 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# DESARROLLO DE PLANTA CERÁMICA PROTOTIPO AUTOMATIZADA

Juan Esteban Arango Amaya

Alexander Quintana Tangarife

Miguel Ángel Bolívar Calle

Ingeniería Mecatrónica

Juan Gonzalo Ardila Marín

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**  
**9 de julio del 2018**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

En la industria colombiana de la actualidad, existen diversas y grandes empresas empeñadas en la fabricación de piezas cerámicas como lo son el grupo Corona o Eurocerámica, las cuales están casi o totalmente automatizadas en sus procesos de manufactura; pero aún existen en la micro y mediana empresa procesos que no tienen mucho de automatización, a los cuales va dirigido este prototipo como alternativa de automatización para implementar y mejorar sus procesos de fabricación y así crecer a nivel industrial; además se pretende dejar un prototipo material didáctico para que los estudiantes de áreas afines a la automatización para poner en práctica los conocimientos obtenidos y una leve vistazo a lo que es un proceso de automatizado en la industria.

Para ello se implementó una metodología de diseño compacta, llevando así a un prototipo con pocas piezas y fácil de instalar, pero posteriormente analizando y discutiendo acerca de los procesos de manufactura requeridos para el mecanizado, corte o impresión de las piezas en cuestión, se optó por un cambio en la metodología de diseño, para esto un diseño modular fue implementado para facilitar la fabricación y ensamble de los componentes del sistema. Seguido de esto, se procedió a manufacturar los componentes utilizando procesos de mecanizado como el torno convencional, la fresadora convencional, la fresadora CNC, la cortadora láser y finalmente la impresión 3D.

El sistema de control se diseñó para ser administrado por un PLC, el cual controla los actuadores y un Arduino UNO que se encarga de subcontrolar otro proceso del sistema, logrando así una comunicación entre dos diferentes plataformas.

*Palabras clave:* Prototipo, automatización, modelado, mecanizado, piezas, molde, tablero de control, Interfaz, conexión, material didáctico, sensor inductivo, termocupla, termoresistor, piñón, cremallera, actuador lineal, inyección, forjado, proceso de cocción, brazo selector, PLC, HMI, Arduino, driver, profinet, relés, convertidor, banda transportadora.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

A Dios.

Por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr los objetivos profesionales los que son culminar la Ingeniería mecatrónica, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros padres.

Por habernos apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que nos ha permitido ser una persona de bien y quienes a lo largo de toda nuestra vida han apoyado y motivado nuestra formación académica con su aporte económico.

A los maestros y personas encargadas de los laboratorios.

A quienes debemos gran parte de nuestros conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza; al Profesor Juan Ardila por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de este proyecto de grado, al profesor Juan Sebastián Botero, al profesor Juan Felipe Betancourt, al profesor Esteban Ocampo, al profesor Wimar Moreno. A los encargados de los laboratorios de la sede de Robledo y de Boston (Laboratorio de Automatización y Control, Taller de máquinas, Taller de Diseño industrial y laboratorio de PLC sede Fraternidad), agradecemos a Vanessa Botero, Nelson Henao, Gabriel Monsalve, Sara Vélez, Jessica García. Agradecemos a laboratorios de Parque i (Laboratorio de Simulación, Modelado y Prototipos, Laboratorio Sistemas de control y Robótica) como lo son el profesor Miyer Valdez, los colegas Joao Mesa y Daniel Betancur por su gran ayuda y apoyo ofrecido para realizar cada pieza de este proyecto y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## ACRÓNIMOS

---

MCD: Mechatronics Concept Designer, módulo de análisis del software PLM NX11

TPV14: TIA PORTAL V14, software de programación para el PLC.

RTD: Temperature Resistor Detector, sensor de temperatura tipo resistivo.

PCPA: Planta cerámica prototipo automatizada.

ABS: acrilonitrilo butadieno estireno, material de impresora 3D.

AL: Actuadores lineales dispuestos en todo el sistema como el troquelador, el inyector y los dispositivos de movimiento lineal.

SII: Semana de la ingeniería ITM.

HMI: Human Machine Interface (Interfaz hombre máquina).

AISI: American Iron and Steel Institute.

PLC: Programmable Logic Controller.

CPU: central processing unit.

V: Voltios.

DC: Corriente directa.

AC: Corriente alterna.

OPC: OLE for process control.

A: Amperios.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. MARCO TEÓRICO .....	10
Concepción de la idea y razón social .....	10
Metodologías de diseño .....	11
Piñones de actuadores lineales.....	14
Piñones de bandas transportadoras .....	16
Cremalleras de actuadores lineales .....	17
Programación. ....	18
Sensores .....	20
Interfaz de programación del PLC.....	24
Interfaz de programación del arduino.....	25
Gabinete de control .....	26
Fuente de alimentación .....	26
Etapa de inyección .....	28
Etapa de forjado .....	29
Etapa de horneado .....	29
Etapa de selección.....	30
Sensores .....	31
Enlace NX-PLC mediante una OPC .....	32
Materiales .....	34
3. METODOLOGÍA.....	38
Etapa 1 .....	40
Desarrollo del concepto.....	41
Desarrollo en el nivel de sistema .....	42
Diseño de detalle.....	48
Pruebas y refinamiento .....	49
Inicio de producción.....	50
Etapa 2 .....	56
Planeación.....	56

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Desarrollo del concepto y diseño en el nivel de sistema. ....	57
Diseño de detalle.....	59
Pruebas de funcionamiento .....	60
Inicio de producción.....	60
Programación y puesta a punto .....	61
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	67
REFERENCIAS .....	69
APÉNDICE.....	73

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

El mundo avanza a una velocidad descomunal, y no solo en cuestiones culturales y de ideologías, sino también en tecnología; día tras día millones de ideas fluyen entre las personas transformando poco a poco lo que conocemos como actualidad, porque estar actualizado hoy en día es tan solo un concepto muy subjetivo y para cada quien tendrá un significado distinto. Veamos el mundo tecnológico, la industria 4.0 nos abruma con cada día más y más independencia en los procesos de manufactura y producción industrial, podemos observar como lentamente nos quedamos atrás, porque solo un puñado de las industrias colombianas tienen acceso a los recursos necesarios para hacer evolucionar sus procesos.

Las demás se sostienen a base del arduo trabajo e incluso los riesgos que se corren a la hora de sobre explotar el personal, es por esto que nuestro proyecto va dirigido a todas esas micro y medianas empresas que quieren expandir sus horizontes y tocar el amplio mundo de la automatización con propuestas económicas y efectivas para mejorar sus procesos y ampliar su capacidad de producción en cuanto a tiempos, cantidades y calidad en los procesos.

## OBJETIVOS

### General:

Desarrollar un prototipo de proceso automatizado de banda transportadora para la fabricación de piezas cerámicas, mediante un PLC y una interfaz HMI.

### Específicos:

- Diseñar un prototipo de una línea de producción de un proceso automatizado para la fabricación de piezas cerámicas, mediante herramientas que nos brinda la tecnología y el avance computacional como lo son los softwares PDM (SOLIDWORKS), PLM (NX) y CAM (SprutCam) para el diseño y simulación en tiempo real de cada proceso.
- Fabricar todo el sistema diseñado en los softwares por medio de herramientas de mecanizado que nos brinda la Institución universitaria ITM como lo son tornos convencionales y fresadoras, máquinas tipo CNC (Milltronics y Leadwell V40) para fabricar las partes estructurales y accionamientos del sistema, cortadora laser e impresión 3D (Makerbot) para moldear las piezas de soporte y ensamble del sistema.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Poner a punto todo el ensamble y probar toda la programación hecha en el software TIA portal V14 SP1 y Arduino por medio de los laboratorios de Automatización, circuitos eléctricos y laboratorio de modelado y prototipos que nos brinda la Institución universitaria ITM.

Llevar un sistema de este tipo desde la idea hasta el prototipo, requiere de un proceso en el cual algunos detalles sobre este mismo sean analizados y así poder transformar la idea desde su concepción e ir la modificando a medida que sea requerido. En la primera fase y basados en la experiencia de un compañero como mecánico industrial en el grupo CORONA, nació la idea de desarrollar un sistema de producción de piezas cerámicas, para ello se dio inicio a la concepción de la idea mediante metodologías de diseño descritas en el libro de Diseño y desarrollo de productos de Ulrich y Eppinger (D. Eppinger & T. Ulrich, 2013).

Inicialmente todo planteamiento tiene su metodología de diseño, en la cual se formula una estrategia a seguir para ir adaptando y mejorando el diseño a medida que se van considerando las necesidades, no solo teniendo en cuenta razones de funcionamiento sino también adaptabilidad en automatización e incluso mejoras futuras que se le puedan hacer al propio sistema. Seguidamente, se procede a diseñar propiamente cada etapa y componente de forma adecuada en base a estudios y análisis planteados para piezas mecánicas, por ejemplo, en este caso para diseño de ejes mediante información obtenida en el libro de Diseño de elementos de máquinas de Mott (Mott, 2006).

Posteriormente el proceso de mecanizado y fabricación de componentes en el cual es importante tener en cuenta los procesos y fórmulas para poder llevar a cabo un buen proceso para dar alineación, acabado y resistencia a las piezas maquinadas; como bien se indica en el libro de Máquinas de A. L. Casillas (Casillas, 2008).

Una vez terminado el proceso de maquinado, es importante proceder al ensamble y montaje de cada uno de los sistemas y así dar paso al diseño eléctrico pensado a medias durante el proceso de diseño, los actuadores y sensores dispuestos a ser montados y ensamblados; para así construir el gabinete de control de la PCPA.

Finalmente, para dar por terminado el proyecto, se presenta la puesta a punto y calibración de todos los componentes del sistema para así dar paso a la evaluación y discusiones acerca de los resultados obtenidos durante todo el proceso desde la idea, hasta la evaluación del proyecto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

Cada desarrollo llevado a cabo dentro de este mundo tecnológico ha tenido sus inicios siempre en base a unas necesidades, en donde se estudia el proceso y se plantean distintas ideas para tratar de brindar una solución precisa y concreta a cada una de estas. Este proyecto nace desde la experiencia de uno de los desarrolladores de este proyecto como mecánico industrial en el grupo CORONA, lugar donde tuvo la oportunidad de enriquecer sus conocimientos acerca de los procesos requeridos para la manufactura de piezas cerámicas; pero de aquí surgen algunas cuestiones, las cuales dieron vida a este proyecto. Siendo CORONA una gran empresa dedicada a los cerámicos, con un alcance internacional dado su estructuración y tecnología ¿Qué sucede con las pequeñas y medianas empresas con la misma razón social? Y ¿Qué opciones tienen estas empresas de mejorar su alcance y productividad?

### Concepción de la idea y razón social

Tras varias consultas en medio digitales, se llegó a la historia del nacimiento de la locería artesanal en el Carmen de Viboral, municipio de Antioquia, Colombia. En este lugar hubo una época dorada de la manufactura de piezas cerámicas de forma artesanal, siendo así el sustento de muchas familias, las cuales tenían sus propios talleres; todo inició por el año de 1898, en el cual llegó el empresario Eliseo Pareja al municipio, quien se encargó de fundar la “Locería del Carmen”, la cual dio paso a la creación de diferentes locerías dedicadas a este oficio y se convirtieron en una de las formas de subsistencia para las familias del municipio (Artesanías de Colombia, 2015).

Finalmente muchas locerías se fueron incorporando hasta lo que hoy en día llaman “La tradición cerámica” en donde poco a poco fueron apareciendo muchas fábricas artesanales como: La Locería Júpiter, Cerámica Moderna, Cerámica Independencia o La Nueva, Cerámica Kiramá y El Trébol, Cerámica Modelo, Cerámica Libertad, Cerámica Indo-americana, Cerámica Nacional, Cerámica Palissy, Cerámicas El Cóndor, Cerámicas La Continental, Cerámicas Medellín, Cerámicas San Antonio, Cerámicas El Progreso, Cerámicas Gema, Cerámicas El Dorado, entre otras; varias de estas fábricas se unieron para conformar

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

una gran empresa denominada Cerámicas Unidas. La fábrica más grande llegó a tener hasta 300 empleados y varios hornos al carbón (Ramos, 2014); en la figura 1 se presenta una muestra de artesanía en la cual se hace reconocimiento al pionero de la época dorada de la cerámica en el Carmen de Viboral.



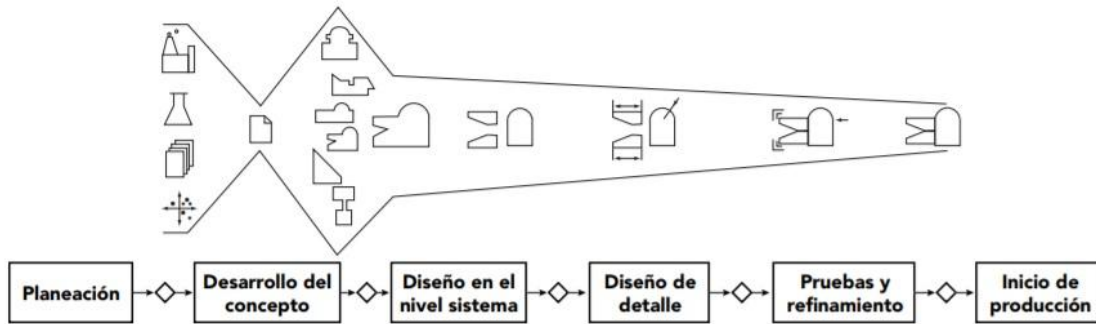
**Fig 1.** Eliseo Pareja (Artesanías de Colombia, 2015).

Pero el paso del tiempo trajo la introducción de las nuevas tecnologías, la fabricación en masa causó un gran impacto y debido a esto los precios cayeron junto con la rentabilidad de los negocios, así, poco a poco muchos de estos talleres artesanales fueron desapareciendo uno a uno hasta que hoy en día solo quedan unos cuantos y eso dio por terminada la época dorada de la cerámica. Fue entonces nació la razón social de este desarrollo como alternativa de bajo costo que permita a las pymes colombianas dedicadas a la manufactura de piezas cerámicas, extender su competitividad y poder sostenerse en un mercado el cual es cada vez más controlado por las grandes industrias.

## Metodologías de diseño

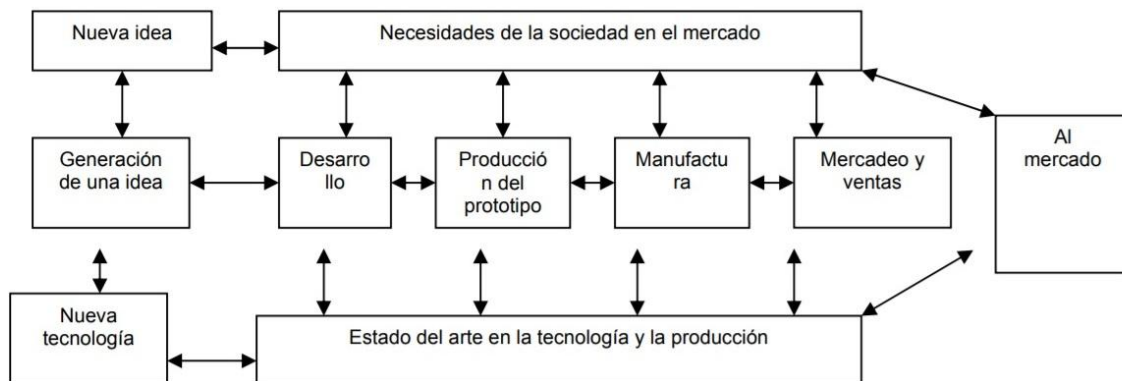
Una vez decidido el curso de acción y dada la experiencia ya adquirida durante el curso de formulación y evaluación de proyectos, el cual fue dictado por el profesor Wilmar Franco; se procedió a buscar una metodología específica para el desarrollo de este prototipo. Seguidamente se procedió a analizar entre los textos encontrados como libros sobre diseño de productos y publicaciones específicas sobre metodologías de diseño para así finalmente elegir tres candidatos de propuesta para desarrollar el prototipo.

La primera es “Proceso genérico para el desarrollo de un producto” la cual pertenece al texto “Diseño y desarrollo de productos de Ulrich y Eppinger” (D. Eppinger & T. Ulrich, 2013), en la figura 2, se presenta el proceso metodológico propuesto por el texto, el cual consta de seis etapas para dar paso desde la planeación de la idea, hasta el inicio de la producción respecto a los procesos de diseño más gruesos como los de concepto hasta los más sutiles como lo son los detalles; haciendo de esta una metodología concreta y apta para ser llevada a cabo.



**Fig 2.** Proceso genérico de desarrollo (D. Eppinger & T. Ulrich, 2013)

La segunda corresponde a una publicación titulada “Metodología para el desarrollo de nuevos productos” publicada por Juan Pablo Giraldo (Giraldo, 2004); tal y como se muestra en la figura 3, el modelo de parejas propone una sistemática metodología que va desde la idea hasta el mercado pasando por procesos de concepción y conceptos, hasta procesos de producción y manufactura, todo esto, pensando tanto en el estado del arte respecto al producto como en las necesidades pertinentes del mercado, cualidades que le otorgan a esta metodología una completa configuración orientada hacia el desarrollo de un producto bien pensado.

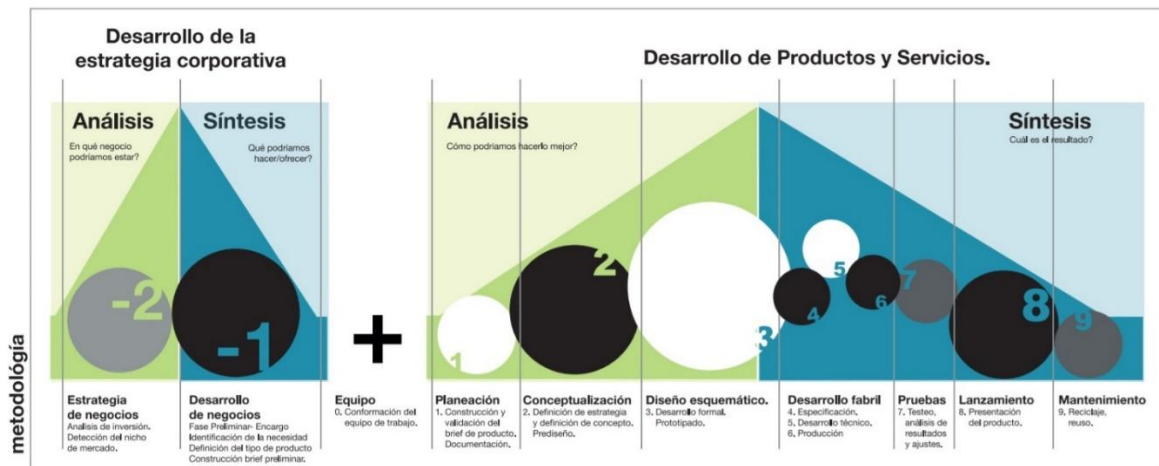


FUENTE: Successful Industrial Innovation Roy Rothwlee.

**Fig 3.** Modelo de parejas (Giraldo, 2004).

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Finalmente, el artículo escrito por Cecilia Ramírez León, la cual propone un modelo metodológico para el desarrollo de productos el cual se titula “Propuesta metodológica para el desarrollo de productos” (León, 2010); En la figura 4 se muestra propuesta, en la cual se presenta una estructura en dos etapas, una de estrategia corporativa y la otra de desarrollo de productos y servicios; en las cuales se presenta una metodología concreta para el desarrollo paralelo entre los asuntos de productos, servicios y estrategias corporativas; haciendo de esta técnica eficaz para los futuros modelos de negocios.



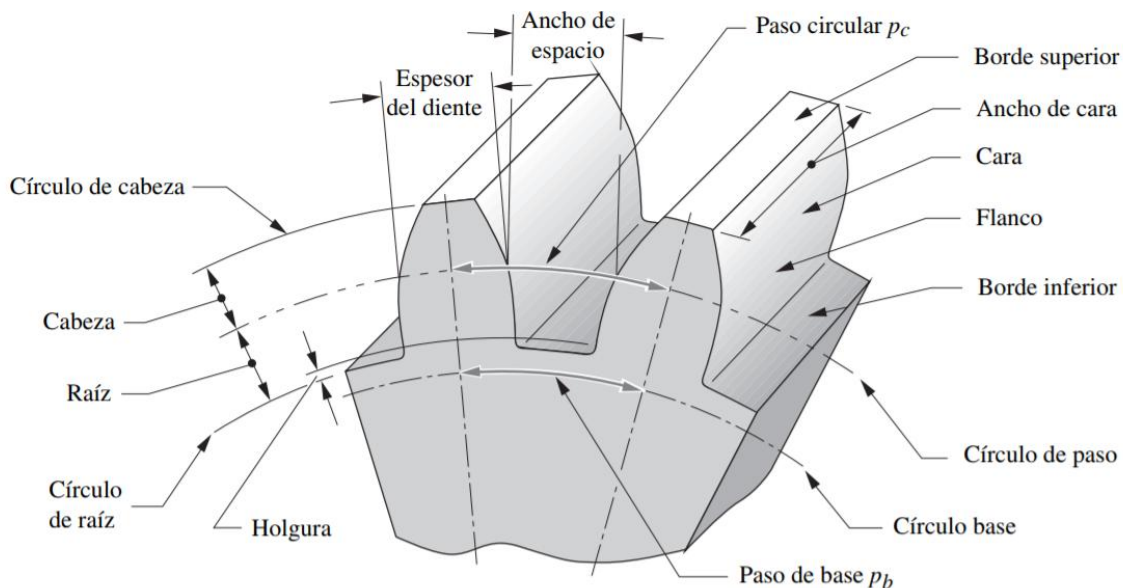
**Fig 4.** Propuesta metodológica para el desarrollo de productos (León, 2010).

Una vez seleccionados los métodos, se procedió a analizar los pros y los contras entre estos, respecto a la tercera opción la cual se muestra en la figura 4, dados los enfoques esquemáticos de este y su orientación respecto a negocios, fue descartada ya que no ofrece un enfoque respecto al desarrollo de la idea ya que esta está más cruda de lo requerido por esta metodología.

Las consideraciones en cuanto a la metodología del modelo de parejas mostrado en la figura 3, se acordó que esta metodología es una muy buena opción para el desarrollo del prototipo ya que presenta un proceso que parte desde la idea hasta el lanzamiento en el mercado del producto terminado, pero se optó por el proceso de metodología genérico presentado en la figura 2 por dos razones: la primera fue por la forma metodológica más concreta dentro de la concepción de la idea hasta el prototipo funcional y la segunda fue por la experiencia ya adquirida durante la formación dado que esta metodología fue implementada en el curso de formulación y evaluación de proyectos, el cual fue dictado por el profesor Wilmar Franco.

## Piñones de actuadores lineales

Dados los requerimientos respecto a mecanismos necesarios para los accionamientos que componen el sistema y una vez elegidos los mecanismos tipo piñón cremallera fue necesaria una elección de diámetro exterior apropiado para tener un buen accionamiento y un tamaño compacto de carcasa para este actuador en particular, por eso se utilizó el texto de Norton de Diseño de maquinaria (Norton R. , 2009), en la sección de trenes de engranajes y así se procedió a determinar las características del piñón; en la figura 5 se muestran las principales características y datos requeridos para calcular los piñones.



**Fig 5.** Nomenclatura del engrane (Norton R. , 2009)

Entonces haciendo un contraste con las ecuaciones mencionadas en el texto guía de Norton,  $D_p$  el *diámetro primitivo o círculo de paso*,  $Z$  el *número de dientes* y  $M$  el *módulo*, una vez elegido el número de dientes y el módulo, se puede calcular el diámetro primitivo o círculo de paso ( $D_p$ ), posteriormente a calcular el círculo de cabeza o diámetro exterior ( $D_e$ ), el círculo de base o diámetro interior ( $D_i$ ), el paso ( $P$ ) y el espesor del diente ( $e$ ); todo esto mediante las siguientes expresiones:

$$D_p = Z * M \quad (1)$$

$$D_e = D_p + 2M \quad (2)$$

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$D_i = D_p - 2M \quad (3)$$

$$P = \pi M \quad (4)$$

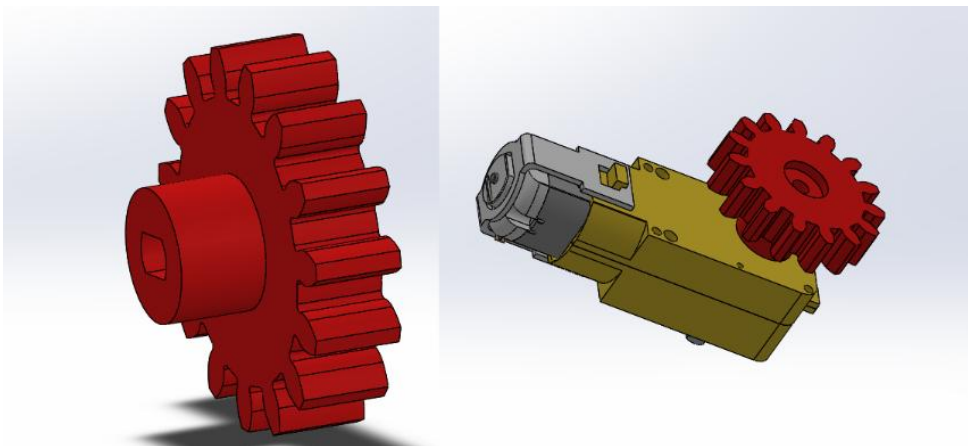
$$e = 0.5 * P \quad (5)$$

Finalmente, y dada la cantidad de actuadores lineales requeridos por los sistemas de la planta; queda entonces definido el requerimiento de 4 actuadores lineales y, por ende, 4 piñones de iguales características las cuales son presentadas en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Piñones de actuadores lineales

<b>PIÑONES DE ACTUADORES LINEALES</b>							
<i>Actuador</i>	<i>D<sub>p</sub></i>	<i>Z</i>	<i>M</i>	<i>D<sub>e</sub></i>	<i>D<sub>i</sub></i>	<i>P</i>	<i>e</i>
Inyector	30	15	2	34	26	6,283185307	3,1416
AL1	30	15	2	34	26	6,283185307	3,1416
Troquelador	30	15	2	34	26	6,283185307	3,1416
AL2	30	15	2	34	26	6,283185307	3,1416

Entonces respecto al modelado de estos sistemas y considerando el motor que accionaría dicho, en la figura 6 se presenta el modelo CAD de este dispositivo.



**Fig 6.** Piñón de actuadores lineales y motorreductor.

La geometría del piñón se diseñó para ser ensamblada en este motor el cual ofrece una solución versátil y compacta de accionamiento y así dar paso al diseño de las cremalleras las cuales serían accionadas por este sistema.

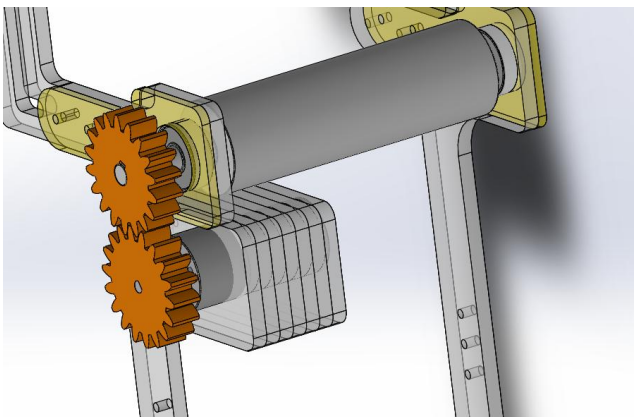
## Piñones de bandas transportadoras

El mecanismo de bandas transportadoras también fue pensado para ser accionado por un motorreductor mediante engranajes; por temas de geometría y dado que siempre fue preferible tener un mecanismo compacto, se optó por mecanizar los mismos engranajes, pero con geometría distinta para así ser adaptados fácilmente a los mecanismos pensados para las bandas transportadoras. Para esto se procedió entonces a realizar las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5; con respecto al procedimiento anteriormente descrito para los piñones de los actuadores lineales y todo esto en base a la figura 5, para condensar la información en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Piñones y engranajes de bandas transportadoras

<b>PIÑONES Y ENGRANAJES DE BANDAS TRANSPORTADORAS</b>							
<i>Actuador</i>	$D_p$	$Z$	$M$	$D_e$	$D_i$	$P$	$e$
Engranaje B1	30	15	2	34	26	6,283185307	3,141592654
Piñón B1	30	15	2	34	26	6,283185307	3,141592654
Engranaje B2	30	15	2	34	26	6,283185307	3,141592654
Piñón B2	30	15	2	34	26	6,283185307	3,141592654

Igual que en la sección anterior, y con la información condensada en la tabla 2, los modelos CAD para el accionamiento de las bandas transportadoras de la planta fueron pensados y así su ensamble fue completado para dar paso al mecanizado de los engranajes requeridos tal y como se muestra en la figura 7.



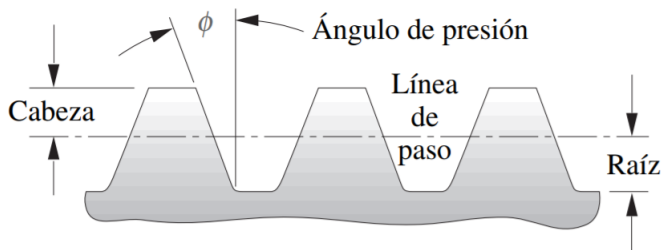
**Fig 7.** Piñón y engranaje de bandas transportadoras con motorreductor y rodamientos.



Este mecanismo consta de una estructura en la que va montado el motor y otra en la que va montado el rodillo principal, y mediante los engranajes es como se le transfiere el torque generado desde el motor al accionamiento principal de la banda transportadora.

## Cremalleras de actuadores lineales

En el texto de Diseño de maquinaria de Norton, se define la cremallera como un engranaje cuyo diámetro de base es tan grande que alcanza a ser una línea recta, dado que la cuerda de este círculo que genera la involuta aparentemente sigue en su lugar luego de que el diámetro de base es elevado casi al infinito, la cuerda tendría su centro en el infinito y generaría una involuta en línea recta; a este engrane lineal se le conoce como cremallera. Sus dientes tienen forma trapezoidal, aunque siguen siendo involutas (Norton R. , 2009), (ver figura 8).



Cremallera de involuta de profundidad total estándar

**Fig 8.** Nomenclatura de cremallera (Norton R. , 2009)

Una vez determinado el mecanismo necesario es importante saber que datos son necesarios: el paso (P), y el espesor de los dientes (e) y el módulo (M); así nuevamente tomando en cuenta las ecuaciones 4 y 5 para estos análisis; además se tuvo en consideración la longitud necesaria respecto a cada actuador para así finalmente diseñar la cantidad de dientes que estos deberían tener para finalmente condensar la información de las 4 cremalleras requeridas y así catalogar sus propiedades.

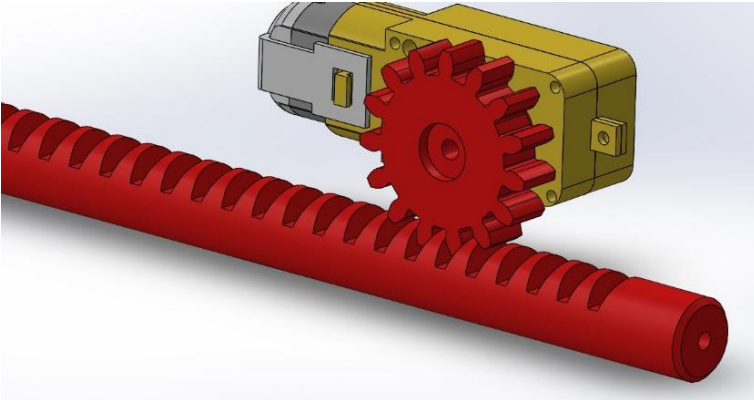
**Tabla 3.** Cremalleras de actuadores lineales

<b>CREMALLERAS DE ACTUADORES LINEALES</b>					
Actuador	L (mm)	Z	M	P	e
Cremallera AL1	235	33	2	6,2832	3,1416
Cremallera Inyector	107	14	2	6,2832	3,1416
Cremallera Troquelador	160	22	2	6,2832	3,1416

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cremallera AL2	220	30	2	6,2832	3,1416
----------------	-----	----	---	--------	--------

Por consiguiente, el análisis de funcionamiento de este sistema y su ensamble final es indispensable para su concepción final, en la figura 9 se muestra el modelo CAD del ensamble del mecanismo de piñón y cremallera responsable del accionamiento de los actuadores lineales.



**Fig 9.** Mecanismo piñón y cremallera.

Es muy interesante como se puede transformar un movimiento rotacional en un movimiento lineal a través de este tipo de sistemas, ya que se transfiere el torque generado por el motor a la cremallera a través de sus dientes y la conexión entre estos genera el movimiento axial en la cremallera otorgando así la dirección requerida al mecanismo respecto a su funcionamiento.

## Programación.

La programación de este prototipo lleva dos etapas, esto debido a que tiene un controlador principal que se encarga de la mayor parte de las funciones del sistema y de un controlador secundario, el cual, estando a la espera de órdenes de operación desde el controlador principal, se encarga de otro proceso dentro del prototipo.

El controlador principal es un PLC Siemens S7-300 modular con CPU 314C-2DP y como módulo de expansión está un dispositivo adaptador de comunicaciones CP343-1 el cual le da la facilidad de comunicarse vía ethernet con otros dispositivos como la HMI encargada de mostrar al usuario la interfaz gráfica de control.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

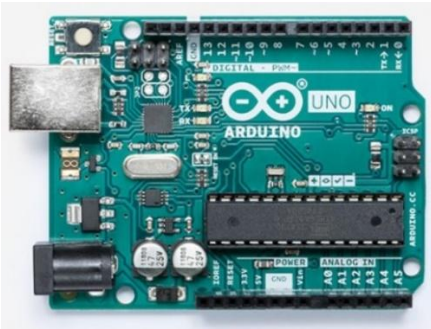
En la figura 10 se presentan las propiedades de este módulo PLC, el cual, se adapta perfectamente a la cantidad de entradas y salidas tanto digitales como análogas para así poder llevar a cabo el completo control de la planta, dejando como mínimo un 15% de potencial expansión para trabajo futuro sobre el dispositivo.

Áreas de direccionamiento (entradas y salidas)	CPU 314C-2 PIP	CPU 314C-2 DP
Área de direccionamiento de periferia (total)		
• Entradas	1024 bytes (de direccionamiento libre)	1024 bytes (de direccionamiento libre)
• Salidas	1024 bytes (de direccionamiento libre)	1024 bytes (de direccionamiento libre)
• De ellos, descentralizados		
– Entradas	Ninguno	979 bytes
– Salidas	Ninguno	986 bytes
Imagen de proceso E/S		
• Entradas	128 bytes	128 bytes
• Salidas	128 bytes	128 bytes
Canales digitales		
• Canales integrados (DI)	24	24
• Canales integrados (DO)	16	16
• Entradas	1016	7856
• Salidas	1008	7904
• Entradas, de ellas centralizadas	1016	1008
• Salidas, de ellas centralizadas	1008	1008
Canales analógicos		
• Canales integrados (AI)	4 + 1	4 + 1
• Canales integrados (AO)	2	2
• Entradas	253	494
• Salidas	250	495
• Entradas, de ellas centralizadas	253	253
• Salidas, de ellas centralizadas	250	250

**Fig 10.** Propiedades del PLC S7-300 (Siemens AG, 2008).

El otro controlador es un Arduino UNO, el cual es controlado desde el PLC mediante dos entradas, las cuales le indican a este como posicionar el selector dependiendo de la selección del operario en la pantalla de control, tal y como se muestra en la figura 11.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Fig 11.** Arduino UNO (Arduino, 2018)

Este sistema de control embebido ofrece un excelente potencial de control para el proceso sub-controlado por este, ya que una vez que es ordenado desde el PLC la acción, este actúa poniendo el selector en la posición ordenada; además, ofrece un potencial de expansión alto para trabajo futuro.

## Sensores

Dentro del sistema existen tres tipos de sensores, los cuales se encargan de el accionamiento de los actuadores lineales, las bandas y el horno; en la figura 12 se muestra un sensor de tipo inductivo, el cual, reacciona a la presencia de metales así detectando el paso del molde por ciertas secciones del proceso. Inicialmente en la etapa 1 se tiene un sensor inductivo, el cual se encarga de dar inicio o continuidad al proceso, ya que sin este no inicia la producción debido a que este le dice al sistema que hay un molde en el sistema de entrada y en la etapa 2 hay otro que le indica al controlador cuando detener la banda y accionar el troquelador para forjar el plato.



**Fig 12.** Sensor Inductivo LJ12A3-4-Z/BX (BIGTRÓNICA, 2018).

En la figura 13 se muestra un final de carrera, el cuál básicamente es un suiche; en cada uno de los actuadores lineales, existen finales de carrera, estos son sensores de contacto que al

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ser presionados envían una señal al controlador con el fin de avisar cuando se ha cumplido la tarea para ejecutar otra operación.



**Fig 13.** Final de carrera (I+D Didácticas Electrónicas, 2018)

Dentro del horno existe un sensor de temperatura llamado PT-100, tal y como se muestra en la figura 14, el cual se encarga de indicarle al controlador la temperatura actual dentro del horno, así este podrá ejecutar la receta dependiendo del tipo de material y el tiempo de cocción programado en el panel de control; otorgando así la posibilidad de control respecto al funcionamiento y el horneado del material.



**Fig 14.** RTD-PT100 (I+D Didácticas Electrónicas, 2018)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Este sensor es de tipo resistivo y varía esa resistencia a medida que la temperatura aumenta, su nombre indica que, a cero grados, la resistencia de este es de 100  $\Omega$  y aumenta proporcional al cambio de temperatura, tal y como se puede observar en la figura 15, la cual corresponde a la tabla de valores de la resistencia del sensor RTD PT-100 y su respuesta al cambio de temperatura, cabe resaltar que este módulo de controlador elegido tiene un canal de entrada especial para este sensor y permite el hecho de poder descartar algún tipo de acondicionamiento extra para las mediciones de temperatura para este sensor.

Pt 100  
ohms

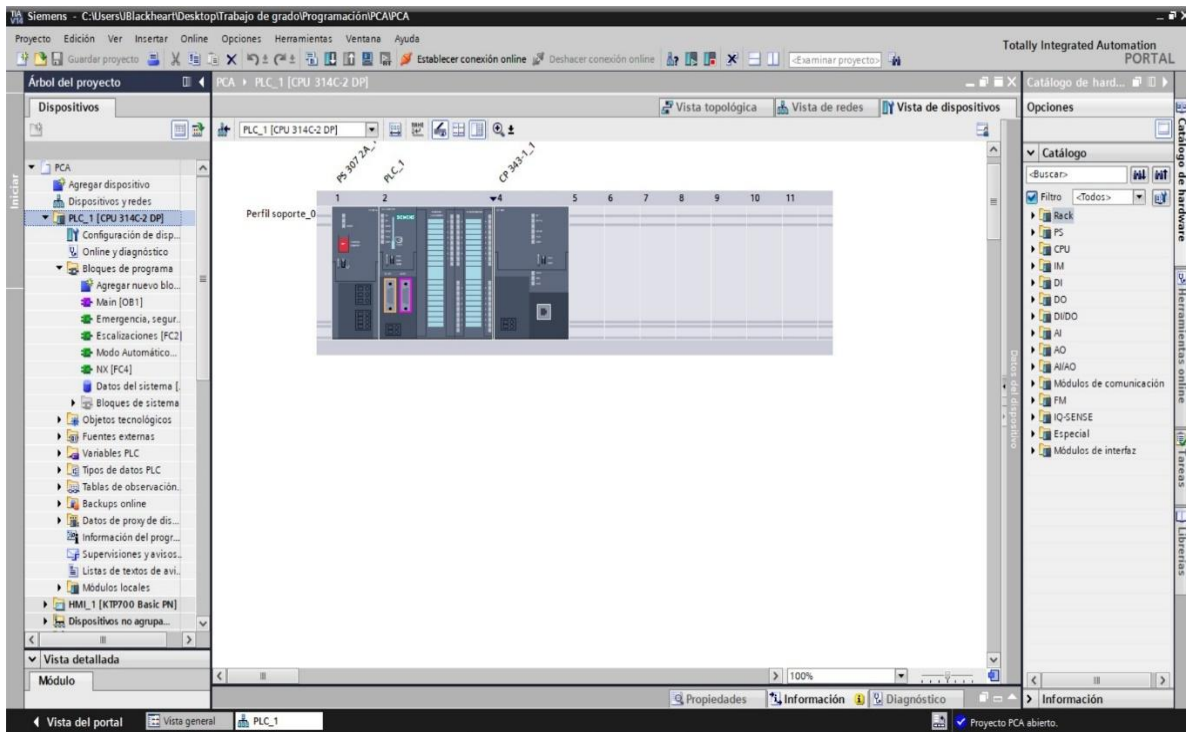
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-190	22.78	22.35	21.93	21.50	21.08	20.66	20.23	19.81	19.38	18.96
-180	27.01	26.59	26.17	25.74	25.32	24.90	24.47	24.05	23.63	23.20
-170	31.24	30.81	30.39	29.97	29.55	29.13	28.70	28.28	27.86	27.44
-160	35.45	35.03	34.61	34.19	33.77	33.34	32.92	32.50	32.08	31.66
-150	39.65	39.23	38.81	38.39	37.97	37.55	37.13	36.71	36.29	35.87
-140	43.78	43.37	42.96	42.54	42.13	41.72	41.30	40.89	40.48	40.06
-130	47.90	47.49	47.08	46.67	46.26	45.85	45.43	45.02	44.61	44.20
-120	52.01	51.60	51.19	50.78	50.37	49.96	49.55	49.14	48.73	48.32
-110	56.11	55.70	55.29	54.88	54.48	54.07	53.66	53.25	52.84	52.43
-100	60.20	59.79	59.38	58.98	58.57	58.16	57.75	57.34	56.93	56.52
-90	64.23	63.83	63.43	63.02	62.62	62.22	61.81	61.41	61.01	60.60
-80	68.25	67.85	67.45	67.05	66.65	66.25	65.84	65.44	65.04	64.64
-70	72.26	71.86	71.46	71.06	70.66	70.26	69.86	69.46	69.06	68.66
-60	76.26	75.86	75.46	75.06	74.67	74.27	73.87	73.47	73.07	72.67
-50	80.25	79.85	79.45	79.06	78.66	78.26	77.86	77.46	77.06	76.66
-40	84.22	83.83	83.43	83.03	82.64	82.24	81.84	81.44	81.05	80.65
-30	88.18	87.79	87.39	87.00	86.60	86.21	85.81	85.41	85.02	84.62
-20	92.13	91.74	91.35	90.95	90.56	90.16	89.77	89.37	88.98	88.58
-10	96.07	95.68	95.29	94.89	94.50	94.11	93.71	93.32	92.92	92.53
0	100.00	99.61	99.22	98.82	98.43	98.04	97.65	97.25	96.86	96.47
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.41
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.74	110.12	110.51	110.90	111.29
30	111.67	112.06	112.45	112.84	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.16
40	115.54	115.93	116.32	116.70	117.09	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69
70	127.07	127.46	127.84	128.22	128.60	128.99	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.08	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.67	143.04	143.42	143.80	144.18	144.55	144.93	145.31	145.69
120	146.06	146.44	146.82	147.19	147.57	147.95	148.32	148.70	149.07	149.45
130	149.83	150.20	150.58	150.95	151.33	151.70	152.08	152.45	152.83	153.20
140	153.58	153.95	154.33	154.70	155.08	155.45	155.83	156.20	156.57	156.95
150	157.32	157.69	158.07	158.44	158.81	159.19	159.56	159.93	160.30	160.68
160	161.05	161.42	161.79	162.16	162.53	162.91	163.28	163.65	164.02	164.39
170	164.76	165.13	165.50	165.88	166.25	166.62	166.99	167.36	167.73	168.10
180	168.47	168.84	169.21	169.58	169.95	170.31	170.68	171.05	171.42	171.79
190	172.16	172.53	172.90	173.26	173.63	174.00	174.37	174.74	175.10	175.47
200	175.84	176.21	176.58	176.94	177.31	177.68	178.04	178.41	178.78	179.14
210	179.51	179.88	180.24	180.61	180.98	181.34	181.71	182.07	182.44	182.81
220	183.17	183.54	183.90	184.27	184.63	185.00	185.36	185.73	186.09	186.45
230	186.82	187.18	187.55	187.91	188.27	188.64	189.00	189.37	189.73	190.09
240	190.46	190.82	191.18	191.54	191.91	192.27	192.63	192.99	193.36	193.72
250	194.08	194.44	194.80	195.17	195.53	195.89	196.25	196.61	196.97	197.33
260	197.69	198.05	198.41	198.77	199.14	199.50	199.86	200.22	200.58	200.94
270	201.29	201.65	202.01	202.37	202.73	203.09	203.45	203.81	204.17	204.53
280	204.88	205.24	205.60	205.96	206.32	206.68	207.03	207.39	207.75	208.11
290	208.46	208.82	209.18	209.53	209.89	210.25	210.60	210.96	211.32	211.67
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fig 15. Tabla de valores PT-100 (Conbotassucias, 2018)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Interfaz de programación del PLC

El controlador principal fue programado en el software de servicios de Siemens TIA PORTAL V14, como se puede observar en la figura 16, para eso se adoptó una metodología en dos etapas, la primera es el modo manual dirigido; el cual, le permite al operario tanto probar manual e individualmente cada uno de los sistemas del prototipo como operar de forma manual el mismo; el otro es el modo automático en el cual una vez detectado el molde en la primera etapa, este procede a la inyección, el forjado, la horneado y la selección de forma automática y continua hasta presionar el botón stop o se genere una situación de emergencia dentro de los parámetros programados; el código en ladder programado en el PLC se encuentra descrito en el Apéndice G.



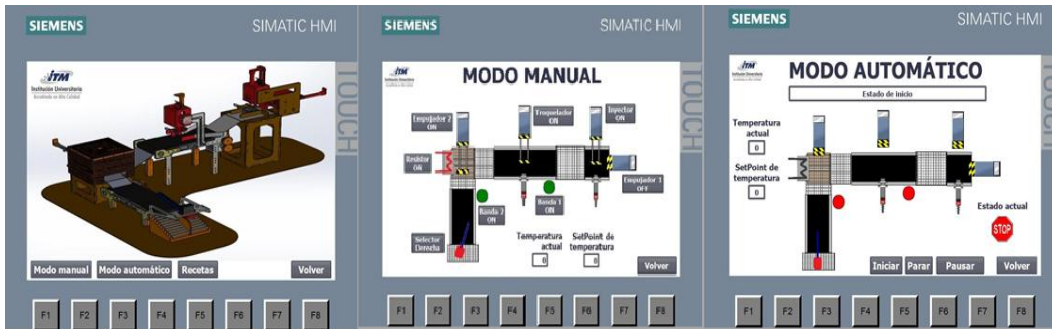
**Fig 16.** Siemens TIA PORTAL V14.

Todos estos sistemas son controlados mediante una pantalla Siemens KTP700 Basic Color PN, como se muestra en la figura 17, la cual recibe información desde el PLC vía ethernet y está igualmente acciona comandos en el controlador dependiendo de los parámetros fijados por el operario desde esta. Esto es lo que se conoce como HMI, en donde una interfaz gráfica de control permite una correcta visualización de los procesos y los sistemas, además de parámetros como temperaturas programadas y actuales; en el apéndice F se



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

encuentran los manuales de operación e instructivo de operación y puesta a punto del prototipo, además del apéndice G donde se encuentra la programación del PLC y la programación de la HMI en el apéndice H.



**Fig 17.** Panel de control KTP700 Basic PN.

## Interfaz de programación del Arduino

Una vez programado el PLC se procedió a programar el Arduino en su interfaz de desarrollo, como se puede observar en la figura 18, este dispositivo está a cargo del control del servomotor; este recibirá a su vez dos señales de entrada desde el PLC, una accionará el servomotor de la etapa 4 encargado de guiar el molde a su clasificación hacia la derecha y la otra hará lo mismo, pero hacia la izquierda; dando así la opción al controlador principal de dirigir el molde hacia su punto de clasificación final; los detalles pueden ser observados en el apéndice I.



**Fig 18.** ArduinoCC

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Gabinete de control

Una vez diseñado el sistema, tomando en consideración la sensórica pensada para cada uno de los sistemas y la programación ya estipulada para el comportamiento de la máquina en general; para así construir el gabinete de control, el cual, es mostrado en la figura 19; este fue construido en mdf y montado para contener y proteger los dispositivos de control del sistema.

Se pensó entonces un gabinete de control que fuese capaz de albergar tanto la fuente como los dispositivos de control; para ello se diseñó una caja para ser cortada mediante cortadora laser en MDF; En esta estarían ensamblados los relevadores, los dispositivos de potencia, los drivers de los actuadores, una pantalla HMI de operación y bornes de conexión para así empalmar todos los actuadores a esta.



**Fig 19.** Caja de control

## Fuente de alimentación

Para este sistema se requirieron dos fuentes; una de estas sería la fuente que trae el módulo PLC de 24V y la otra es una fuente dual que proporciona tanto 12V voltios para los motores de las bandas como 5V para los motores de los ALs.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En las figuras 20 y 21, se muestran las fuentes requeridas por el sistema, la primera es la fuente de alimentación de 24V a 2A requerida para alimentar tanto el PLC como las señales de control de entrada como los sensores inductivos y los finales de carrera; en la segunda figura se puede ver la fuente de múltiples salidas a 12V 3.5A, 5V a 6A y -12V a 0.5A; para alimentar el resto de dispositivos como drivers, módulos relé, Arduino y convertidor.



**Fig 20.** Fuente PLC  
(Electricautomationnetwork, 2018)



**Fig 21.** Fuente Dual (BIGTRÓNICA, 2018)

Adicional a esto, fue necesario un convertidor DC-DC para adaptar los motores de los ALs con cremalleras más largas y cremalleras de acero; ya que dado el tamaño o peso de estas fue necesaria más potencia, en la figura 22 se muestra el convertidor implementado el cual baja la tensión de 12V a 8V para así poder darle suficiente corriente al motor para su correcto funcionamiento.



**Fig 22.** Convertidor DC-DC (BIGTRÓNICA, 2018)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

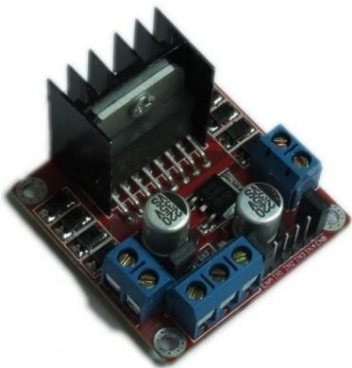
Finalmente, se adaptó a los sistemas de entrada de alimentación eléctrica un disyuntor magnetotérmico para proteger las fuentes de un posible corto o una sobrecarga, tal y como se puede ver en la figura 23, este dispositivo se dispara cuando el consumo de corriente que pasa a través de este sobrepasa los 6A, cerrando el circuito para así proteger los demás elementos del gabinete de control.



**Fig 23.** Disyuntor magnetotérmico (Transworld 2000, 2018)

## Etapa de inyección

En esta etapa existen dos actuadores, los cuales se encargan de llevar a cabo tanto el proceso de inyección como de desplazamiento hacia la siguiente etapa; estos actuadores son accionados mediante un motor DC de 5V los cuales requieren giro en ambos sentidos; para ello se implementó un puente H, como se puede ver en la figura 24, con referencia L298, el cual, permite accionar los motores en sentidos distintos tan solo variando las dos entradas correspondientes a este; dado que esta etapa posee dos motores; este fue elegido por tener dichas características.



**Fig 24.** DRV L298N (I+D Didácticas Electrónicas, 2018)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Este driver en particular tiene 7 entradas, tres son para alimentación y tierras; las demás son de control, siendo así dos por motor. Cuando dos de estas están en el mismo estado, ya sea ambas On o ambas off, el motor estará detenido, en estados diferentes dependiendo de cuál esta On y cual esta off el motor girará en un sentido u otro; eso se controla desde el PLC a través de un relé el cual se activa con la salida del PLC, este, el cual se muestra en la figura 25 se acciona mediante una bobina, la cual cierra un circuito mediante la inducción de un campo electromagnético para así accionar los dispositivos según las órdenes del controlador.



**Fig 25.** Relevador con bobina de 24V (SUCONEL, 2018)

## Etapa de forjado

En esta etapa existen dos actuadores, uno de ellos es de motor de la banda el cual funciona a 12V y solo requiere giro en un sentido, por ende, no necesita driver y es controlado por el PLC mediante un relevador como se muestra en la figura 25. El otro es un motor que acciona el troquelador, el cual necesita un driver que a su vez es accionado por un driver tipo L298N como se muestra en la figura 24, siendo este controlado desde el PLC y sus dos salidas las cuales determinan si el motor está en paro o en giro normal o inverso.

## Etapa de horneado

En esta etapa existen dos actuadores, uno es una termoresistencia que generará el calor mediante corriente eléctrica, la cual es alimentada a 110V; esta es controlada por el PLC mediante un relevador como el que se muestra en la figura 25. El otro actuador es un motor que acciona un piñón y cremallera que necesita inversión de giro, para ello se utiliza un

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

driver L298N como se muestra en la figura 24, el cual es controlado desde el PLC mediante el proceso ya descrito.

## Etapa de selección

En esta etapa existen dos actuadores, el primero es el motor de la banda que es accionado por el PLC mediante un relevador dado que este no necesita inversión de giro; el otro es un servomotor, este se encarga de designar el camino mediante unas paletas bloqueando un lado de la rampa y desbloqueando el otro; este es controlado por un Arduino UNO, el cual se muestra en la figura 26; este recibe dos entradas desde el PLC mediante relevadores como el de la figura 25. Cuando ambas entradas están On u Off, el selector permanece en medio, si estas son diferentes, dependiendo de cuál esté en On y cual esté en off se posicionará a la izquierda o a la derecha.

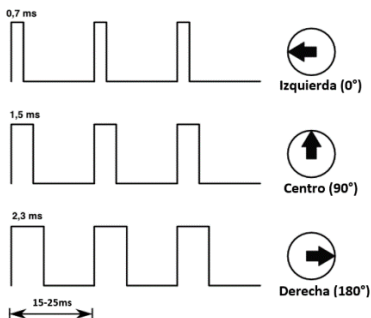


**Fig 26.** Arduino UNO (BIGTRÓNICA, 2018)




**Fig 27.** Servomotor (BIGTRÓNICA, 2018)

En la figura 27 se muestra el servomotor encargado de accionar el brazo selector, este responde a una respuesta enviada desde el Arduino, una señal tipo PWM para posicionar el servomotor en una posición determinada, esta se puede ver en la figura 28 y su respuesta en tiempo necesaria para ordenar al servomotor la posición a adquirir.

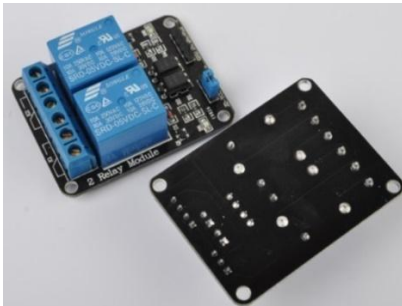


**Fig 28.** Respuesta del servomotor (Naylamp mechatronics, 2018)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

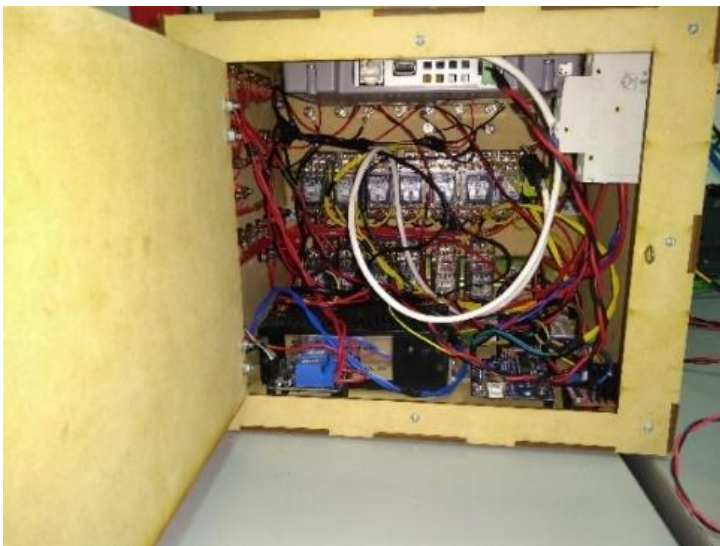
## Sensores

Los sensores en general como los finales de carrera o la PT100 van conectadas directamente al PLC, pero los sensores inductivos si requirieron un acondicionamiento especial mediante un módulo relevador mostrado en la figura 29, permite conectar o desconectar una señal digital que le indicará al controlador la presencia del molde.



**Fig 29.** Módulo Relé (BIGTRÓNICA, 2018)

Al final de este desarrollo queda como producto un gabinete de control ensamblado con bornes y protecciones como se puede ver en la figura 30, para el control de los sistemas de la PCPA, los esquemas de conexión se pueden observar con más detalles en el apéndice E.



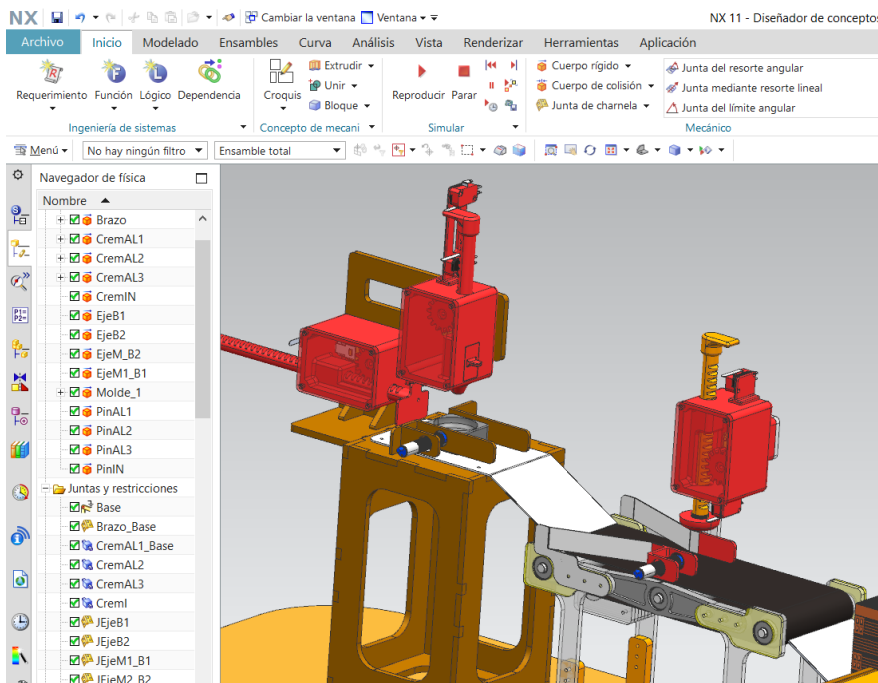
**Fig 30.** Gabinete de control de la PCPA

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Enlace NX-PLC mediante una OPC

Dentro de los paquetes de Siemens NX11 está el MCD como se muestra en las figuras 31 y 31, el cual permite enviar o recibir señales a través de una OPC, a su vez desde el software de ingeniería principal, el cual, en este caso es TPV14, se envían los parámetros de activación y control hacia la simulación en NX para que el PLC controle tanto la máquina en físico como la simulación 3D de esta.

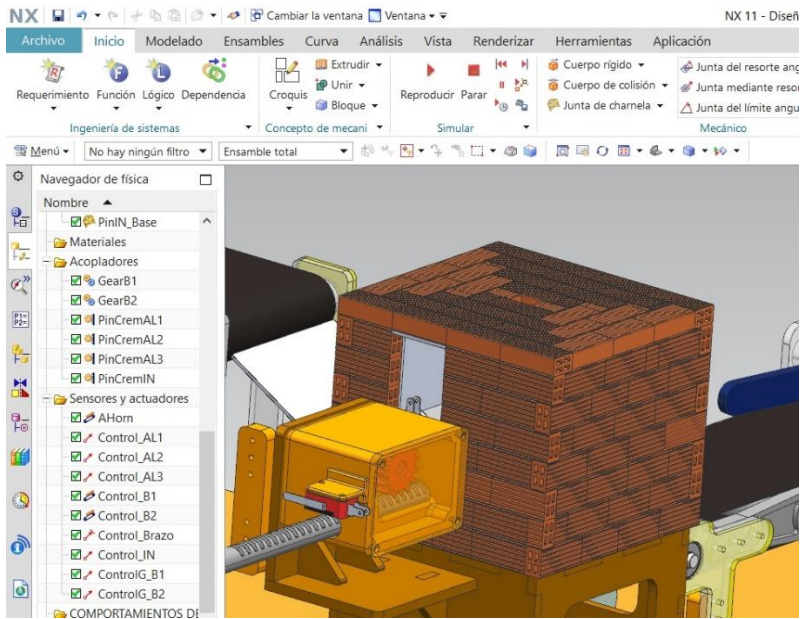
Lo primero es exportar desde SOLIDWORKS el modelo completo del prototipo al software de NX, una vez exportado se procede a abrirlo en el módulo MCD y a definir sus cuerpos rígidos, cuerpos de colisión y tipos de juntas entre mecanismos.



**Fig 31.** Cuerpos rígidos y juntas.

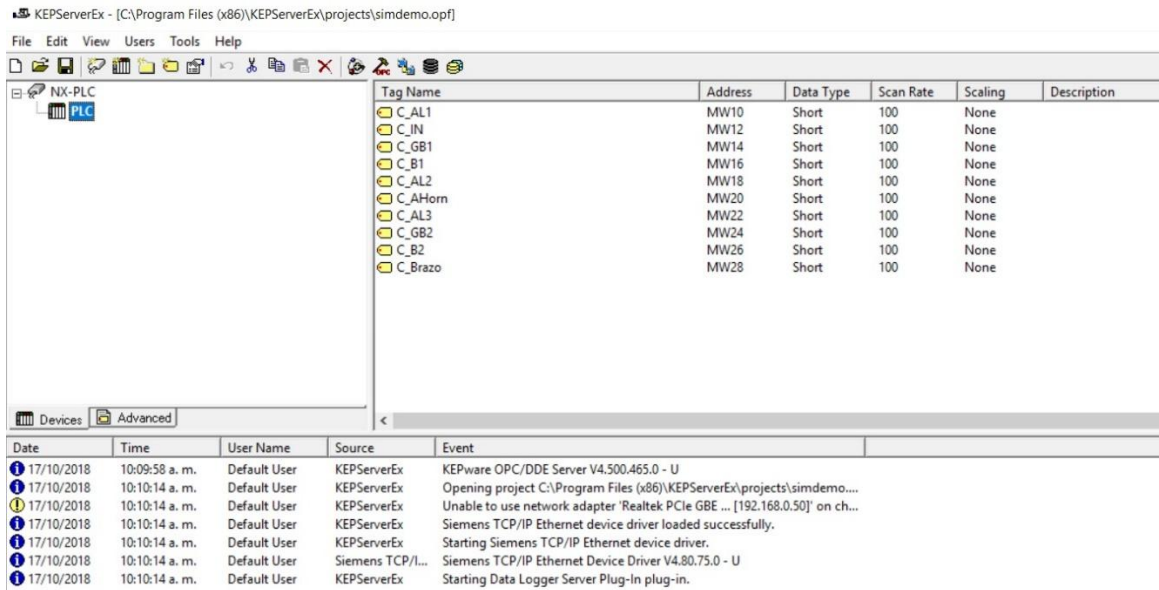
Seguidamente, se procede a realizar los enlaces entre mecanismos como relaciones entre engranes, piñones y cremalleras y bandas transportadoras; además, los sensores y actuadores del modelo para así establecer los parámetros de control requeridos para el movimiento del modelo.





**Fig 32.** Acopladores y actuadores.

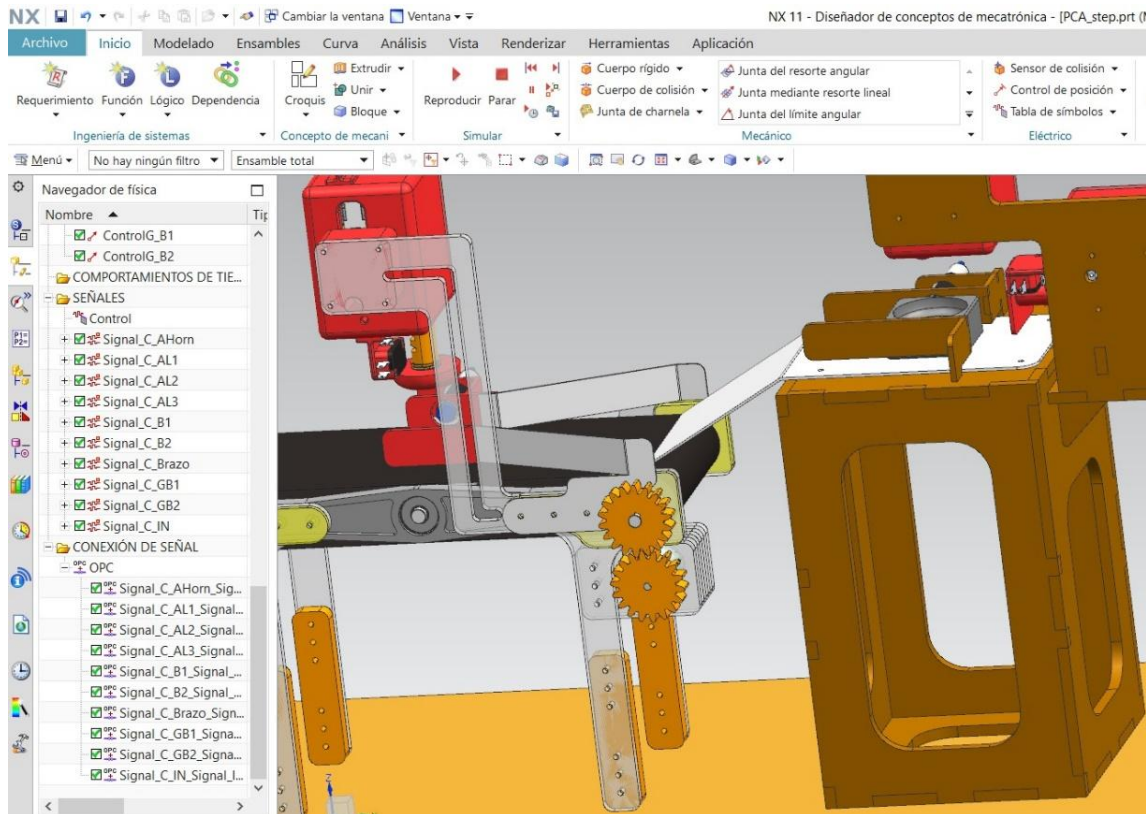
Posteriormente a esto, se procedió a definir y crear las variables y los enlaces en la OPC, software llamado KepServerEX como es mostrado en la figura 33, el cual permite este enlace; se crearon entonces las variables que servirán como puentes para la comunicación entre el PLC y el módulo MCD.



**Fig 33.** KepServerEX

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A continuación, se procedió a crear las señales de entrada en el módulo MCD y a enlazarlas con las variables definidas en la OPC, estas a su vez quedan definidas y enlazadas en el programa del PLC y comunicadas con el software vía ethernet como se muestra en la figura 34. Finalmente quedando así el prototipo físico controlado por el PLC y la interfaz HMI, además, del modelo controlado por la conexión PLC-MCD establecida.



**Fig 34.** Señales adaptadas y mapeadas desde el PLC vía OPC.

Todo esto se logró gracias a los conocimientos adquiridos durante las clases del docente Jhonatan Graciano en su curso de simulación de sistemas mecatrónicos y a la guía desarrollada por la colega Dubenis López de cómo establecer esta conexión (López, 2016); esta se podrá ver en el apéndice J.

## Materiales

Respecto a las consideraciones en los materiales fue necesario pensar en las tareas de cada una de las partes de este sistema; entonces así se procedió a determinar las estructuras y los componentes; respecto a las estructuras de las bandas transportadoras se decidió optar

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

por acrílico de espesor de 5mm, el cual ofrece alta resistencia a cargas dado su alto módulo de elasticidad, tal y como se muestra en la figura 35.

Propiedades mecánicas	UNIDADES	NORMAS ASTM	COLADO	EXTRUIDO	EXTRUIDO ALTO IMPACTO
<b>Resistencia en el límite elástico</b>	kg/cm2	D-638			
<b>Resistencia a la rotura</b>	kg/cm2	D-638	562-773	492-773	386
<b>Elongación a la rotura</b>	%	D-638	4,5	5,0	
<b>Módulo de elasticidad</b>	kg/cm2	D-638	24.600-31.000	23000-31.000	
<b>Flexión</b>					
<b>Resistencia en el límite elástico o rotura</b>	kg/cm2	D-790	840-1.300	740-1.300	562
<b>Módulo de elasticidad</b>	kg/cm2	D-790	27.500-33.400	22.800-32.300	17.500
<b>Compresión</b>					
<b>Resistencia a la compresión(ruptura)</b>	kg/cm2	D-695	773-1.330	740-1260	
<b>Módulo de compresión</b>	kg/cm2	D-695	27.500-33.300	26.000-32.300	
<b>Impacto</b>					
<b>Resistencia al impacto IZOD</b>	kg/cm2	D-256 A	1,9	2,4	6,52
<b>Dureza</b>					
<b>Rockwell</b>		D-795	M-80-M-100	M-68 M-105	R-99
<b>Barcol</b>		D-2583	50	50	35

**Fig 35.** Propiedades mecánicas del acrílico (Ideplas, 2018).

En la fabricación de piñones, adaptadores, cajas de ensamble de actuadores lineales, piezas de ensamble y algunas cremalleras, se consideró la impresión 3D dado que algunas de estas piezas son de alta complejidad, facilitando de esta manera el mecanizado y optimizando el tiempo requerido para la construcción y ensamble del sistema. En la figura 36 se pueden observar las propiedades mecánicas del ABS, las cuales fueron estudiadas y por ende se configuró la impresora 3D para dar una mayor densidad y así lograr la resistencia mecánica necesaria para el correcto funcionamiento de los sistemas.

## Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS)

**Temperatura de transición vítrea:**

87.9 - 118 °C

**Temperatura de fusión:**

200 - 245 °C

**Coefficiente de dilatación térmica lineal:**

A la temperatura de:	Coefficiente de expansión lineal
T <sub>amb</sub>	9e-5 - 11e-5 1/K

**Conductividad térmica:**

A la temperatura de:	Conductividad térmica
T <sub>amb</sub>	0.188 - 0.335 W/m·K

**Capacidad calorífica específica:**

A la temperatura de:	Capacidad calorífica específica
T <sub>amb</sub>	1.39e3 - 1.92e3 J/kg·K

**Observaciones:**

Buena estabilidad al calor. Quema generando un humo denso, sin goteo.

**Fig 36.** Propiedades térmicas ABS (Universidad de Barcelona, 2018).

Dentro de las consideraciones especiales está la cremallera que actuaría dentro del horno en el proceso de horneado, la preocupación latente en este proceso era la temperatura y dado que la cremallera estaba siendo considerada para ser mecanizada en ABS, el cual es un polímero con un muy bajo punto de fusión; se pensó que las altas temperaturas podrían deformar los dientes de la cremallera, por ende, se decidió mecanizar esta cremallera específicamente en acero AISI 1040 mediante el método de fresadora convencional, estas propiedades se pueden observar en la figura 37, la cual corresponde a las propiedades térmicas del acero AISI 1040.

### Thermal Properties

The thermal properties of AISI 1040 carbon steel are given in the following table.

Properties	Metric	Imperial
Thermal expansion co-efficient (@ 20-100°C/68-212°F, composition of 0.40% C, 0.11% Mn, 0.01% P, 0.03% S, 0.03% Si, 0.03% Cu)	11.3 µm/m°C	6.28 µin/in°F
Thermal conductivity (@ 100°C/212°F)	50.7 W/mK	352 BTU in/hr.ft². °F
Thermal conductivity (@ 0°C)	51.9 W/mK	360 BTU in/hr.ft². °F

**Fig 37.** Propiedades térmicas del acero AISI 1040 (Azom, 2018)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Algunos componentes estructurales como el gabinete de control, la estructura de soporte de la etapa de inyección y la estructura de soporte de la etapa de horneado requerían un material resistente y dados los costos de utilizar el acrílico, se optó por utilizar MDF estándar para así dar paso a la construcción de estas estructuras, las propiedades de este muestran en la figura 38.

Propiedad	Unidad	Tolerancia	Espesores					
			5.5	9	12	15	18	25
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	± 20	830	760	750	740	730	730
Resistencia a la Tracción	N/mm <sup>2</sup>	± 0.1	1.00	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Resistencia a la Flexión	N/mm <sup>2</sup>	± 5.0	30	30	30	30	30	30
Módulo de Elasticidad	N/mm <sup>2</sup>	± 500	2500	2500	2500	2500	2500	2300
Hinchamiento 24 horas	%		30	14	14	12	12	10
Extracción del tornillo - cara	N	± 150	N/A	N/A	N/A	1250	1250	1250
Extracción del tornillo - canto	N	± 150	N/A	N/A	N/A	1150	1150	1150

**Fig 38.** Propiedades mecánicas del MDF (Masisa MDF, 2018)

Finalmente, para los moldes, los ejes de las bandas, los rodillos de la rampa de salida y el soporte principal de las bandas transportadoras, era requerido un material que ofreciese una buena resistencia tanto mecánica como térmica dado que los soportes y rodillos de las bandas deberían soportarla carga sobre el proceso y los moldes deberían soportar las altas temperaturas del horno, estas propiedades se presentan a continuación en la figura 39.

Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Knoop	1700 - 2200	1700 - 2200
Hardness, Vickers	1365	1365
Vickers Microhardness	2085	2085
Hardness, Mohs	9.0	9.0
Abrasive Hardness	1000	1000
Drilling Hardness	189000	189000
Tensile Strength, Ultimate	300 MPa	43500 psi
Modulus of Elasticity	370 GPa	53700 ksi
Flexural Strength	400 MPa	58000 psi
Compressive Strength	3000 MPa	435000 psi
	1900 MPa	276000 psi
	@Temperature 1000 °C	@Temperature 1830 °F
Poissons Ratio	0.22	0.22
Fracture Toughness	4.00 MPa-m <sup>1/2</sup>	3.64 ksi-in <sup>1/2</sup>
Shear Modulus	150 GPa	21800 ksi
Thermal Properties	Metric	English
Heat of Fusion	1093 J/g	470.0 BTU/lb
Heat of Vaporization	19380 J/g	8337 BTU/lb

**Fig 39.** Propiedades mecánicas y térmicas del aluminio (Matweb, 2018)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

Una vez decidido el curso de acción y dada la experiencia ya adquirida durante el curso de formulación y evaluación de proyectos, el cual fue dictado por el profesor Wilmar Franco; se procedió a implementar la metodología seleccionada para el desarrollo de este prototipo, tal y como se puede observar en la figura 2.

De ahí fue que empezó el reconocimiento de la experiencia del compañero en base a los procesos requeridos para la manufactura de estas piezas, de este se llegó a la conclusión de tres procesos requeridos: el forjado, horneado y selección. Se procedió entonces a la primera etapa del desarrollo en base a la planeación y estrategias para captar suficiente información en base a diseños ya creados y desarrollos funcionales en empresas para alimentar el prototipo en desarrollo. En este punto se procedió a consultar en las bases de datos y páginas web, en busca de ejemplos estructurales y diseños de dispositivos similares en base a cada etapa; partiendo desde la etapa del forjado, se procedió a buscar material referente a troqueladores con movimientos de transporte y se encontró uno que podría brindar un buen diseño respecto a la estructura de soporte tanto del transportador como del troquelador requerido para este proceso, tal y como se muestra en las figuras 40 y 41.



**Fig 40.** Troqueladora (Esbelt, 2017)



**Fig 41.** Transportador vajillas CORONA (En el otro renglón, 2015)

En la figura 40 se puede observar un troquelador, el cual está montado de forma vertical y el material es forjado debajo de este, lo cual es recomendable para el desarrollo de esta etapa del proyecto; en la otra figura se pueden ver los moldes como son transportados por una banda durante el proceso.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Analizando estos dos sistemas, se optó entonces por diseñar un sistema conjunto tanto de banda transportadora como troquelador en una sola etapa; luego se procedió a diseñar la etapa de horneado, para ello se procedió igualmente a consultar sistemas similares en los que se involucre una etapa de transporte anterior y una etapa de horneado como se puede observar en la figura 42. Finalmente, tras buscar varios sistemas, se decidió optar por un diseño muy simple de horno, con tan solo una resistencia eléctrica para generar el calor y un sensor de temperatura tipo RTD-PT100 para controlar esta; todo esto dentro de una cúpula.

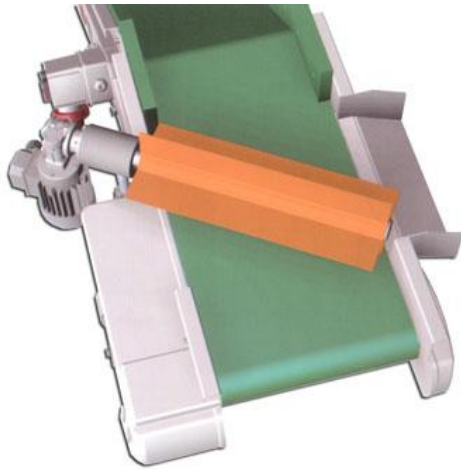


**Fig 42.** Horno y transportador (Comec Italia, 2017).

Dada la complejidad respecto a los materiales y sistemas requeridos para este desarrollo, se optó por un sistema más simple, una rampa de acceso por gravedad y poca fricción para la entrada del molde desde la etapa anterior a esta, además, de un actuador lineal que empuje el molde hacia la siguiente etapa.

Para la última etapa, respecto al enfriamiento y selección, se procedió a analizar un sistema de banda transportadora con un brazo selector que permita tanto transportar el molde como seleccionar la posición de salida de este, como se muestra en la figura 43; algunos ejemplos claros fueron de mucha ayuda en este proceso debido a que se encontró un sistema que bien podría ser fácilmente adaptable al proceso pensado originalmente, además de una rampa final a la salida.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Fig 43.** Modelos SAP, SAR y SAS (Interempresas, 2017)

Una vez lista la planeación, se procedió al desarrollo del concepto y posteriormente al desarrollo en nivel de sistemas tal y como se describe en la sección de metodología; finalmente ya con un diseño estructurado se procedió a hacer los análisis requeridos para la manufactura de algunos de estos elementos, este proceso se llevó a cabo en dos etapas, ya que la primera etapa se desarrollaron los procesos de forjado, horneado y selección y en la segunda etapa se integró al sistema el proceso de inyección.

## Etapa 1

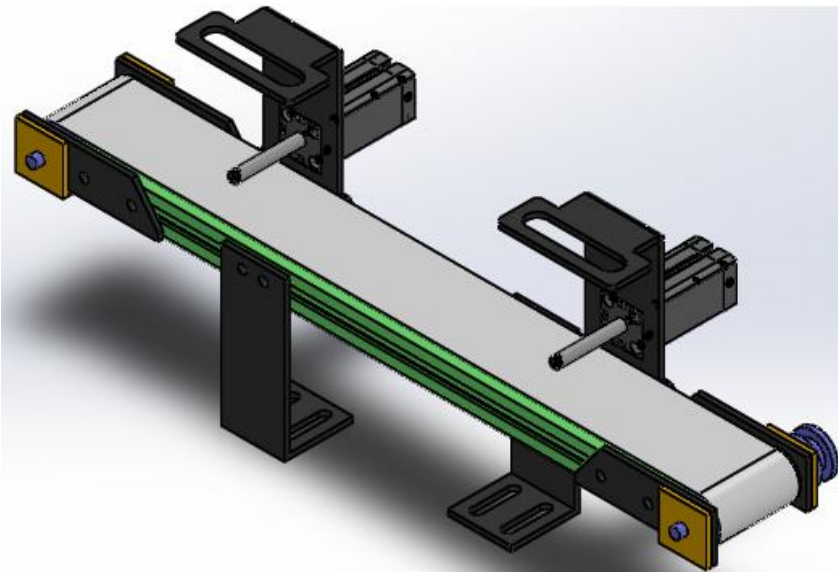
Inicialmente la idea parte desde la experiencia de uno de los integrantes del grupo en la fabricación de piezas cerámicas, los procesos involucrados en este, los tiempos en la manufactura y los distintos sistemas involucrados. De esta experiencia y del reto de presentarnos a la muestra de la semana de la ingeniería 2017-2 es que nace esta idea de desarrollar un prototipo de planta cerámica automatizada. Durante el 9vo semestre de la carrera de ingeniería mecatrónica, se cursan materias como Diseño mecatrónico I, PLC II, Accionamientos y electrónica de potencia, simulación de sistemas mecatrónicos; por ende, se procedió a desarrollar este prototipo de forma sinérgica entre áreas para así poder presentar este sistema en las áreas como proyecto final.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Desarrollo del concepto

En esta parte del proyecto se procedió a definir unas etapas claves respecto al proceso, en las cuales se determinó una etapa inicial de transporte, para lo cual fue requerida una banda transportadora, posteriormente, una etapa de forjado en donde un molde y una prensa darían forma al material, a continuación, una etapa de cocción para dar finura al material y finalmente un proceso de transporte y selección de las piezas. Una vez claro el proceso, se procedió entonces a hacer un análisis respecto a la forma general de control, programación y dado que en el momento se estaba cursando la materia de PLC II con el profesor Juan Felipe Betancourt, el cual aconsejó basarse en sistemas ya desarrollados para así obtener un análisis más profundo; es así como se procedió a buscar sistemas ya modelados en grabCAD (Stratasys, 2017), con el fin de encontrar un diseño para empezar a estudiar distintas morfologías, diseños y sistemas. Después de considerar algunos diseños, se llegó a uno en específico el cual sirvió como punto de partida para el análisis de los sistemas, ver figura 44.



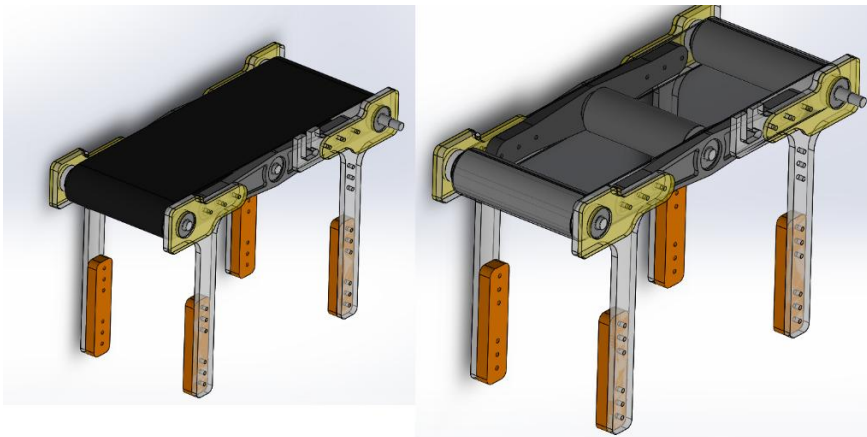
**Fig 44.** Banda transportadora (Kalkan, 2015)

En esta se pueden observar tanto una banda transportadora como unos actuadores lineales, pero dentro de las consideraciones para esta etapa se procedió a visualizar este actuador lineal en esta etapa de forma vertical.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

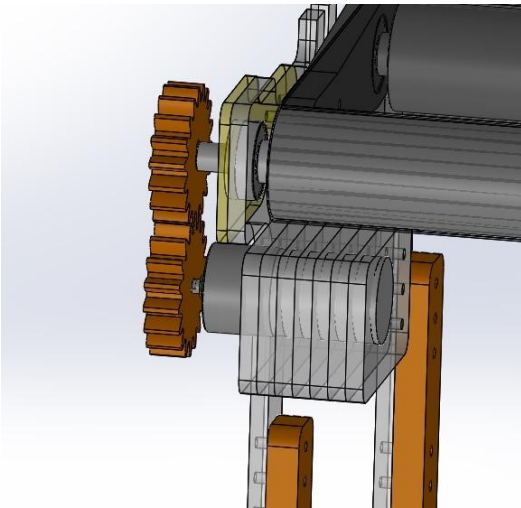
## Desarrollo en el nivel de sistema

Este diseño abrió la imaginación y así se procedió a pensar la estructura que soportaría la banda transportadora y sus sistemas principales, dado que se pretendía tener un prototipo el cual pudiese ser adaptado a un espacio de 1.2m x 1.2 m, se procedió a diseñar el esquema general de banda transportadora que satisficiera la etapa inicial que significaba transporte y forjado; para ello entonces inicialmente se diseñó la banda de forma estructural con sus cilindros de accionamiento y sus cilindros de tensión y transporte; obteniendo finalmente el esquema presentado en la figura 45.



**Fig 45.** Banda transportadora PCPA.

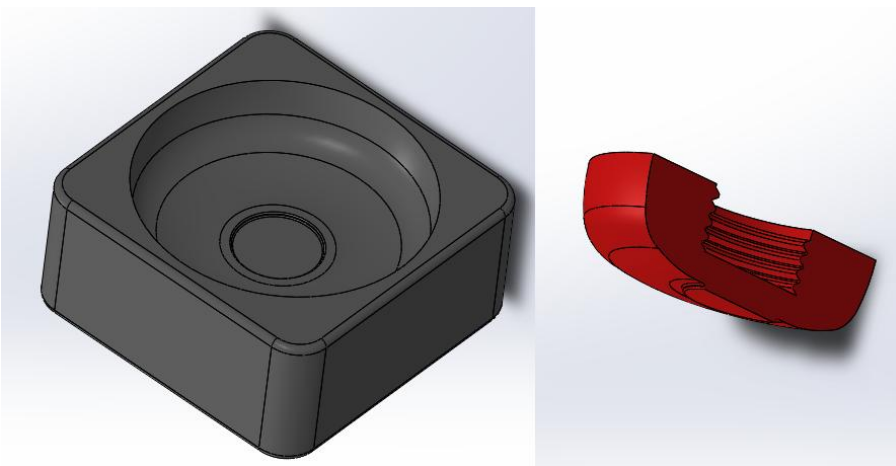
Posterior a esto fue necesario determinar la forma de accionar este sistema y determinar un mecanismo apto para esto; como actuador se seleccionó un motorreductor de 12V con un torque de 6kg.cm, luego, se diseñó un soporte apto para fijar el motor a la estructura y dos engranajes para accionar este mecanismo; con relación 1:1 y modelados en SOLIDWORKS, tal y como se muestra en la figura 46, para ello se utilizó el libro DISEÑO DE MAQUINARIA Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos, con el fin de reconocer los parámetros y datos necesarios para este diseño (Norton R. L., 2009) y un tutorial de cómo llevar a cabo este diseño en el software (ArteyCAD, 2014).



**Fig 46.** Accionamiento de bandas PCPA.

Para este proceso fue de mucha ayuda la materia de diseño mecatrónico I en dónde con la guía y el constante apoyo del profesor Juan Gonzalo Ardila Marín, dado que con su tutoría se llevó a cabo el análisis de los ejes con los piñones y los factores de diseño de estos para elegir a criterio el diámetro de estos.

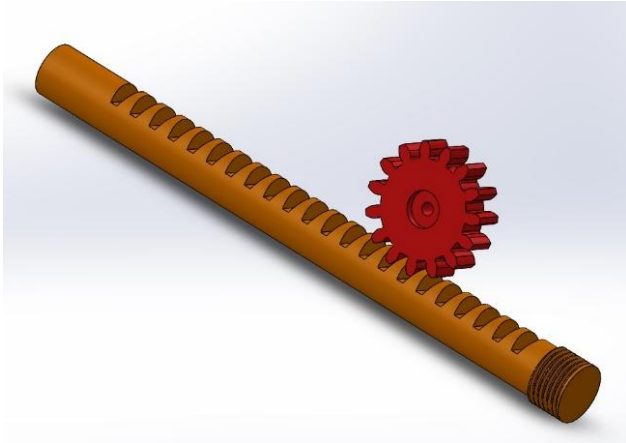
Una vez llevado a cabo este sistema se procedió a pensar en el mecanismo de prensa para el molde y el propio molde que darían forma a los platos, se procedió a diseñar el molde y el troquel en base a las medidas ya establecidas en el mecanismo transportador como se muestra en la figura 47, para ello se diseñaron dos moldes con distintas geometrías para así poder tener un proceso continuo, automatizado y con opciones distintas de producto final.



**Fig 47.** Molde y troquel PCPA.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

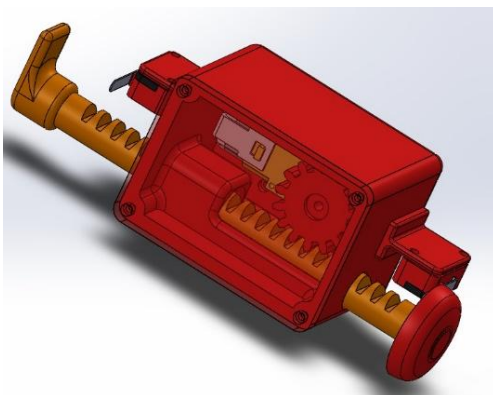
Una vez este fue completado, se procedió a determinar el tipo de mecanismo para esta función, se consideró varias opciones como cilindros neumáticos, fuelles de aire; pero dada la complejidad de estos sistemas se optó por algo más simple como un mecanismo de piñón y cremallera; y se procedió a diseñarlos como se muestra en la figura 48.



**Fig 48.** Piñón y cremallera PCPA.

En esta figura anterior se muestra el mecanismo que opera la etapa de forjado; al accionarse el motor, este mediante la relación de piñón y cremallera desplaza el forjador hasta el molde (ver figura 47) y ejerce presión sobre el material para darle la forma del plato.

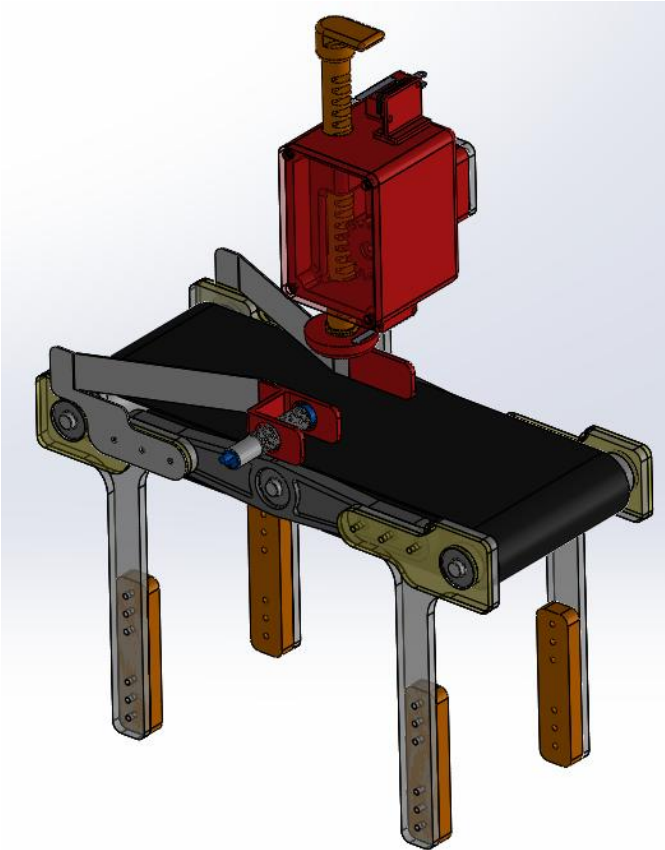
Una vez completada esta parte, se hizo la selección del actuador encargado de accionar este mecanismo, para ello se decidió utilizar un motorreductor de 6V y 1Kg.cm de torque, dado esto se procedió a realizar un soporte fácilmente adaptable para ensamblar tanto el motor como el mecanismo a la banda transportadora, además, de un par de soportes con finales de carrera que posteriormente permitirían hacer un buen control de este mecanismo, ver figura 48.



**Fig 49.** Actuador lineal de troquelado PCPA.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Finalmente se realizaron algunas modificaciones y ajustes a el sistema transportador para la sensórica y el acople del mecanismo de troquelado dando como resultado la primera etapa del prototipo de planta cerámica automatizada mostrada en la figura 50.

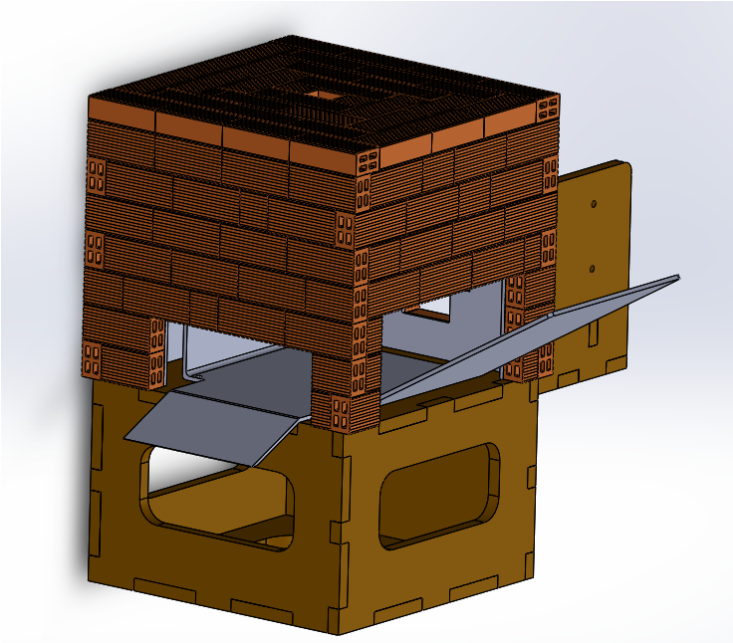


**Fig 50.** Etapa 2 PCPA.

Como puede verse, una vez accionada la banda, el molde se desplaza hasta el punto en el que el sensor lo detecta y ahí se detiene, posteriormente se acciona el forjador hasta que llega al molde; luego regresa y se acciona nuevamente la banda para continuar al siguiente proceso.

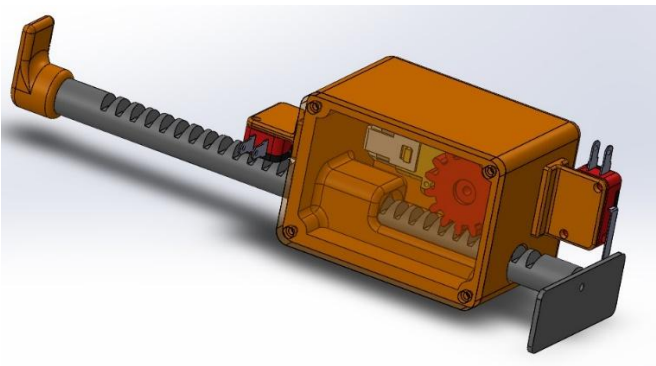
Una vez llevado a cabo el diseño y concepciones de la etapa de transporte se procedió a la etapa de horneado para dar forma y rigidez al producto terminado, para ello se comenzó diseñando una estructura que permitiese ser adaptada al sistema de transporte anterior, una rampa de caída desde la banda hasta el centro del horno y finalmente el horno en el cual una termoresistencia se encargaría de proporcionar el calor para calentar el horno, tal

y como se muestra en la figura 51; esta sería fijada al techo y sería encendida y apagada mediante un relé controlador por el PLC, la temperatura a su vez sería medida y controlada por una PT100, sensor el cual estaría encargado de proporcionar información al controlador para así poder llevar a cabo el propio control de esta etapa de la línea de producción.



**Fig 51.** Horno PCPA.

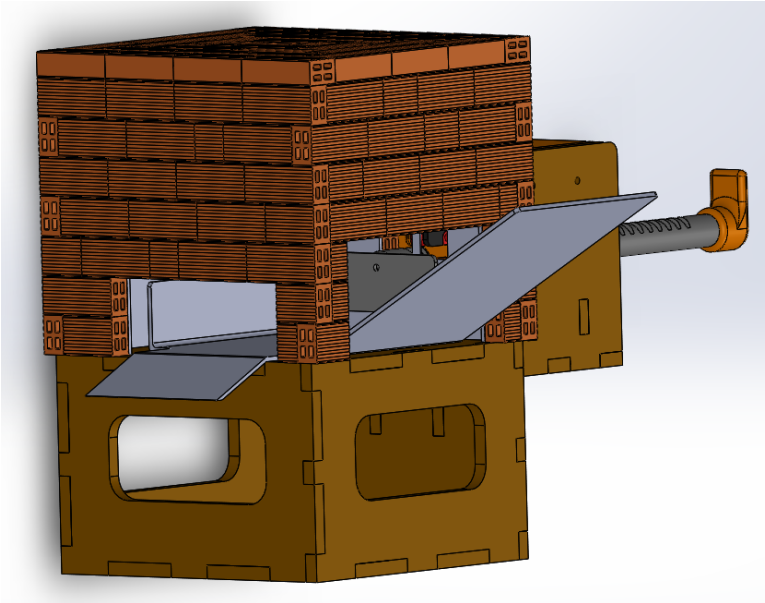
Luego fue necesario adaptar un sistema que permitiese desplazar el molde caliente desde el punto en el que está hasta la salida del horno, el cual fue diseñado para dar un cambio de dirección de transporte en 90°, para ello se realizó una adaptación del mecanismo de troquelado de la etapa anterior para convertirlo en un actuador de desplazamiento como se muestra en la figura 52.



**Fig 52.** Actuador lineal de transporte en el horno PCPA.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Dentro de las consideraciones a tener en este sistema, se procedió a mecanizar la cremallera en un material distinto ya que se requería uno que pudiese soportar la temperatura dentro del horno sin deformarse, para ello esta cremallera fue pensada para ser construida a partir de un eje de acero AISI 1040. Finalmente, también se diseñó un sistema de soporte fijo en el soporte del horno para así ensamblar lo que finalmente sería la etapa de horneado como se puede ver en la figura 53.

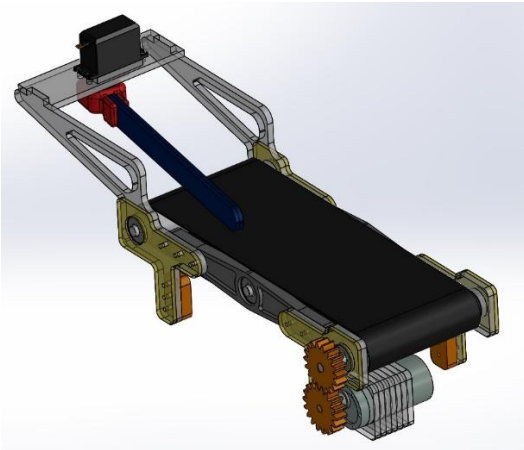


**Fig 53.** Etapa 3 PCPA.

Una vez termine la etapa de forjado, el molde cae por la rampa de entrada y allí se enciende la termoresistencia, esta alcanza un punto de temperatura y lo sostiene mientras pasa un tiempo de cocción determinado por receta; una vez superado esto el actuador lineal empuja el molde fuera del horno para que así pueda pasar a la siguiente etapa.

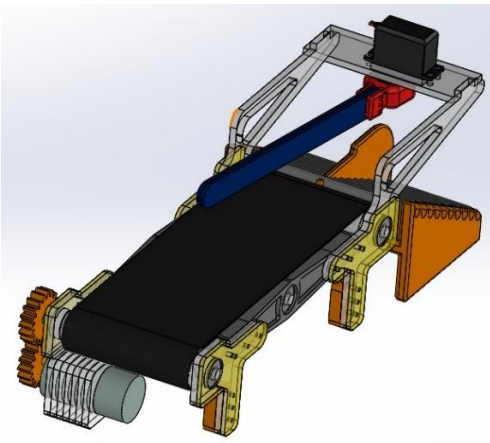
Finalmente se procedió a diseñar la etapa final del sistema la cual incluye un sistema de transporte y un mecanismo de selección para dar distintas opciones de producto terminado y su clasificación y disposición; para ello se partió desde el diseño de la banda anteriormente descrita, a la cual se le adaptó un servomotor a la salida, un soporte para fijarlo y un mecanismo de guía para así elegir el punto de salida del molde con el producto terminado, ver figura 54.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Fig 54.** Banda 2 PCPA.

Finalmente se diseñó una rampa de salida con dos posiciones (ver figura 55) para así tener dos distintas clasificaciones respecto al producto terminado y así tener una etapa final y dar un vistazo a lo que sería el diseño general de este prototipo de planta cerámica automatizada.



**Fig 55.** Etapa 4 PCPA.

Y finalmente así quedaría terminada la etapa del diseño de los sistemas principales del PCPA y sus consideraciones respecto a detalles y funcionamiento.

## Diseño de detalle

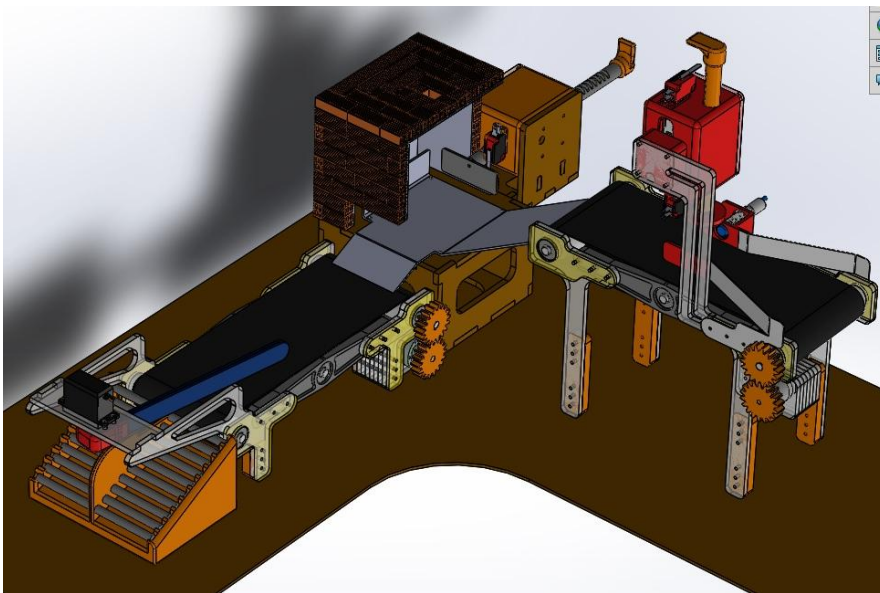
En esta etapa se procedió a hacer un análisis detallado de cada uno de los sistemas diseñados, en busca de conflictos respecto al diseño inicial; dato que este fue pensado de



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

manera individual para cada sistema; es aquí donde se pensó cómo llevar cada uno de estos sistemas a ser acoplados con los demás para así dar vida al prototipo funcional de la PCPA.

Como se mencionó anteriormente se optó por unas rampas de caída por gravedad entre cada una de las etapas; modificando igualmente la altura de cada una de estas; debido a esto se hizo de forma sistémica, la etapa de forjado más alta, seguida por la etapa de cocción y finalmente la etapa de enfriamiento y selección con una rampa de salida dividida en dos para la clasificación de producto terminado como se muestra en la figura 56.



**Fig 56.** Rampas de acople PCPA.

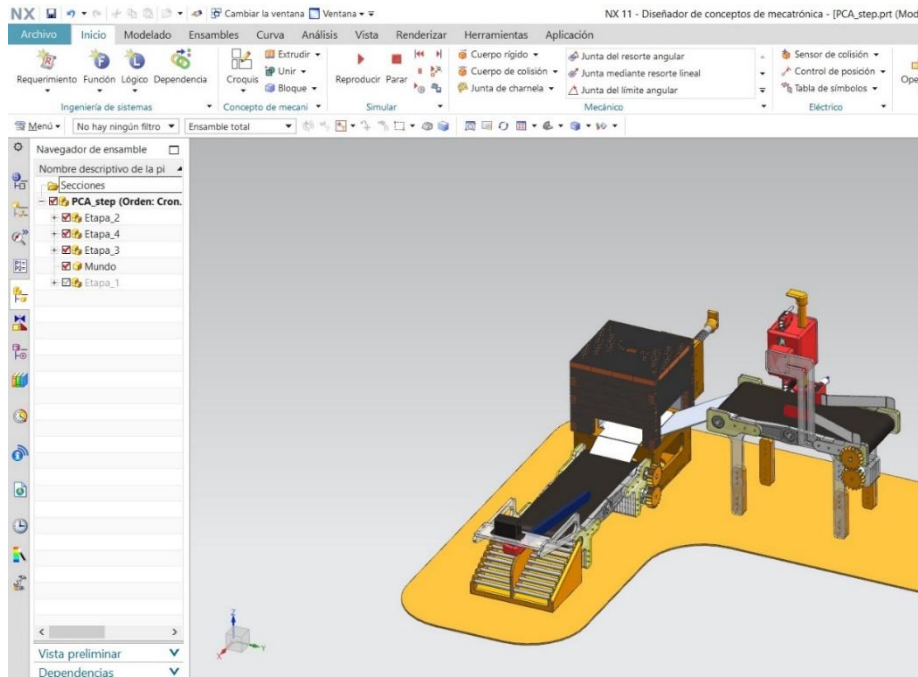
A la salida de la banda 1, está la rampa de llegada por la cual el molde entra en el horno, a la salida de este hay otra rampa que facilita el acceso a la banda 2 y finalmente esta la rampa de salida con dos posiciones para los distintos tipos de molde.

## Pruebas y refinamiento

Posteriormente se procedió a exportar todo el modelado al software NX11, al módulo MCD y así proceder a realizar la simulación de funcionamiento para dar paso al proceso de análisis y planeación respecto al mecanizado de las piezas, la decisión de sus materiales y su construcción y ensamble; además, de hacer la conexión del módulo MCD con TPV14 para la comunicación en tiempo real del PLC con el software y así finalmente proceder al diseño

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

eléctrico para su presentación en la muestra de proyectos de aula en la semana de la ingeniería ITM (ver figura 57).



**Fig 57.** Modelo MCD PCPA.

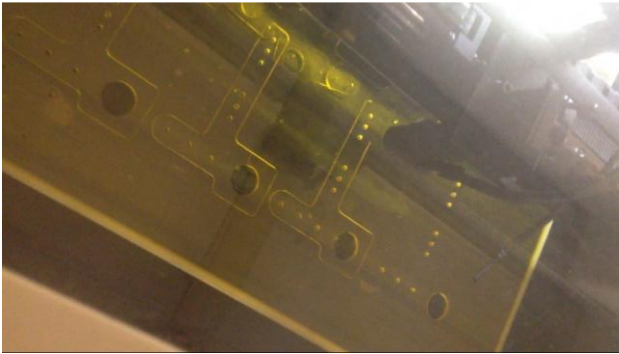
En este módulo se hace una simulación de funcionamiento para detectar posibles colisiones o fallas en el diseño; ofrece también modelos de cálculo para las rampas mediante un mallado que permite el contacto entre superficies.

## Inicio de producción

Una vez superada esta primera etapa de diseño, se procedió a decidir los materiales y procesos de mecanizado.

Para las estructuras de las bandas, sus soportes y sus fijaciones se decidió fabricarlos en acrílico de espesor 4.5mm, dado que este daría buen soporte y facilitaría el ensamble de todas las piezas; además, ya que todas estas piezas son planas facilitaba su mecanizado mediante el método de corte láser (ver figura 58), cabe agradecer al laboratorio de diseño industrial de la sede del ITM en robleado, ya que gracias a su constante apoyo fue posible llevar a cabo la manufactura de estas piezas.

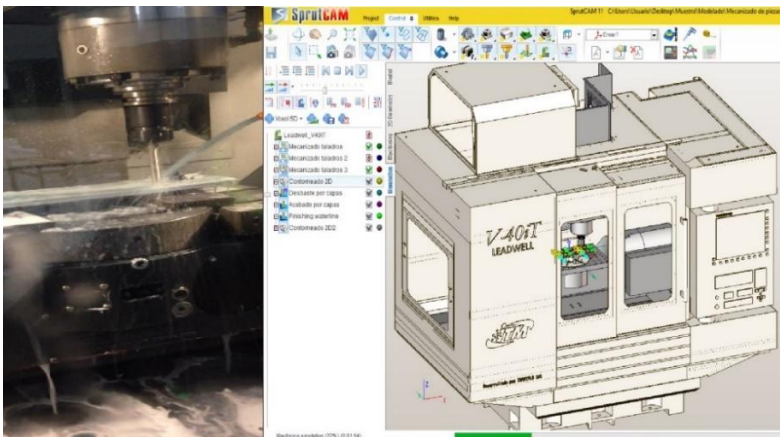
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Fig 58.** Corte láser acrílico.

Fue importante para ello el acompañamiento e instrucción de las laboratoristas, ya que para distintos materiales existen diferentes potencias en el láser y velocidades de corte distintas; para este caso y dado el espesor del material, fue requerida un avanza de 15mm/s y una potencia del 85%

También se determinó que era indispensable tener el bastidor principal de soporte de las bandas fabricado en un material de alta resistencia, además de los moldes; para ello se decidió fabricar estos en aluminio y dado que se trataba de una pieza compleja se decidió fabricarlas en el centro de mecanizado LEADWELL V40 IT, a través del software SprutCAM en el cual se programó la máquina para los cortes de las piezas; gracias a un curso por parte de XMARTPLM dispuesto por el laboratorio de Modelado y prototipos del ITM en la sede Parque i (ver figura 59), todo esto gracias al constante apoyo del docente Juan Gonzalo Ardila Marín, igualmente es muy importante en este proceso el montaje del material en la máquina para su mecanizado, ya que puede ser complejo el hecho de fijar y adaptar respecto a las posiciones iniciales marcadas en el programa; debido a ello la participación del laboratorista Miyer Valdez.



**Fig 59.** Mecanizado CNC.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para el mecanizado de los soportes del horno, se decidió mecanizarlos en MDF, ya que este material soporta más calor que el acrílico; además, también pudo ser mecanizado fácilmente es la cortadora láser como se muestra en la figura 60.



**Fig 60.** Corte láser MDF.

Igualmente, dentro de las consideraciones para este mecanizado fue necesaria una potencia del 75% y una velocidad de avance de 30mm/s.

Los cilindros de accionamiento, transporte de las bandas y los rodillos de la rampa de salida, fueron mecanizados en aluminio, mediante el método de torno convencional como se puede ver en la figura 61, para ello se hizo uso del taller de máquinas del ITM sede robledo y se agradece especialmente a Gabriel Monsalve por su consejo, acompañamiento y experiencia; ya que debido a esto fue posible mecanizar unas piezas bien balanceadas para un correcto funcionamiento del PCPA.



**Fig 61.** Torneado convencional.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

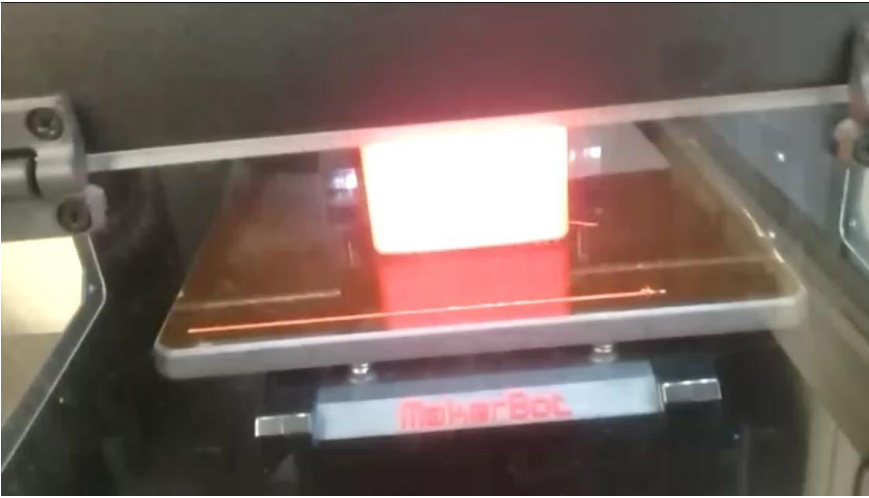
A continuación, se procedió a mecanizar la cremallera del AL del horno, esta fue mecanizada a partir de un eje de acero 1040, el cual primero se le dio en diámetro requerido mediante cilindrado en torno convencional y posteriormente se mecanizaron sus dientes en una fresadora convencional tal y como se puede ver en la figura 62, todo esto igualmente con la guía del señor Gabriel Monsalve y gracias al laboratorio de máquinas y herramientas del ITM sede robledo, ya que dentro de las consideraciones para este mecanizado se tiene la geometría del diente requerido a través de su módulo y el paso entre dientes.



**Fig 62.** *Fresado convencional.*

Luego, los demás componentes tales como engranajes, piñones, piezas de ensamble y soportes especiales para sensores fueron mecanizados en el material conocido como ABS, mediante la impresora 3D MakerBot del laboratorio de Mecatrónica del ITM sede robledo y la impresora 3D MakerBot del laboratorio de control, robótica y automática del ITM ubicado en Parque i (ver figura 63); agradecemos especialmente al docente Juan Sebastián Botero y a los colegas Juan Zabala, Daniel Betancur y Joao Mesa por su apoyo en esta labor de impresión ya que tomó alrededor de dos semanas poder tener todas las piezas dada la complejidad de su geometría.

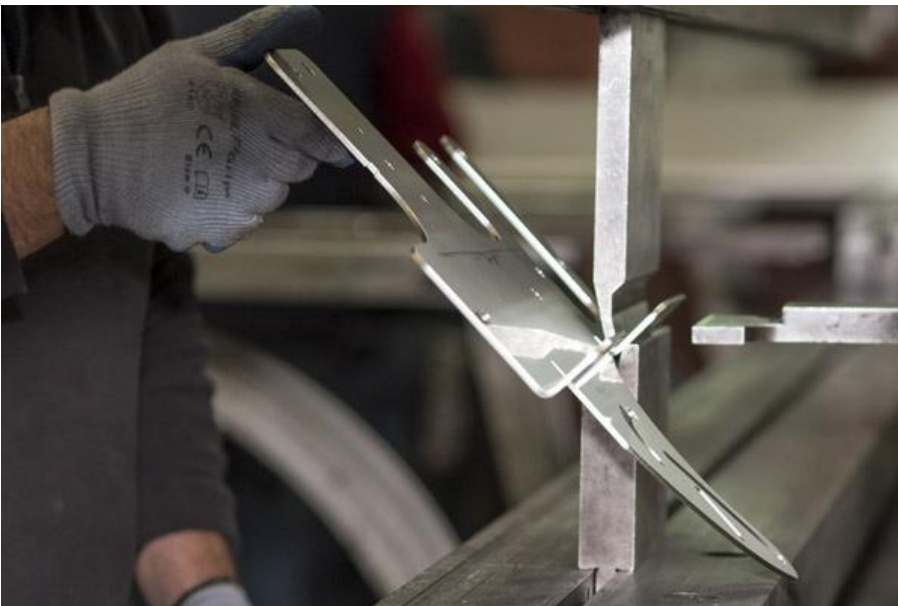
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Fig 63.** Impresión 3D.

Dado que algunas de estas piezas iban a transmitir potencia o a recibirla, a soportar ensambles o eran piezas estructurales; se determinó que estas requerían una resistencia mecánica considerable así que se procedió a configurar la impresora en alta densidad y calidad para así poder darle las propiedades necesarias a cada pieza.

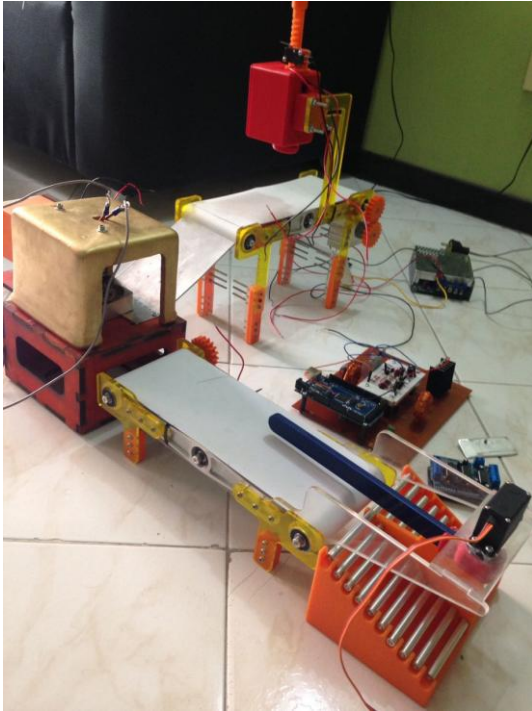
Finalmente, para las láminas de ajuste y posición de los sensores de la banda 1, la rampa del horno de caída de la banda uno y salida a la banda dos, se utilizó el método de corte y plegado de láminas de aluminio en el taller del señor Enrique Pérez en Caldas Antioquia como se puede ver en la figura 64.



**Fig 64.** Doblado y corte de láminas (Provi-Metal, 2018).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Finalmente se procedió al ensamble final del sistema mecánico y el montaje de los sensores como se muestra en la figura 65; para así pasar a desarrollar el sistema eléctrico y posteriormente la programación de los dispositivos de control sobre los cuales recae la tarea de operar el PCPA.



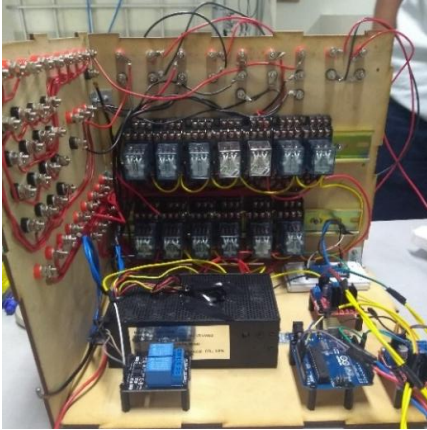
**Fig 65.** Primer prototipo construido.

Los planos mecánicos del diseño se pueden ver en los apéndices del A al D con detalles de medidas y ensamblajes; estos fueron diseñados en el software SOLIDWORKS.

Seguido de esto se procedió a hacer el montaje del sistema de control pensado para operar el PCPA desde un PLC Siemens S7-300, además, se procedió a crear un enlace de comunicación entre el PLC y un dispositivo Arduino UNO el cual estaría encargado de operar el brazo selector de la etapa de selección y así mediante señales del PLC accionar el servomotor, también fueron necesarios unos módulos relé para conmutar las señales de los dos sensores inductivos encargados de la detección de los moldes a lo largo del proceso, un driver de motor DC para inversión de giro respecto a los motores de los ALs que se encargan de los procesos de forjado, y movimientos lineales dentro del horno, mientras lo demás fue dispuesto para ser accionado por el PLC mediante relés con bobinas de 24V para los demás

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

motores y actuadores del sistema. Finalmente se dispuso una caja completa para la protección de este esquema de control como se muestra en la figura 66 y el ensamble de todos los bornes de conexión necesarios para la alimentación de todos los dispositivos involucrados en el control y operación del PCPA.



**Fig 66.** Gabinete de control.

Todos los esquemas de conexión y ensamble de este gabinete de control se describen en el Apéndice E, el cual corresponde a los esquemas eléctricos del PCPA; estos fueron realizados mediante el software AutoCAD Electrical.

## Etapa 2

Como se dijo este sistema se presentó en la muestra de proyectos de aula en la SII, obteniendo no tan buenos resultados debido a fallas de últimos minutos con respecto a algunos componentes de control del sistema; pero esto no fue desmotivante para querer presentar el proyecto como trabajo de grado para los integrantes del grupo, debido a esto se procedió a pensar una nueva etapa para el sistema; ya que dentro del proceso quedaba el espacio de la etapa de inyección; así entonces se reinició el proceso en base a la misma metodología genérica de diseño (ver figura 2)

## Planeación

pero se decidió agregar una nueva etapa en la que se automatizase el proceso de inyección del material en el molde; para esto se procedió inicialmente a diseñar el inyector de



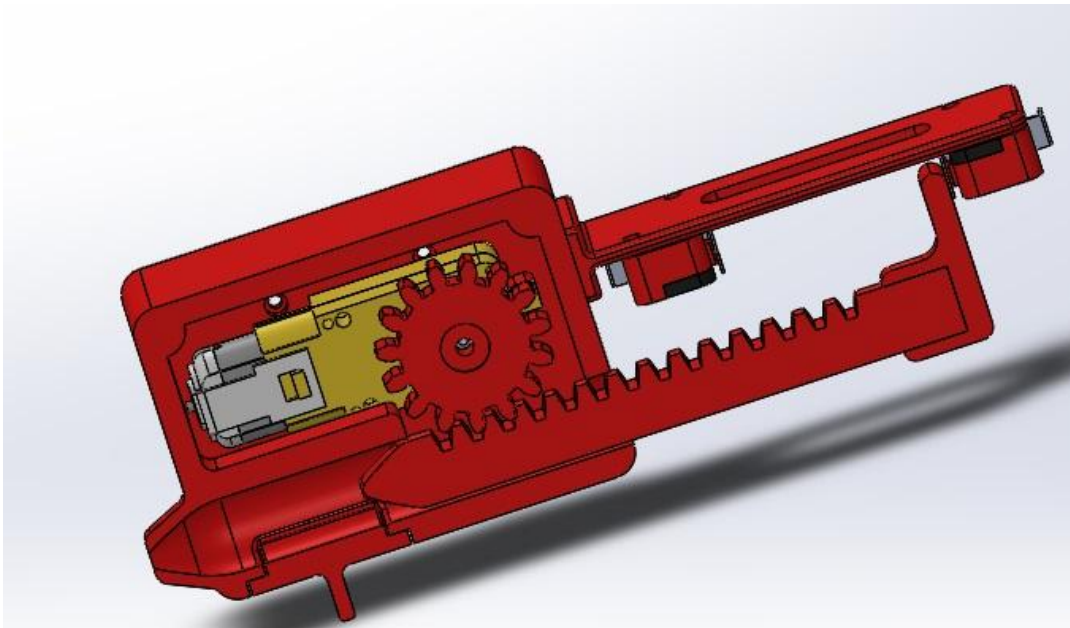
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

material, a partir de los ALs ya pensados anteriormente, dado el caso se procedió a hacer algunas modificaciones; además, de un sistema de transporte para mover el molde hacia la siguiente etapa, la cual sería la etapa de troquelado, teniendo en cuenta que estos dos sistemas deben estar montados sobre una estructura de soporte para su ensamble.

## Desarrollo del concepto y diseño en el nivel de sistema.

Respecto a la metodología en esta etapa se procedió a trabajarla directamente y de forma conjunta; trabajando la etapa de desarrollo del concepto junto con la etapa de desarrollo en el nivel de sistema para así acelerar el proceso y tener el sistema listo para su construcción en un corto lapso de tiempo; decisión que se tomó en base a que los conceptos ya estaban determinados, salvo por algunas modificaciones requeridas.

Entonces, se procedió a hacer algunas modificaciones como reducción de la cremallera para transformarla en una especie de inyector, pero a diferencia de otros sistemas que suelen ser neumáticos o hidráulicos; se procedió a diseñar un sistema accionado por in mecanismo piñón y cremallera como se muestra en la figura 67.

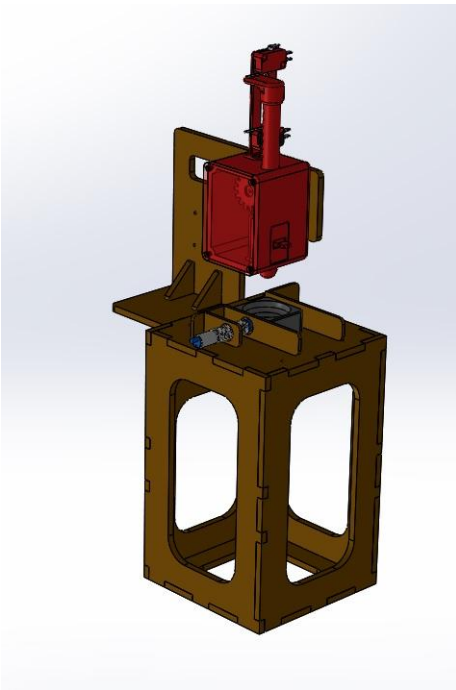


**Fig 67.** Inyector PCPA.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

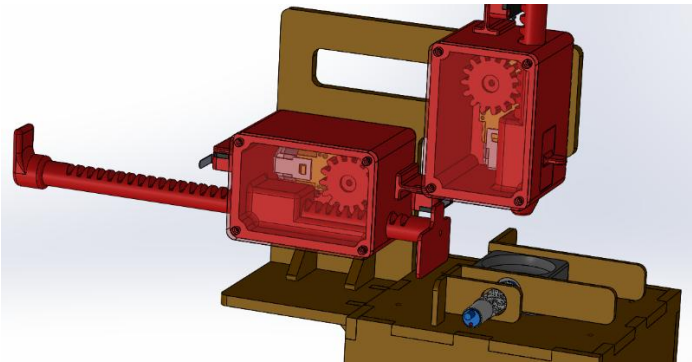
Adaptando igualmente el soporte de los finales de carrera para darle a la cremallera el recorrido necesario para el cumplimiento del proceso de inyección, además, se dejó una compuerta para la introducción del material dentro del inyector.

A continuación, se procedió a diseñar una estructura para el montaje del inyector acorde al proceso ya creado anteriormente, con soportes de posicionamiento para un sensor que indique el lugar apropiado para el proceso de inyección y punto de partida para el proceso en general como señal de inicio para el controlador; además de una altura suficiente para tener en consideración una buena pendiente que permita al molde salir de esta etapa y entrar en la siguiente sin problemas, como se puede ver en la figura 68.



**Fig 68.** *Ensamble inyector y base PCPA.*

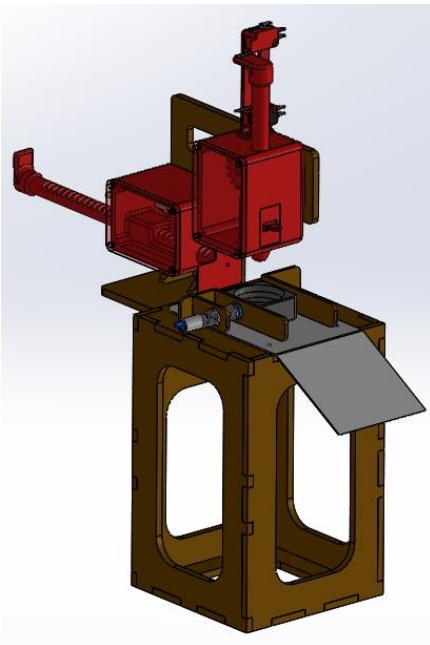
Finalmente se procedió a diseñar un nuevo AL para así desplazar el molde una vez inyectado hacia la rampa para continuar con el proceso de diseño de un actuador lineal que disponga de una cremallera lo suficientemente larga como para ser capaz de desplazar el molde a través de la etapa para así llevarlo a la siguiente; además, de ser ensamblable en la estructura ya montada para este sistema, tal y como se puede observar en la figura 69, la adaptación del mismo sistema de actuador lineal fue muy sutil salvo por su cremallera con más recorrido para que pueda cumplir la tarea a cabalidad.



**Fig 69.** AL de la etapa 1.

## Diseño de detalle

Una vez más, se procedió a darle al sistema modificaciones para que sea integrable al resto de la línea sin causar problemas (ver figura 70); para ello se optó nuevamente por un sistema de rampa, el cual permitiría desplazar el molde desde su posición inicial hasta la etapa de troquelado siendo empujado por el AL ya diseñado, dado que el molde fue pensado para ser mecanizado en aluminio, se consideró un material que generase poca fricción respecto a este material; para ello se optó por utilizar platinas de aluminio de 2mm de espesor.

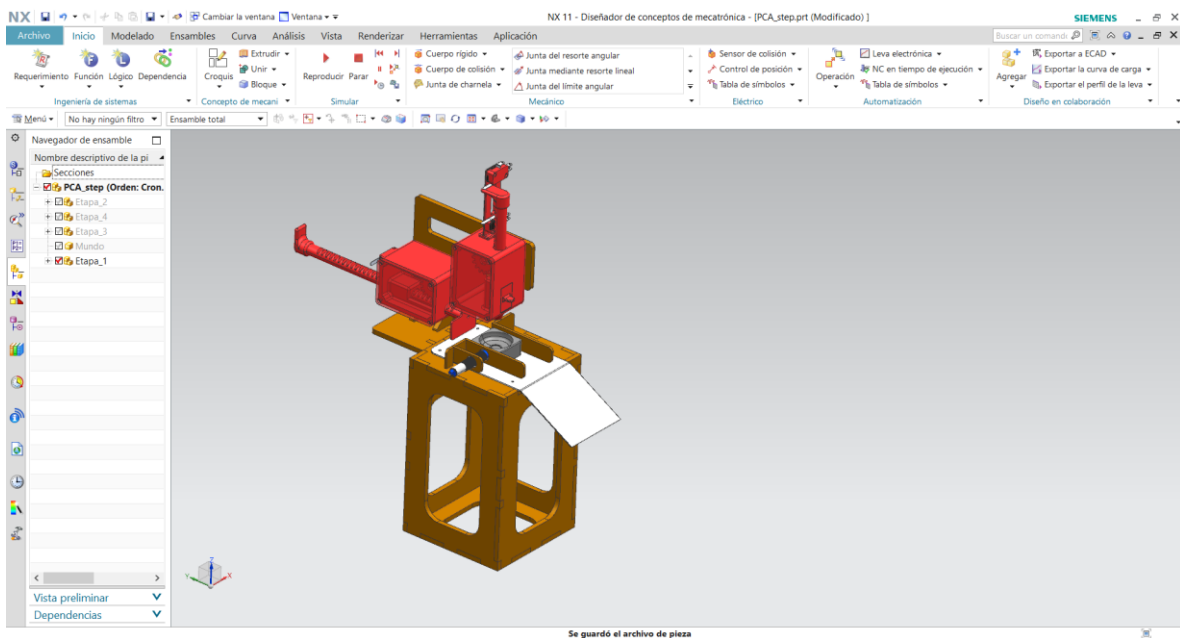


**Fig 70.** Etapa 1 PCPA.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Pruebas de funcionamiento

Una vez terminado el proceso de diseño y detalle, se procedió a las pruebas de funcionamiento mediante el módulo MCD de Siemens NX 11.0 como se muestra en la figura 71, para determinar fallas de en ensamble o de funcionamiento; y así finalmente dar paso a la etapa de producción y mecanizado de este sistema, igualmente dentro de este proceso entra en consideración las fricciones y los posibles contactos desmedidos dentro del proceso.

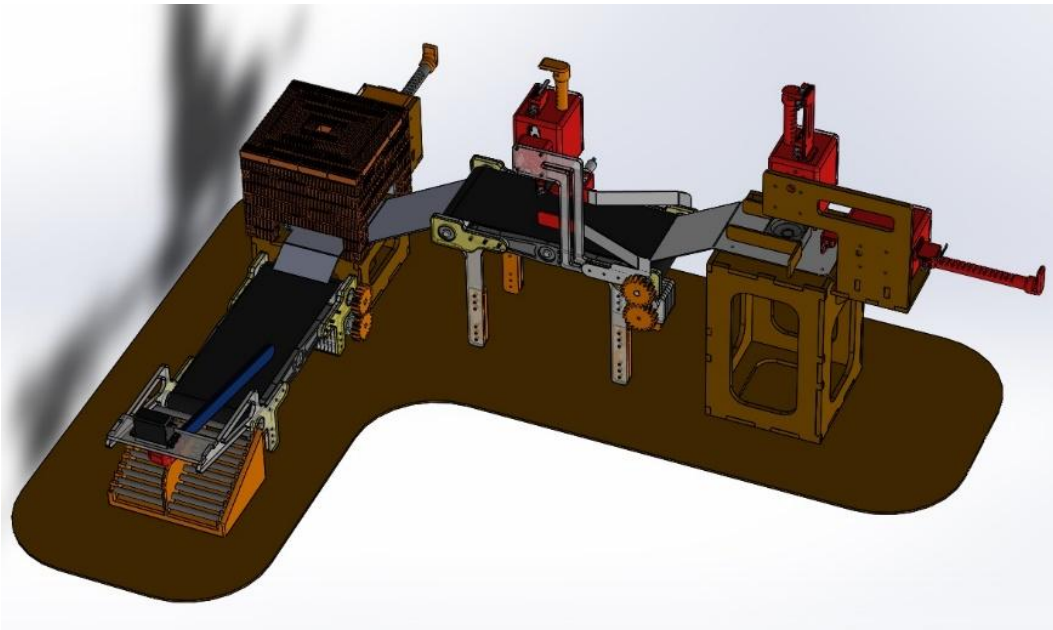


**Fig 71.** Pruebas de funcionamiento Etapa 1.

## Inicio de producción

Con esta última etapa de diseño finalmente se completó la visión general de todo el CAD del PCPA para finalmente pasar a la última etapa de mecanizado y ensamblaje como se puede ver en la figura 72; ya con las consideraciones y todo en orden para el inicio de la producción de la última etapa para así dar paso a la programación y puesta a punto del sistema.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Fig 72.** Diseño final PCPA.

Respecto a los procesos de mecanizado, no variaron mucho ante los anteriormente descritos, la base fue cortada mediante corte láser en MDF, las rampas, nuevamente cortadas y dobladas en aluminio y las demás piezas como piñones, cremalleras, cajas de ensamble y soportes de sensores mediante impresión 3D en ABS, también fue necesario realizar algunas modificaciones en el gabinete de control para adaptar los nuevos componentes al sistema y así poder pasar a la programación de los dispositivos de control.

## Programación y puesta a punto

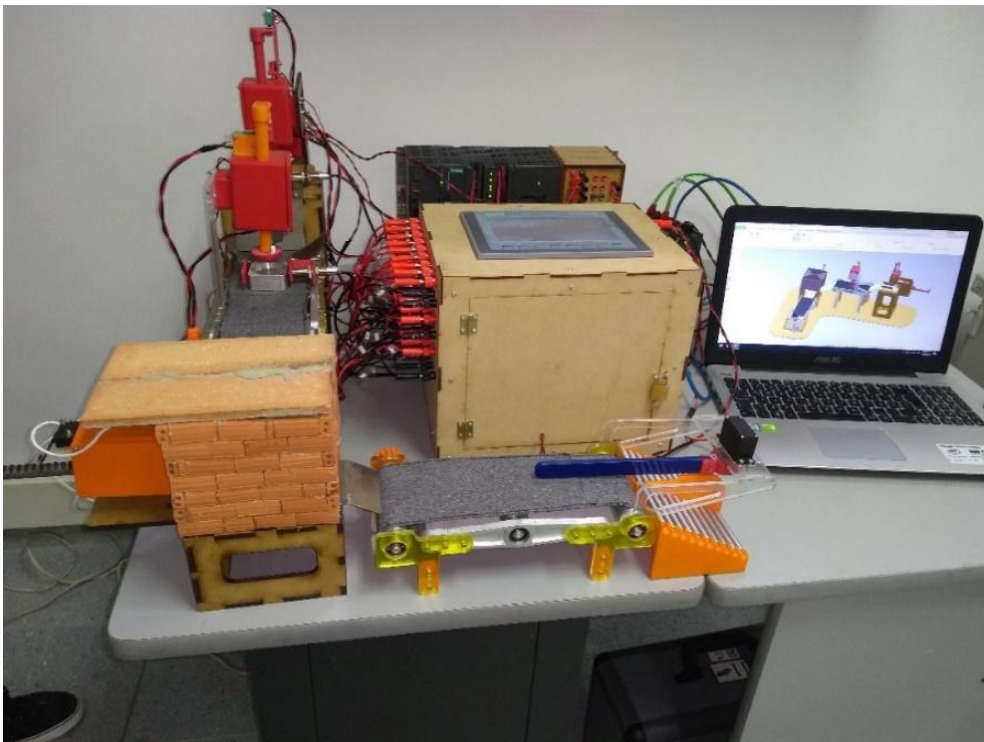
Primero se procedió a desarrollar el programa principal el cual estaría cargado al PLC S7-300, el cual controlaría todos los actuadores excepto el servomotor, este estaría controlado directamente por el Arduino UNO el cuál sería controlado por señales entrantes desde el PLC, dichas interfaces se muestran en la figura 73, programando paso a paso en dos modalidades, primero el modo manual supervisado y el modo automático de control a través de la sensórica del sistema; igualmente dentro del proceso hubo consideraciones por falta de algunos sensores tanto dentro del horno como en la banda 2, para ello se implementó programación para así darle un correcto funcionamiento al sistema.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Fig 73.** Esquema de programación PCPA.

Así, finalmente tener un dispositivo totalmente definido, ensamblado y listo para producir las piezas cerámicas de forma rápida y automatizada, tal y como se puede ver en la figura 74, se puede observar tanto la planta, como el gabinete de control, el PLC y la modelo funcional digital el cual es operado de forma paralela al prototipo por el controlador principal.



**Fig 74.** Prototipo final PCPA.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

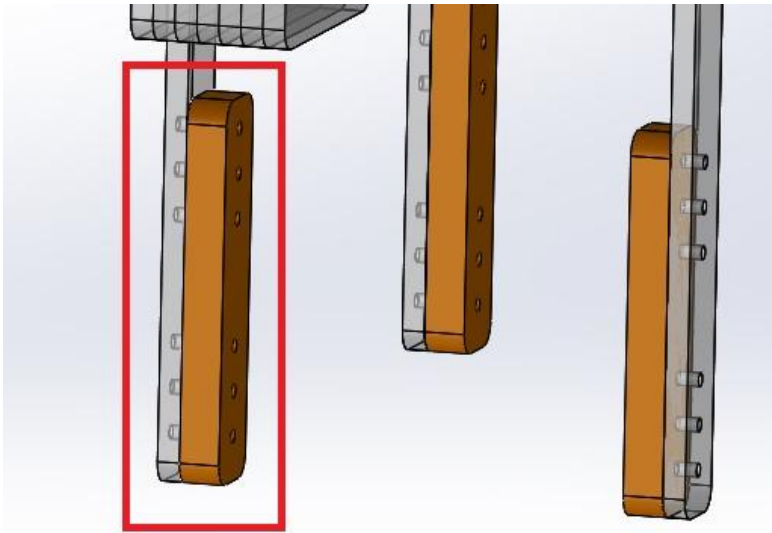
---

Finalmente, una vez concluido el proyecto, es importante poner en una balanza los pros y contras de cada paso dado a lo largo de este tiempo invertido en el análisis y los estudios requeridos para llevar a cabo este desarrollo; inicialmente la mayor dificultad fue encontrar una metodología correcta de diseño, dado que inicialmente antes de obtener documentación al respecto se optó por una metodología compacta, en la que se diseñaron piezas de alta complejidad y de difícil mecanizado, recortando así las posibilidades de llevar a cabo la construcción del prototipo. Una vez identificado el problema y aplicada la solución de pudo evidenciar que la adopción de una metodología de diseño modular facilitó ampliamente tanto el mecanizado como el ensamble de la PCPA; tal y como se dice en la revista Redalyc, en un artículo publicado por Eunice Taboada Ibarra sobre la arquitectura integral y modular (Ibarra, 2005).

*“La arquitectura modular permite desarrollar nuevos productos a través de la estandarización y reducción significativa de los procesos de manufactura, ensamblaje y diseño. En este tipo de arquitectura hay una detallada evaluación de la descomposición, integración y compatibilidad de componentes y de la compatibilidad de las interfaces”.*

De esto se optó por iniciar el diseño replanteando los sistemas más complejos como las estructuras de las bandas en piezas planas y de fácil ensamble con perforaciones para ser ensambladas al resto de la estructura con tornillos y tuercas; facilitando así su manufactura, tal y cómo se puede observar en la figura 75, en la cual, en vez de tener una sola pieza de alta complejidad, se tienen dos piezas planas de fácil manufactura.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Fig 75.** *Diseño modular.*

Dentro de las consideraciones de la etapa de diseño, para los actuadores lineales, tales como inyector y ALS, se propuso inicialmente disponer de cilindros neumáticos para su accionamiento, pero dado el costo y la complejidad de instalación respecto al sistema de aire; se optó por un sistema de piñón y cremallera; el cual finalmente resultó ser óptimo para este tipo de proceso, ya que se requerían opciones de bajo costo y buena eficiencia. Dado esto se procedió a diseñar sistemas de piñón y cremallera para estos actuadores, unos fueron mecanizados en ABS, pero dado que la tercera etapa incluye calor y dado que los polímeros como el ABS no tiene mucha resistencia a la temperatura, se optó por mecanizar esta cremallera en acero AISI 1040 cuyas propiedades son mejores respecto a la resistencia térmica.

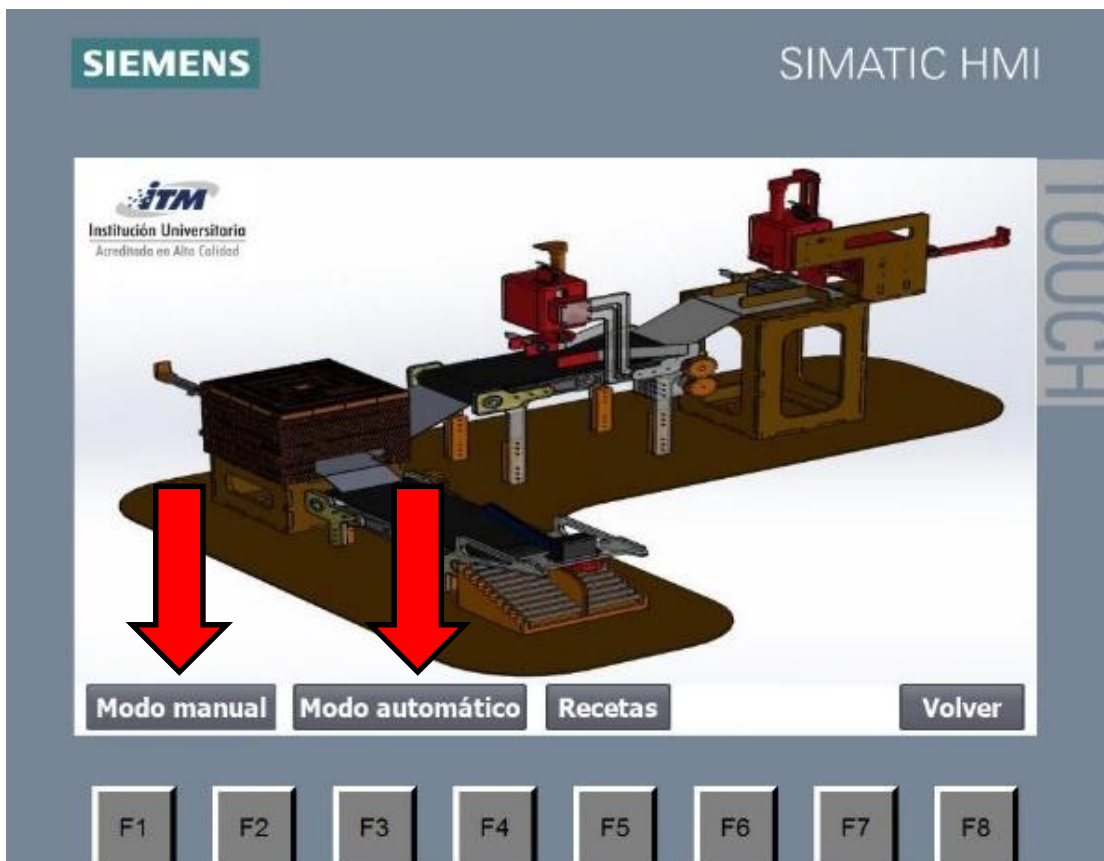
Mientras todo el prototipo estaba en proceso de mecanizado, de forma paralela se iba trabajando el software principal de control el cuál sería instalado, inicialmente se pensó utilizar un PLC siemens S7-1200 debido a su tamaño compacto frente a su homólogo S7-300, pero dada la cantidad de entradas y salidas requeridas, además de entradas especiales como el canal para el sensor de temperatura RTD-PT100, se optó por el PLC S7-300 dado que en su ficha técnica se encontró que contaba con las condiciones necesarias para el completo control del sistema con tan solo un módulo adicional para las comunicaciones vía



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ethernet, mediante lo cual se conectaría tanto el software de programación TPV14 y la pantalla ethernet que controlaría el sistema mediante una interfaz gráfica.

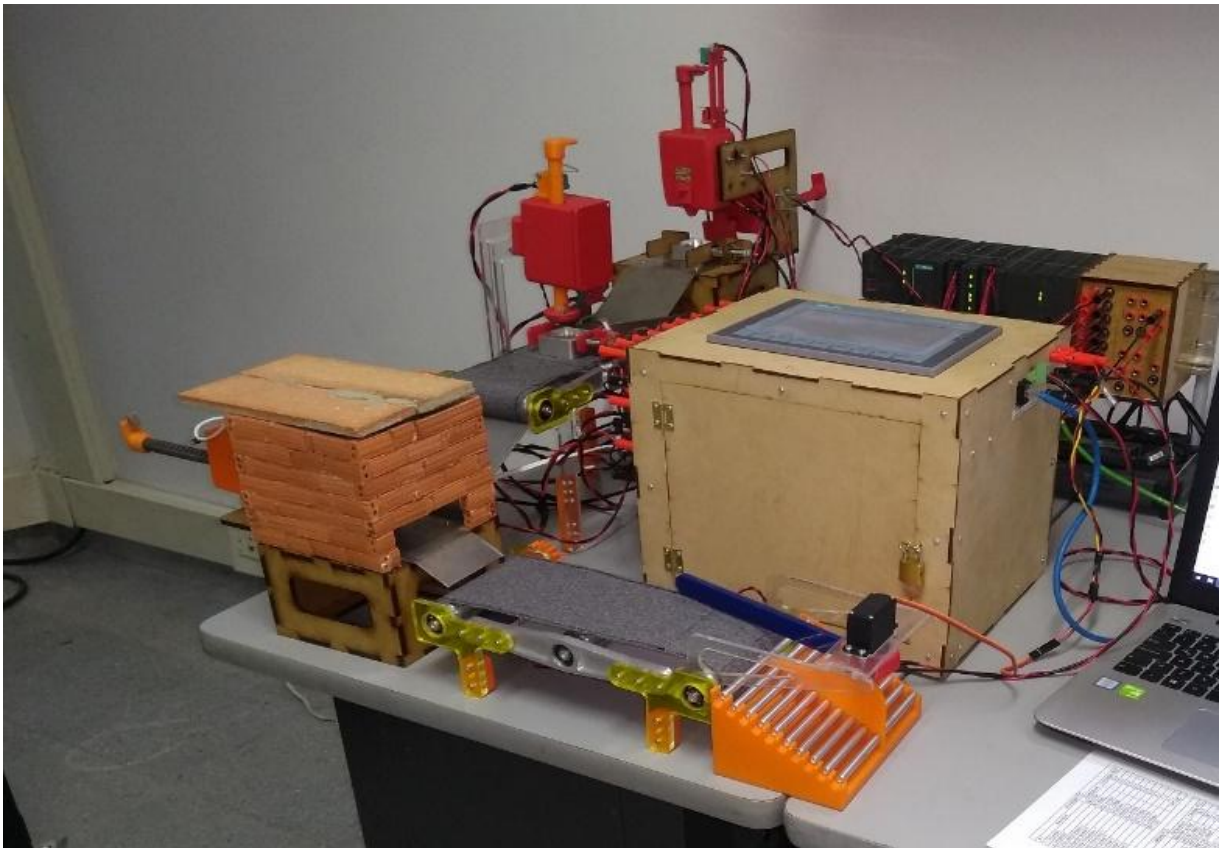
Respecto a la programación del sistema, tres tipos de modos de operación fueron considerados dentro del marco de programación, el primero de forma manual, con seguridades y de libre activación para pruebas de cada uno de los sistemas del prototipo, el segundo era el modo semi-automático donde el operario mediante pulsadores autoriza cada tramo del proceso y por último el modo automático en donde la sensórica controla todo el sistema mediante detección inductiva y temporizadores para accionamiento de los sistemas; finalmente se decidió dejar solo el modo manual y el modo automático dado que en manual se puede trabajar de forma semi-automática tal y como se muestra en la figura 76.



**Fig 76.** Interfaz de control.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Finalmente, una vez construido y programado el sistema, se procedió a su primera prueba de funcionamiento y se detectaron algunos problemas de alineación que provocaron atascos durante el recorrido de los moldes, para solucionar esto se decidió fijar la estructura a una base que soportaría todas las etapas y las mantendría alineadas para evitar los problemas de posicionamiento. Una vez todo estuvo listo se vio como resultado el prototipo de planta cerámica automatizada que nació de una idea y fue evolucionando a lo que, hoy pasando por etapas de diseño, mecanizado, ensamble y puesta a punto; llegando finalmente a un prototipo funcional y una opción viable para las micro y medianas empresas dedicadas a la manufactura de piezas cerámicas como platos, pocillos y tazas para así automatizar sus procesos y así mejorar su productividad con el prototipo escalable que se muestra en la figura 77.



**Fig 77.** Prototipo de planta cerámica automatizada.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Al final de todo proyecto se llega al punto de concluir, luego de observar detalladamente y contrastarlos con los objetivos planteados al inicio se puede decir que se cumplió plenamente el objetivo general planteado; dado que es posible desarrollar el sistema de banda transportadora para la fabricación de piezas cerámicas, el cual, es controlado por una interfaz HMI y un PLC siemens S7-300, además, de un Arduino UNO. Siendo este finalmente un prototipo de una opción viable para las pequeñas y medianas empresas que cuya razón social es crear piezas cerámicas y necesiten mejorar su productividad.

A través del uso de herramientas CAD como lo son SOLIDWORKS y Siemens NX es muy dinámico el diseño, ya que permite visualizar tanto el diseño en 3D como su funcionamiento en tiempo real; para así finalmente considerar modificaciones y detalles a mejorar en cada aspecto del diseño inicial. Una vez completado el proceso de diseño entran las herramientas CAM como lo es SprutCAM con su particular y fácil programación de máquinas CNC como las que dispone el ITM en sus sedes Robledo y Parque i, en donde se mecanizan los componentes del prototipo y así llevarlo a su construcción y ensamble.

Tras el diseño y la programación de las máquinas CNC, se procede a analizar los tipos de mecanizados requeridos para llevar a cabo la construcción del prototipo; cabe resaltar que durante el proceso formativo en la carrera de ingeniería en mecatrónica se adquieren habilidades que sustentan la criticidad entre los distintos procesos de mecanizado y así poder elegir los mejores métodos para llevar a cabo la construcción de todos los componentes teniendo en cuenta la complejidad requerida y así elegir un correcto y eficiente método de mecanizado.

Finalmente, los sistemas de control son ensamblados en un gabinete que permite tanto disponer de los elementos como convertidores, relevadores, fuentes e interruptores de una

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

forma organizada y fácil de administrar; todo esto llevado a cabo tanto en el laboratorio de circuitos en el ITM sede robledo, como en el laboratorio de PLC en el ITM sede fraternidad, obteniendo así un gabinete de control programado, construido y listo para su implementación dentro del prototipo.

Durante el proceso se logró evidenciar algunos detalles que a modo de mejora pueden incluso hacer el prototipo más eficiente y funcional, como lo es la integración de más sensórica a lo largo del proceso, mejores métodos de programación incluso en la electrónica con fuentes de mayor poder que permitan mayor independencia del sistema ante alteraciones ya sean alternas o internas a este; por ello quedan marcados dentro de este punto estas recomendaciones que pueden llevar este prototipo a muchas mejoras.

A modo de trabajo futuro, este tipo de proyectos son apenas el abrebocas a un mundo mucho más vasto como lo es la automatización, ya que como bien se dijo este prototipo es una opción de automatización de bajo costo en contraste con otros sistemas más complejos, pero que presenta una gran solución en cuanto a la mejora de tiempos de producción y costos dentro de este; siendo así una oportunidad de desarrollo en base a todo lo estudiado y analizado dentro de este proyecto, el cual, nacido de una simple idea y llevado hasta el primer prototipo funcional.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

Arduino. (2018). *ARDUINO UNO REV3*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

Artesanías de Colombia. (9 de 10 de 2015). *Colombia Artesanal: El Carmen de Viboral, pinceladas de tradición*. Obtenido de [http://artesaniasdecolombia.com.co/PortalAC/Noticia/colombia-artesanal-el-carmen-de-viboral-pinceladas-de-tradicion\\_6394](http://artesaniasdecolombia.com.co/PortalAC/Noticia/colombia-artesanal-el-carmen-de-viboral-pinceladas-de-tradicion_6394)

ArteyCAD. (15 de Agosto de 2014). *Como hacer un engrane fácilmente en SolidWorks*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=26Dac0Cdx9k>

Azom. (2018). *AISI 1040 Carbon Steel (UNS G10400)*. Obtenido de <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6525>

BIGTRÓNICA. (18 de 05 de 2018). Obtenido de Fuente Regulador DC-DC LM2596: [https://www.bigtronica.com/centro/adaptadores-y-fuentes-de-voltaje/118-fuente-regulador-dc-dc-lm2596-5053212001186.html?search\\_query=convertidor+dc+dc&results=17](https://www.bigtronica.com/centro/adaptadores-y-fuentes-de-voltaje/118-fuente-regulador-dc-dc-lm2596-5053212001186.html?search_query=convertidor+dc+dc&results=17)

BIGTRÓNICA. (15 de 05 de 2018). Obtenido de Fuente de voltaje suichada 5V / 12V / -12V: [https://www.bigtronica.com/centro/adaptadores-y-fuentes-de-voltaje/286-fuente-de-voltaje-suichada-5v-12v-12v-5053212002862.html?search\\_query=fuente+12V&results=27](https://www.bigtronica.com/centro/adaptadores-y-fuentes-de-voltaje/286-fuente-de-voltaje-suichada-5v-12v-12v-5053212002862.html?search_query=fuente+12V&results=27)

BIGTRÓNICA. (18 de 05 de 2018). Obtenido de Servomotor estandar de alto torque MG996R: [https://www.bigtronica.com/centro/motores/servomotor/193-servomotor-estandar-de-alto-torque-mg996r-5053212001933.html?search\\_query=SERVOMOTOR&results=19](https://www.bigtronica.com/centro/motores/servomotor/193-servomotor-estandar-de-alto-torque-mg996r-5053212001933.html?search_query=SERVOMOTOR&results=19)

BIGTRÓNICA. (17 de 05 de 2018). Obtenido de Tarjeta rele optoacoplada x 2 salidas: [https://www.bigtronica.com/centro/componentes-electromecanicos/rele/45-tarjeta-rele-optoacoplada-x-2-salidas-5053212000455.html?search\\_query=rele&results=47](https://www.bigtronica.com/centro/componentes-electromecanicos/rele/45-tarjeta-rele-optoacoplada-x-2-salidas-5053212000455.html?search_query=rele&results=47)

BIGTRÓNICA. (16 de 05 de 2018). *Arduino UNO SMD*. Obtenido de [https://www.bigtronica.com/centro/sistemas-arduino/tarjetas-arduino/3-arduino-uno-smd-5053212000035.html?search\\_query=arduino+uno&results=22](https://www.bigtronica.com/centro/sistemas-arduino/tarjetas-arduino/3-arduino-uno-smd-5053212000035.html?search_query=arduino+uno&results=22)

BIGTRÓNICA. (15 de 6 de 2018). *Sensor Inductivo* . Obtenido de [https://www.bigtronica.com/centro/sensores/magneticos/799-sensor-inductivo-lj12a3-4-zbx-5053212007997.html?search\\_query=inductivo&results=2](https://www.bigtronica.com/centro/sensores/magneticos/799-sensor-inductivo-lj12a3-4-zbx-5053212007997.html?search_query=inductivo&results=2)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- BIGTRÓNICA. (15 de 6 de 2018). *Sensor Inductivo LJ12A3-4-Z/BX*. Obtenido de [https://www.bigtronica.com/centro/sensores/magneticos/799-sensor-inductivo-lj12a3-4-zbx-5053212007997.html?search\\_query=inductivo&results=2](https://www.bigtronica.com/centro/sensores/magneticos/799-sensor-inductivo-lj12a3-4-zbx-5053212007997.html?search_query=inductivo&results=2)
- Casillas, A. (2008). *Máquinas cálculos de taller*. Madrid : Ediciones máquinas.
- Comec Italia. (12 de 10 de 2017). *MT3*. Obtenido de <http://comec-italia.com/macchine/mt3-2/>
- Conbotassucias. (2018). *PT100, RTD*. Obtenido de <https://conbotassucias.wordpress.com/2012/09/14/pt100-rtd/>
- D. Eppinger, S., & T. Ulrich, K. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México D.F.: McGrawHill.
- Electricautomationnetwork. (8 de 05 de 2018). Obtenido de 6ES7307-1EA01-0AA0 SIEMENS SIMATIC S7-300 fuente alim. estabiliz. PS307 entrada: 120/230 V AC salida: 24 V.: <https://www.electricautomationnetwork.com/es/siemens/6es7307-1ea01-0aa0-6es73071ea010aa0-siemens-simatic-s7-300-fuente-alim-estabiliz-ps307-entrada-120-230-v-ac>
- En el otro renglón. (2 de Enero de 2015). *Vajillas Corona, "corona" el medio ambiente con productos amigables*. Obtenido de <https://enelotrorenglon.wordpress.com/2015/01/02/vajillas-corona-corona-el-medio-ambiente-con-productos-amigables/>
- Esbelt. (8 de 10 de 2017). *Troqueladora semiautomática LTU 100V7*. Obtenido de <http://www.esbelt.com/index.php/project/maquinaria-para-bandas-transportadoras/>
- Giraldo, J. P. (2004). Metodología para el desarrollo de nuevos productos. *Primer Encuentro Nacional de Investigación en Diseño Universidad*.
- I+D Didácticas Electrónicas. (18 de 6 de 2018). *Microswitch de palanca*. Obtenido de <https://didacticaselectronicas.com/index.php/suiches-y-conectores/microswitch-de-palanca-microsuiche-switch-suiches-pulsadores-detail>
- I+D Didácticas Electrónicas. (12 de 04 de 2018). Obtenido de L298N: <https://didacticaselectronicas.com/index.php/robotica/controlador-puente-h-l298n-detail>
- I+D Didácticas Electrónicas. (20 de 6 de 2018). *Sensor de Temperatura PT-100*. Obtenido de <https://didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/sensor-de-temperatura-pt-100-4-a-20-detail>
- Ibarra, E. T. (2005). La arquitectura integral y modular. *Redalyc*, 66.
- Ideplas. (2018). *Lámina PMMA*. Obtenido de <http://www.ideplas.com/fichas-tecnicas.html>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Interempresas. (30 de 10 de 2017). *Un sistema de transporte para cada situación*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/35978-Un-sistema-de-transporte-para-cada-situacion.html>

Kalkan, S. (3 de Junio de 2015). *grabCAD*. Obtenido de <https://grabcad.com/library/conveyor-belt-for-small-projects-1>

León, C. R. (2010). Propuesta metodológica para el desarrollo de productos.

López, D. A. (8 de 10 de 2016). Guía para comunicación NX-PLC S7-300. Medellín, Colombia.

Masisa MDF. (2018). *Ficha técnica del MDF*. Obtenido de <https://www.masisa.com/col/producto/mdf/>

Matweb. (2018). *Corundum, Aluminum Oxide, Alumina, 99.9%, Al2O3*. Obtenido de <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=c8c56ad547ae4cfabad15977bfb537f1&ckck=1>

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México D.F.: Pearson Education.

Naylamp mechatronics. (2018). *Tutorial uso de servomotores con arduino*. Obtenido de [https://naylampmechatronics.com/blog/33\\_Tutorial-uso-de-servomotores-con-arduino-.html](https://naylampmechatronics.com/blog/33_Tutorial-uso-de-servomotores-con-arduino-.html)

Norton, R. (2009). Nomenclatura de engranajes. En R. Norton, *Diseño de maquinaria* (págs. 420-424). México D.F.: McGrawHill.

Norton, R. L. (2009). *Diseño de maquinaria*. México D.F.: McGrawHill.

Provi-Metal. (25 de 9 de 2018). *Provi-Metal*. Obtenido de <http://www.provimetal.cl/corte-y-plegado.php>

Ramos, C. E. (2014). *El Carmen de Viboral, el jardín llevado a la loza*. Bogotá D.C: Ministerio de Cultura, República de Colombia.

Siemens AG. (12 de Junio de 2008). SIMATIC S7-300 CPU 31xC y CPU 31x Datos técnicos. *Manual de producto*. Nürnberg, Alemania: Siemens AG.

Stratasys. (27 de Agosto de 2017). *grabCAD*. Obtenido de <https://grabcad.com/>

SUCONEL. (13 de 04 de 2018). *Relevador 24V DC*. Obtenido de <http://suconel.com/nueva3/tienda/rele-de-11-pines-3-contactos-bobina-110v-ac-10a/>

Transworld 2000. (12 de 04 de 2018). *Magnetotérmico DPN*. Obtenido de <https://www.tw2000.es/interruptor-magnetotermico/magnetotermico-dpn-16.html>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Universidad de Barcelona. (25 de Septiembre de 2018). *Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS)*.  
Obtenido de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/acrilonitrilo-butadieno-estireno-abs>.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## APÉNDICE

---

- Apéndice A: Planos mecánicos de la etapa 1.
- Apéndice B: Planos mecánicos de la etapa 2.
- Apéndice C: Planos mecánicos de la etapa 3.
- Apéndice D: Planos mecánicos de la etapa 4.
- Apéndice E: Planos eléctricos del sistema.
- Apéndice F: Manuales de operación de la PCPA.
- Apéndice G: Programación del PLC.
- Apéndice H: Programación de la HMI.
- Apéndice I: Programación del Arduino.
- Apéndice J: Guía de comunicación NX - PLC S7-300.

FIRMA ESTUDIANTES

*Juan Arango*

\_\_\_\_\_

*[Signature]*

\_\_\_\_\_

*Miguel*

\_\_\_\_\_

FIRMA ASESOR \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO \_\_\_      ACEPTADO \_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_