



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

*DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA PULIR LAJAS DE
MÁRMOL UTILIZANDO SERVO-VISIÓN*

Tesis que para obtener el título de:
Licenciatura en Ingeniería en Ciencias de la Computación

PRESENTA:
SELENE MONTES FUENTES

ASESORES:
DR. MARIO MAURICIO BUSTILLO DÍAZ
M.C. APOLONIO ATA PÉREZ

Septiembre 2015



AGRADECIMIENTOS

A DIOS:

Por darme la oportunidad de vivir y de haber llegado tan lejos en la vida. Por aquellos logros y derrotas que me ha puesto en el camino que me han servido como experiencia para llevarme por el camino de ser mejor cada día.

A MIS PADRES:

Por haberme apoyado durante mi formación académica y por haberme enseñado a vivir con valores para ser una buena persona. Por brindarme todo lo necesario para salir adelante.

A MIS ASESORES:

Por brindarme su apoyo sin condición alguna no sólo para este trabajo sino durante mi desarrollo profesional. Por aceptar el estar trabajando juntos a pesar de los obstáculos presentados.

A MIS SERES QUERIDOS:

Por estar siempre a mi lado y apoyarme en lo que necesitaba.

A MIS AMIGOS:

Por estar junto a mí durante la carrera, recordando momentos de estudio y por esa amistad que siempre perdurará.

AL ÁREA 51

Por aquellos momentos divertidos, por brindarme su amistad y apoyarme cuando lo necesité. Por cuidarme y sacarme una sonrisa cada día.

A JOEL F F

Por apoyarme en circunstancias difíciles, por compartir momentos juntos y ayudarme a salir adelante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
PREFACIO	9
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	10
1.1 INTRODUCCIÓN	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	12
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3 ANTECEDENTES	13
1.4 ALCANCES	13
1.5 APORTES	13
1.6 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO	14
1.7 INFRAESTRUCTURA	14
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MÁRMOL	17
2.1.1 FASES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MÁRMOL	17
2.1.2 MAQUINARIA USADA EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MÁRMOL	19
2.1.3 ETAPAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MÁRMOL Y LA MAQUINARIA USADA EN CADA UNA	20
2.1.4 ACTORES INVOLUCRADOS EN LA PRODUCCIÓN DEL MÁRMOL	21
2.1.4.1 ACTORES DIRECTOS	21
2.1.4.2 ACTORES INDIRECTOS	22
2.1.5 MATRIZ FODA DEL MÁRMOL	22
2.1.5.1 FORTALEZAS	22
2.1.5.2 DEBILIDADES	23
2.1.5.3 OPORTUNIDADES	23
2.1.5.4 AMENAZAS	23
2.2 PULIDO DE MÁRMOL EN EL PROYECTO	24
2.3 VISIÓN ARTIFICIAL	24
2.3.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL (SVA)	26
2.3.2 PREPROCESADO	27
2.3.3 SEGMENTACIÓN	27
2.3.1.1 SEGMENTACIÓN BASADA EN UMBRALIZACIÓN	27
2.3.4 APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL	28
2.4 ROBOT TIPO PÓRTICO	28
2.4.1 VENTAJAS DE USAR UN ROBOT PÓRTICO	30
2.4.2 DESVENTAJAS DE USAR UN ROBOT TIPO PÓRTICO	30

2.5 MOTORES A PASOS.....	30
2.5.1 VENTAJAS DE UN MOTOR A PASOS.....	30
2.5.2 DESVENTAJAS DE UN MOTOR A PASOS.....	30
2.5.3 FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES A PASOS.....	30
2.5.4 PARÁMETROS IMPORTANTES DE UN MOTOR A PASOS.....	31
2.5.5 TIPOS DE MOTORES A PASOS.....	31
2.5.5.1 MOTOR A PASOS DE IMÁN PERMANENTE BIPOLARES.....	31
2.5.1.2 MOTORES A PASOS UNIPOLARES.....	32
2.6 VISION BUILDER AI Y LABVIEW.....	33
2.6.1 LABVIEW.....	33
2.6.1.1 VENTAJAS DE LABVIEW.....	33
2.6.1.2 DESVENTAJA DE LABVIEW.....	33
2.6.2 VISION BUILDER AI.....	33
2.6.2.1 RAZONES PARA USAR VISION BUILDER AI.....	34
2.7 CALIBRACIÓN.....	35
2.8 GENERACIÓN DE PWM EN LABVIEW.....	37
CAPÍTULO 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PARA PULIR LAJAS DE MÁRMOL.....	44
3.1 VISIÓN BUILDER AI.....	44
3.1.1 ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN.....	45
3.1.2 CALIBRACIÓN.....	47
3.1.2.1 PASOS PARA CREAR LA CALIBRACIÓN POINT COORDINATES.....	48
3.1.3 SEGUNDA CALIBRACIÓN DE LA IMAGEN.....	53
3.1.4 DETECCIÓN DE DEFECTOS.....	55
3.1.5 PLANTILLA PERSONALIZADA.....	60
3.1.6 CONFIGURACIÓN DE VARIABLES COMPARTIDAS.....	61
3.2 LABVIEW.....	66
CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	68
4.1 PROCESO REALIZADO EN EL SISTEMA.....	69
4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS.....	69
CONCLUSIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	16
FIGURA 2.2.1 HERRAMIENTA DREMEL 3000	24
FIGURA 2.3.1 ETAPAS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL	25
FIGURA 2.3.1.1 CÁMARA BASLER	26
FIGURA 2.4.1 REGLA DE LA MANO DERECHA.....	28
FIGURA 2.4.2 ROBOT TIPO PÓRTICO.....	29
FIGURA 2.5.5.1.PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR A PASOS DE IMÁN PERMANENTE.....	31
FIGURA 2.7.1 CALIBRACIÓN DE UNA IMAGEN.....	35
FIGURA 2.8.1 SEÑALES PWM	38
CAPÍTULO 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PARA PULIR LAJAS DE MÁRMOL.....	38
FIGURA 3.1.1.1 SELECCIÓN DE ADQUISICIÓN DE LA IMAGEN.....	45
FIGURA 3.1.1.2 SELECCIÓN DE LA CÁMARA A UTILIZAR.....	45
FIGURA 3.1.1.3 A) CALIBRACIÓN DE LA IMAGEN, B) PARÁMETROS DE LA CÁMARA	46
FIGURA 3.1.1.4 IMAGEN ADQUIRIDA	47
FIGURA 3.1.2.1 TIPOS DE CALIBRACIÓN.....	48
FIGURA 3.1.2.1.1 ASIGNACIÓN DE NOMBRE A LA CALIBRACIÓN.....	48
FIGURA 3.1.2.1.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE CALIBRACIÓN.....	49
FIGURA 3.1.2.1.3 IMAGEN CAPTURADA	49
FIGURA 3.1.2.1.4 SELECCIÓN DE 4 PUNTOS DE LA LOSA.....	50
FIGURA 3.1.2.1.5 VALORES DE LA CALIBRACION.....	50
FIGURA 3.1.2.1.6 VALORES DE LA CALIBRACIÓN E IMAGEN.....	51
FIGURA 3.1.2.1.7 MAPA DE ERROR	51
FIGURA 3.1.2.1.8 RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN.....	52
FIGURA 3.1.2.1.9 PARÁMETROS FINALES DE LA CALIBRACIÓN.....	53
FIGURA 3.1.3.1 PASO CALIBRACIÓN DE LA IMAGEN.....	53
FIGURA 3.1.3.2 SEGUNDA CALIBRACIÓN DE LA IMAGEN.....	54
FIGURA 3.1.3.3 NOMBRE DE LA ROI.....	54
FIGURA 3.1.3.4 A) TIPO DE ROI B) COORDENADAS DE LA ROI.....	55
FIGURA 3.1.4.1 ASIGNACIÓN DE NOMBRE A LA DETECCIÓN DE OBJETO	56

FIGURA 3.1.4.2 SELECCIÓN DE BÚSQUEDA PARA LA DETECCIÓN DE OBJETOS A) OBJETOS BRILLOSOS, B) OBJETOS OSCUROS.....	57
FIGURA 3.1.4.3 UMBRALIZACIÓN	57
FIGURA 3.1.4.4 A) SELECCIÓN DE PARÁMETROS, B) VISTA DE LOS PARÁMETROS	58
FIGURA 3.1.4.5 MÍNIMO Y MÁXIMO DE DEFECTOS	59
FIGURA 3.1.4.6 DETECCIÓN DE DEFECTOS	59
FIGURA 3.1.5.1 VALORES DEL ANÁLISIS DE LA IMAGEN.....	60
FIGURA 3.1.6.1 CREACIÓN DE PROYECTO EN LABVIEW.....	61
FIGURA 3.1.6.2 CREACIÓN DE UNA VARIABLE COMPARTIDA	61
FIGURA 3.1.6.3 PROPIEDADES DE LA VARIABLE COMPARTIDA	62
FIGURA 3.1.6.4 VARIABLE COMPARTIDA CREADA	62
FIGURA 3.1.6.5. CREACIÓN DE VI	63
FIGURA 3.1.6.6 ASIGNACIÓN DE UN INDICADOR A LA VARIABLE COMPARTIDA	63
FIGURA 3.1.6.7 VARIABLE COMPARTIDA	64
FIGURA 3.1.6.8 ASIGNACIÓN DE UN VALOR A LA VARIABLE COMPARTIDA	64
FIGURA 3.1.6.9 INSPECCIÓN COMPLETA DE VBAI	65
FIGURA 3.2.1 DEFECTOS MOSTRADOS EN LABVIEW	66
FIGURA 3.2.2 CONTROL DEL PWM EJES XYZ	66
FIGURA 3.2.3 CÁLCULO DEL POSICIONAMIENTO	67
CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS	68
FIGURA 4.1 PROCESO REALIZADO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	69
FIGURA 4.2 LOSA 1	70
FIGURA 4.3 DEFECTOS DE LA LOSA 1	70
FIGURA 4.4 LOSA PULIDA	71
FIGURA 4.5 LOSA 2	72
FIGURA 4.6 DEFECTOS DE LA LOSA 2	72
FIGURA 4.7 LOSA 3	73
FIGURA 4.8 DEFECTOS DE LA LOSA 3	74
FIGURA 4.9 LOSA PULIDA	74
FIGURA 4.10 LOSA 4	75
FIGURA 4.11 DEFECTOS DE LA LOSA 4	76
FIGURA 4.12 LOSA PULIDA.....	76
FIGURA 4.13 LOSA 5	77
FIGURA 4.14 DEFECTOS LOSA 5	78
FIGURA 4.15 LOSA PULIDA	78
FIGURA 4.16 LOSA 6.....	79
FIGURA 4.17 DEFECTOS LOSA 6	80
FIGURA 4.18 LOSA PULIDA	80

FIGURA 4.19 LOSA 7	81
FIGURA 4.20 DEFECTOS LOSA 7	82
FIGURA 4.21 LOSA PULIDA.....	82
FIGURA 4.22 LOSA 8.....	83
FIGURA 4.23 DEFECTOS DETECTADOS.....	84
FIGURA 4.24 LOSA 9.....	85
FIGURA 4.25 DEFECTOS LOSA 9.....	85
FIGURA 4.26 LOSA 10.....	86
FIGURA 4.27 DEFECTOS LOSA 9	87
FIGURA 4.28 LOSA PULIDA	87
FIGURA 4.29 LOSA 11	88
FIGURA 4.30 DEFECTOS DE LA LOSA 11	89
FIGURA 4.31 LOSA 12	90
FIGURA 4.32 DEFECTOS DE LA LOSA 12	90
FIGURA 4.33 LOSA PULIDA.....	91
FIGURA 4.34 LOSA 13	92
FIGURA 4.35 DEFECTOS DE LA LOSA 13	92
FIGURA 4.36 LOSA 14.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....16

TABLA 2.3.1.1 INFORMACIÓN BÁSICA DE LA CÁMARA BASLER.....	26
TABLA 2.4.1.2.1 SECUENCIA PARA MOTORES BIPOLARES.....	32
TABLA 2.8.1 TIPO DE MUESTRAS.....	39
TABLA 2.8.2 TIPOS DE DIÁLOGOS	42

CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS.....68

TABLA 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 1.....	71
TABLA 4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 2.....	73
TABLA 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 3.....	75
TABLA 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 4.....	77
TABLA 4.5 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 5.....	79
TABLA 4.6 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 6.....	81
TABLA 4.7 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 7	83
TABLA 4.8 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 8	84
TABLA 4.9 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 9.....	86
TABLA 4.10 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 10	88
TABLA 4.11 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 11.....	89
TABLA 4.12 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 12.....	91
TABLA 4.13 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 13.....	93
TABLA 4.14 CARACTERÍSTICAS DE LA LOSA 14.....	94
TABLA 4.15 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	95

PREFACIO

En el capítulo 1 se describen las generalidades del proyecto y su justificación, se plantean los objetivos, antecedentes, alcances, aportes del proyecto así como la infraestructura necesaria.

En el capítulo 2 se explica la producción de mármol, las tecnologías usadas en el proceso de fabricación del mármol, se detalla el campo de la visión artificial, los tipos de motores a pasos y su funcionamiento, se presentan las ventajas de usar el software de Vision Builder AI y LabVIEW.

En el capítulo 3 Se describe el diseño de la detección de los defectos en Vision Builder AI, la programación realizada en LabVIEW y la comunicación entre los dos sistemas para realizar el proceso completo.

En el capítulo 4 se muestran las pruebas y resultados donde se elabora un análisis para llegar a una conclusión del trabajo.

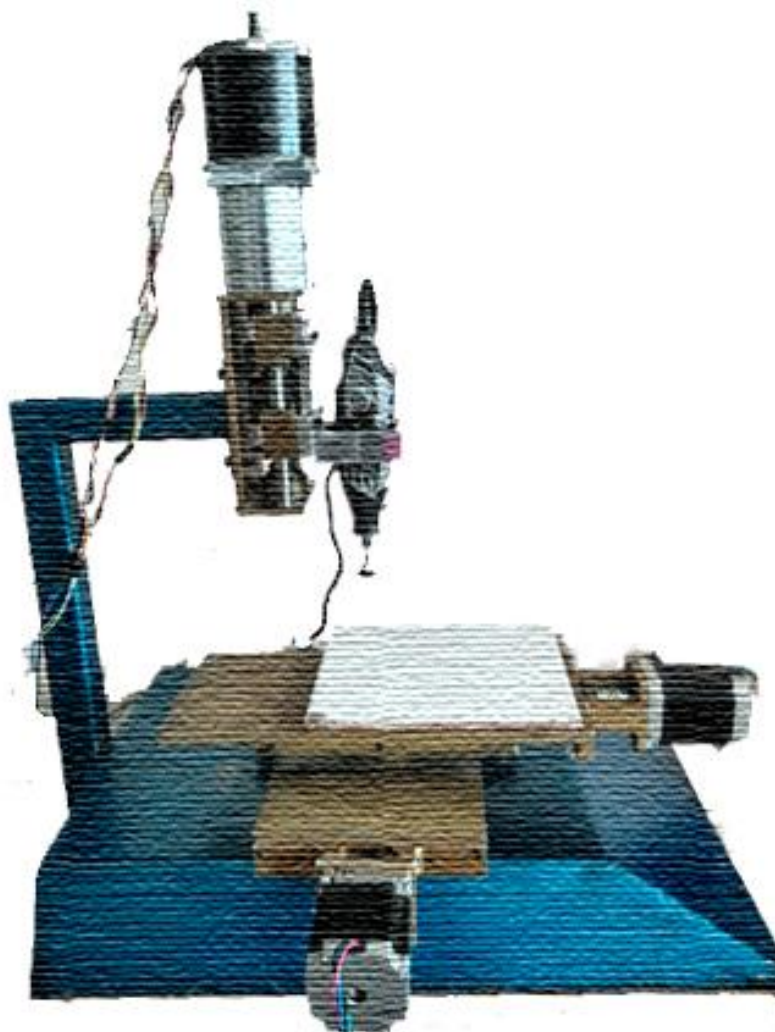
El aporte de este proyecto es la innovación tecnológica debido a que se busca la renovación de los procesos productivos introduciendo un sistema para automatizar el pulimento del mármol. Así mismo se ofrece una forma de innovar los procesos y la maquinaria.

Porter(1990) afirma que: *"La competitividad de una nación depende de la capacidad de su industria para innovar y mejorar. Las empresas consiguen ventajas competitivas si consiguen innovar"* (Luna Correa).

Automatizar un sistema de pulido de mármol tiene muchas ventajas tales como: minimizar el tiempo del pulimento, realizar con mayor precisión el pulido de los defectos, trabajar en una ambiente laboral más sano y detectar defectos que en ocasiones pasarían como desapercibidos.

La finalidad del proyecto emular y realizar una transferencia tecnológica pues el trabajo realizado no se puede usar como tal en una empresa, lo que se desea es transferir las técnicas utilizadas para la detección de objetos (visión artificial) , el posicionamiento en el plano donde se encuentran los defectos y la calibración de la imagen.

CAPITULO 1. GENERALIDADES DEL PROYECTO



1.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en el diseño de un sistema que sea capaz de controlar un robot tipo pórtico que cuenta con 3 ejes XYZ. Estos ejes son manipulados por motores a pasos. Para el control de los motores se usa un PWM. Las señales de control son aplicadas al sistema por una interface que consta de una tarjeta de adquisición y la tarjeta de poder para cada motor.

La meta en este proyecto es diseñar un prototipo que emule el pulimento de lajas de mármol automáticamente. Sobre la superficie de las lajas se generan rugosidad muy pronunciada por los cortes de las grandes rocas de mármol, además de producirse defectos por la yuxtaposición de la formación de la misma roca. Estos defectos se descubren con la utilización de visión artificial. El prototipo tendrá un sistema que pueda ver artificialmente las regiones en donde se encuentran aquellos defectos.

El prototipo consta de:

- El robot tipo pórtico donde irán colocadas las lajas
- Un software para control de los motores que posicionara a las lajas en el lugar indicado.
- Un software para la visión artificial, el cual se encargara de adquirir y procesar la imagen en el sistema.

Se pensó en la elaboración de este proyecto por la problemática que existe en el municipio de Tecali de Herrera, Puebla. La principal actividad económica es la producción de mármol, sin embargo los procesos que se realizan no son automatizados. El alcance es mejorar la tecnología usada para realizar procesos elaborados de forma semiautomática a automática. Esta sustitución tiene ventajas, pues el operador podrá manejar el mecanismo a una distancia de tal manera que no inhale polvo, ya que el pulimento hace que se produzca una polvareda, lo cual no es sano para una persona. Una ventaja es contar con un sistema de visión, como se describió anteriormente se puede obtener una mayor producción y una mejor identificación de los objetos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

- **Diseñar el sistema completo de control de un prototipo electromecánico**

Se refiere a la unión de los dos sistemas que se desarrollarán, el sistema de control de los motores y el de visión artificial.

1.2.2 Objetivos específicos

- **Seleccionar los motores para el sistema electromecánico del prototipo**
Se seleccionarán los motores adecuados de acuerdo a las características y las medidas de la base donde estarán colocados en el sistema mecánico.
- **Diseñar el sistema de control del prototipo electromecánico.**
Se realizará el control para manejar los motores a pasos para el posicionamiento del eje Z sobre las coordenadas determinadas por X y Y con el objetivo de pulir.
- **Diseñar el sistema de servo-visión para el prototipo electromecánico.**
Se refiere a la elaboración de un sistema que utiliza servo-visión para identificar los diferentes defectos que se puedan encontrar en la laja de mármol.
- **Diseñar un prototipo electromecánico para pulir mármol.**
Este sistema de servo-visión y el sistema de control del prototipo electromecánico estén acoplados para que todo el sistema trabaje emulando pulir mármol

1.3 ANTECEDENTES

Se ha trabajado en un proyecto financiado por la VIEP, el cual tenía como título “Diseño e implementación de un prototipo para pulir lajas de mármol”. Este proyecto tuvo como alcance concluir el sistema.

Con el sistema electromecánico se desarrollarán otras etapas para concluir la implementación del sistema completo. Las etapas que se necesitaban trabajar son las siguientes:

- Diseño del sistema del control de los motores.
- Selección de las tarjetas para la etapa de potencia de los motores.
- Diseño del sistema de visión artificial.

1.4 ALCANCES

El diseño de este sistema es para tener un prototipo electromecánico que emule el pulido de lajas de mármol automáticamente. En las lajas de mármol se presentan rugosidades por los cortes de las rocas de mármol y también se llegan a crear ciertos defectos por la yuxtaposición de la formación de la misma roca. En la actualidad se sabe que la tecnología ha evolucionado y se observan esos defectos por medio de la visión artificial, por lo que se diseñara un sistema que pueda ver las regiones donde se encuentren los defectos.

Por otro lado se propone el diseño del sistema de control del prototipo electromecánico, el cual es parte de la emulación final, ya que es una pieza indispensable para realizar el proceso de pulido de mármol. Su tarea consta de controlar los 3 motores a pasos que están acoplados en el prototipo, de tal manera que se posicionen en el lugar adecuado para realizar todo el proceso.

Una meta es presentar el desarrollo del proyecto ante una PyME para mostrar el proceso que se realizó, con el propósito de mejorar el pulimento del mármol.

1.5 APORTES

Este proyecto está pensado para emular una máquina que es usada en el pulimento de mármol, además de que sea utilizado en la industria permitiendo la posibilidad de realizar un proceso automatizado para ahorrar tiempo. Así mismo se espera lograr un crecimiento económico que se justifica en la gran producción que

se puede realizar obteniendo una mayor utilidad, pues se ahorra en la mano de obra debido a que un solo operador calificado podrá manejar varios prototipos, de manera que se adapte a las necesidades de la industria.

Respecto a la visión artificial un aporte es el de utilizar las técnicas adecuadas para hacer posible la detección de defectos, así mismo hacer una buena calibración y efectuar el posicionamiento de los ejes.

1.6 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

- Los tipos de defectos tomados en cuenta serán:
 1. Levantamientos o rugosidades
En el momento que se presente un levantamiento, este se tomara en cuenta para que sea pulido.
 2. Cuando el defecto sea un agujero
Se pulirá toda la superficie excepto el agujero, debido a lo que se requiere es que este pareja toda el área y que el hoyo no se haga más grande.
- El tamaño de la laja es de vital importancia, si este sobrepasa el alcance de la cámara, no se podrán identificar todos los defectos, solo los tomados por la cámara.
- La posición de la cámara debe quedar de tal manera que la imagen no se vea tan alejada, ya que, a través de ella se podrán visualizar los defectos.
- El tamaño y torque de los motores, porque si no tienen el torque necesario no podrán deslizar la base para posicionar la laja de mármol.

1.7 INFRAESTRUCTURA

Para la elaboración de este proyecto es necesario contar con recursos específicos que ayuden a obtener un buen prototipo. La siguiente lista de elementos son los que fueron usados.

1. Computadora de Escritorio
Sistema Operativo Windows 7
Memoria RAM 4GB

- Capacidad de almacenamiento en disco 300GB
2. NI Vision Builder AI 2013
 3. LabVIEW 2013
 4. Tarjeta DR3535 de Microkinetics
 5. Dos Tarjetas DM4050 de Microkinetics
 6. Fuente de Poder
 7. Dos Motores a pasos nema 23
 8. Un Motor a pasos nema 34
 9. Cámara Basler
 10. Tarjeta de video NIPCI 1409 IEEE
 11. Multi herramienta para emular el pulido.
 12. Trípode

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO



2.1 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MÁRMOL

El mármol es una roca sedimentaria caliza que consigue un grado alto de cristalización gracias al proceso de metamorfismo. Su valor depende de características como color, textura y transparencia. El proceso de fabricación del mármol es muy antiguo y se divide en fases para lograr el producto final. Los primeros antecedentes que se tiene sobre la explotación del mármol son en los años de 1876 a 1911 (Kapitel, 2012).

2.1.1 Fases del proceso de fabricación del mármol

Fase 1. Extracción del mármol

La extracción del mármol se realiza a cielo abierto, por lo regular se instala una infraestructura denominada cantera y se utilizan recursos como:

- Explosivos
- Instrumentos rudimentarios
 - Cinceles
 - Marros
 - Cuñas
 - Picas mineras
- Máquinas integradas con tecnología.
 - Máquinas de corte de hilo diamantado
 - Sierras mecánicas
 - Cuñas hidráulicas

Fase 2. Transportación de los bloques

Generalmente el mármol se extrae en forma de bloques y estos se trasladan a las empresas donde pasará por un proceso de transformación. Para la carga se usa un puente grúa. Hasta 1950 el mármol se transportaba en carros de bueyes.

Fase 3. Reforzado

Para que los bloques resistan la presión a la que estarán sujetos en la etapa de corte, es necesario que se realice un procedimiento que consta en reforzar los

bloques de mármol con placas de mármol travertino y con relleno de gravilla del mismo material.

Fase 4. Corte

Este paso consiste en montar los bloques de mármol en sierras de puente para que sean cortados de forma rectangular en longitudes de 2.2 m a 3 m, anchuras de 1.2 m a 1.5 m y alturas de 0.9 m a 1.2 m.

Fase 5. Enmallado y Retapado

Cuando los bloques pasan por el proceso de corte algunas ocasiones pueden presentar imperfecciones. Es necesario que esos defectos sean tapados de alguna forma. Lo que se realiza es aplicar un material realizado a base de resina epóxica, la cual refuerza la placa y así resiste a la fricción que tendrá en la fase del pulido.

Fase 6. Pulido y abrillantado

El uso de abrasivos y agua junto con las pulidoras hacen que las pequeñas placas de mármol sean pulidas con la ayuda de materiales diamantados. Cuando se realiza este proceso hay un desgaste en zonas rugosas y además logran aplicar el brillo. Sin embargo se presentan porosidades y se aplica resina transparente, luego se regresan al proceso del pulido.

Fase 7. Segmentación o calibrado

En esta etapa se realizan los cortes en base a especificaciones o al diseño que son declarados por los clientes. Se utiliza una calibradora que está montada en un puente, se mueve transversalmente, además el calibrado se realiza en la cara oculta del mármol.

Fase 8. Biselado, secado y encerado

El biselado es un corte que se realiza en los 4 cantos de la laja de mármol. Para impedir que los residuos de agua resten adhesión a la resina, el mármol se mete a un horno de secado o se sopletea con aire. Posteriormente se le coloca cera mediante rodillos.

Fase 9. Empaque

En esta fase las placas del mármol se empaquetan en cajas o se guardan en bastidores de madera. La superficie de las caras pulidas se cubre con un forro hecho de plástico para prevenir daños.

Fase 10. Embarque y comercialización

Se realiza la entrega a los clientes que están dentro o fuera del país. Comúnmente los compradores seleccionan los bloques de mármol de acuerdo a la textura y calidad. Uno de los objetivos de transportar el mármol es que al ser entregado llegue en buenas condiciones y sin fracturas generadas.

Fase 11. Consumidor final

Es la última fase que consta en que el comercializador ponga el producto al alcance del consumidor, después de haber pasado por todas las fases anteriores. El producto será utilizado en casas, salones, hoteles, etc.

Actualmente la explotación del mármol se caracteriza por ser una labor complicada debido a la necesidad de capital y recursos. Se requiere que haya una gran productividad y se usen maquinarias apropiadas para cada tarea, pero sobre todo se necesitan operadores capacitados para cubrir todas las fases que conlleva la fabricación del mármol.

2.1.2 Maquinaria usada en el proceso de fabricación del mármol

Telares Multifleje: Son las máquinas de corte más usadas porque tienen un buen rendimiento y un menor coste de producción. Su función es cortar los bloques en placas más pequeñas usando una mezcla de agua y cal.

Hilo Diamantado: Su campo de aplicación es extenso, pues se puede utilizar junto con los monolamas para preparar el plano superior de los bloques o alisar la cara lateral de los bloques. También se usa para cortar los bloques y transformarlos en tablas.

Sierras Cortabloques: Se usan cuando el bloque es un poco irregular y son de la maquinaria más usada debida que se puede hacer productos cuadrados o rectangulares. Cuenta con discos diamantados, lo que facilita los cortes profundos.

Pulidoras: Cuentan con brazos articulados unidos. En cada brazo se aplican muelas que varían según la granulometría. Cada brazo se apoya en un muro y el extremo libre lleva la palanca de mando y el eje donde es colocado un disco cuya función es la de realizar el pulimento (Stone, 2010).

2.1.3 Etapas del proceso de fabricación del mármol y la maquinaria usada en cada una

a).- Precorte

- Telar monolama.
- Corte con hilo.

b) Corte primario

- Telar de granalla con movimiento pendular o semirrectilíneo.
- Telar de flejes diamantados.
- Cortabloques monodisco gigante.
- Cortabloques multidisco con disco secundario horizontal.

c).- Corte secundario

- Sierras manuales.
- Sierras puente.
- Sierras multidisco.

d).- Tratamiento superficial

- Pulidoras manuales.
- Pulidoras puente.
- Trenes de pulido.
- Bujardas.
- Flameadoras.

e).- Acabados y trabajos especiales

- Biseladoras.
- Pulidoras de cantos.
- Taladradoras y fresadoras.
- Tornos.
- Máquinas de control numérico.
- Contorneadoras.
- Máquinas de corte con chorro de agua.

f).- Equipos auxiliares

- Sistemas de control automático de mezclas.
- Sistemas de carga y descarga manual y automática.

- Sistemas de volteo de planchas y baldosas (Blanco Alvarez, 2005)

2.1.4 Actores involucrados en la producción del mármol

Así como se siguen las fases en la producción del mármol, también se presentan los actores involucrados de manera directa e indirecta. Es necesario reconocerlos para detallar las características, rasgos y niveles de incidencia en el proceso de fabricación del mármol. Dentro de los actores se puede identificar a dos grupos:

2.1.4.1 Actores directos

Actores directos: Son aquellos están presentes en el proceso de elaboración del mármol.

- Empresarios destinados a la extracción del mármol: Se caracterizan por ser dueños de los terrenos donde están localizados los yacimientos de mármol.
- Empresas comercializadoras: Son las que disponen de un yacimiento y obtienen la materia prima.
- Operarios: Son trabajadores que realizan el trabajo duro, pues extraen el mármol. Para ello usan técnicas de explotación de forma manual, lo cual afecta al proceso de producción.
- Intermediarios: Son los que se encargan de reunir una gran cantidad de bloques de mármol en buena calidad a comparación de los ofrecidos por los productores. También intervienen en el precio del mármol.
- Brokers: Son comerciantes cuyo trabajo es el de colocar el mármol en el mercado. Se enfocan a buscar grandes cantidades y la desventaja está en las condiciones de pago y del precio, pues no se obtienen muchos recursos de esta actividad.
- Distribuidores y Comercializadores: Son los dueños de diversos comercios como joyerías, tienda de artesanías o lapidarias. Consiguen el material con los intermediarios para que los modifiquen y los venden a un costo elevado.
- Consumidores finales: Son los que adquieren el producto realizado con mármol, generalmente son compradores con ingresos altos en la sociedad.

2.1.4.2 Actores indirectos

Actores indirectos: Son aquellos que ofrecen apoyo a los actores directos como transporte, investigación y soporte técnico.

- Gobierno Federal: Establece las normas, leyes y políticas.
- Autoridades regionales: Se encargan de supervisar y controlar las técnicas que usan para la fabricación del mármol y así proteger el medio ambiente
- Proveedores: Proporcionan apoyo, su objetivo es rebajar los costos de transacción. Proveen maquinarias, herramientas y equipo manual (energía eléctrica, gas natural, etc.)
- Intermediarios financieros: Son pequeños establecimientos que proporcionan rentabilidad y apoyo financiero para la producción del mármol.
- Inversionistas privados nacionales: Su objetivo es proporcionar recursos para que el mármol sea explotado.
- Inversionistas privados internacionales: Es necesario que se integre el capital extranjero debido a la insuficiente capitalización y recursos financieros. Los inversionistas privados buscan prospectos rentables que brinden seguridad jurídica.

2.1.5 MATRIZ FODA DEL MÁRMOL

2.1.5.1 Fortalezas

- México posee un gran potencial para producir mármol, especialmente en Coahuila, Matamoros y Puebla.
- La mayoría de las reservas de México están sin explotar.
- No es necesario pagar derechos o limitarse a las obligaciones mineras para poder explotar el mármol.
- Se encuentran diversas variedades de mármol en los yacimientos.
- México se encuentra en una posición destacada dentro de los grandes países productores del mármol.
- La producción del mármol tiene la capacidad para convertirse en una fuente de economía.
- El mármol tiene un equilibrio en su precio y en su demanda, además posee una oferta insuficiente.
- La producción del mármol cubre las exigencias del mercado nacional.

2.1.5.2 Debilidades

- El mármol exige cuidados para su mantenimiento, además de ser débil en condiciones climáticas extremas.
- Las empresas que se dedican a la explotación del mármol son muy pequeñas.
- Se usan técnicas rudimentarias de producción, lo cual da una deficiencia en la producción.
- Muy pocas empresas cuentan con los recursos necesarios para llevar a cabo todo el proceso de fabricación del mármol.
- No hay una buena organización y administración en las microempresas.
- No existe un inventario nacional sobre el mármol
- Las variedades del mármol no cuentan con un certificado de origen en México.
- No hay suficiente transporte e infraestructura de comunicaciones en las zonas productoras.

2.1.5.3 Oportunidades

- La minería simboliza una oportunidad para el crecimiento de la economía en zonas aisladas.
- Se pueden presentar tratados internacionales.
- Se considera al mármol como un material preferido para la construcción de obras y fabricación de objetos.

2.1.5.4 Amenazas

- No hay estabilidad en precios del sector de la joyería y de la construcción.
- Existencia de minerales traslucidos que tengan un mayor valor agregado.
- La modernización y evolución de la oferta y demanda hacen que el mármol tenga que renovarse (economía, 2012).

2.2 PULIDO DE MÁRMOL EN EL PROYECTO

Como se ha mencionado el objetivo del pulido de mármol en este proyecto es el de quitar aquellos defectos que hagan que la laja no se vea plana, tales como rugosidades o agujeros. Se hace el uso de una multi herramienta que está equipada con varios accesorios para realizar varias tareas. Dremel 3000 es una herramienta de velocidad variable, cuenta con diversos accesorios que hace posible su utilización en diversos trabajos. Para el pulimento de la losa se utiliza un cepillo de alambre especial para esta tarea.



Figura 2.2.1 Herramienta Dremel 3000

2.3 VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial está relacionada con diversos conceptos de hardware, software y fundamentos teóricos, debido a que usa diversas técnicas para hacer un análisis de información a través de imágenes digitales.

La visión artificial tiene como base a dos sistemas y son: el sistema de formación de las imágenes y el sistema de procesamiento. Sin embargo para que se efectúe la visión artificial, es necesario que se siga una serie de pasos.

El primer paso es la adquisición de la imagen, pues en ella se centrará todo el proceso. Para poder realizar este paso es necesario contar con sensores.

Después se hace el pre procesamiento de la imagen para mejorarla y así tener éxito en la solución del problema.

Luego se hace la segmentación que consiste en dividir la imagen en piezas u objetos presentes en ella. La salida es una imagen que incluye representación por la frontera o la representación por regiones.

La representación por la frontera es adecuada cuando el objetivo se enfoca en propiedades como concavidades, convexidades y esquinas. La representación por regiones es conveniente cuando la atención está en las texturas o esqueleto de un objeto.

El paso siguiente es la parametrización o selección de rasgos que trata de extraer características de interés que producen información valiosa.

Por último están el reconocimiento que consta de asignar etiquetas a objetos basadas en clasificación y la interpretación donde se le asigna un significado a los objetos reconocidos (Ainia, 2014).

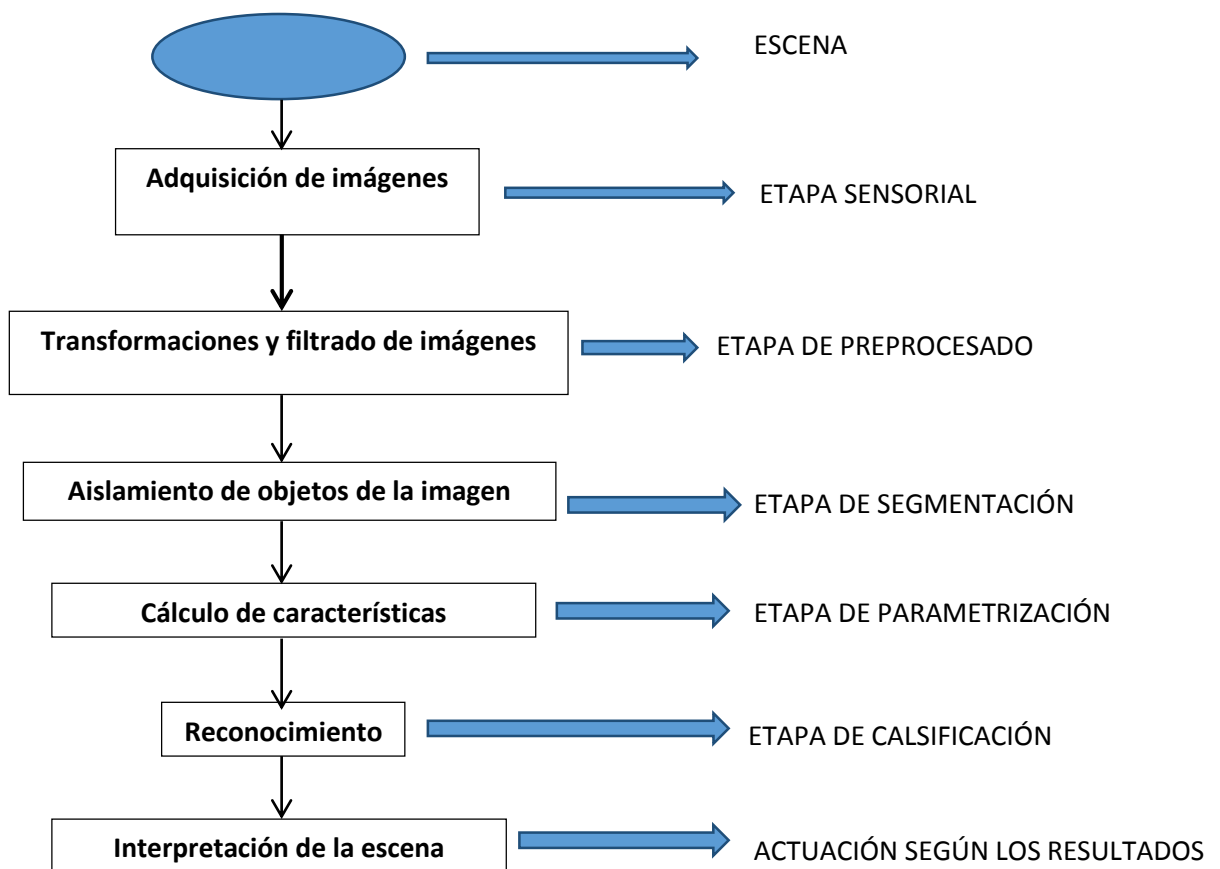


Figura 2.3.1 Etapas de un sistema de visión artificial.

2.3.1 Componentes de un sistema de Visión Artificial (SVA)

Sensor óptico: Es una cámara que tenga la capacidad de producir una imagen completa. En este Proyecto se utiliza una cámara basler, que es de visión artificial, es de fácil conexión con dispositivos de interfaz IEEE 1394, además cuenta con un soporte de software (Instruments, National Instruments, 2015)

En la figura 2.3.1.1 se observa la cámara usada para la adquisición de la imagen.



Figura 2.3.1.1 Cámara Basler

En la tabla 2.3.1.1 se muestra información básica sobre la cámara Basler utilizada en el proyecto.

Tabla 2.3.1.1 Información básica de la cámara Basler

Información básica de la cámara Basler	
Marca	Basler
Modelo	scA 640-70 fm
Sensor	Sony ICX 424
Tipo de sensor	CCD
Resolución	659 x 490 px
Rango máximo de frames	71 frames/segundo
Tipo de interface	IEEE 1394b

El software de Visión de National Instruments incluye diversas funciones de análisis y procesamiento de imágenes, algunos ejemplos son:

- Calibración espacial
- Análisis de partículas
- Detección de bordes
- Segmentación de imagen
- Clasificación de objetos (National Instruments, 2015)

Tarjeta de adquisición de la imagen: Permite digitalizar la señal de video que procede del sensor óptico.

Computadora: Sirve para que la imagen sea guardada para realizar el procesamiento y manipulación.

Monitor de video: Permite la visualización de las imágenes capturadas (González, y otros, 2006).

2.3.2 Preprocesado

El objetivo del pre procesamiento es reparar en la imagen los desperfectos producidos por el hardware, como el ruido, poco o mucho contraste o brillo. Sin embargo los algoritmos utilizados para esta tarea no se deben usar mucho ya que esto afectara a la calibración y a la selección de elementos de la adquisición.

En este proyecto se utiliza una operación lógica denominada umbralización, la cual permite detectar con claridad los defectos presentados en cada lona.

Umbralización o Thresholding: Consiste en eliminar los valores superiores e inferiores (colocándolos en 0) respecto a un valor comúnmente conocido como umbral (Personed, 2014).

2.3.3 Segmentación

Al final de esta etapa se deben conocer los objetos para que se realice la extracción de características. Los objetos son regiones dentro de la imagen y puede estar localizado en varias.

2.3.1.1 Segmentación basada en umbralización

En esta etapa se usa un histograma que permite ver la frecuencia relativa de cada nivel de iluminación de una imagen. Este proceso agrupa los pixeles según los

niveles de intensidad luminosa, es así como se detectan los defectos, si es un levantamiento tendrá un mayor nivel de iluminación, a lo contrario de un agujero (Fisher, Perkins, & Wolfart, 2003).

2.3.4 Aplicaciones de la visión artificial

Uno de los sectores donde se utiliza la visión artificial es en la industria, especialmente en:

- Automóviles
- Textiles
- Madera
- Equipos electrónicos
- Farmacéutica

También se usa en aplicaciones de:

- Lectura de datos
- Especificación de la ubicación de objetos
- Orientación y posicionamiento de un objeto
- Mediciones angulares
- Mediciones tridimensionales
- Inspección de superficies (Coruña, 2012)

2.4 ROBOT TIPO PÓRTICO

Un robot tipo pórtico consta de un sistema de coordenadas cartesianas con ejes XYZ. Para poder formar estos ejes disponen de 3 dispositivos deslizantes que ayudan a tener buenas precisiones. Este tipo de robot es muy confiable pues ocupan métodos de posicionamiento y son la base de un sistema de control numérico (Porrás & Cid, 2002). Para saber cómo funciona un robot tipo pórtico es necesario conocer la regla de la mano derecha, representada en la figura 2.4.1.

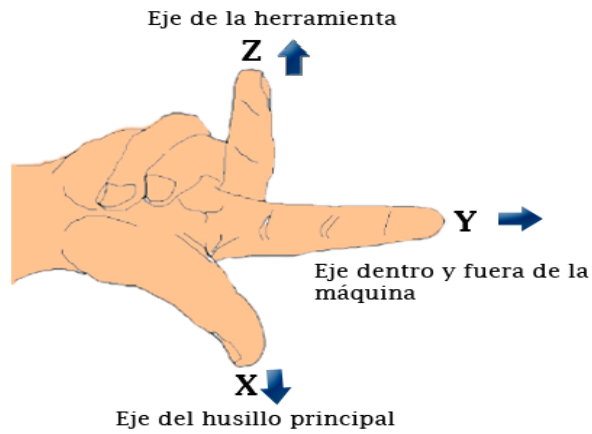


Figura 2.4.1 Regla de la mano derecha

Se dice que el eje donde va colocada la herramienta es el Z y es representado por el dedo medio, el eje Y es el que comúnmente va dentro y fuera de la máquina, y el dedo pulgar representa al eje X que es el principal y regularmente es el husillo más largo (Mecanico, 2013).

En la figura 2.4.2 se puede apreciar el robot tipo pórtico utilizado y la representación de los ejes XYZ en el.

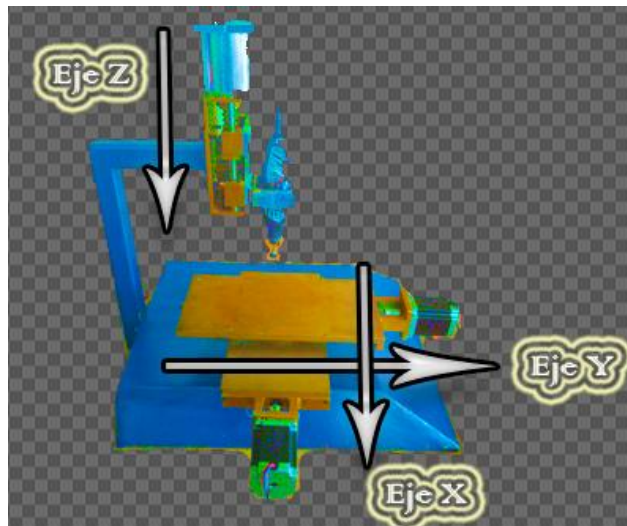


Figura 2.4.2 Robot tipo pórtico

2.4.1 Ventajas de usar un robot p^órtico

- Cuenta con estructuras r^ígidas
- Resoluci^ón espacial constante
- No hay variaci^ón en la precisi^ón seg^un la carga
- El modelo de la estructura no es dif^ícil

2.4.2 Desventajas de usar un robot tipo p^órtico

- No se puede trabajar por debajo de los objetos
- El volumen del objeto debe ser menor al volumen del robot

2.5 MOTORES A PASOS

Los motores a pasos son dispositivos electromagn^éticos rotativos, cuya funci^ón es convertir los pulsos digitales en rotaciones. La rotaci^ón es proporcional al n^úmero de pulsos y la velocidad es relativa a la frecuencia de los pulsos.

Los motores a pasos est^án compuestos por un estator y un rotor, el primero se encarga de generar el flujo principal y el segundo reacciona a la excitaci^ón del estator produciendo as^í el movimiento de rotaci^ón (Cuenca, 2007).

2.5.1 Ventajas de un motor a pasos

- Son confiables
- Est^án libres de mantenimiento
- Son de lazo abierto
- Cuentan con un buen dise^ño

2.5.2 Desventajas de un motor a pasos

- Puede ocurrir un fen^ómeno de resonancia si el motor no es controlado adecuadamente.
- Muy dif^ícil de operar a altas velocidades.

2.5.3 Funcionamiento de los motores a pasos

La tecnolog^ía ha evolucionado y con ello se han desarrollado diversas aplicaciones para resolver algunas tareas de la vida diaria. Los motores a paso son de gran importancia para el desarrollo de algunas aplicaciones que necesitan de cierta precisi^ón. Se llaman as^í debido a que se pueden mover desde un paso

hasta una secuencia infinita de pasos, esto depende de la cantidad de los pulsos aplicados par su movimiento.

El movimiento de los motores se da por una o más bobinas que se encuentran energizadas o bien si no se les aplica alguna corriente. (Hernández & Ochoa, 2004)

2.5.4 Parámetros importantes de un motor a pasos

Angulo de paso (Step Angle): Es el avance angular que se produce en el motor por cada impulso de excitación

Par dinámico de trabajo (Working Torque): Es el momento máximo que el motor es capaz de desarrollar sin perder paso.

Par de mantenimiento (Holding Torque): Actúa como freno para mantener el rotor en una posición.

Par de detención (Detention Torque): Es un par de freno, que es propio de los motores de imán permanente, se da debido a la acción del rotor cuando los devanados del estator están desactivados.

2.5.5 Tipos de motores a pasos

2.5.5.1 Motor a pasos de imán permanente bipolares

Son los motores más usados en aplicaciones no industriales y tienen un núcleo que tiene un imán permanente redondeado. Cuando se excita el estator, las bobinas tienen un comportamiento igual que los electroimanes, así el imán del rotor se alinea con el campo generado.

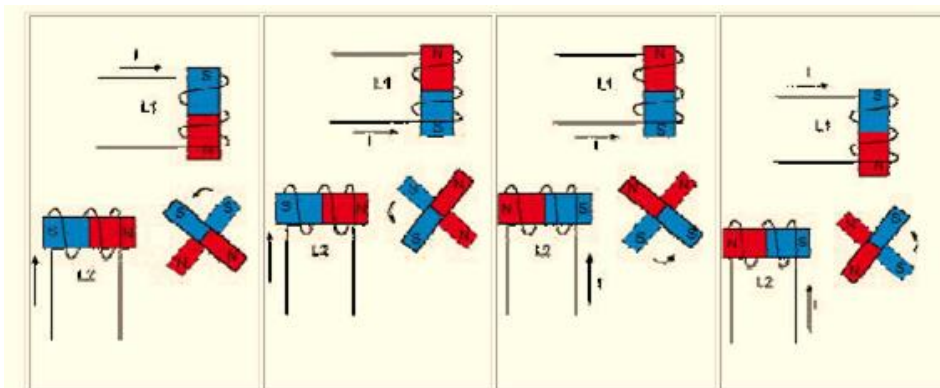


Figura 2.5.5.1.Principio de funcionamiento de un motor a pasos de imán permanente

Se caracterizan por tener 4 cables de salida, además requieren un cambio de dirección y un puente H por cada bobina del motor.

Secuencia para motores a pasos bipolares: Necesitan que la corriente que fluye a través de las bobinas sea invertida y se dirija en una secuencia determinada. Se da un paso cada vez que se invierte la polaridad, el sentido de giro lo indica la secuencia (Velasco Peña, 2007).

En la tabla 2.4.1.2.1 se presenta la secuencia para manejar correctamente un motor bipolar.

Tabla 2.4.1.2.1 Secuencia para motores bipolares

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

2.5.1.2 Motores a pasos Unipolares

Se caracterizan por tener 5 o 6 cables, por lo regular 4 se ocupan para recibir los pulsos que indican al motor la secuencia de los pasos y los restantes sirven para alimentar al motor.

Para hacer que funcionen se pueden manejar 3 secuencias

Secuencia Normal: El motor avanza un paso, siempre hay por lo menos 2 bobinas activadas, además se genera un torque alto de paso.

Secuencia tipo wave drive: Se activa solo una bobina a la vez, el funcionamiento del motor es más suave, sin embargo el torque es menor.

Secuencia de medio paso: Se activan las bobinas para que se efectúe un movimiento igual a la mitad del paso real (Todo Robot, 2015).

2.6 Vision Builder AI y LabVIEW

2.6.1 LabVIEW

Es una plataforma de programación gráfica que permite crear aplicaciones con la ventaja de construir algoritmos para la manipulación de datos, controles y análisis matemático además permite conectar dispositivos de una manera fácil. Está hecho para realizar aplicaciones en poco tiempo para ingenieros y científicos (Instruments, National Instruments, 2015).

2.6.1.1 Ventajas de LabVIEW

- ✓ Programar de la manera en que se piensa
La manera de programación de LabVIEW es sin líneas de código y sin una sintaxis difícil.
- ✓ Conectar un sistema
Es decir se pueden conectar varios dispositivos y conectarse con otros lenguajes de programación.
- ✓ Crear aplicaciones interactivas
Posee la tecnología arrastrar y soltar para crear una interfaz de usuario, visualizar datos y hacer un control para el usuario.
- ✓ Debug visualmente
Se puede observar flujo de datos del diagrama, monitorear valores en tiempo real o hacer una ejecución por pasos (National Instruments, 2014).

2.6.1.2 Desventaja de LabVIEW

- ✓ No es una herramienta muy útil con lo que es la programación orientada a objetos

2.6.2 Vision Builder AI

Es un entorno de National Instruments cuyo objetivo es desarrollar visión artificial sin necesidad de programar o hacer uso de herramientas complicadas. Se caracteriza por tener el software de NI Vision Acquisition que sirve para capturar, mostrar y guardar imágenes.

- Adquirir y procesar imágenes con una tarjeta de adquisición de imágenes, GigE Vision, cámara IEEE 1394 o a través del sistema Compact Vision.
- Construir, evaluar y desplegar aplicaciones de visión artificial sin usar programación
- Configurar herramientas de visión artificial agregando el uso de OCR y análisis de partículas.
- Comunicar los resultados a dispositivos industriales de E/S digital, serial o de protocolos Ethernet

2.6.2.1 Razones para usar Vision Builder AI

- ✓ Procesamiento fácil de imágenes con una caja completa de herramientas
Se pueden configurar más de 100 herramientas de visión incluyendo juego geométrico, reconocimiento de caracteres ópticos, análisis de partículas, mediciones, identificación, contador y clasificación de objetos sin programar.
- ✓ Uso de un solo paquete para hardware de visión
Adquirir y procesar imágenes con algún grabador de frames como Sistema compacto de visión, sistema embebido de visión, cámaras inteligentes (USB3 Vision, GogE Vision, IEEE 1394, USB DirectShow).
- ✓ Integrar con controladores lógicos programables y automatización de dispositivos
Configurar decisiones de aprobación o fallo para comunicar los resultados de la inspección en entradas y/o salidas digitales o en protocolos Ethernet. Mostrar imágenes, mediciones dentro de la implementación del proyecto.
- ✓ Inspecciones de referencia y variaciones del modelo sistema
Tiene la ventaja de incluir utilidades al sistema para tener un buen rendimiento para condiciones de la vida real como la iluminación, desenfoque y posición de la cámara para una inspección visual (National Instruments, 2015).

2.7 CALIBRACIÓN

La calibración se utiliza para obtener una imagen sin deformaciones, para ello es necesario realizar un buen calibrado de la posición de la cámara. En la figura se puede observar un ejemplo de cómo debe ser la calibración.

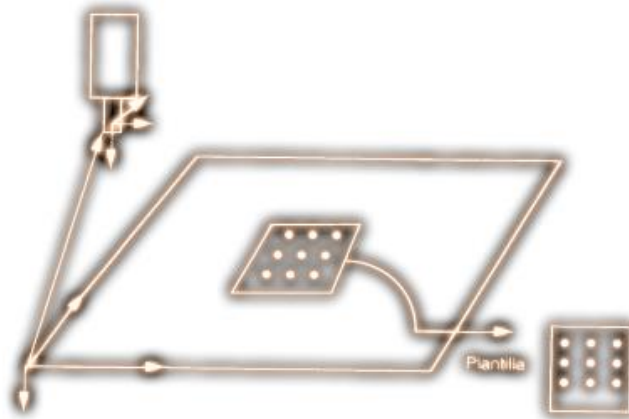


Figura 2.7.1 Calibración de una imagen

Se puede realizar mediante la obtención de vectores unitarios, sin embargo VBAI posee una herramienta la cual nos ayuda a que no se tenga que realizar operaciones matemáticas. Además ofrece varios tipos de calibración y son:

➤ **Point Distance Calibration**

Esta calibración convierte las coordenadas de los píxeles en coordenadas del mundo real basándose en una distancia conocida. Es usada en inspecciones donde existe cierta distorsión a lo largo de los ejes de la imagen como ejemplo son las aplicaciones de escala lineal, imágenes que pueden ser estiradas si el rango de adquisición es muy rápido o comprimido y si el rango de adquisición es muy lento.

➤ **Point Coordinates Calibration**

Es usado para corregir el ángulo de distorsión de la cámara basado en distancias conocidas entre 4 puntos como mínimo. Corrige el error de perspectiva, luego se

usa la coincidencia de patrones u otro método para identificar la posición y orientación de los objetos. Si este tipo de calibración no provee el nivel deseado de precisión, se puede modificar para calcular el modelo de distorsión de la lente. Es utilizado en aplicaciones que tienen las siguientes características:

- Se deben manipular objetos los cuales están dispersos en un contenedor.
- Se debe trasladar la posición de los objetos en la imagen al sistema actuador de coordenadas.
- La cámara no está perpendicular al objeto.
- Inspecciones microscópicas que tiene una profundidad de campo limitada.

➤ **Distortion Model**

Corrige la distorsión de la lente o la desalineación del sensor basado en una o más imágenes de cuadrícula de calibración. Es necesario que esta calibración se realice en las aplicaciones de:

- ✓ Inspección de PCB (placa de circuito impreso)
 - El objeto bajo la inspección es largo y plano
 - La inspección identifica comparativamente pequeñas marcas
- ✓ Aplicaciones de metrología
 - La configuración de la inspección usa lentes teles céntricas y luz
 - La inspección requiere medidas exactas
- ✓ Inspección portica
 - La cámara es montada en una posición vertical fija y se mueve a través del objeto bajo inspección

➤ **Camera Model**

Modela los parámetros de la cámara y la distorsión de la lente basándose en 5 imágenes de cuadrícula como mínimo.

Se usa en aplicaciones de posicionamiento robótico donde:

- La cámara es montada en un objeto en movimiento así como un brazo robótico.
- Se puede determinar la distancia de la cámara desde el plano de trabajo.
- Se puede alinear un objeto así como un brazo robótico precisamente en un espacio de 2 dimensiones.

➤ **Microplanes**

Corrige la distorsión de un espacio de trabajo que no es plano, basándose en una o más calibraciones de imágenes.

Esta calibración se realiza en las siguientes aplicaciones:

Inspección de hoja

- El objeto bajo inspección es flexible y plano como una película plástica
- El objeto bajo inspección puede ser deformado con la presencia o ausencia de un rodillo mecánico.

Inspección de objetos curvos

- Sirve para calcular la distorsión de la superficie curva (Maravall).

En este caso utilizaremos la calibración “Point Coordinates” debido a que la cámara no se encuentra en una posición perpendicular al objeto y se necesita corregir el ángulo de distorsión que se presenta.

2.8 GENERACIÓN DE PWM EN LABVIEW

La modulación por ancho de pulso (PWM) es una técnica que usa pulsos digitales para controlar un circuito analógico. La longitud y la frecuencia definen la potencia total entregada al circuito.

Una señal PWM es comúnmente utilizada para el control de motores de corriente continua o a pasos. El ciclo de trabajo se define como la relación que existe entre la anchura de impulso con el periodo. Como ejemplo, una señal PWM tiene un período de 10 ms y sus pulsos son de 2 ms se dice que la señal tiene un ciclo de trabajo del 20 por ciento.

La figura 2.9.1 muestra tres señales PWM con diferentes ciclos de trabajo (Instruments, National Instruments, 2015).

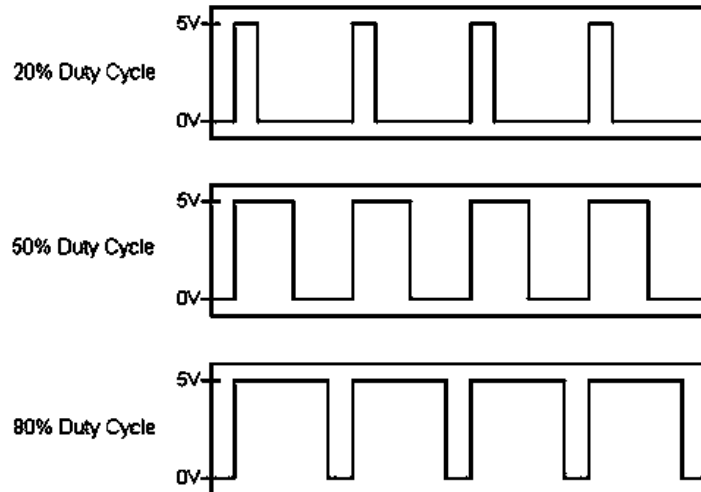
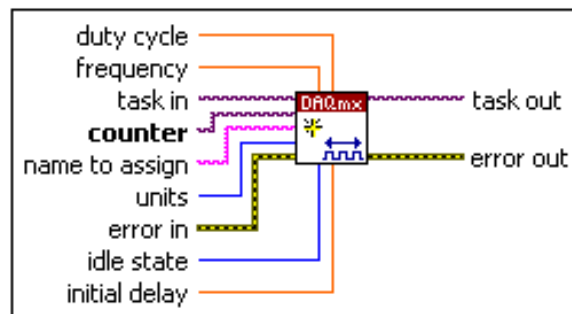


Figura 2.8.1 Señales PWM

Para la creación de un PWM es necesario contar con diversos bloques que ayudaran a realizar con éxito la generación de este, eso bloques son los siguientes:

Creación de Canal

Se crea un canal para generar pulsos digitales ingresando como valores de entrada la frecuencia y el ciclo de trabajo. Los pulsos son enviados a la terminal de salida del contador o al que sea enviado.



Tarea de entrada: Se especifica la tarea a la cual se le agregan los canales virtuales. Si no se crea una tarea NI-DAQmx la crea automáticamente y agrega el canal virtual.

Contador: Especifica el nombre del contador a usar para crear el canal virtual. Se muestra una lista de todos los canales físicos incluyendo contadores para dispositivos instalados en el sistema.

Nombre a asignar: Especifica el nombre a asignar al canal virtual. Si no se conecta un valor a esta entrada NI-DAQmx usa el canal físico como el nombre del canal virtual.

Unidades: Especifica las unidades a usar de la frecuencia del pulso.

Error de entrada: Describe las condiciones del error que ocurren antes de que el nodo se ejecute. Esta entrada provee un error estándar en la funcionalidad.

Frecuencia: Especifica a que frecuencia serán generados los pulsos.

Ciclo de trabajo: Se refiere al ancho del pulso dividido por el periodo del pulso. NI-DAQmx usa esta razón combinada con la frecuencia para determinar el ancho del pulso y el intervalo entre los pulsos.

Estado inactivo: Especifica el estado en reposo de la terminal de salida.

Retraso inicial: Es la cantidad de tiempo en segundos a esperar antes de generar el primer pulso.

Tarea de salida: Es una referencia a la tarea después de que sea ejecutado el VI. La tarea contiene nuevos canales virtuales creados. Si no se conecta un valor a la tarea de entrada NI-DAQmx crea automáticamente la tarea a la salida que se refiere.

Error de salida: Contiene información del error.

Sincronización Implícita

Configura el número de muestras a generar sin una sincronización específica. Frecuentemente se usa cuando la tarea no requiere una sincronización, como las tareas que usan contadores para una frecuencia regulada. Para tareas con un número finito las muestras del canal son el número de pulsos a generar.



Tarea o canales de entrada: Es el nombre de la tarea listar de canales virtuales en donde sea aplicada la operación. Sin no se provee una lista de canales virtuales, NI-DAQmx crear una tarea automáticamente.

Error de entrada: Describe las condiciones del error que ocurren antes de que el nodo se ejecute. Esta entrada proporciona un error estándar en la funcionalidad.

Modo muestra: Especifica si la tarea adquiere o genera muestras continuamente o si adquiere o genera un numero finito de muestras.

Tabla 2.8.1 Tipo de muestras

Muestras Continuas	Adquieren o generan muestras hasta que la tarea de DAQmx de paro se ejecuta.
Muestras finitas	Adquieren o generan un numero finito de muestras
Hardware temporizado de un solo punto	Adquiere o genera muestras continuamente usando la sincronización del hardware sin un buffer.

Muestras por canal: Especifica el número de muestras a adquirir o generar para cada canal en la tarea si el modo de muestra es muestras finitas.

Tarea de Salida: Es una referencia a la tarea después de que las funciones se ejecuten. Si se conecta un canal o lista de canales a la tarea o canales de entrada, NI-DAQmx crea la tarea automáticamente.

Error de salida: Contiene información del error.

Tarea de inicio DAQmx

Es la transición de la tarea a un estado de ejecución para comenzar la generación. Si no se utiliza la Tarea de inicio DAQmx y se detiene la tarea cuando se usa leer o escribir, esto lo realiza varias veces, además reduce el rendimiento de la aplicación.



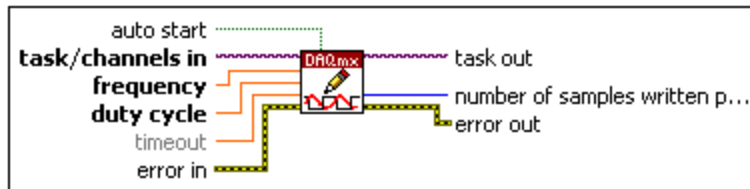
Tarea o canales de entrada: Es el nombre de la tarea o de una lista de canales virtuales a los cuales se les aplicara una operación.

Error de entrada: Describe las condiciones del error que ocurren antes de que el nodo se ejecute.

Tarea de salida: es una referencia a la tarea después que la función se ejecute.

Error de salida: Contiene información sobre el error.

Contador de Frecuencia 1 Canal, 1 muestra



Tarea o canal de entrada: Se refiere al nombre de la tarea o lista e canales virtuales a donde se aplicara la aplicación. Si se proporciona una lista de canales, NI-DAQmx crea una tarea automáticamente.

Frecuencia: Especifica la frecuencia para que los pulsos sean generados.

Ciclo de Trabajo: Es el ancho del pulso dividido por el periodo de pulso.

Tiempo fuera: Especifica la cantidad de tiempo en segundos para esperar que se escriban todas las muestras. NI-DAQmx realiza un tiempo fuera que verifica si se debe de esperar a que se escriba. Se genera un error si el tiempo transcurre. El tiempo marcado es 10 segundos.

Error de entrada: Describe las condiciones del erro que ocurren antes de que se ejecute.

Autoencendido: Especifica si el Vi comienza automáticamente la tarea.

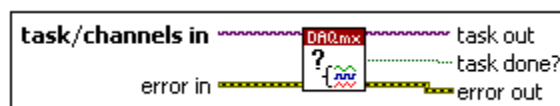
Tarea de salida: Es una referencia a la tarea después de que se ejecute el VI.

Numero de muestras escritas por canal: es el número actual de muestras que se escribieron satisfactoriamente.

Error de salida: Contiene información sobre el error.

Tarea realizada

Consulta el estado de la tarea, indica si se ha completado la ejecución.



Tarea o canales de entrada: es el nombre de la tarea o lista de canales virtuales en donde se aplicara la operación.

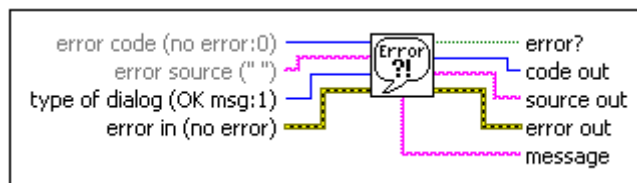
Error de entrada: Describe las condiciones del error que ocurren antes de que se ejecute la función.

Tarea de salida: es una referencia a la tarea después de que el VI se haya ejecutado.

¿Tarea realizada?: indica si la generación ha sido completada

Error de salida: Contiene información sobre el error.

Manejador de error simple: Indica si un error ha ocurrido. Si se genera un error este VI retorna un descripción del error y lo muestra opcionalmente en una caja de dialogo



Código de error: Es un código de error numérico, si la entrada del error indica que se ha generado uno, el VI ignora el código de error. Un valor diferente de 0 significa que existe un error.

Fuente de error: Es una cadena opcional que se usa para describir la fuente del código de error.

Tipo de dialogo: Determina qué tipo de caja de dialogo se mostrará.

Tabla 2.8.2 Tipos de diálogos

0	Sin dialogo: No muestra ninguna caja de dialogo. Es indispensable usarlo cuando se desea manejar los errores.
1	Mensaje ok: Muestra una caja de dialogo con un simple botón "ok"
2	Mensaje de continuar o parar: Muestra una caja de dialogo con botones, el usuario puede elegir continuar o parar.
3	Mensaje ok + advertencias: Muestra una caja de dialogo con algunas advertencias.
4	Continuar/Parar + advertencias: Muestra una caja de dialogo con algunos botones de advertencia (continuar o parar).

Error de entrada: Describe las condiciones del error que ocurren antes de que el nodo se ejecute.

¿Error?: indica si ha ocurrido un error.

Código de salida: Es el código de error indicado en el error de entrada o código de error.

Fuente de salida: Indica la fuente del error.

Mensaje: Describe el código, la fuente y la descripción del error (Instruments, National Instruments, 2015).

CAPÍTULO 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO PARA PULIR LAJAS DE MÁRMOL



3.1 Visión Builder AI

Para empezar con el programa principal se seguirán los siguientes módulos para el análisis de la imagen y la obtención de resultados.

3.1.1 Adquisición de la imagen

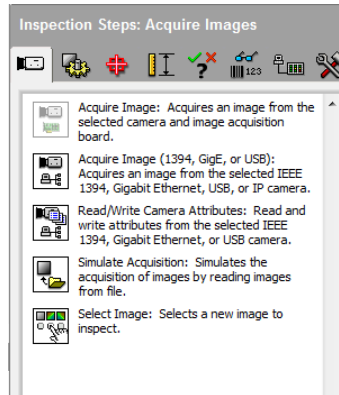


Figura 3.1.1.1 Selección de Adquisición de la Imagen

En la figura 3.1.1.1 se muestra que el primer paso para realizar la interfaz en Visión Builder AI es adquirir la imagen.

En la figura 3.1.1.2 se observa que aparece la cámara a utilizar, por lo que se debe seleccionar para continuar con el siguiente paso.

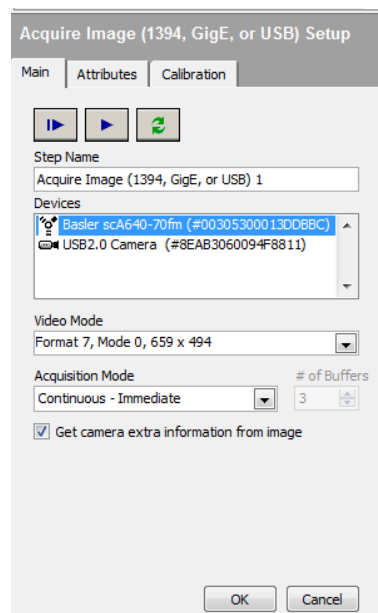


Figura 3.1.1.2 Selección de la cámara a utilizar

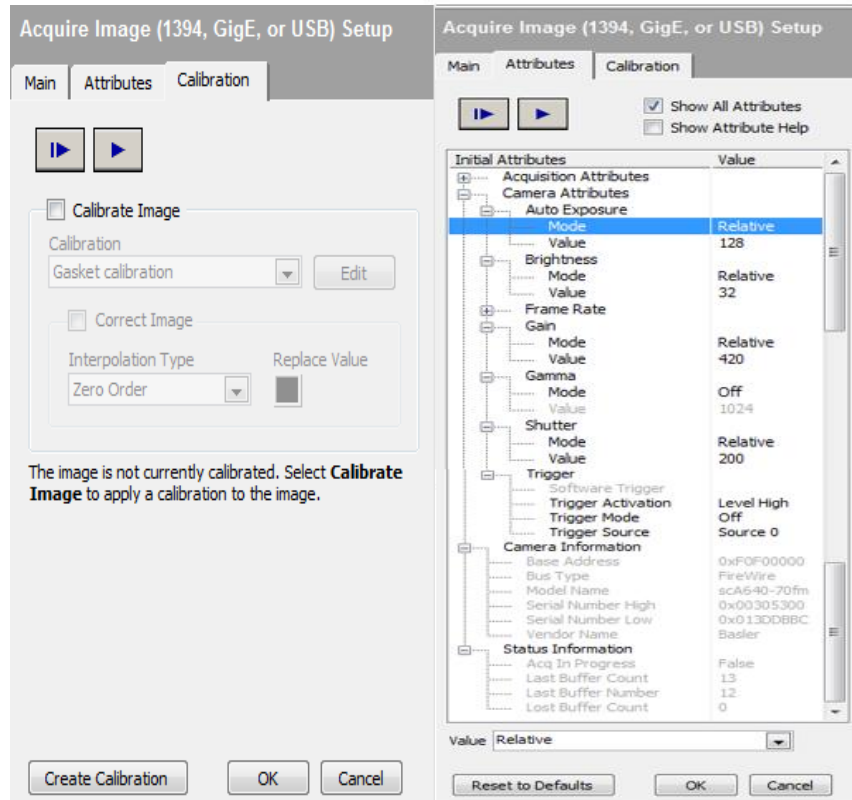


Figura 3.1.1.3 a) Calibración de la imagen, b) parámetros de la cámara

En la figura 3.1.1.3 a) se observa que dentro del paso de adquisición de la imagen está la opción de Calibración, debido a que se tiene que realizar antes de aplicar algún método para la detección de defectos. b) Se muestran algunos parámetros de la cámara como el brillo, información de estado y auto exposición.

En la figura 3.1.1.4 se percibe la imagen adquirida desde el programa VBAI.



Figura 3.1.1.4 Imagen adquirida

3.1.2 Calibración

En este paso es importante conocer las medidas de la losa para que sean ingresadas dentro del proceso de calibración, en la figura 3.1.2.1 se muestran los diferentes tipos de calibración que se pueden ocupar.

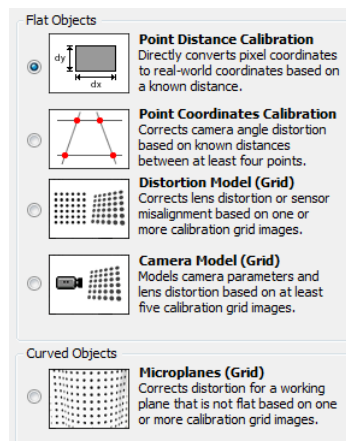


Figura 3.1.2.1 Tipos de calibración

El software de VBAI nos proporciona 5 tipos de calibración que podemos utilizar, sin embargo se usará la calibración de puntos coordinados ya que es la que mejor se adecua a las características del proyecto.

3.1.2.1 Pasos para crear la calibración Point Coordinates.

1. En la figura 3.1.2.1.1 se muestra el primer paso, donde se le asigna un nombre de calibración y de operador, se puede agregar una validación en este caso muestra 3 opciones

- La calibración nunca expira
- La calibración expira en una fecha y hora asignadas.
- La calibración expira en días

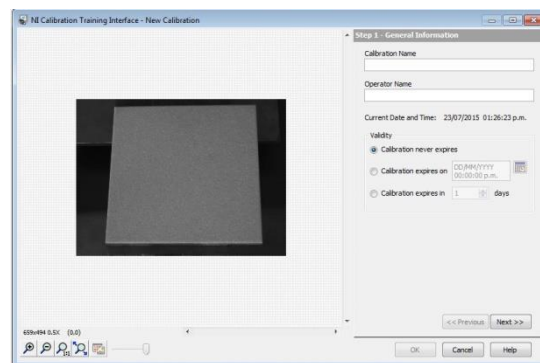


Figura 3.1.2.1.1 Asignación de nombre a la calibración

En la figura 3.1.2.1.2 se selecciona el tipo de calibración a utilizar.

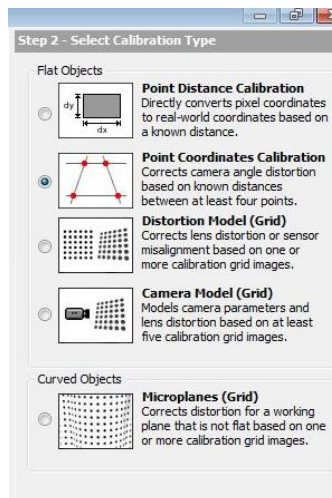


Figura 3.1.2.1.2 Selección del tipo de calibración

La figura 3.1.2.1.3 se muestra una ventana donde se aprecia la imagen capturada para que sea elegida.

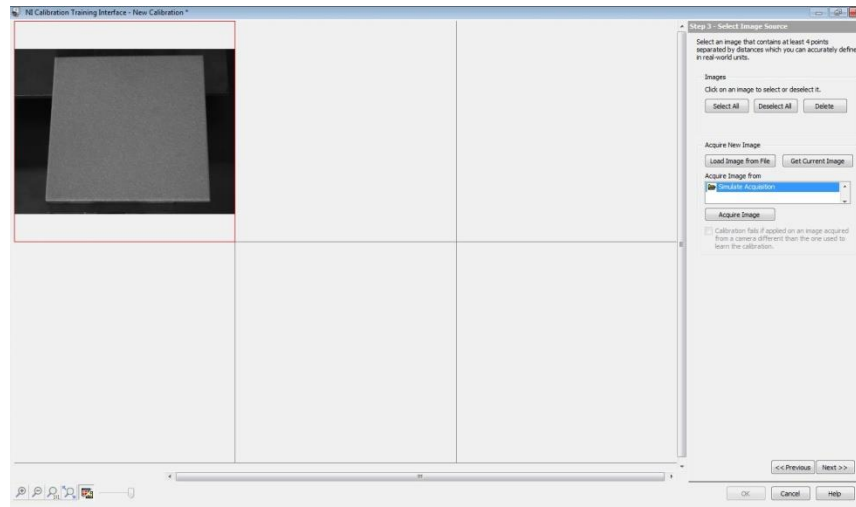


Figura 3.1.2.1.3 Imagen Capturada

En la figura 3.1.2.1.4 muestra que se tienen que seleccionar con precisión los 4 puntos de la losa, marcando las 4 esquinas. Se puede observar que automáticamente se ponen las coordenadas en pixeles de los puntos seleccionados.

Para ingresar los puntos en coordenadas del mundo real se toma a la losa como un plano cartesiano poniendo como origen al primer punto seleccionado y las coordenadas se ponen de acuerdo a la medida de la losa.

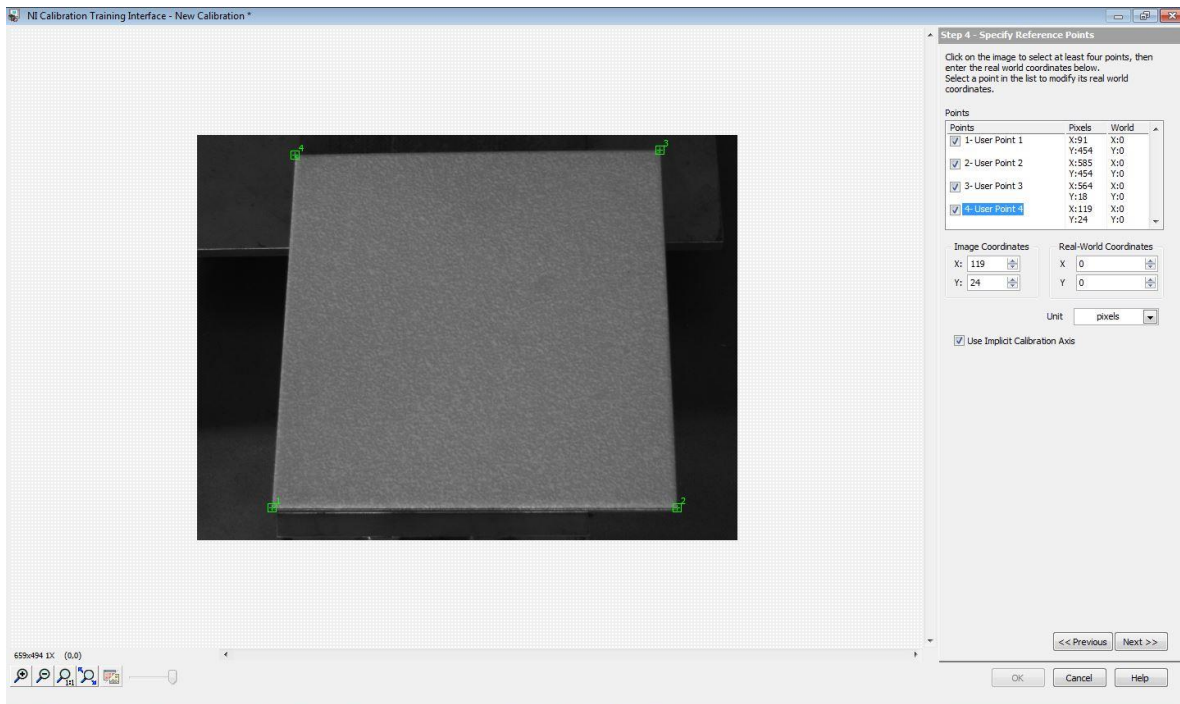


Figura 3.1.2.1.4 Selección de 4 puntos de la losa

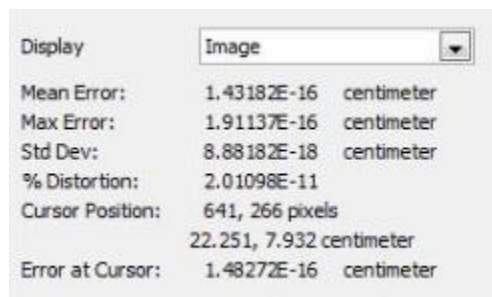


Figura 3.1.2.1.5 Valores de la calibración

En la figura 3.1.2.1.5 y 3.1.2.1.6 se muestra la imagen de la losa y los valores de:

- Error medio
- Error máximo
- Porcentaje de la distorsión
- Posición del cursor
- Error en el cursor

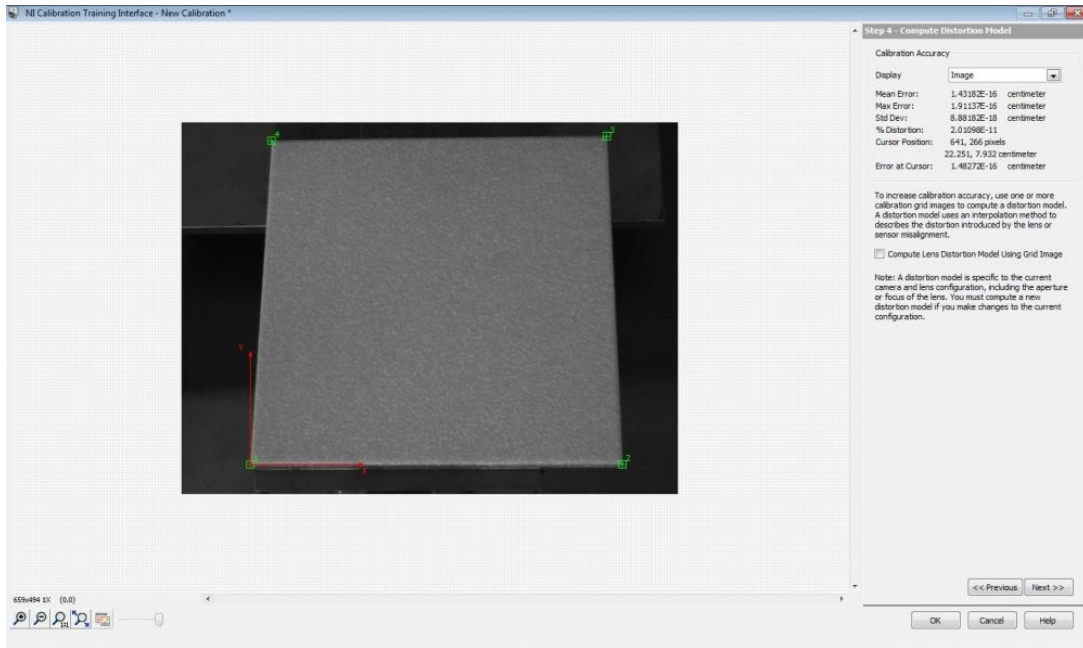


Figura 3.1.2.1.6 Valores de la calibración

En la figura 3.1.2.1.7 se muestra un mapa de error que marca un rango de error, el cual es mínimo para todas las losas.

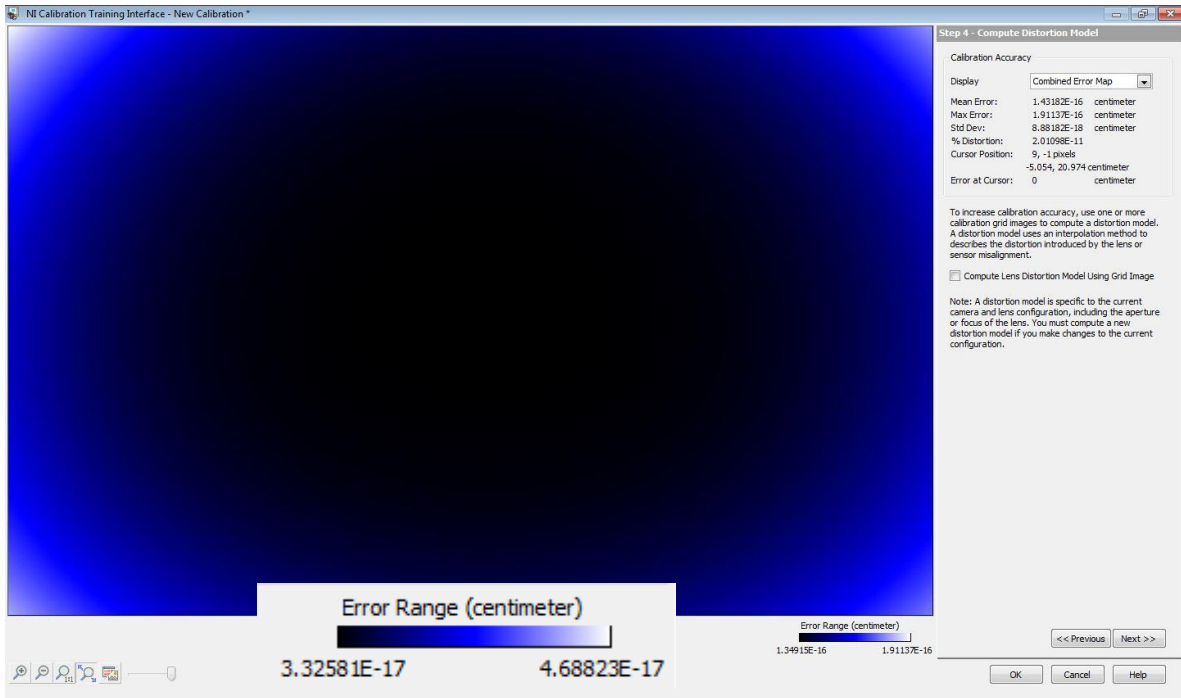


Figura 3.1.2.1.7 Mapa de error

En la figura 3.1.2.1.8 se presenta el resultado de la calibración, donde se puede apreciar la imagen corregida.



Figura 3.1.2.1.8 Resultado de la calibración

En la figura 3.1.2.1.9 se muestra un resumen de los parámetros finales de la calibración como el tipo de calibración, nombre del operador, fecha de creación, validación, puntos de referencia y eje de calibración.

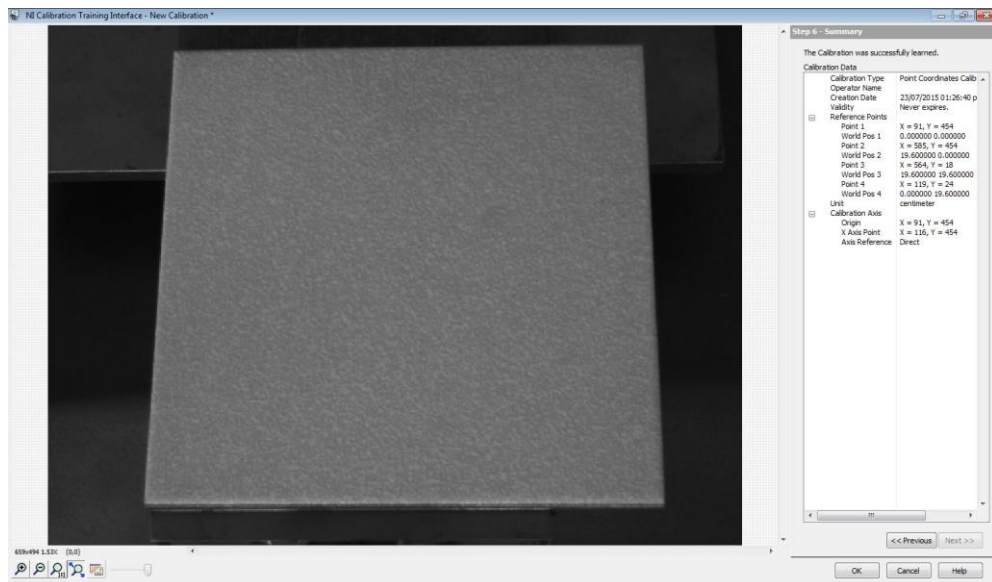


Figura 3.1.2.1.9 Parámetros finales de la calibración

3.1.3 Segunda Calibración de la imagen

Cuando ya se haya calibrado en el paso de adquisición de la imagen se escoge en la caja de herramientas la opción de Calibrar Imagen como se muestra en la figura 3.1.3.1. Se realiza esta operación debido a que cuando se calibra por primera vez y se lleva a cabo la corrección, esta se coloca al revés. Para que sea mejor percibida se realiza otra calibración que la voltea. La nueva calibración se realiza igual que la descrita anteriormente.

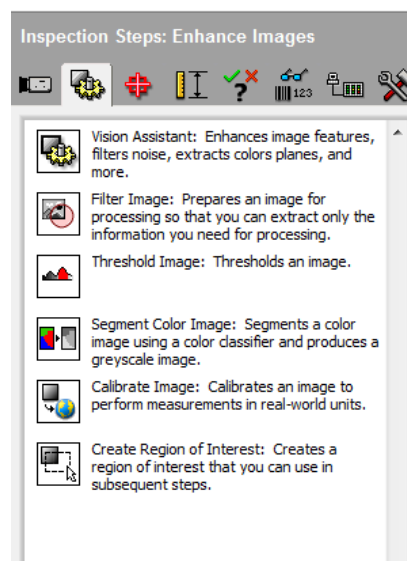


Figura 3.1.3.1 Paso calibración de la imagen

En la figura 3.1.3.2 se muestra el resultado de la segunda calibración realizada en la imagen.

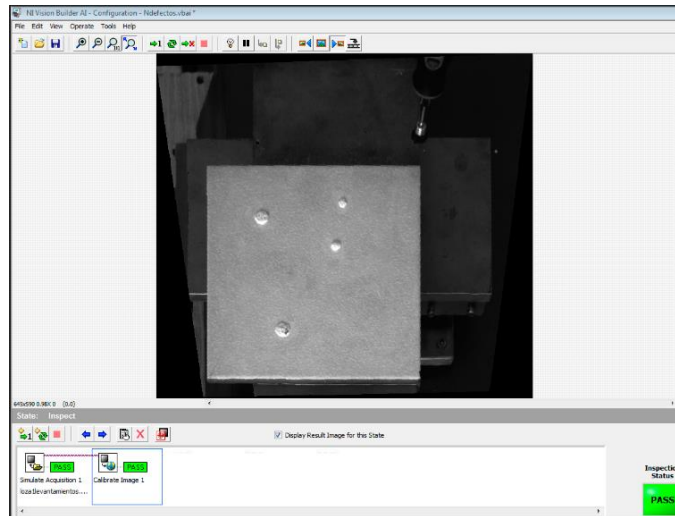


Figura 3.1.3.2 Segunda calibración de la imagen

En la figura 3.1.3.3 se muestra la creación de la región de interés. En ella se trabajará para detectar los defectos, en este caso la región de interés será denotada como el perímetro de la losa.

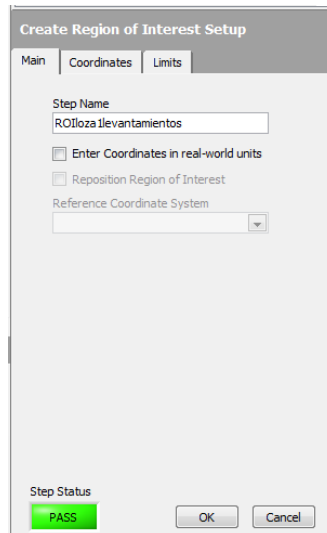


Figura 3.1.3.3 Nombre de la ROI

En la figura 3.1.3.4 se explica cómo escoger el tipo de la región de interés, en este caso es un rectángulo ya que es el mejor se adapta a la forma de la imagen, pues se ocuparan las medidas de ancho y alto de la laja.

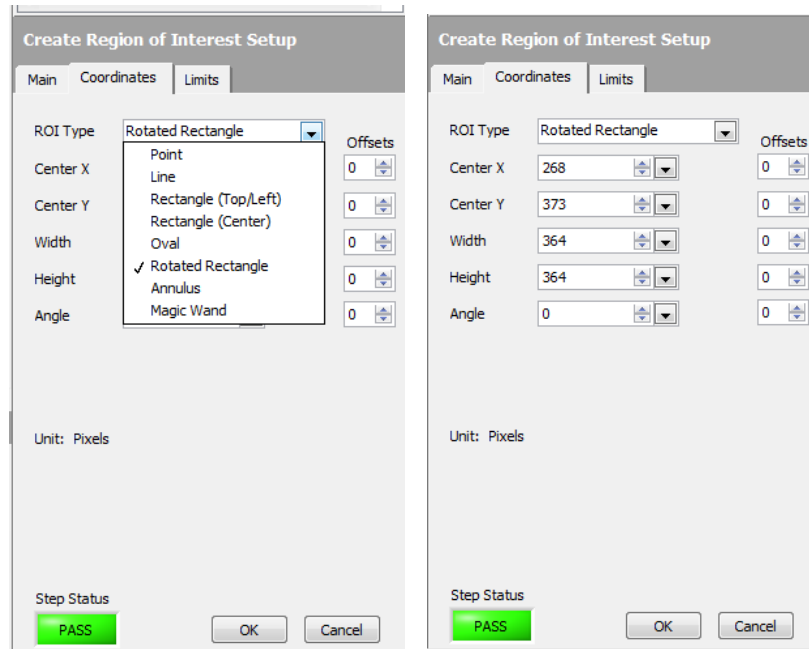


Figura 3.1.3.4 a) Tipo de ROI b) Coordenadas de la ROI

3.1.4 Detección de defectos

En la figura 3.1.4.1 se muestra que la detección de defectos será en la región de interés que se configuro anteriormente. Debido a que sólo se desean analizar los objetos que se encuentren en la losa y no detectar aquellos defectos que se localicen en las placas del robot tipo pórtico.

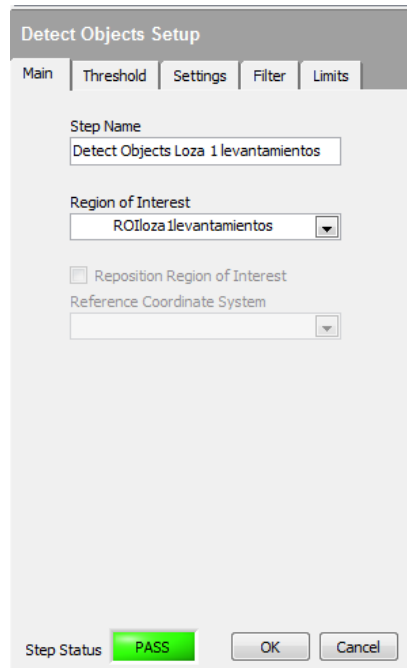


Figura 3.1.4.1 Asignación de nombre a la detección de objetos

En la figura 3.1.4.2 se muestra que se debe seleccionar una búsqueda de objetos debido a que la principal característica para detectar los defectos es clasificarlos mediante objetos oscuros, brillosos y grises.

Los objetos oscuros son los agujeros ya que reciben menos luz, los objetos brillantes son los levantamientos pues al estar alzados tienen una mayor concentración de luz. Para poder detectar los levantamientos se hará una búsqueda de objetos brillosos y cuando sean agujeros se seleccionará la opción de búsqueda de objetos oscuros.

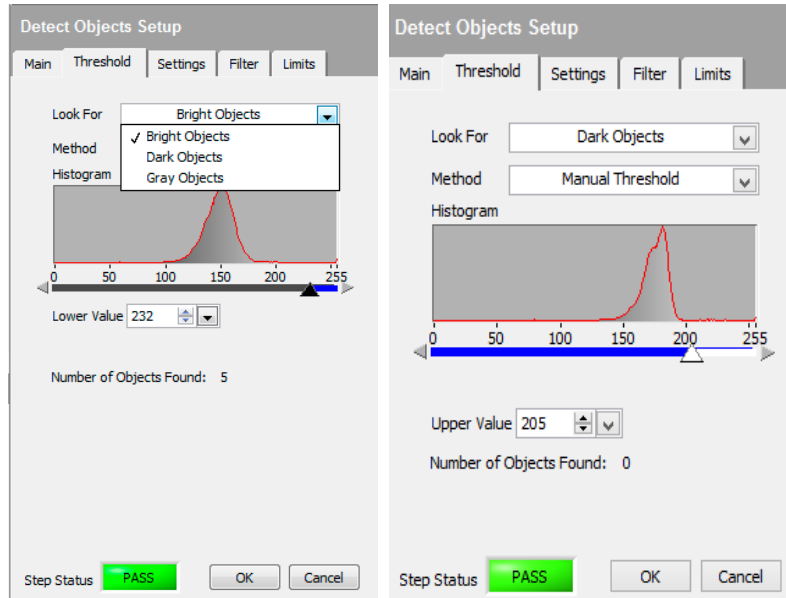


Figura 3.1.4.2 Selección de búsqueda para la detección de objetos a) Objetos brillosos, b) Objetos oscuros

Para que se realice correctamente la detección de los defectos es necesario seleccionar el umbral adecuado, de otra forma identificará defectos irrelevantes. En la figura 3.1.4.3 se muestra que el umbral seleccionado es el manual, debido a que es el mejor que se adecua a las características de la losa. Además se puede apreciar que muestra el número de defectos detectados.

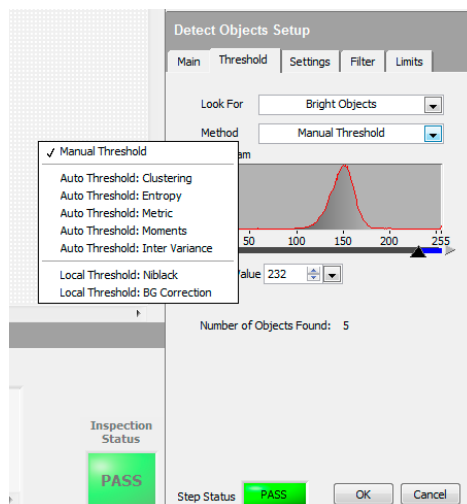


Figura 3.1.4.3 Umbralización

A continuación en la figura 3.1.4.4 a) se muestran los parámetros deseados para que sean calculados por el programa. El parámetro centro de masa muestra las coordenadas de los defectos en pixeles y en centímetros. En la figura 3.1.4.4 a) se ve un ejemplo de las coordenadas XY.

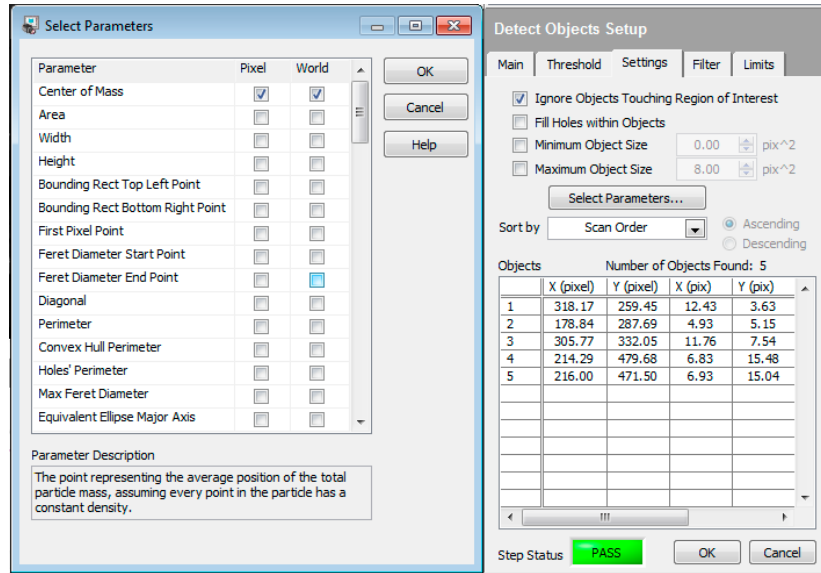


Figura 3.1.4.4 a) Selección de parámetros, b) Vista de los parámetros

Para agilizar el proceso es necesario tomar en cuenta el número de defectos, ya que si sobrepasan X número se tomará como una losa inservible. En la siguiente figura se observa como se establece un mínimo y máximo de defectos para que pase la inspección. Los valores establecidos son:

- 1 objeto como mínimo para que pase la inspección
- 8 objetos máximos para que pase la inspección, de otra manera no se efectuara el proceso de pulido.

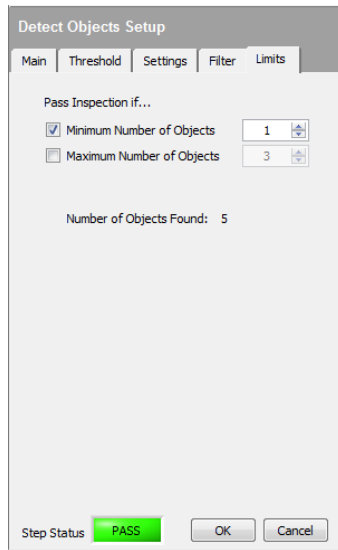


Figura 3.1.4.5 Mínimo y máximo de defectos

En la figura 3.1.4.6 se muestran los defectos identificados, se puede apreciar que todos son levantamientos y se nota la luz presente en ellos.

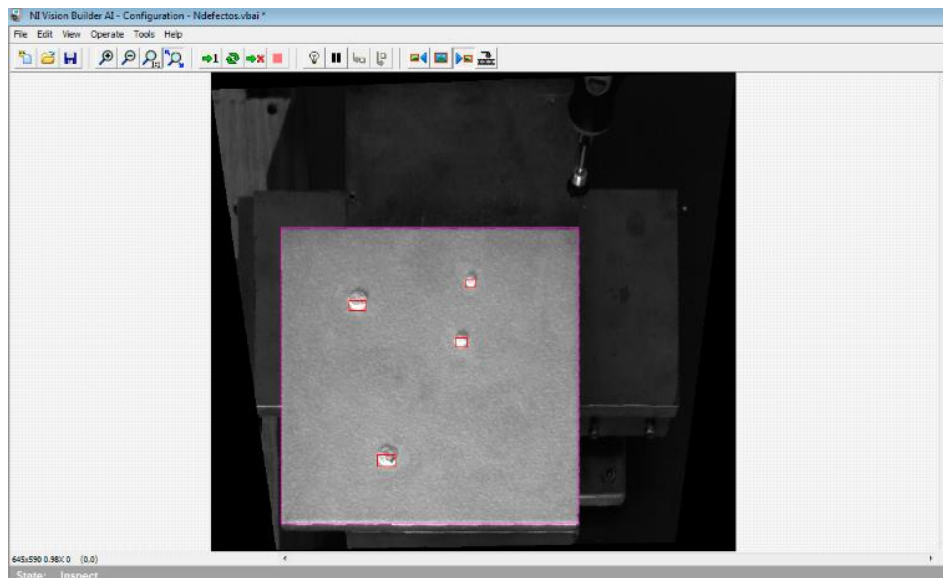


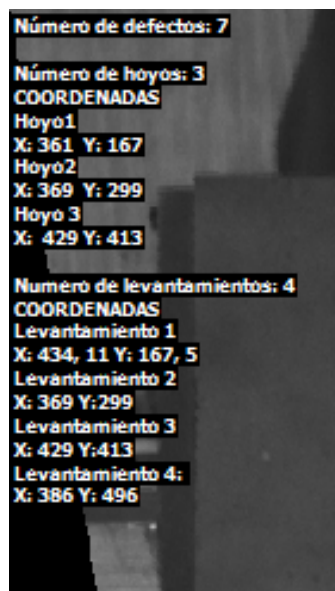
Figura 3.1.4.6 Detección de defectos

3.1.5 Plantilla personalizada

En este paso es donde se muestran los valores que se obtuvieron en los pasos anteriores y son:

- Número de Defectos
- Número de Hoyos
- Numero de Levantamientos
- Coordenadas de cada uno de los defectos

En la figura 3.1.5.1 se observa una plantilla con todos los valores mencionados.



Número de defectos: 7
Número de hoyos: 3
COORDENADAS
Hoyo1
X: 361 Y: 167
Hoyo2
X: 369 Y: 299
Hoyo 3
X: 429 Y: 413
Número de levantamientos: 4
COORDENADAS
Levantamiento 1
X: 434, 11 Y: 167, 5
Levantamiento 2
X: 369 Y: 299
Levantamiento 3
X: 429 Y: 413
Levantamiento 4:
X: 386 Y: 496

Figura 3.1.5.1 Valores del análisis de la imagen

3.1.6 Configuración de Variables Compartidas

Los valores obtenidos después del análisis de la imagen se pasan a través de variables compartidas a la interfaz de LabVIEW. Para realizar esta opción primero se crea el proyecto de LabVIEW. En la figura 3.1.6.1 muestra el primer paso para crear la interfaz en LabVIEW.

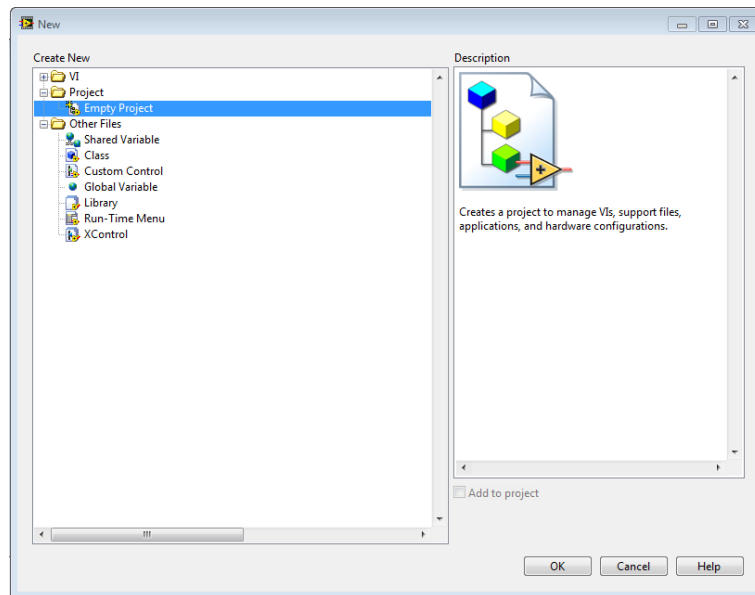


Figura 3.1.6.1 Creación de proyecto en LabVIEW

El siguiente paso es crear la variable compartida como se observa en la imagen 3.1.6.2.

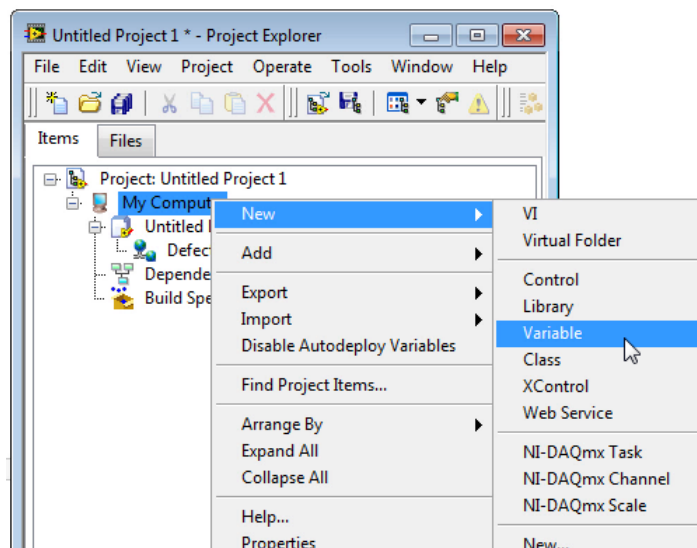


Figura 3.1.6.2 Creación de una variable compartida

Posteriormente se abrirá una ventana como la de la figura 3.1.6.3, donde se listan las propiedades de la variable compartida como:

- Nombre: Se le puede asignar cualquier nombre para identificarla
- Tipo de variable: Se escoge la opción variable de red para poder realizar con éxito la comunicación entre VBAI y LabVIEW
- Tipo de dato: Esto dependerá del tipo de dato que se desee enviar, en este caso se escogerá entero.

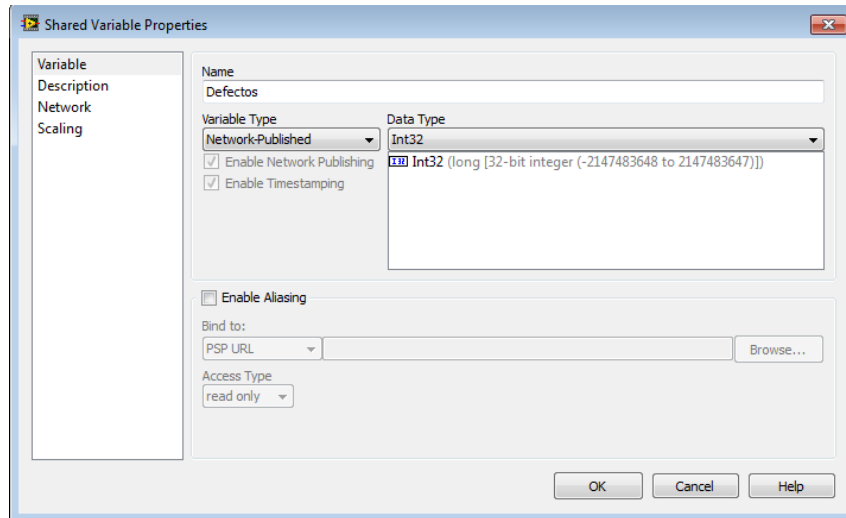


Figura 3.1.6.3 Propiedades de la variable compartida

En la figura 3.1.6.4 se observa la variable compartida creada.

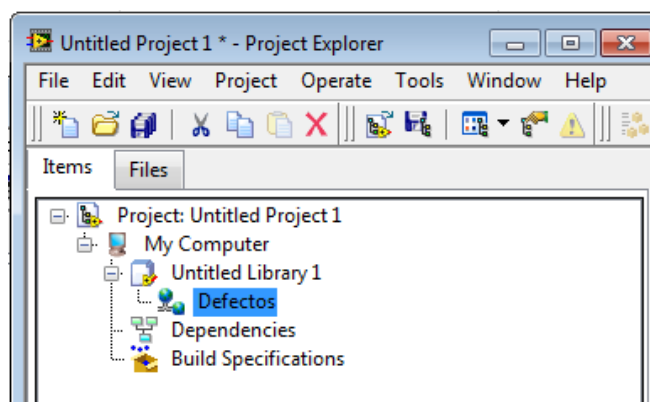


Figura 3.1.6.4 Variable compartida creada

Para continuar con la realización de la interfaz de LabVIEW se procede a crear un VI como se muestra en la figura 3.1.6.5.

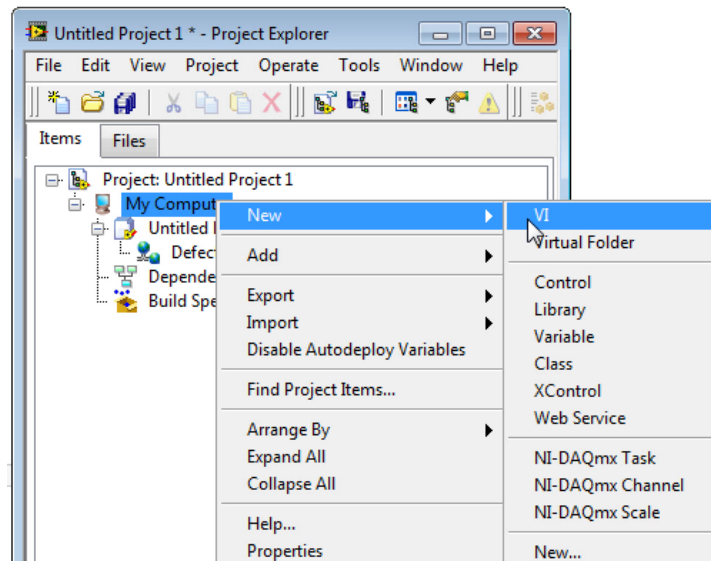


Figura 3.1.6.5. Creación de VI

Seguidamente como se muestra en la figura 3.1.6.6 se arrastra la variable al diagrama de bloques y se le asigna un indicador, se puede visualizar en el panel frontal.

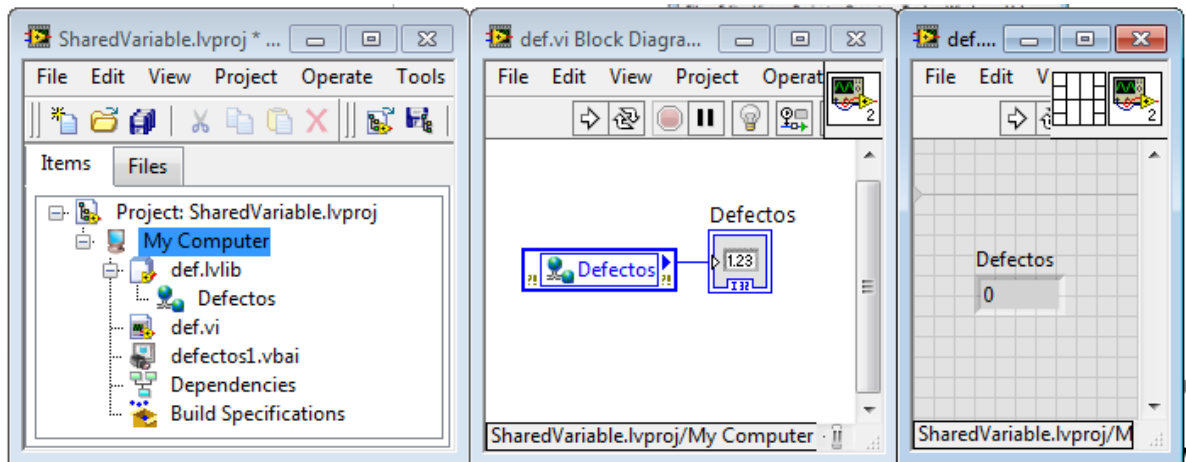


Figura 3.1.6.6 Asignación de un indicador a la variable compartida

En VBAI se usa la opción de Set Variable para poder compartir la variable, en la figura 3.1.6.7 se muestra la variable creada en la interfaz de LabVIEW-

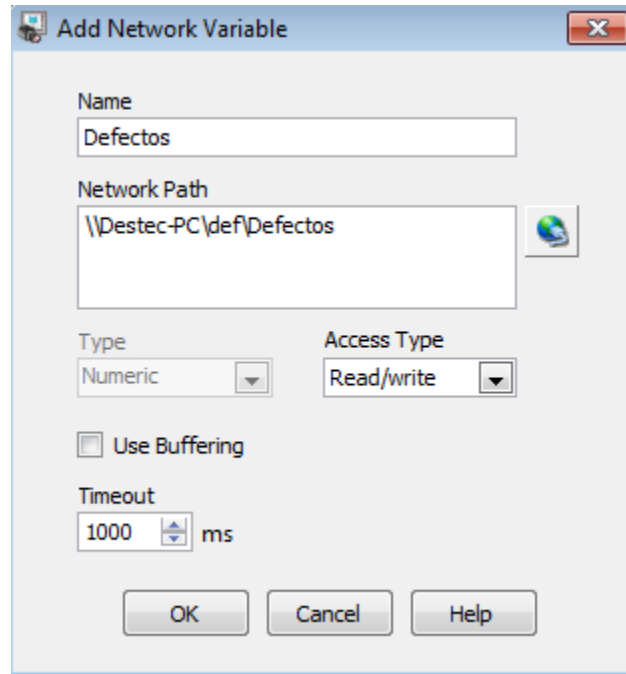


Figura 3.1.6.7 Variable compartida

Cuando se ha agregado la variable, el programa de VBAI muestra opciones que se le pueden aplicar, en este caso se le aplica la opción de “ajustar a la medida” para indicar el valor que debe de tomar.

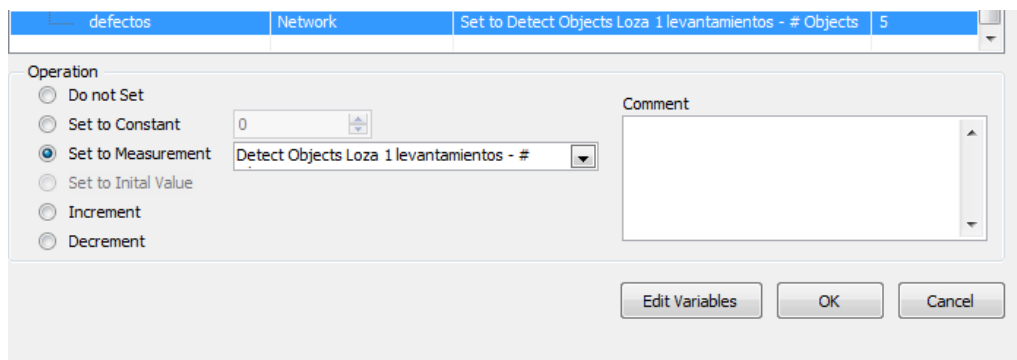


Figura 3.1.6.8 Asignación de un valor a la variable compartida

Una vez que se hayan realizado los pasos anteriores se podrá visualizar el resultado final como el de la figura 3.1.6.9.

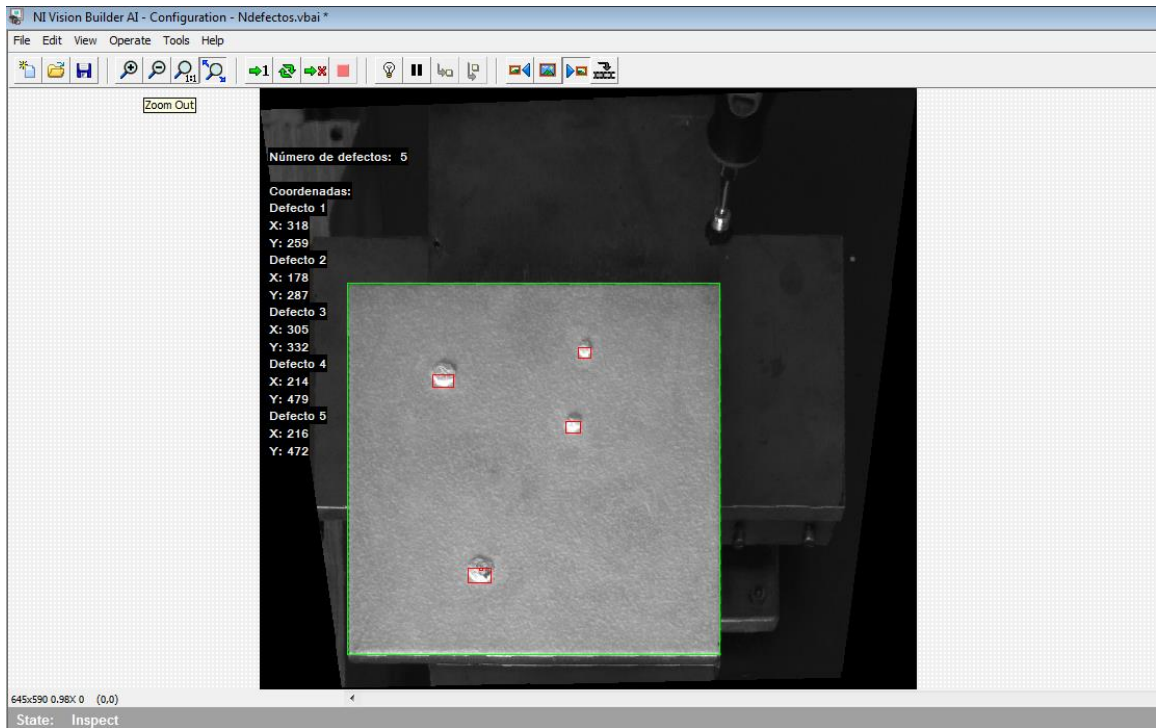


Figura 3.1.6.9 Inspección Completa de VBAI

3.2 LabVIEW

Una vez finalizado el programa en Vision Builder AI los valores del análisis se pasan a la interfaz de LabVIEW por medio de las variables compartidas como se mencionó anteriormente. A continuación se describirá la interfaz de LabVIEW.

En la figura 3.2.1 se observa parte de la interfaz de LabVIEW, donde se presentan los resultados obtenidos en VBAI. Se muestra el número de defectos, el número de levantamientos, el número de agujeros y las coordenadas de cada defecto.

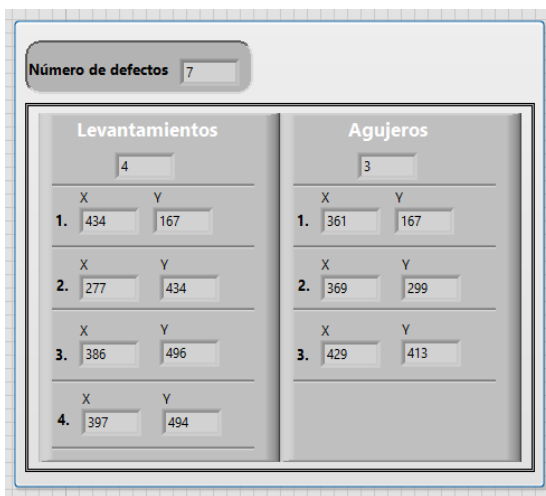


Figura 3.2.1 Defectos mostrados en LabVIEW

En la figura 3.2.2 se observa el control del PWM de los motores ubicados en los ejes XYZ.

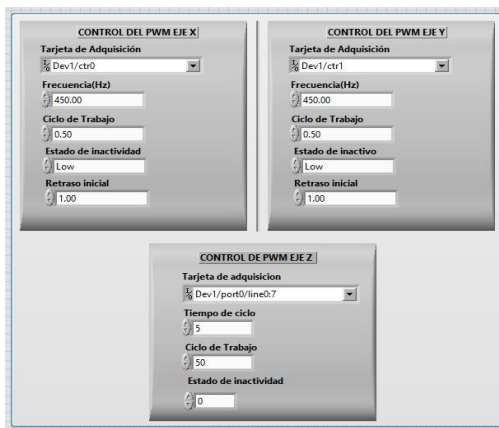


Figura 3.2.2 Control del PWM ejes XYZ

En el control de PWM se muestran las variables para configurar y son:

- Tarjeta de adquisición
- Frecuencia
- Ciclo de trabajo
- Estado inactivo
- Retraso inicial

En la figura 3.2.3 se observa que en la interfaz de LabVIEW se calcula el número de pasos que avanzara en los ejes XYZ para iniciar con el proceso de pulido

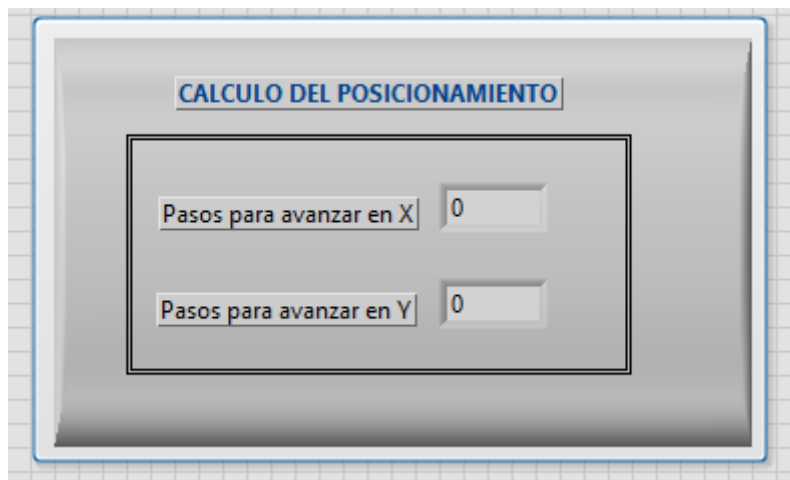


Figura 3.2.3 Cálculo del posicionamiento

CAPITULO 4. PRUEBAS Y RESULTADOS



4.1 PROCESO REALIZADO EN EL SISTEMA

En la figura 4.1 se presenta una visualización general del proceso que se realiza en la implementación del sistema.

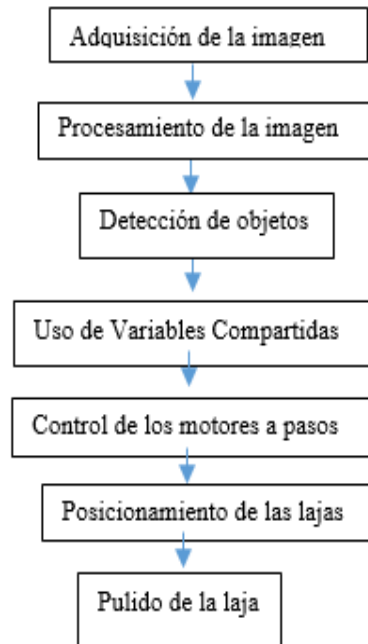


Figura 4.1 Proceso realizado en la implementación del sistema.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se describen los resultados de las losas. Se tomaron en cuenta un total de 14 losas las cuales 2 no tienen ningún defecto, 6 presentan levantamientos, 3 tienen agujeros y 3 contienen levantamientos y agujeros.

En cada prueba se presenta la imagen de la losa capturada para que sea analizada, los resultados obtenidos después del procesamiento y la imagen de la losa después del pulimento.

Losa 1

En la figura 4.2 se muestra una losa color blanco que contiene ambos defectos.

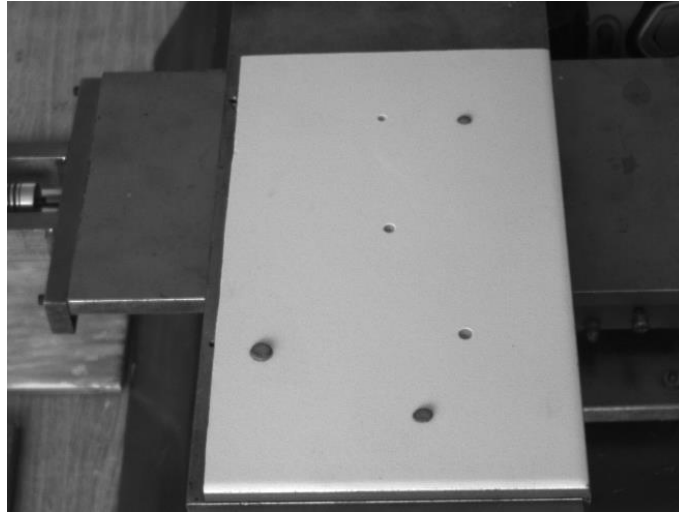


Figura 4.2 Losa 1

En la figura 4.3 se observa que el programa detecto ambos defectos, levantamientos y agujeros, además muestra las coordenadas de cada uno de ellos.



Figura 4.3 Defectos de la Losa 1

En la figura 4.4 se muestra la losa después de haber sido analizada y pulida.

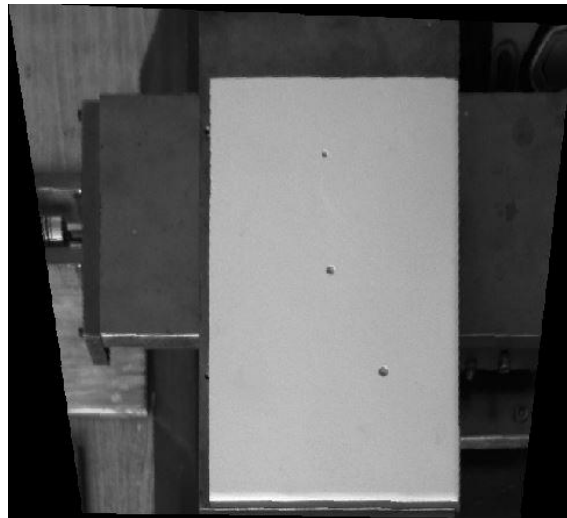


Figura 4.4 Losa Pulida

En la tabla 4.1 se observa que el programa hizo la detección de 4 levantamientos, siendo 3 los que se presentan en la losa. Este resultado no afecta, debido a que el cuarto defecto lo detectó encimado en otro y cuando sea el momento de pulir, la herramienta pulirá en el mismo lugar. También se observa que los agujeros los detectó con éxito.

Tabla 4.1 Características de la losa 1

Identificador	Losa 1
Tipo de losa	Levantamientos y Agujeros
Medida de la losa	14.7 x 24.9 cm
Numero de levantamientos detectados	4
Numero de levantamientos reales	3
Numero de agujeros detectados	3
Numero de agujeros reales	3
Observaciones	Se detectó un número mayor de levantamientos.

Losa 2

En la figura 4.5 se aprecia la losa 2 que ha sido capturada por la cámara.



Figura 4.5 Losa 2

En la figura 4.6 se observa que se detectó un agujero en la losa, claramente se aprecia que es un objeto oscuro.

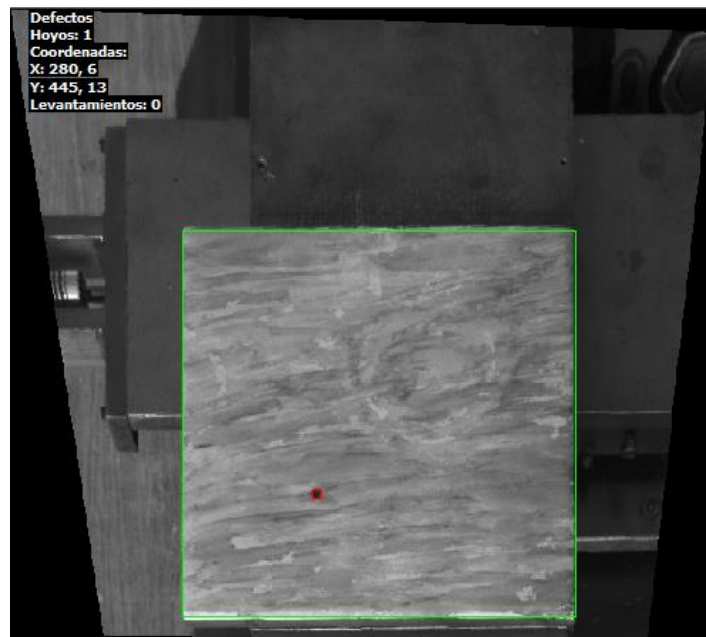


Figura 4.6 Defectos de la losa 2

En la tabla 4.2 se muestran las características de la losa 2, la cual mide 18.7 cm de ancho por 18.7 cm de alto. Esta losa no presenta ningún levantamiento y el resultado del análisis es bueno.

Tabla 4.2 Características de la losa 2

Identificador	Losa 2
Tipo de losa	Agujeros
Medida de la losa	18.7 x 18.7 cm
Numero de levantamientos detectados	0
Numero de levantamientos reales	0
Numero de agujeros detectados	1
Numero de agujeros reales	1
Observaciones	Se detectó con satisfacción el agujero presentado.

Losa 3

En la figura 4.7 se ve que la losa 3 presenta levantamientos y agujeros.



Figura 4.7 Losa 3

En la figura 4.8 se muestran los defectos marcados con bordes color rojo, además se puede apreciar la ROI de color verde. También se ven los resultados obtenidos.

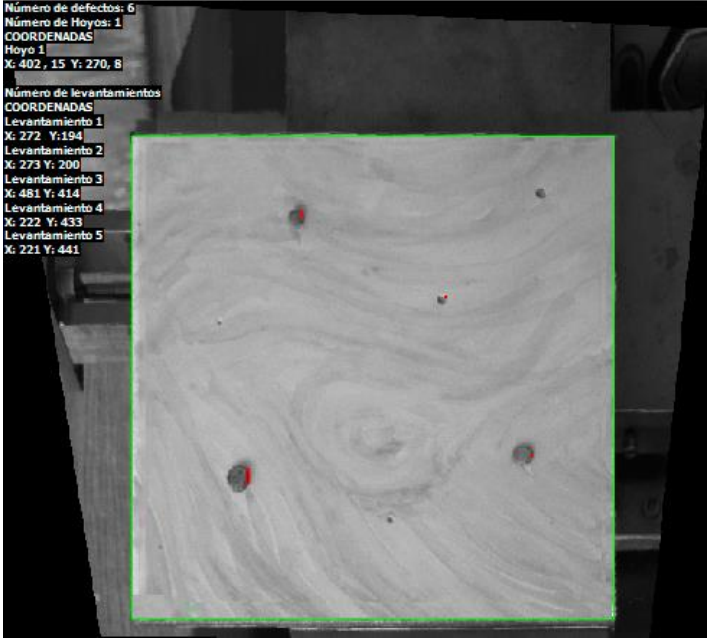


Figura 4.8 Defectos de la losa 3

En la figura 4.9 se aprecia una captura de la losa después de haber sido pulida.



Figura 4.9 Losa Pulida

En la tabla 4.3 se presenta una tabla de las características de la losa 3, donde describe que la losa presenta levantamientos y agujeros. En esta losa el programa no detecto todos los agujeros debido a que unos no se perciben claramente.

Tabla 4.3 Características de la losa 3

Identificador	Losa 3
Tipo de losa	Levantamientos y Agujeros
Medida de la losa	22.9 x 22.9 cm
Numero de levantamientos detectados	3
Numero de levantamientos reales	3
Numero de agujeros detectados	1
Numero de agujeros reales	4
Observaciones	La detección de agujeros no fue satisfactoria.

Losa 4

En la figura 4.10 se muestra la imagen capturada de la losa 4 para su análisis.

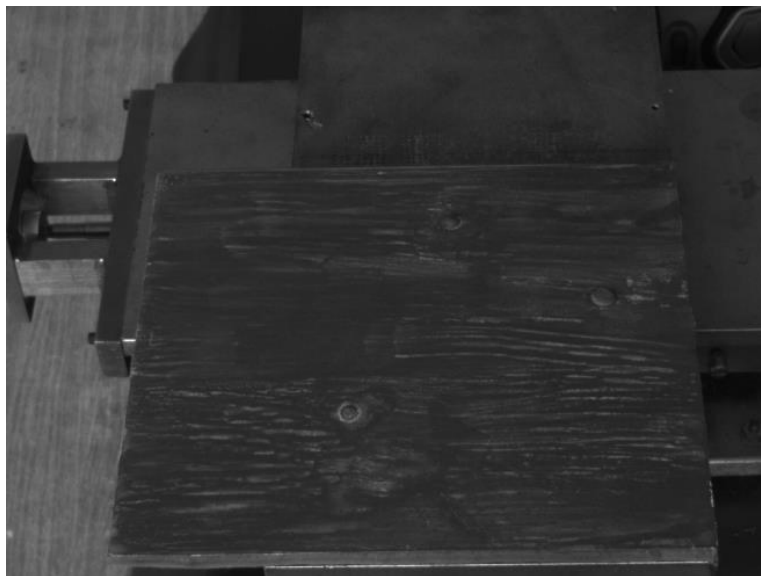


Figura 4.10 Losa 4

En la figura 4.11 se aprecian los defectos de la losa 4, se ve notoriamente que la losa es oscura, también se presenta el número de defectos y sus coordenadas

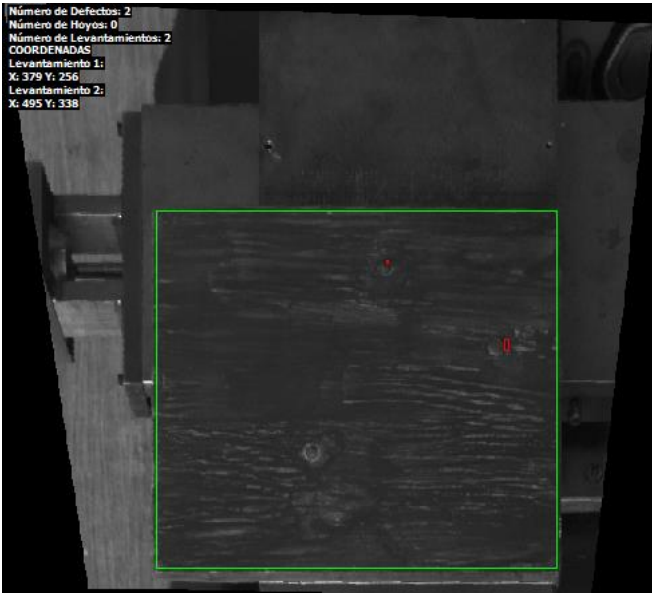


Figura 4.11 Defectos de la losa 4

En la figura 4.12 se muestra la losa después de haber sido pulida. Presenta un levantamiento debido a que este no fue detectado por el programa.

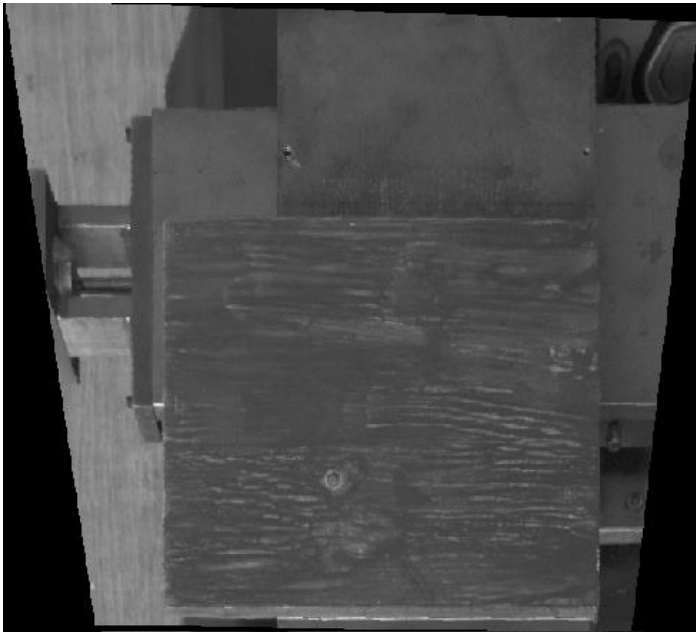


Figura 4.12 Losa Pulida

En la tabla 4.4 se observa que el programa tuvo dificultades para detectar un levantamiento, sin embargo detectó 2 levantamientos con éxito. La medidas de la losa son de 21 cm. de largo por 18.7 cm. de ancho

Tabla 4.4 Características de la losa 4

Identificador	Losa 4
Tipo de losa	Levantamientos
Medida de la losa	21 x 18.7 cm
Numero de levantamientos detectados	2
Numero de levantamientos reales	3
Numero de agujeros detectados	0
Numero de agujeros reales	0
Observaciones	La detección de levantamientos no fue satisfactoria.

Losa 5

En la figura 4.13 se observa la losa 5, se percibe que esta es de color oscuro, aún así se notan los defectos.

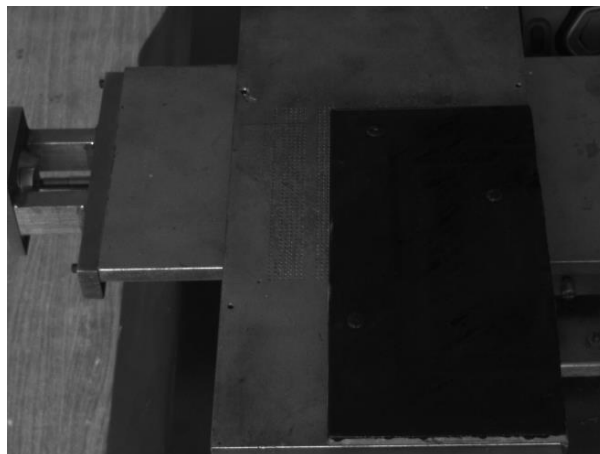


Figura 4.13 Losa 5

En la figura 4.14 se percibe que los defectos fueron localizados con éxito. El programa marca los levantamientos en la parte más iluminada, por lo que no marca todo el defecto completo, sin embargo esto no afecta al pulido de la losa.



Figura 4.14 Defectos Losa 5

En la figura 4.15 se observa la losa pulida quedando eliminados los defectos presentados en la captura.

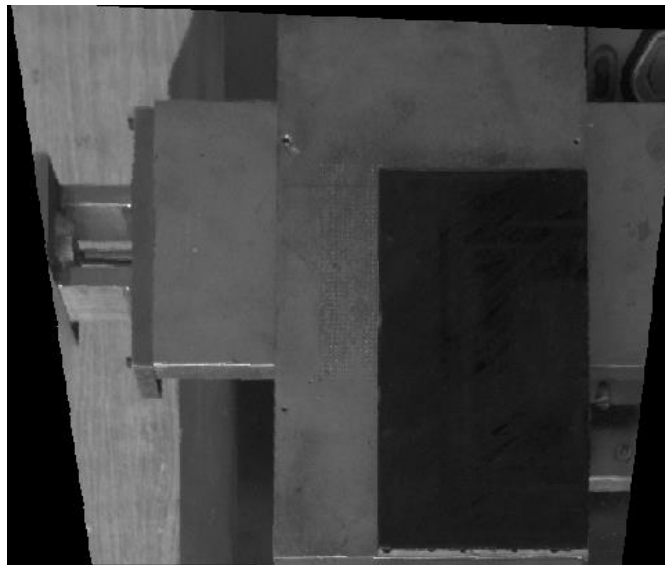


Figura 4.15 Losa Pulida

En la tabla 4.5 se muestran las características de la losa 5, sus medidas son 10.7 cm. por 20.4 cm., tiene 3 levantamientos y no presenta agujeros. En esta losa no hubo alguna dificultad.

Tabla 4.5 Características de la losa 5

Identificador	Losa 5
Tipo de losa	Levantamientos
Medida de la losa	10.4 x 20.4 cm
Numero de levantamientos detectados	3
Numero de levantamientos reales	3
Numero de agujeros detectados	0
Numero de agujeros reales	0
Observaciones	La detección de levantamientos fue satisfactoria.

Losa 6

En la figura 4.16 se presenta la losa 6, al igual que la losa 5 es oscura.

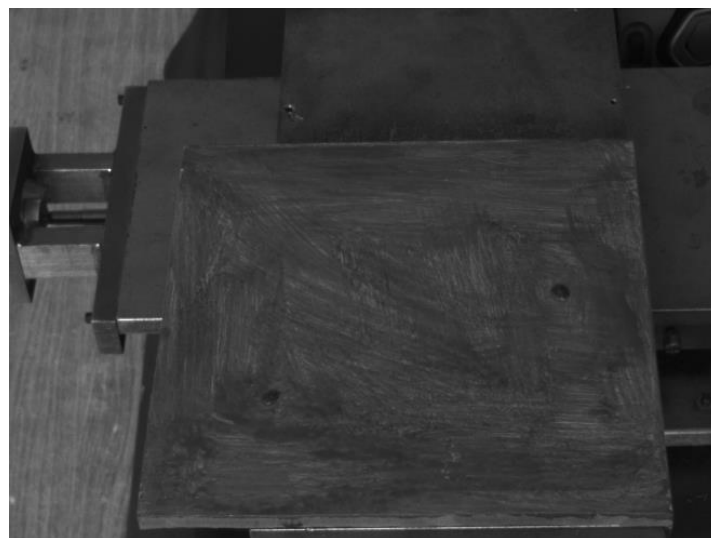


Figura 4.16 Losa 6

EN la figura 4.17 se presenta la imagen analizada, se perciben los defectos y la ROI. Se muestran los valores obtenidos de los levantamientos, ya que, no tiene agujeros.

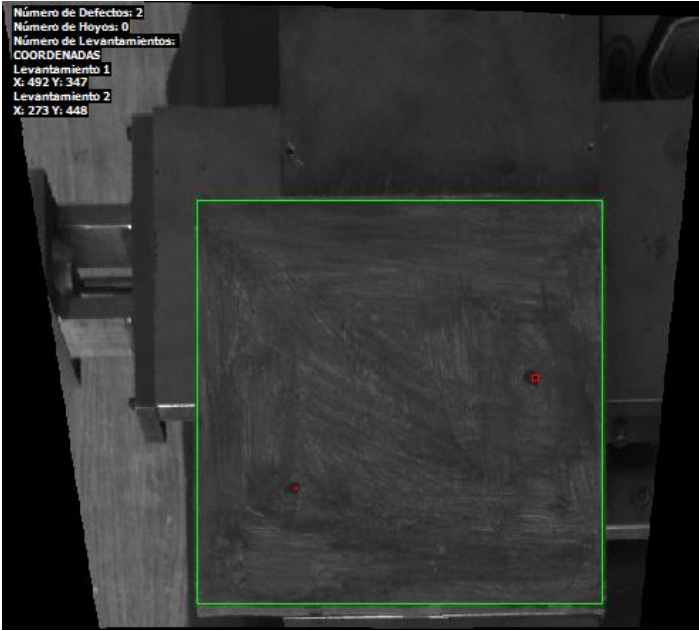


Figura 4.17 Defectos Losa 6

En la figura 4.18 se muestra la losa pulida.



Figura 4.18 Losa Pulida

En la tabla 4.6 se muestran las características de la losa, esta solo presenta levantamientos y sus medidas son 19.7 cm. por 19.5 cm., además tiene 2 levantamientos que fueron detectados con éxito.

Tabla 4.6 Características de la losa 6

Identificador	Losa 6
Tipo de losa	Levantamientos
Medida de la losa	19.7 x 19.5 cm
Numero de levantamientos detectados	2
Numero de levantamientos reales	2
Numero de agujeros detectados	0
Numero de agujeros reales	0
Observaciones	La detección de levantamientos fue satisfactoria.

Losa 7

En la figura 4.19 se presenta la losa 7, se nota que tiene levantamientos.

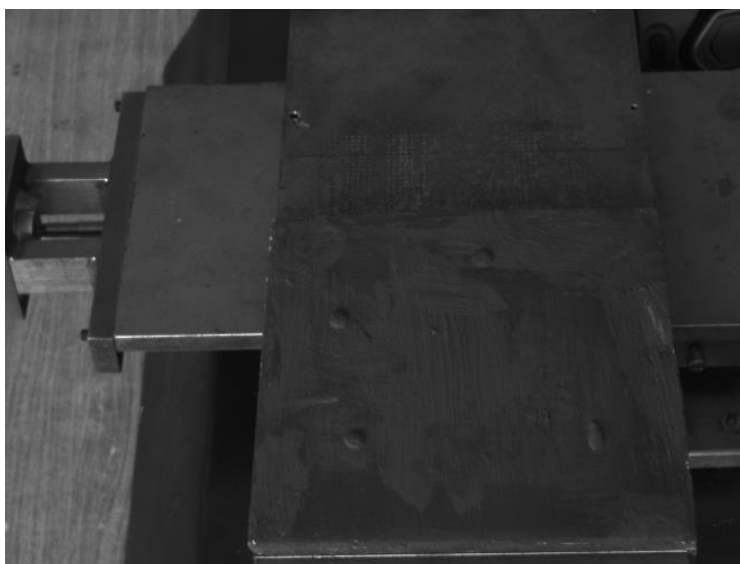


Figura 4.19 Losa 7

En la figura 4.20 se muestran los defectos de la losa, así como los valores obtenidos del programa (número de defectos y sus coordenadas).



Figura 4.20 Defectos Losa 7

En la figura 4.21 se muestra la losa sin defectos.

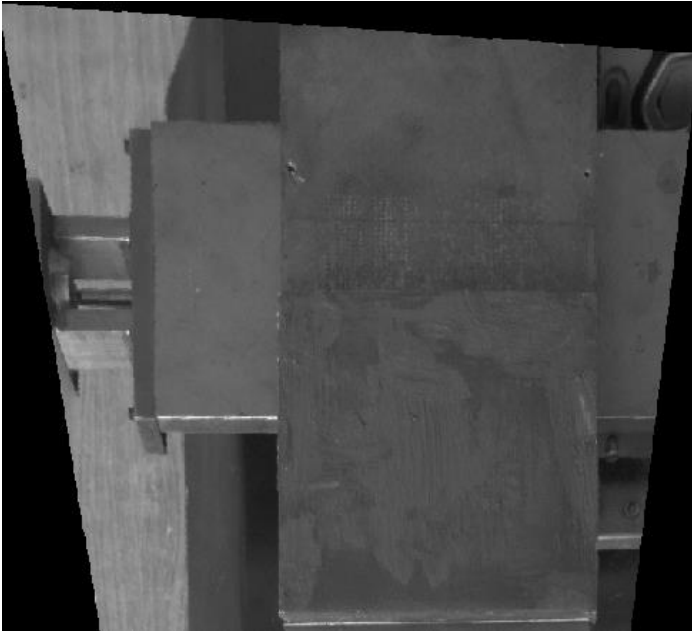


Figura 4.21 Losa Pulida

En la tabla 4.7 se presentan las características de la losa 7, cuyas medidas son 15.7 cm. por 15.8 cm. La losa tiene levantamientos, los levantamientos reales son 4, sin embargo el programa detectó 6, esto no afecta al proceso de pulido.

Tabla 4.7 Características de la losa 7

Identificador	Losa 7
Tipo de losa	Levantamientos
Medida de la losa	15.7 x 15.8 cm
Numero de levantamientos detectados	6
Numero de levantamientos reales	4
Numero de agujeros detectados	0
Numero de agujeros reales	0
Observaciones	La detección de levantamientos fue satisfactoria.

Losa 8

En la figura 4.22 se muestra la losa 8, claramente se observa que los defectos no se perciben con claridad.

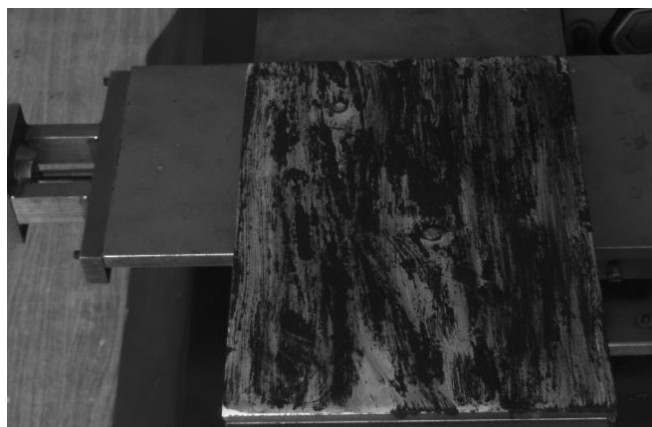


Figura 4.22 Losa 8

En la figura 4.23 se observa los valores obtenidos del análisis.

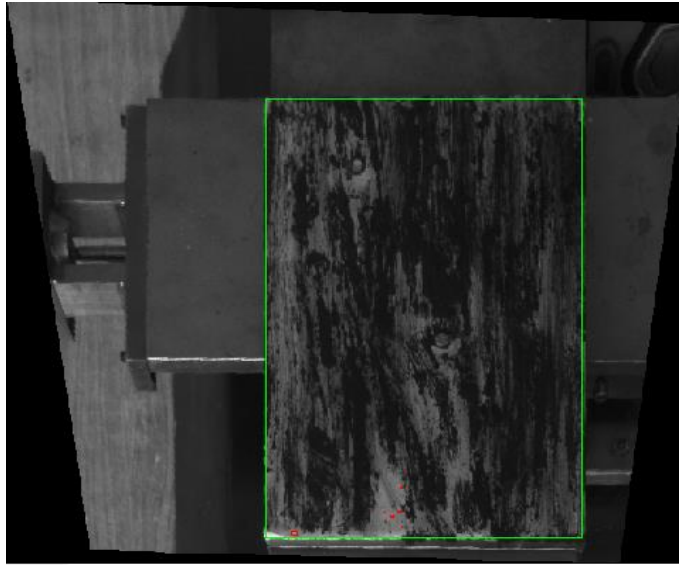


Figura 4.23 Defectos detectados

En la tabla 4.8 se muestran las características de la losa 8 cuyas medidas son 15.7 cm. por 24 cm. Los levantamientos presentados en la losa son 2, el programa detectó 7 debido a que el color de la losa hace que se detecten levantamientos de más.

Tabla 4.8 Características de la losa 8

Identificador	Losa 8
Tipo de losa	Levantamientos
Medida de la losa	15.7 x 24 cm
Numero de levantamientos detectados	7
Numero de levantamientos reales	2
Numero de agujeros detectados	0
Numero de agujeros reales	0
Observaciones	La detección de defectos no fue satisfactoria.

Losa 9

En la figura 4.24 se muestra la losa 9.

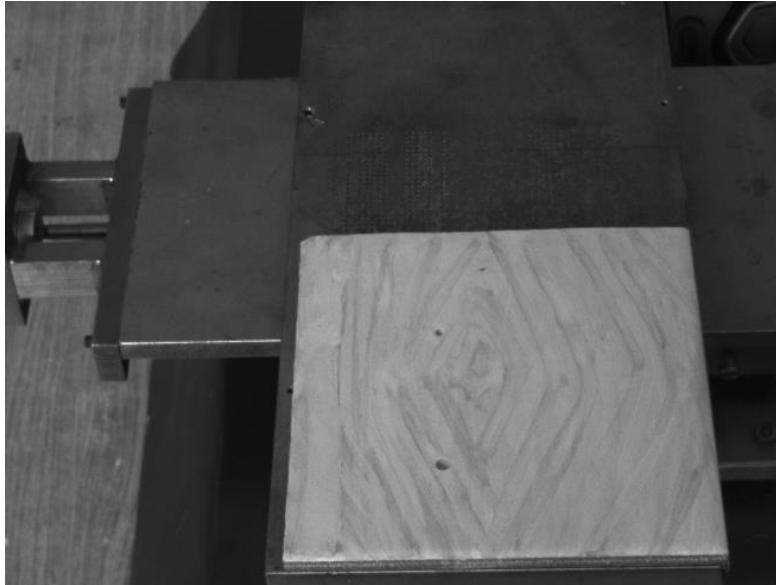


Figura 4.24 Losa 9

En la figura 4.25 se observa que el programa detectó todos los defectos presentados en la losa. Se muestran la cantidad de los defectos y sus coordenadas.

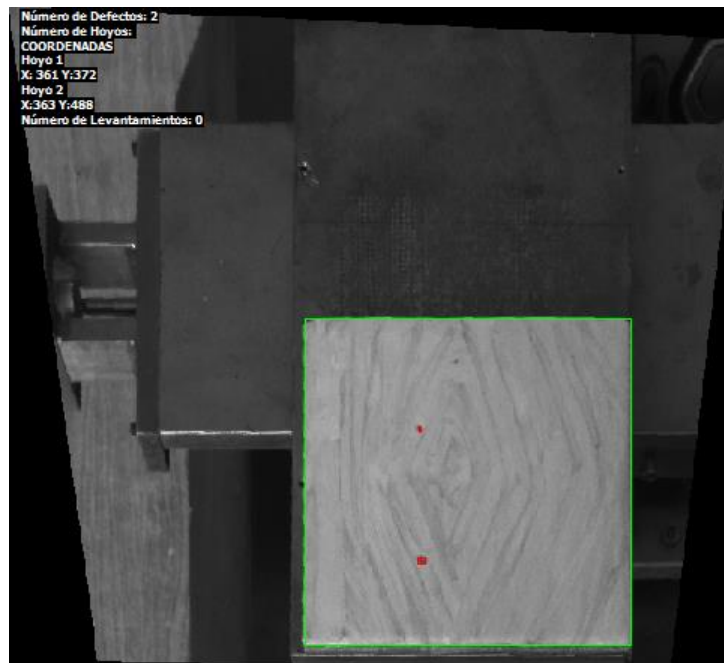


Figura 4.25 Defectos losa 9

En la tabla 4.9 se muestran las características de la losa 9. Esta losa presenta agujeros y para el programa fue fácil detectarlos con éxito. Esta prueba fue una de las mejores ya que no tuvo alguna dificultad.

Tabla 4.9 Características de la losa 9

Identificador	Losa 9
Tipo de losa	Agujeros
Medida de la losa	15 x 14.9 cm
Numero de levantamientos detectados	0
Numero de levantamientos reales	0
Numero de agujeros detectados	2
Numero de agujeros reales	2
Observaciones	La detección de agujeros fue satisfactoria.

Losa 10

En la figura 4.26 se muestra la losa 10, donde se aprecian notoriamente los defectos.

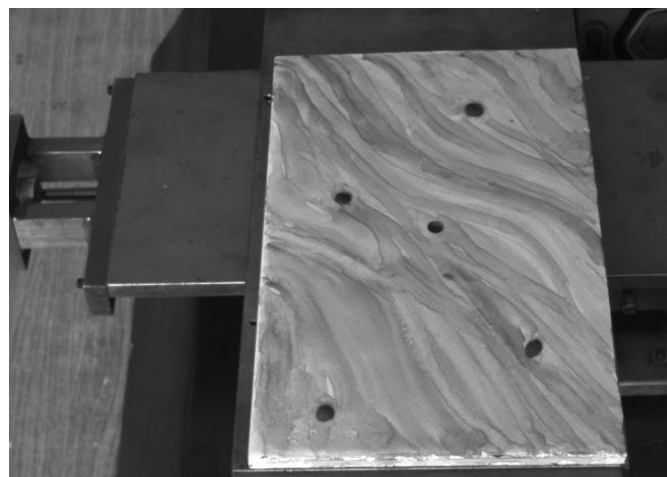


Figura 4.26 Losa 10

En la figura 2.27 se muestran los defectos localizados así como las coordenadas de cada uno de ellos.

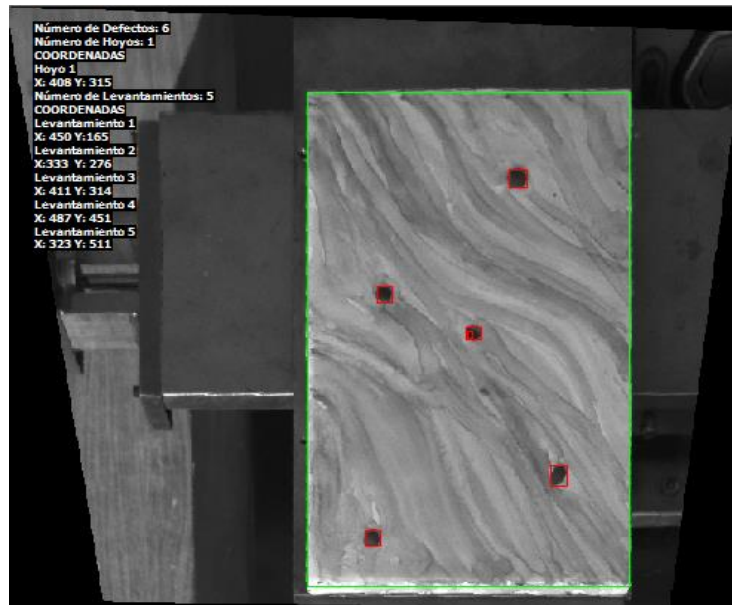


Figura 1.27 Defectos Losa 9

En la figura 4.28 se observa la losa pulida.

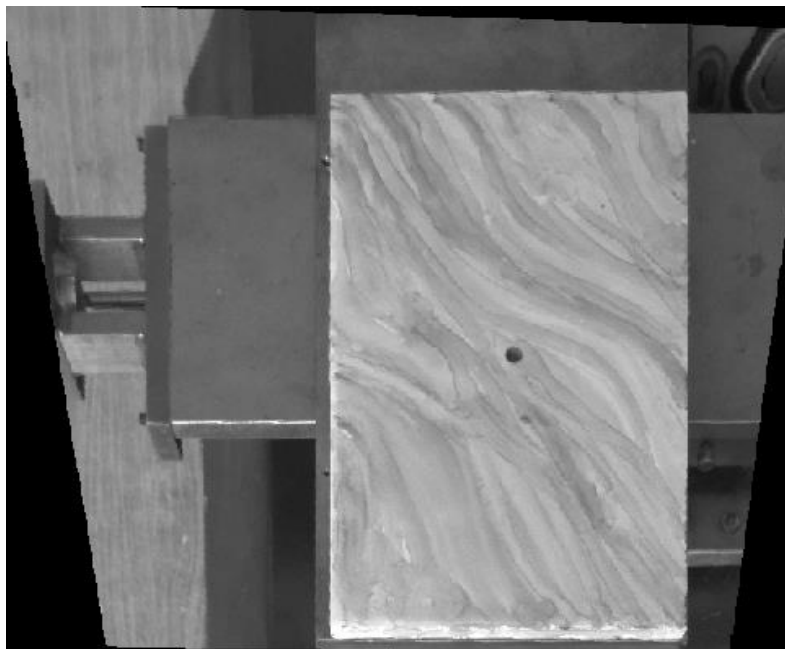


Figura 4.28 Losa Pulida

En la tabla 4.10 se encuentran los resultados del análisis de la losa, su medidas son 14.8cm por 24.8 cm. El número de levantamientos reales son 4 pero el programa detecto 5, esto no afecta ya que es un defecto encima de otro. La detección de agujeros fue exitosa.

Tabla 4.10 Características de la losa 10

Identificador	Losa 10
Tipo de losa	Levantamientos y Agujeros
Medida de la losa	14.8 x 24.8 cm
Numero de levantamientos detectados	5
Numero de levantamientos reales	4
Numero de agujeros detectados	1
Numero de agujeros reales	1
Observaciones	La detección de agujeros y levantamientos fue satisfactoria.

Losa 11

En la figura 4.29 se muestra la losa 11, donde se aprecian con claridad los defectos, en este caso son agujeros.

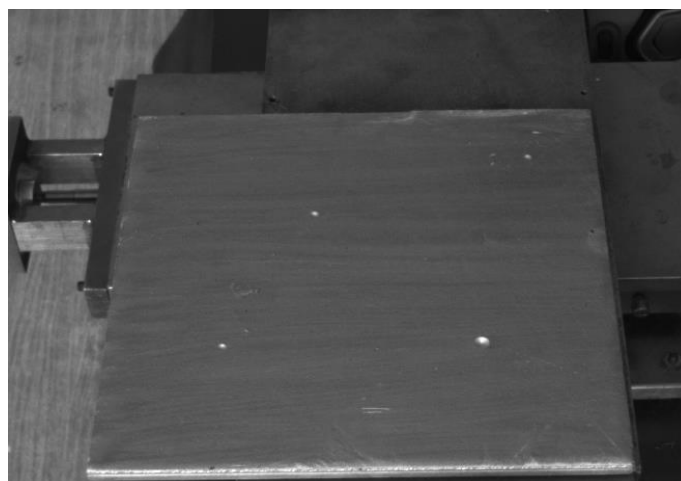


Figura 4.29 Losa 11

En la figura 4.30 se observa la imagen analizada, donde detecta todos los defectos presentados.

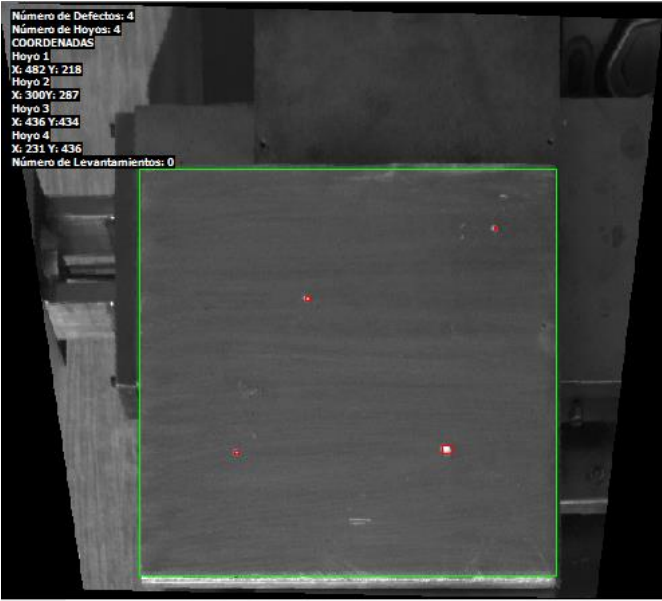


Figura 4.30 Defectos de la losa 11

En la tabla 4.11 se presentan los resultados obtenidos en el análisis de la losa. Sus medidas son de 21 cm. por 21 cm. Se detectaron 4 agujeros sin ningún problema.

Tabla 4.11 Características de la losa 11

Identificador	Losas 11
Tipo de losa	Agujeros
Medida de la losa	21 x 21 cm
Numero de levantamientos detectados	0
Numero de levantamientos reales	0
Numero de agujeros detectados	4
Numero de agujeros reales	4
Observaciones	La detección de agujeros fue satisfactoria.

Losa 12

En la figura 4.31 se muestra la losa 12, donde se aprecia que tiene solo levantamientos.

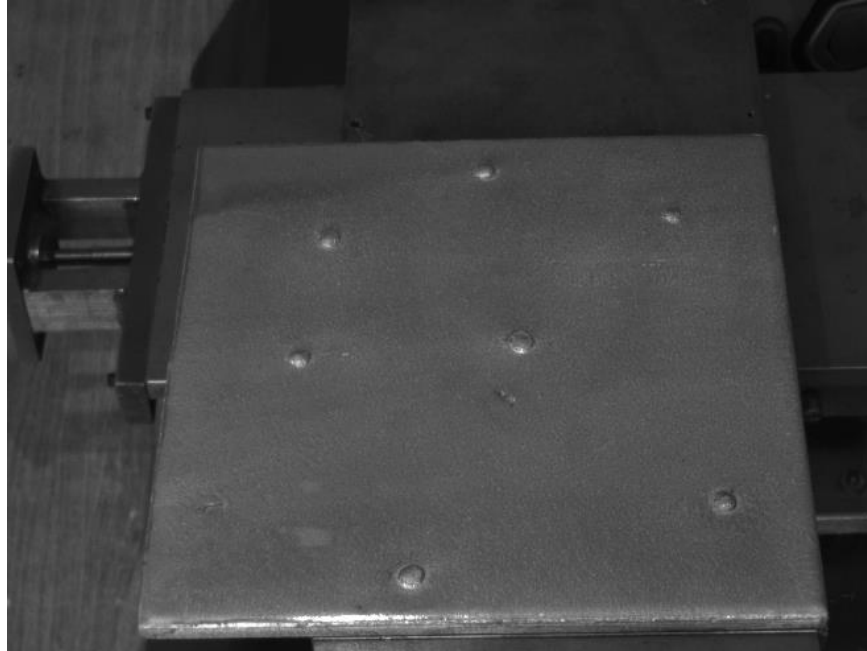


Figura 4.31 Losa 12

En la figura 4.32 se muestra la losa 12 cuando ya ha sido analizada, es la que más levantamientos presenta.

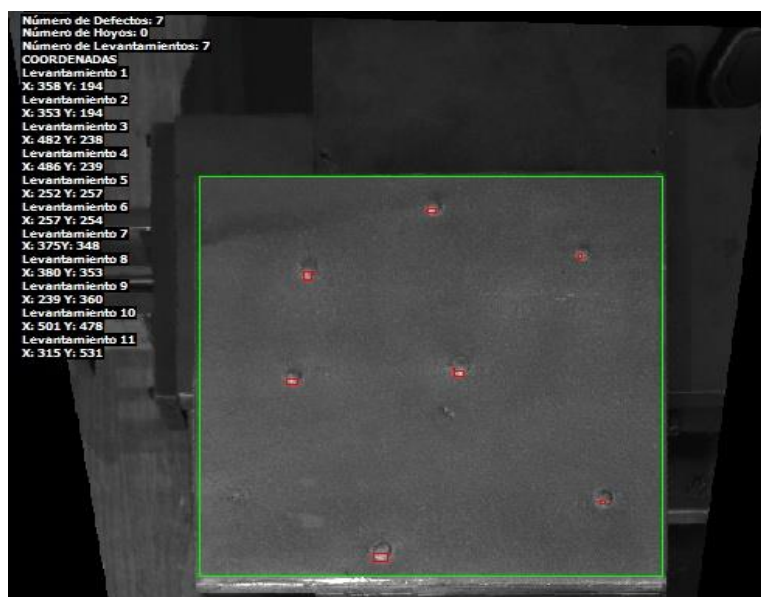


Figura 4.32 Defectos de la losa 12

En la figura 4.33 se aprecia la losa 12 pulida.

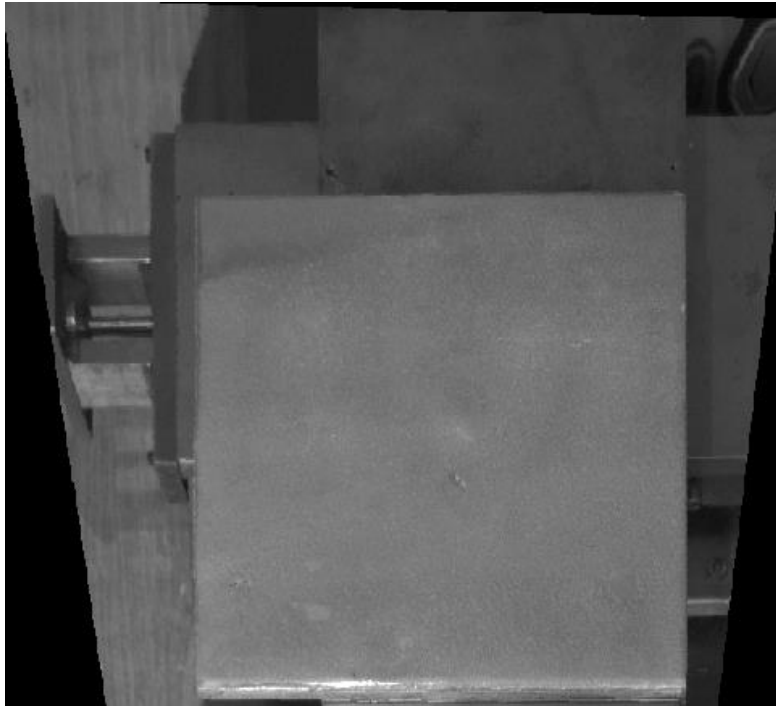


Figura 4.33 Losa Pulida

En la tabla 4.12 se muestra las características de la losa 12, donde muestra que detecto 11 defectos cuando solo hay 7, sin embargo como en las losas anteriores esto no afectó al proceso de pulido.

Tabla 4.12 Características de la losa 12

Identificador	Losa 12
Tipo de losa	Levantamientos
Medida de la losa	20.7 x 20.7 cm
Numero de levantamientos detectados	11
Numero de levantamientos reales	7
Numero de agujeros detectados	0
Numero de agujeros reales	0
Observaciones	La detección de levantamientos fue satisfactoria.

Losa 13

En la figura 4.34 se presenta la imagen de la losa 13, donde se aprecia que no tiene ningún defecto.



Figura 4.34 Losa 13

En la figura 4.35 se presenta el análisis de la losa 13 y la ROI marcada.



Figura 4.35 Defectos de la losa 13

En la tabla 4.13 se muestran las características de la losa. Sus medidas son 14 cm. por 22 cm. La losa no presenta ningún defecto, el programa no detecto ninguno, quiere decir que los resultados fueron satisfactorios.

Tabla 4.13 Características de la losa 13

Identificador	Losa 13
Tipo de losa	Levantamientos
Medida de la losa	14 x 22 cm
Numero de levantamientos detectados	0
Numero de levantamientos reales	0
Numero de agujeros detectados	0
Numero de agujeros reales	0
Observaciones	La detección de defectos fue satisfactoria.

Losa 14

En la figura 4.36 se observa la losa 14 sin defectos.

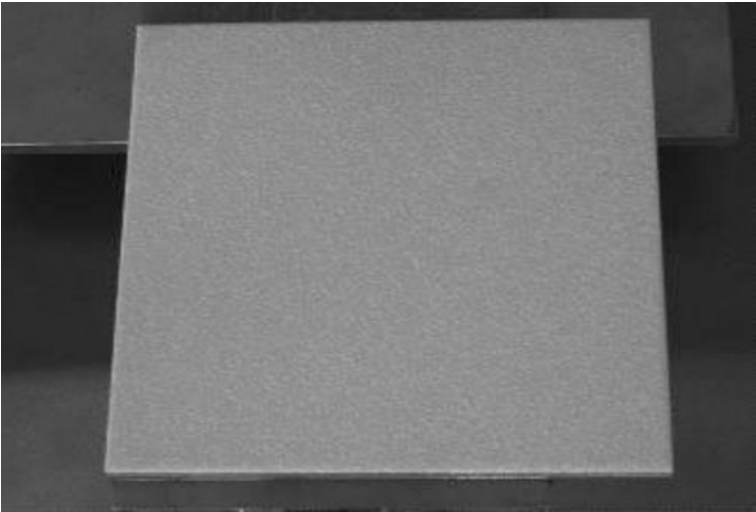


Figura 4.36 Losa 14

En la tabla 4.14 se observan las características de la losa 14, sus medidas son 19.6 cm por 19.6 cm. No presenta ningún defecto y el programa analizo la losa con éxito.

Tabla 4.14 Características de la losa 14

Identificador	Losa 14
Tipo de losa	Levantamientos
Medida de la losa	19.6 x 19.6 cm
Numero de levantamientos detectados	0
Numero de levantamientos reales	0
Numero de agujeros detectados	0
Numero de agujeros reales	0
Observaciones	La detección de defectos fue satisfactoria.

En la siguiente tabla se muestra el número de levantamientos y los agujeros reales por cada losa, así como la interpretación de la detección de defectos, es decir B si fue buena o R y si fue regular.

Tabla 4.15 Interpretación de resultados

Numero de Losa	Numero de Levantamientos	Numero de Agujeros	Detección de Defectos	
			Levantamientos	Agujeros
Losa 1	4	3	B	B
Losa 2	0	1	B	B
Losa 3	3	4	B	R
Losa 4	3	0	R	B
Losa 5	3	0	B	B
Losa 6	2	0	B	B
Losa 7	4	0	B	B
Losa 8	2	0	R	R
Losa 9	0	2	B	B
Losa 10	4	1	B	B
Losa 11	0	4	B	B
Losa 12	7	0	B	B
Losa 13	0	0	B	B
Losa 14	0	0	B	B

CONCLUSIONES

En el desarrollo de las pruebas y resultados se observa que la detección de los defectos se determina por características propias de la imagen. Un hoyo es un objeto oscuro y una rugosidad o levantamiento es un objeto claro o brillante. En algunas pruebas se obtuvo un número mayor de defectos con sus respectivas coordenadas. El número de defectos observados sobre la losa era menor, más sin embargo, algunos defectos estaban encimados con las mismas coordenadas, lo cual no afecta al proceso de pulimento.

Se concluye que las técnicas utilizadas en este proceso son buenas para detectar este tipo de defectos, debido a que la mayoría de ellos fueron reconocidos, y pulidos con éxito. De las 14 losas analizadas, 3 no dieron los resultados esperados debido a condiciones propias de la losa como el color o el tamaño de los defectos de cada una. Por otro lado 11 losas no tuvieron alguna dificultad durante el proceso de análisis. Tomando en cuenta que todas las losas son diferentes en cuanto a tamaño, color, textura, cantidad y tipo de defectos.

Los objetivos establecidos se lograron, ya que se realizaron los sistemas de servo-visión y de control para el manejo de los motores.

En cuanto a la transferencia tecnológica, se logró emular la automatización del pulimento de mármol. Los métodos utilizados de visión pueden aplicarse directamente a las tecnologías usadas en la industria del mármol. Es un método que no provoca daños a la salud del operador ya que éste puede estar a distancia considerable para evitar la inhalación del polvo provocado por la polvareda del proceso de pulir.

BIBLIOGRAFÍA

- Ainia. (2014). *Ainia*. Recuperado el 22 de Abril de 2015, de http://ws71.ainia.es/QuickPlace/tecno/PageLibraryC125709F003B0B05.nsf/h_Index/F29E2605CE98B671C125709F003C1A49/?OpenDocument
- Blanco Alvarez, F. (2005). *Universidad de Oviedo*. Recuperado el 28 de Abril de 2015, de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion3.RocasOrnamentales.Elaboracion.GRANITOyMARMOL.6.4.pdf>
- Chauchan, P. S. (2010). Tecnicas inoovadoras para el reconocimiento de caracteres. *Revista internacional de investigación avanzada en ciencias de la computación* , 1 (3).
- Coruña, U. (2012). *SABIA*. Recuperado el Mayo de 2015, de <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/3D/VisionArtificial/aplicaciones.html>
- Cuenca, F. (2007). *Instituto Balseiro*. Recuperado el Mayo de 2015, de <http://www.ib.cnea.gov.ar/nmayer/monografias/pre2008/pasoapaso.pdf>
- economía, S. d. (Marzo de 2012). *Secretaría de economía*. Recuperado el Abril de 2015, de http://www.2006-2012.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/informacion_sectorial/mineria/CadenaProductivadelMarmol.pdf
- Fisher, R., Perkins, A., & Wolfart, E. (2003). *hipr2*. Recuperado el 2015, de <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/threshld.htm>
- González, A., Martínez, F. J., Pernía, A. V., Alba, F., Castejón, M., Ordieres, J., y otros. (2006). *Universidad de la Rioja*. Recuperado el Mayo de 2015, de <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/VisionArtificial.pdf>
- Hernández, I., & Ochoa, C. (2004). *UDLAP Bibliotecas*. Recuperado el Mayo de 2015, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_b_ii/capitulo3.pdf
- Instruments, N. (2015). *National Instruments*. Recuperado el 2015, de <http://www.ni.com/labview/esa/>

Instruments, N. (2015). *National Instruments*. Recuperado el Mayo de 2015, de <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/204084>

Instruments, N. (2015). *National Instruments*. Recuperado el 2 de Junio de 2015, de <http://www.ni.com/tutorial/2991/en/>

Instruments, N. (2015). National Instruments. *Counter Output Frequency* .

Kapitel, M. (2012). *Marmoles Kapitel*. Recuperado el 16 de Mayo de 2015

Luna Correa, J. E. (s.f.). *Enciclopedia Virtual*. Recuperado el Mayo de 2015, de <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2013/jelc/competitividad-empresarial.html>

Maravall, D. Calibración. En *Reconocimientos de formas y visión artificial*. RA-MA.

Mecanico, J. (2013). *Slideshare*. Recuperado el Mayo de 2015, de <http://es.slideshare.net/josemecanico/programacion-control-numerico-por-computadora>

National Instruments. (2014). Recuperado el 16 de Mayo de 2015, de https://www.ni.com/academic/why_labview/esa/

National Instruments. (2015). Recuperado el 18 de Mayo de 2015, de <http://www.ni.com/vision/software/vbai/>

National Instuments. (2015). Recuperado el 25 de Mayo de 2015, de http://www.ni.com/pdf/products/us/cat_basler_ieee1394.pdf

Personed, C. (2014). *Catalogue Personed*. Recuperado el 22 de Junio de 2015, de <http://catalogue.pearsoned.co.uk/samplechapter/0130474150.pdf>

Porras, F., & Cid, J. (2002). *Proton*. Recuperado el Mayo de 2015, de <http://proton.ucting.udg.mx/somi/memorias/electron/Ele-23.pdf>

Quilmes, U. N. (2005). *Universidad Nacional de Quilmes*. Recuperado el 12 de Junio de 2015, de <http://iaci.unq.edu.ar/Materias/vision/archivos/apuntes/Aspectos%20de%20un%20Proyecto%20de%20Visi%C3%B3n%20Artificial.pdf>

Stone, C. (2010). *Coavantia Stone*. Recuperado el 14 de Abril de 2015, de <http://www.coavantiastone.com/elaboracion-tablas.php?idseccion=825>

Todo Robot. (2015). Recuperado el 15 de Junio de 2015, de <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>

Velasco Peña, H. F. (2007). *Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el Mayo de 2015, de <http://www.docentes.unal.edu.co/hfvelascop/docs/CLASES/DIGITALES2/LABORATORIO/Motor%20Paso%20a%20Paso.pdf>

