactura. 2010. Santiago.
- SCHROEDER, ROGER.1992. Administración de Operaciones. 3º Ed. México. McGraw-Hill. 855 p.
- ADMINISTRACIÓN DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES MANUFACTURA Y SERVICIOS. Por Richard B. Chase, F.Robert Jacobs, Nicholas J. Aquilano, 2000. 10º edición. Santafé de Bogotá. McGraw-Hill. 885p.
- MEMORIA EMPRESA CEM. 2009. Santiago. 88p.
- MEMORIA EMPRESA CEM. 2010. Santiago. 82p.

9.2 Memorias

- SEBASTIÁN FELIPE ESPINOZA CANALES. 2007. Modelo de optimización aplicado al programa de producción para una empresa de alimentos. Memoria de Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 70p.
- MARIA CAROLINA NAVARRETE CAEROLS. 2006. Rediseño de una planta manufacturera de calzado. Memoria de Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 79 p.
- ENRIQUE ANTONIO SOTZ VARGAS. 2006. Rediseño de proceso de retiro de mercadería almacenada en el centro de distribución de una empresa de retail. Memoria de Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

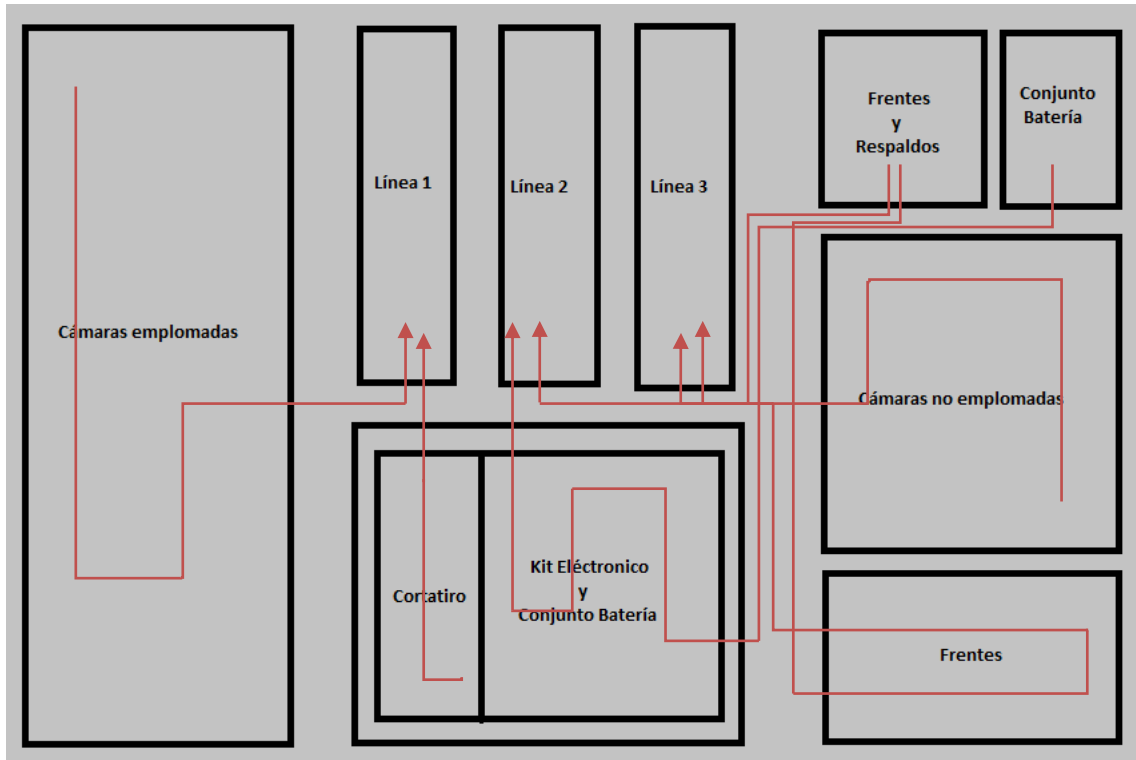
9.3 Sitios web.

- LOGÍSTICA, TRANSPORTE Y SERVICIOS LIMITADA Y SINDICATO EMPRESA LOGÍSTICA, TRANSPORTE Y SERVICIO LTS LTDA. 2008. Convenio colectivo de trabajo.
< <http://sindicatowal-martchile.cl/inicio/sites/default/files/Convenio.pdf>>
- CENTRO DE ESTUDIOS, MEDICIÓN Y CERTIFICACIÓN DE CALIDAD CESMEC S.A. 2011. Informe bono de productividad progresivo anual.
<<http://sindicatocesmec.cl/documentos/Calculo%20de%20bono%20Auditado.pdf>>
- UNIVESIDAD SANTA MARIA.2004. Investigación de operaciones.
<http://www.investigacion-operaciones.com/Introduccion_IO.htm>

9. Anexos.

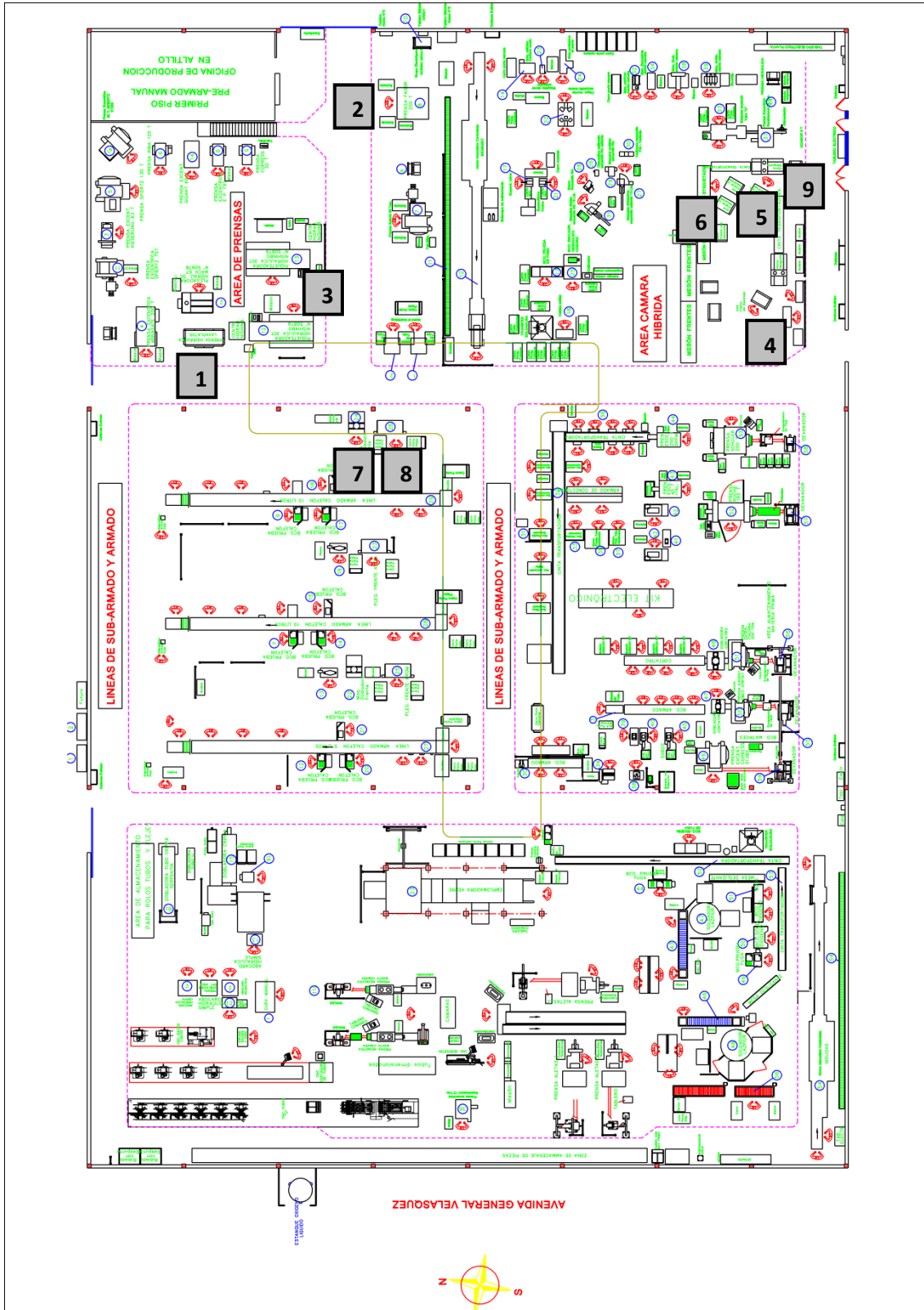
Anexo A: Actual layout.

Figuras Anexos 1-A: Ubicación de los subprocesos en general al interior de la planta.



Fuente: Elaboración propia.

Figuras Anexos 2-A: Actual layout de la planta y recorrido para Frentes.



Fuente: Elaboración propia

Los números reflejan la ruta detallada en la página 32. Se puede ver que la ruta de Frentes es desordenada y se realizan muchos desplazos al interior de la planta.

Anexo B: Tiempos muertos para subprocesos.

Figuras Anexos 3-B: Tiempos muertos para Cámara emplomada.

| Tarea | Máquina | Tiempo set up [minutos] | Periodo set up | Tiempo de falla [minutos] | Periodo de falla [minutos] |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Cortar tubo U | Máquina china # 2 | 10 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |
| Cortar aletas radiador | Prensa aletas (COPRESS) | 20 | Con cada cambio de modelo | 120 | Una vez al mes |
| Cortar aletas radiador | Expandidora Radiador | 30 | Con cada cambio de modelo | 120 | Cada seis meses |
| Trozar racord | Máquina china # 3 | 30 | Dos veces al día | 30 | Una vez al mes |
| Formar manto cámara | Prensa neumática | 10 | Con cada cambio de modelo | 30 | Una vez al mes |
| Formar manto cámara | Emballetadora | 30 | Con cada cambio de modelo | 240 | Cada seis meses |
| Formar manto cámara | Prensa cuello (LAU-NIK) | 5 | Con cada cambio de modelo | 30 | Una vez al mes |
| Formar serpentín | Máquina china # 1 | 10 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |
| Formar serpentín | Curvadora OMS | 15 | Con cada cambio de modelo | - | - |
| Trozar codo | Máquina china # 3 | 30 | Dos veces al día | 30 | Una vez al mes |

| | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|----|---------------------------|-----|---------------------|
| Cortar tubo descendente | Máquina china # 1 | 10 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |
| Cortar tubo descendente | Curvadora (CRIPPA) | 15 | Con cada cambio de modelo | - | - |
| Cortar tubo descendente | Expandidora | 30 | Con cada cambio de modelo | 120 | Cada seis meses |
| Soldar | Lazpiur | 60 | Con cada cambio de modelo | 120 | Una vez a la semana |
| Emplomar | Kerne | - | - | 60 | Una vez al día |

Fuente: Empresas CEM.

Figuras Anexos 4-B: Tiempos muertos para Cámara no emplomada.

| Tarea | Máquina | Tiempo set up [minutos] | Periodo set up | Tiempo de falla [minutos] | Periodo de fallas [minutos] |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Cortar tubo U | Máquina china # 2 | 10 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |
| Cortar tubo U | Ovaladora (Remiremont) | - | - | 120 | Cada cuatro meses |
| Cortar aletas radiador | Prensa aletas radiador | 60 | Una vez al mes | 60 | Una vez al mes |
| Formar manto cámara | Agrafadora | - | - | 60 | Una vez al mes |
| Formar manto cámara | Dispositivo móvil neumático | - | - | 120 | Cada cuatro meses |
| Unión 1 | Dispositivo neumático radiador | - | - | 120 | Cada cuatro meses |

| | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|-----|---------------------------|-----|-------------------|
| Trozar codo | Máquina china # 3 | 30 | Dos veces al día | 30 | Una vez al mes |
| Trozar racord | Máquina china # 3 | 30 | Dos veces al día | 30 | Una vez al mes |
| Formar serpentín caliente | Máquina china # 1 | 10 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |
| Formar serpentín caliente | Curvadora manual | - | - | 120 | Cada tres meses |
| Formar serpentín caliente | Reductor de diámetro | - | - | 120 | Cada cuatro meses |
| Formar serpentín frío | Máquina china # 1 | 10 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |
| Formar serpentín frío | Curvadora manual | - | - | 120 | Cada tres meses |
| Formar serpentín frío | Remiremont | - | - | 120 | Cada cuatro meses |
| Formar serpentín frío | Sierra circular | - | - | 120 | Cada cuatro meses |
| Formar serpentín frío | Prensa neumática | - | - | 120 | Cada cuatro meses |
| Unión 3 | Soldadora a punto | - | - | 180 | Una vez al mes |
| Conformar cámara | Prensa conformadora cámara | - | - | 120 | Cada cuatro meses |
| Soldar cámara | Horno atmosferas | 120 | Una vez al día | 240 | Una vez al mes |
| Cortar tubo conducción | Máquina china # 1 | 10 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |

| | | | | | |
|--|-------------------------------|----|---------------------------|-----|-------------------|
| Cortar tubo conducción | Abocardadora | - | - | 120 | Cada cuatro meses |
| Cortar tubo curva salida del agua | Máquina china # 1 | 10 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |
| Cortar tubo salida del agua | Aborcadadora | - | - | 120 | Cada cuatro meses |
| Unión 4 | Transfer giratoria de soplete | 15 | Cada dos días | 60 | Una vez al mes |

Fuente: Empresas CEM.

Figuras Anexos 5-B: Tiempos muertos para Frentes.

| Tarea | Máquina | Tiempo set up [minutos] | Periodo set up | Tiempo de falla [minutos] | Periodo de falla |
|------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Piquetar perimetrales | Arrasate | 60 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |
| Piquetear celosía | Fagor | 60 | Con cada cambio de modelo | 60 | Una vez al mes |
| Piquetear centro | Nisshimbo | 60 | Con cada cambio de modelo | 240 | Una vez al mes |
| Pintar y secar 1 | Horno serigrafía | - | - | 120 | Una vez al mes |
| Pintar y secar 2 | Horno serigrafía | - | - | 120 | Una vez al mes |
| Doblar pestañas | Ariente | 60 | Con cada cambio de modelo | 120 | Una vez al mes |

Fuente: Empresas CEM.

Figuras Anexos 6-B Tiempos muertos para Respaldo.

| Tarea | Máquina | Tiempo set up [minutos] | Periodo set up | Tiempo de falla [minutos] | Periodo de falla |
|-----------------|----------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| Estampar | Prensa Riva | 60 | Con cada cambio de modelo | 120 | Una vez al mes |
| Plegar | Plegadora Mach | 60 | Con cada cambio de modelo | 120 | Una vez al mes |

Fuente: Empresas CEM.

Figuras Anexos 7-B: Tiempos muertos para Kit electrónico.

| Tarea | Máquina | Tiempo set up [minutos] | Periodo set up | Tiempo de falla [minutos] | Periodo de falla |
|---------------------------------------|----------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| Cortar soporte kit electrónico | Prensa Spiertz | 15 | Con cada cambio de modelo | 180 | Cada seis meses |

Fuente: Empresas CEM.

Figuras Anexos 8-B: Tiempos muertos para Conjunto bujía.

| Tarea | Máquina | Tiempo set up [minutos] | Periodo set up | Tiempo de falla [minutos] | Periodo de falla |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|------------------|
| Formar soporte bujía | Prensa exc. Copress | 60 | Cada seis meses | 180 | Cada seis meses |
| Formar peine bujía | Prensa exc. Copress | 60 | Cada seis meses | 180 | Cada seis meses |

Fuente: Empresas CEM.

Figuras Anexos 9-B: Tiempos muertos para Cortatiro.

| Tarea | Máquina | Tiempo set up [minutos] | Periodo set up | Tiempo de falla [minutos] | Periodo de falla |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|
| Formar guía de aire | Prensa Copress | 30 | Tres veces al día | 60 | Una vez al mes |
| Piquetear cuerpo de cortatiro | TACI arrasate | 60 | Con cada cambio de modelo | 120 | Una vez al mes |
| Formar retención de gases | Prensa Copress | 30 | Tres veces al día | 60 | Una vez al mes |
| Formar lateral curvo | Prensa Copress | 30 | Tres veces al día | 60 | Una vez al mes |
| Formar lateral curvo | Prensa estampadora hidráulica | 60 | Una vez al mes | 60 | Una vez al mes |
| Formar lateral recto | Prensa copress | 30 | Tres veces al día | 60 | Una vez al mes |
| Formar lateral recto | Prensa Estampadora Hidráulica | 60 | Una vez al mes | 60 | Una vez al mes |
| Soldar vicerias | Soldador a punto | 15 | Una vez al día | 240 | Cada seis meses |

Fuente: Empresas CEM.

Figuras Anexos 10-B: Tiempos muertos para Conjunto batería.

| Tarea | Máquina | Tiempo set up [minutos] | Periodo set up | Tiempo de falla [minutos] | Periodo de falla |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------|
| Formar placa quemador | Prensa Shuler | 360 | Cada 10.000 calefones | 180 | Cada seis meses |
| Armar sub. Conjunto quemador | Prensa Bulgara | 60 | Cada seis meses | 180 | Cada seis meses |
| Armar sub. Conjunto quemador | Prensa copress | 60 | Cada seis meses | 180 | Cada seis meses |
| Formar repartidor de llamas | Prensa Roche | 360 | Cada 10.000 calefones | 180 | Cada seis meses |
| Armar conjunto quemador | Dispositivo neumático 1 | 60 | Solo por mantención | 60 | Cada seis meses |
| Cortar soporte tubo de distribución | Prensa Spiertz LC 75.300 | 15 | Con cada cambio de modelo | 180 | Cada seis meses |
| Cortar escuadra batería | Prensa Copress | 60 | Cada seis meses | 180 | Cada seis meses |
| Cortar peine batería | Prensa Copress | 60 | Cada seis meses | 180 | Cada seis meses |
| Formar soporte batería | Prensa Spiertz 8 | 60 | Cada día por cambio de matriz | 180 | Cada seis meses |
| Formar válvula agua | Prensa Copress | 60 | Cada seis meses | 180 | Cada seis meses |
| Armar sub. Conjunto caños | Dispositivo neumático 2 | 60 | Solo por mantención | 60 | Cada seis meses |

| | | | | | |
|--------------------------------------|--|----|---------------------------|-----|-----------------|
| Hacer prueba de fuga venturi | Filtración membrana | 15 | Con cada cambio de modelo | 180 | Cada seis meses |
| Hacer prueba de fuga circuito | Prueba de presión | 15 | Con cada cambio de modelo | 180 | Cada seis meses |
| Formar abrazaderas | Prensa Copress | 60 | Cada seis meses | 180 | Cada seis meses |
| Formar abrazaderas | Taladro | 10 | Una vez al día | - | - |
| Cortar tubo distribución | Sierra circular | 20 | Con cada cambio de modelo | 480 | Cada seis meses |
| Cortar tubo distribución | Prensa CIPO | 60 | Con cada cambio de modelo | 480 | Cada seis meses |
| Formar inyectores | Torno automático | 30 | Una vez al día | 120 | Cada tres meses |
| Formar inyectores | Taladro | 10 | Una vez al día | - | - |
| Armar tubo distribución | Camas | 15 | Con cada cambio de modelo | 120 | Cada seis meses |
| Hacer prueba de fuga | Burbujeado | 15 | Con cada cambio de modelo | 180 | Cada seis meses |
| Armar quemador beyond | Dispositivo Neumático 3 | 15 | Con cada cambio de modelo | 60 | Cada seis meses |
| Prueba de fuga final | Prueba de fuga completa | 15 | Con cada cambio de modelo | 180 | Cada seis meses |
| Lavadora Bongiflio | Lavadora que se usa para todos los tubos | 60 | Cada semana | 180 | Cada seis meses |

Fuente: Empresas CEM.

Figuras Anexos 12-C: Esquema para Frentes.

| Frentes | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|----------|---------------|--------|-------------|-------------|
| | Piquetear perimetrales | Piquetear celosía | Piquetear centro | Pintar y secar 1 | Pintar y secar 2 | Pegar stickers | Doblar pestañas | Doblar U | Decorar placa | | | |
| Costo | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | 0.064 | | | |
| X | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | | | |
| Dda | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | | | |
| Productos | | | | | | | | | | | | |
| Piquetear perimetrales | Nodo 1 | 1 | | | | | | | | 37964 | 37964 | |
| Piquetear celosía | Nodo 2 | -1 | 1 | | | | | | | 0 | 4.54747E-13 | |
| Piquetear centro | Nodo 3 | | -1 | 1 | | | | | | 0 | 4.54747E-13 | |
| Pintar y secar 1 | Nodo 4 | | | -1 | 1 | | | | | 0 | 4.54747E-13 | |
| Pintar y secar 2 | Nodo 5 | | | | -1 | 1 | | | | 0 | 4.54747E-13 | |
| Pegar stickers | Nodo 6 | | | | | -1 | 1 | | | 0 | 4.54747E-13 | |
| Doblar pestañas | Nodo 7 | | | | | | -1 | 1 | | 0 | 4.54747E-13 | |
| Doblar U | Nodo 8 | | | | | | | -1 | 1 | 0 | 4.54747E-13 | |
| Decorar placa | Nodo 9 | | | | | | | | -1 | 1 | 0 | 4.54747E-13 |
| Frente | Nodo 10 | | | | | | | | | -1 | 37964 | -37964 |
| Máquinas | | | | | | | | | | | | |
| Arrasate | 0.004 | | | | | | | | | 132.87 | 167.5 | |
| Fagor | | 0.006 | | | | | | | | 215.13 | 335 | |
| Nisshimbo | | | 0.016 | | | | | | | 620.08 | 658 | |
| Horno 1 | | | | 0.004 | | | | | 0.002 | 215.13 | 353 | |
| Horno 2 | | | | | 0.004 | | | | 0.002 | 227.78 | 353 | |
| Plegadora | | | | | | | 0.006 | 0.005 | | 423.93 | 499.5 | |
| Mano de obra | | | | | | | | | | | | |
| | 0.004 | 0.006 | 0.016 | 0.004 | 0.004 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.009 | 2284.2 | 2499 | |

Fuente: Elaboración propia.

Figuras Anexos 13-C: Esquema para Kit electrónico.

| Kit electrónico | | | | |
|-----------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|---------|
| | Pegar adhesivo AI | Armar módulo control | Cortar soporte kit electrónico | Unión 1 |
| Costo | 0.093 | 0.093 | 0.093 | 0.093 |
| X | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 |
| Dda | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 |

| Productos | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|----|----|----|-------|-------------|-------------|
| Pegar adhesivo AI | Nodo 1 | 1 | | | 37964 | 37964 | |
| Armar módulo control | Nodo 2 | -1 | 1 | | 0 | 4.54747E-13 | |
| Cortar soporte kit electrónico | Nodo 3 | | -1 | 1 | 0 | 4.54747E-13 | |
| Unión 1 | Nodo 4 | | | -1 | 1 | 0 | 4.54747E-13 |
| Kit electrónico | Nodo 5 | | | | -1 | -37964 | -37964 |

| Máquinas | | | | | | | |
|----------------|--|--|-------|--|------------|-----------------|-------|
| Prensa spiertz | | | 0.000 | | 12.6546667 | Hr. Disponibles | 175.5 |

| Mano de obra | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------------|------|
| | 0.001 | 0.009 | 0.000 | 0.021 | 1214.848 | Hr. Disponibles | 1428 |

Fuente: Elaboración propia.

Figuras Anexos 14-C: Esquema para Conjunto bujía.

| Conjunto Bujía | | | | | | |
|----------------------|----------------------|--------------------|-------|----|------------|--------------------------|
| | Formar soporte bujía | Formar peine bujía | Armar | | | |
| Costo | 0.017 | 0.017 | 0.017 | | | |
| X | 37964 | 37964 | 37964 | | | |
| Dda | 37964 | 37964 | 37964 | | | |
| Productos | | | | | | |
| Formar soporte bujía | Nodo 1 | 1 | | | 37964 | 37964 |
| Formar peine bujía | Nodo 2 | -1 | 1 | | 0 | 4.5475E-13 |
| Armar | Nodo 3 | | -1 | 1 | 0 | 4.5475E-13 |
| Conjunto bujía | Nodo 4 | | | -1 | -37964 | -37964 |
| Máquinas | | | | | | |
| Prensa Copress 2 | 0.000 | 0.000 | | | 12.6546667 | Hr. Disponible 177.83 |
| Mano de obra | | | | | | |
| | 0.000 | 0.000 | 0.006 | | 234.111333 | Hr. Disponible 357 |

Fuente: Elaboración propia.

Figuras Anexos 15-C: Esquema para Conjunto batería.

| Conjunto Batería | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------|------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|---------------|----------------------|----|
| | Formar placa quemador | Armar subconjunto quemador | Formar repartidor de llama | Armar conjunto quemador | Formar soporte tubo distribución | Formar peine batería | Formar circuito hidráulico | Formar diafragma | Formar abrazadera | Formar tubo distribución | Armar quemador beyond | Armar batería | Prueba de fuga final | |
| Costo | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | |
| X | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | |
| Dda | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | |
| Productos | | | | | | | | | | | | | | |
| Formar placa quemador | Nodo 1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Armar subconjunto quemador | Nodo 2 | -1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Formar repartidor de llama | Nodo 3 | | -1 | 1 | | | | | | | | | | |
| Armar conjunto quemador | Nodo 4 | | | -1 | 1 | | | | | | | | | |
| Formar soporte tubo distribución | Nodo 5 | | | | -1 | 1 | | | | | | | | |
| Formar peine batería | Nodo 6 | | | | | -1 | 1 | | | | | | | |
| Formar circuito hidráulico | Nodo 7 | | | | | | -1 | 1 | | | | | | |
| Formar diafragma | Nodo 8 | | | | | | | -1 | 1 | | | | | |
| Formar abrazadera | Nodo 9 | | | | | | | | -1 | 1 | | | | |
| Formar tubo distribución | Nodo 10 | | | | | | | | | -1 | 1 | | | |
| Armar quemador beyond | Nodo 11 | | | | | | | | | | -1 | 1 | | |
| Armar batería | Nodo 12 | | | | | | | | | | | -1 | 1 | |
| Prueba de fuga final | Nodo 13 | | | | | | | | | | | | -1 | 1 |
| Conjunto Batería | Nodo 14 | | | | | | | | | | | | | -1 |
| Máquinas | | | | | | | | | | | | | | |
| Prensa Shuler | 0.004 | | | | | | | | | | | | | |
| Prensa emballetadora 1 | | 0.015 | | | | | | | | | | | | |
| Prensa Roche | | | 0.001 | | | | | | | | | | | |
| Prensa Bulgara | | | | 0.009 | | | | | | | | | | |
| Prensa Spiertz | | | | | 0.004 | | | | | | | | | |
| Prensa Copress 2 | | | | | | 0.001 | 0.000 | | | 0.000 | | | | |
| Emballetadora 2 | | | | | | 0.006 | | | | | | | | |
| Equipo prueba de fuga venturi | | | | | | | | 0.005 | | | | | | |
| Equipo de prueba de fuga circuito | | | | | | | | | 0.007 | | | | | |
| Torno Traub | | | | | | | | | 0.000 | | | | | |
| Motor rebabado | | | | | | | | | | 0.001 | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Torno automático | | | | | | | | | | 0.013 | | | |
| Dimensionadora tubos | | | | | | | | | | 0.003 | | | |
| Transfer Cipo Bonfiglio | | | | | | | | | 0.000 | 0.001 | | | |
| Taladro Webo | | | | | | | | | 0.001 | 0.006 | | | |
| Transfer Camas | | | | | | | | | | 0.010 | | | |
| Equipo burbujeador | | | | | | | | | | 0.001 | | | |
| Dispositivo armador | | | | | | | | | | | 0.007 | | |
| Equipo de prueba de fuga final | | | | | | | | | | | | | 0.008 |
| Mano de obra | 0.0042 | 0.0145 | 7E-04 | 0.024 | 0.011 | 7E-04 | 0.026 | 1E-03 | 0.002 | 0.0585 | 0.013 | 0.018 | 0.008 |

Fuente: Elaboración propia.

Figuras Anexos 16-C: Esquema para Línea de ensamble.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Dda calefón c/plomo | 35178 | | | | | | | | | | | | |
| Dda calefón s/plomo | 2786 | | | | | | | | | | | | |
| Dda total | 37964 | | | | | | | | | | | | |

| | Respaldo | Cámara emplomada | Cámara no emplomada | Cortatiro | Unión 1 | Conjunto batería | Unión 2 | Conjunto bujía | Unión 3 | Kit electrónico | Unión 4 | Hacer prueba de fuga | Frente | Unión 5 | FO |
|-------|----------|------------------|---------------------|-----------|---------|------------------|---------|----------------|---------|-----------------|---------|----------------------|--------|---------|--------|
| Costo | 0.26 | 1.96 | 0.9 | 0.58 | 0.29 | 1.38 | 0.29 | 0.05 | 0.29 | 0.37 | 0.29 | 0.29 | 0.58 | 0.29 | |
| X | 37964 | 35178 | 2786 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 259758 |
| Dda | 37964 | 35178 | 2786 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | 37964 | |

| Producto | Nodo | Respaldo | Cámara emplomada | Cámara no emplomada | Cortatiro | Unión 1 | Conjunto batería | Unión 2 | Conjunto bujía | Unión 3 | Kit electrónico | Unión 4 | Hacer prueba de fuga | Frente | Unión 5 | Hr. Disponibles |
|----------------------|---------|----------|------------------|---------------------|-----------|---------|------------------|---------|----------------|---------|-----------------|---------|----------------------|--------|---------|-----------------|
| Respaldo | Nodo 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 37964 |
| Cámara emplomada | Nodo 2 | -1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | 0 |
| Cámara no emplomada | Nodo 3 | | -1 | -1 | 1 | | | | | | | | | | | 0 |
| Cortatiro | Nodo 4 | | | | -1 | 1 | | | | | | | | | | 0 |
| Unión 1 | Nodo 5 | | | | | -1 | 1 | | | | | | | | | 0 |
| Conjunto batería | Nodo 6 | | | | | | -1 | 1 | | | | | | | | 0 |
| Unión 2 | Nodo 7 | | | | | | | -1 | 1 | | | | | | | 0 |
| Conjunto bujía | Nodo 8 | | | | | | | | -1 | 1 | | | | | | 0 |
| Unión 3 | Nodo 9 | | | | | | | | | -1 | 1 | | | | | 0 |
| Kit electrónico | Nodo 10 | | | | | | | | | | -1 | 1 | | | | 0 |
| Unión 4 | Nodo 11 | | | | | | | | | | | -1 | 1 | | | 0 |
| Hacer prueba de fuga | Nodo 12 | | | | | | | | | | | | -1 | 1 | | 0 |
| Frente | Nodo 13 | | | | | | | | | | | | | -1 | 1 | 0 |
| Unión 5 | Nodo 14 | | | | | | | | | | | | | | -1 | -37964 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|------------|--|-------------|--|-------|--|-------|-------|--|-------|---------|------|
| Mano de obra | | | | | 0.01366667 | | 0.013333333 | | 0.011 | | 0.022 | 0.025 | | 0.054 | 5314.96 | 5712 |
|---------------------|--|--|--|--|------------|--|-------------|--|-------|--|-------|-------|--|-------|---------|------|

Fuente: Elaboración propia.

Figuras Anexos 17-C: Esquema para Cámara no emplomada.

| Cámara no emplomada | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|---------------|------------------------|---------------------|---------|-------------|---------------|---------|-----------------------|---------------------------|---------|------------------|---------------|------------------------|-----------------------------------|---------|----------------------|
| | | Cortar tubo U | Cortar aletas radiador | Formar manto cámara | Unión 1 | Trozar codo | Trozar racord | Unión 2 | Formar serpentín frío | Formar serpentín caliente | Unión 3 | Conformar cámara | Soldar cámara | Cortar tubo conducción | Cortar tubo curva salida del agua | Unión 4 | Hacer prueba de fuga |
| Costo | | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| X | | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 |
| Dda | | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 |
| Productos | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cortar tubo U | Nodo 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cortar aletas radiador | Nodo 2 | -1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Formar manto cámara | Nodo 3 | | -1 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Unión 1 | Nodo 4 | | | -1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Trozar codo | Nodo 5 | | | | -1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Trozar racord | Nodo 6 | | | | | -1 | 1 | | | | | | | | | | |
| Unión 2 | Nodo 7 | | | | | | -1 | 1 | | | | | | | | | |
| Formar serpentín frío | Nodo 8 | | | | | | | -1 | 1 | | | | | | | | |
| Formar serpentín caliente | Nodo 9 | | | | | | | | -1 | 1 | | | | | | | |
| Unión 3 | Nodo 10 | | | | | | | | | -1 | 1 | | | | | | |
| Conformar cámara | Nodo 11 | | | | | | | | | | -1 | 1 | | | | | |
| Soldar cámara | Nodo 12 | | | | | | | | | | | -1 | 1 | | | | |
| Cortar tubo conducción | Nodo 13 | | | | | | | | | | | | -1 | 1 | | | |
| Cortar tubo curva salida del agua | Nodo 14 | | | | | | | | | | | | | -1 | 1 | | |
| Unión 4 | Nodo 15 | | | | | | | | | | | | | | -1 | 1 | |
| Hacer prueba de fuga | Nodo 16 | | | | | | | | | | | | | | | -1 | 1 |
| Cámara no emplomada | Nodo 17 | | | | | | | | | | | | | | | | -1 |
| Máquinas | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prensa remiremont | | 0.003 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prensa exc remiremont | | | 0.012 | | | | | | | | | | | | | | |
| Dispositivo móvil neumático | | | | 0.009 | | | | | | | | | | | | | |
| Prensa agrafadora | | | | 0.003 | | | | | | | | | | | | | |
| Prensa conformadora | | | | 0.003 | | | | | | | | 0.006 | | | | | 0.004 |
| Curvadora manual | | | | | | | | | 0.013 | 0.012 | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------|------|------|-------|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| Prensa neumática 2 | | | | | | | | | 0.001 | | | | | | | | |
| Sierra circular | | | | | | | | | 0.002 | | | | | | | | |
| Reductor de diámetro | | | | | | | | | | 0.002 | | | | | | | |
| Dispositivo neumático radiador | | | | | 0.028 | | | | | | | | | | | | |
| Dispositivo neumático fijación | | | | | | | | 0.012 | | | | | | | | | |
| Horno atmósfera | | | | | | | | | | | | 0.048 | | | | | |
| Abocardadora | | | | | | | | | | | | | 0.007 | 0.007 | | | |
| Transfer giratoria de sopletes | | | | | | | | | | | | | | | | 0.015 | |
| Remiremont | | | | | | | | | 0.006 | | | | | | | | |
| Soldadora de punto 1 | | | | | | | | | | | 0.009 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mano de obra | | 0.0028 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | | | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |

Fuente: Elaboración propia.

Figuras Anexos 18-C: Esquema para Cámara emplomada.

| Cámaras emplomadas | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------|------------------------|---------------|---------|---------------------|------------------|---------|---------|-------------|-------------------------|---------|--------|---------------------------|------------------------|----------|--|
| | Cortar tubo U | Cortar aletas radiador | Trozar racord | Unión 1 | Formar manto cámara | Formar serpentín | Unión 2 | Unión 3 | Trozar codo | Cortar tubo descendente | Unión 4 | Soldar | Hacer prueba hermeticidad | Soldar placa sensor te | Emplomar | |
| Costo | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | 0.13 | |
| X | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | |
| Dda | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | 35178 | |
| Productos | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cortar tubo U | Nodo 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Cortar aletas radiador | Nodo 2 | -1 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Trozar racord | Nodo 3 | | -1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Unión 1 | Nodo 4 | | | -1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Formar manto cámara | Nodo 5 | | | | -1 | 1 | | | | | | | | | | |
| Formar serpentín | Nodo 6 | | | | | -1 | 1 | | | | | | | | | |
| Unión 2 | Nodo 7 | | | | | | -1 | 1 | | | | | | | | |
| Unión 3 | Nodo 8 | | | | | | | -1 | 1 | | | | | | | |
| Trozar codo | Nodo 9 | | | | | | | | -1 | 1 | | | | | | |

Figuras Anexos 19-C: Utilización de máquinas de Cámara emplomada por otros subproceso que fueron considerados en la modelación.

| Máquinas | 37964 | 37964 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | 2786 | | Hr.Disponibles |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------------|
| Máquina china # 2 | | | | | | | | | | 23.452 | 175.800 |
| Bonfiglio | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | 112.963 | 174.000 |
| Copress | | | | | | | | | | 574.574 | 692.800 |
| Expandidora radiador | | | | | | | | | | 99.671 | 173.170 |
| Máquina china # 3 | | | | | 0.003 | 0.004 | | | | 265.748 | 335.000 |
| Expandidora racord-codo | | | | | 0.001 | 0.001 | | | | 88.583 | 178.500 |
| Prensa neumática 1 | | | | | | | | | | 170.027 | 176.300 |
| Emballetadora | | | | | | | | | | 70.356 | 172.830 |
| Conformadora | | | | | | | | | | 123.123 | 177.170 |
| Máquina china # 1 | | | | 0.000 | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 35.033 | 175.800 |
| Curvadora OMS | | | | | | | | | | 375.232 | 528.000 |
| Expandidora tubo descendente | | | | | | | | | | 41.041 | 173.170 |
| Crippa | | | | | | | | | | 140.712 | 176.000 |
| Lazpiur | | | | | | | | | | 316.602 | 321.000 |
| Kerne | | | | | | | | | | 386.958 | 483.000 |
| | | | | | | | | | | | Hr.Disponibles |
| Mano de obra | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.004 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 6245.135 | 6604.500 |

Fuente: Elaboración propia.