



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERÍA
División de Ingeniería Mecánica e
Industrial

Viabilidad sobre la implantación de robots soldadores en la construcción

Tesis profesional
para obtener el título de:
Ingeniero Mecatrónico

Presenta:
López Grovas José Francisco Manuel

Director de tesis:
Enrique Barranco Vite



Ciudad Universitaria, México, Abril 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

Para Isabel, familia y profesores que tuvieron paciencia en este proceso.

Gracias.

Contenido

1. Introducción	5
Soldadura con arco eléctrico	5
Riesgos primarios:.....	5
Robots	7
2. Ingeniería de proyecto:	9
Diseño	11
Sistema mecánico:.....	11
Sistema eléctrico:	12
Sistema de control:.....	16
Robot soldador:.....	17
3. Estudio de mercado	20
Demanda.....	20
Oferta:.....	20
Precio:	21
4. Evaluación económica:	23
Caso 1, Evaluación para igual cantidad de trabajo:.....	24
Costo beneficio unitario:	24
Rendimiento equivalente mínimo:	26
Resumen:.....	27
Caso 2, Evaluación para igual volumen de trabajo vs tiempo:	28
Costo-beneficio unitario	28
Rendimiento equivalente máximo:.....	29
Resumen:.....	30
Caso 3, Evaluación bajo proyectos equivalentes:.....	31
Costo-beneficio unitario	31
Proyectos equivalentes:.....	32
Resumen:.....	33
5. Conclusiones.	34
Situación actual del proyecto:	36
Interrogantes a resolver en actividades futuras:	36

Introducción

1

Contenido

<u>Introducción</u>	5
<u>Soldadura con arco eléctrico</u>	5
<i>Riesgos primarios:</i>	5
<u>Robots</u>	7

Introducción

El uso de robots en actividades repetitivas trae consigo beneficios como: alta productividad, eficiencia y eficacia; aunado con altas tasas de accidentes que presenta la industria de la construcción alrededor del mundo; se genera la siguiente pregunta ¿es posible aplicar un robot soldador con arco eléctrico en la industria de la construcción? cuyos objetivos primordiales sean: el de proteger al ser humano y optimizar recursos relacionados con el proceso de soldadura. Para responder esta pregunta me di a la tarea de utilizar el método general de evaluación de proyectos, el cual incluye: la búsqueda de mercado (nicho, oferta y demanda), evaluaciones económicas (Tasa interna de retorno, valor presente neto, etc) y factibilidad técnica (descripción detallada del producto).

La evaluación para la aplicación del robot soldador es importante porque justifica el uso de un producto mecatrónico a la industria de la construcción con base en una serie de etapas y filtros que incrementan la probabilidad de éxito del mismo.

Soldadura con arco eléctrico

En el proceso de soldadura con arco eléctrico se presentan riesgos que afligen a los trabajadores, y por ende, se requiere de equipo de protección personal para mitigar efectos adversos sobre el cuerpo humano y permitir laborar por largas horas.

A continuación se detallan los riesgos y equipo de protección personal referentes a la soldadura con arco eléctrico.

Riesgos primarios:

Son aquellos a los que un trabajador se encuentra expuesto por la misma actividad que realice. El tiempo prolongado a la exposición de su trabajo, cansancio o entorno adverso son factores que propician accidentes; los riesgos más comunes son:

Riesgos químicos:

Se dispersan por aire y se presentan en fase gaseosa, la exposición se produce por inhalación, ingerida o por piel causando una intoxicación a todo el cuerpo del trabajador.

“Se han encontrado tasas de mortalidad elevadas por cáncer de pulmón y del aparato respiratorio entre los soldadores”. (Robledo Henao, 2008, pág. 12)

- Sistema respiratorio:

Los gases producidos por esta actividad deben ventilarse para evitar alguna fatalidad por inhalación de gases, los elementos que dañan el sistema respiratorio provienen de diversas fuentes:

- Metal utilizado:

Recordando que la soldadura por arco eléctrico funde el material con que se trabaja, se pueden presentar gases tóxicos provenientes al: níquel, cromo, acero semiduro (prevalece el manganeso), metal galvanizado (presenta zinc) etc.

- Recubrimiento:

Inclusive si el metal a soldar tiene un recubrimiento químico se pueden presentar los siguientes elementos químicos: plomo, cadmio, isocianatos, disolvente o fosgenos.

- Vapores:

Al existir una combustión la soldadura por arco eléctrico puede formar ozono y óxidos nitrosos provenientes del aire y el metal soldado (aluminio).

Riesgos físicos:

Se atribuyen al ruido, temperaturas extremas (frío o calor), radiación de luz ultravioleta (sol y arco eléctrico), rayos x (inspección de la soldadura), rayos láser (equipos de medición), trabajos de altura, etc. en otras palabras son los atribuidos al medio en que se desempeña el trabajo.

- Ojos:

Se recomienda una transparencia máxima en un rango de 525 y 620 mili micrones con absorción gradual (color verde amarillo o azul cobalto) y una aplicación de:

Corriente eléctrica [A]	Tonalidad de lente
30	6
Entre 75 y 200	10
Entre 200 y 400	12
400	14

Cabe resaltar que la careta para soldar no incluye protección para la cabeza, punto importante para laborar en una construcción o industria.

- **Cuerpo, manos y pies:**

Como no todos los gases se absorben por la inhalación, puede suceder a través de la piel, se debe usar: Botas para construcción, y overol, guantes y cubre botas para evitar el contacto con chispas calientes provenientes de la soldadura.

Riesgos sociales:

La presión de alcanzar un objetivo en tiempo ha causado que no cumplan con ciertos estándares de seguridad.

Riesgos ergonómicos:

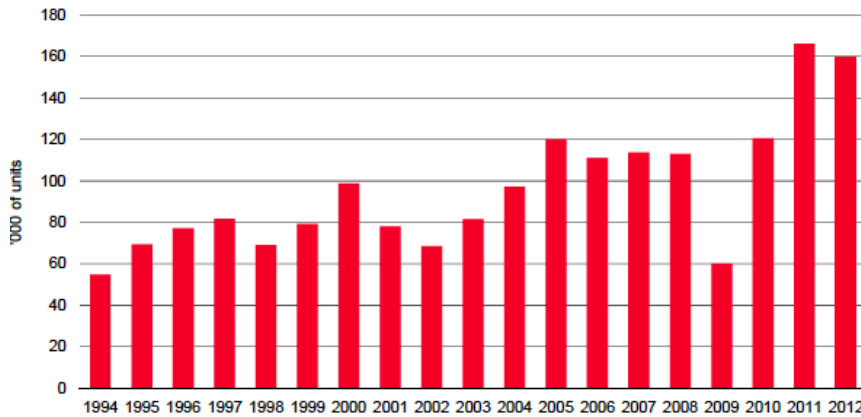
Son aquellos efectos que presenta el trabajador, a largo plazo, al mantener una postura determinada por mucho tiempo, como el requerido para soldar.

Robots

La aplicación de robots requiere de conocimientos altamente especializados e interdisciplinarios; combina ramas de la ingeniería como: computación, manufactura, mecánica de precisión, electrónica y sistemas de control.

Algunas bondades que presentan los robots son: la carencia de equipo de protección personal, no se cansan, son prescindibles y pueden repetir la misma tarea sin perder atención a detalles; por ello, desde hace 10 años se ha elevado el número de unidades utilizadas alrededor del mundo.

**Worldwide annual supply of industrial robots
1994 - 2012**

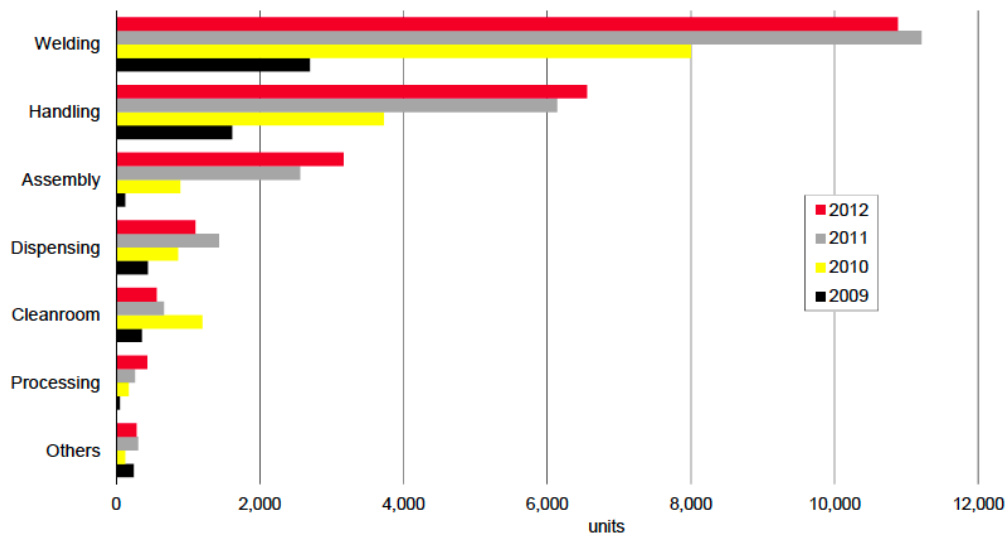


Source: IFR Statistical Department

De acuerdo con el director de IFR (Federación internacional de robótica) la robótica ha regresado una inversión total de \$25.5 billones de dólares. La actividad que ha requerido de un mayor número de robots es la soldadura. (Bauer, 2013).

Los riesgos que conlleva el proceso de soldadura con arco eléctrico y el crecimiento mundial en la venta de robots soldadores crea un incentivo para el desarrollo de robots que cumplan con la tarea de proteger al ser humano de actividades repetitivas y peligrosas.

**Estimated annual supply of industrial robots at year-end
in China by applications 2009 - 2012**



Source: IFR Statistical Department

Ingeniería de 2 proyecto

Contenido

INGENIERÍA DE PROYECTO:	10
<u>DISEÑO</u>	11
<i>Sistema mecánico:</i>	11
<i>Sistema eléctrico:</i>	12
<i>Sistema de control:</i>	16
<u>ROBOT SOLDADOR:</u>	17

Ingeniería de proyecto:

Se dará un sustento técnico sobre la factibilidad de conjuntar diversos elementos mecánicos, eléctricos y computacionales para la obtención del robot soldador.

Para obtener parámetros de diseño que nos permitieran crear un producto enfocado a garantizar una soldadura de adecuada me basé en documentación elaborada por la American Welding Society. Los elementos esenciales que un soldador con arco eléctrico certificado debe tener en cuenta son (Society, 1994)

Proceso de soldadura	
Parámetros técnicos	Unidades
Metal de aportación	in
Corriente	A
Velocidad de alimentación	ipm
Voltaje	V
Velocidad de movimiento	ipm

De acuerdo con estadísticas de la American Welding Society se rechaza el 40% de trabajos relacionados a soldadura con arco eléctrico porque el personal carece de certificaciones adecuadas, de ahí que el robot soldador busque satisfacer las siguientes carencias.

Demandas primarias	Demandas secundarias
Certificación	Identificación de material base. Inspección fotográfica. Manejo de material de aportación. Correcciones.
Seguridad	Alimentación eléctrica. Limpieza de área. Movilidad.
Horas de trabajo	Habilidades interpersonales. Largas jornadas.

Adicionalmente a los parámetros anteriores se resolvieron problemas reportados por la International Association for Automation and Robotics in Construction en la implementación de robots en la construcción. (Rosenfeld, Warszawski, & Zajicek, 1992)

1. El desplazamiento desde un punto de inicio hasta el punto donde se realizará la acción.
2. Estabilidad ante cualquier irregularidad del terreno.
3. Autonomía energética y de movimiento necesaria para completar la acción.

Diseño

Tomando en cuenta los parámetros técnicos y demandas del nicho de mercado se realizó un diseño mecatrónico que da respuesta a las carencias actuales del proceso manual.

Sistema mecánico:

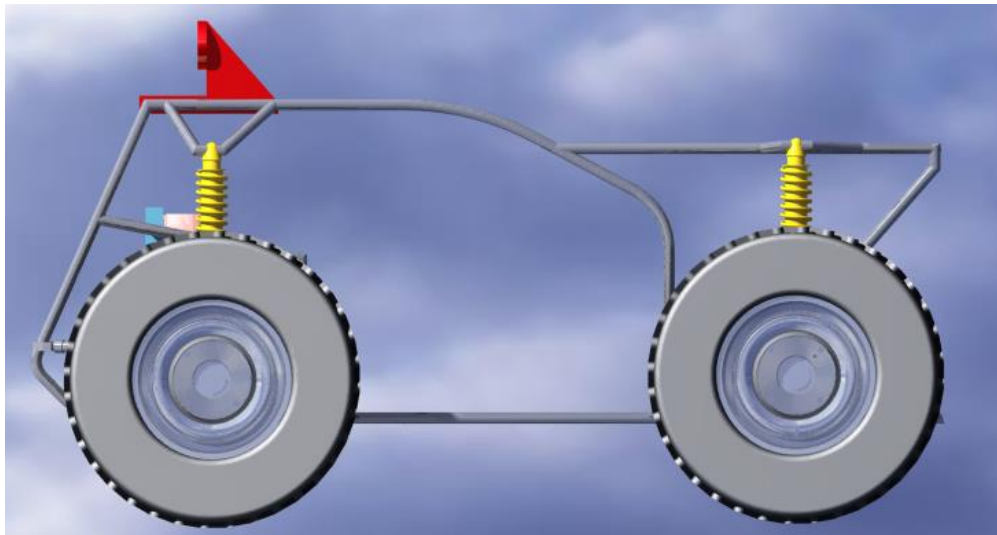
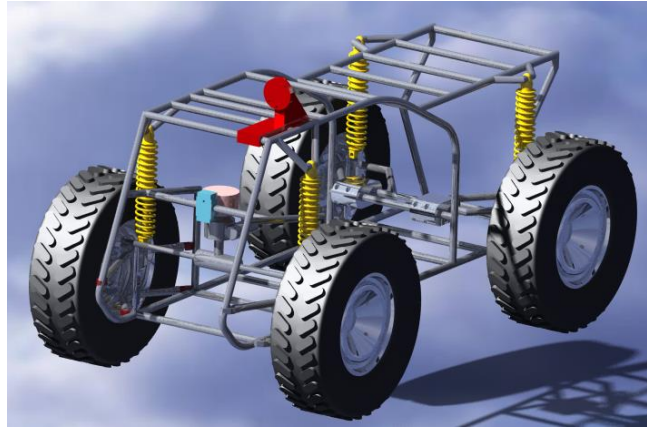
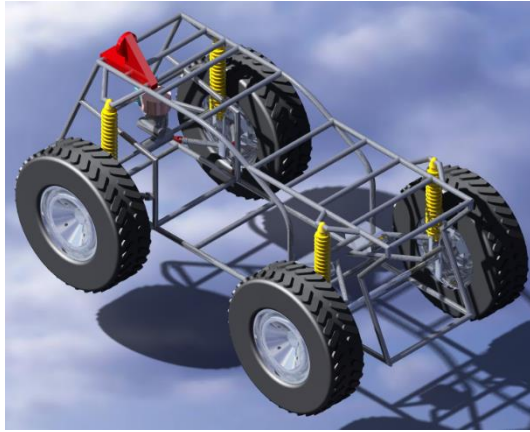
Considera un vehículo todo terreno como soporte para todos los accesorios, el robot y generador eléctrico.

ATV (vehículo todo terreno)

Se utiliza un chasis de acero dulce (A-36) porque es muy resistente, sirve de protección a elementos internos como: es el motor ROTAX 1000 (capacidad de arrastre 590 kg) y la dirección eléctrica.

Vehículo todo terreno

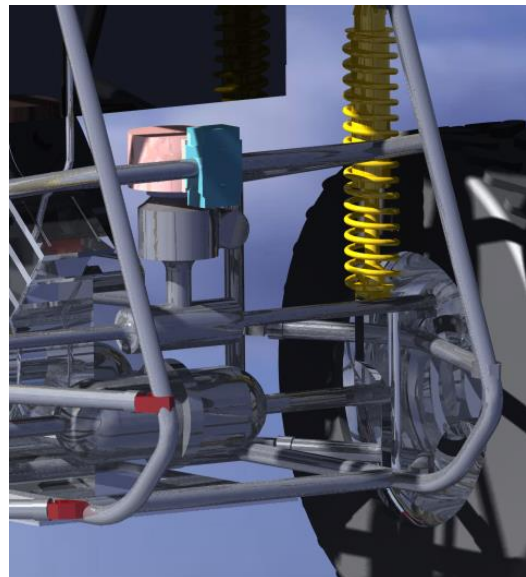
Motor	Rotax 100 976 cc, 8 válvulas.
Dimensiones(HxWxD)	298x193x503 mm
Llantas	63.5x20.3x30.5 cm; rin aluminio
Capacidad de arrastre	590 kg
Tanque de gasolina	20.5 L



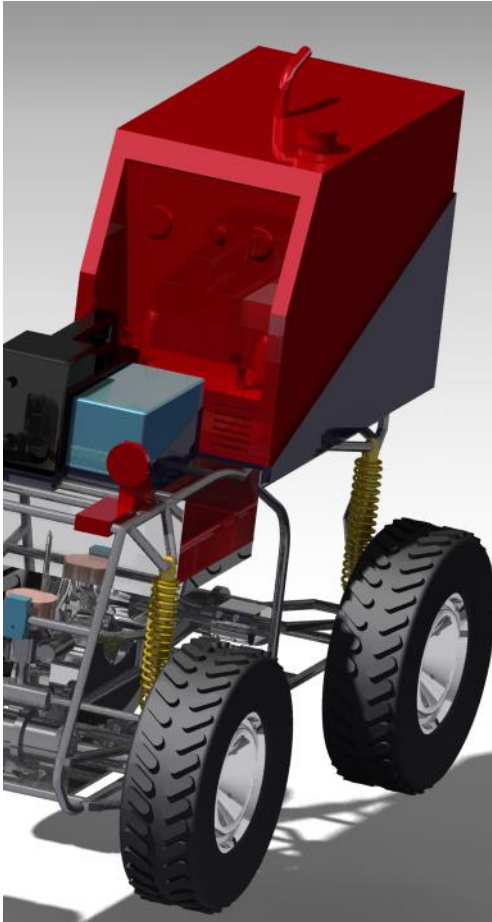
Sistema eléctrico:

Existen 3 circuitos, los cuales controlan diferentes componentes: dirección eléctrica, robot y arco de soldadura; el primero sirve exclusivamente para garantizar el encendido y direccionamiento de vehículo por medio de un motor Kollmorgen framless brushless KBM 17. (Color salmón)

El segundo y el tercer circuito son alimentados por la misma fuente Lincoln



electric clase 305 LPG, la cual funciona con gas propano líquido, permite la reducción de emisiones provenientes de la gasolina y ruido hasta 101 dB, y proporciona una corriente de hasta 40 A 240 V (9500 W) para alimentar el robot y el arco eléctrico de manera simultánea.



Lincol electric 305 LPG

Motor	2 cilindros
Combustible	Gas propano líquido
Soldadura simultánea y potencia.	
Amps	Watts
300	0
250	2200
200	3800
150	5100
100	6600
0	9000

Robot:

La elección del robot, Universal Robots modelo UR 10; se basó en el peso, sistemas de seguridad y grados de libertad (6).

Robot

Repetitividad	+/- 0.1 mm
Consumo de energía	350 W
Radio de acción	1300 mm
Capacidad para mover	10 kg

Motores	Kollmorgen frameless brushless
Masa del robot	28.9 kg (Cuerpo aluminio y PBS)
Grados de libertad	6
Seguridad	Alto de movimiento en cuanto intersecta con otro objeto.

Efecto final:

Para facilitar el proceso de soldadura se adicionan 2 accesorios: un control en tiempo real llamado i.Cube de la marca Servo.Motors y una pistola K397 automatic innershield Lincoln electric Active8. Estos componentes garantizan que la soldadura realizada cumpla con las especificaciones descritas por la American Welding Society.

Alimentador Active8

Wire Feed Speed	1.3-20.3 m/min
Dimensiones(HxWxD))	298x193x503 mm



Efecto final K397 con accesorio i cube que dota al robot de "visión" para soldar.

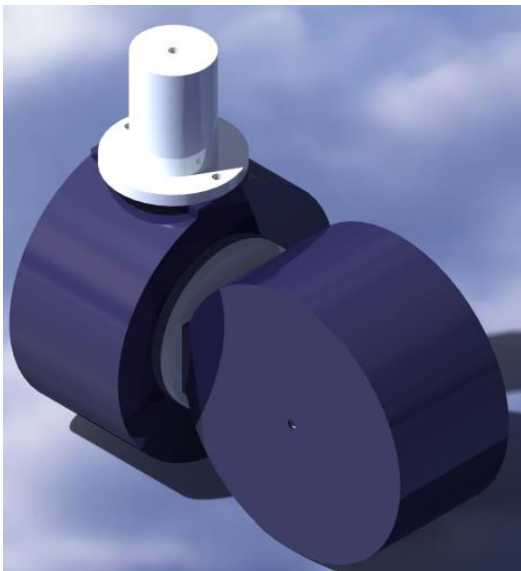
Base estabilizadora:

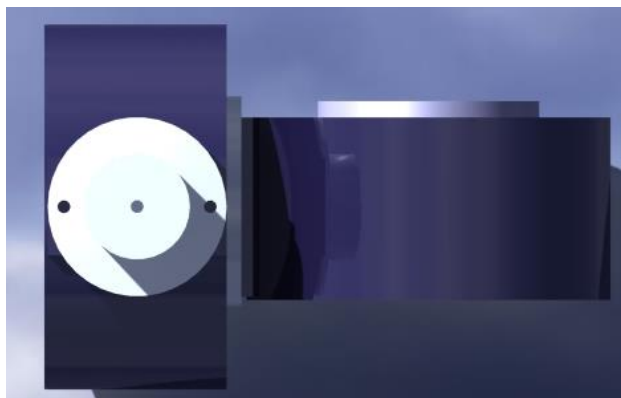
Resuelve el problema de estabilidad descrito por la IAARC (Rosenfeld, Warszawski, & Zajicek, 1992); La base cuenta con 2 grados de libertad y motores Kollmorgen frameless brushless KBM 4501, los cuales fueron seleccionados para ser congruentes en el diseño del robot soldador.

La base se ancla al chasis del vehículo a través de un soporte fabricado para tal propósito; la conexión con el robot se logra utilizando el eje, motor 1 del robot, como medio de unión con estator del motor 2 de la base, obteniendo así, una referencia sólida para trabajar sin importar las irregularidades del terreno.

KBM 4501

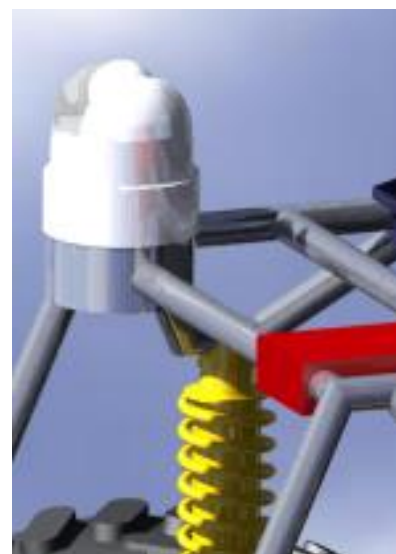
Momento	30.7 Nm
Revoluciones	2100 RPM
Constante de motor	186 Km
Capacidad para mover	10 Km
Inductancia	21 mH





Cámara:

Para poder tener un control sobre la dirección y sentido del robot se coloca una cámara PTZ (Pan Tilt Zoom) con una visión de 360° en el chasis del vehículo y así proyectar la perspectiva del robot al control remoto del operador para poder dirigirle.



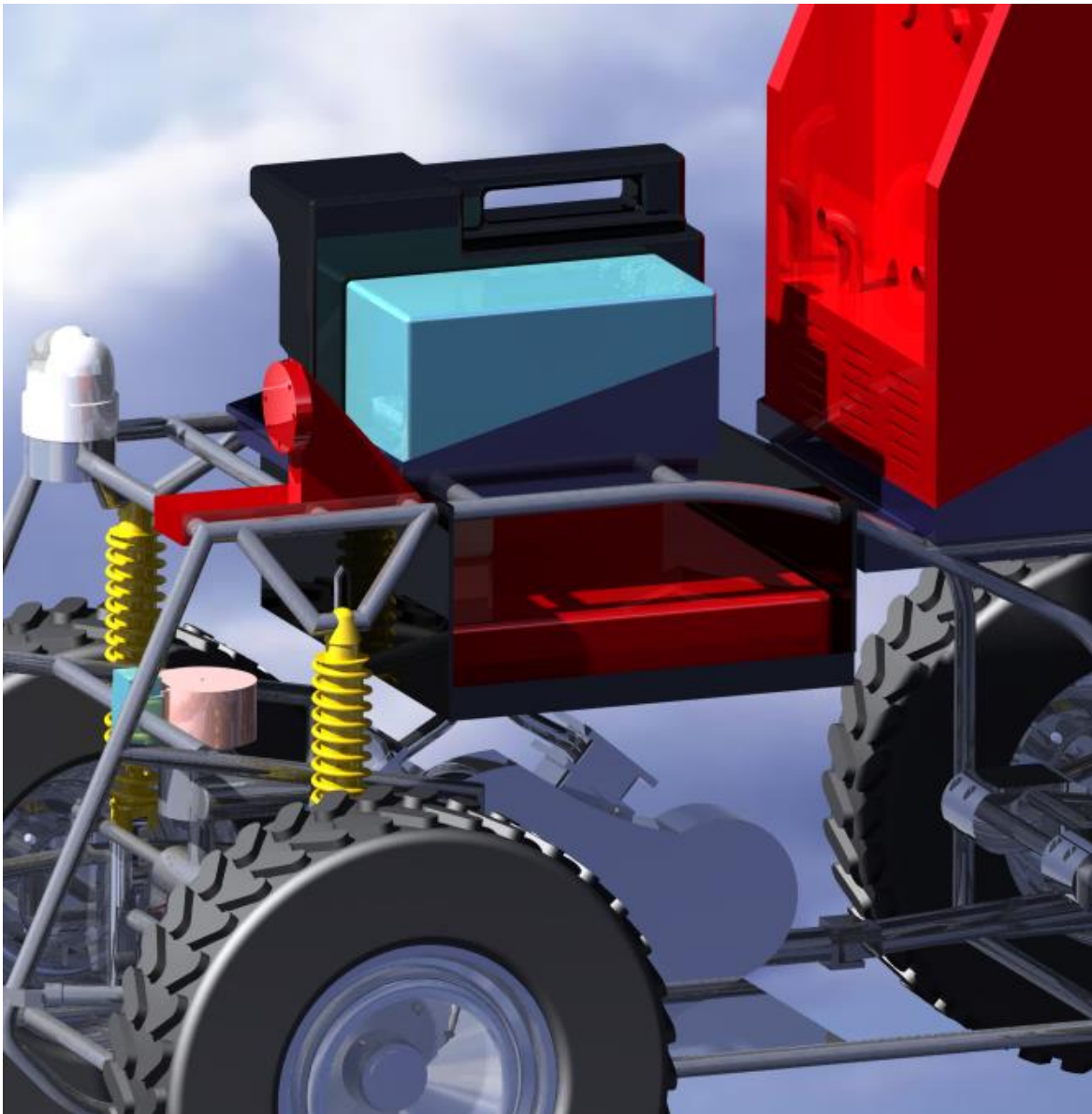
Sistema de control:

El software proporcionado por UNIVERSAL ROBOTS permite manipular el robot de forma inalámbrica y segura; deteniendo la operación en caso de que un objeto o persona intersecte con la trayectoria del robot y asegurando que cada trazo realizado cumpla con especificaciones deseadas.

Caja de control

Dimensiones (WxHxD)	475 x 423 x 268 mm
----------------------------	--------------------

En la imagen podemos observar, de izquierda a derecha: Cámara 365° (color blanco), soporte de la base del robot (color rojo), caja de control (color verde claro), alimentador de soldadura Active8 (color negro).



Robot soldador:

El robot soldador completo incluye: chasis, fuente de alimentación, robot y sistema de soldadura; además el diseño contempla: autonomía energética, aplicación eficiente y eficaz de soldadura, seguridad, control remoto, mínima contaminación ambiental y adaptabilidad ante cualquier irregularidad del terreno. Las dimensiones generales se encuentran en el apéndice 1.



3 Estudio de mercado

Contenido

<u>Estudio de mercado</u>	20
<u>Demanda</u>	20
<u>Oferta:</u>	20
<u>Precio:</u>	21

Estudio de mercado

El robot soldador se enfoca al mercado de la industria de la construcción nacional, cuyo nicho es el 40% de los trabajos que requieran alta especialización de soldadura por arco eléctrico (Zalkind, 2007)

Demanda

De acuerdo a la sociedad americana de soldadura (AWS, por sus siglas en inglés) se pierden trabajos de soldadura con arco eléctrico por falta de personal calificado.

Se estima que en 2019 se necesitarán de 408 581 soldadores, de los cuales 14 397 serán para el ámbito de la construcción en Estados Unidos de Norte América y una venta de 2106 unidades de robots vendidos en México para 2012, por lo que acaparar un 40% de estos dos rubros es muy importante.

Oferta:

Existen sólo 3 empresas dedicadas a la construcción que utilizan robots para procesos de demolición.

1. Brokk.
2. Husqvarna.
3. Atlas (se encuentra en desarrollo).

El robot soldador diseñando ofrece los siguientes puntos:

1. Eliminación de riesgos: apartando la presencia de humanos a situaciones peligrosas y estresantes, los cuales son asociados a una a baja productividad como resultado de accidentes y suspensión de actividades.

2. Se tiene una calidad superior del trabajo realizado; esto se ve reflejado en precisión y efectividad.
3. Ahorro en gastos relacionados con jornadas laborales y materiales.
4. Reducción de gases peligrosos relacionados con el proceso de soldadura.

Precio:

La inversión del robot o el precio requerido para adquirir este producto es de \$1 000 000.00 MXN; éste se encuentra definido por:

1. $Precio = Costo\ de\ producción + Ganancia$
2. Condiciones de estabilidad económica del país (impuestos, inflación, etc).
3. Competencia.

El desglose detallado del robot se basa en: el análisis de costos horarios para cualquier maquinaria dentro de la construcción y salario mínimo para el 20 de enero del 2014.

Datos al 20-Enero-2014		
Libra-Peso mexicano	£21.73	[libra]
Dólar-Peso mexicano	\$ 13.24	[pesos]
Salario mínimo	\$ 67.29	[pesos]

Inversión Robot		
Datos	Inversión del robot [anual]	\$ 1,000,000.00
	Valor de las llantas(Pn)	\$ 7,700.00 [\$MXN]
	Valor de piezas especiales(Pa)	\$ 446,293.26 [\$MXN]
	<i>Herramientas especiales</i>	
	Efactor final	\$ 34,529.92 [\$MXN]
	Sistema de soldadura	\$ 158,880.00 [\$MXN]
	<i>Control</i>	
	Software de control	\$ 218,460.00 [\$MXN]
	Control remoto	\$ 34,423.34 [\$MXN]
	Valor del robot(Vm)	\$ 546,006.74 [\$MXN]

Estudio 4 económico

Contenido

EVALUACIÓN ECONÓMICA:	23
CASO 1, EVALUACIÓN PARA IGUAL CANTIDAD DE TRABAJO:	24
<i>Costo beneficio unitario:</i>	24
<i>Rendimiento equivalente mínimo:</i>	26
<i>Resumen:</i>	27
CASO 2, EVALUACIÓN PARA IGUAL VOLUMEN DE TRABAJO VS TIEMPO:	28
<i>Costo-beneficio unitario</i>	28
<i>Rendimiento equivalente máximo:</i>	29
<i>Resumen:</i>	30
CASO 3, EVALUACIÓN BAJO PROYECTOS EQUIVALENTES:	31
<i>Costo-beneficio unitario</i>	31
<i>Proyectos equivalentes:</i>	32
<i>Resumen:</i>	33

Evaluación económica:

Existe la tecnología y hay un mercado potencial para justificar la implantación de robots soldadores a la construcción por medio de la ingeniería de proyecto (capítulo 2) y el nicho de mercado (capítulo 3); ahora resta mostrar la rentabilidad del proyecto por medio de una evaluación costo-beneficio e indicadores económicos.

Se consideró como beneficio el ahorro monetario referente a mano de obra calificada para soldar, mientras que el concepto de costo alude a toda acción que garantice la operación del robot soldador como: consumibles, desgaste de herramientas y material de aportación.

Se analizaron 3 casos cuyo objetivo fue encontrar un esquema que maximizara el aprovechamiento del robot soldador como máquina, estos son:

1. Evaluación de rendimiento equivalente mínimo.
2. Evaluación de rendimiento equivalente máximo.
3. Evaluación para tiempos de trabajo iguales.

Para todos los eventos se desarrolló una:

1. Evaluación costo-beneficio que contempla:
 - Inversión necesaria para adquirir el robot soldador.
 - Costos que incurren en el mantenimiento y uso del mismo, y
 - Beneficios como es el salario de soldador profesional.
2. Evaluación económica con indicadores (VPN, TREMA, B/C, CAE y TIR).
 - TREMA: La tasa de rendimiento mínima aceptable se compara con la tasa interna de retorno (TIR), si ésta es superior a la TREMA el proyecto se considera redituable; de ahí que el cálculo considere factores como

crecimiento actual y tasa de inflación para conocer la situación actual del mercado y sustentar nuestra decisión si el proyecto probara ser redituable.

Inversión inicial	\$1,000,000.00	[\$MXN]	Tasa de crecimiento real	12%	12%	[%]	[%]
Plazo de crédito	10	[años]	Inversionista privado	TREMA=	15.987200%	[%]	[%]
Tasa de interés anual 2013	12.99%	[%]	TREMA=	15.987200%	[%]	[%]	[%]
Inflación anual 2013	3.56%	[%]					
Valor inicial UDI	5.141755	[\$MXN]					

El valor de la TREMA es de 15.987%, el mismo que respetaremos a lo largo de los 3 casos.

Todo el desarrollo de la evaluación económica tiene un sustento legal que se encuentra detallado en:

1. El reglamento de la ley de obras públicas y servicios relacionados con los mismos.
2. Ley federal del trabajo.
3. Ley del seguro social.
4. Ley del instituto del fondo nacional de la vivienda para los trabajadores.

Caso 1, Evaluación para igual cantidad de trabajo:

En este evento el robot produce la misma cantidad de soldadura que el trabajador, pero el robot lo realiza en menos tiempo.

Costo beneficio unitario:

A continuación se observa una representación gráfica del costo-beneficio en función de \$/lb de soldadura colocada y la ponderación que cada concepto tiene en costo total.

Beneficio unitario			
	Costo total[\$/lb]	\$ 156.22	100.00%
Material[\$/lb]	\$ 52.43		
			33.56%
	Trabajo[\$/lb]	\$ 103.79	66.44%
			100%
	Supervisor [\$/lb]	\$ 38.72	37.31%
			100%
	Soldador [\$/lb]	\$ 65.07	62.69%
			100%
	Mano de obra [\$/lb]	\$ 33.69	51.78%
			100%
	Equipo y herramienta[\$/lb]	\$ 31.38	48.22%

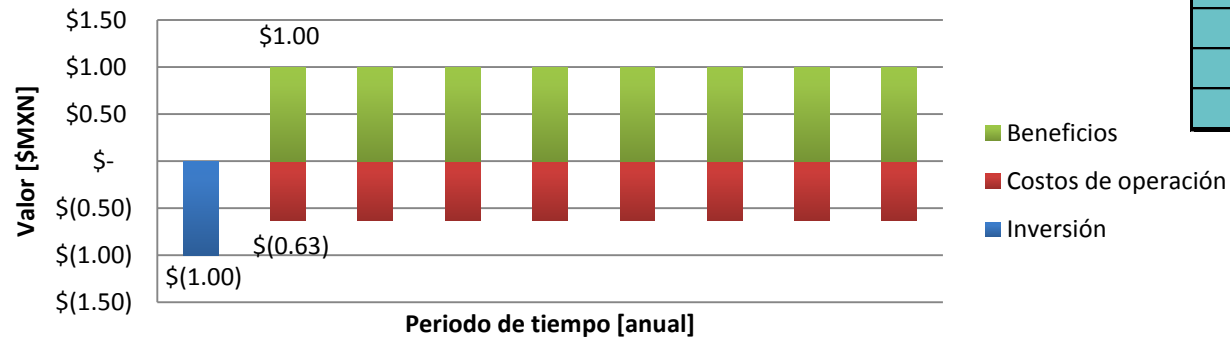
Costo unitario			
	Costo total[\$/lb]	\$ 106.22	100.00%
Material [\$/lb]	\$ 52.43		
			49.36%
	Trabajo [\$/lb]	\$ 53.79	50.64%
			100%
	Robot [\$/lb]	\$ 16.12	29.97%
			100%
	Operario [\$/lb]	\$ 18.23	33.89%
			100%
	C.Fijos[\$/lb]	\$ 19.44	36.15%
			100%
	Depreciación [\$/lb]	\$ 9.58	49.29%
			100%
	Inversión[\$/lb]	\$ 7.50	38.55%
			100%
	Seguro[\$/lb]	\$ 1.41	7.23%
			100%
	Mantenimiento [\$/lb]	\$ 0.96	4.93%

Eficiencia del robot vs manual
32.0%

$$Eficiencia = \frac{(Costo Total_{Manual} - Costo Total_{Robot})}{Costo Total_{Manual}} = \frac{(156.22 - 106.22)}{156.22} = 32\%$$

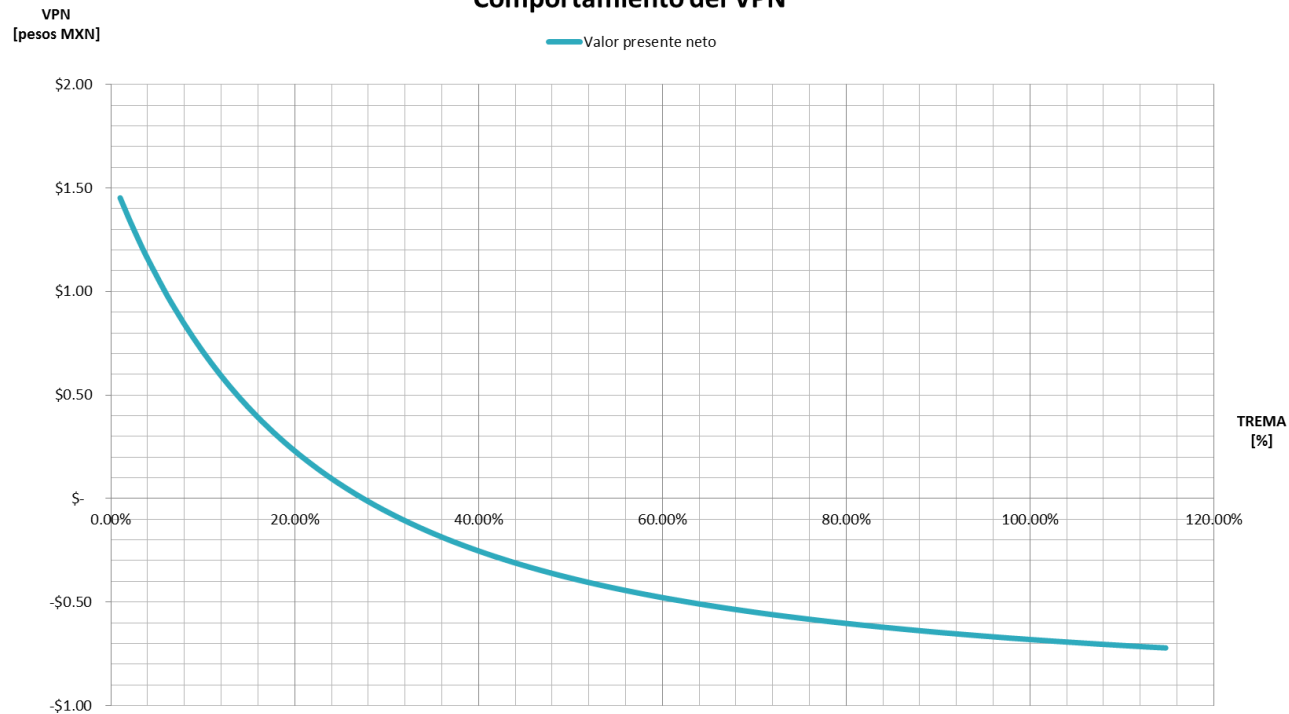
Rendimiento equivalente mínimo:

Línea del tiempo



VPN	\$ 0.39	[millones MXN]
TREMA	15.99%	[%anual]
B/C	1.47	[1]
CAE	\$ 0.09	[millones MXN]
TIR(VPN=0)	33.35%	[%]

Comportamiento del VPN



Resumen:

El robot y el trabajador colocan la misma cantidad de soldadura, pero el robot lo hace, en aproximadamente, la mitad del tiempo.

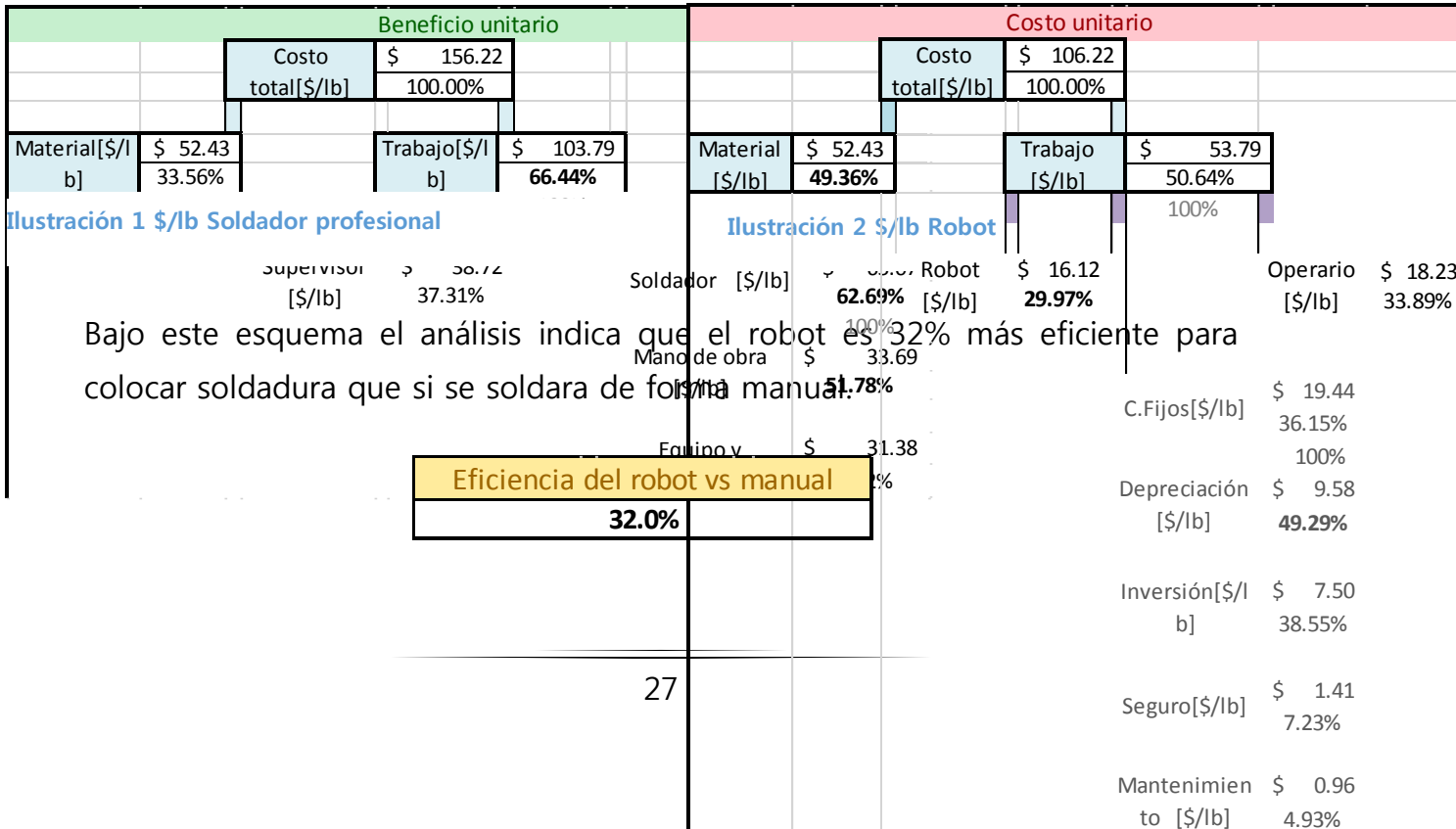
Trabajador, soldador	
Rendimiento real:	2.74 [lb/h]
Horas al año laboradas:	2336 [h]
Puede soldar:	6410 [lb/anales]

Robot soldador	
Rendimiento real:	4.80 [lb/h]
Horas al año laborada:	1335 [h]
Puede soldar:	6410 [lb/anales]

Además los índices económicos muestran resultados positivos.

VPN	\$ 0.39	[millones MXN]
TREMA	15.99%	[%anual]
B/C	1.47	[1]
CAE	\$ 0.09	[millones MXN]
TIR(VPN=0)	33.35%	[%]

Esta configuración permite ahorros sustanciales en tiempos de ejecución y menor costo por cada libra (0.454 kg) soldadura colocada; debido a que el robot da por hecho que realizará correctamente el trabajo y su atención se centra en el material de aportación utilizado, mientras que de forma manual la atención se centra en el trabajo realizado por el soldador más que en evitar desperdicios con el material del aportación.

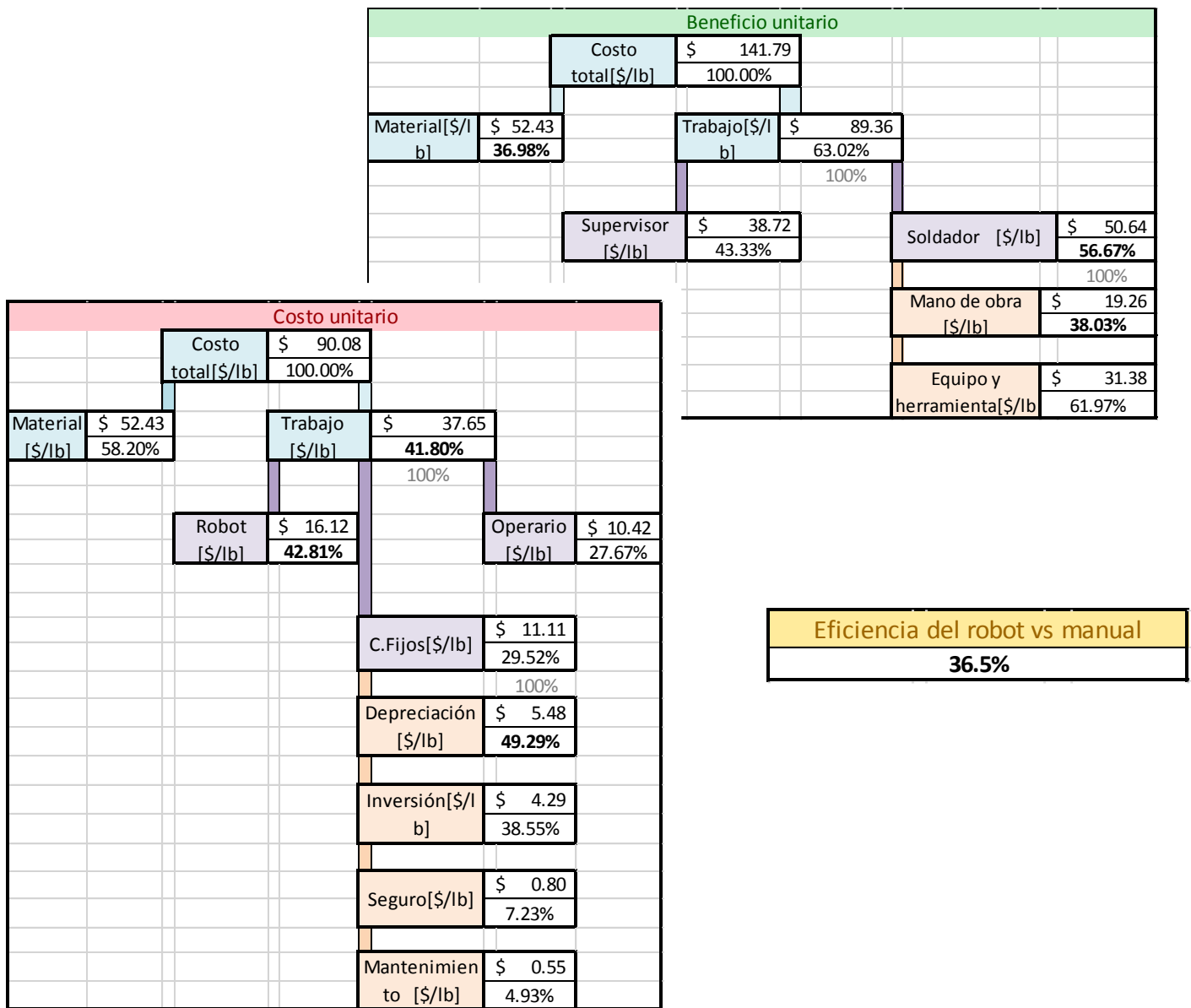


Caso 2, Evaluación para igual volumen de trabajo vs tiempo:

En este evento el trabajador produce la misma cantidad de soldadura que el robot, pero el trabajador lo hace en demasiado tiempo. Apéndice 2

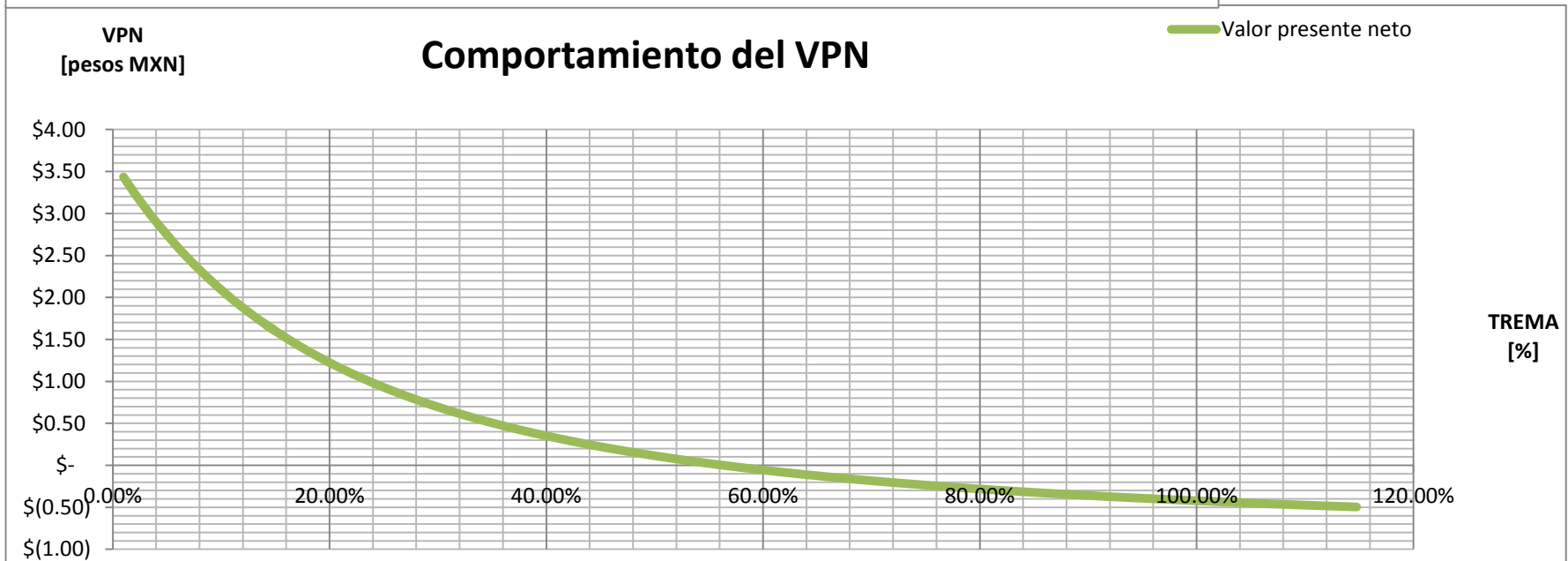
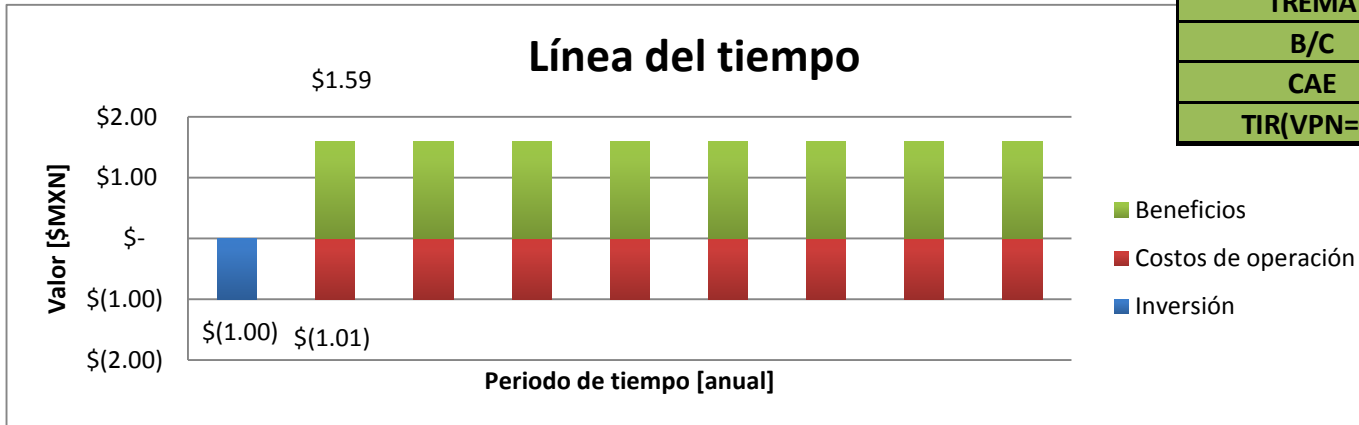
Costo-beneficio unitario

A continuación se observa una representación gráfica del costo-beneficio en función de \$/lb de soldadura colocada y la ponderación que cada concepto tiene en costo total.



Rendimiento equivalente máximo:

VPN	\$ 1.52	[millones MXN]
TREMA	15.99%	[%anual]
B/C	1.57	[1]
CAE	\$ 0.35	[millones MXN]
TIR(VPN=0)	56.36%	[%]



Resumen:

El robot y el trabajador colocan la misma cantidad de soldadura, pero el robot lo hace en menos horas al año laboradas.

Trabajador, soldador	
Rendimiento real:	2.74 [lb/h]
Horas al año laborada	4086 [h]
Puede soldar:	11212.8 [lb/anales]

Robot soldador	
Rendimiento real:	4.80 [lb/h]
Horas al año laborada	2336 [h]
Puede soldar:	11212.8 [lb/anales]

Además los índices económicos muestran resultados positivos.

VPN	\$ 1.52	[millones MXN]
TREMA	15.99%	[%anual]
B/C	1.57	[1]
CAE	\$ 0.35	[millones MXN]
TIR(VPN=0)	56.36%	[%]

En este segundo esquema podemos observar que al poner a trabajar al personal calificado hasta que logre alcanzar la cantidad soldadura aplicada por el robot soldador incurriríamos en un costo de \$141.79 por cada libra de soldadura mientras que para el robot es únicamente de \$90.08 por cada libra colocada.

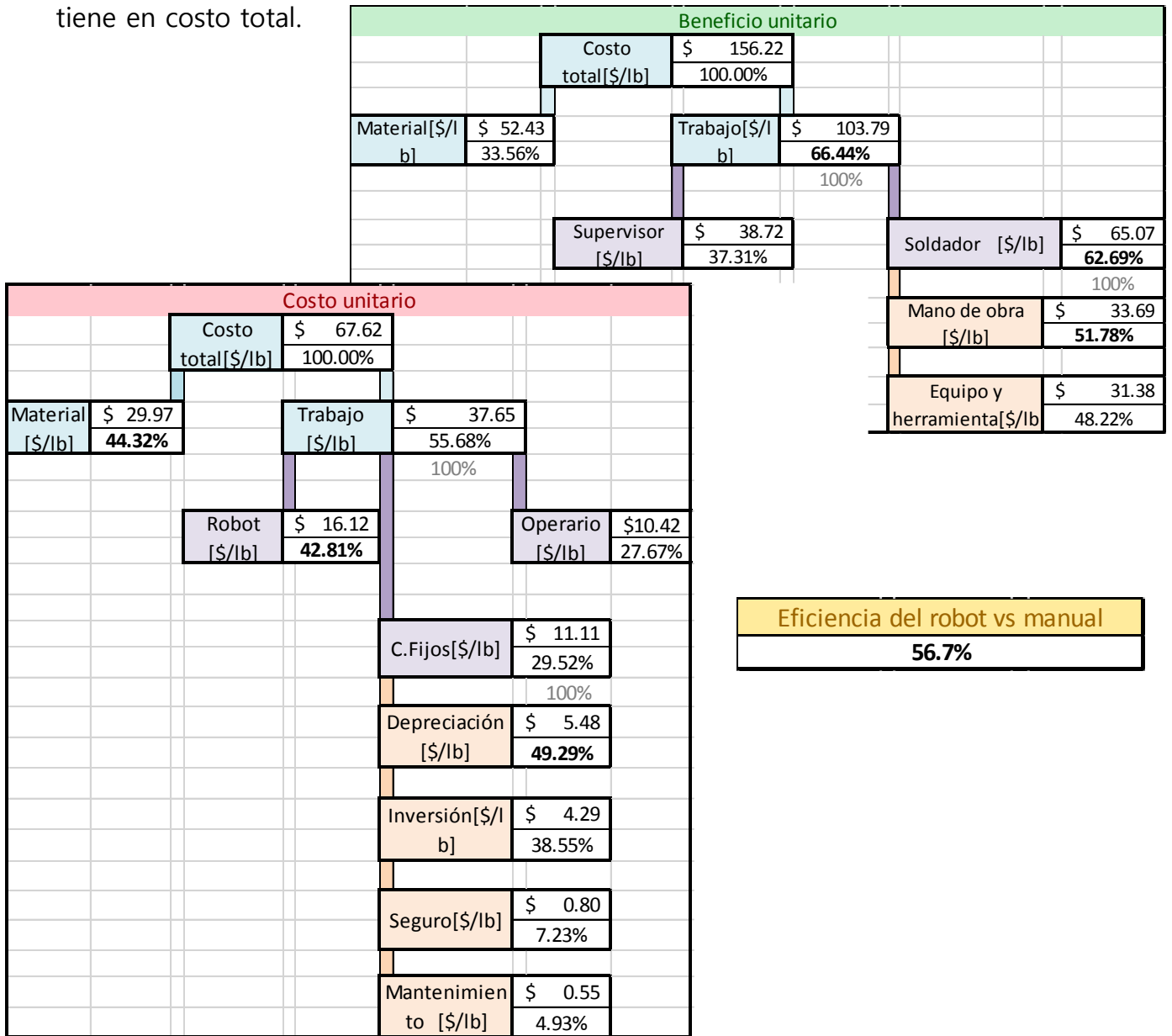
Beneficio unitario				Costo unitario			
Costo total[\$/lb]		\$ 141.79		Costo total[\$/lb]		\$ 90.08	
100.00%				100.00%			
Material[\$/lb]	\$ 52.43	Trabajo[\$/lb]	\$ 89.36	Material[\$/lb]	\$ 52.43	Trabajo[\$/lb]	\$ 37.65
36.98%		63.02%		58.20%		41.80%	
100%				100%			
Supervisor [\$/lb]	\$ 38.72	Soldador [\$/lb]	\$ 50.64	Robot [\$/lb]	\$ 16.12	Operario [\$/lb]	\$ 10.42
27.33%		35.76%		17.90%		11.67%	
Aunque el personal calificado logre producir la misma cantidad de soldadura, el robot es 36.5% más eficiente con el trabajo.							
Mano de obra [\$/lb]	\$ 19.26	Equipo y herramienta[\$/lb]	\$ 31.38	C.Fijos[\$/lb]	\$ 11.11	Depreciación [\$/lb]	\$ 5.48
13.60%		22.57%		12.33%		6.08%	
38.03%				49.29%			
Eficiencia del robot vs manual				Inversión[\$/lb]			
36.5%				\$ 4.29			
				38.55%			
				Seguro[\$/lb]			
				\$ 0.80			
				7.23%			
				Mantenimiento [\$/lb]			
				\$ 0.55			
				4.93%			

Caso 3, Evaluación bajo proyectos equivalentes:

En este evento ambos trabajan la misma cantidad de horas y producen la misma cantidad de soldadura. En el apéndice III se encuentra el detalle de los cálculos realizados.

Costo-beneficio unitario

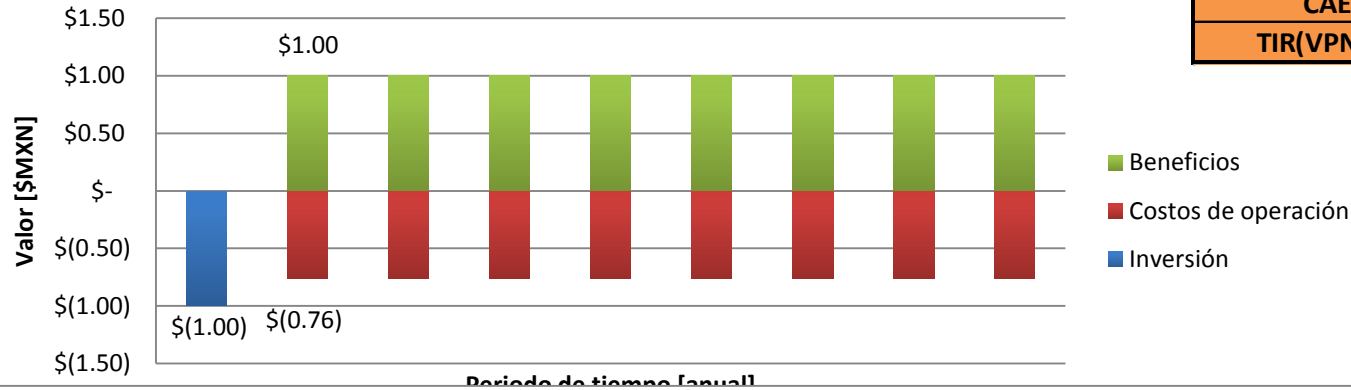
A continuación se observa una representación gráfica del costo-beneficio en función de \$/lb de soldadura colocada y la ponderación que cada concepto tiene en costo total.



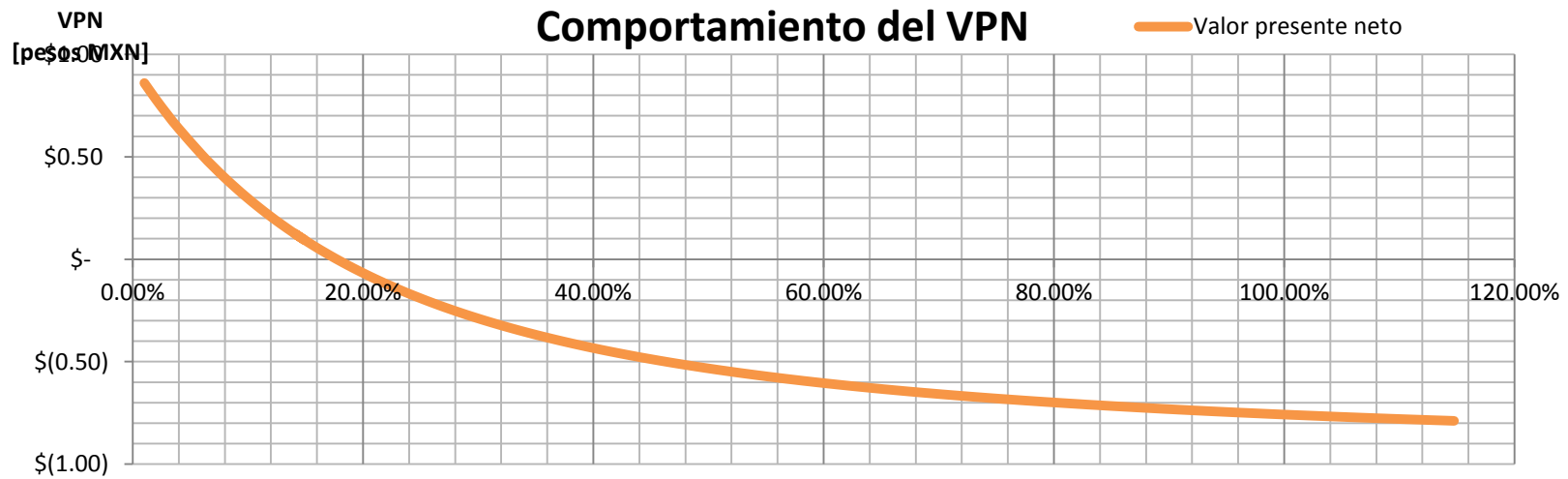
Proyectos equivalentes:

VPN	\$ 0.06	millones MXN
TREMA	15.99%	[%anual]
B/C	1.32	[1]
CAE	\$ 0.01	millones MXN
TIR(VPN=0)	17.72%	[%]

Línea del tiempo



Comportamiento del VPN



Resumen:

El robot y el trabajador colocan la misma cantidad de soldadura, en el mismo periodo de tiempo, por lo tanto, aún con el robot teniendo tiempo ocioso los costos de operación son lo suficientemente bajos como para que los índices económicos sean favorables.

Trabajador, soldador	
Rendimiento real:	2.74 [lb/h]
Horas al año laborada	2336 [h]
Puede soldar:	6410 [lb/anuales]

Robot soldador	
Rendimiento real:	4.80 [lb/h]
Horas al año laborada	2336 [h]
Puede soldar:	6410 [lb/anuales]

VPN	\$ 0.06	millones MXN]
TREMA	15.99%	[%anual]
B/C	1.32	[1]
CAE	\$ 0.01	millones MXN]
TIR(VPN=0)	17.72%	[%]

En el último esquema tenemos que el personal calificado para soldar y el robot producen la misma cantidad de soldadura en las mismas horas laboradas, pero respetando el rendimiento de cada uno, en otras palabras el robot tiene horas ociosas y aun así presenta costos menores a razón de \$67.62 por libra de soldadura colocada.

Beneficio unitario				Costo unitario			
Costo total[\$/lb]		\$ 156.22		Costo total[\$/lb]		\$ 67.62	
100.00%				100.00%			
Material[\$/lb]	\$ 52.43	Trabajo[\$/lb]	\$ 103.79	Material[\$/lb]	\$ 29.97	Trabajo[\$/lb]	\$ 37.65
33.56%		66.44%		44.32%		55.68%	
100%				100%			
Supervisor	\$ 38.72	Soldador	\$ 65.07	Robot	\$ 16.12	Operario	\$ 10.42
37.31%		62.69%		23.81%		27.67%	
Este tercer esquema resulta el más redituable al probar el robot ante la operación manual.				Este tercer esquema resulta el más redituable al probar el robot ante la operación manual.			
Mano de obra	\$ 33.69	Mano de obra	\$ 33.69	Mano de obra	\$ 33.69	Mano de obra	\$ 33.69
		51.78%		51.78%		51.78%	
Eficiencia del robot vs manual				Eficiencia del robot vs manual			
56.7%				56.7%			
herramientas[\$/lb]				herramientas[\$/lb]			
48.22%				48.22%			
				C.Fijos[\$/lb]			
				11.11			
				29.52%			
				100%			
				Depreciación			
				\$ 5.48			
				[\$/lb]			
				49.29%			
				Inversión[\$/lb]			
				\$ 4.29			
				38.55%			
				Seguro[\$/lb]			
				\$ 0.80			
				7.23%			

5 Conclusión

Contenido

CONCLUSIONES	35
<i>Situación actual del proyecto:</i>	36
<i>Interrogantes a resolver en actividades futuras:</i>	36

Conclusiones

La evaluación completa analizó la posibilidad de: encontrar un mercado potencial, crear un producto que satisfaga las necesidades de ese mercado y tener una solución económicamente y técnicamente factible. A continuación se muestran los resultados adquiridos en cada etapa del proyecto.

El estudio de mercado mostró que existe un nicho de mercado el cual considera el 40% de los trabajos rechazados en la industria de la construcción por falta de especialización en soldadura estructural.

La ingeniería de proyecto validó la posibilidad de crear un robot soldador para la industria de la construcción, que permite: reducir gases peligrosos emitidos por el mismo proceso, optimizar recursos y tiempo, proteger al ser humano de riesgos e incrementar la efectividad de la soldadura realizada.

La evaluación económica indicó que todos los escenarios son favorables, esto significa que la inversión realizada y los costos relacionados a la operación del robot se sobreponen a los gastos que conlleva el proceso de soldadura manual.

El caso más favorable se da en el que la operación del robot es 56.6% más eficiente que el proceso manual, y los indicadores económicos así lo confirman:

- El valor de la TREMA con valor de 15.99%
- El valor de la TIR es de 17.71%.
- Valor presente neto que representa un ahorro sustancial de 0.06 millones MXN frente al proceso manual.
- La relación beneficio/costo es 1.32, lo que indica una clara superioridad de los beneficios adquiridos ante los costos.

Situación actual del proyecto:

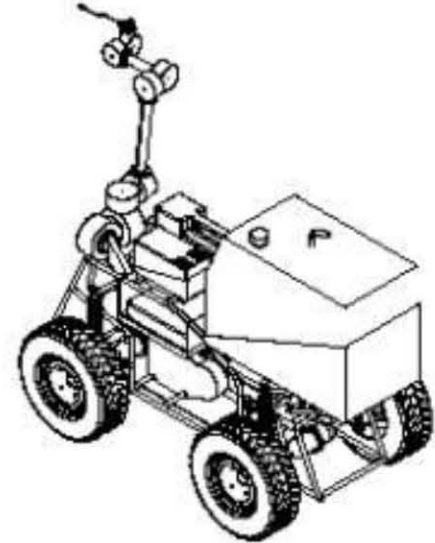
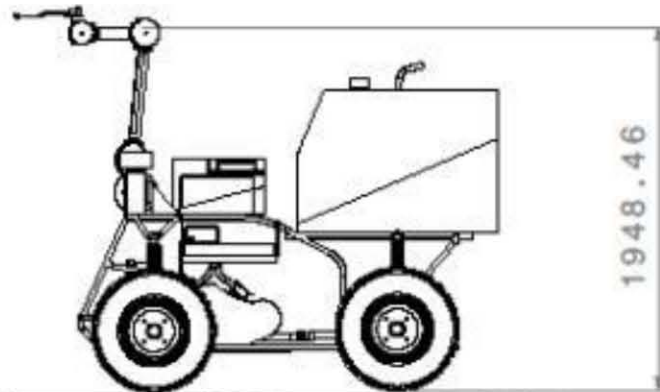
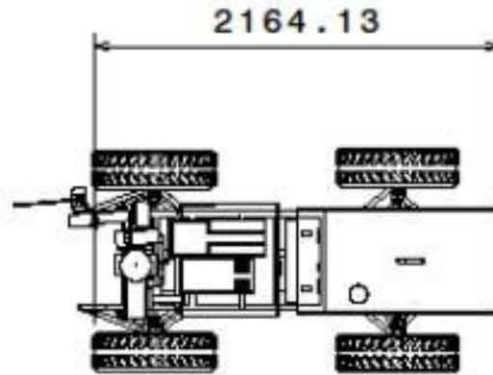
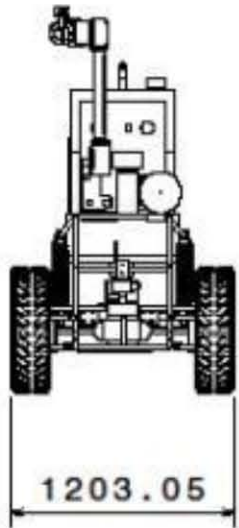
Actualmente se tiene un sustento económico, técnico y de mercado para respaldar la fabricación e implementación del robot soldador en la industria de la construcción; lo que resta ahora es detallar un plan de acción que permita generar un prototipo del robot y comenzar a realizar pruebas en sitio con sus respectivos ajustes.


Interrogantes a resolver en actividades futuras:

De acuerdo con Zakilng para el año 2020 se necesitarán 14 millones de trabajadores certificados, por lo que las interrogantes deben enfocarse a:

- ¿Cuándo se implementará el robot soldador en la industria de la construcción?
- ¿Cómo evolucionará la profesión de soldar con arco eléctrico, ya que este el robot implica tener una mano de obra especializada que controle su operación; además
- Debe promocionarse el valor agregado que implica tener un robot soldador a la operación de soldadura especializada con arco eléctrico para que no sea visto como un sesgo para la generación de nuevos trabajos como soldador de arco eléctrico.

Apéndice I:



		Universidad Nacional Autónoma de México			
		DRAWING TITLE			
DRAWN BY J.F.L.G	DATE 03/09/2014	Welder robot			
CHECKED BY XXX	DATE XXX	SIZE A4	DRAWING NUMBER A-001	REV 1	
DESIGNED BY J.F.L.G	DATE 03/09/2014	SCALE 1:35	WEIGHT (kg) 560	SHEET 1/1	

Apéndice I

Caso 1

Inversión Robot		
Datos	Inversión del robot [anual]	\$ 1,000,000.00
	Valor de las llantas(Pn)	\$ 7,700.00 [\$MXN]
	Valor de piezas especiales(Pa)	\$ 446,293.26 [\$MXN]
	<i>Herramientas especiales</i>	
	Efactor final	\$ 34,529.92 [\$MXN]
	Sistema de soldadura	\$ 158,880.00 [\$MXN]
	<i>Control</i>	
	Software de control	\$ 218,460.00 [\$MXN]
	Control remoto	\$ 34,423.34 [\$MXN]
	Valor del robot(Vm)	\$ 546,006.74 [\$MXN]

Datos al 20-Enero-2014		
Libra-Peso mexicano	£21.73	[libra]
Dólar-Peso mexicano	\$ 13.24	[pesos]
Salario mínimo	\$ 67.29	[pesos]

Beneficios del robot soldador		
Beneficio de un soldador profesional [anual]		\$ 1,001,346.53
<p>Nota: De acuerdo a la ley federal del trabajo se entiende por: "retribución económica", es salario fijado mensualmente con una jornada laboral máxima de 48 horas diurnas a la semana, con 292 días laborables del 10 de enero del 2013 al 31 de Diciembre del 2013.</p>		
Experiencia:	5	años
Semana laboral:	6	[días]
Jornada diurna:	8	[horas]
Días del calendario	365	[horas]
Días de aguinaldo	15	[días/año]
Días por prima vacacional	1.5	[días/año]
Prima dominical	0	[días/año]
Días realmente pagados(Tp)	381.5	[días/año]
Días domingo	52	[días/año]
Días vacaciones	6	[días/año]
Días festivos	7	[días/año]
Días perdidos por clima	3	[días/año]
Días costumbre	3	[días/año]
Días permiso y enfermedad	2	[días/año]
Días no laborados al año	73.0	[días/año]
Días realmente laborados(TI)	292.0	[días/año]
Días pagados/Días laborados	1.306506849	[1]
Factor para cálculo IMSS	1.045205479	[1]
Mano de obra [\$ /h]		\$ 92.44
Salario nominal semanal convenido	\$ 3,150.00	[\$ /semanal]
Salario nominal diario (snd)	\$ 450.00	[\$ /jornada]
Prima vacacional	\$ 1.85	6 días de vacaciones
Aguinaldo	\$ 18.49	[\$ /jornada]
Salario base de cotización	\$ 470.34	[\$ /jornada]

Trabajo del soldador	Mano de obra [\$/h]		\$ 92.44
	Salario nominal semanal convenido	\$ 3,150.00	[\$/semanal]
	Salario nominal diario (snd)	\$ 450.00	[\$/jornada]
	Prima vacacional	\$ 1.85	[6 días de vacaciones]
	Aguinaldo	\$ 18.49	[\$/jornada]
	Salario base de cotización	\$ 470.34	[\$/jornada]
	Cuota fija	\$ 13.73	[\$/jornada]
	Cuota variable	\$ 2.95	[\$/jornada]
	Prestaciones en especie	\$ 4.94	[\$/jornada]
	Prestaciones en dinero	\$ 3.29	[\$/jornada]
	Enfermedad y maternidad	\$ 24.91	[\$/jornada]
	Riesgos de trabajo, clase V	\$ 35.69	[\$/jornada]
	Guardería	\$ 4.70	[\$/jornada]
	Sistemas de ahorro para el retiro	\$ 9.41	[\$/jornada]
	Seguro de invalidez y vida	\$ 8.23	[\$/jornada]
	Cesantía y vejez	\$ 14.82	[\$/jornada]
	INFONAVIT	\$ 23.52	[\$/jornada]
	Prestaciones (SP)	\$ 121.28	[\$/jornada]
	Obligaciones Obrero-Patronal (Ps)	0.2578	[1]
	Fsr	1.6434	[1]
	Salario real diario	\$ 92.44	[\$/h]
	Salario real	\$ 739.52	[\$/jornada]
	Factor de operación	34%	[%]
	Rendimiento ideal	8	[lb/h]
Rendimiento real	2.74	[lb/h]	
Equipo y Herramienta [\$/h]		\$ 86.10	
RANGER® 305 LPG ENGINE DRIVEN WELDER	\$ <u>86.10</u>	[\$/h]	
Consumibles	Materiales [\$/h]		\$ 143.87
	Lincoln Electric 0.035 in. 1 lb. Innershield NR211 Flux-Corded Welding Wire	\$ 52.43	[\$/lb]
	Consumo mensual	534.17	[lb/mes]
	Consumo anual	6,410.0	[lb/anual]
Sup.	Personal Supervisión [\$/h]		\$ 106.25
	Salario real (Sr)	850	[\$/jornada]
	Horas efectivas de trabajo	8	[h/jornada]

Costos del robot soldador		
Costo de operación del robot soldador [anual]		\$ 680,854.25
Datos	Nota: El consumo de energía es exclusivamente del movimiento del robot, no considera lo asociado a la soldadura.	
	Experiencia:	0 años
	Semana laboral:	6 [días]
	Jornada diurna:	4.572 [horas]
	Horas por año (Hea)	1335 [horas]

Costos directos	Equipo y Herramienta [\$/h]	\$ 77.36
	Factor de operación	40% [% de tiempo]
	Rendimiento horario ideal	12 [lb/h]
	Rendimiento horario real	4.8 [lb/h]
	Costo horario	\$ 509.84 [\$/h]
	Energía[\$/h]	\$ 39.36
	Consumo(Gh)	19.68 [kW]
	Tarifa CFE	\$ 2.00 [\$/kWh]
	Lubricante [\$/h]	\$ 4.40
	Reemplazo	20,000.00 [h]
	Cantidad consumida(Ah)	0.026700 [l/h]
	Capacidad cárter	0.000020 [l/h]
	Precio lubricantes(Pa)	\$ 164.71 [\$/l]
	LLantas [\$/h]	\$ 3.85
	Juego 4 llantas 26x9x14' (Pn)	\$ 7,700.00 [\$/h]
	Vida económica	2,000.00 [h]
	Herramienta especial 1 [\$/h]	\$ 12.89
	Efactor final	\$ 193,409.92 [\$/h]
	Vida económica	15,000.00 [h]
	Herramienta especial 2 [\$/h]	\$ 16.86
Software de control	\$ 252,883.34 [\$/h]	
Vida económica	15,000.00 [h]	
Cargo fijo	Cargos a maquinaria[\$/h]	\$ 93.32
	Depreciación [\$/h]	\$ 46.00
	Vida económica robot(Ve)	8.00 [años]
	Porcentaje de rescate	10% [%]
	Valor de rescate (Vr)	\$ 54,600.67 [\$/MXN]
	Inversión del robot [\$/h]	\$ 35.98
	Tasa de interés	16% [%]
	Seguro [\$/h]	\$ 6.75
	Prima anual	3% [%]
	Mantenimiento [\$/h]	\$ 4.60
Ko	10% [%]	
Consumibles	Materiales [\$/h]	\$ 251.67
	Lincoln Electric 0.035 in. 1 lb. Innershield NR211 Flux-Corded	\$ 52.43 [\$/lb]
	Consumo mensual	534.17 [lb/mes]
	Consumo anual	6,410.00 [lb/anual]
Op.	Personal operativo[\$/h]	\$ 87.49
	Salario real(Sr)	400 [\$/jornada]
	Horas efectivas de trabajo	4.572 [h/jornada]

Apéndice II

Caso 2

Inversión Robot		
Datos	Inversión del robot [anual]	\$ 1,000,000.00
	Valor de las llantas(Pn)	\$ 7,700.00 [\$MXN]
	Valor de piezas especiales(Pa)	\$ 446,293.26 [\$MXN]
	<i>Herramientas especiales</i>	
	Efactor final	\$ 34,529.92 [\$MXN]
	Sistema de soldadura	\$ 158,880.00 [\$MXN]
	<i>Control</i>	
	Software de control	\$ 218,460.00 [\$MXN]
	Control remoto	\$ 34,423.34 [\$MXN]
	Valor del robot(Vm)	\$ 546,006.74 [\$MXN]

Datos al 20-Enero-2014		
Libra-Peso mexicano	£21.73	[libra]
Dólar-Peso mexicano	\$ 13.24	[pesos]
Salario mínimo	\$ 67.29	[pesos]

Beneficios del robot soldador		
Beneficio de un soldador profesional [anual]	\$ 1,589,828.07	
<p>Nota: De acuerdo a la ley federal del trabajo se entiende por: "retribución económica", es salario fijado mensualmente con una jornada laboral máxima de 48 horas diurnas a la semana, con 292 días laborables del 10 de enero del 2013 al 31 de Diciembre del 2013.</p>		
Experiencia:	5	años
Semana laboral:	6	[días]
Jornada diurna:	8	[horas]
Días del calendario	365	[horas]
Días de aguinaldo	15	[días/año]
Días por prima vacacional	1.5	[días/año]
Prima dominical	0	[días/año]
Días realmente pagados(Tp)	381.5	[días/año]
Días domingo	52	[días/año]
Días vacaciones	6	[días/año]
Días festivos	7	[días/año]
Días perdidos por clima	3	[días/año]
Días costumbre	3	[días/año]
Días permiso y enfermedad	2	[días/año]
Días no laborados al año	73.0	[días/año]
Días realmente laborados(TI)	510.8	[días/año]
Días pagados/Días laborados	0.746886735	[1]
Factor para cálculo IMSS	1.045205479	[1]
Mano de obra [\$/h]	\$ 52.85	
Salario nominal semanal convenido	\$ 3,150.00	[\$/semanal]
Salario nominal diario (41)	\$ 450.00	[\$/jornada]
Prima vacacional	\$ 1.85	6 días de vacaciones
Aguinaldo	\$ 18.49	[\$/jornada]
Salario base de cotización	\$ 470.34	[\$/jornada]
Cuota fiia	\$ 13.73	[\$/jornada]

Trabajo del soldador	Mano de obra [\$/h]		\$ 92.44
	Salario nominal semanal convenido	\$ 3,150.00	[\$/semanal]
	Salario nominal diario (snd)	\$ 450.00	[\$/jornada]
	Prima vacacional	\$ 1.85	[6 días de vacaciones]
	Aguinaldo	\$ 18.49	[\$/jornada]
	Salario base de cotización	\$ 470.34	[\$/jornada]
	Cuota fija	\$ 13.73	[\$/jornada]
	Cuota variable	\$ 2.95	[\$/jornada]
	Prestaciones en especie	\$ 4.94	[\$/jornada]
	Prestaciones en dinero	\$ 3.29	[\$/jornada]
	Enfermedad y maternidad	\$ 24.91	[\$/jornada]
	Riesgos de trabajo, clase V	\$ 35.69	[\$/jornada]
	Guardería	\$ 4.70	[\$/jornada]
	Sistemas de ahorro para el retiro	\$ 9.41	[\$/jornada]
	Seguro de invalidez y vida	\$ 8.23	[\$/jornada]
	Cesantía y vejez	\$ 14.82	[\$/jornada]
	INFONAVIT	\$ 23.52	[\$/jornada]
	Prestaciones (SP)	\$ 121.28	[\$/jornada]
	Obligaciones Obrero-Patronal (Ps)	0.2578	[1]
	Fsr	1.6434	[1]
	Salario real diario	\$ 92.44	[\$/h]
	Salario real	\$ 739.52	[\$/jornada]
	Factor de operación	34%	[%]
	Rendimiento ideal	8	[lb/h]
	Rendimiento real	2.74	[lb/h]
	Equipo y Herramienta [\$/h]		\$ 86.10
	RANGER® 305 LPG ENGINE DRIVEN WELDER	\$ 86.10	[\$/h]
Consumibles	Materiales [\$/h]		\$ 143.87
	Lincoln Electric 0.035 in. 1 lb. Innershield NR211 Flux-Corded Welding Wire	\$ 52.43	[\$/lb]
	Consumo mensual	534.17	[lb/mes]
	Consumo anual	6,410.0	[lb/anual]
Sup.	Personal Supervisión [\$/h]		\$ 106.25
	Salario real (Sr)	850	[\$/jornada]
	Horas efectivas de trabajo	8	[h/jornada]

Costos del robot soldador		
Costo de operación del robot soldador [anual]		\$ 1,010,039.99
Datos	Nota: El consumo de energía es exclusivamente del movimiento del robot, no considera lo asociado a la soldadura.	
	Experiencia:	0 años
	Semana laboral:	6 [días]
	Jornada diurna:	8 [horas]
	Horas por año (Hea)	2336 [horas]
	Equipo y Herramienta [\$/h]	
Factor de operación	40%	[% de tiempo]
Rendimiento horario ideal	42	[lb/h]
Rendimiento horario real	4.8	[lb/h]
Costo horario	\$ 432.38	[\$/h]
Energía [\$/h]	\$ 39.36	
Consumo (Gh)	19.68	[kW]

Dato	Costo horario	\$ 432.38	[\$/h]
	Experiencia:	0	años
	Energía[\$/h]	\$ 39.36	
	Semana laboral:	6	días
	Consumo (Cf)	19.58	[kW]
	Jornada diaria:	8	horas
	Tarifa CFE	\$ 2.00	[\$/kWh]
	Horas por año (Hea)	2336	horas
	Lubricante [\$ /h]	\$ 4.40	
	Equipo y Herramienta [\$ /h]	\$ 77.36	
Costos directos	Factor de operación	20,000.00	[% de tiempo]
	Cantidad consumida(Ah)	0.026700	[l/h]
	Rendimiento horario ideal	12	[l/h]
	Capacidad cárter	0.000020	[l/h]
	Rendimiento horario real	4.8	[l/h]
	Precio lubricantes(Pa)	\$ 154.71	[\$/l]
	Costo horario	\$ 432.38	[\$/h]
	Llantas [\$ /h]	\$ 3.85	
	Energía[\$/h]	\$ 39.36	
	Juego 4 llantas 26x9x14 (Ptt)	\$ 7,700.00	[\$]
Consumo (Gh)	19.68	[kW]	
Vida económica	2,000.00	[años]	
Tarifa CFE	\$ 2.00	[\$/kWh]	
Herramienta especial 1 [\$ /h]	\$ 12.89		
Lubricante [\$ /h]	\$ 4.40		
Efactor final	\$ 193,409.92	[\$]	
Remplazo	20,000.00	[h]	
Vida económica	20,000.00	[h]	
Cantidad consumida(Ah)	0.026700	[l/h]	
Herramienta especial 2 [\$ /h]	\$ 16.86		
Capacidad cárter	\$ 9,000.00	[l/h]	
Software de control	\$ 252,883.34	[\$]	
Precio lubricantes(Pa)	\$ 15,464.74	[\$/l]	
Vida económica	\$ 15,000.00	[\$]	
Cargos a maquinaria[\$ /h]	\$ 53.35		
Llantas [\$ /h]	\$ 3.85		
Juego 4 llantas 26x9x14 (Ptt)	\$ 7,700.00	[\$]	
Depreciación [\$ /h]	\$ 26.30		
Vida económica robot (Ve)	2,000.00	[años]	
Vida económica robot (Ve)	2,000.00	[años]	
Herramienta especial 1 [\$ /h]	10%	[%]	
Porcentaje de rescate	10%	[%]	
Efactor final	\$ 193,409.92	[\$]	
Valor de rescate (Vr)	\$ 54,600.67	[\$MXN]	
Vida económica	15,000.00	[h]	
Inversión del robot [\$ /h]	\$ 20.57		
Herramienta especial 2 [\$ /h]	\$ 16.86		
Tasa de interés	16%	[%]	
Software de control	\$ 252,883.34	[\$]	
Seguro [\$ /h]	\$ 3.86		
Vida económica	15,000.00	[h]	
Prima anual	3%	[%]	
Cargos a maquinaria[\$ /h]	\$ 53.35		
Depreciación [\$ /h]	\$ 26.30		
Vida económica robot (Ve)	10%	[%]	
Vida económica robot (Ve)	8.00	[años]	
Porcentaje de rescate	10%	[%]	
Valor de rescate (Vr)	\$ 54,600.67	[\$MXN]	
Inversión del robot [\$ /h]	\$ 20.57		
Tasa de interés	16%	[%]	
Seguro [\$ /h]	\$ 3.86		
Prima anual	3%	[%]	
Mantenimiento [\$ /h]	\$ 2.63		
Ko	10%	[%]	
Consumibles	Materiales [\$ /h]	\$ 251.67	
	Lincoln Electric 0.035 in. 1 lb. Innershield NR211 Flux-Corded	\$ 52.43	[\$/lb]
	Consumo mensual	934.40	[lb/mes]
	Consumo anual	11,212.80	[lb/anual]
Op.	Personal operativo[\$ /h]	\$ 50.00	
	Salario real(Sr)	400	[\$/jornada]
Horas efectivas de trabajo	8	[h/jornada]	
Consumibles	Materiales [\$ /h]	\$ 251.67	
	Lincoln Electric 0.035 in. 1 lb. Innershield NR211 Flux-Corded	\$ 52.43	[\$/lb]
	Consumo mensual	43 934.40	[lb/mes]
	Consumo anual	11,212.80	[lb/anual]
Op.	Personal operativo[\$ /h]	\$ 50.00	
	Salario real(Sr)	400	[\$/jornada]
Horas efectivas de trabajo	8	[h/jornada]	

Apéndice III

Caso 3

Inversión Robot		
Datos	Inversión del robot [anual]	\$ 1,000,000.00
	Valor de las llantas(Pn)	\$ 7,700.00 [\$MXN]
	Valor de piezas especiales(Pa)	\$ 446,293.26 [\$MXN]
	<i>Herramientas especiales</i>	
	Efactor final	\$ 34,529.92 [\$MXN]
	Sistema de soldadura	\$ 158,880.00 [\$MXN]
	<i>Control</i>	
	Software de control	\$ 218,460.00 [\$MXN]
	Control remoto	\$ 34,423.34 [\$MXN]
	Valor del robot(Vm)	\$ 546,006.74 [\$MXN]

Datos al 20-Enero-2014		
Libra-Peso mexicano	£21.73	[libra]
Dólar-Peso mexicano	\$ 13.24	[pesos]
Salario mínimo	\$ 67.29	[pesos]

Beneficios del robot soldador		
Beneficio de un soldador profesional [anual]		\$ 1,001,346.53
<p>Nota: De acuerdo a la ley federal del trabajo se entiende por: "retribución económica", es salario fijado mensualmente con una jornada laboral máxima de 48 horas diurnas a la semana, con 292 días laborables del 10 de enero del 2013 al 31 de Diciembre del 2013.</p>		
Experiencia:	5	años
Semana laboral:	6	[días]
Jornada diurna:	8	[horas]
Días del calendario	365	[horas]
Días de aguinaldo	15	[días/año]
Días por prima vacacional	1.5	[días/año]
Prima dominical	0	[días/año]
Días realmente pagados(Tp)	381.5	[días/año]
Días domingo	52	[días/año]
Días vacaciones	6	[días/año]
Días festivos	7	[días/año]
Días perdidos por clima	3	[días/año]
Días costumbre	3	[días/año]
Días permiso y enfermedad	2	[días/año]
Días no laborados al año	73.0	[días/año]
Días realmente laborados(TI)	292.0	[días/año]
Días pagados/Días laborados	1.306506849	[1]
Factor para cálculo IMSS	1.045205479	[1]
Mano de obra [\$/h]		\$ 92.44
Salario nominal semanal convenido	\$ 3,150.00	[\$/semanal]
Salario nominal diario (snd)	\$ 450.00	[\$/jornada]
Prima vacacional	\$ 1.85	6 días de vacaciones
Aguinaldo	\$ 18.49	[\$/jornada]
Salario base de cotización	\$ 470.34	[\$/jornada]
Cuota fija	\$ 13.73	[\$/jornada]
Cuota variable	\$ 2.95	[\$/jornada]
Prestaciones en especie 44	\$ 4.94	[\$/jornada]
Prestaciones en dinero	\$ 3.29	[\$/jornada]
Enfermedad y maternidad	\$ 24.91	[\$/jornada]
Riesgos de trabajo, clase V	\$ 35.69	[\$/jornada]
Guardería	\$ 4.70	[\$/jornada]
Sistema de control de calidad	\$ 2.00	[\$/jornada]

Trabajo del soldador	Mano de obra [\$/h]		\$ 92.44
	Salario nominal semanal convenido	\$ 3,150.00	[\$/semanal]
	Salario nominal diario (snd)	\$ 450.00	[\$/jornada]
	Prima vacacional	\$ 1.85	[6 días de vacaciones]
	Aguinaldo	\$ 18.49	[\$/jornada]
	Salario base de cotización	\$ 470.34	[\$/jornada]
	Cuota fija	\$ 13.73	[\$/jornada]
	Cuota variable	\$ 2.95	[\$/jornada]
	Prestaciones en especie	\$ 4.94	[\$/jornada]
	Prestaciones en dinero	\$ 3.29	[\$/jornada]
	Enfermedad y maternidad	\$ 24.91	[\$/jornada]
	Riesgos de trabajo, clase V	\$ 35.69	[\$/jornada]
	Guardería	\$ 4.70	[\$/jornada]
	Sistemas de ahorro para el retiro	\$ 9.41	[\$/jornada]
	Seguro de invalidez y vida	\$ 8.23	[\$/jornada]
	Cesantía y vejez	\$ 14.82	[\$/jornada]
	INFONAVIT	\$ 23.52	[\$/jornada]
	Prestaciones (SP)	\$ 121.28	[\$/jornada]
	Obligaciones Obrero-Patronal (Ps)	0.2578	[1]
	Fsr	1.6434	[1]
	Salario real diario	\$ 92.44	[\$/h]
	Salario real	\$ 739.52	[\$/jornada]
	Factor de operación	34%	[%]
	Rendimiento ideal	8	[lb/h]
	Rendimiento real	2.74	[lb/h]
	Equipo y Herramienta [\$/h]		\$ 86.10
RANGER® 305 LPG ENGINE DRIVEN WELDER	\$ <u>86.10</u>	[\$/h]	
Consumibles	Materiales [\$/h]		\$ 143.87
	Lincoln Electric 0.035 in. 1 lb. Innershield NR211 Flux-Corded Welding Wire	\$ 52.43	[\$/lb]
	Consumo mensual	534.17	[lb/mes]
	Consumo anual	6,410.0	[lb/año]
Sup.	Personal Supervisión [\$/h]		\$ 106.25
	Salario real (Sr)	850	[\$/jornada]
	Horas efectivas de trabajo	8	[h/jornada]

Costos del robot soldador		
Costo de operación del robot soldador [anual]		\$ 758,226.76
Datos	Nota: El consumo de energía es exclusivamente del movimiento del robot, no considera lo asociado a la soldadura.	
	Experiencia:	0 años
	Semana laboral:	6 [días]
	Jornada diurna:	8 [horas]
	Horas por año (Hea)	2336 [horas]
Equipo y Herramienta [\$/h]		\$ 77.36
Factor de operación	40%	[% de tiempo]
Rendimiento horario ideal	12	[lb/h]
Rendimiento horario real	4.8	[lb/h]
Costo horario	\$ 324.58	[\$/h]
Energía [\$/h]		\$ 39.36
Consumo (Gh)	19.68	[kW]
Tarifa CFE	\$ 2.00	[\$/kWh]

Dato	Rendimiento horario ideal	12	[lb/h]
	Rendimiento horario real	4.8	[lb/h]
Costos directos	Experiencia laboral: Semana laboral: Jornada diurna:	\$ 624.58	[días] [horas]
	Energía[\$/h]	8	\$ [horas] 3.36
Costos directos	Horas por año (Hea)	2336	[horas]
	Equipo y Herramienta [\$/h]	2.00	\$ 77.36
Costos directos	Factor de operación	40%	[% de tiempo]
	Lubricante [\$/h]	4.40	\$ [\$/kW] 4.40
Costos directos	Rendimiento horario ideal	12	[lb/h]
	Reemplazo	20,000.00	[h]
Costos directos	Rendimiento horario real	4.8	[lb/h]
	Cantidad consumida(Ah)	0.026700	[h]
Costos directos	Costo horario	\$ 324.58	[\$/h]
	Capacidad cárter	0.000020	[l/h]
Costos directos	Energía[\$/h]		\$ [\$/h] 39.36
	Precio lubricantes(l/h)	164.71	[\$/l]
Costos directos	Consumo(Gh)	19.68	\$ [kW] 3.85
	Llantas [\$/h]		\$ [\$/h] 3.85
Costos directos	Tarifa CFE	2.00	[\$/kWh]
	Juego 4 llantas 26x9x14' (Pn)	\$ 7,700.00	[\$]
Costos directos	Lubricante [\$/h]	2,000.00	\$ [h] 4.40
	Reemplazo	20,000.00	\$ [h] 12.89
Costos directos	Herramienta especial 1 [\$/h]	20,000.00	\$ [h] 12.89
	Cantidad consumida(Ah)	\$ 0.026700	[\$h]
Costos directos	Capacidad cárter	0.000020	[l/h]
	Herramienta especial 2 [\$/h]	164.71	\$ [\$/l] 16.86
Costos directos	Precio lubricantes	164.71	\$ [\$/l] 16.86
	Software de llantas[\$/h]	\$ 252,883.34	\$ [\$/h] 3.85
Costos directos	Juego 4 llantas 26x9x14' (Pn)	\$ 15,000.00	[\$]
	Cargos a maquinaria[\$/h]	2,000.00	\$ 53.35
Cargo fijo	Depreciación [\$/h]		\$ [\$/h] 26.30
	Vida económica robot (Ve)	\$ 193,408.00	[años]
Cargo fijo	Vida económica	10.00	[años]
	Porcentaje de rescate	10%	[%]
Cargo fijo	Herramienta especial 2 [\$/h]	54,600.67	\$ [SMXN] 16.86
	Valor de rescate (Vr)	\$ 54,600.67	[\$MXN]
Cargo fijo	Software de llantas	\$ 252,883.34	\$ [\$/h] 20.57
	Inversión del robot [\$/h]	\$ 252,883.34	\$ [\$/h] 20.57
Cargo fijo	Tasa de interés	16%	[%]
	Cargos a maquinaria[\$/h]	2,000.00	\$ 53.35
Cargo fijo	Depreciación [\$/h]	3%	\$ [%] 26.30
	Prima anual	3%	[%]
Cargo fijo	Vida económica	8.00	\$ [años] 2.63
	Mantenimiento (Mo)[\$/h]	8.00	\$ [años] 2.63
Cargo fijo	Porcentaje de rescate	10%	[%]
	Valor de rescate (Vr)	\$ 54,600.67	[\$MXN]
Cargo fijo	Inversión del robot [\$/h]		\$ 20.57
	Tasa de interés	16%	[%]
Cargo fijo	Seguro [\$/h]		\$ 3.86
	Prima anual	3%	[%]
Cargo fijo	Mantenimiento [\$/h]		\$ 2.63
	Ko	10%	[%]
Consumibles	Materiales [\$/h]		\$ 143.87
	Lincoln Electric 0.035 in. 1 lb. Innershield NR211 Flux-Corded	\$ 52.43	[\$/lb]
Consumibles	Consumo mensual	534.17	[lb/mes]
	Consumo anual	6,409.99	[lb/anual]
Personal operativo	Personal operativo[\$/h]		\$ 50.00
	Salario real(Sr)	400	[\$/jornada]
Consumibles	Materiales [\$/h]		\$ 143.87
	Horas efectivas de trabajo	8	[h/jornada]
Consumibles	Lincoln Electric 0.035 in. 1 lb. Innershield NR211 Flux-Corded	\$ 52.43	[\$/lb]
	Consumo mensual	46	534.17 [lb/mes]
Consumibles	Consumo anual	6,409.99	[lb/anual]
	Personal operativo[\$/h]		\$ 50.00
Consumibles	Salario real(Sr)	400	[\$/jornada]
	Horas efectivas de trabajo	8	[h/jornada]

Bibliografía

- Baca, U. (2010). Evaluación de proyectos. México: McGrawHill.
- Bauer, D. A. (1 de Julio de 2013). Industrial Robots Suppliers Group.
- CMIC. (1 de Noviembre de 2013). Obtenido de <http://www.cmic.org>
- INEGI. (1 de Noviembre de 2013). Obtenido de INEGI. (2013). sistemas. 1 de Noviembre del 2013 20:31, de INEGI Sitio web: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=25433&t=1>
- INEGI. (17 de Marzo de 2014). *INEGI*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/indiceprecios/CalculadoraInflacion.aspx>
- Robledo Henao, F. (2008). *Riesgos en la construcción*. Colombia: Ecoe.
- Rosenfeld, Warszawski & Zajicek. (1992). Economic evaluation of robotized interior finishing works base on full-scale experiments. *9th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, (pág. 10). Tokyo, Japan.
- Society, A. W. (1994). Performance Qualification Sheet Metal Test Requirements. *American Welding Society*, 40.
- Zalkind, A. (2007). Welding shortage fact sheet. *American Welding Society*, 30.