



**CABLES AUTOMOTRICES
INTERNACIONALES, S.A. DE C.V.**

Proyecto Industrial Terminal

**Semiautomatización del proceso de
ensamble de Arpón Armado mediante
Dispositivo Mecatrónico llamado “Fitting
Speedy”**

**PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN
“TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA”**

PRESENTA

Alumno: Ing. Fernando Fonseca García

Tutor de Planta: Ing. Eduardo Burian

Tutor Académico: M.I. Antonio Ramírez Martínez



QUERETARO, QRO. SEPTIEMBRE 2007.

ÍNDICE

ÍNDICE

<i>Índice</i>	2
<i>Resumen</i>	4
<i>Introducción</i>	6
<i>Antecedentes</i>	8
<i>Análisis del Problema</i>	10
<i>Semiautomatización del Proceso de Ensamble de Arpón Armado</i>	21
<i>Conclusiones</i>	37
<i>Bibliografía</i>	39

RESUMEN

Resumen

La industria automotriz avanza a pasos agigantados donde el precio, la calidad y tiempos de entrega son aspectos clave para cualquier proveedor de este giro de negocio tan competitivo.

El presente trabajo pretende mostrar un caso real enfocado a la manufactura de cables mecánicos y particularmente en uno de sus componentes (Arpón Armado) cuya función es fijar el cable al chasis del vehículo.

Por la función que desempeña el Arpón Armado se convierte en una parte crítica por lo que su diseño y proceso de ensamble deben estar dentro de parámetros controlados y puedan cumplir las especificaciones del cliente.

El cable mecánico forma parte de una cadena operativa continua la cual no debe presentar ninguna complicación ya que de presentarse alguna los costos de operación se verían incrementados drásticamente con pérdidas para todos los involucrados siendo el cliente final el más afectado al absorber la mayoría de estos costos.

La propuesta de mejorar el proceso de ensamble de Arpón Armado mediante un dispositivo mecatrónico que semiautomatiza esta operación a un costo de inversión y de operación bajos en comparación con los beneficios a obtener por su versatilidad, por ser escalable a otras capacidades inclusive puede ser una guía de referencia para procesos de ensamble similares.

Este dispositivo adopta la filosofía Seis Sigma (cero defectos, partes por millón, ahorros anuales, etc.) y al Lean Manufacturing (manufactura esbelta) por la versatilidad y facilidad para integrarse a una cadena productiva de ensambles.

La aplicación de la Mecatrónica en la industria nos reditúa en mejores procesos, con calidad, menor costo y en un tiempo optimizado; es una herramienta potencial que necesariamente debe explotarse en la pequeña y mediana empresa.

INTRODUCCIÓN

Introducción

Cables Automotrices Internacionales, S.A. de C.V. (CAISA) es Fabricante de Equipo Original (OEM) participando activamente en el sector automotriz nacional desde 1963, en proyectos a nivel nacional.

Los cables que comercializa son para freno de estacionamiento, velocímetro, clutch, acelerador, cofre además de cables especiales para el mercado independiente. Entre sus clientes se encuentran FORD, GENERAL MOTORS, DRAIMLER CHRYSLER, ETRAC, BOMBARDIER, CAF, entre otros.

Cables Automotrices Internacionales es subproveedor de FORD MOTOR COMPANY, uno de los clientes de CAISA, al cual le es suministrado un par de cables de freno de estacionamiento para las camionetas F350 a través de otro proveedor de FORD, ETRAC (Ejes Tractivos) quien realiza en su planta el primer ensamble de los cables en el eje trasero de las camionetas, posteriormente los ejes llegan a la planta de FORD donde se une el eje al chasis y el cable se ensambla a este.

ANTECEDENTES

Antecedentes

El departamento de Ingeniería de FORD informa al área de Ingeniería de CAISA sobre los cambios que sufrirá el chasis de las camionetas F350 que involucran a los cables de freno de estacionamiento. Se asiste a las reuniones con el cliente para definir dichos cambios y establecer fecha para entrega de prototipos.

Los cables de freno de estacionamiento (derecho e izquierdo) se unen al chasis mediante un bracket en forma de Z invertida, con el cambio de Ingeniería por parte del cliente este bracket es sustituido por 2 brackets uno de ellos viene montado ya en el chasis, este llega de Dana Canadá; el otro bracket lo suministra un proveedor local ETNASA, el cable izquierdo se ensamble a este bracket y el derecho al que viene en el chasis.

Conforme se avanza en las etapas, los cables son aprobados en las pruebas prototipo y se procede a realizar una corrida en la planta, CAISA suministra 50 pares de prototipos para su ensamble en ETRAC y FORD respectivamente.

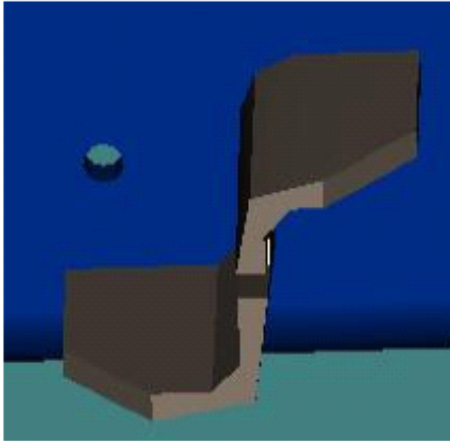
En la planta de FORD durante las pruebas piloto el cable derecho presentó dificultades al ensamblarse al chasis particularmente el componente denominado arpón armado cuya función es sujetar la funda del cable al chasis, este falló al deslizarse una de las partes que lo forman.

Se procedió a analizar las condiciones de los componentes y del proceso tanto del cliente FORD como del proveedor CAISA para dar una pronta solución ya que las fechas promesa estaban por cumplirse y el cambio debía ser aprobado a la brevedad posible.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Análisis del Problema

En primer lugar se revisaron las especificaciones del bracket que venía montado en el chasis al que se denominó Bracket Dana y las especificaciones fueron las siguientes:



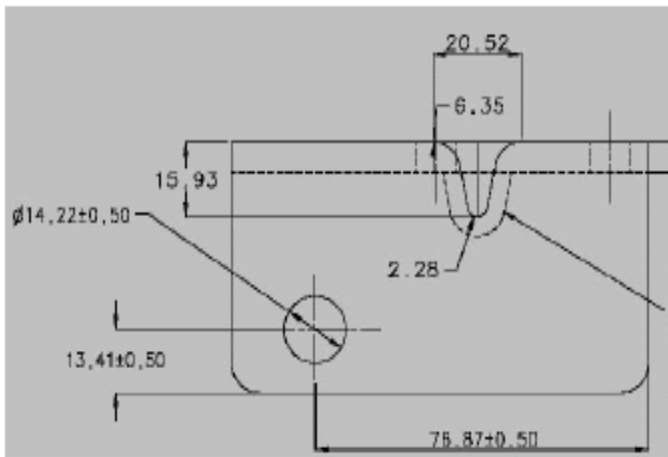
DANA's Bracket

Diameter = 13.95 → 14.23 mm

Thickness = 6.5 → 7.05 mm

Wax Coat = 75 → 125 μm

Las especificaciones del Bracket Etnasa se muestran a continuación:

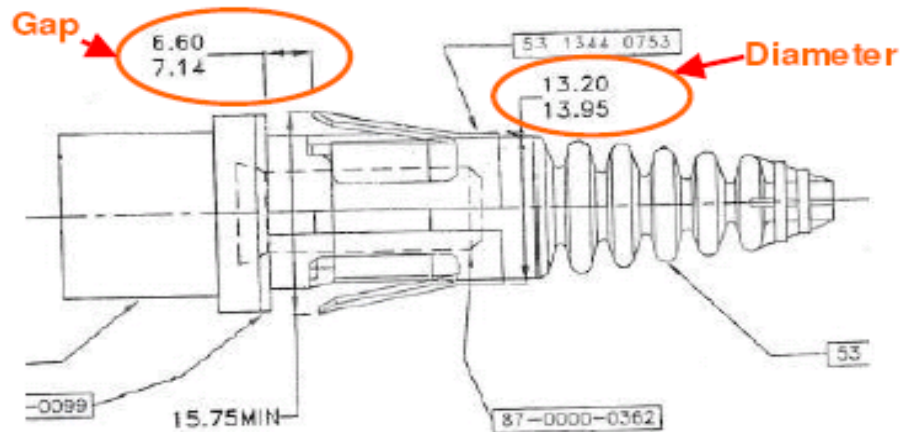


ETNASA's Bracket

Diameter = 13.72 → 14.72 mm

Thickness = 6.5 → 7.05 mm

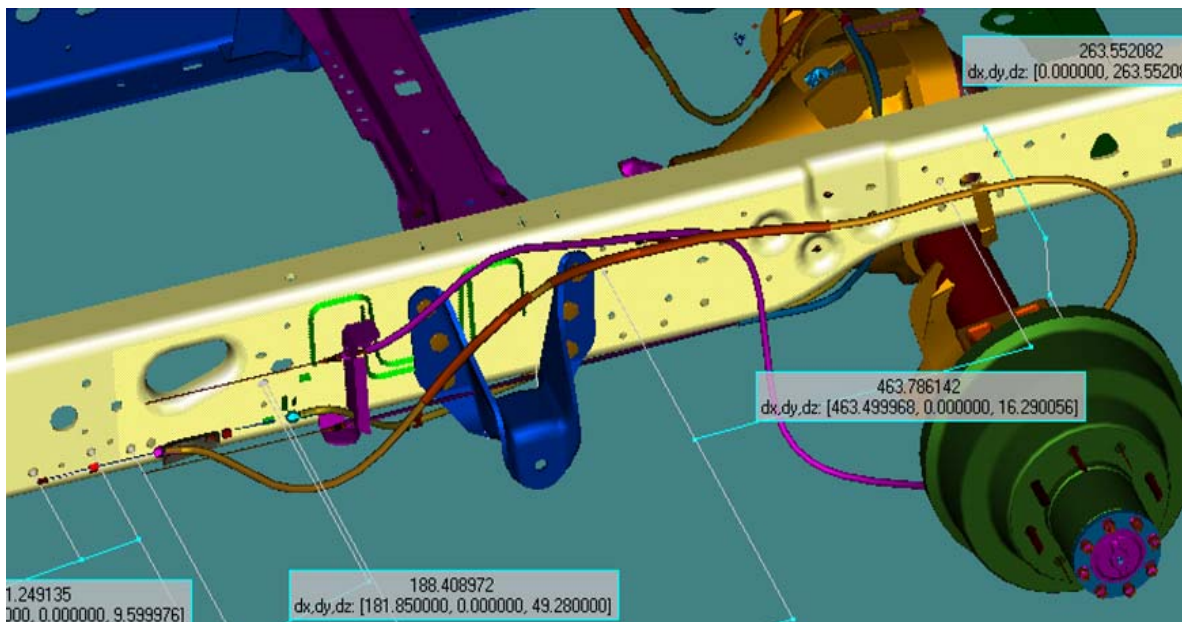
Las especificaciones del Arpón Armado se muestran a continuación:

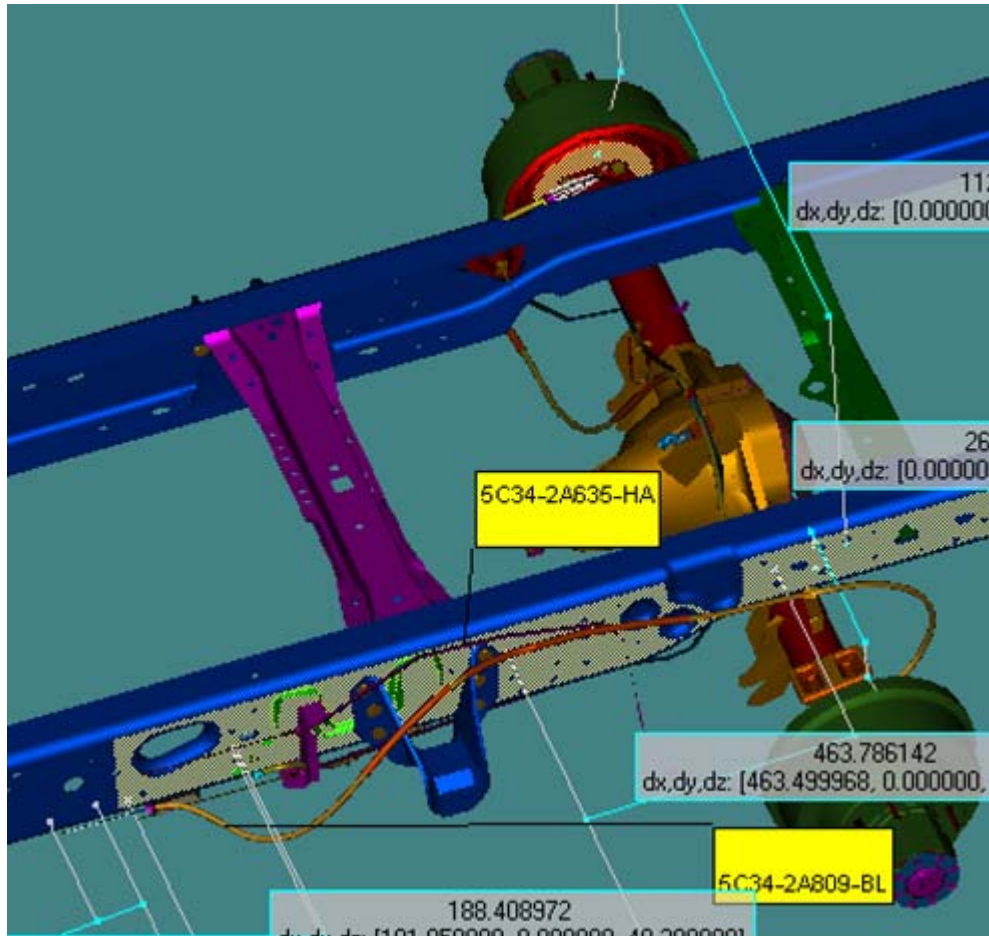


CAISA's Clip Assembly

Diameter = 13.20 → 13.95 mm
 Gap = 6.60 → 7.14 mm

Para comprender mejor el ensamble y funcionamiento de los cables de freno de estacionamiento (derecho e izquierdo), podemos ver las siguientes imágenes:





Se realizó un análisis de interferencias entre los brackets y el arpón armado en lo referente al clip diameter del arpón.

CAISA's clip diameter Φ_c < DANA's brkt Φ_c	CAISA's clip diameter Φ_c < ETNASA's brkt Φ_c
13.2 < 13.7	13.2 < 13.72
13.2 < 14.08	13.2 < 14.72
13.95 < 13.7	13.95 < 13.72
13.95 < 14.08	13.95 < 14.72

Y el análisis de interferencias referente al gap del arpón armado.

CAISA's clip gap Tc > DANA's brkt Tc	CAISA's clip gap Tc > ETNASA's brkt Tc
6.6 > 6.65	6.6 > 6.5
6.6 > 7.3	6.6 > 7.05
7.14 > 6.65	7.14 > 6.5
7.14 > 7.3	7.14 > 7.05

Los números rojos nos señalan las interferencias existentes entre los componentes. Otro punto importante a mencionar es que el ensamble de este componente en la planta de CAISA es manual y podemos ver el proceso en las siguientes imágenes:



El arpón es colocado en un dado cilíndrico con la canastilla sobre él en la posición indicada, posteriormente se colocan otros dos dados sobre estos alineados y con un martillo se golpea a ambos para lograr el ensamble.

Debido a que el proceso se lleva a cabo en forma manual, el cliente pide que se realice un estudio para conocer la capacidad del proceso con respecto a estos dos factores que son el gap y el clip diameter. La capacidad del proceso (Cpk) es el grado de calidad en que puede ser realizado, cuando el proceso es mantenido bajo condiciones estables, estandarizando completamente y eliminando causas de anomalías.

Previo al análisis de la capacidad del proceso (Cpk) se revisa el sistema de medición de CAISA a través del Gage R y R en el cual se observa la Repetibilidad que consiste en la variación en las mediciones atribuibles al instrumento de medición cuando es utilizado varias veces por un operador para medir características idénticas en la misma parte y la Reproducibilidad que consiste en la variación en las mediciones atribuible a diferentes operadores utilizando el mismo instrumento para medir la misma característica en la misma parte.

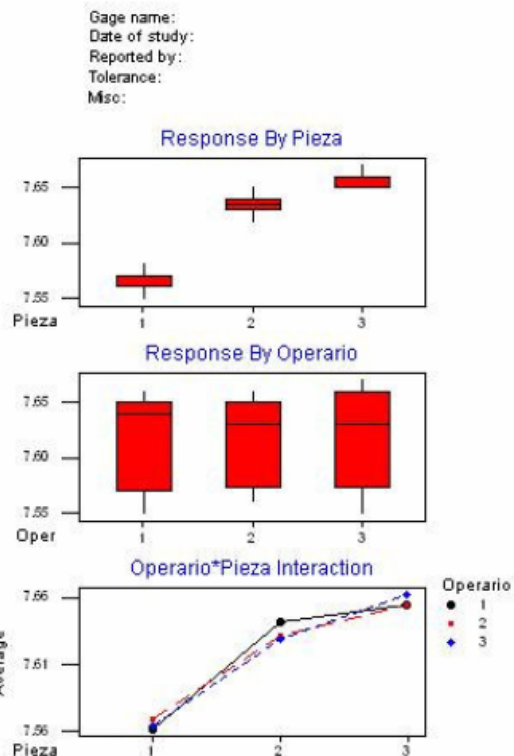
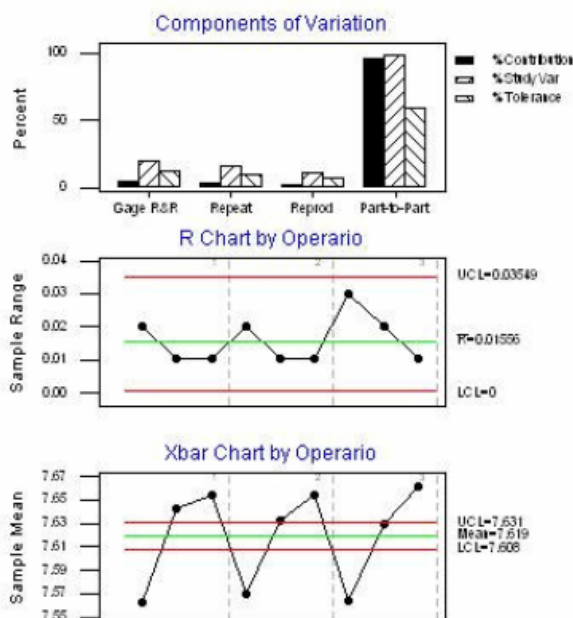
Con ayuda de una herramienta como Minitab se generan las gráficas de Análisis de Varianza (ANOVA) con sus resultados para el gap y el clip diameter respectivamente.

Las gráficas y resultados se presentan a continuación:

CTQ (1) = CAISA's Clip Gap

Gage R & R

Gage R&R (ANOVA) for Dimension



% Contribution: 3.51
 %Study Var: 18.74
 %Tolerance: 11.15
 Distinct Categories: 7

Gage R&R Approved

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	8.26E-05	3.51
Repeatability	5.93E-05	2.52
Reproducibility	2.34E-05	0.99
Operario	0.00E+00	0.00
Operario*Pieza	2.34E-05	0.99
Part-To-Part	2.27E-03	96.49
Total Variation	2.35E-03	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	9.09E-03	0.046817	18.74	11.15
Repeatability	7.70E-03	0.039645	15.87	9.44
Reproducibility	4.84E-03	0.024902	9.97	5.93
Operario	0.00E+00	0.000000	0.00	0.00
Operario*Pieza	4.84E-03	0.024902	9.97	5.93
Part-To-Part	4.76E-02	0.245339	98.23	58.41
Total Variation	4.85E-02	0.249766	100.00	59.47

Number of Distinct Categories = 7

El Gage R & R para la condición del gap fue aprobado por lo que el sistema de medición es confiable.

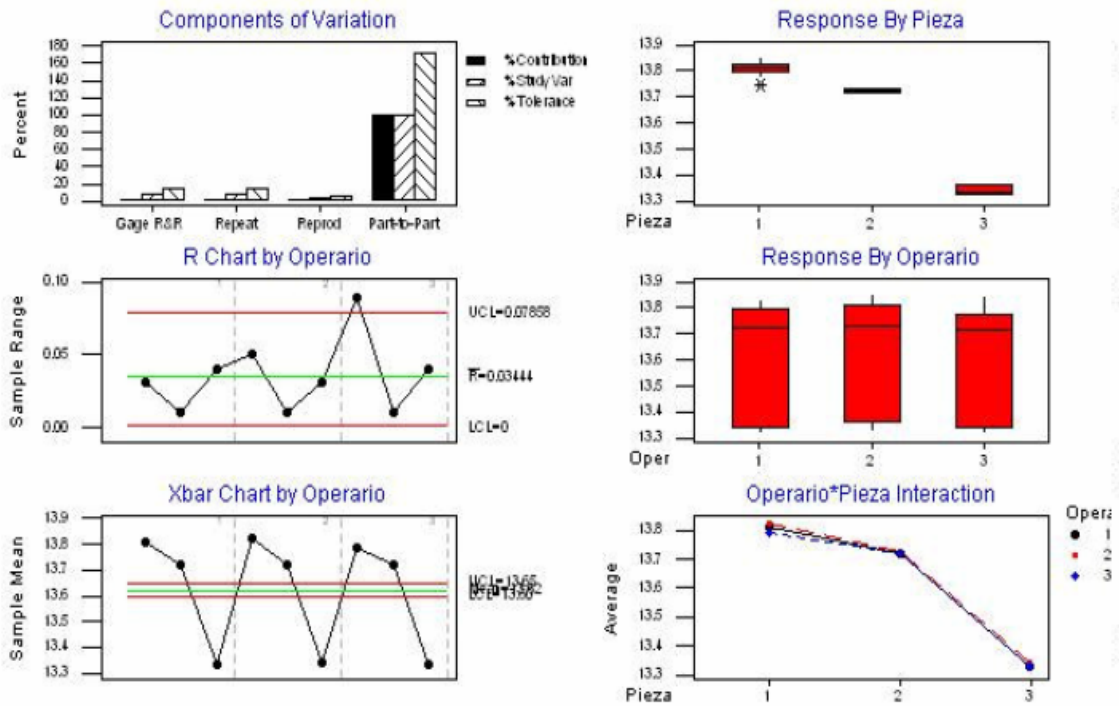
Gráfica de ANOVA para la condición del clip diameter.

CTQ (2) = CAISA's Clip Diameter

Gage R & R

Gage R&R (ANOVA) for Dimension

Gage name:
Date of study:
Reported by:
Tolerance:
Mso:



%Contribution: 0.58
 %Study Var: 7.63
 %Tolerance: 13.23
 Distinct Categories: 18

Gage R&R Approved

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000371	0.58
Repeatability	0.000336	0.53
Reproducibility	0.000035	0.06
Operario	0.000035	0.06
Part-To-Part	0.063412	99.42
Total Variation	0.063783	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (%SV/Toler)
Total Gage R&R	0.019261	0.09919	7.63	13.23
Repeatability	0.018324	0.09437	7.26	12.58
Reproducibility	0.005934	0.03056	2.35	4.07
Operario	0.005934	0.03056	2.35	4.07
Part-To-Part	0.251817	1.29686	99.71	172.91
Total Variation	0.252552	1.30064	100.00	173.42

Number of Distinct Categories = 18

El Gage R & R para la condición del clip diameter fue aprobado por lo que el sistema de medición es confiable.

Una vez aprobado el sistema de medición con los valores generados se procedió al análisis de la capacidad del proceso. La siguiente tabla muestra los criterios para considerar la capacidad del proceso.

Tabla 1 Criterios para considerar si la capacidad de proceso es suficiente

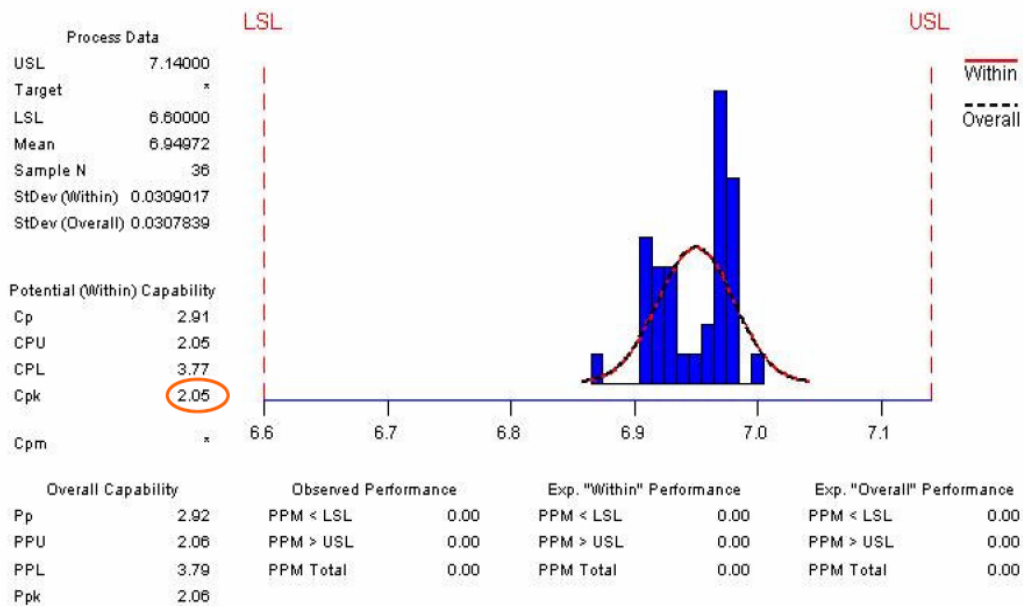
Valor de Cpk	Observaciones
$1.67 < Cpk$	La capacidad del proceso es demasiado, se puede decir que hay sobre capacidad.
$1.33 < Cpk \leq 1.67$	La capacidad del proceso es suficiente
$1.00 < Cpk \leq 1.33$	No se puede decir que la capacidad del proceso es suficiente y se encuentra en condiciones de alerta.
$0.67 \leq Cpk < 1.00$	Carencia de capacidad del proceso, es necesario el mejoramiento.
$Cpk \leq 0.67$	La capacidad del proceso es baja y se encuentra en condiciones de defectuoso, necesita mejoramiento considerable.

Con el apoyo de Minitab y con los valores generados del Gage R & R se obtienen los resultados de la capacidad del proceso para la condición del gap.

CTQ (1) = CAISA's Clip Gap

Capability Analysis
Current Prk Brk Clip Gap

Cpk: 2.05
Capability Approved



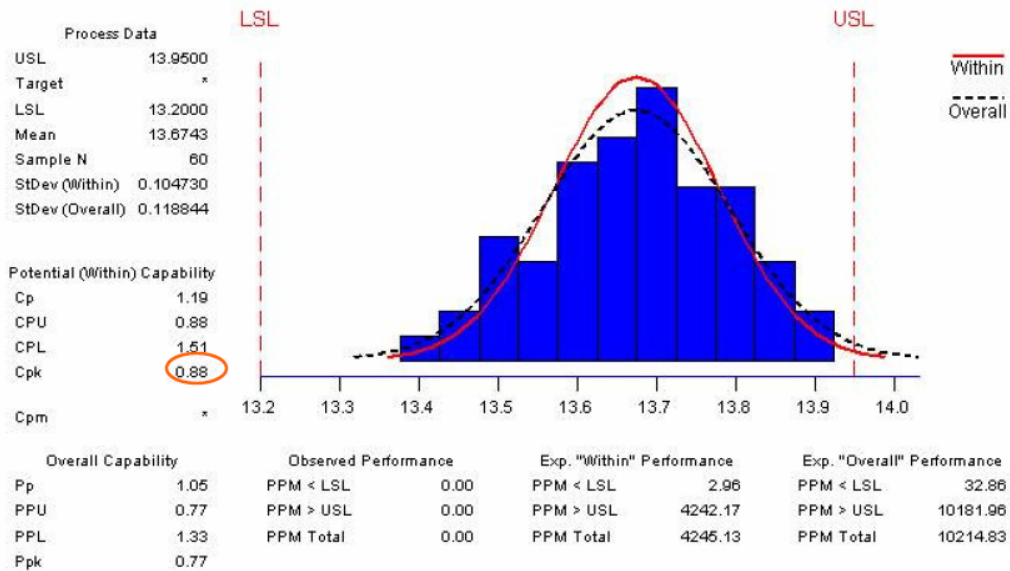
Para esta condición del gap, la capacidad de proceso según la tabla de criterios está en sobrecapacidad por lo que es aprobada esta condición para el ensamble del arpón armado.

Los resultados de la capacidad del proceso para la condición del clip diameter fueron los siguientes:

CTQ (2) = CAISA's Clip Diameter

Capability Analysis
Current Prk Brk Clip Diameter

Cpk: 0.88
Capability Unapproved



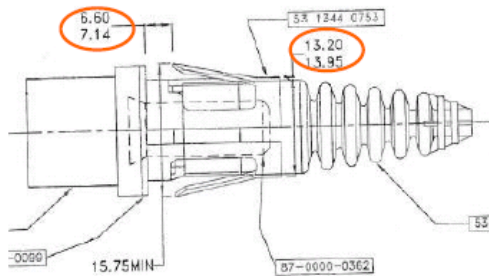
La capacidad del proceso para esta condición no es satisfactoria y siguiendo el criterio de la tabla se carece de capacidad en el mismo y es necesario el mejoramiento.

En conjunto pueden verse muchas oportunidades de mejora tanto en el diseño como en el proceso de ensamble de esta parte, CAISA prepara sus propuestas y se mencionan en el siguiente apartado.

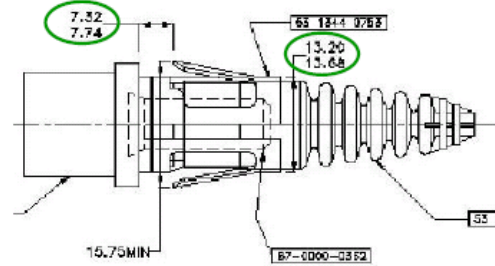
***SEMIAUTOMATIZACION DEL
PROCESO DE ENSAMBLE DE
ARPÓN ARMADO***

La mejora en el diseño la podemos observar en las siguientes figuras, en donde dichas modificaciones no afectan la resistencia ni la funcionalidad de este componente.

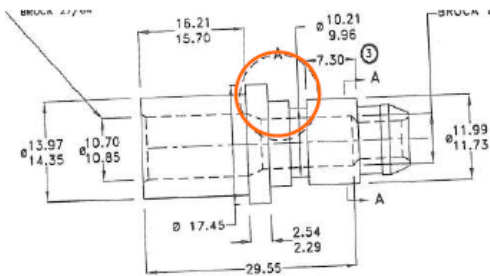
CAISA's Current Clip Diameter



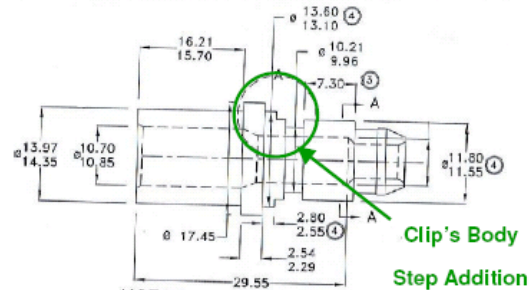
CAISA's Clip Diameter Proposal



CAISA's Current Clip Body



CAISA's Clip Body Proposal



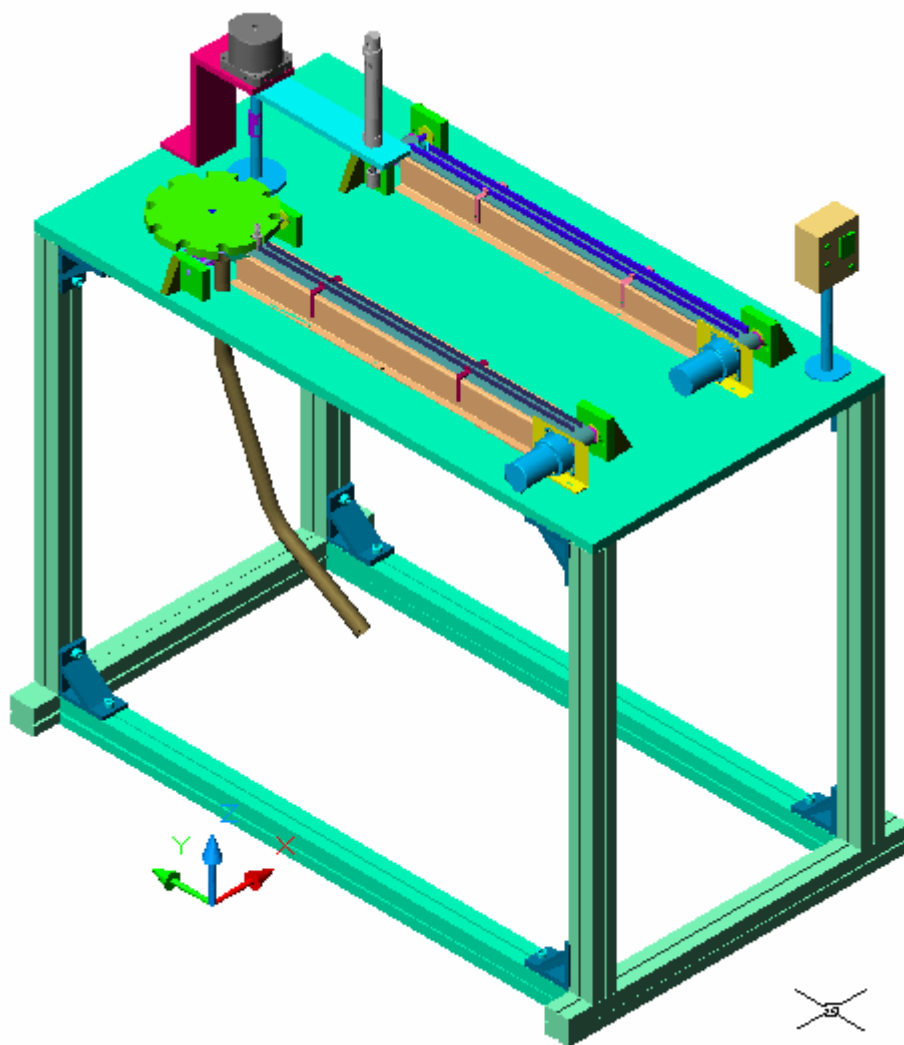
La propuesta para semiautomatizar el proceso de ensamble de este componente es mediante un dispositivo mecatrónico llamado "Fitting Speedy".

Los beneficios a obtener se presentan a continuación:

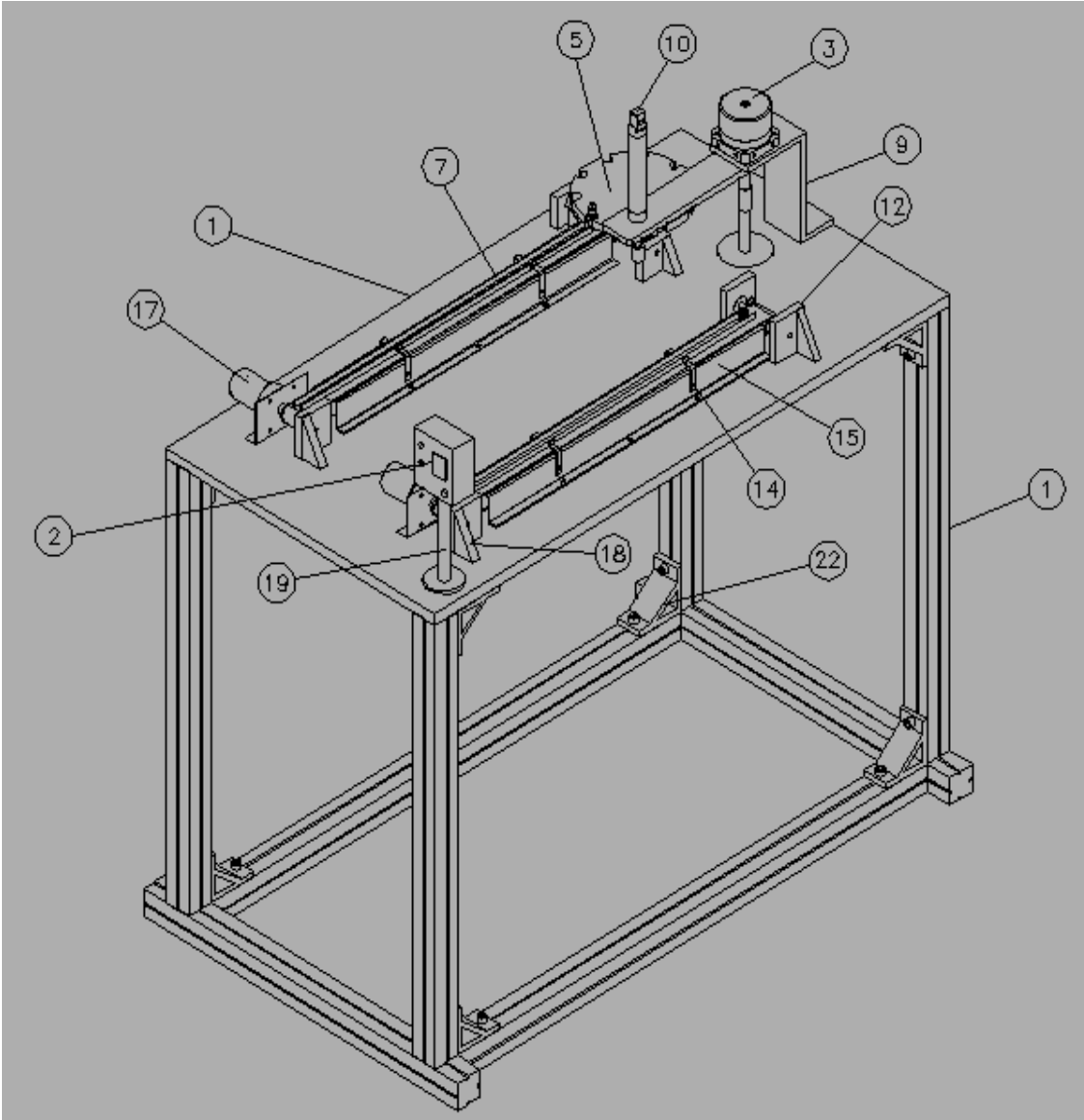
1. Incrementar la capacidad del proceso y obtener un Cpk mayor o igual a 1.67 dando pronta respuesta al requerimiento del cliente.
2. Aumentar la producción de este tipo de terminales para diferentes tipos de cable de freno, en el proceso manual actual se ensamblan de 3 a 4 piezas por minuto el Fitting Speedy ensamblará en promedio 20 piezas por minuto.

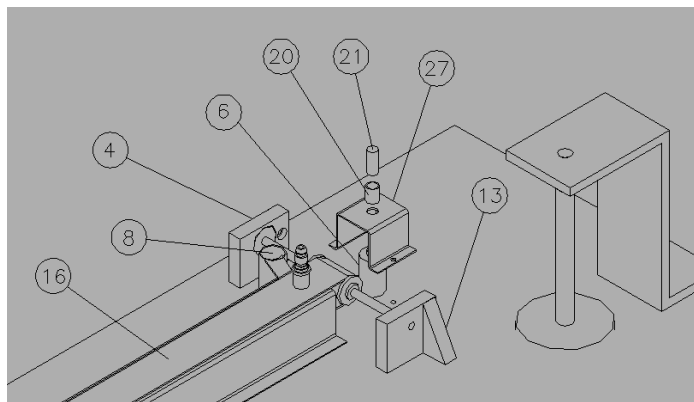
El Fitting Speedy llevará a cabo el ensamble del Arpón Armado (ensamble de arpón y canastilla), la alimentación será manual y el ensamble automático, dándole versatilidad al dispositivo para que pueda integrarse a una línea de producción o célula de manufactura.

El diseño completo del Fitting Speedy se llevó a cabo en distintas fases: El diseño mecánico, neumático, electrónico (microcontrolador y gal) y la parte de programación (microcontrolador y gal).



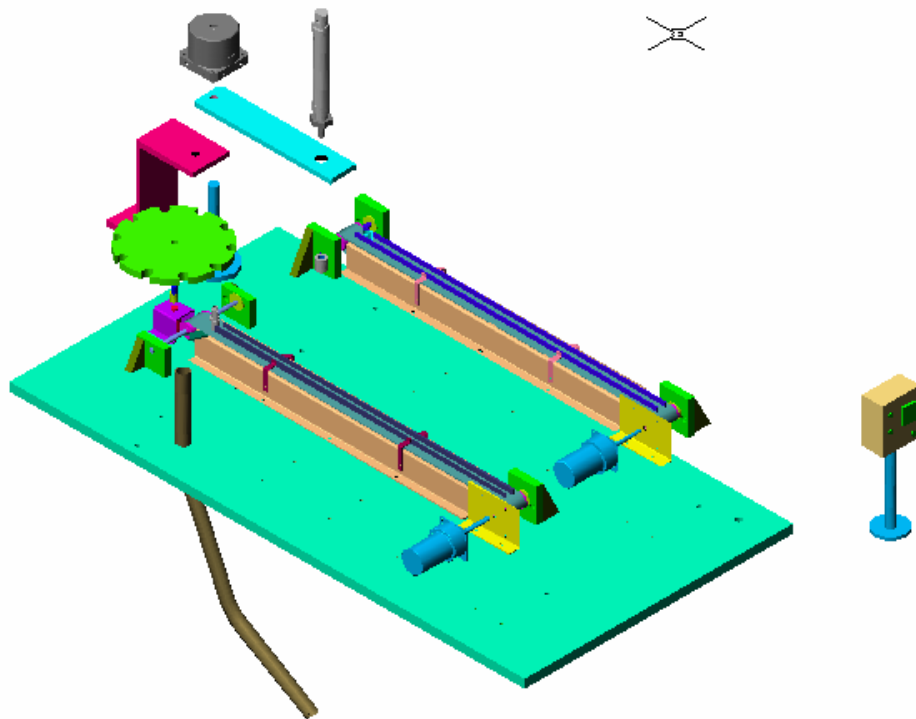
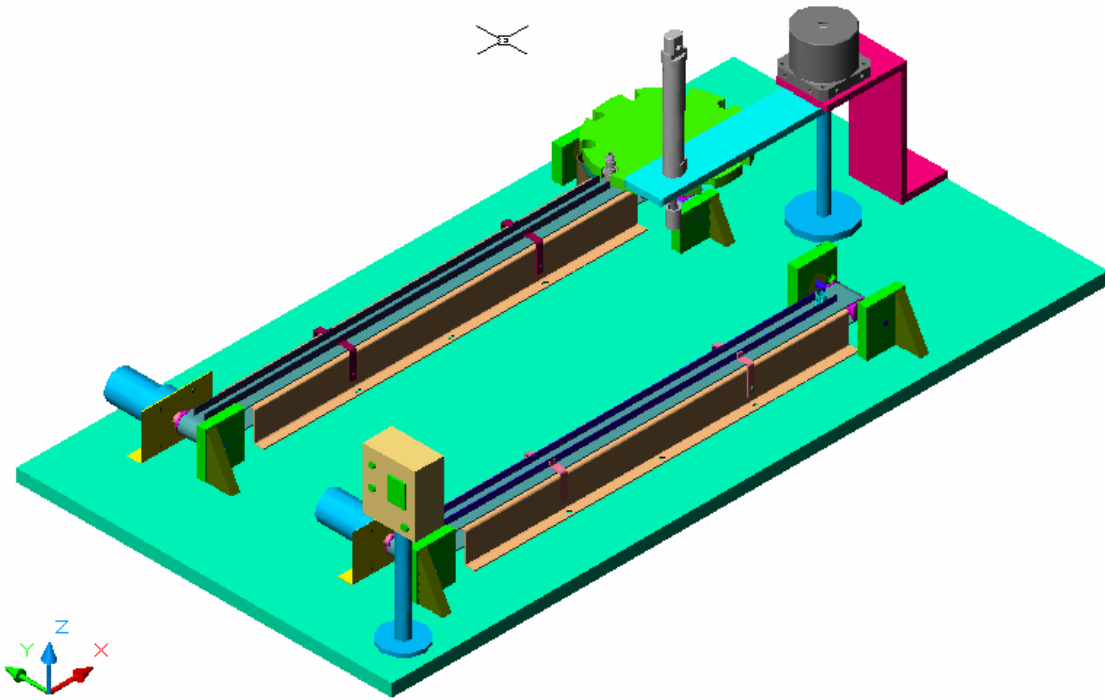
El *Diseño Mecánico* se observa en la siguiente figura:



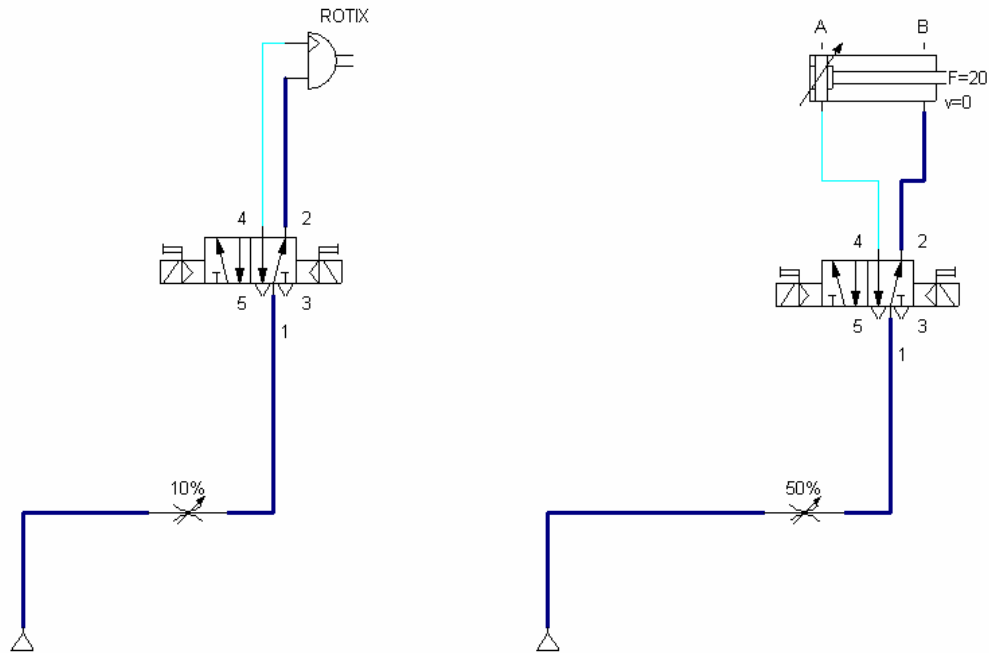


La lista maestra se muestra a continuación:

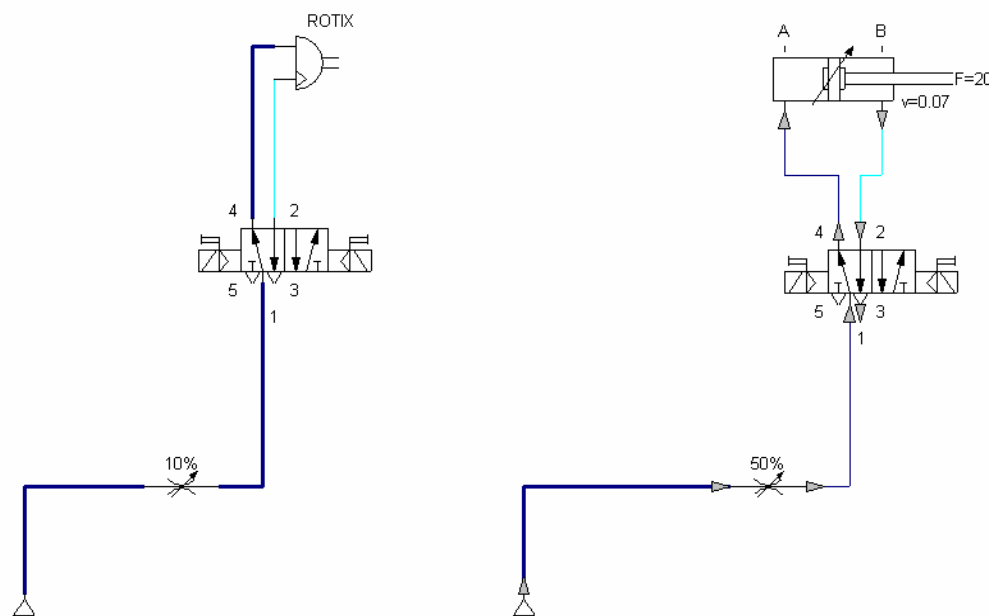
No.	No. DE PARTE	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1	2007-MSA	MESA DE TRABAJO	PZA	1
2	2007-CJBONOFF	CAJA DE CONEXIONES BOTON ON/OFF	PZA	1
3	158959_DSM_25_27_0_P14_1	ACTUADOR GIRATORIO DSM	PZA	1
4	2007-RODL	RODAMIENTOS L	PZA	2
5	2007-INDEX10	INDEXOR	PZA	1
6	2007-STEP	MOTOR A PASOS	PZA	1
7	2007-GUIAP	GUIA DE POLEAS	PZA	4
8	2007-TBGS	TOBOGAN DE SALIDA	PZA	1
9	2007-SPTRTX	SOPORTE ROTIX	PZA	1
10	5080_DSN_25_100_P14_1	CILINDRO DOBLE EFECTO	PZA	1
11	2007-POLB	POLEAS	PZA	4
12	2007-RODH	RODAMIENTOS H	PZA	4
13	2007-CTBRODL	CARTABON PARA RODAMIENTOS L	PZA	2
14	2007-SPGUPOL	SOPORTE GUIA DE POLEA	PZA	2
15	2007-SPGUBND	SOPORTE GUIA DE BANDA	PZA	4
16	2007-BND	BANDA	PZA	2
17	DC-12V	MOTOR DC	PZA	2
18	2007-CTBRODH	CARTABON PARA RODAMIENTOS H	PZA	4
19	2007-BAS	BASE	PZA	2
20	2007-CPLSTEP	COPLA DE MOTOR A PASOS	PZA	1
21	2007-FLHSTEP	FLECHA DE MOTOR A PASOS	PZA	1
22	2007-CTBRMTB	CARTABON MESA DE TRABAJO	PZA	8
23	CPE18-M2H-5J-1414	ELECTROVALVULAS 5/2	PZA	2
24	2007-CMPR	COMPRESORA	PZA	2
25	GR-QS-3	VALVULA REG. DE CAUDAL CON ESTRANGULAMIENTO	PZA	2
26	2007-SSRP	SENSORES DE PRESENCIA	PZA	6
27	2007-SPTSTEP	SOPORTE DE MOTOR A PASOS	PZA	1



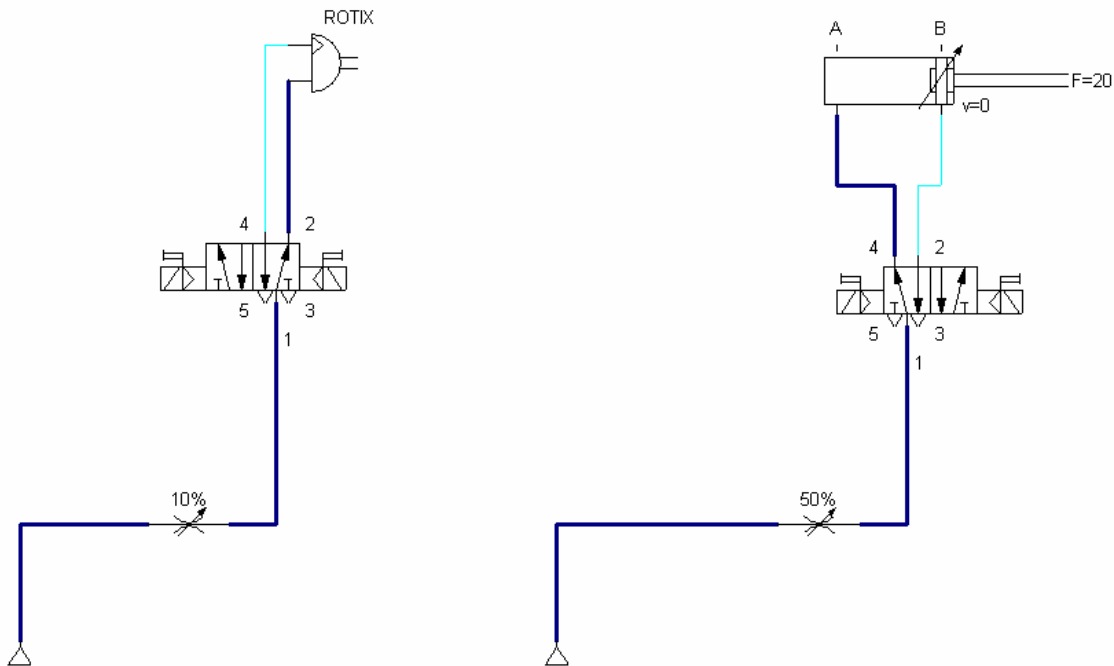
El *Diagrama Neumático* del Rotix y del cilindro de doble efecto neumático se muestra a continuación:



Simulación de Componentes Neumáticos del Fitting Speedy, el diagrama neumático nos indica la Posición inicial.

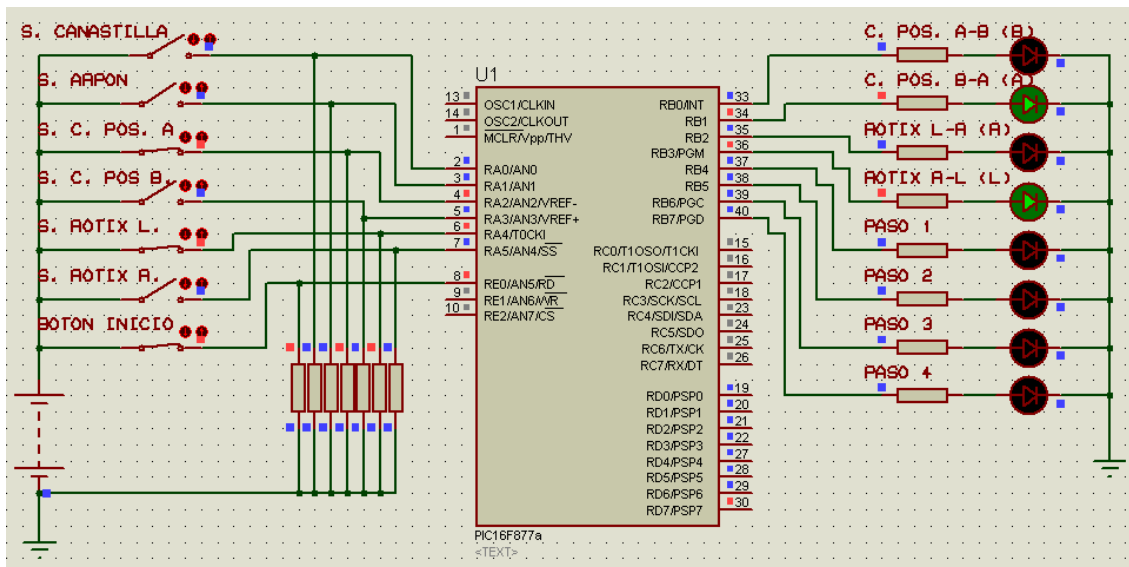


El diagrama nos muestra el cambio de posición del Rotix y el desplazamiento del cilindro de la posición A hacia B.

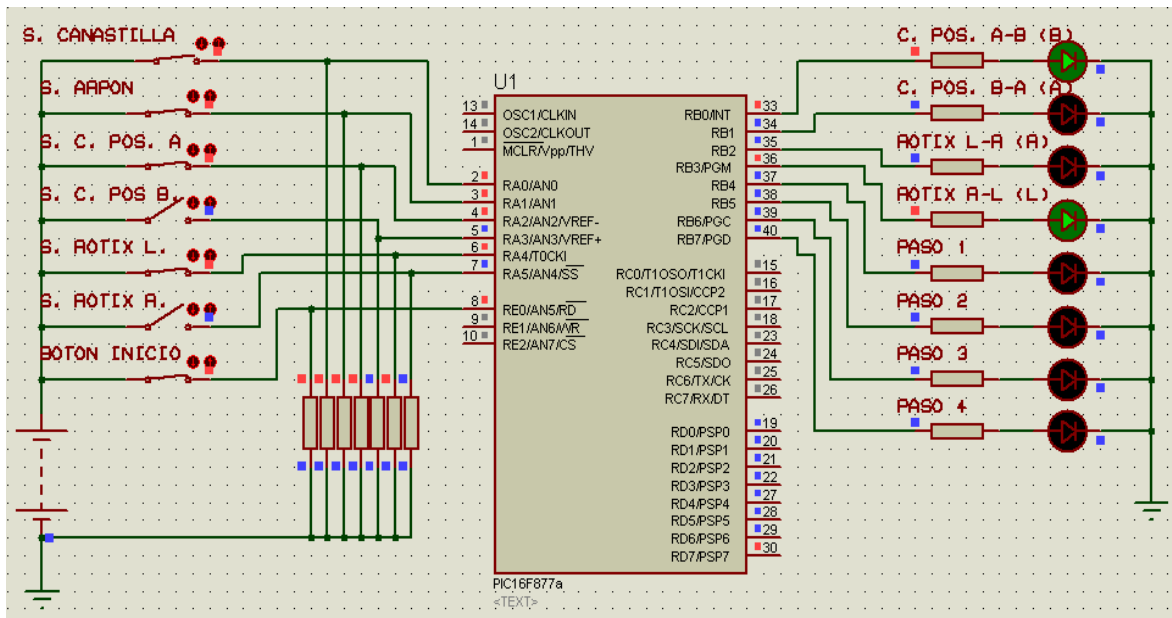


En esta imagen el Rotix nuevamente esta en su posición inicial y el cilindro recorre su carrera para llegar a la posición B, la activación de las electroválvulas determinan dichas posiciones.

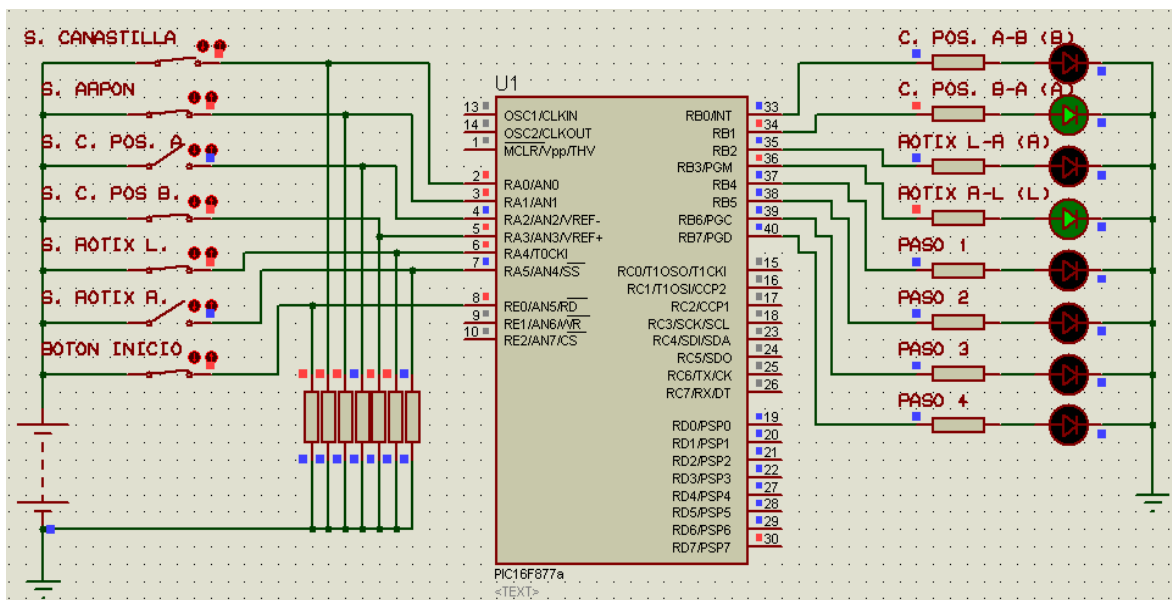
En lo que respecta al *Diseño Digital* se utilizó el software Proteus para simular el comportamiento de los sensores y los actuadores. Las imágenes fueron las siguientes:



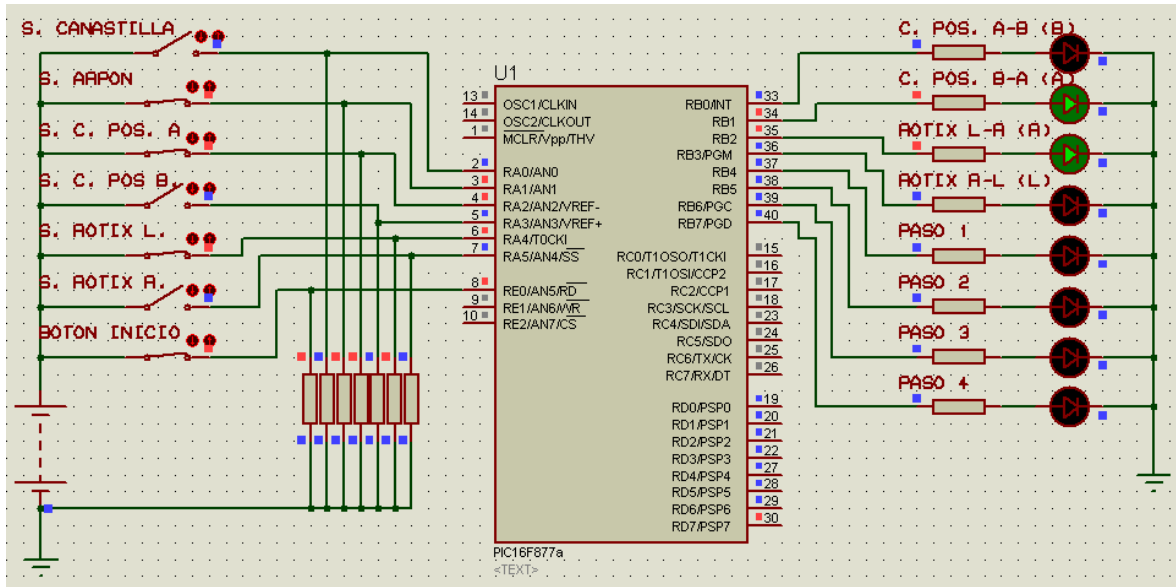
Posición inicial, Rotix Left y Cilindro Posic. A



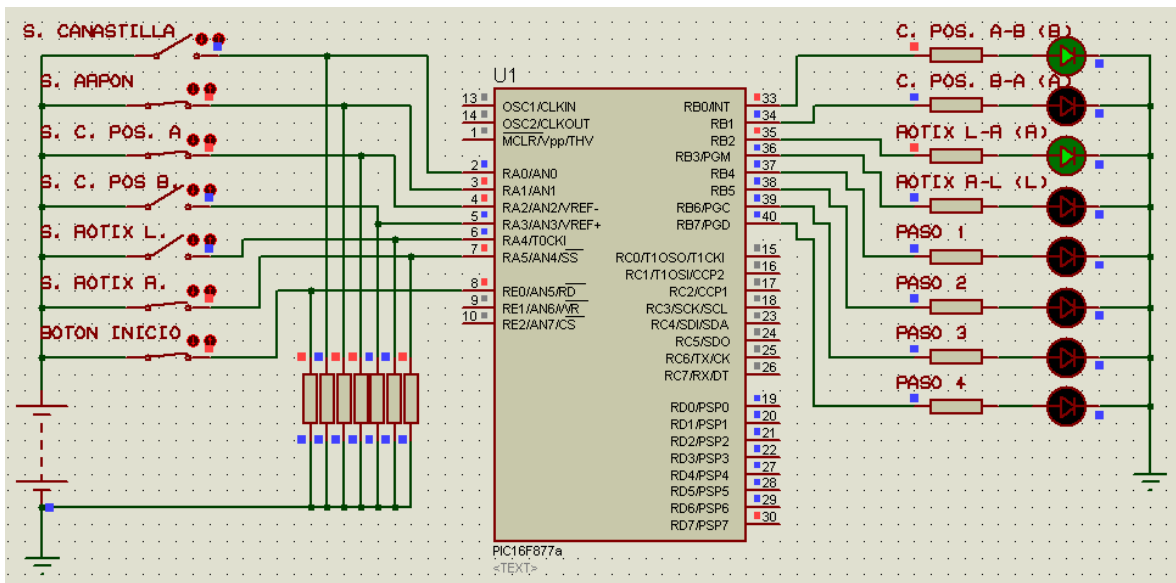
Posición sujeción de canastilla, Rotix L, arpón, canastilla, cilindro posic. A, el pistón baja A-B



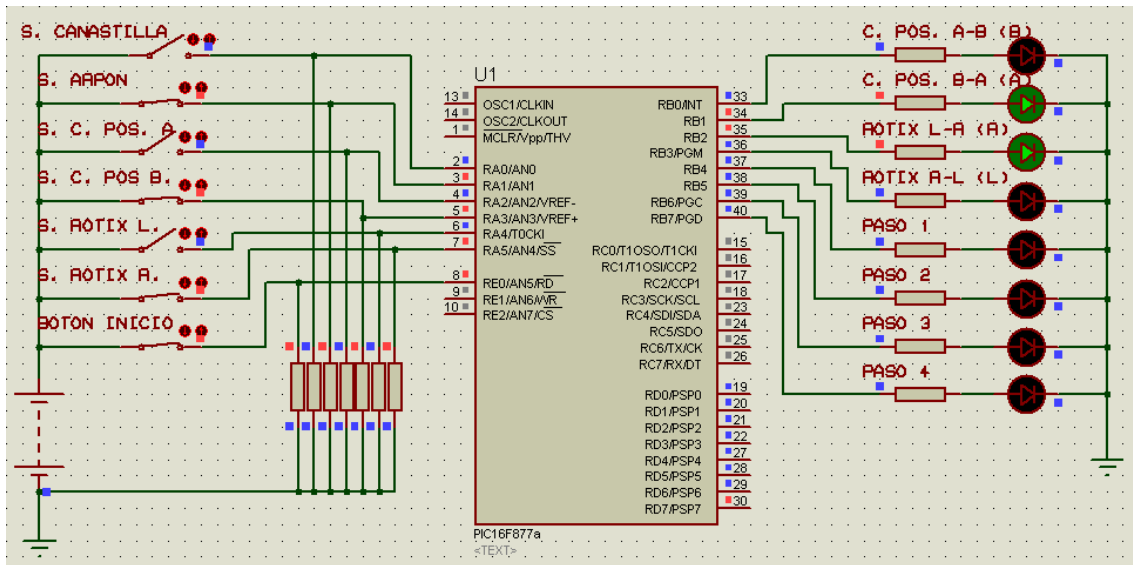
Posición elevación de canastilla, Rotix L, arpón, canastilla, cilindro posic. B, el pistón sube B-A



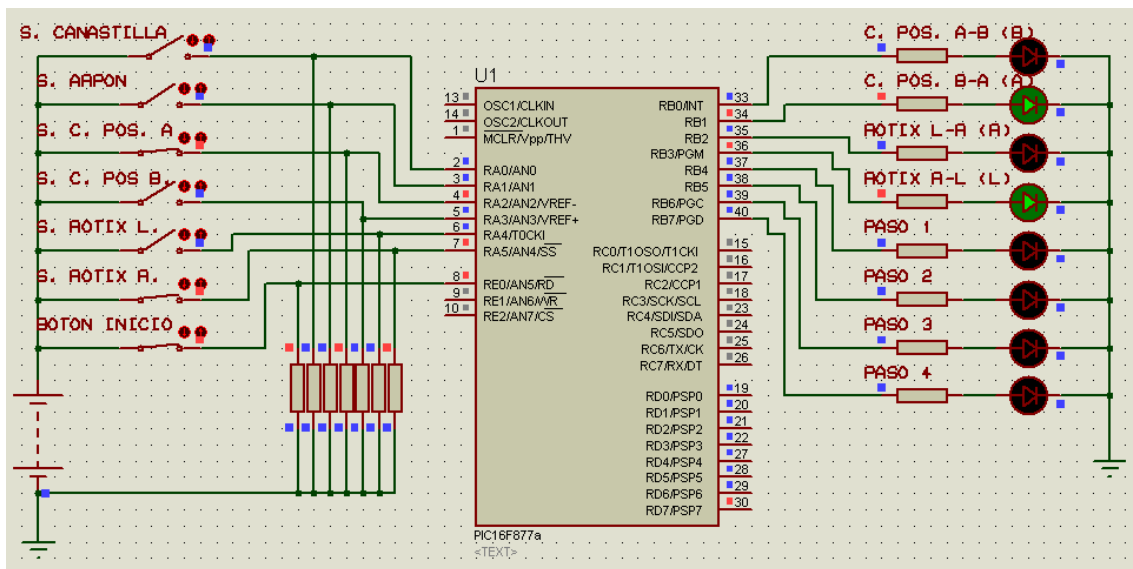
Giro de Rotix, Rotix L, arpón, cilindro posic. A, el Rotix se desplaza L-R



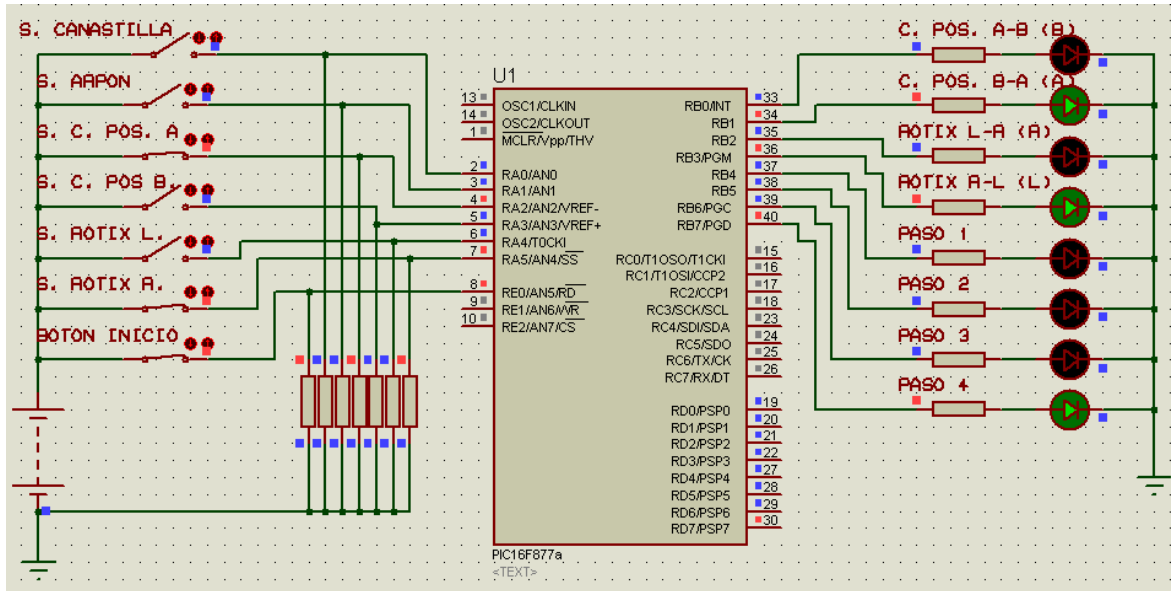
Posición ensamble canastilla-arpón, Rotix R, arpón y cilindro posic. A, el pistón baja A-B



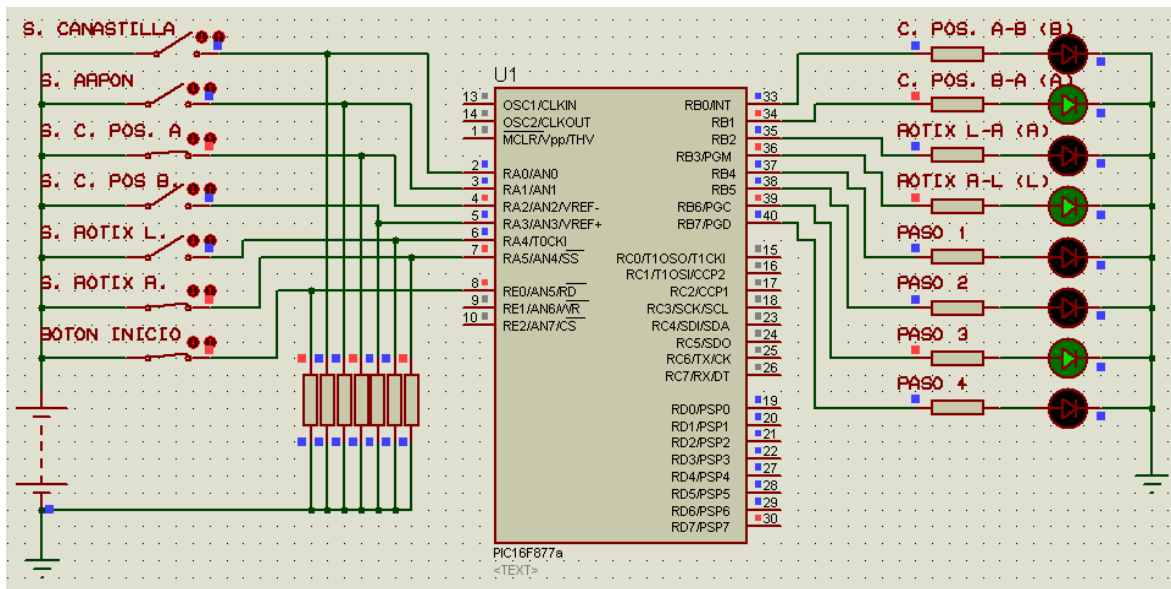
Posición libera canastilla, Rotix R, arpón y cilindro posic. B, el pistón sube B-A

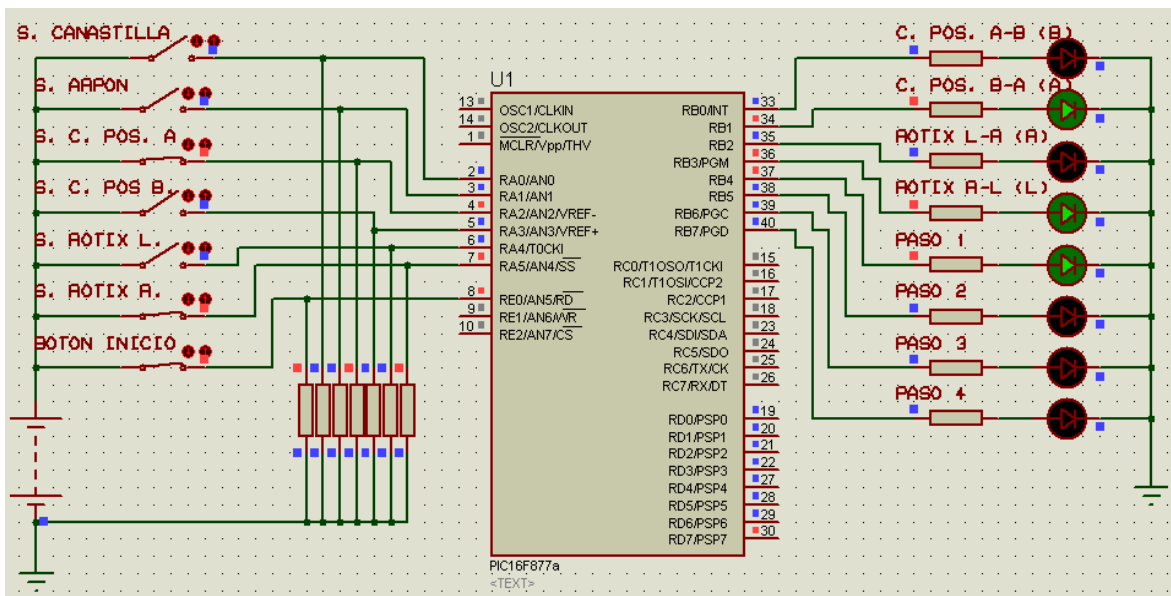
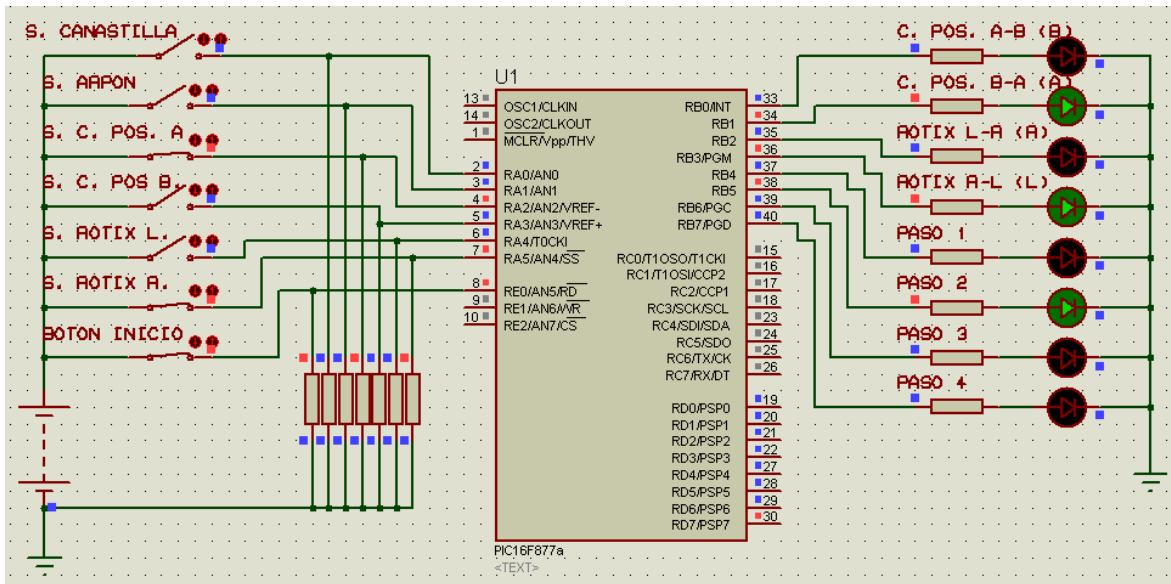


Giro de Rotix, Rotix L, cilindro posición A, el Rotix regresa a su estado inicial y al mismo tiempo se activa el motor a pasos, rota el indexor, las dos bandas avanzan por el rele y se reinicia ciclo.



Secuencia del motor a pasos.





El programa que gobierna al Microcontrolador es el siguiente:

```
#include<16f877a.h>
#fuses xt,nowdt,noprotect,noput,nowrt,nolvp,nobrownout,nocpd
#use delay(clock=4000000)
#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)
#use fast_io(d)
#use fast_io(e)
#byte porta=0x05
#byte portb=0x06
#byte portc=0x07
#byte portd=0x08
#byte porte=0x09
#byte mas=0xa0
#byte menos=0xa1

void main(void)
{
  setup_port_a(no_analogs); // puerto A como no analógicos
  set_tris_a(0b111111); // puerto A como entradas
  set_tris_e(0b1111); // puerto E como entradas
  set_tris_b(0b00000000); // puerto B como salidas
  set_tris_d(0b00000000); // puerto D como salidas
  mas=0; // se la asigna un cero a esta variable
  menos=0; // se le asigna un cero a esta variable
  portb=0x00; // se pone en ceros el puerto B
  porte=0x00; // se pone en cero el puerto D

  while (true) {

    mas = porta; // se le asigna el valor del puerto A a la variable mas.
    menos = porte; // se la asigna el valor del puerto E a la variable menos.

    if (menos == 1){ // este parte se hace un ciclo anidado, que para que funcione lo que sigue
debe activarse antes el boton de inicio.
      portd=0b10000000;

    switch (mas){

      case 20: // Posición inicial, Rotix Left y Cilindro Posic. A
        portb =0x0A;
        delay_ms(800);
        break;
```

```

case 23: // Posición sujeción de canastilla, Rotix L, arpón, canastilla, cilindro   posic.
A, el pistón baja A-B
portb =0x09;
delay_ms(800);
break;

case 27: // Posición elevación de canastilla, Rotix L, arpón, canastilla, cilindro posic. B, el
pistón sube B-A
portb =0x0A;
delay_ms(800);
break;

case 22: // Giro de rotix, rotix L, arpón, cilindro posic. A, el rotix se desplaza L-R
portb =0x06;
delay_ms(800);
break;

case 38: // Posición ensamble canastilla-arpón, rotix R, arpón y cilindro posic. A, el pistón baja
A-B
portb =0x05;
delay_ms(800);
//portb=0x00;
break;

case 42: // Posición libera canastilla, rotix R, arpón y cilindro posic. B, el pistón sube B-A
portb =0x06;
delay_ms(800);
//portb=0x00;
break;

case 36: //Giro de rotix, rotix L, cilindro posición A, el rotix regresa a su estado inicial y al
mismo tiempo rota el indexor
portb =0x0A; //avanzan las dos bandas por el relé y se reinicia ciclo
delay_ms(800);
portb=0b10001010;
delay_ms(1000);
portb=0b01001010;
delay_ms(1000);
portb=0b00101010;
delay_ms(1000);
portb=0b00011010;
delay_ms(1000);
portb=0x00;
break;
}}
else {
portd = 0x00;
portb= 0x00;
}
}}
```

Programa de la Gal que controla a las dos poleas del Fitting Speedy.

```
IEEE;
```

```
IEEE_std_1164.all;
```

```
entity arpon is part c
```

```
A,B,C: in std_logic;
```

```
x,y: out std_logic
```

```
);
```

```
end entity;
```

```
architecture arpon of arpon is
```

```
begin
```

```
    x<= (C and (not A));
```

```
    y<= x;
```

```
end arpon;
```

CONCLUSIONES

- El Fitting Speedy cumple con el objetivo de incrementar el proceso y obtener el Cpk mayor o igual a 1.67 al ser un ensamble uniforme y más controlado en comparación al proceso manual.
- Este dispositivo aumenta la producción en una proporción 5 a 1 con respecto al proceso de ensamble manual.
- El Fitting Speedy es un dispositivo versátil que puede integrarse a una línea de producción o a una célula de manufactura, integrándose a lo que es Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing).
- También se integra a soluciones de filosofía Seis Sigma cuya finalidad es el ahorro, el valor agregado y los cero defectos.
- Otros factores que pueden cuantificarse en beneficio son la disminución del desperdicio (scrap), reducción en los costos de operación, provee de mayor seguridad al operador al no utilizar herramientas que puedan provocarle lesiones.
- El uso de dispositivos mecatrónicos en tareas repetitivas se convierte en una alternativa para la pequeña y mediana empresa, la inversión sería mínima comparada con los beneficios obtenidos en el corto o mediano plazo.
- La mecatrónica es una herramienta poderosa para dar soluciones a problemas que se presentan en la industria al integrar varias disciplinas en una misma.

BIBLIOGRAFIA

- *SKF Catálogo General*
- *Catálogo de Poleas y Bandas Martin*
- *Festo Catálogo Sensores y Actuadores*
- *Herramientas Seis Sigma*

Manual de Mabe

Manual de Ford Motor Company