

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL INDUSTRIAL**

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA INTRODUCCIÓN DE
ROBÓTICA EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA, UTILIZANDO
HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

NATALIA ALEJANDRA NOVA ALARCÓN

2006

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una metodología que permita entregar una evaluación técnica y económica para la introducción de robótica en la industria Metalmecánica. El contar con esta metodología es importante para Indura S.A., quien integrará en su gama de productos la venta de robots soldadores, buscando cumplir con el modelo de negocios DELTA centrando los esfuerzos de marketing en satisfacer a sus clientes en las nuevas tecnologías entregadas al mercado.

La metodología escogida para enfrentar el problema es realizar un análisis de introducción de robots soldadores en un cliente Indura, específicamente Bosca S.A., quien produce estufas a leña las cuales para ser armadas deben ser soldadas. Este análisis consistirá en realizar un estudio de su sistema productivo actual a través de la herramienta de Simulación Arena, de forma de buscar una solución más eficiente y que permita integrar el robot más eficientemente. Luego, buscar el layout para la solución robotizada, de acuerdo a las capacidades de espacio físico de Bosca. Finalmente realizar un estudio económico de esta solución y a partir de esto definir la metodología necesaria para el estudio.

Como primera instancia para el estudio se caracterizó el sistema productivo actual de Bosca el cual consta de 1 línea de 11 puestos de trabajo, la cual trabaja secuencialmente desde el puesto 1 al 11. Luego se generó el modelo de simulación, y a partir de este se evaluaron distintos escenarios para el sistema productivo, encontrando los puntos críticos del proceso, llegando a la conclusión que la forma más eficiente de trabajar era dividir la línea en 4 líneas independientes de 3 puestos de trabajo cada una, logrando así un aumento de un 37,93% en la capacidad productiva. A partir de este proceso más eficiente, se definió la solución robotizada, donde la celda robótica sería el puesto 2 de cada línea de trabajo. Así gracias a la disminución de tiempos muertos del robot y a la mayor eficiencia de la solución se logró un aumento en el nivel productivo con respecto a la situación actual de un 44,73%.

El coto mensual para Bosca de un soldador es de Ch\$858.208 y el de un Robot es de Ch\$725.312, de acuerdo a una amortización a 10 años. El costo de la inversión para la Solución Robótica propuesta es de US\$633.000, de acuerdo a la evaluación económica realizada, sólo tomando en cuenta la variación en el costo de mano de obra por estufa, se concluye que la inversión es recuperada en un periodo de 5 años. El ingreso extra gracias a la disminución de los costos en mano de obra, es de US\$849.500.

Se concluye que para el caso de Bosca, la inversión de robotización de sus procesos se justifica económicamente, ya que el introducir este sistema logra minimizar el costo de mano de obra por unidad producida.

Además se concluye que para un caso general en estudio es importante como primera paso determinar el factor de operación y el costo de mano de obra del caso en estudio, de forma de obtener el costo por metro lineal de soldadura, y detectar si es viable o no la introducción de robótica en ese caso. Si esta es viable entonces se seguirá con el estudio y se realizará la propuesta al cliente.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción.....	9
1.1. Objetivos	
1.1.1. Objetivo General.....	10
1.1.2. Objetivos Específicos.....	10
1.2. Descripción del Problema.....	10
1.3. Justificación.....	11
1.4. Metodología.....	14
2. Aspectos Teóricos	
2.1. El Proceso de Soldadura.....	16
2.2. La Automatización y la Robótica.....	18
2.3. Proceso de Simulación a través de Arena.....	19
3. Estudio Operacional del Proceso Productivo Bosca	
3.1. Situación Actual.....	20
3.2. Descripción de la Línea de Armado y Soldadura.....	21
3.3. Simulación del Proceso Productivo Actual.....	22
3.3.1. Tamaño de la Muestra.....	22
3.3.2. Parámetros.....	23
3.3.3. Modelos de Simulación.....	23
3.3.4. Resultados de la Simulación.....	29
3.3.5. Validación del Modelo.....	29
3.4. Soluciones de Mejora sin mayor Inversión.....	29
3.4.1. Estudio de Posibles Escenarios.....	30
3.4.2. Discusiones del Estudio.....	50
4. Solución Robotizada propuesta para Bosca.....	52
4.1. Definición del Modelo Robotizado a través de la Simulación.....	53
4.2. Layout del Modelo Robotizado.....	57
5-. Evaluación de la Solución Robotizada	
5.1. Evaluación de productividad.....	64
5.2. Evaluación Económica.....	65
5.2.1. Datos utilizados en el Análisis Económico.....	67
5.2.2. Cálculo VPN de acuerdo a los flujos de los Ingresos Extra.....	69
5.2.3. Análisis de Sensibilidad para la Evaluación Económica.....	71
6-. Resultados del análisis Bosca.....	74
7-. Discusiones y Conclusiones	
7.1. Discusiones	
7.1.1. Sobre Aspectos Técnicos para la Robotización.....	75
7.1.2. Sobre la Evaluación de Productividad para la Robotización del proceso BOSCA.....	75
7.1.3. Sobre la Evaluación Económica para el caso Bosca.....	75
7.2. Conclusiones	
7.2.1. Sobre el Estudio Operacional a Bosca.....	77
7.2.2. Sobre la Solución Robotizada propuesta a Bosca.....	78
7.2.3. Sobre la Evaluación Económica de la solución robotizada propuesta a Bosca.....	78
7.2.4. Sobre la introducción de robótica para la industria metalmecánica.....	78

7.2.5. Metodología de Trabajo para el Análisis de la Introducción de Robótica en clientes Indura.....	79
7.3. Recomendaciones para la implementación Propuesta Bosca.....	83
9-. Bibliografía.....	84

ÍNDICE ECUACIÓN

Ecuación 1: Z de una Normal para cierto error.....	22
Ecuación 2: Nivel de Confianza.....	23
Ecuación 3: Indicador Unidades por Soldador.....	30
Ecuación 4: Nivel Promedio de Ocupación.....	30
Ecuación 5: Nivel de Ocupación de los Soldadores.....	30
Ecuación 6: Kg de Soldadura por Puesto de Trabajo.....	31
Ecuación 7: Número de estufas para cambio de carrete.....	31
Ecuación 8: Tiempo Promedio por Puesto.....	47
Ecuación 9: Costo Sueldo / Unidad de Producto.....	68
Ecuación 10: Costo Otros / Unidad de Producto.....	68
Ecuación 11: Ingresos Extra por Disminución de Costos.....	69
Ecuación 12: Costo Mano de Obra por metro lineal de Soldadura.....	79

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Pirámide Modelo DELTA.....	11
Figura 2: Soldadura.....	16
Figura 3: Soldadura en Plano.....	16
Figura 4: Soldadura Horizontal.....	16
Figura 5: Soldadura Vertical.....	17
Figura 6: Soldadura Sobre Cabeza.....	17
Figura 7: Máquina de Soldar.....	17
Figura 8: Soldadura alambre MIG.....	17
Figura 9: Pistola para Soldar.....	18
Figura 10: Brazo Robótica Kuka.....	19
Figura 11: Módulo de Inicio de Proceso.....	19
Figura 12: Módulo de fin de Proceso.....	19
Figura 13: Módulo de Proceso.....	19
Figura 14: Módulo de Decisión.....	19
Figura 15: Módulo para formar Batch.....	19
Figura 16: Módulo para separar Batch.....	19
Figura 17: Scan 380 Limit.....	21
Figura 18: Scan 380 Plus.....	21
Figura 19: Scan 380 Limit, sin terminaciones.....	21
Figura 20: Esquema Línea 1 armado y soldadura.....	22
Figura 21: Modelo de Simulación.....	26
Figura 22: Layout Escenario 6.....	36
Figura 23: Layout Escenario 9.....	39
Figura 24: Layout Escenario 12.....	41
Figura 25: Layout Escenario 15.....	44
Figura 26: Layout Escenario 18.....	48
Figura 27: Layout Escenario 19.....	49
Figura 28: Posición Estufa 1.....	53
Figura 29: Posición Estufa 2.....	53
Figura 30: Modelos de Simulación Línea de 3 puestos.....	56
Figura 31: Layout en Autocad de la Solución Robotizada.....	58
Figura 32: Acercamiento a las células de trabajo en AutoCad.....	60
Figura 33: Layout para propuesta de Robotización a Bosca.....	61

Figura 34: Pantalla de la mirada aérea del Layout con el flujo productivo.....	62
Figura 35: Pantalla de mirada aérea del Layout de una celda robótica.....	63
Figura 36: Pantalla Layout vista de costado.....	63

ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 1: Costos de Soldadura.....	12
Gráfico 2: Factor de Operación/Método de Aplicación.....	13
Gráfico 3: Evaluación venta de Robots.....	13
Gráfico 4: Costo por metro lineal de soldadura para Bosca.....	76
Gráfico 5: Costo por metro de soldadura.....	77

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Duración Carrete de Soldadura.....	25
Tabla 2: Resultados Simulación Situación Actual.....	29
Tabla 3: Tiempos Simulación Situación Actual.....	29
Tabla 4: Costo Empresa de 1 Soldador.....	31
Tabla 5: Detalle de Costo Vestuario y Elementos de Seguridad.....	31
Tabla 6: Indicadores escenario 1.....	32
Tabla 7: Resultados escenario 1.....	32
Tabla 8: Análisis económico escenario 1.....	33
Tabla 9: Indicadores escenario 2.....	33
Tabla 10: Resultados escenario 2.....	33
Tabla 11: Análisis económico escenario 2.....	34
Tabla 12: Indicadores escenario 3.....	34
Tabla 13: Resultados escenario 3.....	34
Tabla 14: Análisis económico escenario 3.....	34
Tabla 15: Indicadores escenario 4.....	35
Tabla 16: Resultados escenario 4.....	35
Tabla 17: Análisis económico escenario 4.....	35
Tabla 18: Indicadores escenario 5.....	35
Tabla 19: Resultados escenario 5.....	36
Tabla 20: Análisis económico escenario 5.....	36
Tabla 21: Indicadores escenario 6.....	36
Tabla 22: Resultados escenario 6.....	37
Tabla 23: Análisis económico escenario 6.....	37
Tabla 24: Indicadores escenario 7.....	37
Tabla 25: Resultados escenario 7.....	37
Tabla 26: Análisis económico escenario 7.....	38
Tabla 27: Indicadores escenario 8.....	38
Tabla 28: Resultados escenario 8.....	38
Tabla 29: Análisis económico escenario 8.....	38
Tabla 30: Indicadores escenario 9.....	39
Tabla 31: Resultados escenario 9.....	39
Tabla 32: Análisis económico escenario 9.....	40
Tabla 33: Indicadores escenario 10.....	40
Tabla 34: Resultados escenario 10.....	40
Tabla 35: Análisis económico escenario 10.....	40
Tabla 36: Indicadores escenario 11.....	41
Tabla 37: Resultados escenario 11.....	41
Tabla 38: Análisis económico escenario 11.....	41
Tabla 39: Indicadores escenario 12.....	42
Tabla 40: Resultados escenario 12.....	42
Tabla 41: Análisis económico escenario 12.....	42

Tabla 42: Indicadores escenario 13.....	42
Tabla 43: Resultados escenario 13.....	43
Tabla 44: Análisis económico escenario 13.....	43
Tabla 45: Indicadores escenario 14.....	43
Tabla 46: Resultados escenario 14.....	44
Tabla 47: Análisis económico escenario 14.....	44
Tabla 48: Indicadores escenario 15.....	45
Tabla 49: Resultados escenario 15.....	45
Tabla 50: Análisis económico escenario 15.....	45
Tabla 51: Indicadores escenario 16.....	45
Tabla 52: Resultados escenario 16.....	46
Tabla 53: Análisis económico escenario 16.....	46
Tabla 54: Indicadores escenario 17.....	46
Tabla 55: Resultados escenario 17.....	47
Tabla 56: Análisis económico escenario 17.....	47
Tabla 57: Indicadores escenario 18.....	48
Tabla 58: Resultados escenario 18.....	48
Tabla 59: Análisis económico escenario 18.....	49
Tabla 60: Indicadores escenario 19.....	49
Tabla 61: Resultados escenario 19.....	49
Tabla 62: Análisis económico escenario 19.....	50
Tabla 63: Tiempo de Proceso Célula Robotizada.....	54
Tabla 64: Actividades asociadas por puesto.....	55
Tabla 65: Indicadores Proceso Robotizado.....	56
Tabla 66: Resultados Simulación Proceso Robotizado.....	57
Tabla 67: Resultados Tiempos Proceso Robotizado.....	57
Tabla 68: Cuadro Comparativo de indicadores.....	64
Tabla 69: Cuadro Comparativo de los parámetros entregados por la simulación.....	65
Tabla 70: Costo empresa Soldador 2.....	66
Tabla 71: Cálculo VPN del Flujo a 15 años actualizado.....	70
Tabla 72: Actividades Asociadas al Paso 1.....	79
Tabla 73: Actividades Asociadas al Paso 2.....	80
Tabla 74: Actividades Asociadas al Paso 3.....	81
Tabla 75: Actividades Asociadas al Paso 4.....	82
Tabla 76: Actividades Asociadas al Paso 5.....	82
Tabla 77: Actividades Asociadas al Paso 6.....	83

ÍNDICE ANEXOS

Anexo A: Sobre la Justificación.....	85
Anexo B: Robot y equipo.....	89
Anexo C: Actividades por puesto de trabajo.....	90
Anexo D: Nivel de Confianza.....	92
Anexo E: Tiempos de Proceso.....	93
Anexo F: Modelos de Eventos.....	126
Anexo G: Gasto de Soldadura.....	129
Anexo H: Resultado de simulación sin limitación de acumulación.....	130
Anexo I: Definición de Puestos de trabajo.....	131
Anexo J: Tiempo de arco robot.....	134
Anexo K: Equilibrio de tiempo por puesto de trabajo.....	135
Anexo L: Pantalla animación del Layout.....	136
Anexo M: Flujos del análisis de sensibilidad para evaluación económica.....	139
Anexo N: Propuesta Bosca.....	142

1. INTRODUCCIÓN

Indura S.A. Industria y Comercio, entrega soluciones integrales en Soldadura y Gases para la Industria y la Medicina. Por lo cual, dentro de la gama de productos que comercializa están los distintos consumibles, maquinaria y equipo de seguridad para el trabajo en soldadura; la Soldadura (alambre mig y electrodo) y distintos Gases (Nitrógeno, Acetileno, Oxígeno, Argón, etc.).

La Estrategia comercial de Indura S.A., sigue el Modelo de Negocios DELTA, el cual, plantea que la empresa concentre sus fuerzas en el cliente y no sólo en el producto. De esta forma busca desarrollar un fuerte compromiso con sus clientes, entregándoles un servicio completo en Soldadura y Gases, acompañado de Soporte Técnico y mejoras Tecnológicas en sus procesos.

En los últimos años, a Nivel Mundial, se ha visto la integración de Robótica Industrial en distintos procesos productivos. Dentro de los usos más frecuentes de los Brazos Robóticos está el proceso de Soldadura, es por esto, que Indura S.A. ha querido entregar a sus clientes la posibilidad de adquirir esta tecnología para la aplicación en sus procesos, así busca lograr una mayor competitividad, tanto a nivel nacional como internacional. La intención de la empresa toma como base la visión por seguir el modelo de negocios antes mencionado, DELTA.

A partir de esta visión, Indura S.A., Robotec S.A. y Kuka S.A., realizaron una alianza estratégica para la venta de una solución integral robótica para trabajos de Soldadura, esta solución involucra tanto el Brazo Robótico, como la máquina soldadora, máquinas, posicionadores, correas transportadoras necesarias y apropiadas, además de entregar el software, la solución de programación del proceso y cursos de entrenamiento para el manejo de la solución robótica.

A partir de este nuevo producto y servicio que se entregará a los clientes, el área comercial se vio en la necesidad de definir las potenciales mejoras que puede traer esta nueva tecnología a sus clientes, la forma de transmitirlo a ellos y lograr mejoras reales en sus procesos y productos, logrando así obtener mayor confianza y fidelidad de estos. Así se originó la necesidad de realizar un análisis técnico-económico de la Robótica en los procesos de Soldadura de la Industria metalmecánica, para este fin se decidió realizar un estudio a una empresa, Bosca S.A., cliente con fuertes proyecciones de crecimiento para Indura S.A.

Bosca S.A. es una empresa cliente de Indura S.A., la cual produce calefactores a leña. Esta empresa dentro de la cartera es una con las mayores proyecciones de crecimiento, en la actualidad se abrió al mercado externo, específicamente con exportaciones a Europa a través de España, por lo cual, deben aumentar significativamente su nivel de producción. Es por esto, que se decidió estudiar a esta empresa para integrar una solución Robotizada o Semi-Robotizada en sus procesos productivos.

En el presente trabajo se muestra el estudio realizado para la evaluación de factibilidad técnica y económica de la introducción de robótica a Bosca, además de la creación de una metodología y herramientas para realizar un análisis similar en otras empresas clientes Indura.

1.1. Objetivos

1.3.1. Objetivo General: Diseñar una Metodológica que se complemente con la Estrategia Comercial de Indura S.A., y permita entregar una evaluación Técnica Económica para la implementación de Robótica en los Procesos de la Industria Metalmeccánica.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Analizar factibilidad económica y de productividad que podría entregar la incorporación de Robótica en Bosca.
- Analizar las posibles mejoras de proceso de la línea, de forma de obtener una mayor capacidad productiva en ella.
- Analizar la factibilidad técnica operacional de integrar Robótica en la línea de Soldadura de Bosca.
- Encontrar el Layout más eficiente de la solución robotizada definida para Bosca, a partir de las mejoras de procesos analizadas.
- Definir una Metodología, que indique la realización de estudios de conveniencia al introducir Robot Soldadores en clientes Indura, especialmente a aquellos con proyección de expansión productiva.

1.2. Descripción del Problema

Como forma de seguir fortaleciendo el Sistema Estratégico de Ventas de Indura S.A., a través del Modelo DELTA, se consolidó una alianza con Robotec y Kuka, esto con el fin de entregar a sus clientes la posibilidad de integrar una solución robótica en sus procesos. Así Indura busca fidelizar a sus clientes en la venta de los suministros, por ejemplo la Soldadura, Gases, Mantenimiento de las Máquinas soldadoras, entre otros, a través de la venta de la Solución Robotizada.

El problema surgió en los IP, ingenieros de procesos, encargados de demostrar al cliente las mejoras que pueden lograr confiando en Indura, con la compra de sus productos y servicios, además de dar continuo soporte técnico a sus clientes. Por esto era necesario conocer los posibles efectos de la Robótica, para así incorporar estos Robots Soldadores en los procesos de los clientes, de forma de satisfacerlos con las nuevas tecnología que se entregan al mercado industrial, apoyando siempre al mejoramiento continuo de la producción de ellos, tanto a nivel técnico como económico.

Para analizar, el cómo incorporar la Robótica en los procesos de Soldadura de los distintos procesos y los efectos que puede traer esto, se decidió realizar un estudio a un caso particular de un cliente.

De esta forma el problema se abordará realizando un estudio técnico y económico de introducir Robótica en el proceso productivo de BOSCA, de forma de aumentar su capacidad productiva, disminuir los costos y mejorar la estética del producto. Este estudio se llevará a cabo a través de la herramienta de operaciones y manufactura de Simulación.

Así a partir del estudio realizado en Bosca, se buscará generar una Metodología de trabajo definiendo los parámetros necesarios a estudiar, para evaluar las ventajas de incorporar Robótica en los procesos de Soldadura de empresas clientes de Indura. Esto con el fin de vender el Robot y fidelizar a sus clientes, entregando herramientas que les permitan,

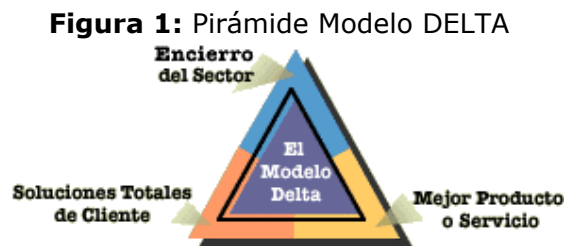
aumentar capacidad productiva, bajar niveles de contaminación por inhalación de humos de soldadura en sus trabajadores, entre otras ventajas que serán analizadas. Logrando así que Indura aumente sus ventas en conjunto con el aumento en la producción de sus clientes, y/o logre la confianza de sus clientes haciendo contratos de los distintos suministro y servicios que entrega Indura.

1.3. Justificación

La justificación, de la realización de este estudio, está relacionada con distintos aspectos económicos, históricos y de procesos. Los diferentes aspectos involucrados son:

1.3.1. Modelo de Negocios que sigue Indura, actualmente Indura sigue un Modelo de Negocios llamado DELTA, uno de los creadores de este Modelo es Arnoldo Hax, quien plantea que existen tres posiciones estratégicas potenciales: El Mejor Producto o Servicio, Soluciones Totales para el Cliente y Encierro del Sector. Aunque pueda que las organizaciones no encajen completamente dentro de una sola posición, hay posibilidades de que una de ellas represente mejor el enfoque estratégico central de éstas, por tanto se debe investigar y determinar este enfoque.

La figura 1 muestra la pirámide que sigue el Modelo DELTA.



El modelo se enfoca en creer que una empresa se debe a sus clientes, que el centro de la estrategia deben ser estos. La empresa debe servir a sus clientes en forma distintiva si quiere obtener un buen desempeño. El nombre de este juego es atraer, satisfacer y retener al cliente. Las Estrategias clásicas están orientadas al producto. Muchas empresas tienden a "customizar" al cliente ofreciéndole productos estandarizados, con canales masivos de distribución, haciendo pocos esfuerzos por satisfacer las necesidades individuales de sus clientes. La naturaleza física y los canales de distribución, ponen barreras a las empresas para conocer a sus clientes. Michael Dell pensó que estaba bajando costos cuando decidió saltarse los canales de distribución y entenderse directamente con los clientes. Sin embargo, se dio cuenta que este mundo le habría muchas posibilidades para entregar más soluciones a sus clientes (nuevas ofertas). Estas no se podrían haber generado con el antiguo sistema de distribución. Una empresa puede establecer lazos irrompibles, un conocimiento profundo y una relación a la que se le ha llamado "vinculo con el cliente".

En el Anexo A.A. se puede apreciar con más detalle el Modelo DELTA.

De acuerdo a este Modelo, Indura lo sigue con una estrategia híbrida, esto se refiere a que busca entregar Soluciones Totales a sus Clientes y además generar un Encierro del Sector, es así como ha segmentado a sus clientes y se ha centrado en conocer sus necesidades, logrando un fuerte nivel de confianza de estos. Así, a través del tiempo la gama de productos entregados ha aumentado considerablemente a medida que se han observado las necesidades de los clientes. De esta forma Indura busca cumplir con este modelo en cuanto a atraer, satisfacer y retener a sus clientes.

Con el tiempo, Indura ha dispuesto integrar a la mayoría de sus clientes que compran en grandes volúmenes, en un grupo estratégico que ha sido llamado OPS (Oferta, Producto y

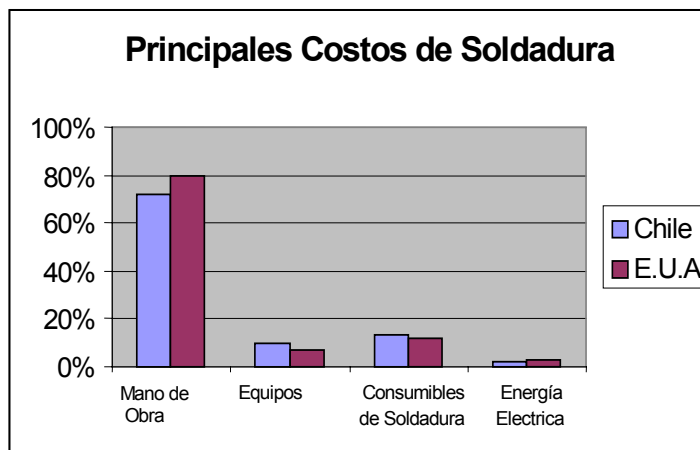
Servicio), y es por esto, que ha sido de gran utilidad la segmentación realizada y el conocimiento que ha adquirido de las necesidades de cada uno de sus clientes, generando así un vínculo importante con ellos. A través de contratos de suministros y descuentos, se busca fidelizar al cliente con toda la gama de productos que les puede proporcionar, de forma de facilitarle la compra, centrandolo todo en un sólo proveedor. Además les da asistencia técnica en todos los procesos de soldadura, cuando el cliente compra en grandes cantidades a Indura.

A partir de la necesidad de ampliar la gama de producto y entregar las nuevas tecnológicas en soldadura, es que Indura introduce los Brazos Robóticos para soldadura en su gama de productos y ve la necesidad que estos ayuden en los procesos de sus clientes y no afecten negativamente en estos. Siempre con el fin de lograr cumplir con la necesidad de atraer, satisfacer y retener a sus clientes.

Indura tiene su vista fuertemente puesta en la Empresa Bosca S.A., que si bien es un cliente antiguo, este tenía un orden de compras mínimo (año 2002), las ventas se centraban sólo en la soldadura y las compras eran evaluadas sólo por precio, así Indura en el año 2003 comenzó a observar a su cliente y apreció que este tenía grandes proyecciones y centró parte de sus esfuerzos en llevarlo a ser un cliente OPS, utilizando la estrategia antes mencionada del Modelo DELTA. De esta forma a medida que han pasado los años ha logrado distintos contratos de servicios y suministros, entre ellos el suministro de gas. Al presente año se ha visto un aumento importante en la facturación a este cliente llegando al presente año a facturar en los primeros tres meses un 1.833% del total facturado en el año 2002. Esto a través del aumento en la cantidad y la gama de productos entregados a Bosca.

1.3.2. Estructura de costos asociada a trabajos de soldadura, los principales costos de soldadura son Mano de Obra, Equipos, Consumibles y Energía Eléctrica, la distribución porcentual de estos se ve en el siguiente gráfico.

Gráfico1: Costos de Soldadura



Como se puede observar la mayor parte de los costos están asociados a la mano de obra, debido a esto, cabe definir dos segmentos distintos de fabricación para la soldadura.

La Soldadura intensiva en mano de obra: utiliza un proceso de soldadura manual o semiautomático, dependiendo de la mano de obra intensiva y calificada en el proceso de fabricación.

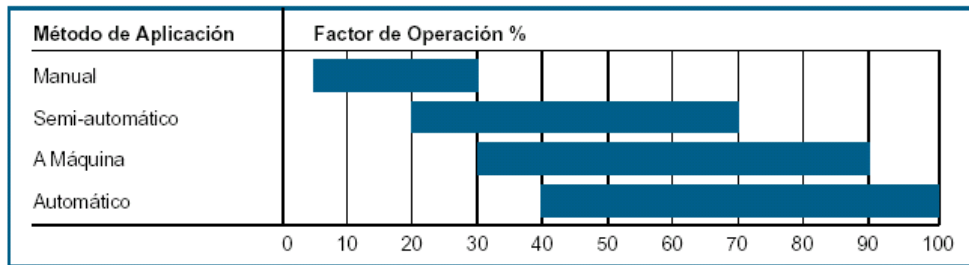
La Soldadura intensiva en inversión de capital: utiliza procesos de soldadura automatizados, mecanizados o robotizado, con elevada tecnología y poca dependencia de la mano de obra, pero requiere grande inversión de capital.

De esta forma, los costos de soldadura pueden variar entre industria e industria, dependiendo del método de soldadura usado. Debido a lo mencionado, se espera previamente tener resultados de reducción de costos en los sistemas productivos de soldadura, al incorporar la robótica.

En la gráfico 2 se observa que un sistema semi-automático, logra una mayor eficiencia y por ende un mayor nivel de competitividad para las empresas que la empleen. Éste es el sistema utilizado actualmente por Bosca, esto consiste en que utilizan una máquina de soldar que se alimenta de forma semi-automática del alambre de soldadura.

En el siguiente cuadro se puede apreciar los rangos de factor de operación:

Gráfico 2: Factor de Operación/Método de Aplicación



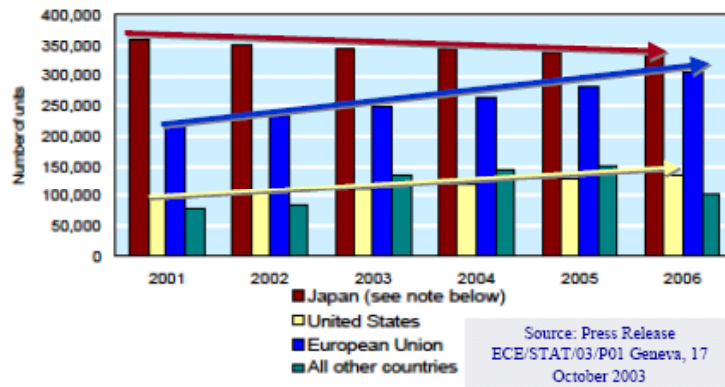
Factor de Operación = (Tiempo Real de Arco/Tiempo total que se paga al operador)*100

En este gráfico se puede apreciar que un sistema automático puede lograr un factor de operación mayor que un sistema semi-automático. Un sistema automático consiste en utilizar equipos de automatización de procesos en la soldadura. De aquí se puede deducir que si logro un sistema de soldadura automático lo más óptimo posible, lograré un factor de operación muy cercano al 100%, por lo cual las horas hombres pagadas serán aprovechadas de mejor forma con este método de aplicación.

1.3.3. Historia en la venta de robots, en la figura 4 se puede apreciar la evolución de las ventas de Robots a nivel, mundial.

Gráfico 3: Evolución Venta de Robots

**The Number of Industrial Robots used in the World
(2003-2006 Predicted Number)**



En este gráfico se puede apreciar un aumento en el número de Robots Industriales usado en el mundo, excepto en Japón que como se aprecia, es una Industria altamente competitiva y conocidos mundialmente como innovadores en sus sistemas productivos, y es así como

vemos un elevado uso de Robots en el año 2001, y luego un decrecimiento. Esto se aprecia debido a que al comprar en grandes cantidades saturaron sus procesos en robotización, por lo cual su nivel de compra ha ido bajando y estabilizándose en el tiempo en conjunto con el crecimiento de la industria. Al contrario las Industrias en otros países, se aprecian como seguidores en esta tecnología, y por ende se ve un aumento lento en el uso de estos Robot, pero en general una tendencia al crecimiento.

1.3.4. Trabajo seguro, gran parte de los usos que se le están dando a los Brazos Robóticos es para aquellos trabajos inseguros y que amenazan la salud del empleado. Así un tema importante dentro de la seguridad en soldadura es la inhalación de humos y gases de soldadura, los cuales pueden causar al largo plazo importantes enfermedades. Es por esto, que Chile ha querido seguir las normas internacionales, queriendo tener un mejor control en las Industrias en cuanto a los niveles de inhalación de los empleados. El reemplazar a un Soldador que esté altamente expuesto a una alta inhalación de gases y humos de soldadura, ayuda a bajar los niveles de inhalación de los empleados en una empresa, y por ende estar menos expuestos a la clausura de esta debido a la peligrosidad de las operaciones.

Para saber más acerca de los efectos nocivos que existen por la inhalación de humos y gases, ver Anexo AB.

1.4. Metodología

La metodología consiste en:

1.4.1. Simulación del Proceso Productivo Actual: realizar la simulación de la línea 1 de producción de armado y soldadura de Bosca, utilizando el software de simulación de procesos Arena. Esto con el fin de encontrar los actuales "puntos críticos" del proceso, los "cuellos de botella", cual es el nivel de ocupación de los soldadores, entre otros eventos que pueden ser relevantes en el estudio. Además esta simulación permitirá validar los próximos modelos de prueba.

1.4.2. Buscar una solución más eficiente de la línea 1, realizar sólo cambios operacionales, sin introducción de Robótica. De esta forma analizar distintas soluciones de mejora, para lograr un mayor nivel de producción de la línea 1 de armado y soldadura sin generar mayores inversiones para esto y de forma de influir lo menos posible en los costos actuales.

Buscar algún indicador, que permita visualizar cual puede ser una de las mejores soluciones operacionales para lograr mayor nivel de producción.

A partir de esto simular las distintas posibilidades, realizando una tabla de comparación de las distintas soluciones encontradas, de acuerdo a los indicadores que definan las mejores soluciones.

Esta actividad a realizar tiene como objetivo ser el punto de comparación con el proceso Robotizado, ya que la solución robotizada se buscará a través de aquella mejora encontrada. Así se entregará una solución más eficiente que la que se podría entregar incorporando la Robótica directamente en un proceso que puede tener muchas deficiencias, por lo que la integración de Brazos Robóticos podrían aportar muy poco o simplemente empeorar la fluidez del proceso productivo.

1.4.3. Realizar planilla de decisión de actividades potenciales a ser Robotizadas: analizar cuales serían las piezas y las actividades posibles de soldar con un Brazo Robótico, estudiar cuales son los parámetros que influyen y las características que deben tener estas. Luego confeccionar una planilla que ayude a conocer para cada actividad, si existe la posibilidad de ser robotizada. Finalmente realizar pruebas a las actividades potenciales a robotizar y así definir las que serán Robotizadas.

1.4.4. Definir la Secuencia del Proceso Robotizado definido y el Layout de éste: a través de la herramienta de simulación encontrar la secuencia de operaciones utilizando Robótica que permita mejorar la producción de la línea en estudio. Esto a partir de la solución encontrada a nivel operacional sin integración de Robótica. Luego generar el mejor layout para esta solución de forma de tener los menores tiempos muertos en el proceso. Finalmente realizar una animación del proceso y layout definido de forma de utilizarlo como parte de la propuesta de venta a Bosca.

1.4.5. Análisis Técnico y Económico del Proceso Robotizado: realizar una evaluación económica del Proceso Robotizado, que incluya sólo los costos asociados a la soldadura, la inversión inicial de integrar el Layout del Proceso Robotizado, y el aumento de la productividad. Además se analizarán los aspectos técnicos involucrados en la utilización de Robots en la soldadura.

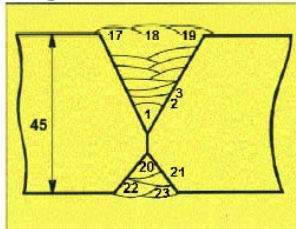
1.4.6. Definición de la Metodología de trabajo para el análisis realizado: definir la Metodología de Trabajo para realizar el análisis técnico económico de la incorporación de robótica en los procesos de Soldadura de la Industria Metalmeccánica, en distintas empresas, definiendo las herramientas a utilizar y haciendo algunos análisis de sensibilidad, de acuerdo a los tipos de empresas potenciales a analizar.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1. El Proceso de Soldadura

La Soldadura es un procedimiento por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin el aporte de otro metal, llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión puede ser inferior o igual a las de las piezas que se han de soldar.

Figura 2: Soldadura



La mayoría de los procesos de soldadura, al igual que en la fundición de los metales, requieren la generación de altas temperaturas para hacer posible la unión de los metales. El tipo de fuente de calor es básicamente lo que describe el tipo de proceso, como por ejemplo, Soldadura Autógena (gas) y Soldadura de Arco (eléctrica). Uno de los principales problemas en Soldadura es el comportamiento de los metales ante la combinación de los agentes atmosféricos y los cambios en su temperatura. Para proteger el metal caliente del ataque de la atmósfera se han desarrollado distintas técnicas como la protección por Gas Inerte, en muchos casos es más que un escudo protector, pero es básicamente para lo que fueron creados.

Algunos de estos procesos han sido desarrollados para algunas aplicaciones específicas, mientras otros se mantienen muy flexibles cubriendo un amplio rango de aplicaciones en la soldadura. Aunque la soldadura es usada principalmente para unir metales similares, también los es para unir partes metálicas no similares.

El proceso de arco eléctrico se mantiene como el más usado de todos los grupos de las técnicas de soldadura. Como el mismo nombre lo sugiere, es un arco eléctrico que se establece entre las partes a ser soldadas y un electrodo metálico. La energía eléctrica, convertida en calor, genera una alta temperatura en el arco, causando la fundición de los metales y por ende la unión después de la solidificación de mezcla.

Existen distintos tipos Soldadura y posiciones de soldadura, éstas se distinguen como lo muestran las siguientes figuras:

Figura 3: Soldadura en Plano **Figura 4:** Soldadura Horizontal

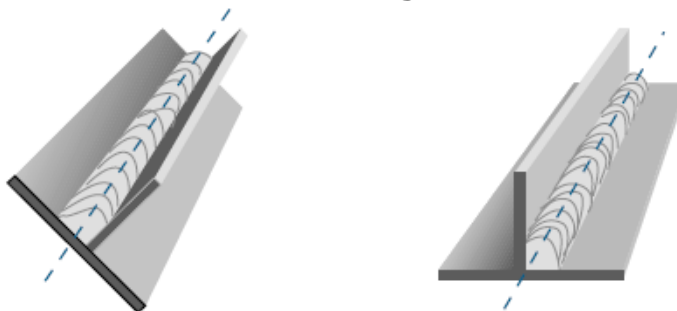


Figura 5: Soldadura Vertical

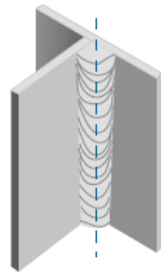
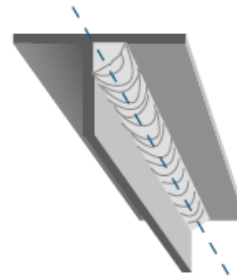


Figura 6: Soldadura Sobre Cabeza



Los Recursos Utilizados para el proceso de Soldadura de Arco eléctrico con alambre MIG, son los siguientes:

1-. Máquinas de Soldar: están formados por un circuito de alimentación. Sirven para reducir la tensión de red (220 o 380 V) a la tensión de cebado (entre 40 y 100 V) y de soldeo (< 35 V) permitiendo regular la intensidad de la corriente de soldadura, asegurando el paso de la tensión de cebado a la de soldeo de forma rápida y automática. El circuito de alimentación está compuesto por un cable y clavija de conexión a la red y funcionando a la tensión de 220/380 V según los casos e intensidad variable. Esta se alimenta del alambre MIG, el cual se provee en carrete que se instala en el equipo, este alambre sale a una velocidad de avance a través de la Pistola, la cual está conectada también al gas protector utilizado, esta velocidad es determinada por el operador.

Figura 7: Máquina de Soldar



Figura 8: Soldadura Alambre MIG, carrete de 15 Kg y tambor de 220 Kg



2-. Pistola para Soldar: la pistola permite la fusión a través de la energía eléctrica entregada por el equipo para soldar, el gas y el alambre MIG.

Figura 9: Pistola para Soldar



2.2. La Automatización y La Robótica

La automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos-eléctricos basados en computadoras para la operación y control de la producción. En consecuencia la robótica es una forma de automatización industrial.

Hay tres clases muy amplias de automatización industrial: automatización fija, automatización programable, y automatización flexible.

La automatización fija se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por tanto se puede justificar económicamente el alto costo del diseño de equipo especializado para procesar el producto, con un rendimiento alto y tasas de producción elevadas. Además de esto, otro inconveniente de la automatización fija es su ciclo de vida que va de acuerdo a la vigencia del producto en el mercado.

La automatización programable se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener. En este caso el equipo de producción es diseñado para adaptarse a las variaciones de configuración del producto; ésta adaptación se realiza por medio de un programa (Software).

La automatización flexible, por su parte, es más adecuada para un rango de producción medio. Estos sistemas flexibles poseen características de la automatización fija y de la automatización programada. Los sistemas flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo interconectadas entre si por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, controlados en su conjunto por una computadora.

De forma general la Robótica se define como: "El conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten concebir, realizar y automatizar sistemas basados en estructuras mecánicas poli articuladas, dotados de un determinado grado de inteligencia y destinado a la producción industrial o a la sustitución del hombre en muy diversas tareas".

Un Sistema Robótico puede describirse como: "Aquel que es capaz de recibir información, de comprender su entorno a través del empleo de modelos, de formulas y de planes de ejecución, y de controlar o supervisar su operación".

Un Brazo Robótico es capaz de hacer el mismo trabajo que hace un soldador humano, la diferencia está en las capacidades del robot. Entre las capacidades que podemos encontrar en un robot que un soldador humano no tiene, están: los Robot no necesitan la visión para realizar el proceso de soldadura, por lo cual puede soldar piezas en un lugar donde un

soldador humano no podría porque la visión no le permite detectar el punto de soldadura; la velocidad de posicionamiento al punto de soldadura respectivo es mayor que la que puede lograr un soldador humano, esto debido a que el robot tiene un mayor alcance sin moverlo de su eje de posicionamiento, por lo cual para llegar a posiciones más alejadas sólo necesita mover su brazo, por el contrario un soldador humano deberá cambiar su posición para alcanzar el punto o por el contrario mover la pieza; un Robot no se cansa, por el contrario un soldador humano luego de repetitivas acciones de soldadura estará más cansado y su velocidad de soldadura y movimiento será menor, mientras que un robot mantendrá su velocidad programada constante en el tiempo.

Figura 10: Brazo Robótico Kuka



En el Anexo B, se muestra la descripción del Robot que comercializa Indura y su equipo.

2.3. Proceso de Simulación a través de ARENA

ARENA es un software de simulación de procesos, es una herramienta para simular procesos de cualquier tipo desde simples colas hasta procesos con gran cantidad de variables involucradas, este tiempo de software es de gran utilidad para visualizar y estudiar de qué modo se están llevando a cabo los diferentes procesos.

Las entidades son alimentadas por funciones de distribución de probabilidades y estas son utilizadas a través del método Montecarlos.

Las entidades están definidas por las siguientes figuras.

Figura 11:
Módulo de Inicio de proceso

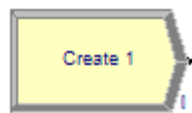


Figura 14:
Módulo de Decisión

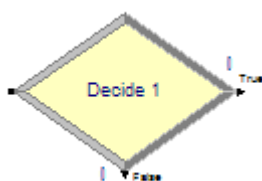


Figura 12:
Módulo de Fin del Proceso

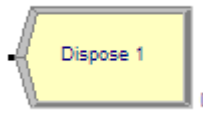


Figura 15:
Módulo para formar Batch

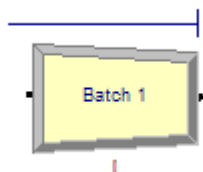


Figura 13:
Modulo de Proceso

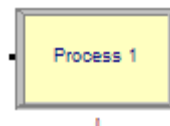


Figura 16:
Módulo para separar Batch



3. ESTUDIO OPERACIONAL DEL PROCESO PRODUCTIVO BOSCA

3.1. Situación Actual

En la actualidad el proceso productivo de Bosca cuenta con tres áreas de producción, el área de corte y doblado; la de armado y soldadura; y la de terminaciones.

El estudio corresponde específicamente al área de Armado y Soldadura, y más específicamente aún, en la Línea 1 de Armado y Soldadura donde se producen los modelos de Calefactores a Leña más típicos que son:

- SCAN 350 Limit
- SCAN 350 Plus
- SCAN 380 Limit
- SCAN 380 Plus
- SCAN 450 Limit
- SCAN 450 Plus

Esta elección, se realiza debido a que estos modelos son los de mayor venta, abarcando casi un 70% de las ventas totales, las cuales han ido en aumento en los últimos 3 años, debido a la apertura al mercado Europeo, específicamente a través de España. Esto ha provocado que su capacidad productiva no de abasto, generando así un día más de trabajo (el día sábado), y por ende el pago de muchas horas extra para lograr el nivel de producción requerido por el área de ventas.

La diferencia entre los modelos es:

Modelos	Tamaño	Pedestal
Scan 350 Limit	Pequeño	Con Pedestal
Scan 380 Limit	Mediano	Con Pedestal
Scan 450 Limit	Grande	Con Pedestal
Scan 350 Plus	Pequeño	Sin Pedestal
Scan 380 Plus	Mediano	Sin Pedestal
Scan 450 Plus	Grande	Sin Pedestal

Debido a la Metodología definida para este trabajo, se torna extenso el realizar el estudio para cada uno de los modelos de Calefactores, motivo por el cual se tomó la decisión de definir uno de estos modelos para simular su sistema productivo en la Línea de Armado y Soldadura.

El modelo simulado es el SCAN 380 Limit, esto debido a que los modelos de mayor producción dentro de la línea son las Scan Limit. Además este es el modelo de mayor producción en la línea y el de tamaño mediano, esto permite aproximar los análisis y resultados económicos a un promedio de la producción total de los diferentes modelos. Es decir, el promedio de todos los modelos de los tiempos de proceso, el consumo de soldadura, el consumo de gas, de cada modelo, se aproxima a los consumos y tiempos de los modelos 380.

Figura 17: SCAN 380 Limit



Figura 18: SCAN 380 Plus



3.2. Descripción de la Línea 1 de Armado y Soldadura

Actualmente la Línea 1 de Armado y Soldadura de BOSCA cuenta con 11 puestos de trabajo. Cada uno de estos puestos tiene asociado entre 3 a 6 actividades (ver Anexo C), y cuentan con un equipo de soldar y un soldador.

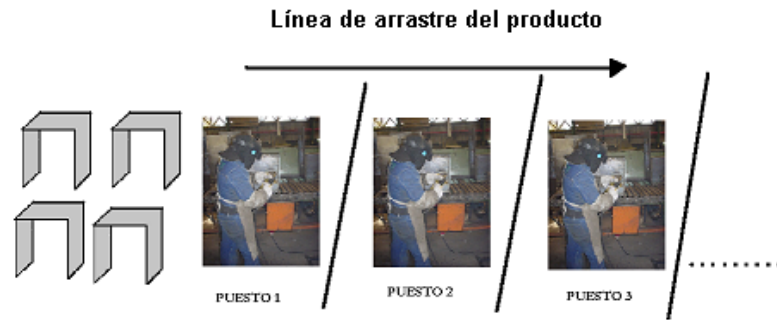
El flujo de producción comienza en el puesto 1, y continua avanzando secuencialmente por cada uno de los puestos hasta llegar al 11 (ver figura 20).

En cada puesto de trabajo se agrega una pieza del producto o se remata, para que esta quede ajustada. Es así como al final de la línea se obtiene el calefactor de la figura 19.

Figura 19: SCAN 380 Limit, sin terminaciones



Figura 20: Esquema Línea 1 armado y soldadura



Cada puesto trabaja sólo con una pieza a las vez, excepto en el puesto número 9 que trabaja en Batch de 7 piezas.

La producción diaria de SCAN 380 Limit es de 170 unidades diarias promedio (lunes a viernes), con 11 horas laborales, de las cuales media hora corresponde al Almuerzo, la primera hora de jornada corresponde a la entrega de implementos y herramientas a los Soldadores y 2 horas son Horas Extra. Además existe una jornada el día sábado con 4,5 horas de trabajo, produciendo 80 unidades.

Como promedio anual proyectado del año 2006 de acuerdo a los niveles de producción actual, de SCAN corresponde a 44.400 unidades.

3.3. Simulación del Proceso Productivo Actual

Con el objetivo de realizar un estudio representativo, se simuló el proceso actual. El Software que se utilizó para esto fue ARENA Simulation, el cual es alimentado de muestras estadísticas a través de funciones de densidad de probabilidad de los tiempos de proceso.

3.3.1. Tamaño de Muestra

El tamaño de muestra fue definido de acuerdo al nivel confianza requerido y a la disponibilidad de tiempo para la toma de muestra. De acuerdo a esto para cada actividad asociada a cada puesto de trabajo, se tomaron entre 30 y 40 tomas de tiempo (ver tiempos y funciones de distribución en Anexo E).

El nivel de confianza promedio de la Toma de Muestra es de un 89% (promedio de los Niveles de Confianza de cada una de las actividades), obtenido a través de la siguiente ecuación, la cual se alimenta acercando los datos al modelo de un función Normal (ver Cálculo en Anexo D)

Ecuación 1: Z de una normal para cierto error

$$Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = \sqrt{n} \times \frac{d}{\sigma}$$

Donde,

n = tamaño de muestra

d = error de precisión

σ = desviación estándar

α = nivel de significancia (pbb de equivocación)

Z = tabla normal, determina el nivel de confianza

$$Z \rightarrow \frac{\alpha}{2}$$

Ecuación 2: Nivel de Confianza

$$\text{Nivel de Confianza} = 1 - \alpha$$

Para la simulación se analizaron los tiempos en el Input Analyzer de ARENA, esto para obtener la función densidad de probabilidades, que se acomodara mejor al comportamiento de los tiempos de cada actividad.

3.3.2. Parámetros

Se escogieron distintos parámetros para el análisis a realizar, esto de acuerdo a las necesidades del estudio.

Los Parámetros destacados para el análisis son:

- a. Promedio en Cola:** corresponde al número promedio en cola, en cada uno de los puestos de trabajo.
- b. Máximo en Cola:** corresponde al número máximo que puede haber en cola en cada uno de los puestos de trabajo.
- c. Nivel de Ocupación:** corresponde a la fracción del tiempo total en que cada soldador está ocupado. El tiempo definido como un soldador desocupado es en el momento en que este espera que llegue una pieza para procesar. El tiempo de ocupación incorporado está definido por el tiempo en cambio de carrete, idas al baño, limpieza de pistola y tiempo en proceso de cada actividad realizada.
- d. Tiempo del Producto en Proceso:** corresponde al tiempo que cada uno de los productos procesados, están en la línea de producción. Incluye el tiempo de espera al inicio del proceso.
- e. Tiempo de VA:** dentro del software está definido como el tiempo que el producto está en una actividad de valor agregado, lo cual es definido por el operador. De forma de facilitar el análisis, las actividades definidas como valor agregado dentro del modelo son aquellas que corresponden al proceso de producción y a la limpieza de pistola.
- f. Tiempo NVA:** dentro del software está definido como el tiempo que el producto está en una actividad de valor no agregado. De forma de facilitar el análisis, las actividades asociadas a un valor no agregado son aquellas que corresponden a las salidas al baño y los cambios de carrete.

3.3.3. Modelo de Simulación

El modelo de simulación de la Situación Actual toma en cuenta algunos eventos distintos a las actividades netamente de producción, estas son las salidas al baño, los cambios de carrete de soldadura y las limpiezas de pistola. Esto es importante al momento de analizar las potenciales mejoras de productividad que puede tener la incorporación de robótica, ya que provocan tiempos muertos en el flujo de la producción en la línea.

Además como evento importante del proceso se modeló las unidades máximas de acumulación durante el proceso, entre cada puesto de trabajo. Esto, debido a que la generación de colas en los puestos, iguales al máximo de acumulación provoca una detención en el puesto anterior correspondiente y genera una reacción en cadena deteniendo otros puesto de la línea, lo cual puede ser factor importante dentro del análisis de nivel productivo.

El modelo (ver figura 21) consiste en sub modelos que son llamados Puesto 1,2,3...hasta el 11, estos involucran las actividades asociadas al puesto, y los eventos de salida al baño, cambio de carrete y limpieza de pistola.

Los rombos corresponden a la decisión de que el puesto siguiente pare debido al atochamiento entre los puestos, o siga si no lo hay.

Los rectángulos bajo las decisiones muestran la acumulación de piezas entre los puesto que están en espera de ser procesados, es decir, los tamaños de cola que se generan en el puesto.

Los eventos simulados dentro del modelo se definen de la siguiente forma:

A-. Salidas al Baño: este fue planteado como un evento aislado, por esto la probabilidad de ocurrencia está definida por una función de distribución de Poisson, de acuerdo a los tiempos tomados en terreno. La definición de este evento en el modelo se muestra en la fig 8. El Modelo está constituido por un rombo de decisión que dice si hay salida al baño en el instante en que cierta pieza se está procesando o no y sigue el curso típico de producción. Además la salida al baño está definida con un bloque de proceso definido por una demora de tiempo de acuerdo a una función densidad obtenida a través de la toma de datos (ver Anexo F.A).

B-. Cambio de Carrete: este es un evento que ocurre cada cierta cantidad de piezas procesadas, el periodo de cambio de carrete es diferente en cada puesto, debido a que el gasto de soldadura es distinto dependiendo de la actividad realizada en ellos. Los periodos de cambio están definidos de acuerdo a:

- La experiencia de los Soldadores: se preguntó a cada soldador el tiempo de duración de un carrete de soldadura. De acuerdo a esto y al nivel de producción diario se obtuvo, cada cuantas estufas debía cambiar carrete de soldadura cada puesto de trabajo.
- La Medición de Cordones y Pinchazos de Soldadura: se midió el largo del cordón de los remates y el de los pinchazos contenidos en un calefactor, y se asociaron a cada actividad. Luego utilizando el Software de Costos de Soldadura INDURA, que evaluó de acuerdo al tipo de soldadura, al soldeo y el largo del cordón, cual era el gasto en soldadura por cada actividad y así, para cada cuantas estufas debería cambiar carrete de soldadura cada puesto de trabajo.

Finalmente se estimó el gasto por calefactor en cada puesto, promediando los resultados de las dos soluciones antes mostradas. La razón por la cual no se definió sólo de acuerdo a las mediciones fue debido a las perdidas de alambre que se provocan cuando la pistola se tapa y el alambre no pasa libremente. La planilla de cálculo se muestra en el Anexo F.B.

Los cambios de carrete de alambre para cada puesto se muestran en la siguiente Tabla:

Tabla 1: Duración Carrete de Soldadura

Puesto	Unidades de Estufas por Carrete de Soldadura (15 Kg.)
1	492
2	188
3	136
4	296
5	128
6	126
7	183
8	848
9	2030
10	957
11	314

C-. Limpieza de Pistola: la limpieza de pistola ocurre debido a que la soldadura salpica y obstruye la boquilla impidiendo el paso del gas, esto no permite que el alambre avance libremente. Se observó dos tipos de limpieza, una que demoraba menor tiempo y consistía en limpiar lubricar la pistola, y el otro que demoraba mayor tiempo que consistía en desarmar la pistola, limpiarla y luego hacer avanzar el alambre hasta visualizar que éste tenía un libre avance. La ocurrencia de este evento se definió de acuerdo a una función de densidad de probabilidades de Poisson y el tiempo como una función densidad de acuerdo a tiempos tomados en terreno (ver Anexo F.C).

El Modelo definido para simular la Situación Actual se muestra en la figura 21.

Figura 21.1: Modelo de Simulación

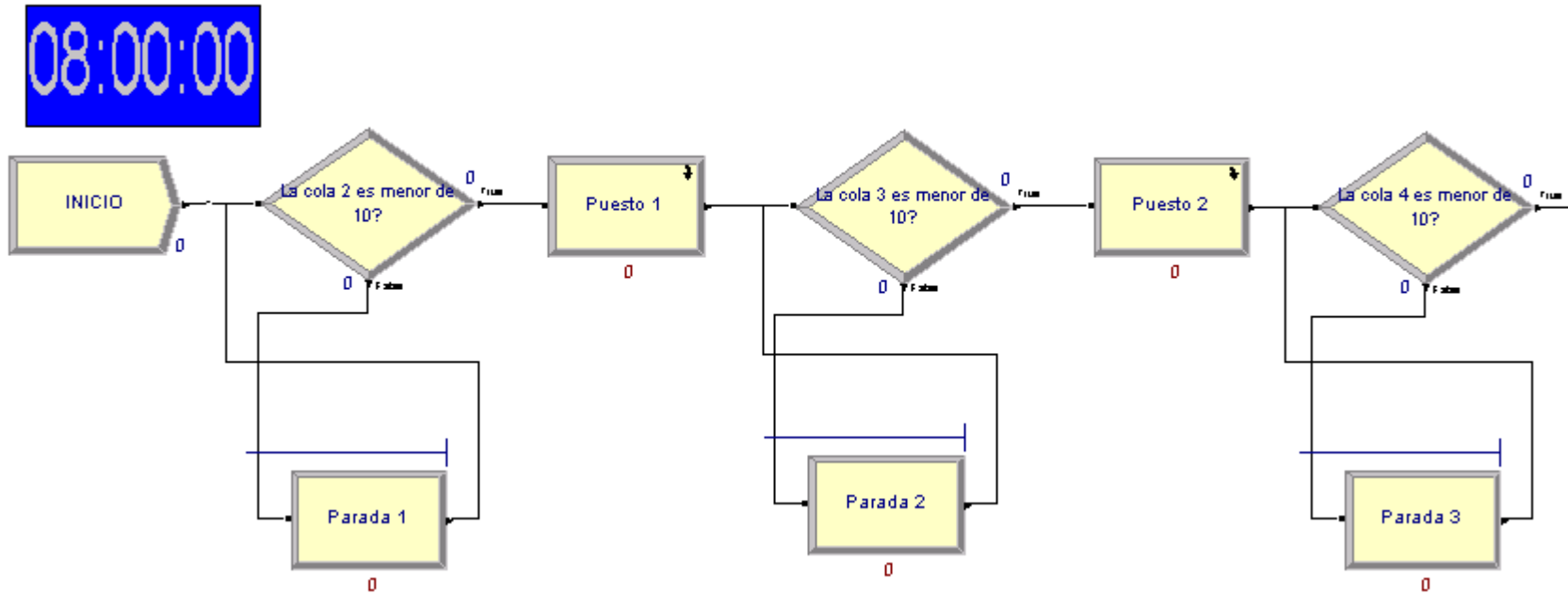


Figura 21.2: Modelo de Simulación

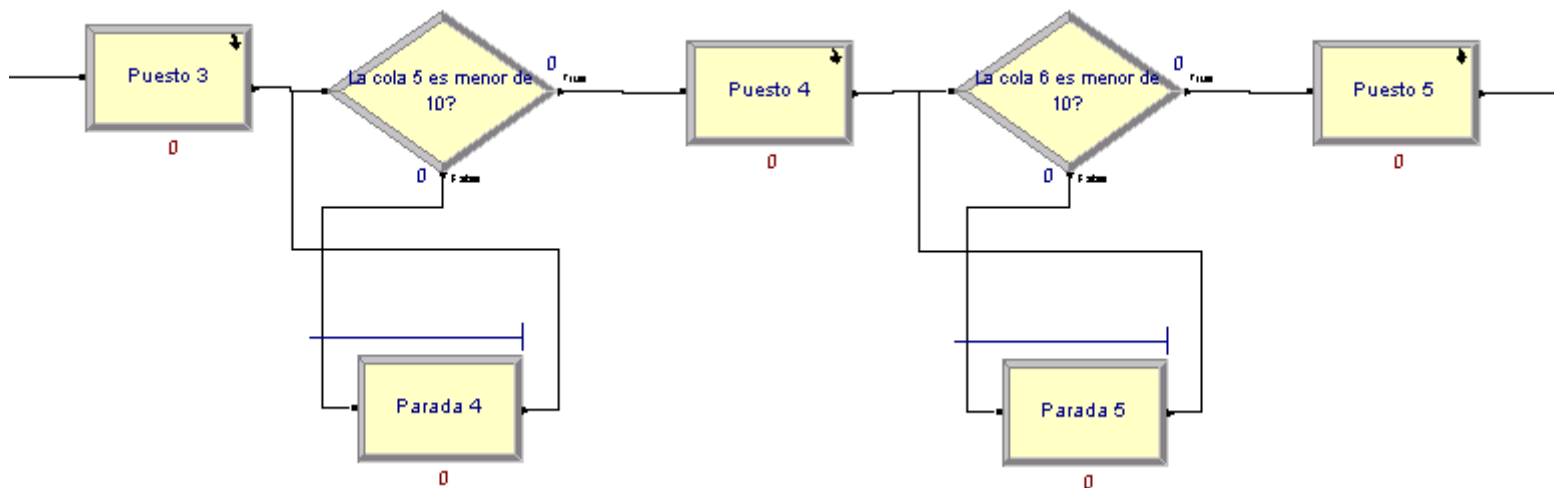


Figura 21.3: Modelo de Simulación

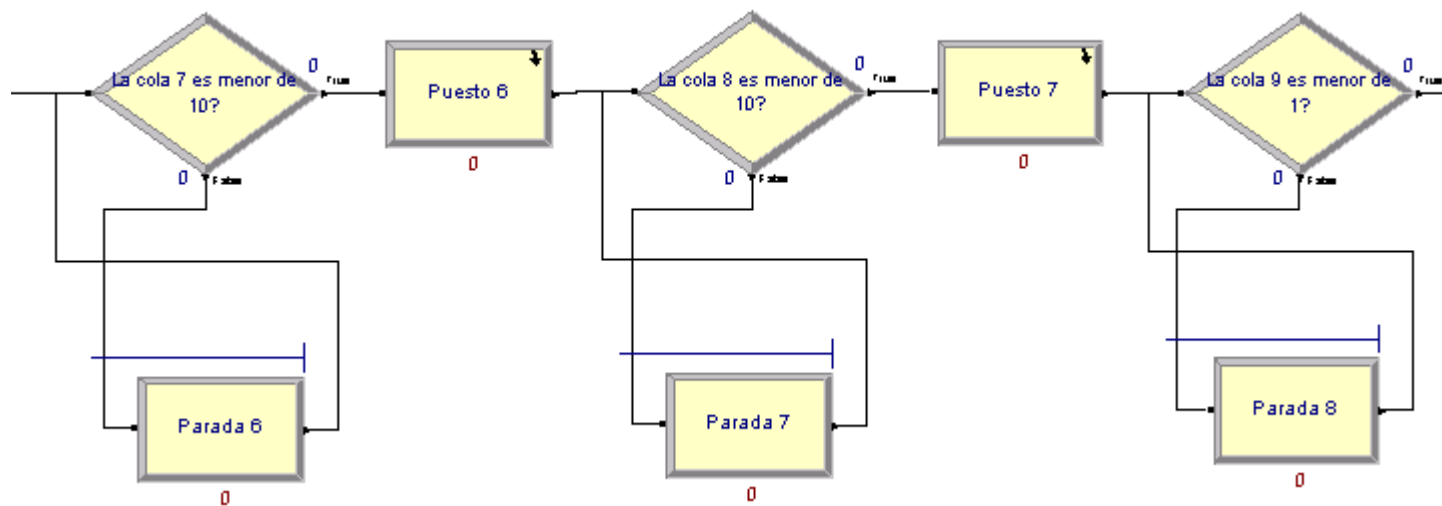


Figura 21.4: Modelo de Simulación

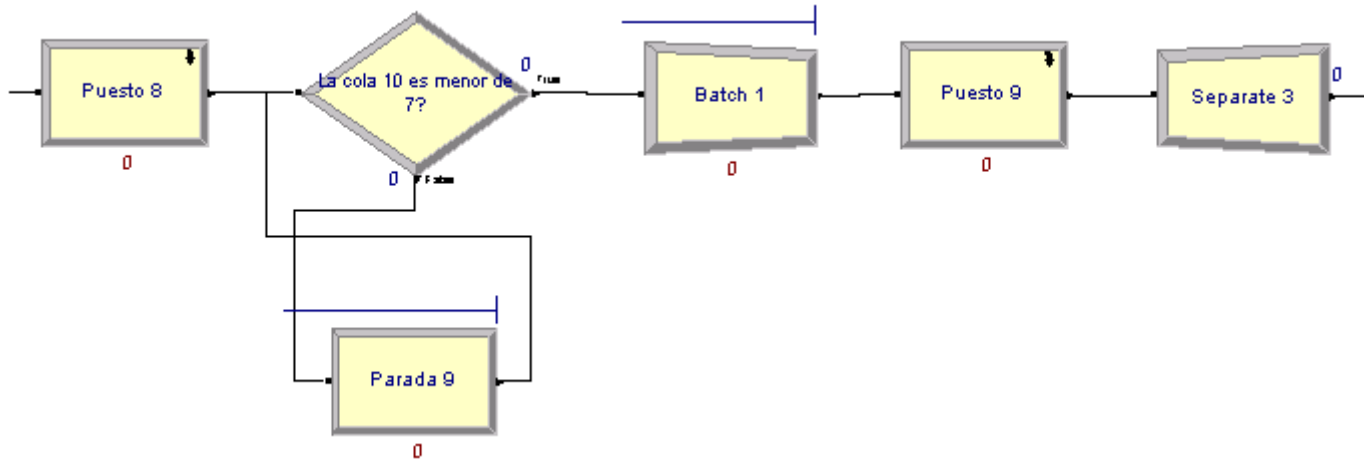
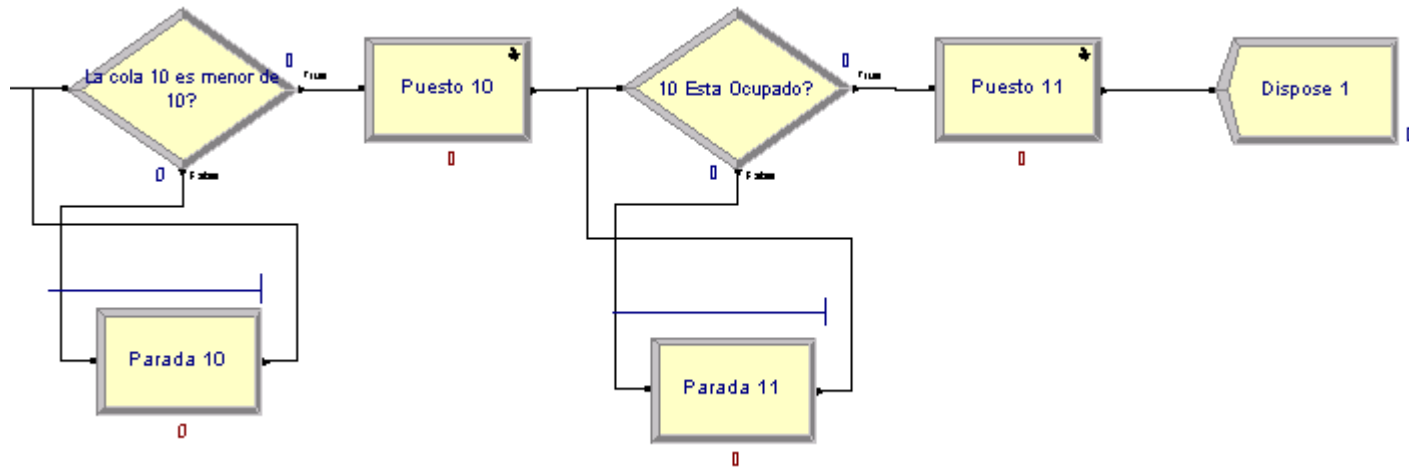


Figura 21.5: Modelo de Simulación



3.3.4. Resultados de la Simulación

Los resultados del modelo de simulación en un periodo de un mes de trabajo en el modelo en estudio que equivale a 12 días de trabajo, se muestran en la tabla 2.

La producción diaria entregada por el Modelo fue de **2001 calefactores**.

El Nivel de Ocupación Promedio de los Soldadores fue de **0,77**.

El número de estufas producidas por Soldador fue de **181 unidades**.

En la tabla 2 se muestra lo promedios y máximos en cola entre cada puesto de trabajo, y el nivel de ocupación de los soldadores de cada uno de los puestos.

Tabla 2: Resultados Simulación Situación Actual

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.67
Puesto 2	7.78	10	0.8
Puesto 3	6.81	10	0.85
Puesto 4	5.14	10	0.58
Puesto 5	6.91	10	0.83
Puesto 6	5.72	10	0.75
Puesto 7	6.8	10	0.86
Puesto 8	5.16	10	0.65
Puesto 9	5.87	10	0.88
Puesto 10	4.47	16	0.93
Puesto 11	0.16	5	0.71
Promedio			0.77

En cuanto a los distintos tiempos asociados al flujo de producción, los resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Tiempos Simulación Situación Actual

	Promedio	Minimo	Máximo
Tiempo del Producto en Proceso (min)	816.74	61.99	2951.73
Tiempo de VA (min)	40.67	36.04	49.99
Tiempo NVA (min)	2.65	0	43.96
Tiempo de Espera (min)	772.54	15.89	2902

3.3.5. Validación del Modelo

La validación del Modelo está realizada a través de una verificación en terreno. Se observó por 2 horas/día, durante un mes, las colas que se generaban en cada puesto de la línea, comparando con los resultados de colas promedio, obtenidos de la simulación. Lo que se observó en terreno era muy similar a los resultados de la simulación.

Además el modelo de simulación entregó una producción mensual de 2001 unidades y actualmente se producen en promedio 2030 unidades mensuales, lo que muestra una semejanza en los resultados con un delta promedio de 1,45%.

3.4. Soluciones de Mejora sin mayor inversión

El objetivo de la Simulación es hacer pruebas para lograr mejoras en el proceso, con estas mejoras se pretende acercar más al óptimo de éste y encontrar una base que facilite la Robotización del Proceso y logre mayores mejoras.

Con el objetivo de encontrar mejoras de procesos que logren una mayor capacidad productiva, se analizarán con simulación distintos escenarios, que se observan podrían entregar mejores resultados. Así se pretenden encontrar los puntos críticos del proceso para definir un modo de operar más óptimo y que permita visualizar el Layout y Flujo del Proceso productivo de la Línea de Soldadura con integración de Robótica.

El análisis de los resultados de productividad se realizará de acuerdo a los siguientes indicadores definidos:

- **El % de aumento del Nivel de Producción:** corresponde al aumento porcentual en las unidades producidas en un periodo T definido, entre el resultado de la Situación Actual obtenido en la simulación y el del escenario en estudio. Este indicador mostrará la variación del nivel productivo de los distintos escenarios del análisis.
- **Unidades de Calefactores por Soldador:** corresponde a la cantidad de calefactores promedio producido por cada soldador. Este indicador será mostrado como **U/S**, y está definido por la siguiente fórmula.

Ecuación 3: Indicador Unidades por Soldador

$$U/S = \frac{\text{Total Unidades Producidas}}{\text{Soldadores En El Proceso}}$$

- **Nivel de Ocupación Promedio de los Soldadores:** corresponde al promedio del nivel de ocupación de los soldadores en el proceso. Este indicador será mostrado como **N.O.P**, y está definido por la siguiente expresión.

Ecuación 4: Nivel Promedio de Ocupación

$$N.O.P = \frac{\sum_{i=1}^n N.O_i}{n}$$

Donde: N.O. = Nivel de Ocupación del soldador i
 I = 1,....., n
 n = total de soldadores en el proceso

El nivel de ocupación de un soldador se define como tiempo en trabajo del soldador (tiempo en que no está parado sin operar), dividido por el tiempo total de la jornada.

Ecuación 5: Nivel de Ocupación de los Soldadores

$$N.O. = \frac{\text{Tiempo Activo En Trabajo}}{\text{Tiempo Total De Jornada De Trabajo}}$$

3.4.1. Estudio de Posibles escenarios

En el análisis de los distintos escenarios se agrupan las actividades de una forma distinta, generando puestos de trabajo distintos. Debido a esto es necesario definir una forma de decidir el cambio de carrete de alambre de soldadura, para lo cual se definió una planilla con los consumos de alambre por actividad, esto de acuerdo a las mediciones de alambre y a la experiencia de los Soldadores (Planilla en Anexo G). Para los consumos de Soldadura se define:

X_i = Kg de Soldadura utilizada en Actividad i

Ecuación 6: Kg de Soldadura por puesto de trabajo

$$Y = \text{Kg de Soldadura por puesto de trabajo} = \sum_{i=1}^n X_i$$

Ecuación 7: Número de estufa para cambio de carrete

$$\text{Nº de estufas para cambio de carrete por puesto de trabajo} = \frac{15}{Y}$$

donde 15 son los kilos de alambre de soldadura por carrete.

Para determinar si cada escenario en estudio es conveniente en términos económicos, se realiza un análisis en cada uno. Para esto es necesario saber cual es el costo empresa de un soldador promedio; este costo involucra el sueldo bruto, el vestuario y elementos de seguridad, casino, beneficios varios entregados por la empresa, y las horas extra que deben trabajar los soldadores para lograr el nivel de producción actual (ver tabla 4) .

Tabla 4: Costo Empresa de 1 Soldador

Item	\$/mes
Sueldo Bruto	550.000
Vestuario y Elemento de Seguridad	38.000
Casino	40.000
Beneficios Varios	40.000
Horas Extra	110.000
TOTAL	778.000

Cada uno de estos ítems involucrados, se refieren a los distintos gastos en los que debe incurrir la empresa al tener un soldador.

El detalle de los distintos ítems se muestra a continuación:

- El Sueldo Bruto involucra; el sueldo líquido, las imposiciones y otros.
- El Vestuario y elementos de seguridad por cada soldador se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Detalle costo Vestuario y Elementos de Seguridad

Vestuario y Elementos de Seguridad	Unid/año	\$/unid	\$/año
Pantalón	4	8.000	32.000
Chaqueta	2	9.000	18.000
Polera	4	3.000	12.000
Guantes de Cuero	72	2.800	201.600
Coletos	4	2.500	10.000
Polainas	2	3.280	6.560
Mangas	6	4.000	24.000
Mascarilla	12	3.000	36.000
Mascara	1	26.500	26.500
Vidrio para Mascara oscuro	4	1.100	4.400
Vidrio para Mascara claro	246	350	86.100
Total \$/año			457.160
Total \$/mes			38.097

- Casino, considera el almuerzo y once que se le da a cada soldador en el casino, considerando \$2.000 por día.
- Beneficios Varios, en este se incluye un promedio de los gastos de la empresa en distintos beneficios a sus trabajadores, en este ítem podemos encontrar; fiesta de fin de año, fiestas patrias, aguinaldos, convenios varios (dentales, médicos, etc), entre otros.
- Horas Extra: actualmente los empleados de la línea 1 de armado y soldadura de Bosca trabajan 36 hrs. extra a la semana, las cuales son pagadas a \$3.000 hrs. Esto para cumplir con el nivel de producción actual. En cuanto a las horas extra que se trabajan en el modelo de estufa en estudio al mes corresponde a 18 hrs.

Actualmente el nivel de producción del modelo en estudio en promedio es de 2030 unidades/mes. Para efectos de comparación en el estudio a realizar, se tomarán como referencia los resultados entregados por la simulación. Así el nivel productivo a comparar es de 2001 unidades.

La línea de soldadura actualmente cuenta con 11 soldadores, por lo cual el costo mensual por soldadores de la línea 1 para la empresa es de \$8.558.000, para efectos del estudio el costo mensual en soldadores para el modelo de estufa Scan 380 Limit es de \$4.279.000, por lo cual el costo por estufa es de \$2.138, pensando que el nivel productivo es de 2001 unidades en 2 semanas de trabajo.

Escenarios

Escenario 1: Se analizó la posibilidad de no permitir a los Soldadores dejar su puesto de trabajo por motivos no correspondientes netamente a la producción y crear un recreo de 15 minutos en la primera mitad de la jornada y otro en la segunda mitad.

La producción mensual entregada por la simulación fue de **2087 unidades**.

En la tabla 6 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 6 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 6: Indicadores escenario 1

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	4,3%
U/S	189,7
N.O.P.	0,80

Tabla 7: Resultados escenario 1

	Promedio en Cola (unid)	áximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.69
Puesto 2	8.12	10	0.82
Puesto 3	7.40	10	0.89
Puesto 4	5.03	10	0.61
Puesto 5	6.52	10	0.87
Puesto 6	5.86	10	0.78
Puesto 7	7.17	10	0.90
Puesto 8	5.70	10	0.67
Puesto 9	6.02	10	0.92
Puesto 10	5.66	14	0.96
Puesto 11	0.04	3	0.74

La tabla 8 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 8: Análisis económico escenario 1

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	11	4.279.000	2.087	2.050
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	15	11	3.921.500	2.001	1.960

Escenario 2: Análisis de un soldador de relevo, esto consiste en que al momento en que un soldador deja su puesto de trabajo (generalmente por salidas al baño), habrá un soldador que tome el puesto y no permita que la fluidez de la línea se vea limitada por esto.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2101 unidades**.

En la tabla 9 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 10 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 9: Indicadores escenario 2

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	5,00%
U/S	175,1
N.O.P.	0.74

Tabla 10: Resultados escenario 2

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.68
Puesto 2	7.02	10	0.79
Puesto 3	6.56	10	0.85
Puesto 4	4.91	10	0.57
Puesto 5	6.37	10	0.84
Puesto 6	5.21	10	0.75
Puesto 7	6.26	10	0.86
Puesto 8	6.28	10	0.65
Puesto 9	5.14	10	0.86
Puesto 10	3.27	14	0.93
Puesto 11	0.20	8	0.74
Soldador Relevo			0.33

La tabla 11 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 11: Análisis económico escenario 2

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	12	4.668.000	2.101	2.222
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	13	12	4.242.000	2.001	2.120

Escenario 3: Análisis de redistribución de la capacidad máxima de acumulación entre los puestos de trabajo. Para esto se analiza la situación actual sin limitación de espacio entre los puestos (capacidad infinita), con el fin de encontrar aquellos puestos en los que se generan mayores colas (ver Anexo H), a partir de esto se redistribuye la capacidad de acumulación de acuerdo a los puesto que generan mayores colas y por ende necesitan mayor espacio para no provocar mayores paradas de los puestos anteriores.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2088 unidades**.

En la tabla 12 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 13 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 12: Indicadores escenario 3

Indicador	Resultados
% Aumento Producción	4,35%
U/S	189,8
N.O.P.	0,79

Tabla 13: Resultados escenario 3

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1	0.00	0	0.83
Puesto 2	12.00	15	0.94
Puesto 3	6.30	11	0.98
Puesto 4	0.11	2	0.66
Puesto 5	3.20	9	0.96
Puesto 6	0.02	1	0.83
Puesto 7	0.80	4	0.96
Puesto 8	0.01	2	0.72
Puesto 9	6.90	13	0.52
Puesto 10	3.16	8	0.96
Puesto 11	0.00	0	0.73

La tabla 14 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 14: Análisis económico escenario 3

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	11	4.279.000	2.088	2.049
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	15	11	3.921.500	2.001	1.960

Escenario 4: Nueva distribución de espacio de acumulación; sin salidas y con recreo. La producción mensual entregada por la simulación es de **2089 unidades**. En la tabla 15 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 16 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 15: Indicadores escenario 4

Indicador	Producción
% Aumento Producción	4,40%
U/S	189,9
N.O.P.	0,80

Tabla 16: Resultados escenario 4

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.69
Puesto 2	17.63	20	0.82
Puesto 3	9.24	12	0.88
Puesto 4	3.83	8	0.60
Puesto 5	6.81	10	0.87
Puesto 6	5.83	10	0.77
Puesto 7	7.06	10	0.90
Puesto 8	4.17	8	0.67
Puesto 9	4.14	8	0.92
Puesto 10	4.76	13	0.97
Puesto 11	0.03	3	0.74

La tabla 17 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 17: Análisis económico escenario 4

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	11	4.279.000	2.089	2.048
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	13	11	3.888.500	2.001	1.943

Escenario 5: Nueva distribución del espacio con un soldador de relevo. La producción mensual entregada por la simulación es de **2071 unidades**. En la tabla 18 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 19 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 18: Indicadores escenario 5

Indicador	Producción
% Aumento Producción	3,5%
U/S	172,6
N.O.P.	0,73

Tabla 19: Resultados escenario 5

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.66
Puesto 2	16.66	20	0.77
Puesto 3	8.46	12	0.83
Puesto 4	3.36	8	0.57
Puesto 5	6.73	10	0.84
Puesto 6	5.57	10	0.75
Puesto 7	6.41	10	0.84
Puesto 8	3.33	7	0.64
Puesto 9	3.19	8	0.87
Puesto 10	5.56	14	0.92
Puesto 11	0.05	5	0.71
Soldador Relievo			0.33

La tabla 20 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 20: Análisis económico escenario 5

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	12	4.668.000	2.071	2.254
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	14	12	4.260.000	2.001	2.129

Escenario 6: Análisis de una línea con dos puestos trabajando en paralelo al final; los dos últimos puestos corresponden a una fusión del puesto 10 y 11 del flujo actual. La producción mensual entregada por la simulación es de **2134 unidades**.

En la tabla 21 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 22 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

El Layout que muestra este escenario se ve en la figura 22.

Figura 22: Layout Escenario 6

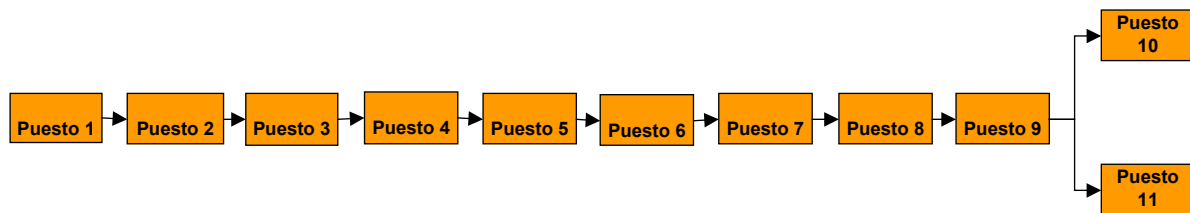


Tabla 21: Indicadores escenario 6

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	6,65%
U/S	194,0
N.O.P.	0.81

Tabla 22: Resultados escenario 6

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.69
Puesto 2	7.78	10	0.85
Puesto 3	6.47	10	0.89
Puesto 4	4.57	10	0.62
Puesto 5	7.01	10	0.87
Puesto 6	4.67	10	0.78
Puesto 7	6.44	10	0.90
Puesto 8	4.81	10	0.68
Puesto 9	6.07	10	0.93
Puesto 10	1.61	10	0.84
Puesto 11			0.83

La tabla 23 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 23: Análisis económico escenario 6

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	11	4.279.000	2.134	2.005
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	11	11	3.855.500	2.001	1.927

Escenario 7: Análisis del escenario 6, sin salidas al baño y recreo.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2120 unidades**.

En la tabla 24 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 25 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 24: Indicadores escenario 7

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	5,95%
U/S	192,7
N.O.P.	0,82

Tabla 25: Resultados escenario 7

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.70
Puesto 2	8.07	10	0.84
Puesto 3	7.44	10	0.90
Puesto 4	5.17	10	0.61
Puesto 5	7.80	10	0.89
Puesto 6	5.05	10	0.80
Puesto 7	6.55	10	0.91
Puesto 8	6.70	10	0.68
Puesto 9	6.70	10	0.94
Puesto 10	1.58	8	0.87
Puesto 11			0.86

La tabla 26 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 26: Análisis económico escenario 7

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	11	4.279.000	2.120	2.018
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	12	11	3.872.000	2.001	1.935

Escenario 8: Análisis del escenario 6, con un Soldador de Relevó.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2258 unidades**.

En la tabla 27 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 28 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 27: Indicadores escenario 8

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	2,84%
U/S	188,2
N.O.P.	0,80

Tabla 28: Resultados escenario 8

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.79
Puesto 2			0.80
Puesto 3	7.93	12	0.92
Puesto 4	3.95	9	0.62
Puesto 5	7.06	15	0.91
Puesto 6	3.70	10	0.82
Puesto 7	5.79	10	0.94
Puesto 8	3.35	9	0.71
Puesto 9	5.19	11	0.94
Puesto 10	2.89	16	0.89
Puesto 11			0.89
Sold de Relevó			0.34

La tabla 29 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 29: Análisis económico escenario 8

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	12	4.668.000	2.258	2.067
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	6	12	4.116.000	2.001	2.057

Escenario 9: Análisis de una línea con dos puestos paralelos al principio; que corresponden a una fusión del puesto 1 y 2 del flujo actual, y dos puestos en paralelo al final; que son una fusión del puesto 10 y 11 del flujo actual.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2140 unidades**.

En la tabla 30 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 31 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

El Layout que muestra este escenario se ve en la figura 23.

Figura 23: Layout escenario 9

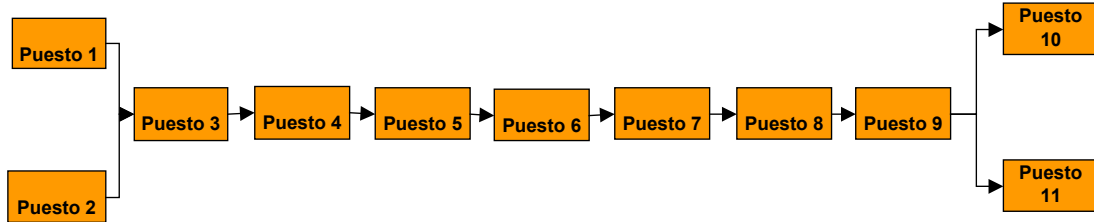


Tabla 30: Indicadores escenario 9

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	6,95%
U/S	194,5
N.O.P.	0,81

Tabla 31: Resultados escenario 9

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.76
Puesto 2			0.77
Puesto 3	8.01	10	0.88
Puesto 4	5.20	10	0.62
Puesto 5	7.45	10	0.89
Puesto 6	4.75	10	0.79
Puesto 7	6.85	10	0.90
Puesto 8	4.92	10	0.68
Puesto 9	6.32	10	0.93
Puesto 10	1.60	9	0.84
Puesto 11			0.84

La tabla 32 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 32: Análisis económico escenario 9

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	11	4.279.000	2.140	2.000
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	11	11	3.855.500	2.001	1.927

Escenario 10: Análisis del escenario 9, sin salidas al baño y con recreo. La producción mensual entregada por la simulación es de **2113 unidades**. En la tabla 33 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 34 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 33: Indicadores escenario 10

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	5,6%
U/S	192,1
N.O.P.	0,82

Tabla 34: Resultados escenario 10

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.76
Puesto 2			0.77
Puesto 3	8.08	10	0.90
Puesto 4	5.51	10	0.61
Puesto 5	7.91	10	0.89
Puesto 6	5.37	10	0.79
Puesto 7	7.14	10	0.91
Puesto 8	5.64	10	0.68
Puesto 9	6.49	10	0.94
Puesto 10	1.59	8	0.86
Puesto 11			0.86

La tabla 35 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 35: Análisis económico escenario 10

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	11	4.279.000	2.113	2.025
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	11	11	3.855.500	2.001	1.927

Escenario 11: Análisis del escenario 9 con un Soldador de Relevo. La producción mensual entregada por la simulación es de **2308 unidades**. En la tabla 36 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 37 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 36: Indicadores escenario 11

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	15,3%
U/S	192,3
N.O.P.	0,84

Tabla 37: Resultados escenario 11

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.79
Puesto 2			0.80
Puesto 3	7.93	12	0.92
Puesto 4	3.95	9	0.62
Puesto 5	7.06	15	0.91
Puesto 6	3.70	10	0.82
Puesto 7	5.79	10	0.94
Puesto 8	3.35	9	0.71
Puesto 9	5.19	11	0.94
Puesto 10	2.89	16	0.89
Puesto 11			0.89
Sold de Relevó			0.34

La tabla 38 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 38: Análisis económico escenario 11

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	12	4.668.000	2.308	2.023
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	12	12	4.224.000	2.001	2.111

Escenario 12: Análisis de dos líneas de trabajo, con el puesto que trabaja en batch en común.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2114 unidades**.

En la tabla 39 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 40 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

El Layout que muestra el escenario se ve en la figura 24.

Figura 24: Layout escenario 12

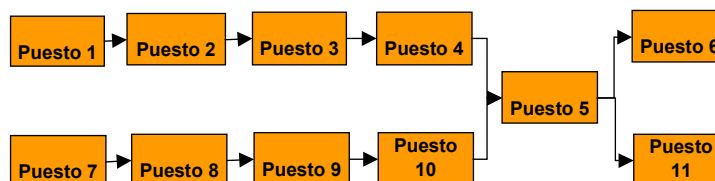


Tabla 39: Indicadores escenario 12

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	5,6%
U/S	192,2
N.O.P.	0,81

Tabla 40: Resultados escenario 12

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.75
Puesto 2	7.63	10	0.76
Puesto 3	7.10	10	0.80
Puesto 4	6.75	10	0.79
Puesto 5	15.62	20	0.96
Puesto 6	1.77	10	0.84
Puesto 7			0.78
Puesto 8	6.99	10	0.75
Puesto 9	7.43	10	0.84
Puesto 10	6.77	10	0.80
Puesto 11			0.83

La tabla 41 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 41: Análisis económico escenario 12

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	11	4.279.000	2.114	2.024
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	12	11	3.872.000	2.001	1.935

Escenario 13: Análisis del escenario 12, sin salida al baño y con recreo.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2167 unidades**.

En la tabla 42 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 43 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 42: Indicadores escenario 13

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	8,3%
U/S	197,0
N.O.P.	0,84

Tabla 43: Resultados escenario 13

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.78
Puesto 2	6.97	10	0.78
Puesto 3	7.56	10	0.86
Puesto 4	6.95	10	0.82
Puesto 5	15.54	20	0.96
Puesto 6	1.71	10	0.89
Puesto 7			0.79
Puesto 8	6.73	10	0.78
Puesto 9	7.50	10	0.86
Puesto 10	6.77	10	0.81
Puesto 11			0.88

La tabla 44 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 44: Análisis económico escenario 13

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	11	4.279.000	2.167	1.975
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	10	11	3.839.000	2.001	1.919

Escenario 14: Análisis del escenario 12, con un soldador de relevo.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2292 unidades**.

En la tabla 45 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 46 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 45: Indicadores escenario 14

Indicador	Resultado
% Aumento Producción	14,54%
U/S	208,4
N.O.P.	0,81

Tabla 46: Resultados escenario 14

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.80
Puesto 2	7.00	10	0.79
Puesto 3	7.39	10	0.88
Puesto 4	6.77	10	0.85
Puesto 5	14.61	20	0.89
Puesto 6	2.61	14	0.89
Puesto 7			0.79
Puesto 8	7.10	10	0.80
Puesto 9	7.44	10	0.87
Puesto 10	6.78	12	0.83
Puesto 11			0.89
Soldador Relevo			0.44

La tabla 47 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 47: Análisis económico escenario 14

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	12	4.668.000	2.292	2.037
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	4	12	4.080.000	2.001	2.039

Escenario 15: Análisis de 2 líneas en vez de 1, cada línea con 6 puestos (se incluye un nuevo soldador).

La forma en que se redujo la línea fue juntando las actividades de los puestos 1 y 2, la 3 y 4, 5 y 6, 7 y 8, 10 y 11, en un solo puesto, y el puesto 9 sigue trabajando en batch y con las mismas actividades.

Así en este modelo el Puesto 1 corresponde al 1 y 2 del modelo inicial, el Puesto 2 corresponde al 3 y 4, el Puesto 3 corresponde al 5 y 6, el Puesto 4 corresponde al 7 y 8, Puesto 5 corresponde al 9, y el Puesto 6 corresponde al 10 y 11.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2323 unidades**.

En la tabla 48 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 49 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

El Layout que muestra el escenario se ve en la figura 25.

Figura 25: Layout escenario 15

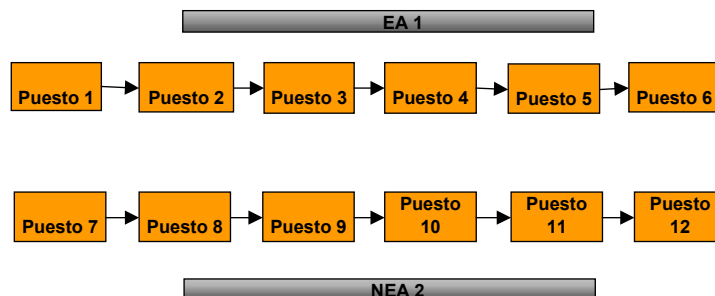


Tabla 48: Indicadores escenario 15

Indicador	Producción
% Aumento Producción	16,09%
U/S	193,6
N.O.P.	0,82

Tabla 49: Resultados escenario 15

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.82
Puesto 2	6.12	9	0.83
Puesto 3	6.21	9	0.92
Puesto 4	4.46	9	0.88
Puesto 5	4.13	10	0.55
Puesto 6	5.49	12	0.94
Puesto 7			0.83
Puesto 8	5.97	9	0.82
Puesto 9	6.62	10	0.94
Puesto 10	3.73	10	0.85
Puesto 11	3.67	10	0.52
Puesto 12	5.20	12	0.95

La tabla 50 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 50: Análisis económico escenario 15

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	12	4.668.000	2.323	2.009
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	3	12	4.062.000	2.001	2.030

Escenario 16: Análisis del escenario 15, sin salida al baño y con recreo.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2341 unidades**.

En la tabla 51 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 52 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 51: Indicadores escenario 16

Indicador	Producción
% Aumento Producción	16,99%
U/S	195,1
N.O.P.	0,83

Tabla 52: Resultados escenario 16

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.85
Puesto 2	6.16	9	0.84
Puesto 3	6.50	9	0.95
Puesto 4	4.11	9	0.89
Puesto 5	4.33	10	0.52
Puesto 6	5.85	12	0.96
Puesto 7			0.84
Puesto 8	6.27	9	0.84
Puesto 9	6.91	10	0.95
Puesto 10	4.45	10	0.89
Puesto 11	4.16	10	0.52
Puesto 12	5.52	12	0.96

La tabla 53 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 53: Análisis económico escenario 16

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	12	4.668.000	2.341	1.994
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	2	12	4.044.000	2.001	2.021

Escenario 17: Análisis del escenario 15, con un soldador de relevo.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2411 unidades**.

En la tabla 54 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 55 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Tabla 54: Indicadores escenario 17

Indicador	Producción
% Aumento Producción	20,50%
U/S	185,5
N.O.P.	0,78

Tabla 55: Resultados escenario 17

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0.83
Puesto 2	6.22	10	0.82
Puesto 3	6.67	10	0.92
Puesto 4	4.59	10	0.87
Puesto 5	4.11	10	0.52
Puesto 6	4.12	14	0.93
Puesto 7			0.83
Puesto 8	6.39	10	0.83
Puesto 9	6.97	10	0.93
Puesto 10	4.97	10	0.87
Puesto 11	4.06	10	0.52
Puesto 12	3.94	14	0.93
Soldador Relievo			0.39

La tabla 56 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 56: Análisis económico escenario 17

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	13	5.057.000	2.411	2.097
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	0	13	4.342.000	2.001	2.170

Escenario 18: Análisis de 3 líneas de trabajo en paralelo de 4 puestos de trabajo cada una, ver figura 26. Las actividades para cada puesto se definieron de acuerdo al siguiente criterio:

Sea,

t_i = tiempo promedio de la actividad i

m = número de puestos de trabajo por línea de armado y soldadura

T = tiempo promedio de proceso para cada puesto de trabajo, y está dado por la siguiente ecuación,

Ecuación 8: Tiempo promedio por Puesto

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{m}$$

Así,

Si $\sum_{i=1}^j t_i \approx T \rightarrow$ El puesto 1 está compuesto por las actividades 1,2,...,j

Si $\sum_{i=j+1}^k t_i \approx T \rightarrow$ El puesto 2 está compuesto por las actividades j+1, j+2,...,k

Si $\sum_{i=k+1}^l t_i \approx T \rightarrow$ El puesto 3 está compuesto por las actividades k+1, k+2,...,l

Si $\sum_{i=j+1}^k t_i \approx T \rightarrow$ El puesto 4 está compuesto por las actividades l+1, l+2,...,n

Este criterio de definición de puestos busca que estos queden con tiempos de procesos más menos equilibrados de forma de disminuir los tamaños de cola promedio de las líneas. La planilla de definición de los puestos de trabajo se muestra en el Anexo I.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2589 unidades**.

En la tabla 57 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 58 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Figura 26: Layout escenario 18

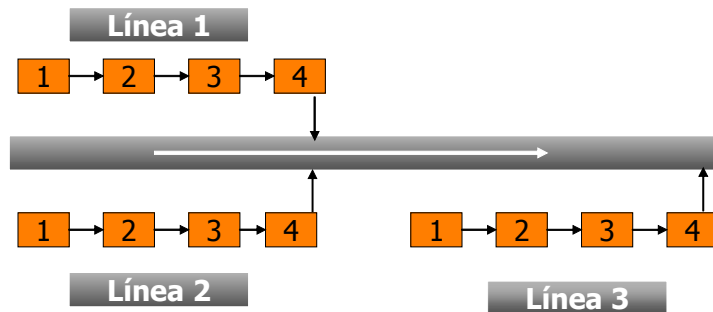


Tabla 57: Indicadores escenario 18

Indicador	Producción
%Aumento Producción	29,39%
U/S	215,7
N.O.P	0,90

Tabla 58: Resultados escenario 18

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0,90
Puesto 2	6,88	10	0,95
Puesto 3	3,87	10	0,76
Puesto 4	6,18	10	0,98
Puesto 5			0,90
Puesto 6	6,88	10	0,95
Puesto 7	3,87	10	0,76
Puesto 8	6,18	10	0,98
Puesto 9			0,90
Puesto 10	6,88	10	0,95
Puesto 11	3,87	10	0,76
Puesto 12	6,18	10	0,98
Promedio			0,90

La tabla 59 muestra una comparación entre el costo soldador por estufa actualmente y el costo en este escenario trabajando la misma cantidad de horas actual o solamente las horas extras necesarias para llegar al nivel productivo actual.

Tabla 59: Análisis económico escenario 18

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	12	4.668.000	2.589	1.803
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	0	12	4.008.000	2.157	1.858

Escenario 19: Análisis de 4 líneas de trabajo en paralelo de 3 puestos de trabajo cada una, ver figura 27. El criterio para la definición de las actividades por puesto de trabajo es el mismo que el del escenario 18, en el Anexo I se muestra la definición de estos.

La producción mensual entregada por la simulación es de **2760 unidades**.

En la tabla 60 se muestran los indicadores pertenecientes al escenario, y la tabla 61 muestra las colas entre los puestos y el nivel de operación de cada soldador.

Figura 27: Layout escenario 19

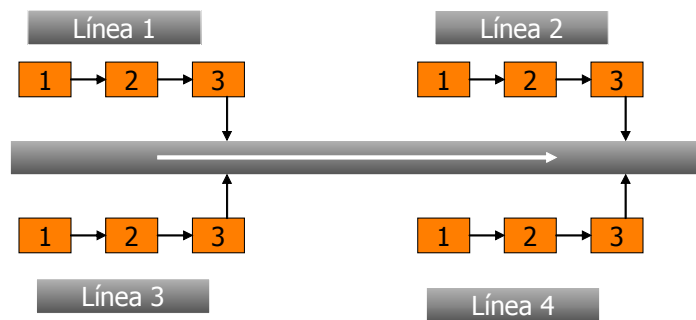


Tabla 60: Indicadores escenario 19

Indicador	Producción
%Aumento Producción	37,93%
U/S	230,0
N.O.P	0,93

Tabla 61: Resultados escenario 19

	Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
Puesto 1			0,92
Puesto 2	6,92	10	0,99
Puesto 3	0,09	2	0,88
Puesto 4			0,92
Puesto 5	6,92	10	0,99
Puesto 6	0,09	2	0,88
Puesto 7			0,92
Puesto 8	6,92	10	0,99
Puesto 9	0,09	2	0,88
Puesto 10			0,92
Puesto 11	6,92	10	0,99
Puesto 12	0,09	2	0,88
Promedio			0,93

Tabla 62: Análisis económico escenario 19

Trabajo	Horas extra de trabajo	Cantidad de Soldadores	Costo Total de Soldadores [\$]	Producción [unid]	Costo Soldador por estufa [\$]
Situación Actual	18	11	4.279.000	2.001	2.138
Misma cantidad de horas actual	18	12	4.668.000	2.760	1.691
Horas necesarias para lograr el mismo nivel de producción actual	0	12	4.008.000	2.300	1.743

3.4.2. Discusiones del estudio

Se observa que la secuencia y layout actual de trabajo utilizado en la producción de la línea 1 de armado y soldadura de BOSCA:

3.4.2.1. Baja versatilidad de la mano de Obra y de los Equipos de trabajo: debido a que la mano de obra que se utiliza en cada uno de los puestos de trabajo tienen las mismas capacidades, es decir, sólo necesitan de una capacitación de soldador, y además los equipos necesarios para cada puesto son solamente una máquina soldadora, es posible dividir los puestos de trabajo y cambiar de actividades sin problemas de capacidad laboral ni de adquisición de nuevos equipos.

3.4.2.2. Es muy sensible a la pérdida de un eslabón, un eslabón representa a cada puesto de trabajo, al modelar el proceso y analizar los distintos escenarios para llevar a cabo el proceso de armado y soldadura, se aprecia que cuando existe una parada en alguno de los puestos, por eventos que no corresponden a armado ni soldadura, o por sobrepasar la capacidad de almacenamiento entre los puestos de trabajo, esto provoca paradas en otros puestos de trabajo, lo que ocasiona una disminución en la capacidad productiva de la línea de trabajo.

Por lo cual se deduce que cualquier cambio en la línea que ayude a tener menos paradas en los puestos de trabajo, logrará cambios notorios en la productividad. Esto debido a que la parada de un eslabón provoca un estancamiento en el puesto anterior al superar el límite de almacenamiento, generando una reacción en cadena y por ende puede provocar una parada a la línea en su totalidad, perdiendo la continuidad.

En el caso del escenario de 2 puestos de trabajo independientes se puede apreciar un aumento sustancial en el nivel de producción, esto se debe, entre otras razones, a que el proceso se hace menos sensible a la pérdida de un eslabón o puesto de trabajo, ya que la parada de un puesto sólo influye en su respectiva línea de trabajo y la otra sigue su trabajo independiente de lo que suceda en su línea paralela. Por esto se analizaron dos escenarios más, de forma de verificar la tendencia al bajar los puestos de trabajo y aumentar el número de líneas independientes. De esta forma se vio que al aumentar a 3 líneas con 4 puestos de trabajo, y a 4 líneas con 3 puestos, el nivel productivo aumentaba, además de las estufas por soldador, el nivel promedio de ocupación de los soldadores, y el costo soldador por estufa disminuye.

3.4.2.3. Baja Versatilidad en el Proceso Productivo, la existencia de una sola línea limita a tener que producir sólo un modelo de estufa en un periodo determinado y generar grandes stock de estos, ya que el cambiar de modelo muy seguido implica muchos tiempos de preparación de los puestos en cambios de piezas y adecuarse al nuevo modelo. Es por esto que el área administrativa intenta no cambiar en periodos muy cortos los modelos en producción, tratando así de minimizar lo más posibles los tiempos de puesta en marcha al cambiar de modelo.

Los escenarios de dos, tres y cuatro líneas de trabajo en paralelo, permiten mayor versatilidad en el proceso, ya que en un mismo periodo de tiempo se podrían estar

fabricando dos o más modelos de estufa distintos. Por lo cual se minimizan los tiempos de puesta en marcha al no cambiar de modelo. Y es posible poder bajar los niveles de stock por modelo.

3.4.2.4. Minimización de Tiempos Sin Valor Agregado, la existencia de menos puestos de trabajo involucra menos tiempo de agarre y posicionamiento de la pieza para comenzar las acciones correspondientes, y aquel tiempo de empuje de la pieza para que sea recepcionada por el próximo puesto de trabajo. El minimizar estos tiempos involucra que el tiempo de proceso de una estufa es menor, y por ende al analizar el comportamiento del nivel productivo en un periodo extenso de tiempo, se aprecia un aumento considerable en éste. Este es un factor que influye en el aumento del nivel productivo, al disminuir los puestos de trabajo y aumentar las líneas de trabajo independiente.

3.4.2.5. Aumento en el nivel de ocupación de los Soldadores, se aprecia de acuerdo al modelo de la situación actual que el nivel promedio de ocupación es de 0,77. El estudio realizado a distintos escenario de operación, se observa que al disminuir los puestos de trabajo, se forman menos atochamientos entre los puestos de trabajo, por ende menos paradas entre ellos. Por lo cual en los distintos escenarios se nota que al disminuir el número de los puestos de trabajo el nivel promedio de ocupación también aumentó, esto se aprecia de mejor forma en el análisis de 2 líneas de trabajo el cual es de 0,82; el de 3 líneas con un nivel promedio de 0,90; y el de 4 líneas con un nivel promedio de 0,93.

3.4.2.6. Minimización de los costos por mano de obra, de acuerdo a las tablas de análisis de costos de cada uno de los escenarios estudiado, se aprecia que el aumento del nivel productivo a pesar de que es importante, también lo es el analizar si el aumento de producción logra cubrir a un soldador más, cuando así es el caso. Es decir, es importante analizar que los costos, en este caso sólo el de mano de obra, no sean mayores que los costos actuales. Si al fabricante le interesa aumentar su nivel productivo, pero no aumentar sus costos es importante el análisis económico.

En el estudio realizado se aprecia que el costo soldador disminuye directamente con la disminución de los puestos de trabajo y el aumento de líneas paralelas, además se aprecia que el aumentar la capacidad de producción, a pesar de que se paguen horas extra, ayuda a disminuir costo, por ejemplo para el escenario más eficiente encontrado (4 líneas de trabajo con 3 puestos cada una), el costo por estufa, si se trabajara la misma cantidad de horas extras que las actuales sería \$1.691, y en el caso de que se trabajaran sólo las horas reglamentarias el nivel de producción sería cercano a las 2.300 unidades y el costo por estufa sería de \$1.743.

3.4.2.7. Posible Óptimo: de acuerdo al estudio realizado se puede llegar a pensar que el óptimo del proceso de producción es que cada soldador fabrique la totalidad de una estufa. El escenario no fue analizado debido a que la cantidad de piezas y herramientas de posicionamiento que debería tener cada soldador es muy elevada, por lo cual el reponedor no daría abasto para esto y sería necesario tener más reponedores. Además la secuencia de cada soldador sería muy larga por lo que podría ser más lento su proceder.

Se apreció que de acuerdo a las capacidades de espacio para almacenamiento de piezas y a la periodicidad de reposición que sería necesaria, una línea de 3 puestos de trabajo podría trabajar más eficientemente.

4. SOLUCIÓN ROBOTIZADA PROPUESTA PARA BOSCA

De acuerdo al estudio de procesos realizado a la línea 1 de armado y soldadura, se observó que el escenario más eficiente entre los estudiados es el de contar con 4 líneas de trabajo independientes entre si (donde cada una fabrica el producto terminado entregado actualmente por la línea de 11 puestos), cada una de estas líneas cuenta con 3 puestos de trabajo, es por esto que se tomó la decisión de definir las solución robotizada a partir de este tipo de proceso.

Para realizar el estudio de cual sería la secuencia de trabajo para la solución robotizada es necesario conocer los tiempos de trabajo del robot. Para esto, se calculó de acuerdo a los tiempos de remates de los soldadores su velocidad promedio de arco (velocidad de soldeo), la velocidad promedio de arco de los soldadores es de 850 mm/min (14,7 mm/seg). De acuerdo a esta velocidad, se definió la velocidad de arco para el robot, como la intención es lograr mayor capacidad productiva a través de la disminución de tiempo muertos en el proceso, se decidió que el robot trabaje a la misma velocidad que el soldador. Actualmente los soldadores realizan todas las soldaduras en forma vertical, esto porque logran mayor rapidez en el llenado del filete, gracias a la acción de la gravedad, además esta forma de soldar le es más cómoda al soldador. El que el soldeo sea en vertical, lleva a que el soldador deba mover la pieza para que esta quede en la posición necesaria para soldar.

De acuerdo a lo comentado en el párrafo anterior, se definió la velocidad de arco para el robot. Se buscó que la posición de la pieza al momento que sea soldada por el robot sea fija, de forma tal que el movimiento para el posicionamiento al punto de soldadura lo haga el robot, el cual puede trasladarse a altas velocidades, y así se logra minimizar el tiempo muerto de posicionamiento; además tener maquinaria mecánica o robotizada que gire y posicione la pieza, elevan los costos de inversión, sin ser necesario incurrir en ellos. Debido a la definición de esta posición, el tipo de soldeo no serán todos en vertical, habrán soldeos horizontales, sobrecabeza y planos. De esta forma se definió que la velocidad de arco del robot para soldaduras verticales será de 850 mm/min (14,17 mm/seg), y para los otros tipos de soldeo será de 760 mm/min (12,67 mm/seg) esto porque para este tipo de soldadura no existe la misma acción de la gravedad que en una soldadura vertical, por lo que el filete se llena más lentamente.

Se pueden definir dos tipos de actividades dentro de la línea, aquellas que son de armado; que consiste en posicionar la pieza y pincharla con soldadura, y aquellas que son de remate; que consiste en soldar las piezas en su totalidad de forma de fijarlas totalmente. A partir de esto de se detectaron aquellas actividades que eran de armado y aquellas que eran remate, ya que aquellas que eran de remate son las potenciales actividades a soldar por el robot. Por esto se definieron los tiempos de soldeo de los distintos cordones correspondiente a cada actividad clasificada como de remate, de acuerdo a la velocidad de arco definida anteriormente, en el Anexo J se muestran los tiempos de arco para cada una de los cordones de soldadura.

Luego se realizaron las pruebas con el modelo de estufa estudiado y el robot de prueba INDURA, esto con el fin de detectar aquellos puntos que el robot no era capaz de llegar y a los que si. La posición definida para la estufa consiste en posicionar la pieza al revés de su posición de uso, esta se muestra la figura 29, esto de forma de que el acceso del robot fuera más fácil. Para el caso del remate del collar; el cual quedaría en la parte inferior de la estufa, de acuerdo a la posición de soldeo, será necesario que ésta sea posicionada en un pedestal abierto de forma que el robot pueda entrar por debajo y soldarlo en posición de sobrecabeza, como se muestra en la figura 28 y 29.

Figura 28: Posición Estufa 1



Figura 29: Posición Estufa 2



De acuerdo a las pruebas se definió que existían 3 cordones del interior de la estufa que no podían ser soldados por el robot, ya que el largo de la torcha (donde va posicionada la pistola) topaba en las paredes.

4.1. Definición del Modelo Robotizado a través de la Simulación

El tiempo de trabajo para el puesto robótico siempre será el mismo ya que se moverá a través del programa donde los tiempos están ya definidos.

Los puestos de trabajo se definieron de acuerdo a los siguientes criterios:

- El puesto conformado por la célula robotizada realizará las actividades asociadas a remates.
- Aquellas piezas que debían ser montadas para luego ser rematadas en puesto de la célula robotizada se asociaron al puesto número 1, de forma tal que la estufa a soldar por el robot le llegue pre-armada.
- Aquellas piezas que van sobre los remates e impedirían el realizar este trabajo, fueron asociadas al puesto 3, de forma de poder hacer los remates necesarios antes.
- Luego se tomó en cuenta que el montar algunas piezas antes que la pieza pase por el puesto del robot, dificultarían el posicionamiento de la estufa al momento de ser soldada por el robot. Es por esto que estas actividades fueron asociadas al puesto 3.
- Finalmente para aquellas actividades que no cumplen con ninguno de los puntos planteados anteriormente, fueron ubicados en los puestos 1 y 3 de forma de que los tiempos entre los puestos quedaran equilibrados.

Para determinar el tiempo de proceso de la célula robotizada (puesto 2), se tomo en cuenta las velocidades de soldeo definidas; para la soldadura vertical de 14,17 mm/seg y 12,67 mm/seg para otras soldaduras, el largo de los cordones de soldadura, la velocidad de traslado del robot, la distancia que debe recorrer el robot para llegar al punto de soldadura siguiente y el tiempo de posicionamiento de la torcha para comenzar a soldar; el cual corresponde a 1 seg por punto de soldadura y es sumado al tiempo de traslado. La determinación del tiempo de proceso para la célula robotizada se muestra en la siguiente tabla 63.

El tiempo total de proceso para la célula como muestra la tabla es de 510 seg, a los cuales se le suma 1 seg de posicionamiento de la mesa posicionadora. Por lo cual el tiempo asociado a la célula robotizada es de 511 seg.

Tabla 63: Tiempo de Proceso Célula Robotizada

Cordón: Actividad	Largo [mm]	Velocidad de arco	Tiempo de arco [seg]	Distancia al Punto anterior [mm]	Tiempo de Traslado [seg]
Cordón 1.1: Techo Frontis	400	14,70	27,21	1000	1,83
Cordón 1.2: Techo Frontis	400	12,67	31,57	0	1,00
Cordón 1.3: Marco Puerta con Espalda Fondo	400	14,70	27,21	400	1,33
Cordón 1.4: Techo Frontis Vertical	400	12,67	31,57	0	1,00
Cordón 2.1: Camara y Deflector de Aire	90	12,67	7,10		1,00
Cordón 2.3: Camara y Deflector de Aire	70	14,70	4,76	1000	1,83
Cordón 2.5: Camara y Deflector de Aire	70	14,70	4,76	0	1,00
Cordón 2.7: Camara y Deflector de Aire	90	12,67	7,10	400	1,33
Cordón 3.1: Collar	502	12,67	39,62	0	1,00
Cordón 4.1: Espalda Fondo con Techo Frontis Inferior	440	12,67	34,73	1000	1,83
Cordón 4.2: Espalda Fondo con Techo Frontis Trasero	405	14,70	27,55	600	1,50
Cordón 4.3: Espalda Fondo con Techo Frontis Trasero	405	12,67	31,97	0	1,00
Cordón 4.4: Espalda Fondo con Techo Frontis Inferior	440	12,67	34,73	0	1,00
Cordón 4.5: Espalda Fondo con Techo Frontis Trasero	405	14,70	27,55	800	1,67
Cordón 5.1: Tubo Inyector	80	14,70	5,44	0	1,00
Cordón 5.2: Tubo Inyector	80	12,67	6,31	200	1,17
Cordón 5.3: Tubo Inyector	80	14,70	5,44	0	1,00
Cordón 5.4: Tubo Inyector	80	12,67	6,31	80	1,07
Cordón 5.5: Tubo Inyector	63	12,67	4,97	0	1,00
Cordón 6.1: Caja Cenicero con Espalda Fondo Delantero	285	12,67	22,49	20	1,02
Cordón 6.2: Caja Cenicero con Espalda Fondo Inferior	370	12,67	29,20	800	1,67
Cordón 6.3: Caja Cenicero con Espalda Fondo Trasero	285	12,67	22,49	0	1,00
Cordón 6.4: Caja Cenicero con Espalda Fondo Inferior	370	12,67	29,20	0	1,00
Cordón 6.5: Caja Cenicero Trasero	70	14,70	4,76	470	1,39
Cordón 6.6: Caja Cenicero Trasero	70	14,70	4,76	390	1,33
Total			478,84		30,97
Tiempo de Célula Robotizada	509,81				

La definición de los puestos de acuerdo al criterio señalado se ve en la tabla 64 (Anexo K de definición por equilibrio de tiempos), se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 64: Actividades asociadas por puesto

Actividad	PUESTO 1	PUESTO 2	PUESTO 3
1	Postura Techo Frontis	Remate Collar	Postura Pedestal
2	Postura Espalda Fondo	Remate Horizontal	Ajuste trasero pedestal
3	Ajuste epalda Fondo Trasero	Remate Vertical	Postura Panel Posterior
4	Postura Tubo inyector	Remate Inferior Espalda Fondo Lado Frontal	Postura Deslizador y Guía deslizador
5	Ajuste Espalda Fondo Frontis	Remate Caja Cenicero Borde delantero	Postura Topes Cobertor
6	Ajuste Frontis	Remate Vertical Caja Cenicero Delantera	Postura Canal Deslizador
7	Postura deflector de Aire y Reductor de Camara	Remate deflector de aire	Postura Cobertor
8	Postura ángulos superiores	Remates Inferiores Espalda Fondo	Ajuste de Cobertor
9	Postura Refuerzos	Remate Caja Cenicero Borde inferiores	
10	Postura de Soporte Ladrillo y remate ángulo soporte templador	Remate Tubo Inyector vertical	
11	Postura Caja Cenicero	Remate Horizontal Tubo inyector y remate circular	
12	Postura Ángulo	Remate Horizontal Espalda Fondo	
13	Postura Visagra	Remate Vertical Espalda Fondo	
14	Postura Ángulo Soporte	Remate Caja Cenicero Borde Trasero	
15	Postura Pivote Techo cortado	Remate Vertical CajaCenicero Trasero	
16	Postura Collar		
17	Remate reductor de camara		

Debido a que la posición de la estufa para soldar el collar necesitaría de un pedestal, se analizó la posibilidad de que esta actividad la realizara uno de los otros dos puestos con soldador humano. Esto con el fin de que la mesa posicionadora sea menos compleja, es decir, que necesite sólo de la base la mesa. Para ver los resultados que se obtendrían asociando la actividad de soldeo del collar al puesto 1 (esto porque es el puesto con menor tiempo asociado), y asociándola al puesto 2 (célula robotizada), se realizó la simulación de los dos escenarios, analizando sólo el nivel producido en un tiempo determinado de trabajo, esto porque no hay diferencia en los recursos entre los dos escenarios.

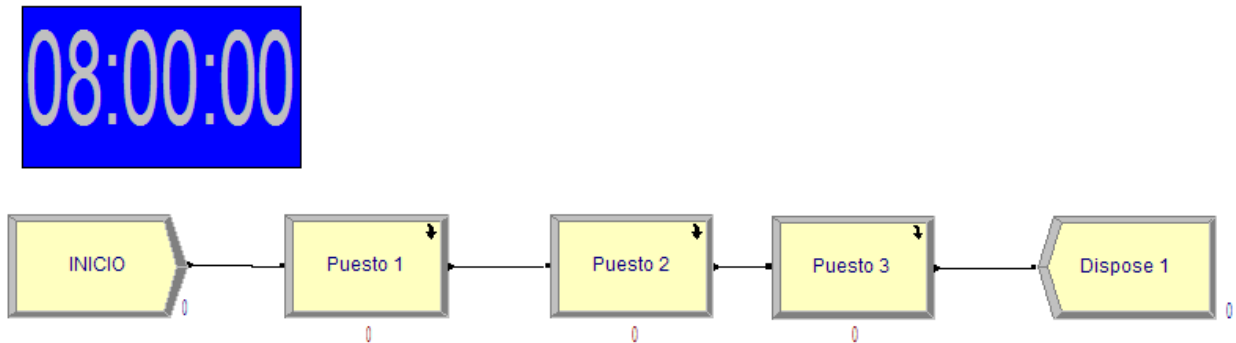
Para la evaluación del escenario donde el remate del collar se realiza en el puesto 1 de las líneas, se eliminó el tiempo de arco del proceso de soldadura para el collar del puesto 2, de esta forma el tiempo asociado para el puesto 2 será de 470 seg, y el tiempo asociado al remate del collar fue sumado al puesto 1.

Los modelos de simulación están compuestos por 3 rectángulos que representan los 3 puestos de trabajo y las salidas al baño siguen de la misma forma que la actual, de forma de no cambiar toda la forma de trabajo de los soldadores. No se limitó el espacio de almacenamiento entre los puestos de trabajo, de forma de ver cual son las colas máximas que se generarían en cada línea de trabajo. El cambio de carrete de soldadura para el caso de la célula robotizada se realizará cada intervalo de tiempos mayores, ya que se utilizan tambores de soldadura que contienen 250 Kg. de alambre.

La forma en que quedaron definidos los puestos de trabajo, permite diferenciarlos como puestos de armado y puesto de remate, los puestos de armado serán los puestos compuestos por soldadores humanos, y los de remate corresponden a los compuestos por los brazos robóticos. Por esto la limpieza de pistola para los puestos de armado serán cada intervalo de tiempo mayor, ya que un soldador al rematar salpica más y utiliza mucho más la pistola de soldadura. En cuanto a la limpieza de pistola para el robot esta está programada para hacerlo cada 30 piezas procesada.

El modelo de simulación se muestra en la figura 30,

Figura 30: Modelo de Simulación Línea de 3 puestos



Para representar el proceso definido, que consiste el 4 líneas independientes de 3 puestos cada una, se replica el modelo mostrado en la figura 4 veces.

Los resultados obtenidos en la simulación fueron:

- Remate de collar en Puesto 2 (celda robotizada): **2.896 unidades/mes**
- Remate de collar en Puesto 1 (soldador humano): **2644 unidades/mes**

Se ve que para el caso en el cual el remate de collar se realizará en el puesto 1, el nivel de producción sería menor que si este proceso se realizara sólo por humanos, ahora si, se ve un aumento del 4,93% en el nivel productivo con respecto a la mejor solución encontrada en los análisis de escenario sin robot. Es por esto que se decidió que es importante, realizar esta actividad en el Puesto 2, así se definió que esta actividad sería realizada por el robot.

Los indicadores para la solución robotizada se muestran en la tabla 65.

Tabla 65: Indicadores Proceso Robotizado

Indicador	Producción
% de aumento Robotización/Situación actual	44,73%
% de aumento Robotización/Mejor Solución sin robot	4,93%
U/S	362
N.O.P	0,97
N.O.Robot	0,97

Los resultados del proceso a robotizar definido están dados por las tablas 66 y 67.

Tabla 66: Resultados Simulación Proceso Robotizado

Línea		Promedio en Cola (unid)	Máximo en Cola (unid)	Nivel de Ocupación del Soldador
1	Puesto 1			0,99
	Puesto 2	0,47	2	0,97
	Puesto 3	0,28	3	0,95
2	Puesto 1			0,99
	Puesto 2	0,47	2	0,97
	Puesto 3	0,28	3	0,95
3	Puesto 1			0,99
	Puesto 2	0,47	2	0,97
	Puesto 3	0,28	3	0,95
4	Puesto 1			0,99
	Puesto 2	0,47	2	0,97
	Puesto 3	0,28	3	0,95
	Promedio			0,97

Tabla 67: Resultados Tiempos Proceso Robotizado

	Promedio	Mínimo	Máximo
Tiempo del Producto en Proceso (min)	657,20	24,61	1180,00
Tiempo de VA (nim)	25,19	22,10	35,70
Tiempo de NVA (min)	0,64	0	21,61
Tiempo de Espera (min)	629,67	0,13	1076,00

4.2. Layout del Modelo Robotizado

Actualmente el espacio físico disponible en BOSCA, para la instalación de la Solución Robotizada definida es de 216 $[m^2]$, largo = 24 [m] y ancho = 9 [m].

Una celda Robotizada para el Brazo Robótica KR16-L6, debe tener al menos 3,5 [m] de ancho y 3,5 [m] de largo. Debido a que el producto que termina la línea de armado y soldadura debe ir a pulido, pintura y terminaciones que están ubicados al final de la línea se aprecia la necesidad de una cinta transportadora que haga correr estos productos terminados hasta el final del espacio físico a ocupar.

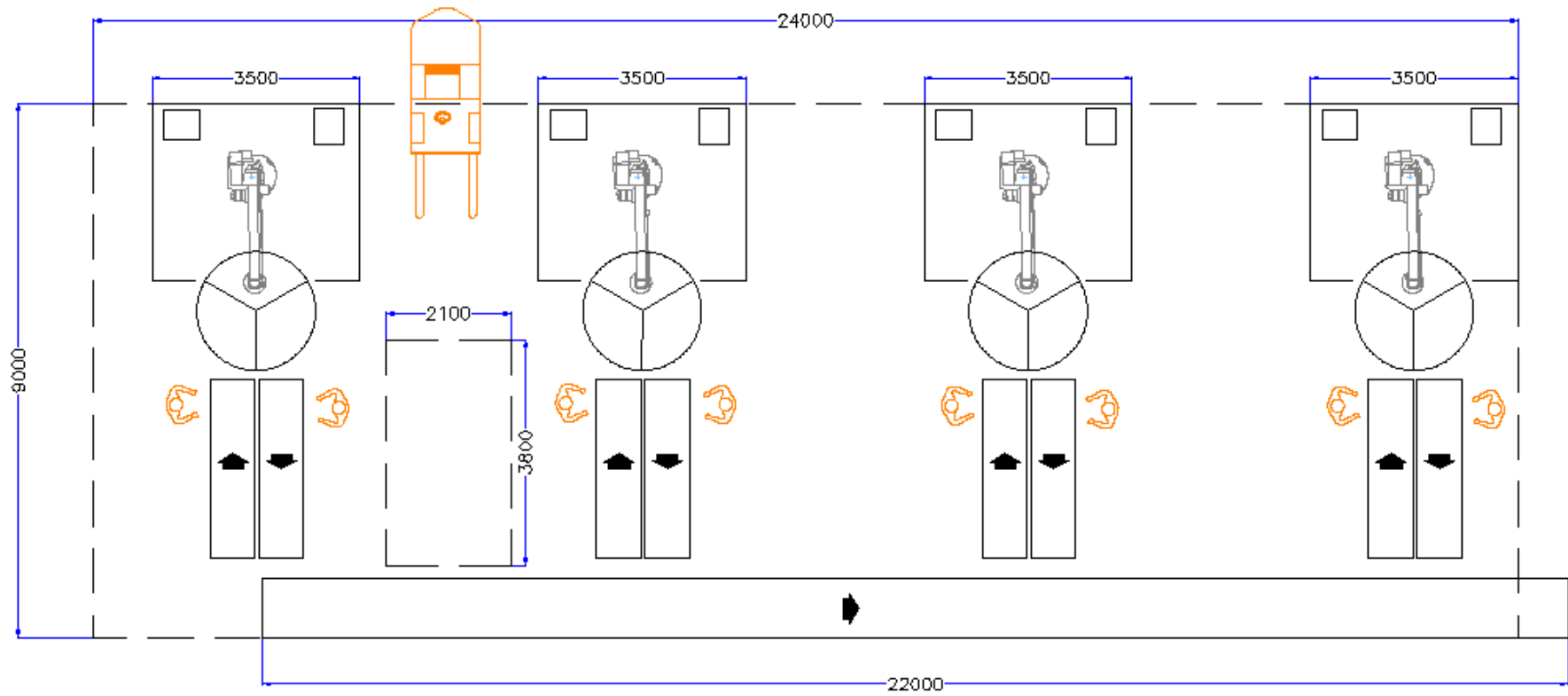
De acuerdo a estos datos se realizó en el Software AutoCad (software utilizado para hacer planos con dimensiones) el Layout, de forma de dar las dimensiones disponibles y buscar la mejor forma de instalar el proceso definido en 4 líneas de trabajo.

Como la solución robótica consiste en 4 líneas de trabajo independientes, se llegó a un Layout de acuerdo a las dimensiones disponibles y a las necesarias para la celda robótica, de ubicar cada línea una al lado de otra, con una cinta transportadora al principio de la primera línea hasta el final de la última línea, como lo muestra la figura 32.

Debido a que, de acuerdo a las dimensiones disponibles cada línea de trabajo quedará con un flujo que sigue una U, donde en una punta de esta está el Puesto 1, en la curva el Puesto 2 (celda robotizada) y en la otra punta el Puesto 3, estas líneas desde ahora serán llamadas Células de Trabajo, esto se muestra en la figura 33.

La figura 31, muestra el plano del Layout definido para la Solución Robotizada, realizado en AutoCad.

Figura 31: Layout en AutoCad de la Solución Robotizada



El Layout muestra que cada célula de trabajo tiene un pasillo entre ellas para que el personal de trabajo transite a sus puestos definidos y para poder reponer las piezas de armado necesarias en cada puesto de trabajo correspondiente a armado, es por esto que el espacio se definió pensando en que pueda entrar tanto una traspaleta como una grúa orquilla. Entre cada célula también se aprecia un espacio para la acumulación de las piezas para armado, este espacio para cada puesto es de $3,99 \text{ [m}^2\text{]}$; $3,80 \text{ [m]}$ de largo y $1,05 \text{ [m]}$ de ancho.

En la figura 32, se muestra de una toma más cerca y con algunas definiciones de la célula de trabajo.

Cada célula de trabajo cuenta con dos mesas de trabajo con rodillos, igual a la que tienen actualmente, pero con medidas de 3 [m] de largo, $0,75 \text{ [m]}$ de ancho y $0,9 \text{ [m]}$ de alto, éstas se ubican una en frente de otra, para realizar el trabajo del puesto 1 y 3 de la célula. Además cuenta con una celda robotizada la cual está delimitada por paredes de reja con una puerta de acceso y cuerdas de seguridad en el espacio de trabajo del robot; como lo exige la Norma de Trabajo de Soldadura Robótica "Specification for Robotic Arc Welding Safety" (AWS D16.1M/D16.1:2004, An American National Standard).

La Celda Robotizada tiene en su interior, el Robot Soldador, la cabina de control del robot, la máquina de soldar, el limpiador de pistola y el tambor de soldadura. En cuanto al gas, actualmente Bosca cuenta con una red de suministro, instalada por Indura. Además se puede apreciar parte de la mesa posicionadora para el trabajo del robot, esta mesa consiste en una base que gira en 360° , con una mesa para posicionar de 2 [m] de diámetro, dividida en tres sectores de 120° cada uno de forma de posicionar la pieza en una al momento de girar que posicionada para el trabajo del robot y al momento de finalizar su trabajo esta gire para que el soldador del puesto tres desmonte y termine de armar. A parte de la plataforma redonda, esta cuenta en cada espacio para montar con un pedestal para posicionar la estufa de tal forma que el robot entre por debajo y suelde el collar. La base de giro tiene $0,53 \text{ [m]}$ de alto, la mesa $0,02 \text{ [m]}$ de espesor y el pedestal un alto de $0,45 \text{ [m]}$, esto permite que el posicionamiento de la pieza quede a la misma altura de la mesa de trabajo de los soldadores por lo que el montaje y desmonte sea más fácil para el soldador. Esto se aprecia en las figuras 33, 34, 35, que corresponden a las pantallas de un Software de animación de procesos en distintas posiciones del Layout. El software de animación es el SimLayout Kuka, y permite ver algunos movimientos y el Layout en 3 dimensiones. Esta herramienta es utilizada para realizar la propuesta de Robotización a Bosca, explicado con más detalles en el punto de Propuesta de Robotización.

La figura 33, muestra el Layout de proceso sin dimensiones pero más estético, con el fin de ser presentado dentro del informe de propuesta a Bosca.

Figura 32: Acercamiento a las células de trabajo en AutoCad

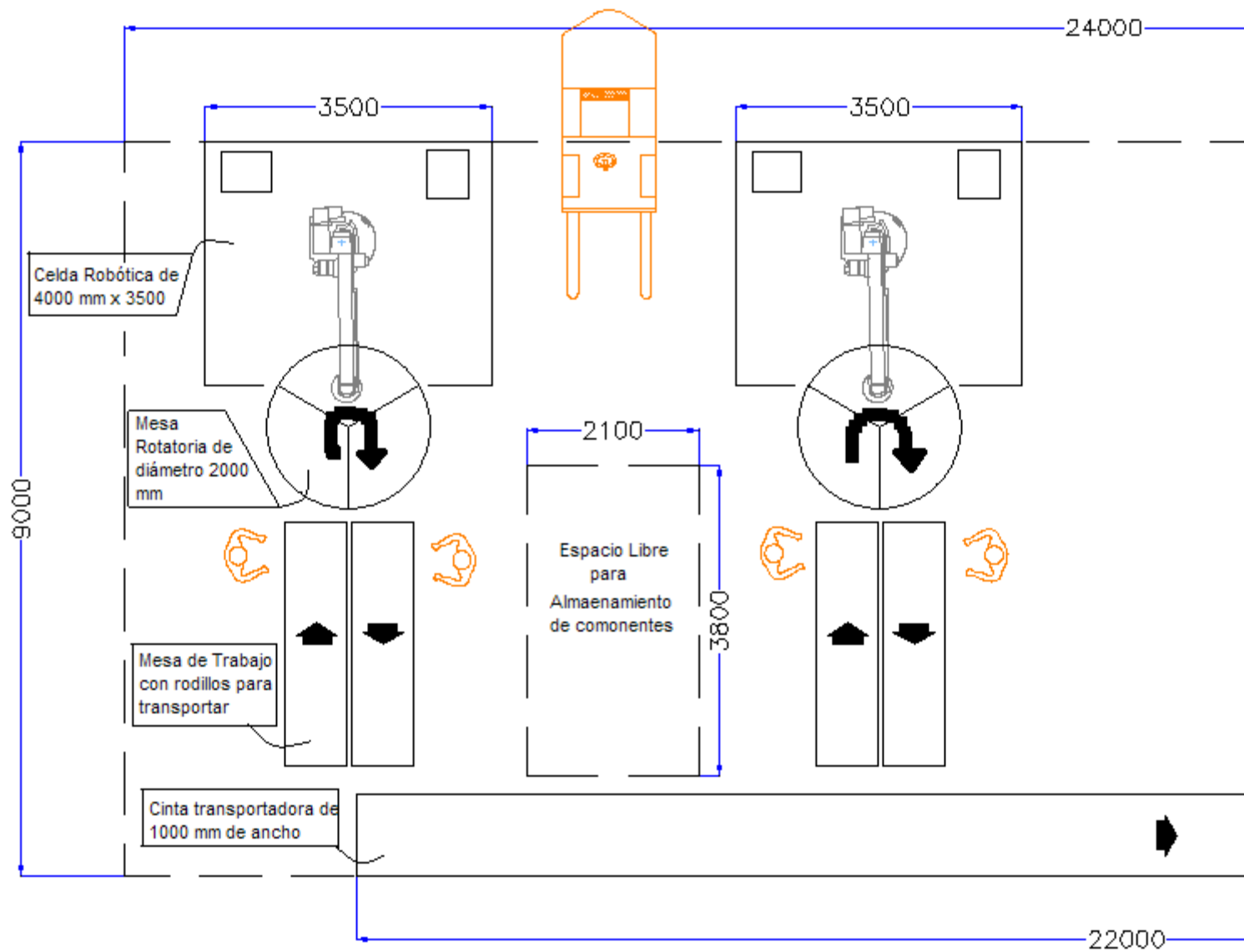
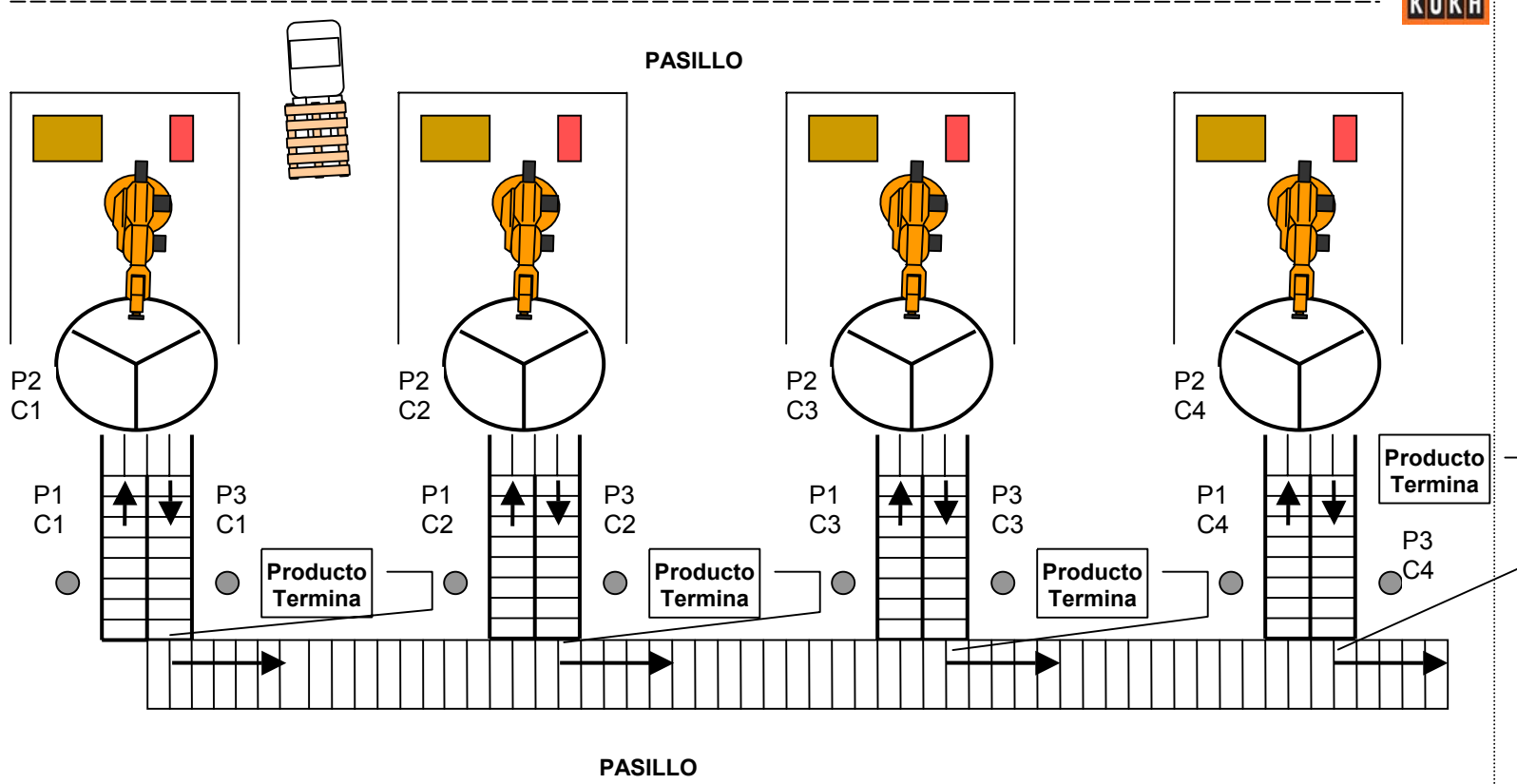


Figura 33: Layout para propuesta de Robotización a Bosca

Layout Proceso
Robotizado BOSCA



PX = Puesto X CY = Célula Y

Posicionador: Mesa Rotatoria en el sentido del puntero

● Representa a un Soldador

Las siguientes figuras, muestran las pantallas del Software de animación SimLayout Kuka, utilizado para la propuesta a Bosca. En este se aprecia de mejor forma el layout y el flujo productivo.

La figura 34 muestra una pantalla mirando desde arriba el espacio de producción des el Layout robotizado definido, sus puestos de trabajo, pasillos de transito y espacio de acumulación de piezas.

Figura 34: Pantalla de mirada aérea del layout con el flujo productivo



La figura 35 muestra una celda robótica vista desde arriba. En esta se pueden apreciar las rejas y cuerdas de seguridad, la puerta de entrada a mano izquierda, el robot, la mesa posicionadora, la cabina de control (computador y cables), la máquina de soldar, el limpiador de pistola y el tambor de soldadura.

Figura 35: Pantalla de mirada aérea del Layout de una celda robótica



En la figura 36 se muestra el Layout mirando desde el final de la cinta transportadora hacia las células de trabajo. En el Anexo L se muestran otras vistas del Layout.

Figura 36: Planilla Layout vista de costado



5. EVALUACIÓN DE LA SOLUCIÓN ROBOTIZADA

5.1. Evaluación de productividad

Para la evaluación de productividad de la solución robotizada se realizará una comparación entre la situación actual y la solución robotizada, y la mejor solución operacional sin robot encontrada y la solución robotizada, esto de acuerdo a los indicadores y parámetros, analizados en el estudio operacional.

Las distintas posibilidades de sistema productivo se distinguen de la siguiente forma:

- Situación 1: Proceso Productivo Actual.
- Situación 2: Proceso Productivo de acuerdo a la mejor solución sin robot encontrada.
- Situación 3: Proceso Productivo de acuerdo a la solución Robotizada propuesta.

En cuanto al aumento de la capacidad productiva tenemos que:

- El aumento de la capacidad productiva entre la Situación 1 y la Situación 3 es de un **44,73%**.
- El aumento de la capacidad productiva entre la Situación 2 y la Situación 3 es de un **4,93%**.

En cuanto a la capacidad productiva se puede ver, que si bien ésta aumenta considerablemente al cambiar el sistema productivo actual a uno manual pero más eficiente, el cambiar a un proceso robotizado lograría un aumento mayor en la capacidad productiva de Bosca.

El cuadro comparativo para los indicadores analizados en el estudio operacional se muestra en la tabla 68. Para la situación del proceso robotizado, el soldador humano y el robot soldador son tomados como soldadores los dos, por lo que en esta situación se toman en cuenta 12 soldadores (8 humanos y 4 robots).

Tabla 68: Cuadro Comparativo de Indicadores

Indicadores	U/S	N.O.P
Situación 1	181	0,77
Situación 2	230	0,93
Situación 3	241	0,97

De acuerdo a los indicadores se puede apreciar que las unidades por soldador aumentan entre la solución robotizada y la solución operacional más eficiente encontrada, a la vez se aprecia el aumento en el factor de operación de los trabajadores en armado y soldadura, por lo que se aprecia el costo por unidad producida, debiera ser menor, si el costo robot fuera igual al costo soldador.

En la situación actual se evaluaron algunos parámetros entregados por la simulación, estos parámetros nos muestran los tiempos muertos por efecto de la parada por la espera al generarse atochamiento entre los puestos de trabajo. También se pueden apreciar aquellos tiempos que son por efecto de salidas al baño y cambio de carrete. La tabla 69, muestra como cambian estos tiempos en los distintos escenarios.

Tabla 69: Cuadro comparativos de los parámetros entregados por la Simulación

Tipo Tiempo	Situación	Promedio	Minimo	Máximo
Tiempo del Producto en Proceso (min)	Situación 1	816,74	61,99	2.951,73
	Situación 2	742,66	31,12	2.737,00
	Situación 3	557,52	24,61	1.603,00
Tiempo de trabajo de armado, soldadura y acarreo (min)	Situación 1	40,67	36,04	49,99
	Situación 2	25,19	22,70	35,79
	Situación 3	24,60	20,72	31,45
Tiempo en salidas al baño y cambio carrete (min)	Situación 1	2,65	0,00	43,96
	Situación 2	1,48	0,00	17,45
	Situación 3	0,64	0,00	17,00
Tiempo de Espera en cola (min)	Situación 1	772,54	15,89	2.902,00
	Situación 2	694,50	0,00	2.502,00
	Situación 3	429,27	0,13	1.403,00

Esta tabla nos muestra que juntamente con el aumento en la capacidad productiva entre los puestos 1 y 3, y 2 y 3, hay una baja en los tiempos que no son de valor agregado para el sistema productivo, es decir, los tiempos por espera en cola, como aquellos por salidas al baño y cambio de carrete, bajan considerablemente en el caso de una solución robotizada.

Entre las razones de la baja en el tiempo de producción por estufa se encuentran:

- El tiempo de cambio de carrete para la celda robótica es cada un periodo de tiempo mayor que en un puesto de soldador humano, ya que se utilizará un tambor de 250 kg.
- El tiempo en salidas al baño será menor porque el robot no sale al baño.
- El tiempo de espera en cola (donde está involucrado el tiempo de espera del primer puesto) es menor, ya que en el caso de la solución robotizada las colas no superan las 5 unidades, en cambio en las otras situaciones las colas siempre alcanzaban el máximo de acumulación.

Además de ve un cambio en los tiempos de proceso, ya que los tiempos de acarreo y posicionamiento serán menores para la situación 2 y 3, al ser menor la cantidad de puestos por los que pasa cada estufa.

5.2. Evaluación Económica

Es importante destacar que con la solución robotizada sólo se logra un cambio en los costos de mano de obra, los otros ítems del costo por unidad de producto (estufa) son constantes para la comparación entre las situaciones, es por esto que se evaluará sólo la variación de este ítem del costo.

El análisis económico se hizo con un cálculo de VPN (valor presente neto) de los flujos de ingresos extra por concepto de ahorro en los costos de mano de obra en cada unidad de producto, y el mayor nivel productivo que se logra gracias al estudio realizado.

Para efectos del análisis económico de la propuesta de Robotización definida se tomarán los siguientes supuestos:

- Se supondrá que sólo hay producción del modelo de estufa en estudio, Scan 380 Limit. Esto porque es un modelo de costos promedio con

respecto a los otros modelos producidos en la línea, y de un tiempo de producción también promedio con respecto a los otros modelos. Esto permite que se haga una evaluación de acuerdo a la producción promedio del proceso de soldadura estudiado.

- Los equipos utilizados para la solución robotizada se depreciarán a 15 años. Esto nos dice que se tomará en cuenta que los robots y equipos robóticos tendrán una duración limitada de 15 años, lo cual ha sido castigado ya que la duración de estos equipos es de unos 25 años, pero debido a que la tecnología avanza cada año pueden aparecer nuevas tecnologías para el proceso y ser reemplazada.
- Las unidades de producto producidas, serán las unidades de producto vendidas, ya que Bosca está buscando ampliar su nivel productivo, debido a que sus proyecciones de ventas para los siguientes años es de un aumento considerable.
- Las vacaciones de un soldador serán tomadas como 3 semanas más de sueldo al año (suponiendo que si se quiere seguir con el mismo nivel productivo, es necesario contratar por estas 3 semanas un suplente). Por lo que este costo se distribuirá equitativamente en los 12 meses del año a cada soldador. Por lo tanto como un soldador tiene un sueldo bruto de \$550.000, tomando 4 semanas por mes el sueldo semanal es de \$137.500, en tres semanas es de \$412.500, éste costo distribuido en 12 meses, será de \$34.375 /mes.
- La indemnización por años de servicio será dividida equitativamente en los 12 meses del año. Es decir, como el valor de este ítem corresponde al pago de 1 mes por año de servicio, entonces el un doceavo de este mes será el costo en un mes por indemnización para cada soldador. Por lo tanto de acuerdo al sueldo bruto y distribuido en 12 meses, el costo por indemnización es de \$45.833 /mes.

Los dos últimos supuestos mencionados son importantes al momento de hacer el análisis de costo, debido a que son ítems importantes a considerar dentro del costo que implica para la empresa el tener un soldador, estos no fueron tomados en cuenta en el análisis operacional, pero se consideró importante agregarlos en este análisis económico de robotización debido a que al remplazar un soldador por un robot, implica no incurrir en estos costos. Entonces se concluye que el costo empresa total de tener un soldador está determinado por los ítems mostrados en la tabla 70.

Tabla 70: Costo Empresa Soldador 2

Item	\$/mes
Sueldo Bruto	550.000
Vestuario y Elementos de Seguridad	38.000
Casino	40.000
Beneficio Varios	40.000
Horas Extra	110.000
Por concepto de vacaciones	34.375
Por concepto de indemnización por años de servicio	45.833
TOTAL	858.208

5.2.1. Datos Utilizados en el Análisis Económico

1. El Costo de la Inversión por los equipos es de US\$633.000. Tomando el dólar a \$550, la inversión en pesos chilenos será de **\$348.150.000**. Este costo está constituido por US\$150.000 por cada celda robótica, más US\$33.000 por concepto de la cinta transportadora.

El Costo de Inversión por concepto de desvinculación de 3 soldadores, tomando en cuenta que tiene 3 años de antigüedad es de **\$4.950.000** (un mes por año de servicio para cada soldador).

El costo total de la inversión es de **\$353.100.000**.

2. El mantenimiento de los equipos equivale a unos US\$3.500, y esta se debe hacer cada 3 años si los equipos son utilizados en un 100%. En pesos Chilenos corresponde a **\$1.925.000**, con una tasa de aumento del 3% anual, pensando en una tasa de aumento del costo de los repuestos y a una posible alza en la tasa de cambio dólar.
3. La tasa de descuento utilizada es de un 10% de acuerdo a lo conversado con los administrativos de Bosca.
4. En cuanto al las unidades de estufas producidas en las distintas situaciones, se utilizarán las unidades producidas actualmente por Bosca, y para la solución robotizada el nivel productivo corresponderá a la producción actual aumentada en el porcentaje logrado con el estudio, así tenemos:

- Para la Situación actual: 3.960 unidades/mes
47.500 unidades/año
- Para la Solución robotizada: 5.731 unidades/mes
68.500 unidades/año

5. La variación de los ingresos anuales logrados gracias a la instalación de la inversión a analizar, está representada por la variación en los Costos por Unidad de Producto; por Concepto de sueldo, desvinculación y vacaciones de los soldadores, y por los Costos por Unidad de Producto; por concepto de Otros, que corresponde a vestuario, elementos de seguridad, colación y otros beneficios para los soldadores. Es decir, los ingresos extras están dados por la disminución de los costos por producto generados gracias a la disminución de la cantidad de soldadores de 11 a 8, y a la mejor ocupación de estos, por lo que se logra una mayor cantidad de producto es un mismo tiempo.

Entonces de acuerdo a la tabla 70;

- Los costos por concepto de sueldo, son:
 - Sueldo = \$550.000
 - Horas Extra = \$110.000
 - Vacaciones = \$34.375
 - Indemnización = \$45.833

Sumando estos ítems se obtiene que los Costos Mensuales por Concepto de Sueldo por Soldador es de \$740.200, ya que actualmente se cuenta con 11 soldadores y se producen \$3.960 unidades/mes, entonces el costos por unidad de producto están dados por la siguiente ecuación:

Ecuación 9: Costo Sueldo / Unidad de Producto

$$\text{CostoSueldo/Unidad} = \frac{(\text{CostoMensualporSueldo}) \times N^{\circ} \text{ Soldadores}}{\text{Unidades Pr oducidasporMes}}$$

$$\text{CostoSueldoActual/Unidad} = \$2.056,13$$

Para el caso robotizado serán utilizado 8 soldadores, y se producen \$5.731 unidades/mes, entonces el costo por unidad por concepto de sueldo varía, y de acuerdo a la ecuación 9:

$$\text{CostoSueldoActual/Unidad} = \$1.033,27$$

La diferencia de costos por concepto de sueldo entre la Situación Actual de Bosca y la Propuesta de Robotización, es de **\$1.022,86**.

- Los costos por concepto de otros, son:
 - Casino = \$40.000
 - Beneficios varios = \$40.000
 - Vestuario y elementos de seguridad = \$38.000

Sumando estos ítems se obtiene que los Costos Mensuales por Concepto de Otros por Soldador es de \$118.000, ya que actualmente se cuenta con 11 soldadores y se producen \$3.960 unidades/mes, entonces el costo por unidad de producto está dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 10: Costo Otros / Unidad de Producto

$$\text{CostoOtros/Unidad} = \frac{(\text{CostoMensualporOtros}) \times N^{\circ} \text{ Soldadores}}{\text{Unidades Pr oducidasporMes}}$$

$$\text{CostoSueldo/Unidad} = \$327,78$$

Para el caso robotizado serán utilizado 8 soldadores, y se producen \$5.731 unidades/mes, entonces el costo por unidad por concepto de otros varía, y de acuerdo a la ecuación 10:

$$\text{CostoSueldoActual/Unidad} = \$164,72$$

La diferencia de costos por concepto de sueldo entre la Situación Actual de Bosca y la Propuesta de Robotización, es de **\$163,06**.

6. La tasa de aumento anual en los sueldos de los soldadores utilizada es de un 2%, de acuerdo a la tasa de aumento en Costos de Mano de Obra Calificada de la Industria Metalmeccánica en los últimos 8 años entregado por el INE, donde se ha visto una maduración de la tasa de crecimiento de un promedio de 3%. La tasa utilizada es de un 2% ya que es posible que en los siguientes años sea más baja debido a la estabilización que se ha ido dando en los últimos años. Dentro del Flujo evaluado, esta tasa es utilizada en el ítem, Ahorro en Costos Sueldo Soldadores / Unidad de producto.

7. La tasa de aumento anual en los ítems asociado a otros (vestuario, elementos de seguridad, casino y beneficios), es de un 3%, de acuerdo a datos obtenidos del INE, con respecto a la variación de los Precios al por Mayor del Sector Industrial en los últimos 7 años, donde se ha visto una maduración de la tasa de crecimiento de un promedio de 6%. La tasa utilizada es de un 3% ya que es posible que en los siguientes años sea más baja debido a la estabilización que se ha ido dando en los últimos años. Dentro del Flujo evaluado, esta tasa es utilizada en el ítem, Ahorro en Costos Soldadores Otros / Unidad de producto.

5.2.2. Calculo VPN de acuerdo a los Flujos de los Ingresos Extra

El flujo es realizado en un horizonte de 15 años, esto debido a que se tomó en cuenta que los equipos robotizados tienen una duración de 15 años, por lo que la evaluación nos muestra los beneficios totales que puede generar la inversión realizada.

El volumen producido es el vendido, ya que actualmente Bosca necesita aumentar su producción debido a la proyección de las ventas el mercado externo, por lo que se asume que el aumento de capacidad producida es vendida.

El ítem mostrado como Ingresos Extra por Disminución de Costos, está dado por la siguiente ecuación:

Ecuación 11: Ingresos Extra por Disminución de Costos

$$IngExtra = [(AhorroCostoSueldo + AhorroCostoOtros) \times Unidades Producidas] - Mantenimiento$$

Resultados:

- El VPN obtenido es de **\$335.530.000**, inversión factible económicamente.
- La TIR es de un **22%**, una TIR alta que nos muestra un proyecto con un riesgo medio menor.
- La Recuperación de la Inversión es en **6 años**, con un VPN de **\$15.350.000**

La tabla 71 muestra el cálculo del VPN con respecto a los distintos flujos, sus distintos ítems, y variación anual, a una tasa de descuento del 10%.

Tabla 71: Cálculo VPN del Flujo a 15 años Actualizado

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Ahorro en Costos Sueldo Soldadores / Unidad de producto		1.022,86	1.043,32	1.064,18	1.085,47	1.107,18	1.129,32	1.151,91	1.174,94
Ahorro en Costos Soldadores Otros / Unidad de producto		163,06	167,95	172,99	178,18	183,53	189,03	194,70	200,54
Unidades Producidas y Vendidas		68.500	68.500	68.500	68.500	68.500	68.500	68.500	68.500
Mantenimiento Robots				1.925.000			2.103.500		
Ingresos Extra por disminución de costos		81.235.520	82.971.927	82.821.412	86.559.839	88.413.089	88.203.565	92.242.693	94.220.918
Inversión	-348.150.000								
Desvinculación	-4.950.000								
FLUJO	-353.100.000	81.235.520	82.971.927	82.821.412	86.559.839	88.413.089	88.203.565	92.242.693	94.220.918
VPN	335.530.000								
TIR	22,00%								

	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Ahorro en Costos Sueldo Soldadores / Unidad de producto	1.198,44	1.222,41	1.246,86	1.271,80	1.297,23	1.323,18	1.349,64
Ahorro en Costos Soldadores Otros / Unidad de producto	206,56	212,76	219,14	225,71	232,48	239,46	246,64
Unidades Producidas y Vendidas	68.500	68.500	68.500	68.500	68.500	68.500	68.500
Mantenimiento Robots	2.298.550			2.511.700			2.744.600
Ingresos Extra por disminución de costos	93.944.159	98.309.056	100.420.975	100.067.805	104.785.708	107.040.675	106.600.918
Inversión							
Desvinculación							
FLUJO	93.944.159	98.309.056	100.420.975	100.067.805	104.785.708	107.040.675	106.600.918

5.2.3. Análisis de Sensibilidad para la Evaluación Económica

Debido a que al momento de ofrecer la propuesta de robotización a Bosca, la empresa puede estimar distintos eventos posibles, es que se realizan distintas variaciones posibles en los supuestos.

5.2.3.1. Variación en la tasa de descuento

Es posible que la tasa de descuento utilizada por la empresa para la evaluación de sus inversiones cambie en el corto plazo, una de las tasas más altas utilizadas por la industria metalmeccanica es de un 14%, es por esto, que se analiza la factibilidad económica de realizar esta inversión si su tasa sube a este nivel.

- El VPN resultante es de **\$196.450.000**
- La Recuperación de la inversión sería en **7 años**, con un VPN de **\$12.376.000**

Si el costo del capital para la empresa varía a una tasa de descuento del 14%, entonces la inversión sigue siendo factible económicamente, pero el tiempo de recuperación de la inversión crece en dos años y el VPN es menor.

Ver flujo en Anexo M.

5.2.3.2. Variación en el Sueldo Actual de los Soldadores

El costo de Mano de Obra soldador es el factor más importante al momento de evaluar la factibilidad económica de invertir en robótica de soldadura, es por esto que se evaluó cual es el sueldo crítico donde esta inversión ya no es factible económicamente.

Esta evaluación dio como resultado que con un sueldo bruto de los soldadores menor a **\$330.000**, la inversión ya no es factible económicamente.

Los Resultados de la evaluación, con este sueldo para los soldadores son los siguientes:

- El VPN resultante es de **\$6.500.000**
- La Recuperación es en 15 años.
- La TIR es de un **10,03%**; es decir, la inversión con este sueldo ya es muy riesgosa.

Ver flujo en Anexo M.

5.2.3.3. Variación en el Horizonte de la evaluación

Es posible que el cliente quiera evaluar en un periodo más corto por posibles variaciones en la estabilidad de la empresa, la industria o en sus niveles de venta al exterior.

Se realizó una evaluación a 10 años con un valor residual de la inversión, suponiendo que ésta es vendida al final del periodo en un 15% de su valor inicial, la cual fue castigada pensando en la baja en los precios de los robots, en un posible aumento del dólar y a la depreciación física de los equipos.

Los Resultados obtenidos en esta evaluación son:

- El VPN resultantes es de **\$204.500.000**

- La recuperación es igual a la de la evaluación base, ya que la tasa sigue siendo igual, **6 años**.
- La TIR es de **21,3%**; es decir el riesgo varía muy poco con respecto a la evaluación realizada como base de este estudio. Sin tomar en cuenta que el riesgo aumenta con la posibilidad de que el valor residual sea menor al planteado.

Si el cliente quiere analizar el proyecto en un plazo más corto para analizar la factibilidad económica si sucede algún evento en que la empresa deba cambiar de negocio, cerrar o minimizar su producción, se realizó una evaluación a 5 años, con distintos posibles valores residuales de la inversión a vender al final del periodo.

Los resultados obtenidos en esta evaluación son:

Para un valor residual del 30% de la inversión:

- El VPN resultante es de **\$30.400.000**
- La TIR obtenida es de **12,8%**.

Para un valor residual del 25% de la inversión:

- El VPN resultante es de **\$19.600.000**
- La TIR obtenida es de **12%**.

Para un valor residual del 20% de la inversión:

- El VPN resultante es de **\$9.000.000**
- La TIR obtenida es de **10,8%**.

El proyecto sigue siendo factible económicamente, pero el riesgo es mucho más alto.

Ver flujo en Anexo M.

5.2.3.4. Variación en la tasa de cambio

Para un análisis de una posible variación a corto plazo del dólar, de modo que el cliente pueda analizar como varía la evaluación para distintos escenarios posibles de la tasa de cambio.

Los resultados obtenidos en esta evaluación:

Para una tasa de cambio del dólar a Ch\$580:

- El VPN resultante es de **\$316.500.000**
- La TIR obtenida es de **22%**
- Recuperación a **7 años**.

Para una tasa de cambio del dólar a Ch\$620:

- El VPN resultante es de **\$291.000.000**
- La TIR obtenida es de **21%**
- Recuperación a **7 años**.

Para una tasa de cambio del dólar a Ch\$660:

- El VPN resultante es de **\$265.880.000**
- La TIR obtenida es de **19%**
- Recuperación a los **8 años**.

Ver flujo en Anexo M.

En el caso que en el corto plazo el dólar varíe, entre los valores evaluados el tiempo de recuperación aumenta.

5.2.3.5. Variación en el volumen de las ventas

Se analizó cuál es el punto crítico en el volumen de ventas necesario para que el proyecto siga siendo factible económicamente. El valor arrojado es de un volumen de ventas de 52.800 unidades anuales, es decir, **4.400 unidades/mes**, lo cual corresponde a un 11% más que los niveles de producción y venta actuales. Con un VPN en el horizonte de 15 años de \$13.140.000.

Ver flujo en Anexo M.

6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS BOSCA

Como resultado del análisis Bosca, se obtiene una propuesta comercial para esta empresa. La propuesta a Bosca consistirá en:

- Realizar una presentación al Gerente de Operaciones y Jefe de Planta, donde se muestre, el proceso productivo y el Layout definido para Robotizar su proceso, dando a conocer las causas operacionales y de productividad que hacen llegar a este modelo de producción robotizada.
- Dentro de la Presentación se mostrará la animación del Layout y el flujo productivo, las pantallas de esta animación se muestran en el Anexo L.
- Finalmente entregar al cliente un informe donde se presente la Propuesta detallada, es decir, este informe posee los siguientes ítems:
 - ✓ Carta de Presentación: donde Indura se presenta formalmente a la empresa y muestra sus intenciones hacia él.
 - ✓ Resumen de la Propuesta: donde se explica a grandes rasgos en que consiste la solución robótica propuesta.
 - ✓ Equipos: donde se muestran los distintos equipos involucrados en la solución y sus especificaciones.
 - ✓ Layout: se muestra el Layout de la Solución Propuesta.
 - ✓ Estimación de Tiempos: donde se muestran los puntos de soldadura a ser soldados por el robot, la velocidad de soldeo y por ende el tiempo definido para cada soldadura. Además se especifican los parámetros de soldadura y las unidades producidas mensuales.
 - ✓ Servicios: donde se especifican los servicios entregados en la propuesta, como los de instalación, puesta en marcha, programación y mantenimiento.
 - ✓ Precio: donde se muestra el precio de la Solución Robotizada propuesta, y lo que involucra este precio.
 - ✓ Condiciones de Compra: donde se especifican las condiciones de compra, confirmación del pedido, validez de la oferta, plazo de entrega, modificación de las especificaciones, preparación del espacios físico, inspección, garantía, confidencialidad y en caso de cancelación.

El informe de Propuesta para Bosca se muestra en el Anexo N.

7. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

7.1. Discusiones

7.1.1. Sobre Aspectos Técnicos para la Robotización

Para la introducción de robótica en un proceso productivo de soldadura, es relevante tomar en cuenta que el robot tiene un nivel de tolerancia para la separación del filete a soldar de 3 [mm], en el caso de Bosca la mayoría de las uniones cumple con esta condición, pero hay un porcentaje de la producción que no cumple, ya sea por un mal armado o por un corte poco preciso de las piezas. Por esto es recomendable mejorar los niveles de separación y precisión de corte, para lograr que el sistema robotizado sea lo más eficiente posible.

Es importante buscar una buena solución de posicionamiento para la pieza, de forma de disminuir lo más posible los tiempos muertos del proceso, es decir, aquellos tiempos que no corresponde a tiempo de arco. Esto se puede lograr con soluciones simples, como lo fue la solución para Bosca, que consiste en una mesa giratoria; para disminuir el tiempo para posicionar y desmontar, y en un pedestal de acero 4 [mm], que permite el rematar el collar de la estufa. También es posible solucionar el posicionamiento con equipos mecánicos que hagan rotar de posición la pieza para soldar los distintos extremos, pero esto involucra mayores costos de inversión los cuales se deben incluir en la evaluación económica.

7.1.2. Sobre la Evaluación de Productividad para la Robotización del proceso Bosca

El proceso productivo robotizado definido, es sensible al tiempo de proceso por estufa del robot. Esto se vio al momento de hacer el análisis de, qué uniones serían soldadas por el robot, si al robot se le asocian menor cantidad de puntos de soldadura el equilibrio de los tiempos entre puesto será dispar, lo que generaría mayores colas, y menores niveles de ocupación de los recursos y por ende menor capacidad productiva, siendo así mejor la solución sin robotización. Es así como se ve que gracias al equilibrio de los tiempos entre los puestos las colas generadas en la solución robotizada propuesta son mucho menores que los otros escenarios estudiados y los tiempos por concepto de espera en cola también son menores.

El entregar al puesto robótico un alto número de actividades con un tiempo de proceso un poco mayor al promedio de los tiempos de proceso de los puestos de soldadores humanos, estos tiempos son equiparados por la disminución de los tiempos muertos en el caso del puesto compuesto por la celda robótica. Es así, que en los resultados de la simulación del proceso robotizado, los tiempos muertos por concepto de salidas al baño y cambio de carrete son menores que en los otros escenarios estudiados.

7.1.3. Sobre la Evaluación Económica para el caso Bosca

De acuerdo a la evaluación económica realizada para el proceso robotizado, se aprecia que la conveniencia o no conveniencia económica de este depende de la capacidad productiva de la situación y del costo de la mano de obra, estos parámetros nos muestran como se diferencian los costos por unidad producida en los distintos escenarios. Esta diferencia en costos nos facilita analizar los ingresos extra por concepto de disminución de costo y aumento en unidades ofrecidas el mercado.

La factibilidad económica de la realización de la inversión depende fuertemente del sueldo pagado a los soldadores, se aprecia dentro del análisis de sensibilidad que si el sueldo soldador fuera menor a los \$330.000, esta inversión ya no será factible económicamente. Si bien este no es el caso de Bosca y el sueldo soldador no bajará, se puede extrapolar a otras empresas y definir que aquellas empresas que tienen un sueldo de soldador bajo, en el orden de los \$300.000, no será factible económicamente para ellos integrar robótica en sus procesos. Ahora, ha sido observado por Indura que muchos clientes no invierten en Robótica pensando en que sea una inversión factible económicamente, sino que lo hacen como una estrategia comercial que les permita ser bien visto por sus clientes extranjeros y así mostrar calidad y tecnología en sus procesos.

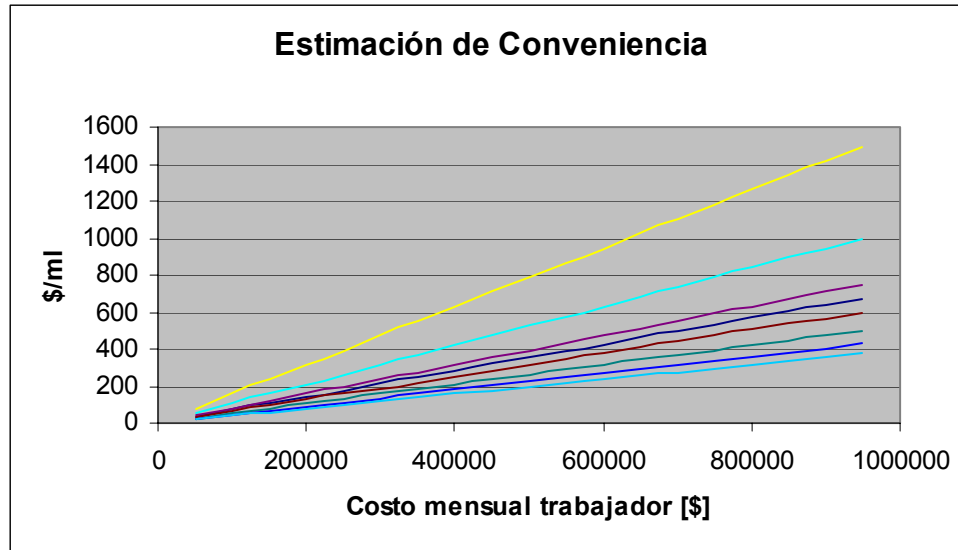
Se aprecia, gracias al análisis de sensibilidad, que si Bosca no vende más de un 11% que sus ventas actuales la inversión ya no es factible económicamente, por lo que la decisión de compra dependerá de la seguridad de ellos en la proyección del aumento en sus ventas.

Si Bosca tiene no tiene certeza en su perduración a un largo plazo, la evaluación a 5 años muestra que la inversión sigue siendo factible económicamente si al final de este periodo los equipos son vendidos a valores de entre un 30% y 20% de su valor inicial, los cuales son valor muy probables de ser vendidos, ahora sí, la TIR del proyecto disminuye fuertemente en esta evaluación, por lo que el proyecto se torna más riesgoso.

Para efecto del estudio en el ambiente de la soldadura los costos por unidad de producto son pasados a unidades de metro lineal de soldadura, para el caso Bosca cada unidad de estufa tiene 6,35 [ml] de soldadura, los costos por unidad deben ser divididos por los metros lineales correspondientes y se obtiene la relación \$/ml.

El gráfico 4 muestra; de acuerdo al costo mensual de un soldador y a un factor de operación dado por capacidad productiva, el costo por metro lineal de soldadura [\$/ml], de esta forma se puede estimar el costo por metro lineal de soldadura dependiendo de la capacidad productiva y cuanto cuesta un soldador para la empresa. Se observa que la curva formada depende de la capacidad productiva, por lo que a mayor factor de operación menor es la pendiente de la curva, es decir, a un mismo costo por trabajador el \$/ml disminuye con el factor.

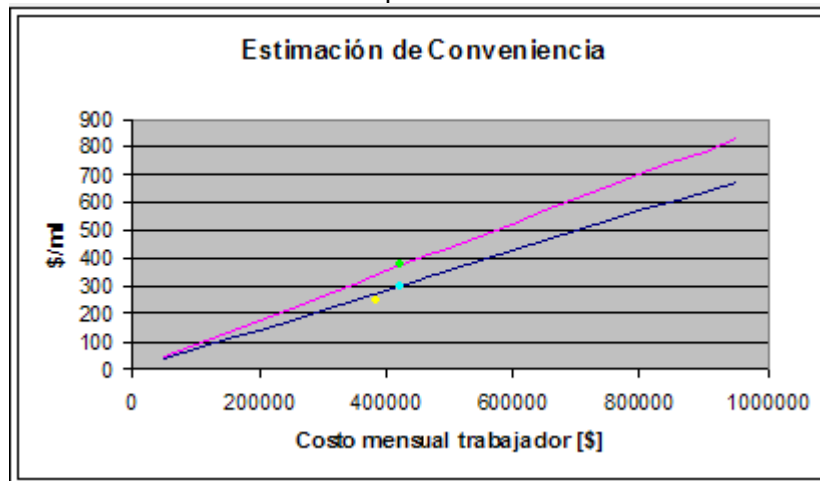
Gráfico 4: Costo por metro lineal de soldadura para Bosca



En el gráfico 5 se muestran la curva del factor de operación para la situación actual con color rosado y para la mejor solución operacional encontrada con azul, en ellas se detectan sus puntos de \$/ml, de acuerdo al costo actual de los soldadores. El punto amarillo muestra donde se ubica el soldador de acuerdo a su factor de operación definido por la capacidad productiva de la solución robotizada y el costo de la inversión amortizada.

Esto muestra que como el punto de la solución robotizada está por debajo de los puntos de los otros escenarios, entonces previo a una evaluación con actualización de flujos se podría intuir que la solución robotizada es conveniente económicamente, con respecto a los otros escenarios.

Gráfico 5: Costo por metro de soldadura



Es importante destacar que el robot fue evaluado trabajando sólo en un turno de trabajo. Actualmente Bosca cuenta con un turno nocturno donde se producen las distintas piezas de la estufa para el armado de esta. Por lo cual, el robot puede ser utilizado en las noches para este trabajo, lo que implicaría que los costos por unidad de producto podrían ser aún menor por concepto de disminución de soldadores en la

producción de accesorios y a la mayor capacidad productiva que se podría lograr en estos.

Se conoce a nivel de la industria de tecnología robótica que los precios de los Robots han ido disminuyendo en los últimos años y se dice que esta tendencia seguirá a la baja, además se aprecia en los registros estadísticos chilenos una tasa de aumento en los sueldos de la mano de obra y en los insumos, por lo que se puede apreciar que a medida que pasen los años es muy posible que el ahorro logrado con la incorporación de robótica sea mayor, por lo que las recuperaciones de la inversión pueden ser en periodos de tiempos más corto. Esto dependerá de la variación en la tasa de cambio, que si bien en los últimos años se ha visto una estabilización, por lo cual una variación baja, es posible que esta varíe, por lo cual el ahorro logrado con la robotización dependerá de este factor.

7.2. Conclusiones

7.2.1. Sobre el Estudio Operacional a Bosca

El mayor beneficio de productividad se logra gracias a un análisis operacional de los procesos, es decir, sólo con un cambio de layout Bosca puede lograr un aumento del orden del 37% en la capacidad productiva de la Línea de Soldadura. Además este análisis permite visualizar de mejor forma el layout más eficiente para una solución robotizada.

A mayor cantidad de puestos de trabajo, menor es la eficiencia del proceso. Esto lo vemos debido a que el tener una cantidad alta de puestos de trabajo involucra mucho tiempo de acarreo y posicionamiento de la pieza al cambiar de puesto de trabajo, además la parada del trabajo en un puesto puede provocar una parada total de la línea por lo que el tiempo por espera para cada estufa es mayor. Esto se cumple para aquellas operaciones en que las capacidades de los operarios son las mismas, por lo que pueden realizar las distintas actividades del proceso, además los equipos y herramientas a utilizar en el proceso son poco variada por lo que un cambio en el layout del proceso no involucraría inversión en más equipos y herramientas.

La herramienta de simulación, en este caso específicamente ARENA, es básica para definir la mejor secuencia del proceso. Ya que sin esta el estudio habría sido mucho más complejo de evaluar y definir la variación de la capacidad productiva del proceso, para los distintos escenarios importantes a estudiar.

7.2.2. Sobre la Solución Rotizada propuesta a Bosca

Previo a la introducción del Robot en el proceso es necesario realizar un estudio de mejora de Layout, de forma tal que el robot trabaje más eficientemente que un soldador.

La introducción del robot, requiere de una mejora en el armado de la estufa y en la precisión de corte y doblado de las piezas, de forma tal que la separación de las uniones a soldar sean abarcadas por el nivel de tolerancia que posee el robot soldador.

7.2.3. Sobre la Evaluación Económica de la solución robotizada propuesta a Bosca

En el caso particular de Bosca la inversión se justifica económicamente, ya que el cálculo de la actualización de los ingresos extra por ahorros en costos unitarios de producto y la resta de la inversión da un valor positivo y de un valor de \$335.530.000, con una TIR del 22% lo cual muestra un riesgo bajo, en las circunstancias descritas en la evaluación.

Si el aumento en las ventas proyectado por Bosca es menor a un 11% con respecto a las actuales el proyecto no es viable económicamente y debe ser evaluado por Bosca como estrategia comercial ante sus clientes en el mercado externo. Esto hace más riesgoso el proyecto si su proyección es incierta.

El periodo de recuperación de la inversión puede ser menor, si el robot es utilizado en el turno nocturno, para producir distintos accesorios. Esto debido a que se lograrían mayores ahorros en el producto por concepto de accesorios.

7.2.4. Sobre la introducción de Robótica para la Industria Metalmeccánica

La decisión de introducción de Robots Soldadores en la industria metalmeccánica, es sensible a la velocidad de soldeo, el precio de la mano de obra y el factor de operación del soldador.

Defínase velocidad de soldeo, como el tiempo en que está haciendo arco dividido por los metros lineales de soldadura realizados en ese periodo de tiempo, precio de mano de obra como el costo soldador en unidad de tiempo (preferentemente horas), y el factor de operación como el tiempo que el soldador está haciendo arco dividido por el tiempo total de trabajo.

Estos parámetro permiten conocer el costo por metro de soldadura y por ende detectar si este costo es menor para un robot que para un soldador humano dependiendo de los parámetros definidos para el caso en estudio, si esto no es así no convendrá introducir el robot.

Si la velocidad de soldeo en un caso en estudio es pequeña, el factor de operación también es pequeño y el costo soldador por hora es alto, entonces es altamente probable que convenga introducir robótica, ya que el robot permite aumentar la velocidad de soldeo y el factor de operación, además si el robot es utilizado la mayor parte del día el costo hora de este es menor (ver la ecuación 12).

Ecuación 12: Costo Mano de Obra por metro lineal de soldadura

$$\frac{\$}{ml} = \frac{C.M.O[\$/hr]}{V[ml/hr] \times F.O.}$$

Se puede apreciar gracias al análisis de sensibilidad de Bosca que el sueldo crítico de los soldadores donde la robotización es muy posible que no sea factible económicamente es del orden de los \$300.000 mensuales.

La factibilidad económica se aprecia más conveniente para los próximos años, ya que se ve una tendencia a la baja en los precios de robots y una tendencia al alza en los costos de mano de obra, esto es sensible a la variación en la tasa de cambio del dólar.

7.2.5. Metodología de Trabajo para el Análisis de la Introducción de Robótica en clientes Indura

El área encargada de realizar este trabajo de acuerdo a esta metodología a definir es el Área Comercial, y el encargado de realizar este estudio es el Ingeniero de Procesos designado a aquella empresa en estudio, además estos serán apoyados por el Jefe de Equipos de Soldadura (Product Manager).

1-. Evaluar y determinar el costo actual de soldadura [\$/ml] y compararlo con el costo de la celda robotizada. Para esto es necesario tomar los tiempos, de forma de determinar el factor de operación y la velocidad de soldeo.

Si el costo de la celda robotizada es mayor, entonces la evaluación llega a su término y la introducción del robot no es viable. Por el contrario si el costo es mayor con mano de obra, entonces se puede proseguir con el estudio. Si la diferencia es considerada por el evaluador muy mínima, será necesario determinar variables de equilibrio principalmente Costo de Mano de Obra, de esta forma se deberá presentar al cliente el valor crítico obtenido y consultar si seguir con la evaluación o no.

Plazo entre 1 – 3 semanas.

Tabla 72: Actividades Asociadas al Paso 1

Nº	Actividades	Plazo dependiendo del número de soldadores en el proceso.
1	Medir el tiempo en que cada soldador del proceso está soldando (haciendo arco), luego dividirlo por el periodo de tiempo total analizado y obtener el F.O. (factor de operación) de los soldadores. Luego obtener el F.O. promedio de los soldadores.	3 días - 2 semanas

Nº	Actividades	Plazo dependiendo del número de soldadores en el proceso.
2	Medir los metros de soldadura involucrados en la pieza y que son realizados por los soldadores en estudio. A través de los tiempos medidos y los metros de soldadura definir la velocidad promedio de soldadura.	1 - 2 días
3	Estimar el Costo Mano de Obra empresa en [\$/hr], para el cliente en estudio, ya que generalmente esta información se toma como confidencial de la empresa.	
4	A través de los resultados obtenidos de las actividades 1,2 y 3, calcular el Costo Actual de la empresa cliente en Mano de Obra, medido en [\$/ml], es decir, en pesos por metro lineal de soldadura.	
5	Definir las actividades que realizaría el robot y estimar su F.O. De acuerdo a la velocidad de traslado y a la velocidad de soldeo definidas.	1 - 3 días
6	Medir los metros de soldadura involucrados en la pieza y que serán realizados por el robot.	
7	Realizar cotización previa de la robotización necesaria, y calcular a través de los resultados de las actividades 5 y 6, el costo mano de obra robot en [\$/ml].	
8	Determinar cual de las dos opciones manual o robotizada es más barata en [\$/ml]. Si la diferencia es muy mínima, estimar el Costo Mano de Obra manual crítico en [\$/hr], es decir, igualar las ecuaciones que determinan el valor en [\$/ml] haciendo el Costo Mano de Obra humana como la incógnita.	

2-. Analizar el layout y forma de operar del proceso en estudio, si este consiste sólo en dos etapas que sean armar y luego rematar, obteniendo así el producto final de soldadura. Entonces simular el proceso robotizado, en donde los remates sean realizados por el robot.

Si el proceso es más complejo, hacer más eficiente el Layout, de tal forma que se implemente el sistema robotizado sobre un proceso ya optimizado. Para esto se requiere de herramientas de simulación, como por ejemplo el software Arena.

Plazo entre 3 días – 4 semanas

Tabla 73: Actividades Asociadas al Paso 2

Nº	Actividades	Plazo dependiendo del número de soldadores en el proceso.
1	Definir los eventos que no corresponden al proceso de soldadura en el proceso estudiado, luego medir los tiempos de estos eventos y definir su funciones de ocurrencia y distribución de tiempo.	1 - 3 días

N°	Actividades	Plazo dependiendo del número de soldadores en el proceso.
2	Simular el proceso con los datos de tiempos obtenidos en el punto 1 de la metodología y los datos obtenidos en la actividad 1 de este punto. Obteniendo así las funciones de distribución de los tiempos de proceso actual. El fin de esto es obtener la capacidad productiva del proceso en estudio y luego poder simular la situación robotizada y hacer la comparación.	3 días - 1 1/2 semanas
3	Si el proceso es definido como más complejo, hacer análisis de distintos escenarios para el proceso en estudio con la simulación, de forma de buscar una solución más eficiente, se recomienda que si las capacidades de los operarios son las mismas y los equipos también, se busque minimizar los puestos de trabajo de la forma en que se hizo con el caso Bosca.	1 - 2 semanas

3-. Aplicar el robot al sistema mejorado, siempre bajo un ambiente simulado, y determinar los parámetros operacionales y económicos de este sistema. Si estos parámetros son más ventajosos que el sistema más eficiente, entonces seguir con la evaluación. En caso contrario se debe abortar el análisis con el robot.

Plazo 1 ½ - 2 ½ semanas

Tabla 74: Actividades Asociadas al Paso 3

N°	Actividades	Plazo dependiendo del número de soldadores en el proceso.
1	Si se encuentra una solución más eficiente, tomarla como base para la robotización. Luego simular el proceso definido y robotizado.	1 - 2 días
2	Hacer pruebas físicas con el Robot con la pieza en estudio, de forma de definir si las actividades pueden ser realizadas por el robot.	2 - 3 días
3	Analizar la información entregada por la simulación realizada en la actividad 1 y generar los parámetros operacionales de comparación con la situación actual. Por ejemplo, diferencia en capacidad productiva, nivel de ocupación de los soldadores, factores de operación, etc.	2 - 3 días
4	De acuerdo a los valores estimados del Costo Mano de Obra actual del cliente en estudio, a la inversión de la integración de robótica, y al aumento en la capacidad productiva y por ende el aumento de la capacidad de venta. Definir la diferencia en los ingresos que genera la robotización, incluir el mantenimiento del robot, y realizar una evaluación en un horizonte de 10 años, con una tasa de actualización de acuerdo a la experiencia del cliente en estudio. Si el VPN resultante es mayor a cero la solución es viable económicamente, de lo contrario económicamente no lo es y se deben analizar otros criterios que pueden incidir en la decisión del cliente.	3 - 5 días

4-. Hacer la propuesta técnica y económica al cliente, detallando todos los parámetros operacionales y de costo para que el cliente pueda tomar la decisión.

Plazo de 1 – 1 ½ semana

Tabla 75: Actividades Asociadas al Paso 4

Nº	Actividades	Plazo dependiendo del número de soldadores en el proceso.
1	Solicitar Cotización de equipos de robotización a Robotec	Dar plazo de entrega de 3 a 5 días
2	Realizar una animación de la Solución Propuesta, con el software de animación Kuka, Sim Layout.	1 - 3 días
3	Confeccionar Presentación que incluya: 1. Parámetros Operacionales, 2. Solución Robotizada Definida, 3. Animación, 4. Valor de la Inversión, 5. Evaluación Económica.	1 día
4	Confeccionar Informe de Propuesta, con el formato del informe realizado a Bosca y que incluya: 1. Parámetros Operacionales 2. Parámetros de Soldadura 3. Tiempo y velocidad de proceso del Robot 4. Valor de la Inversión e ítems involucrados en la cotización 5. Evaluación Económica 6. Plazos de implementación.	1 - 2 días
5	Realizar la presentación a los clientes	1 día

5-. Una vez que el cliente aprueba la inversión, se implementa el sistema propuesto.

Plazo 1 ½ - 4 meses

Tabla 76: Actividades Asociadas al Paso 5

Nº	Actividades	Plazo dependiendo del número de soldadores en el proceso.
1	Hacer orden de compra a Robotec de los equipos robóticos, y definir plazos de entrega.	1 día
2	Hacer orden de compra de los equipos Kemppi y Tregaskiss, y definir plazos de entrega que sean compatibles con los de los equipos robotizados.	
3	Definir Plazos de Capacitación del personal del cliente.	
4	Definir plazos de entrega al cliente	
5	Instalación de la o las Celdas Robóticas	1 - 4 semanas
6	Definir visitas con cliente para el periodo de puesta en marcha, de forma de dar el soporte técnico necesario.	1 - 3 meses

6-. Ajustar en el proceso de fabricación el dimensionado de piezas que conforman el componente a soldar. Dado que el sistema robotizado tiene una baja tolerancia hacia los cambios dimensionales y requiere de mayor precisión en las uniones (± 3 mm).

Tabla 77: Actividades Asociadas al Paso 6

N°	Actividades	Plazo dependiendo del número de soldadores en el proceso.
1	Tomar muestras de los productos que se están soldando y analizar si las soldaduras están penetrando de buena forma. En aquellas que se vean problemas analizar las separaciones y buscar la mejora en el proceso de armado para reparar la falla.	Plazo de visitas para la puesta en marcha definido en el punto 5 actividad 6.

7.3. Recomendaciones para la implementación de Propuesta Bosca

Se recomienda comenzar implementando sólo una célula de trabajo, de forma de analizar como influye este sistema de operación en la capacidad productiva, y si se justifica realmente invertir en las otras celdas robóticas

Además esto permitirá que los soldadores aprendan a utilizar el robot y sus controles, adquiriendo experiencia en el manejo de estos y acomodándose al sistema productivo, para luego implementar las demás células y estas comiencen a producir eficientemente en un periodo corto, y no influya fuertemente en el nivel de producción de Bosca, la puesta en marcha del nuevo sistema productivo.

También se recomienda, revisar subprocesos de corte y doblado para que el pre-armado de las estufa sea de mayor precisión. Además es recomendable el que se usaran herramientas de posición magnéticas para las piezas, lo cual permitiría una mayor precisión al momento de armar.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Adolfo Fábregas, Rodrigo Wadnibar, Carlos Paternina, Alfonso Mancilla. 2003. Simulación de Sistemas Productivos con ARENA. Ediciones Uninorte. Barranquilla, Colombia.
- [2] Arnoldo Hax. 2003. El Arte de Adaptar planes de Negocios. Management Sciences for Health.
- [3] Julio Andrés Cáques Gomez. 2001. Desarrollo de Software de Aplicaciones en Soldadura al Arco". Tesis Ingeniería de Ejecución Metalúrgica. Universidad Técnica Federico Santa María.
- [4] Lincoln Electric. 1995. Seminario Sobre Análisis de Costos. Miami.
- [5] The American Welding Society to advance the Science, Technology And Welding. Junio 2003. Welding Automation. Welding Journal Review.
- [6] The American Welding Society to advance the Science, Technology And Welding. Agosto 2001. Improvements with Automation. Welding Journal Review.
- [7] Ronaldo Paranhos.2005. Como determinar os custos da soldagem. Infosolda.
- [8] 2005. Arena Basic. Rockwell Automation.
- [9] 2002. Manual de Sistemas de Materiales de Soldadura. Indura S.A.