

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

# **Diseño e implementación de una plataforma de esmaltado semiautomático para pocillos cerámicos.**

JOHNATAN MONTOYA MOLINA

INGENIERIA MECATRÓNICA

Director

Manuel Alejandro Ospina Alarcón

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Agosto de 2017**

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

## RESUMEN

---

Este trabajo es un proyecto tecnológico que describe como se obtuvo el diseño y la implementación de una plataforma de esmaltado semiautomático para pocillos cerámicos, desarrollada bajo la metodología DMAIC, la cual consiste en lograr unas metas u objetivos específicos de manera cíclica con los mejores análisis y resultados al culminar el proyecto.

Con el desarrollo de la plataforma se implementa un robot antropomórfico colaborativo para facilitar la manipulación de pocillos, además se diseñaron diferentes estructuras y sistemas que facilitan el proceso de esmaltado, como son: sistema de recirculación y homogenización de esmalte, sistemas de sujeción de las piezas y sus respectivos controles electroneumáticos, con dichos sistemas se mejoraron las condiciones de trabajo de los operarios e incrementaron los valores porcentuales de productividad y calidad del proceso existente.

Al final se logró implementar todos los sistemas diseñados con resultados satisfactorios, pudiendo así esmaltar pocillos de diferentes tamaños y formas, con el valor agregado de poder utilizar este autómeta con otras formas irregulares como son cerealeros o ensaladeras cerámicas sin afectar las condiciones operativas de los trabajadores de las plantas industriales, el cual era el objetivo principal del proyecto.

Palabras claves: DMAIC, antropomórfico, banda sobadora, autómeta.

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

## RECONOCIMIENTOS

Hoy a unos días de culminar mi formación profesional manifiesto mis más grandes agradecimientos a aquellas personas que hicieron y hacen parte de mi desarrollo como persona y académico en la ingeniería Mecatrónica, por su paciencia, apoyo y compañía diaria a mi esposa Natalia Cano y por los valores inculcados desde niño a mis padres Alberto Montoya y Doris Elena Molina, así como soy agradecido ante la oportunidad que me ha brindado Vajillas CORONA al permitirme trabajar, aportar y desarrollar proyectos de gran calado en sus instalaciones. A mis jefes Wilfer Correa y Wilfer Nieto por encontrar la manera de apoyarme y hacerme participe de sus innovaciones las cuales me han ayudado al logro de las metas de este proyecto.

A mis amigos de la facultad y profesores siempre les agradezco el conocimiento aportado durante estos años de grandes sacrificios y exitosos momentos que nos han fortalecido como ser humano. Eternamente agradecido a todos y por todo.

Johnatan Montoya Molina.

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

# ACRÓNIMOS

---

DMAIC Definir, medir, analizar, implementar y controlar

KPI Indicadores Claves de Proceso

NREL Laboratorio Nacional de Energía Renovable

SST Salud y Seguridad en el Trabajo

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

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	8
3. METODOLOGÍA .....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	31
REFERENCIAS .....	33
APÉNDICE.....	34

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

# 1. INTRODUCCIÓN

En las empresas de vajilla cerámica (fabricación de pocillos), existe un proceso llamado esmaltado bicolor de pocillos. Este tipo de proceso en la actualidad es netamente manual y laborioso, sólo se puede hacer una vez a cada pocillo y el resultado final de la producción, tanto en cantidad y calidad, depende de la concentración y habilidad de quien ejecuta la acción del esmaltado, además se evidencia que a largo plazo este proceso puede traer molestias físicas a los operarios, debido a los movimientos repetitivos y al contacto con la superficie caliente de las piezas que recién salen del proceso de secado.

El mundo de la industria cerámica se ha vuelto muy competitivo y versátil en cuanto a formas, decoraciones y costo del producto, donde las empresas fabricantes deben enfocarse en marcar una gran diferencia respecto a la competencia, ya sea en uno o más de los aspectos anteriormente mencionados, además el mejoramiento de los procesos donde se ven beneficiados tanto el trabajador como la empresa son bien vistos a nivel comercial entre las grandes marcas.

Este trabajo pretende disminuir los factores anteriormente mencionados, teniendo como objetivo general el diseño e implementación de una plataforma semiautomática de esmaltado para pocillos cerámicos, así como cada una de las partes que la conforman: tanques de inmersión, bandas, dispositivos de sujeción del producto y la programación del robot con secuencias confiables y seguras. Con el fin de implementar procesos duraderos en el tiempo, un objetivo primordial es capacitar a los jefes y personal operativo de las esmaltadoras de pocillos.

El mejoramiento es desarrollado bajo la implementación de la metodología DMAIC, la cual especifica unos pasos para obtener los mejores resultados al abordar un problema. El proyecto se realizó por etapas: elaboración de la plataforma de esmalte, implementación de los sistemas de sujeción, programación y capacitación del personal relacionado con el proceso. Todo el proyecto es adaptativo ya que se respetan las condiciones principales del proceso original.

Al final se evalúan los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos con la implementación del proceso semiautomático de esmaltado bicolor.

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

## 2. MARCO TEÓRICO

---

En la actualidad los autómatas son una herramienta muy utilizada y son equipos que pueden emular los movimientos realizados por los humanos y por consiguiente hacer funciones hechas por personas en ambientes hostiles o peligrosos. En empresas donde se aplican pinturas, aditivos o algún otro tipo de recubrimiento para proteger un producto, los automatismos se han hecho muy útiles por la versatilidad de sus movimientos y porque se evita tener al personal expuesto a químicos que pueden ser nocivos para la salud a largo plazo. Por otra parte, en la fabricación de piezas cerámicas uno de los grandes retos al momento de cubrir con esmalte un producto, es lograr un acabado superficial perfecto y agradable a la vista, de hecho al momento de automatizar éstos procesos es vital obtener una cuidadosa manipulación de las piezas para evitar algún tipo de defecto (Pires y Paulo, 2003).

Superado el reto de la manipulación, una de las grandes ventajas del proceso automatizado versus el proceso manual es la reducción de la constante supervisión de la operación de decorado. Nakngonthong et al. 2011 (Nakngonthong, Kanarat y Saito, 2011) experimentaron con diferentes piezas cerámicas esmaltadas por un autómata, observando y demostrando que tan fácil es mejorar algunos puntos específicos del producto (zonas donde se requiere mayor o menor capa de esmalte) logrando mejores resultados al manipular las diferentes variables del sistema automático.

En la industria se emplean tres diferentes formas de aplicar los esmaltes en las piezas cerámicas: por inmersión, baño o cascada y atomización, en éste último método se utilizan máquinas que atomizan el esmalte a través de pistolas neumáticas, mientras las piezas avanzan en una banda o soportes especiales según la morfología del producto y así lograr un recubrimiento homogéneo. En otros casos las maquinas son robots que manipulan las pistolas neumáticas para cubrir espacios difíciles de llegar. Georgilas y Tourassis, 2007, (Georgilas y Tourassis, 2007) afirman que cada método tiene sus ventajas y desventajas al buscar un buen resultado, ya que todo depende de la morfología del producto, la viscosidad del esmalte y la rapidez con que se quiere realizar el trabajo.

En las empresas dedicadas a producir piezas cerámicas, como lavamanos, sanitarios o vajillas; es de vital importancia el proceso de esmaltado, de éste depende en gran parte la calidad del producto final, ya que es el esmaltado el que le da las características superficiales al producto tales como: suavidad, brillo y acabados llamativos, además de evitar la implantación de bacterias y proteger las piezas de la abrasión y la humedad (Georgilas y Tourassis, 2007).

Entre las aplicaciones de autómatas al proceso de esmaltado, sobresale la aplicación que se realizó en 1980 en TI CREDA (international journal of production research, Londres 1980), empresa

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

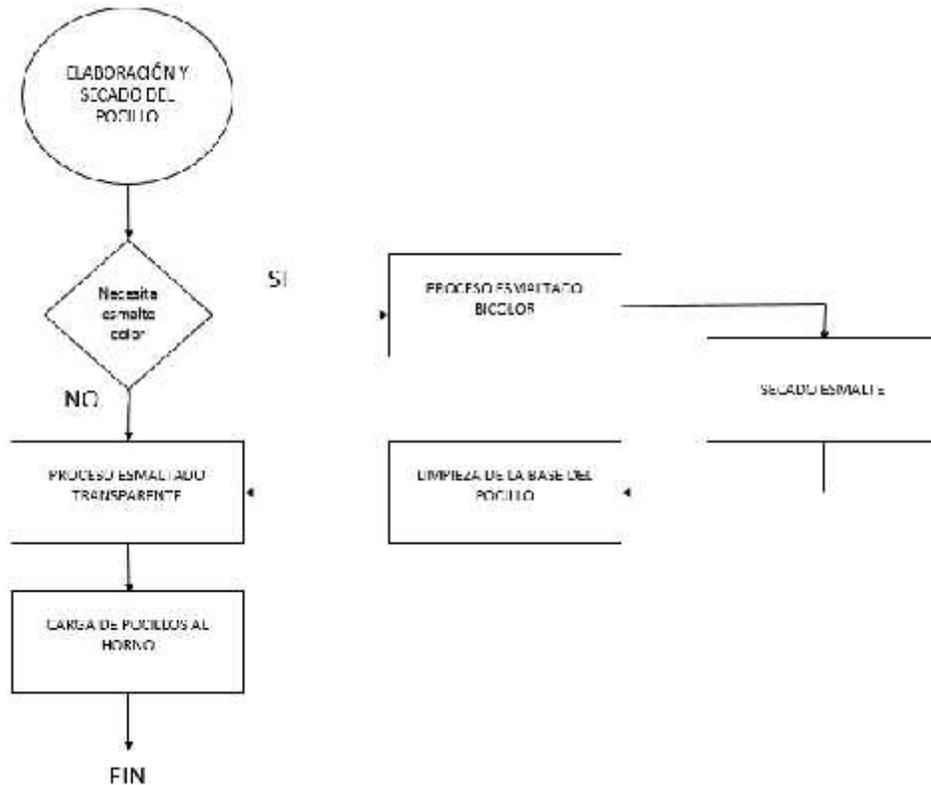
destinada a fabricar estufas, allí implementaron un robot para aplicar esmalte cerámico sobre las cubiertas de las estufas, los ingenieros de procesos observaron grandes beneficios en cuanto a la salud de sus empleados, mayor rapidez del proceso, incremento de la productividad y ahorro en el consumo de la materia prima. En la materia prima se evidenciaron ahorros de hasta un 40% en el esmalte cerámico sin afectar los logros obtenidos en el acabado superficial del producto, además de tener ahorros en los costos de mantenimiento; mantenimientos periódicos básicos cada tres meses, resaltando la alta versatilidad y disponibilidad del automatismo esmaltador (international journal of production research, Londres 1980).

Universal robots, empresa suiza fabricante de brazos robóticos colaborativos, desarrolló para Betacom, (empresa dedicada a realizar soluciones de alumbrado público), una máquina fundamentada en un brazo colaborativo para el ensamble de tarjetas electrónicas y bombillas LED. Eliminando por completo los problemas por desajuste y contaminación del personal a (soluciones a casos reales, universal-robots, 2016). Esta tecnología es adaptable en muchos procesos gracias a la interfaz de interacción - programación entre el robot y el personal a cargo del proceso.

La implementación de brazos automatizados en un proceso de manufactura busca reducir el costo del producto, así como simplificar las líneas de producción, obtener mayor rendimiento e incremento de la calidad. (Ulsh, 2011) científico del NREL (National Renewable Energy Laboratory), resalta la importancia de implementar equipos autómatas en procesos de esmaltado electrolítico, donde se logra simplificar el proceso e incrementar la calidad, gracias al flujo continuo y la versatilidad en la manipulación conjunta de los productos por parte de los operarios y los sistemas automáticos.

**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACION DE POCILLOS**

El proceso de elaboración de pocillos cerámicos está conformado por una secuencia lineal de tareas según los requerimientos de producción y calidad (cantidad, color y acabados), de éstos últimos depende la ruta que tomaría el pocillo dentro de la línea productiva. (Ver Figura 1).



**Figura 1.** Diagrama de proceso fabricación actual de pocillo

Fuente: Elaboración propia.

Luego de la elaboración y secado de la pieza, ésta pasa al proceso de esmaltado donde se desvía según el acabado requerido (transparente o colorido), en caso de ser transparente el pocillo pasa por un esmaltado automático por cascada, en cambio cuando requiere esmaltado de dos colores –sea por inmersión parcial o total del pocillo- (ver Figuras 2 y 3), es manipulado por dos personas encargadas de garantizar tanto un excelente acabado superficial como una buena calidad del producto sin llegar a deformarlo o romperlo, Vale la pena aclarar que la pieza a esmaltar está a 45°C aproximadamente, lo cual implica una condición algo riesgosa durante la manipulación, Cabe acotar también que la producción alcanzada por los operarios es de 12 piezas por minuto, o sea una producción de 5760 pocillos en un turno de 8 horas. En ocasiones no se cuenta con la mano

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

de obra suficiente para realizar el esmaltado y esto conlleva a almacenar las piezas en cajones y procesarlos luego, acarreado sobrecostos de producción e incremento de inventarios en stock.



**Figura 2.** Inmersión parcial de pocillo caliente en esmalte color.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.** Inmersión total de pocillo en esmalte color.

Fuente: Elaboración propia.

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

## ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ESMALTADO

### BANDA SOBADORA:

Es una banda especial que tiene felpa sobre ella, que al estar en contacto con agua crea la superficie ideal para remover el esmalte que se ha adherido a la base del pocillo (llamada peana, ver Figura 4 y 5), la cual debe ir descubierta por motivos de diseño y condiciones de quema en el horno.



**Figura 4.** Banda sobadora de peana.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.** Peana o base del pocillo.

Fuente: Elaboración propia.

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

**TANQUE DE INMERSIÓN:**

Depósito metálico o plástico (Figura 6 y 7), donde se sumerge el pocillo tanto como sea necesario (parcial o totalmente).



**Figura 6.** Tanque de inmersión.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 7.** Depósito plástico para inmersión parcial.

Fuente: Elaboración propia.

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

**ESMALTE O ENGOBE:**

Un engobe es una cobertura cerámica generalmente blanca o coloreada (Figura 8), que se coloca sobre los pocillos cuando se desea cubrir la coloración propia de la pieza. Puede ser posteriormente esmaltado y en este caso debe haber un buen acople entre los tres elementos implicados (pocillo, engobe y esmalte), o sea que sean compatibles y no se produzcan defectos superficiales o deformaciones sobre el producto. Se puede disponer de engobes y esmaltes blancos o coloreados según las necesidades, normalmente se aplica un esmalte transparente como cobertura final antes de ingresar el pocillo al horno.



**Figura 8.** Engobe de color verde.

Fuente: Elaboración propia.

Los anteriores elementos son básicos en el esmaltado bicolor, con éstos se pueden obtener buenos resultados, pero con posibilidad de ser mejorados.

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

### 3. METODOLOGÍA

---

La metodología implementada es la metodología DMAIC, basada en un ciclo que facilita la planeación, análisis y desarrollo de las soluciones a un problema. El ciclo se define así:

1. **DEFINIR:** se define el problema, el alcance del proyecto y los beneficios económicos esperados.
2. **MEDICIÓN:** se miden las variables a monitorear durante el proyecto.
3. **ANÁLISIS:** se evalúan las causas raíces del problema y se definen hipótesis para validar la solución.
4. **IMPLEMENTAR:** Hacer realidad las soluciones propuestas.
5. **CONTROLAR:** hacer listas de chequeo y medición constante de las variables para observar el alcance y desenlace del proyecto.

Las etapas 4 y 5 de la metodología DMAIC (implementar y controlar respectivamente), son la evidencia aplicativa y efectiva del proyecto, momento en que se demuestran resultados convincentes o debates ante posibles problemas que requieran ser solucionados eficientemente.

#### **DEFINICIÓN:**

En el proceso de esmaltado bicolor por inmersión se identifican condiciones físicas de trabajo complejas, que pueden acarrear problemas osteo-musculares o quemaduras en la piel de quienes realizan la acción (por movimientos repetitivos y el contacto con superficies calientes), en ocasiones, el acabado de las piezas esmaltadas no es el ideal a pesar de estar dentro de los patrones aceptables de calidad, como son contaminación por color y desnivel en el borde del color. Sin mencionar el proceso de limpieza y pulido para recuperar piezas mal esmaltadas.

Además de definir el problema se determina cual será el alcance del proyecto y que beneficios se lograrán más allá de resolver el problema planteado (económicos, versatilidad del proceso, etc), por esto se definen los siguientes objetivos:

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

### Objetivo General

Diseñar e implementar una plataforma de esmaltado semiautomático para pocillos cerámicos.

### Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar la plataforma donde se instalará el robot, la banda sobadora, el tanque y el tablero eléctrico de control del sistema.
- Diseñar el tanque de inmersión garantizando la constante homogenización del esmalte.
- Diseñar e implementar los dispositivos de sujeción de los pocillos.
- Programar el robot con secuencias confiables y seguras para las diferentes referencias de pocillos, acoplándose el brazo al proceso actual.
- Capacitar a los jefes y personal operativo de las esmaltadoras de pocillos.

Para la realización del proyecto se planteó un cronograma de trabajo (Apéndice A).

### MEDICIÓN:

Los indicadores iniciales están basados en la productividad del proceso (#personas/#piezas producidas en 8 horas), enfermedades profesionales por trabajar en el proceso de esmaltado por inmersión, calidad actual del producto, numero de formas o referencias esmaltadas. Ya que éstas son las variables que se verían afectadas al implementar una solución.

**Productividad:** la producción por minuto de los dos operarios es de 12 pocillos, logrando una productividad -sin implementar el proyecto-de 2880 piezas/persona en un turno de 8 horas. La Ecuación 1 muestra el cálculo de la productividad.

$$productividad = \frac{producciónTotalTurno}{\# personasInvolucradaEnElproceso} \quad (1)$$

### Enfermedades profesionales:

La posibilidad de tener operarios con enfermedades profesionales como tendinitis, tenosinovitis o el síndrome del túnel del carpiano en las manos es alta por la cantidad de movimientos que estos hacen al pretender esmaltar cada pocillo:

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

Por cada pocillo, el operario realiza 11 movimientos para lograr esmaltarlo y en un turno de producción se realiza un promedio de 5760 pocillos esmaltados en un turno de 8 horas, o sea 63360 movimientos hechos por el operario en una jornada de 8 horas.

**Calidad del producto:** se hacen mediciones en dos lotes de 50 pocillos y se identifica que el 50% de las piezas esmaltadas presenta un defecto en particular; desnivel en la capa de esmalte de color (ver Figura 9), aunque es permisible según patrones de calidad, no son muy llamativos estéticamente hablando.



**Figura9.** Pocillos con defecto de desnivel.

Fuente: elaboración propia.

**Cantidad de referencias que se pueden esmaltar:** con el método tradicional se logran esmaltar 3 referencias, las cuales son el punto a equilibrar al encontrar una solución (ver Figura 10).



**Figura 10.** Primeras formas de pocillo a esmaltar.

Fuente: elaboración propia.

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

**ANALISIS:**

Se evalúan los ítems y se clasifican como problemas o limitantes del proceso, en la Tabla 1 se ven los resultados de esta clasificación.

Tabla 1. Clasificación de los ítems a mejorar.

<b>PROBLEMA</b> <small>(inconveniente que debe ser solucionado por su impacto negativo durante el esmaltado)</small>	<b>LIMITANTE</b> <small>(dificultad para realizar el esmaltado correctamente )</small>
Cantidad de movimientos repetitivos	Dependencia del proceso a requerir personas hábiles o expertas para obtener mayor productividad
Tiempo de contacto con superficies calientes	Método para hacer las inmersiones del pocillo
Desnivel en el esmaltado a color	Cantidad de referencias que se esmaltan
Método para homogenizar el esmalte o engobe	Cantidad de pocillos esmaltados en el turno

**HIPOTESIS Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES:**

Cada problema o limitante identificado (ver Tabla 1), se analizan para encontrar las posibles causas y plantear soluciones efectivas a cada uno de los ítems (ver Tabla 2).

Tabla 2. Planteamiento de soluciones a problemas y limitaciones.

<b>PROBLEMA</b> <small>(inconveniente que debe ser solucionado por su impacto negativo durante el esmaltado)</small>	<b>HIPOTESIS</b> <small>(posibles causas de lo sucedido)</small>	<b>SOLUCIÓN</b> <small>(Plan de acción )</small>
cantidad de movimientos repetitivos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El operario no cuenta con herramientas que faciliten la realización del proceso de inmersión del pocillo.</li> <li>2. Las formas de los pocillos obligan al operario a realizar maniobras inseguras con sus manos para realizar la función correctamente.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseñar un dispositivo capaz de sujetar los diferentes tamaños de pocillo (que reemplacen los movimientos de las manos).</li> </ol>
Tiempo de contacto con superficies calientes	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Entre más complejo sea el pocillo, más tiempo de contacto tendrá el operario con altas temperaturas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseñar un dispositivo capaz de sujetar los diferentes tamaños de pocillo.</li> <li>2. Implementar métodos para sujetar la pieza adecuadamente con guantes para minimizar el impacto de la temperatura en las manos del operario</li> </ol>
Desnivel en el esmaltado a color	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para el operario es complejo conservar el mismo nivel de inmersión al primer y único intento que se puede sumergir la pieza a esmaltar.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utilizar una herramienta capaz de controlar y/o ajustar los movimientos de manera precisa.</li> </ol>

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

Método para homogenizar el esmalte o engobe	1. El esmalte y el engobe debe ser mezclado frecuentemente por el operario, obligando a tener que parar el proceso de inmersión. Perdiendo rendimiento productivo.	1. Diseñar un sistema capaz de mezclar el esmalte sin que se afecte el proceso de esmaltado o que el operario no tenga que realizar dicha operación. 2. Diseñar un depósito que permita manipular y homogenizar el esmalte antes, durante y después de esmaltar.
<b>LIMITANTE</b> <small>(dificultad para realizar el esmaltado correctamente )</small>	<b>HIPOTESIS</b> <small>(posibles causas de lo sucedido)</small>	<b>SOLUCIÓN</b> <small>(Plan de acción )</small>
Dependencia del proceso a requerir personas hábiles o expertas para obtener mayor productividad	1. Las funciones de están estigmatizadas por los operarios, “no cualquier persona puede esmaltar”. 2. El ingreso de personal nuevo al área es crítico para el proceso por no obtener la habilidad rápidamente.	1. Utilizar una herramienta capaz de controlar y/o ajustar los movimientos de manera precisa. 2. Diseñar un dispositivo capaz de sujetar los diferentes tamaños de pocillo (que reemplacen los movimientos de las manos).
Método para hacer las inmersiones del pocillo	1. Los métodos requieren tiempo para adquirir la habilidad y no llegar a estropear los pocillos por mal esmaltado. 2. Los pocillos son delicados y tienen formas irregulares que dificultan la sujeción para poder manipularlos durante el esmaltado.	1. Diseñar un dispositivo capaz de sujetar los diferentes tamaños de pocillo (que reemplacen los movimientos de las manos). 2. Utilizar una herramienta capaz de controlar y/o ajustar los movimientos de manera precisa.
Cantidad de referencias que se esmaltan	1. solo se esmaltan tres referencias de pocillos.	1. Diseñar un dispositivo capaz de sujetar los diferentes tamaños de pocillo (que reemplacen los movimientos de las manos). 2. Probar otras referencias y tratar de realizar otros estilos de esmaltado con el nuevo dispositivo.
Cantidad de pocillos esmaltados en el turno	1. La velocidad de esmaltado de un operario es buena, pero solo puede hacer un pocillo a la vez.	1. Utilizar una herramienta capaz de controlar y/o ajustar los movimientos de manera precisa. 2. Diseñar un dispositivo capaz de sujetar los diferentes tamaños de pocillo (que reemplacen los movimientos de las manos). Y que pueda sujetar varias piezas a la vez.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de revisar las hipótesis de los problemas, limitaciones de lo existente y plantear soluciones, Se entró en la etapa de desarrollo de dichas soluciones para llegar a un buen fin.

Soluciones planteadas:

1. Diseñar un dispositivo capaz de sujetar los diferentes tamaños de pocillo (que reemplacen los movimientos de las manos).

En primera instancia se desarrolló un tridente echo en tubería galvanizada que permite instalar tres dispositivos (uno en cada extremo del tridente), éstos ayudan a manipular las piezas a esmaltar.

El sistema permite la instalación de un circuito neumático que ejerce vacío generado a través de un venturi para sujetar los pocillos, y otro circuito con presión neumática positiva para liberar las piezas del soporte (Figura 11).



**Figura 11.** Primer Tridente para sujetar pocillos.

Fuente: elaboración propia.

Luego el tridente se mejoró para garantizar el paralelismo entre las piezas que se querían manipular. Se implementó un bloque distribuidor en aluminio y unos acoples rápidos que facilitan el intercambio de los dispositivos (Figura 12).

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



**Figura 12.** Tridente mejorado.

Fuente: elaboración propia.

Además se desarrollaron dos dispositivos para los diferentes tipos de esmaltado; inmersión parcial o total del pocillo (Figuras 13 y 14).



**Figura 13.** Dispositivo para inmersión parcial.

Fuente: elaboración propia.



**Figura 14.** Dispositivo para inmersión total.

Fuente: elaboración propia.

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

- Implementar métodos para sujetar la pieza adecuadamente con guantes para minimizar el impacto de la temperatura en las manos del operario

Se sugiere al operario utilizar guantes G-40 de Kimberly Clark (Figura15), los cuales son óptimos para proteger de cortes y proveen la protección suficiente frente a las superficies calientes.



**Figura 15.** Manipulación de pocillo con guante G-40.

Fuente: elaboración propia.

- Utilizar una herramienta capaz de controlar y/o ajustar los movimientos de manera precisa.

Para esta solución se implementó un robot antropomórfico industrial “UR5 de universal robots” (Figura 16), que emula las funciones de un brazo humano y sirve también para trabajar colaborativamente con personal humano, o sea trabaja cerca a personas y posee sistemas de seguridad que evitan lastimar al operario. Se realiza una plantilla de programación (secuencia o programa base de funcionamiento), para el esmaltado de las diferentes referencias y se diseña una base para su instalación (ver Apéndice B).



**Figura 16.** Robot antropomórfico.

Fuente: elaboración propia.

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

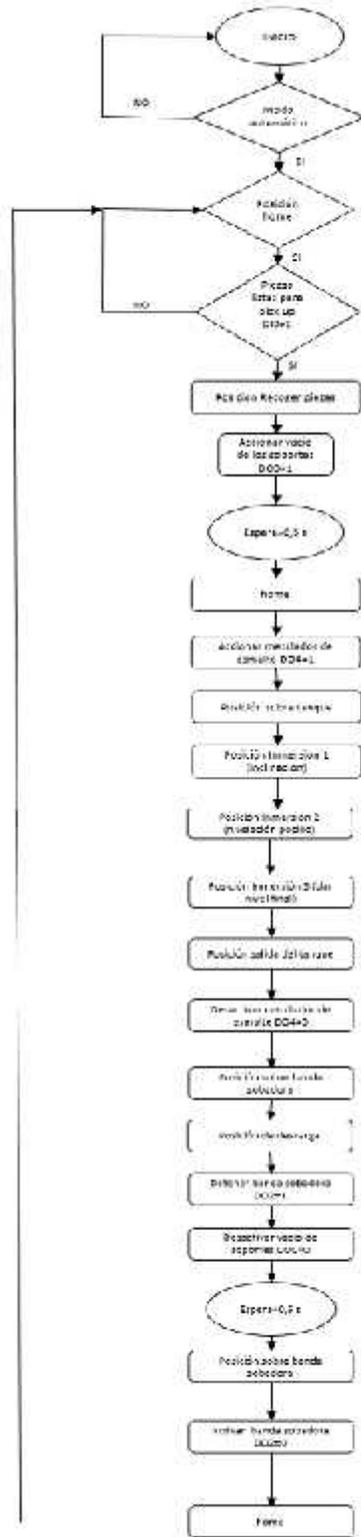
La plataforma cuenta con un sistema electroneumático que controla las herramientas de sujeción y mezcla del esmalte en el tanque, además cuenta con un sistema eléctrico encargado de la sensórica y los actuadores: Motorreductor de la banda y bomba de esmalte (Figura 21), todos los anteriores sistemas son monitoreados y controlados por el robot durante la secuencia de trabajo, gracias a la interacción de entradas y salidas digitales que llegan al PLC del autómatas (Figura 17).



**Figura17.** Módulos de entrada y salidas PLC.

Fuente: elaboración propia.

La secuencia de trabajo para el robot es la siguiente (ver Figura 18):



**Figura18.** Flujograma secuencia robot.  
Fuente: elaboración propia.

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

La plantilla con la secuencia base para todos los niveles de esmaltado se programó gracias a la interfaz patentada “PolyScope 3.1.17336” que maneja de fondo el lenguaje de programación de JAVA para lograr el control efectivo del PLC (Figura 19), esta interfaz es de agradable interacción y fácil comprensión por parte del programador a cargo; aplicando programación inversa (posicionar e ir salvando las coordenadas del robot), se logra tener una secuencia confiable, lógica y segura capaz de obtener el resultado anhelado(ver apéndice H).



**Figura19.** Interfaz programación usuario-robot “PolyScope”.

Fuente: elaboración propia.

Para el control de los motores y válvulas electro neumáticas se diseñó un circuito eléctrico que se encarga de accionar o desactivar todos los actuadores de la plataforma, dicho circuito está conformado por dos motores a 440Vac, una bobina a 24 Vdc, un sensor infrarrojo auto réflex a 24Vdc, pulsadores, selector de clavija, guardamotor y relevos a 24Vdc (ver Apéndice G).

4. Diseñar un sistema capaz de mezclar el esmalte sin que se afecte el proceso de esmaltado o que el operario no tenga que realizar dicha operación.

Se diseñó en un tanque que contiene el esmalte donde se sumergen las piezas, además se adecua un sistema neumático y un mezclador de nylon que tienen como función homogenizar el fluido antes, durante y después de la operación de esmaltado con el robot (Figura 20). El tanque también cuenta con un sistema de recirculación que reduce las posibilidades de sedimentación del esmalte (ver Apéndice C).

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



**Figura 20.** Tanque con mezclador para esmalte.

Fuente: elaboración propia.

Todo los elementos anteriormente mencionados se instalaron junto con una banda de felpa en una plataforma con ruedas (modelada en AutoCAD 2015), para poder movilizarla por todas las máquinas que fabrican pocillos (Figura 21 y 22), ésto con el fin de sumarle versatilidad al esmaltado (ver Apéndices D, E, F).



**Figura 21.** Plataforma y bomba para esmaltado bicolor.

Fuente: elaboración propia.



**Figura 22.** Plataforma de esmaltado bicolor durante la operación.

Fuente: elaboración propia.

**Nuevos retos:**

Durante el desarrollo del proyecto se plantea la posibilidad de esmaltar solo la oreja de los pocillos, lo cual conlleva al desarrollo de un nuevo dispositivo de sujeción hecho en silicona que permite sujetar las piezas desde un costado (Figura 23).



**Figura 23.** Dispositivo de sujeción para esmaltar la oreja del pocillo.

Fuente: elaboración propia.

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

Luego de realizar el ciclo propuesto por la metodología DIMAIC se obtienen los siguientes resultados:

1. Se logran disminuir los movimientos repetitivos de los operarios al realizar el esmaltado bicolor en pocillos cerámicos, pasando de 11 movimientos por pieza esmaltada a 5 movimientos por cada pocillo. Obteniendo una reducción del 54% de los movimientos repetitivos hechos por el operario al realizar las tareas de esmaltado.
2. Se obtiene un buen comportamiento de las condiciones del proceso y los insumos, gracias a la implementación de la plataforma de esmaltado (Figura 24), como son la homogenización constante del esmalte, el acabado fino de las piezas, la seguridad del operario y la operación continúa.



**Figura 24.** Plataforma en funcionamiento con robot.

Fuente: elaboración propia.

3. Se reduce el tiempo de contacto con superficies calientes por parte del operario, al implementar el robot como herramienta para la manipulación de las piezas calientes en la mayor parte del ciclo de esmaltado, pasando de **60 seg/12pz** a **8seg/12pz** y la implementación de guantes que protegen las manos de quien opera la línea(Figuras 25 y 26).



**Figura 25.** Esmaltado manual.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 26.** Esmaltado con robot.  
Fuente: elaboración propia.

4. Mejoramiento del acabado de los pocillos hechos por la línea de esmaltado bicolor donde se observa que el esmaltado hecho con el robot es más preciso y no sobrepasa los bordes de la pieza decorada (Figuras 27 y 28).



**Figura 27.** Esmaltado hecho por el operario.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 28.** Esmaltado hecho con robot.  
Fuente: elaboración propia.

En los pocillos que son sumergidos totalmente, el operario no logra un esmaltado hasta el borde de la pieza, en cambio el robot tiene la capacidad de hacer movimientos finos que pueden lograr un acabado perfecto en todas las piezas (Figura 29).



**Figura 29.** Esmaltado hasta el borde hecho por el robot.

Fuente: elaboración propia.

- Se incrementa el rendimiento del proceso: el robot esmalta hasta tres pocillos a la vez, mientras un operario puede realizar el esmaltado de una sola pieza por ciclo. La Tabla 3 compara el proceso realizado de las dos maneras (manual y automatizado).

Tabla 3. Comparativo de producción neta entre esmaltado manual y automatizado.

ESMALTADO MANUAL	ESMALTADO CON ROBOT
5 segundos por pieza esmaltada=12 pz/min	10 segundos por 3 (tres) piezas esmaltadas=18 pz/min
720 pz/hora	1080 pz/hora
5760 pz/8 horas	8640 pz/8horas

- Se Incrementa la producción neta hasta un 50% por turno de trabajo (ver Tabla 3).

Incremento de producción neta =  $\frac{8640}{5760} = 1,5$  o sea un 50% de incremento en la producción.

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

## 7. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Se diseñó y se logró implementar la plataforma de esmaltado semiautomática para pocillos cerámicos con logros importantes respecto a la seguridad del operario, la calidad del producto y la productividad del proceso.

Se hicieron diseños nuevos para los elementos básicos que debe llevar una línea de esmaltado, como son el tanque, la banda sobadora, base para instalar el robot y el circuito eléctrico para un correcto funcionamiento de la plataforma, obteniendo resultados favorables con la interacción de todos estos elementos.

Se logró desarrollar un prototipo para el tanque, el cual permite recircular el esmalte y realizar la homogenización con equipos auxiliares (sistema neumático). Sin embargo, el diseño puede ser mejorado para reducir el volumen de operación que hoy en día es de 56 litros de esmalte para el correcto funcionamiento.

Se diseñaron tres dispositivos para la sujeción de los pocillos, cada uno tienen una finalidad diferentes correspondiente a los tres tipos de esmaltado que se realiza (parcial, total o solo la oreja), aportando a la comodidad de quien interactúa con la plataforma.

Se programó el robot con secuencias lógicas que se adaptan al proceso existente y se hace una plantilla para la creación y modificación de secuencias o simplemente para entrenar al personal en el manejo del robot.

Se capacitó al personal técnico y jefes de la planta de producción para que adquieran habilidades de programación y manipulación del robot de manera segura.

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

En el futuro esta tecnología se puede utilizar en el esmaltado de otras formas irregulares diferentes a los pocillos, como pueden ser ensaladeras o bowls para cereales, ya que los dispositivos se prueban en dichas piezas y muestran resultados positivos.

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

## REFERENCIAS

1) INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH. Robots take over stove enamelling, Londres, octubre de 1980. [Citado el 7 de Agosto de 2016]. Disponible en [www.ieeexplore.ieee.org.itm.elogim.com](http://www.ieeexplore.ieee.org.itm.elogim.com)

2) I. P. Georgilas- V. D. Tourassis. "Quality issues in enameling of ceramic industry products, Department of Production Engineering and Management, Democritus University of Thrace, Xanthi, Greece, 2007.

3) Soluciones a casos reales [citado el 7 de Agosto de 2016]

Disponible en :< <http://www.universal-robots.com/es/casos-pr%C3%A1cticos/betacom/> [>

4) Pires JN, "interfacing Robotic and automatization equipment with MatLab". IEEE Robotics and automation Magazine, septiembre 2000.

5) Ulsh, Michael-Wheeler, Douglas-protopappas, Peter, "An Assessment of the Current Level of Automation in the Manufacture of Fuel Cell Systems for Combined Heat and Power Applications". science.gov, Agosto 2011.

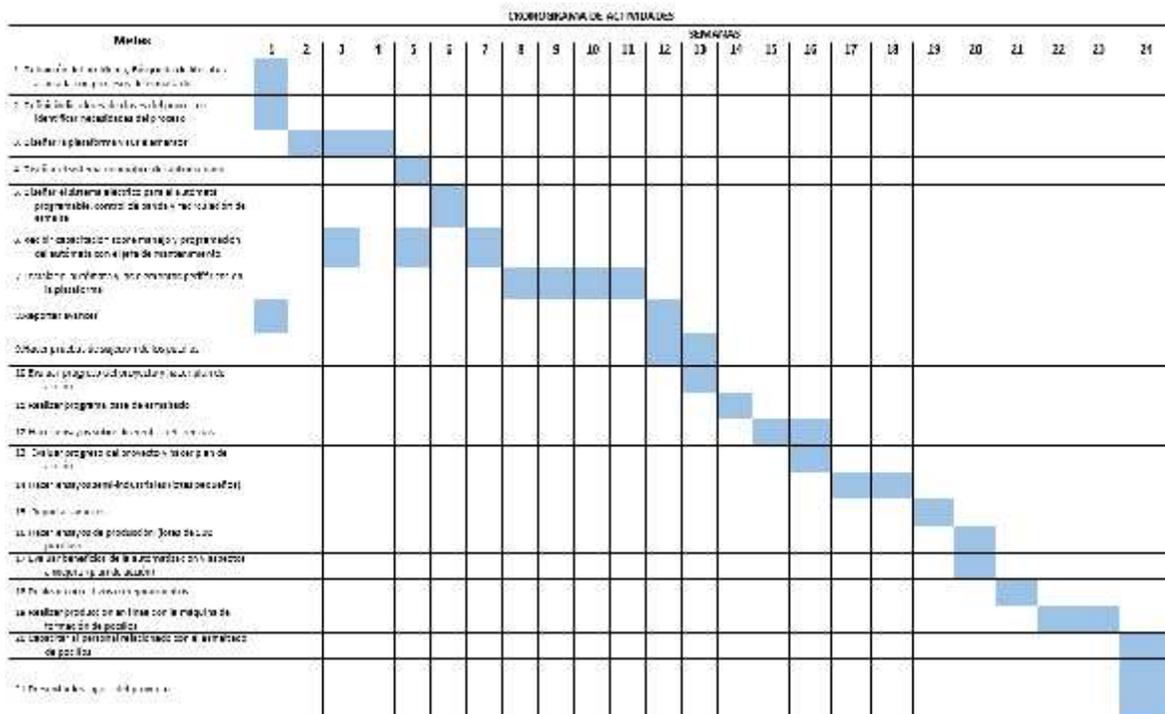
6) Paulo, Sérgio- Pires, JN "high efficient robotic de-palletizing system for the non-flat ceramic industry". IEEE Robotics and automation magazine, Septiembre de 2003.

7) Nakngonthong, Jiradech- Naksuki, Nirut- Kanarat, Amnart- Saito, Takushi, "Supervisory Level Control of Robot Plasma Spray Coating Process with Task Level Modification Based on Process Database". 2011.

# APÉNDICE

## APENDICE A

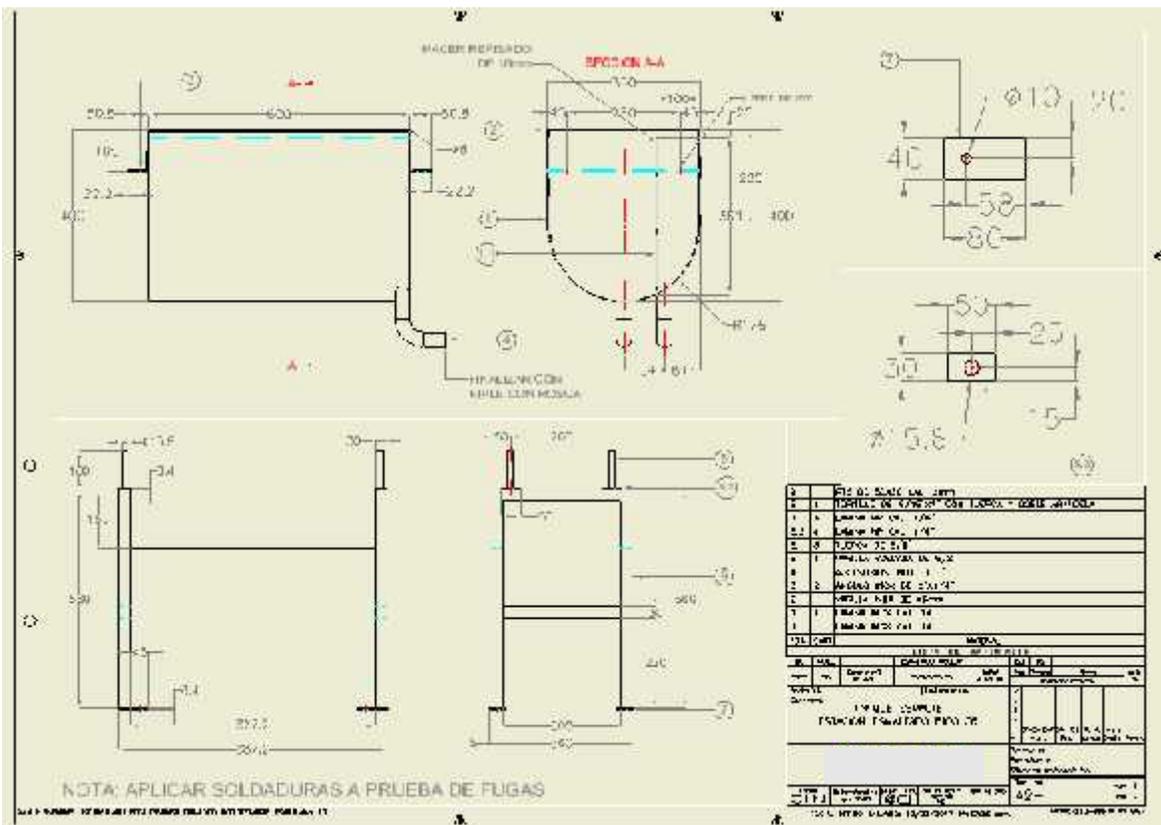
### CRONOGRAMA DEL PROYECTO





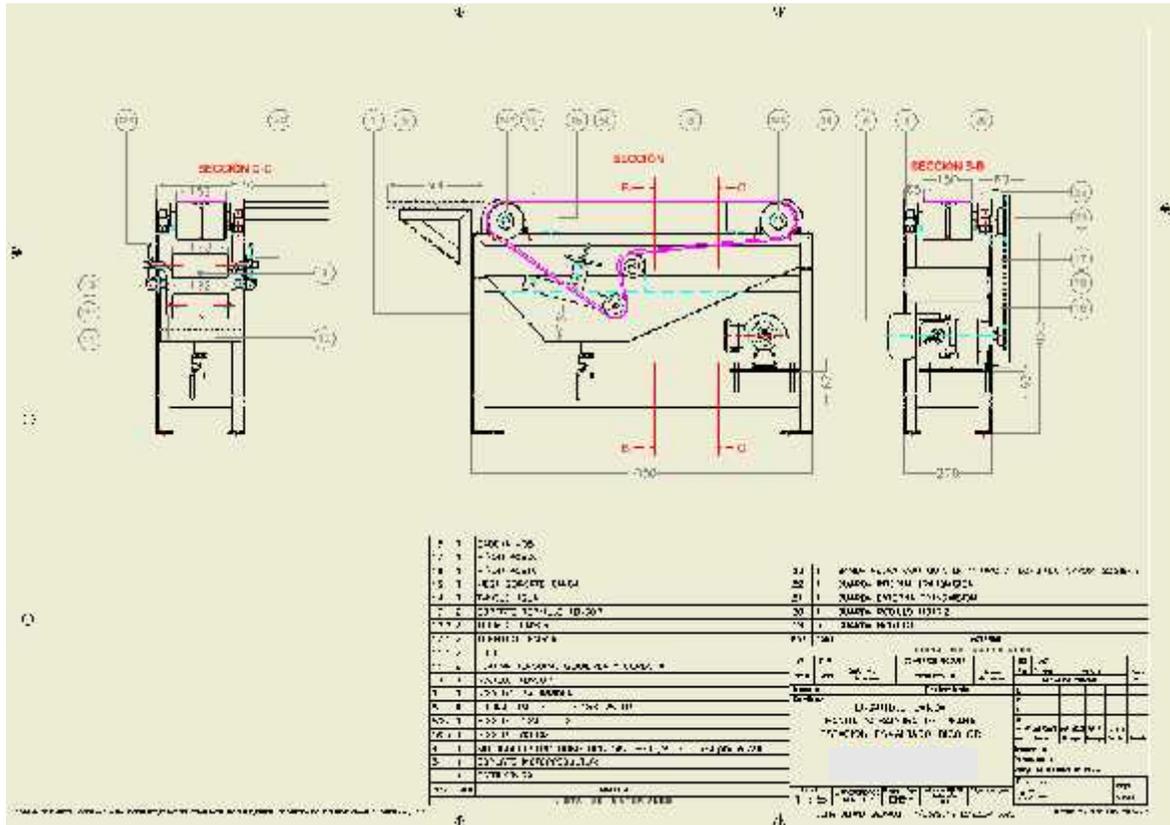
APENDICE C

TANQUE PARA ESMALTE



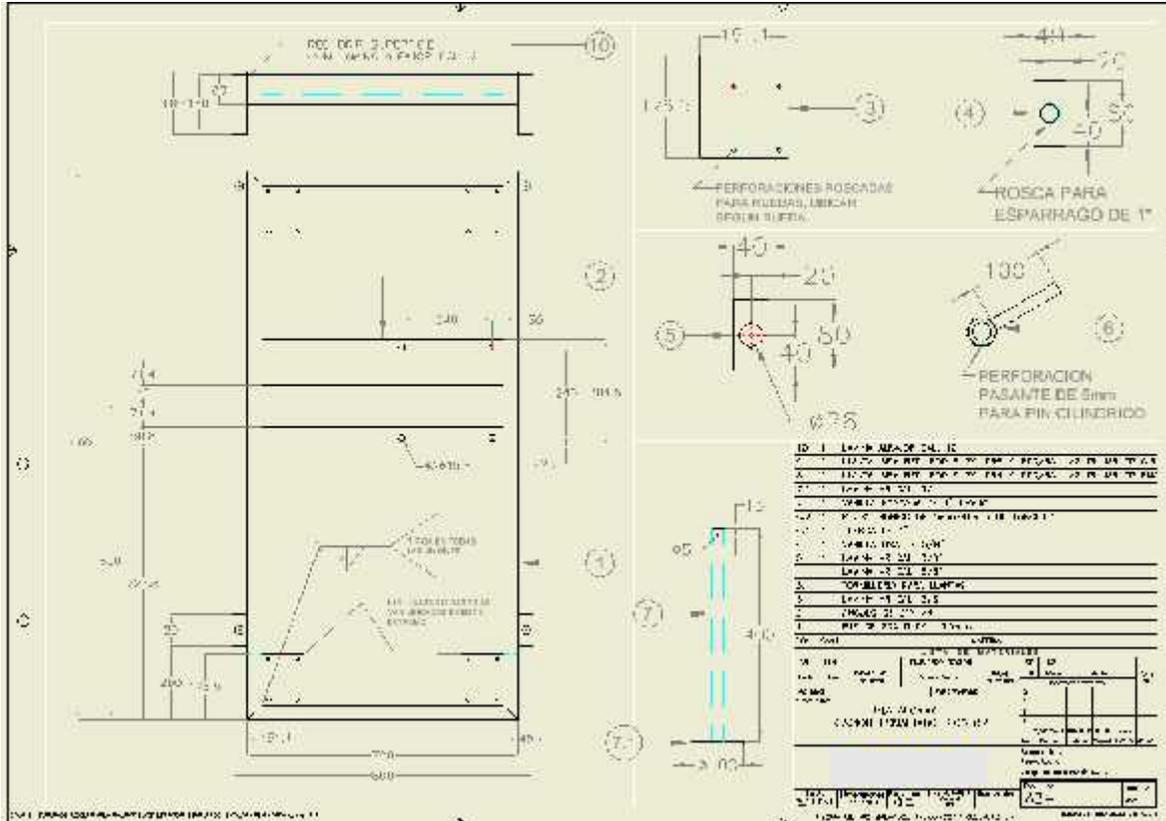
APENDICE D

ENSAMBLE DE LA BANDA SOBADORA.



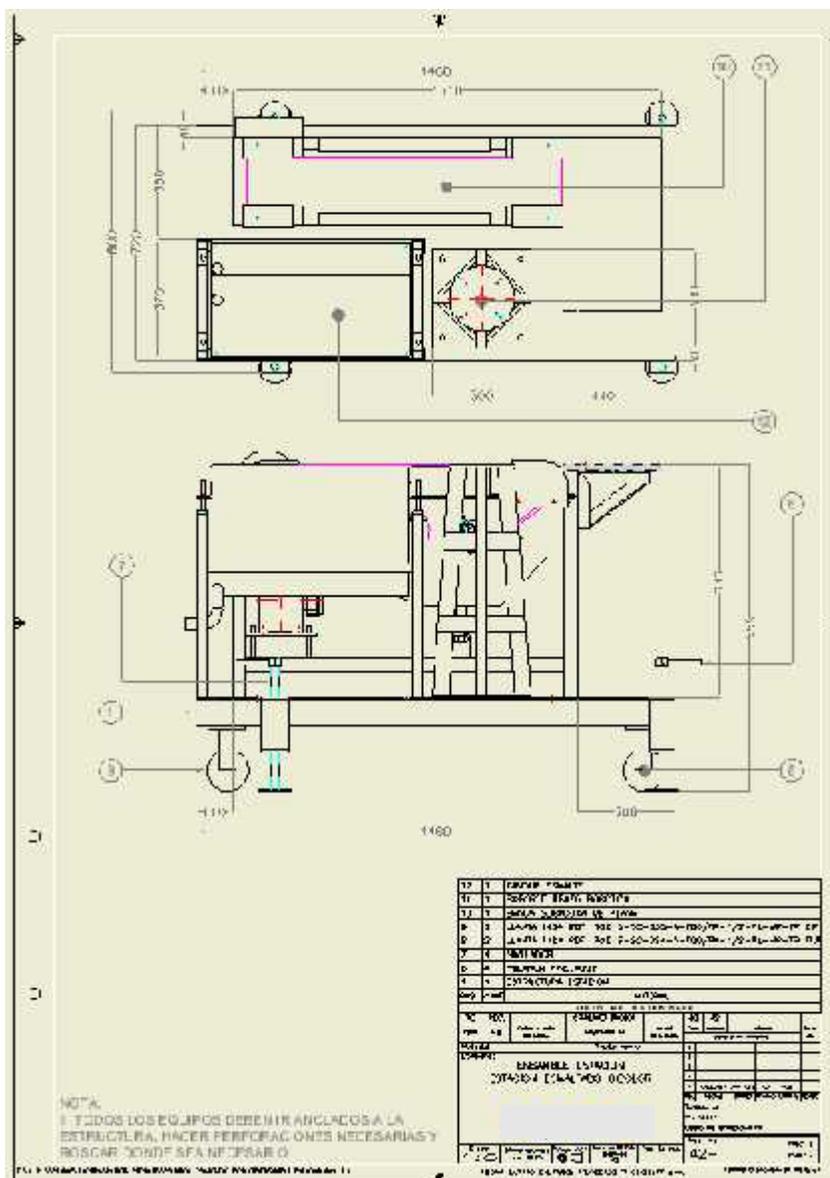
APENDICE E

PLATAFORMA DE ESMALTADO



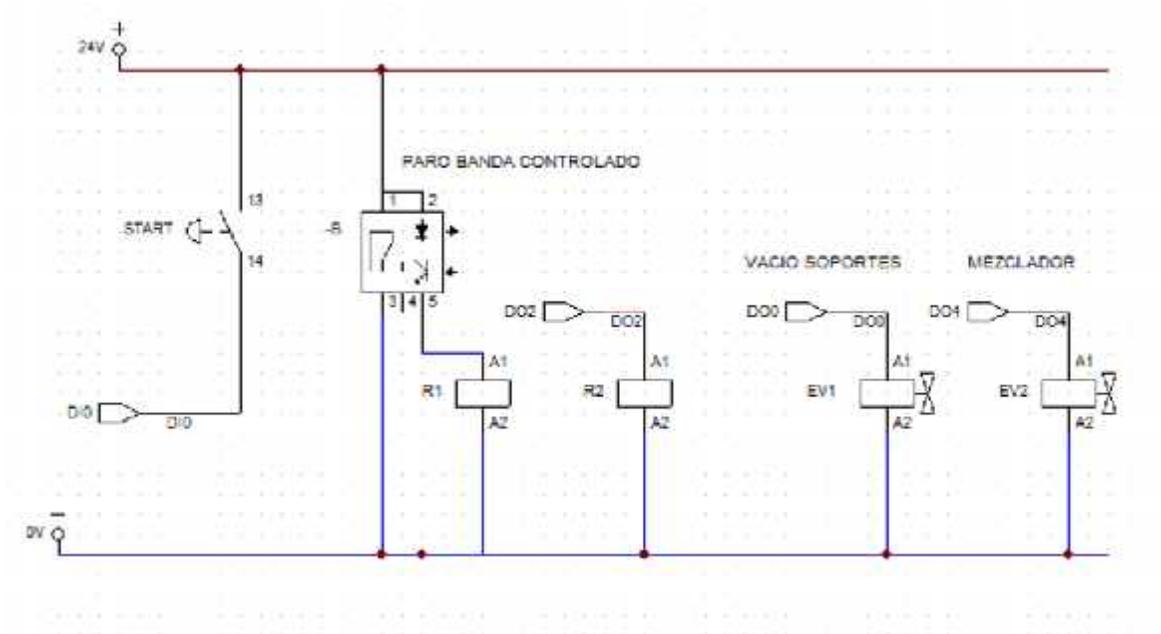
APENDICE F

ENSAMBLE DE LA PLATAFORMA, LA BANDA, EL TANQUE Y EL SOPORTE DEL ROBOT.

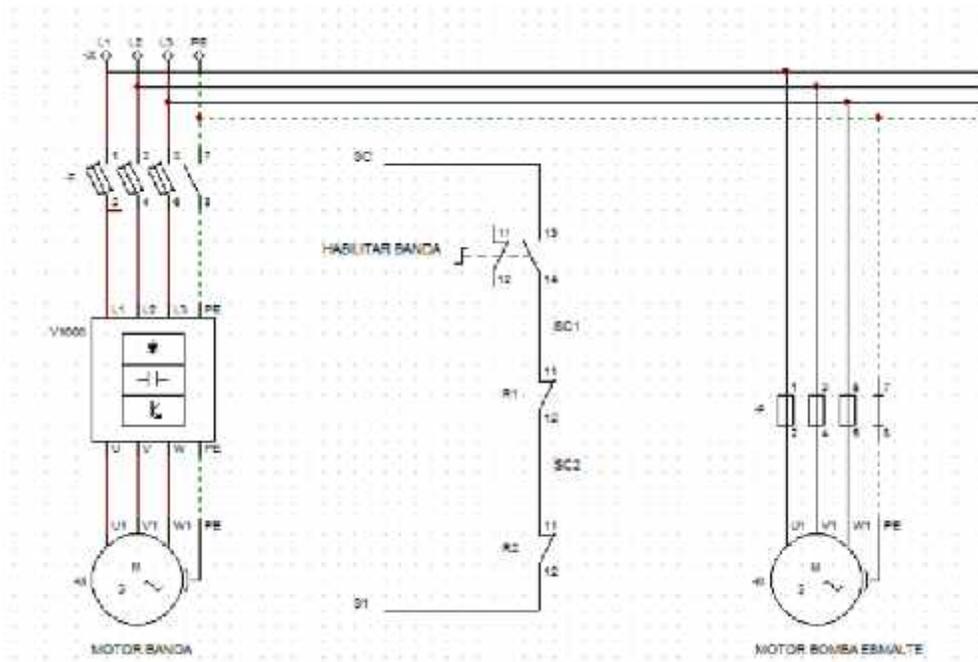


APENDICE G

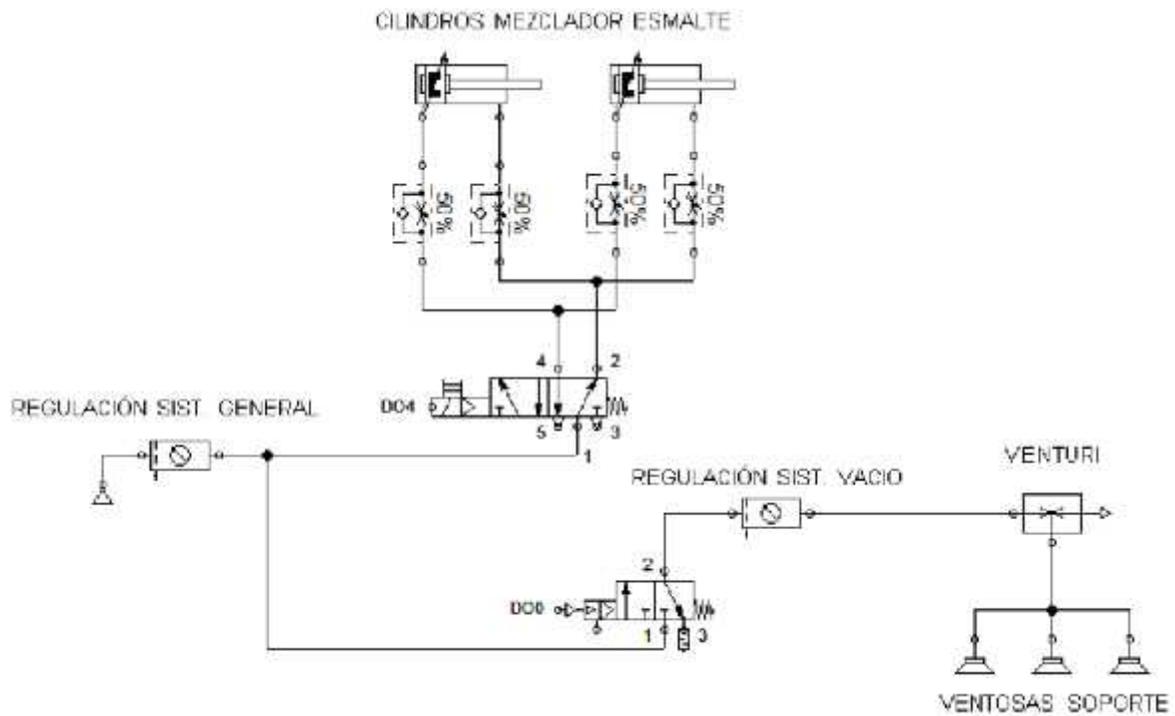
PLANO DE CIRCUITO DE CONTROL A 24V



CONTROL MOTOR DE BANDA



CONTROL ELECTRONEUMATICO



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

## APENDICE H

### SECUENCIA BASICA DE ESMALTADO (PASO A PASO PROGRAMADO EN POLYSCOPE)

#### Programa

Inic. Variables	//evalúa variables
Programa de robot	//Invoca programa
MoveL	//selecciona movimiento lineal
Inicio	//Busca la posición inicial
Ajustar DO[4]=Encender	// mezclador avanza
Esperar DI[0]=HI	//espera que activen la señal de inicio
Ajustar DO[0]=Encender	//activa vacío en ventosas del soporte
Recogerpocill	//se posiciona para hacer pick up de pocillos
Esperar: 0.5	//retardo de 500mS
subirpocillo3	//se posiciona para salir del pick up
If digital_in[4] = True	//condicional para evitar choque con mezclador
Aviso	//hace aviso al sistema para evitar colisión
Detener	//detiene el robot
MoveJ	//selecciona movimiento circular (libre)
Punto_de_paso_3	//punto provisional para evitar lastimar al operario
Sobre_Tanque	//punto de transición
Ajustar DO[3]=encender	// activa alerta de desplazamiento
MoveL	//selecciona movimiento lineal
Inmersion_1	//primer paso de la inmersión
Inmersion_2	//segundo paso de la inmersión
Inmersion_3	//tercer paso de la inmersión
Esperar: 0.4	//retardo para esmalte se adhiera
Salida_Tanque	//salida de la inmersión
Esperar: 0,1	//retardo de 100mS

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

```

Ajustar DO[4]=Apagar           //mezclador se retrae
Sobre_Banda                     //se posiciona sobre la banda sobadora de peana
Descargar                       //se posiciona para descargar pocillos
Ajustar DO[3]=Apagar           // desactiva alerta de desplazamiento
Ajustar DO[2]=Encender         //detiene la banda parar descarga
Esperar: 0.2                    //retardo de 200mS
Ajustar DO[0]=Apagar           //desactiva vacío de ventosas
Ajustar DO[2]=Apagar           //reactiva avance de la banda sobadora
Salida_Descarga                 //sale de la descarga
Punto_de_paso_1                 //punto de transición para proteger al operario

```

---

```

SubP_agitar_esm                 //subrutina para agitar esmalte cuando no se mueve
                                el robot
Ajustar DO[4]=Encender         // mezclador avanza
Esperar: 2.8                    //retardo de 2800mS
Esperar digital_out[3] = False //esperar que sea falsa la alerta de desplazamiento
Esperar digital_in[0] = False  //esperar que no se haya activado el vacío de
                                ventosas
Ajustar DO[4]=Apagar           //mezclador se retrae
Esperar: 2.6                    //retardo de 2800mS
Subproceso_1                    //subproceso
Esperar digital_out[3] = False //espera que sea falsa la alerta de desplazamiento
para activar el mezclado de esmalte automático
Invocar SubP_agitar_esm        //realiza el llamado de la subrutina de mezclar
esmalte

```

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

FIRMA ESTUDIANTES *Jhonatan Montoya U. J.*

---



---

Se adjunta informe Final para 1ª Evaluación Per Arte de Lince, Agosto 28 de 2017 Bicicam

FIRMA ASESOR *Maribel A. Ochoa Alarcón*

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

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

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

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

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

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

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

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