

“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA VARIABLE GRADO DE TOSTIÓN DEL CAFÉ TOSTADO MOLIDO, EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL”



**LINA MARÍA RINCÓN SOTELO
LILIANA MARÍA CANO PINEDA**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
BOGOTÁ D. C.,
2010**

“DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE LABORATORIO PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA VARIABLE GRADO DE TOSTIÓN DEL CAFÉ TOSTADO MOLIDO, EMPLEANDO VISIÓN ARTIFICIAL”



LINA MARÍA RINCÓN SOTELO

LILIANA MARÍA CANO PINEDA

**Informe final de trabajo de grado presentado
para optar al título de Ingeniero Industrial**

Director

ING. MARTHA MANRIQUE

Depto. de Industrial

Co-Director

ING. CARLOS ALBERTO PARRA

Depto. de Electrónica

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ D. C.,

2010

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	7
1. OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3. JUSTIFICACIÓN.....	13
4. MARCO TEÓRICO.....	15
4.1 PROCESO DE TOSTACIÓN	15
4.2 QUÍMICA ELEMENTAL DEL TOSTADO	18
4.3 CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO	20
4.4 DEFECTOS	21
4.5 PRÁCTICAS DE TOSTADO	23
4.6 TECNOLOGÍAS DE TOSTADO	24
4.7 PUNTOS Y MECANISMOS DE CONTROL	25
4.8 VISIÓN HUMANA	25
4.9 VISIÓN ARTIFICIAL	26
4.10 COLOR.....	30
4.11 LABVIEW	38
5 METODOLOGÍA	42
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE CONTROL DE CALIDAD (QC).....	42
5.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	43
5.3 CONDICIONES	48
5.4 MODELOS DE COLOR	58
5.5 TAMAÑO DE LA MUESTRA	59
GENERACIÓN DEL ALGORITMO BÁSICO	62
5.6 PASOS PARA DESARROLLAR EL EJECUTABLE NI VISIÓN	68
5.7 DESARROLLO DEL EJECUTABLE NI VISIÓN.....	72
6. PRUEBAS, RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES	76
6.1 PRUEBA DE REPETIBILIDAD	76
6.2 PRUEBAS DE PRECISIÓN	77

6.3	PRUEBAS DE ESTABILIDAD	79
6.4	PRUEBAS DE REPRODUCIBILIDAD	82
7.	CICLO DE VIDA E IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE DE PRODUCTO	89
8.	ANÁLISIS DE COSTOS	90
9.	CONCLUSIONES	94
10.	RECOMENDACIONES	95
	BIBLIOGRAFÍA	97
	GLOSARIO	101
	ABREVIATURAS	103
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

TABLA 1	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ACTUALES MÉTODOS PARA MEDIR LA CALIDAD DE LA TOSTIÓN	11
TABLA 2	NIVELES DE TOSTADO	21
TABLA 3	PRINCIPALES DEFECTOS DEL TOSTADO	22
TABLA 4.	CANTIDAD DE LUZ DURANTE VARIOS DÍAS SOBRE LA PLATAFORMA	49
TABLA 5.	LUZ SISTEMA Y AMBIENTE	50
TABLA 6.	LUZ SISTEMA DEFINITIVO	52
TABLA 7	HORAS DEL DÍA EN QUE LA MUESTRA FUE FOTOGRAFIADA	76
TABLA 8	HORAS DEL DÍA EN QUE LA MUESTRA FUE MEDIDA	77
TABLA 9	DATOS RESUMIDOS DE LA PRUEBA DE PRECISIÓN	78
TABLA 10	PORCENTAJES DE ERROR	79
TABLA 11	TIEMPOS DE ARRANQUE DEL SISTEMA	79
TABLA 12	RESULTADOS DEL ARRANQUE DEL SISTEMA EN 30 INTENTOS	80
TABLA 13	TIEMPOS DE MEDICIÓN DEL SISTEMA	81
TABLA 14	TIEMPO DE MEDICIÓN DEL SISTEMA POR IMAGEN	81
TABLA 15	VALORES DE LAS MEDICIONES DE LAS MUESTRAS UBICADAS POR TRES OPERARIOS DIFERENTES	83
TABLA 16	GASTOS POR MATERIALES GASTADOS EN EL PROYECTO	90
TABLA 17	COSTOS SISTEMA DE ILUMINACIÓN	90
TABLA 18	GASTOS POR PERSONAL VINCULADO AL PROYECTO	91
TABLA 19	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROTOTIPO	92

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	PROCESO DE TOSTIÓN	15
FIGURA 2	CURVA DE TOSTIÓN	17

FIGURA 3 PROCESOS QUÍMICOS DEL TOSTADO.....	20
FIGURA 4 CAPTURA DIGITAL.....	28
FIGURA 5 FASE DE ANÁLISIS DE IMÁGENES.....	30
FIGURA 6 COLORES PRIMARIOS (RGB) Y COLORES PRIMARIOS DE PIGMENTACIÓN (MCY)	31
FIGURA 7 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LOS ILUMINANTES PATRÓN.....	33
FIGURA 8 REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LOS COLORES.....	35
FIGURA 9 PRINCIPIO PARA MEDICIÓN DEL GRADO DE TOSTACIÓN DEL CAFÉ POR INFRAROJO.....	36
FIGURA 10 COLORÍMETRO QUANTIK.....	37
FIGURA 11 COLORÍMETRO E20-CP ANALIZAR.....	37
FIGURA 12 COLORÍMETRO NEUHAUS.....	38
FIGURA 13 COLORÍMETRO HUNTER LAB.....	38
FIGURA 14 PANEL FRONTAL E ICONO DE LABVIEW.....	39
FIGURA 15 DIAGRAMA DE BLOQUES LABVIEW.....	39
FIGURA 16 PALETA DE CONTROLES.....	40
FIGURA 17 FUNCIONES UTILIZADAS DEL MÓDULO DE <i>NI VISION DEVELOPMENT</i>	40
FIGURA 18 SECUENCIA DE PASOS PARA TRATAR LA IMAGEN.....	41
FIGURA 19 ESTACIÓN DE CALIDAD QC.....	42
FIGURA 20 ESQUEMA DEL PROCESO DEL PROTOTIPO.....	43
FIGURA 21 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS CÁMARA EN GABDEMO.....	47
FIGURA 22 UBICACIÓN DE LA MUESTRA, FOCO DE LA CÁMARA Y ROI.....	47
FIGURA 23. ILUMINACIÓN AXIAL DIFUSA.....	48
FIGURA 24. AMBIENTE CONTROLADO.....	50
FIGURA 25. FOTO DE # 45 CARTA AGTRON CON BRILLOS.....	51
FIGURA 26. SISTEMA CON FILTROS DE PAPEL.....	51
FIGURA 27. FOTO # 45 CARTA AGTRON CON SISTEMA OSCURO.....	51
FIGURA 28. NIVELACIÓN DE LA MESA, PLATAFORMA Y TRAVESAÑO CON 0.05MM RESPECTO A LA HORIZONTAL.....	52
FIGURA 29. ÁNGULOS DE INCIDENCIA SISTEMA DEFINITIVO.....	53
FIGURA 30. RASADO DE LA SUPERFICIE.....	55
FIGURA 31 RESULTADOS DE LA MUESTRA DE CAFÉ M12 EN DIFERENTES CONDICIONES	57
FIGURA 32 CÁLCULOS PARA DETERMINAR LOS VALORES DEL PROTOTIPO EN LA TABLA DE EQUIVALENCIAS.....	65
FIGURA 33 CÁLCULOS PARA DETERMINAR LOS VALORES DEL PROTOTIPO EN LA TABLA DE EQUIVALENCIAS CON ECUACIÓN 5.....	67
FIGURA 34 GRÁFICAS DE LOS TIEMPOS DE PROCESAMIENTO DE UNA IMAGEN POR EL M. EXPONENCIAL Y POR EL M. POTENCIAL.....	82

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. DISTANCIA FINAL ENTRE EL LENTE Y LA PLATAFORMA.....	52
ECUACIÓN 2 TAMAÑO DE MUESTRA.....	60
ECUACIÓN 3 CONFIRMACIÓN SI EL TAMAÑO DE LA MUESTRA ES EL ADECUADO.....	61

ECUACIÓN 4 ALGORITMO DE PROCESAMIENTO BÁSICO 1.....	65
ECUACIÓN 5 ESCALONAMIENTO	65
ECUACIÓN 6 ALGORITMO DE PROCESAMIENTO BÁSICO 2.....	66
ECUACIÓN 7 PORCENTAJE DE ERROR.....	78

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. CARTA AGTRON

Anexo B. PASOS PARA CAPTURA DE IMÁGENES CON GRABDEMO

Anexo C. PLANOS CAJA

Anexo D. PLANOS RAZADOR

Anexo E. FICHAS TÉCNICAS DE LAS MUESTRAS PATRÓN

Anexo F. PASOS PARA GENERAR UN HISTOGRAMA CON NI VISION ASSISTANT 2009

Anexo G. TABLA RESUMEN ESTADÍSTICO VALOR RGB PROMEDIO

Anexo H. DESARROLLO DEL EJECUTABLE NI VISION

Anexo I. DISEÑO Y APARIENCIA DE LA INTERFAZ DE COMUNICACIÓN

Anexo J. DATOS PRUEBA DE REPETIBILIDAD

Anexo K. PRUEBAS DE PRECISIÓN

Anexo L. COTIZACIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

Anexo M. MANUAL DEL USUARIO

INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria, la calidad es un elemento básico como estrategia empresarial y como criterio concluyente de los consumidores. El tema ha alcanzado un gran auge ya que durante los últimos años la necesidad de mejorar los estándares se destaca debido a que los criterios que son medidos y calificados han evolucionado [25]. Además de lo anterior, también son importantes como criterio de selección la reglamentación y el control de la inocuidad de los alimentos debido al impacto negativo que tiene para la salud el llegar a ingerirlos en estado de descomposición o contaminación.

Actualmente, la industria alimentaria busca definir cuáles son las características de calidad, cómo se califican y cuáles tienen mayor importancia para cada grupo de clientes. Posterior a esto, la industria busca que su producción mantenga o resalte las cualidades del alimento, estableciendo parámetros e intervalos para que el producto sea lo más homogéneo posible. [25]

Algunos de los estándares de seguridad alimentaria que se pueden citar son:

Buenas Prácticas de Fabricación/ Producción (GMP/GPP).

Sistemas de Análisis de peligros y puntos de control críticos (APPCC/HACCP) basados en las Guías del Codex Alimentarius.

Safe Quality Food (Código SQF 2000): Estándar reconocido por el GFSI (Global Food Safety Initiative)-basado en HAPCC del Código De Aseguramiento Para Proveedores de la industria de Alimentos.

Eurepgap-Euro Retailer Produce Buying Group's Good Agricultural Practices (GAP): Para producir primaria de vegetales o de ganadería (IFA-Integrated Farm Assurance).

BRC – British Retail Consortium: Esquema británico para la aprobación de suministradores de marca propia de los detallistas.

IFS – Internacional Food Standard: Esquema desarrollado por Alemania y Francia para la aprobación de suministradores de marca propia de los detallistas.¹

¹ ABDULLAH, MAHMUD. Normas de calidad en la industria alimentaria a nivel europeo e internacional. Implantación problemáticas y desarrollo. Tesis Doctoral. Granada: Universidad de Granada, 2007. p. 152

ISO: Organización Internacional de Normalización.

El control de calidad es una herramienta para descubrir las variaciones que se presentan en los parámetros establecidos de productos y apoya la obtención de información sobre mejoras al producto. Anteriormente, el control de calidad se realizaba al final de la cadena productiva sin posibilidad de corregir defectos que se den en el proceso, mientras que en la actualidad encontramos el término calidad Total (*Total Quality Management, TQM*) [25] que tiene como filosofía mejorar la organización de manera continua, satisfaciendo a clientes y empleados.

Se encuentra una amplia gama de definiciones de “calidad alimentaria”, algunos de ellos son:

“Calidad es el grado de pureza de un alimento”

“Se entiende por calidad todas aquellas características que el consumidor, consciente o inconscientemente, estime que debería tenerse en cuenta”.

“Calidad es aquella combinación de atributos de un alimento que determina el grado de aceptabilidad del producto por el consumidor y por tanto condiciona su valor comercial”.²

Actualmente, en el control de calidad en la industria alimentaria es importante mejorar la velocidad de los sistemas de evaluación y disminuir la interacción del hombre con el producto, ya que el alimento puede correr el riesgo de contaminarse o perder propiedades, y en consecuencia, disminuir los costos asociados sin comprometer el grado de confiabilidad, sino por lo contrario mejorándolo. Para atender a lo anterior, es importante que las características del alimento sean medibles y así poder hacer tratamientos estadísticos, para que de esta manera la calidad del producto permanezca constante en lo posible [25].

Para poder evaluar los diferentes tipos de calidad, se han desarrollado distintos métodos de evaluación dependiendo de la característica, procesamiento y gusto del consumidor.

² *Ibíd.*, p. 53

En el caso de la calidad sensorial, entendida como el conjunto de sensaciones que experimenta una persona cuando ingiere un alimento y que está asociada a los atributos sensoriales, es muy importante en el momento en que el consumidor hace la evaluación final de calidad. Si él considera que las características del alimento no cumplen un estándar, se producirá un rechazo que las demás cualidades higiénico sanitarias, tecnológicas y nutricionales no compensarán, [25] y de esta manera pierde posicionamiento del producto en el mercado.

Hablando específicamente del café, éste tiene unas características propias que se tienen en cuenta para el control de calidad, tales como el color, el tamaño, el aroma y la textura. De acuerdo a lo anterior, estas características se deben medir, ya sea por medios físicos, químicos y/o microbiológicos. Concretamente, en el proceso de tuestión del café las mediciones con los instrumentos de laboratorio utilizados y su calibración respectiva tienen un costo entre Us 200 y Us 500 (sin incluir costos de exportación e importación).³

En la búsqueda de solucionar los problemas de control de calidad y altos costos nombrados anteriormente, y en adición transmitirle confianza al consumidor, quien espera que el café que adquiere cumpla con los requisitos de seguridad y de calidad, se han venido desarrollando e implantando sistemas de visión artificial. Por tal motivo, el objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un prototipo de laboratorio para el control de calidad de la variable grado de tuestión del café molido que además permita un control estadístico del proceso que se base en visión artificial.

³ Entrevista al señor Juan Carlos López Arroyave Coordinador de Mantenimiento en Ingeniería de la Empresa Buen Café Liofilizado de Colombia Chinchina Caldas.

1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de laboratorio para el control de calidad de la variable grado de tuestión del café molido que además permite un control estadístico del proceso para el sector cafetero Colombiano, mediante visión artificial.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudiar el proceso de tuestión y la importancia del color en dicho proceso.

Caracterizar el producto.

Seleccionar las características del producto para diseñar.

Desarrollar el prototipo en el CTAI.

Calibrar y probar el prototipo para determinar el error.

Determinación de costos de implementación del prototipo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia, al ubicarse en la zona ecuatorial, es considerada como uno de los países con mayor diversidad a nivel mundial. Debido a esto, tiene un gran potencial para exportar diferentes productos agrícolas, entre los cuales está el café.

En Colombia, la mayor parte de la exportación de café se hace cuando el grano está verde, es decir que no lleva procesos de tosti3n, ya que el pa3s no cuenta con la tecnolog3a necesaria, puesto que el desarrollo industrial es poco en comparaci3n con pa3ses tales como Italia, Alemania y Estados Unidos, donde cuentan con personal y maquinaria adecuados que les permiten altos est3ndares de calidad. Para entrar en el mercado del caf3 tostado y ser competitivos en la producci3n de caf3 tostado y molido, Colombia ha venido incursionando recientemente en el proceso de tosti3n, desarrollando m3quinas tostadoras, pero a3n el control de calidad no es el m3s apropiado, ya que los procesos de control de calidad que actualmente se utilizan aqu3 presentan importantes desventajas⁴, como veremos a continuaci3n; los m3todos de control de calidad para la tosti3n que se utilizan en la actualidad en las empresas colombianas son los siguientes:

TABLA 1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ACTUALES M3TODOS PARA MEDIR LA CALIDAD DE LA TOSTI3N.

M3TOD0	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Comparaci3n visual realizada por un experimentado tostador contra una muestra previamente tostada.	Econ3mica R3pida	No facilitan un proceso de control estad3stico No se documentan datos cuantitativos Resultados que pueden ser afectados por una curva de cansancio del operario Se depende de un experto tostador Se depende de una muestra previa
Comparaci3n visual realizada por un experto tostador con un patr3n de color obtenido de una paleta	Econ3mica R3pida	No facilitan un proceso de control estad3stico No se documentan datos cuantitativos Resultados que pueden ser afectados por

⁴ Entrevista al se3or Diego Vargas Gerente General de la Empresa Quantik Ltda. Bogot3.

de colores (Carta Agtron).		una curva de cansancio del operario Se depende de un experto tostador Se requiere la carta Agtron a la mano
Comparación del valor obtenido por un colorímetro y el valor deseado	Se documentan datos cuantitativos No se depende de un experto tostador	Calibración demorada Maquinaria exportada No hay soporte técnico en Colombia Costo de adquisición cercano a los 100 millones de pesos ⁵

FUENTE: LAS AUTORAS

De acuerdo al cuadro anterior, los métodos 1 y 2 no facilitan la estandarización del proceso de tuestión (curva de tuestión), pues en las inspecciones en las que no se hace uso de equipos de laboratorio no facilitan un proceso de control estadístico debido a que no se documentan datos cuantitativos y en consecuencia se obtienen resultados que pueden ser afectados por una curva de cansancio del operario en el proceso de controlar la calidad de la tuestión, mientras que el método 3 incrementa los costos, ya que es necesaria la importación de colorímetros.

Se conoce que en Colombia únicamente existe una empresa – Quantik Ltda. – que desarrolló un colorímetro (Colorímetro Digital IR-800) que trabaja con una fuente de emisión de radiación infra-roja que incide sobre la superficie de la muestra de café, donde se absorbe cierta cantidad y la radiación reflejada es cuantificada por el instrumento. Sin embargo, la visión artificial puede ser otro fundamento para el desarrollo de colorímetros.⁶

Por tal motivo, en este proyecto se va tomar este fundamento para el desarrollo de tecnología nacional que desarrolle control de calidad del proceso de tuestión, clasifique el grado de tuestión, estandarice el proceso de comparación y que permita llevar control estadístico del proceso de calidad, que mejore los métodos 1 y 2 de la tabla 1, automatizando el proceso y evitando subjetividad por la curva de cansancio. Dicho prototipo, clasificará el producto final del proceso de tuestión de café molido sin tener en cuenta la variedad de la semilla, ni tampoco las curvas de tuestión desarrolladas para lograr el grado de tuestión deseado, las cuales sí cambian dependiendo la variedad de la semilla de café.

⁵ Entrevista al señor Juan Carlos López Arroyabe Coordinador de Mantenimiento en Ingeniería de la Empresa Buen Café Liofilizado de Colombia Chinchina Caldas.

⁶ Entrevista al señor Lin Calderon encargado del laboratorio de control de calidad de la Empresa Grupo Cafe Bogotá.

3. JUSTIFICACIÓN

Como se mencionó en el numeral anterior, Colombia tiene una gran ventaja como productor de café debido a su posicionamiento geográfico, pero su poco desarrollo industrial no proporciona maquinaria adecuada para ciertos procesos de control de calidad, es decir no cuenta con tecnología propia. Por esa razón, se hace necesario importar tecnología de otros países en aras de lograr los estándares de calidad requeridos para competir en el mercado.⁷

Como se mencionó anteriormente también, en general, en Colombia los métodos que más se conocen para el control de calidad del grado de tuestión son: Comparación visual realizada por un experimentado tostador contra una muestra previamente tostada, y comparación visual realizada por un experto tostador con un patrón de color obtenido de una paleta de colores (Carta Agron). Estos métodos tienden a ser subjetivos y estar sesgados a la curva de cansancio del operario, por lo tanto se pueden presentar mayores márgenes de error, lo que también afecta la competencia en el mercado.*

A pesar que en Colombia existe ya un colorímetro que mide el grado de tuestión, éste trabaja con infrarrojo*, por lo tanto en este proyecto se quiere implementar un método diferente, como es la visión artificial, que ha sido utilizada en otros sistemas clasificadores para la industria alimentaria, esto anterior, mediante la elaboración de un prototipo de colorímetro basado en visión artificial.

Esta herramienta fue un prototipo ya que sirvió para ver el funcionamiento del sistema clasificador de café bajo condiciones de laboratorio con el cual se desarrollaron pruebas para entrenarlo y luego determinar su grado de error. Se tuvieron en cuenta los costos de desarrollo para ver si el prototipo era viable y resultaba más económico que los colorímetros digitales, para que más adelante se pueda proponer como un instrumento de clasificación de café tostado y molido, adaptándolo a las condiciones de una empresa tostadora.

El interés de este proyecto fue encaminado a desarrollar tecnología propia, cuyo beneficio sería evitar la importación de maquinaria, puesto que esta adquisición de tecnología incrementa los costos de producción y no permite una ventaja competitiva en el mercado del café tostado y molido, y además obtener un buen proceso de control de calidad al grado de tuestión del café.

El desarrollo del prototipo se llevó a cabo en las instalaciones del CTAI (Centro de Automatización Industrial) que es el laboratorio del Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería Industrial, de la facultad de ingenierías perteneciente a la Pontificia Universidad Javeriana. Este laboratorio cuenta con todas las herramientas para

⁷ Entrevista al señor Diego Vargas Gerente General de la Empresa Quantik Ltda. Bogotá.*

desarrollar el prototipo, pues cuenta con una cámara Guppy, el software licenciado LabView y una estación de calidad calibrada a la disposición del trabajo.

Es importante aclarar que las herramientas que ofrece el CTAI para el desarrollo del prototipo no son restricciones, pues en el caso de implantar el prototipo en alguna empresa se debe ser cuidadoso con la migración del sistema teniendo en cuenta las características físicas y las demás variables que lo componen.

Se medirán muestras de café del GRUPO CAFÉ y Quantik Ltda. ya que se puede tener mayor variedad de tonos de Tostión que los cafés comercializados. Sin embargo ésta no es una restricción porque el prototipo debe medir y clasificar cualquier café tostado y molido, ya sea de marcas comerciales o de cualquier tipo de grano sin importar su origen.

El resultado del prototipo que se desarrolló, va potencialmente dirigido a empresas tostadoras que cuenten con un laboratorio de control de calidad y máquinas de tosti3n con capacidad industrial o de tosti3n continua, ya que en una empresa con menores recursos, el prototipo estar3a subvalorado.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 PROCESO DE TOSTACIÓN

“La Tostación es la transformación de los granos de café verde mediante la aplicación de calor, lo que origina varios cambios físicos y reacciones químicas que desarrollan todo el aroma y sabor de la apreciada bebida”. (Figura 1)

Inicialmente el grano absorbe calor y pierde la humedad y algunos gases. Luego ocurre el "primer crack" con un sonido como de crispeta (maíz tostado). A partir de ese momento el grano crece en tamaño y comienza a tomar un color oscuro por la caramelización de los azúcares conformando los más de 800 compuestos químicos que tiene el café tostado.

La transformación de los azúcares simples y aminoácidos, que le otorgan al café la mayoría de sus mejores propiedades aromáticas y su color característico se conoce como la reacción de Maillard. Finalmente, y dependiendo del grado de tostación deseado, puede haber un "segundo crack" y se presenta una reacción exotérmica (liberación de calor). En ese momento, es necesario reducir la temperatura aplicada con agua o con aire frío para obtener exactamente el color y sabor deseados.

FIGURA 1: PROCESO DE TOSTIÓN

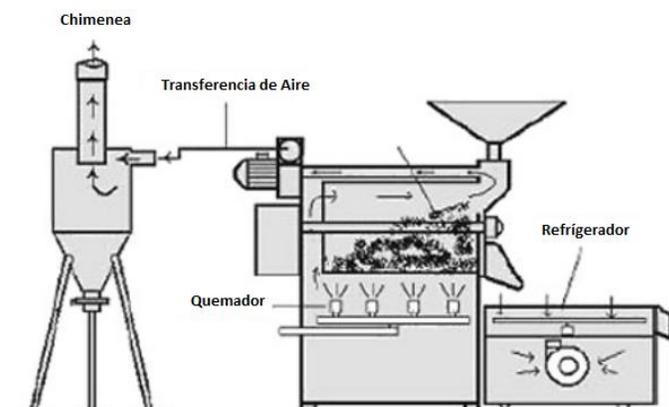
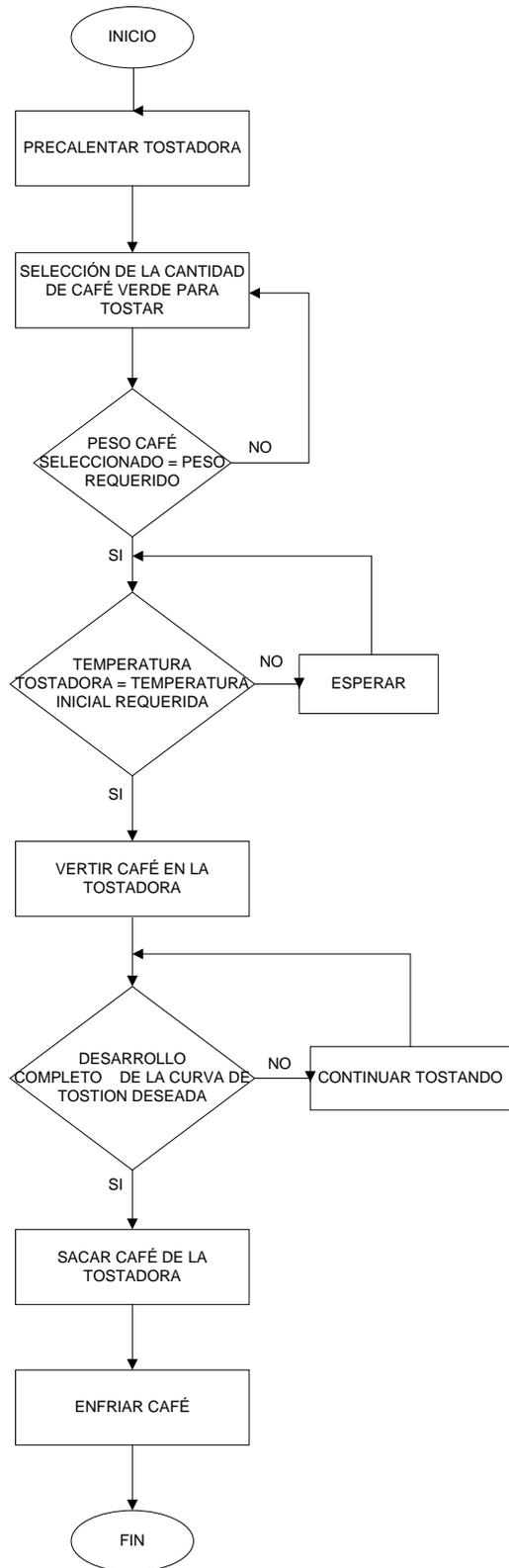


DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO TOSTIÓN



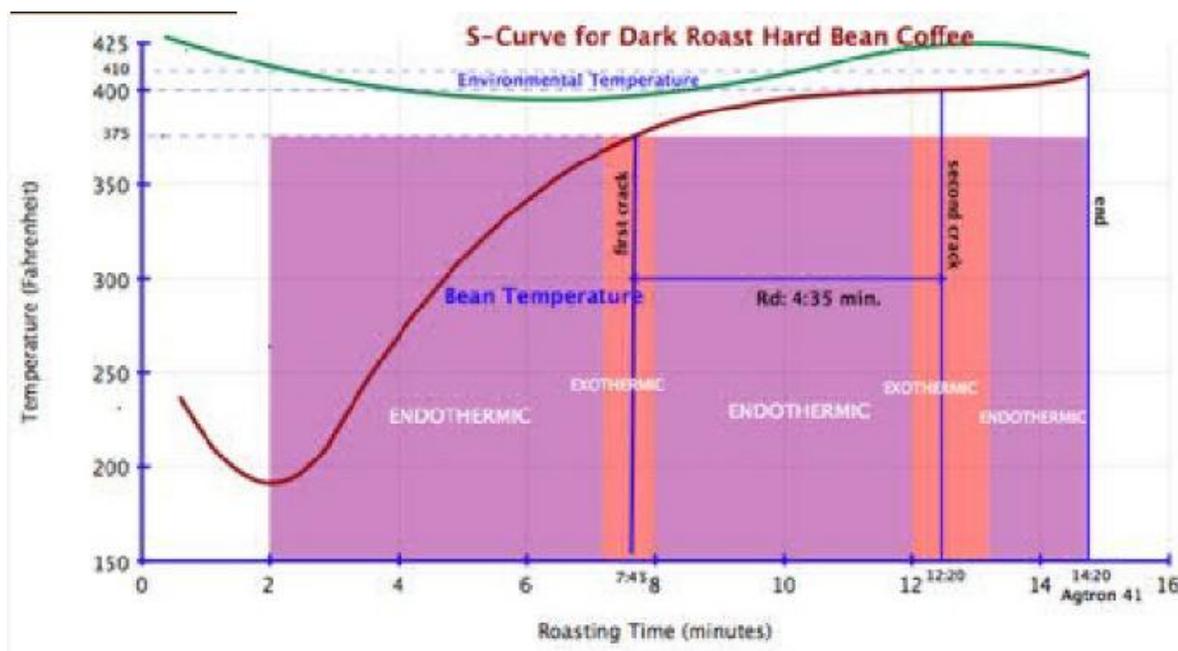
PRINCIPIOS GENERALES

4.1.1 TRANSFORMACIÓN DEL CAFÉ

“El tueste del café es una fase vital dentro de su cadena de elaboración. Un buen tueste influye más en la calidad de una taza de café, que la bondad de la mezcla escogida”. Este proceso consiste en tomar el café verde y someterlo durante un tiempo limitado a una alta temperatura, durante el cual cambian ciertas características físicas del café, tales como pérdida de peso (15/20%) debido a la evaporación de su humedad y a la pirólisis de algunos componentes, aumento de volumen (100 y 130%), cambio de color amarillo verdoso a uno marrón, más o menos oscuro en función del grado de tueste escogido. En cuanto a su composición química, el grano también sufre una importante transformación tanto a nivel cuantitativo como cualitativo, azúcares, grasas, proteínas, sustancias nitrogenadas no proteicas, ácidos, entre otros sufre una transformación debido a las altas temperaturas a la que es sometido el grano.

Para obtener las máximas cualidades de cada tipo de café, el tueste debe ser específico para cada uno de ellos y se determina por una curva de tuestión en la cual se relacionan temperatura versus tiempo, como se ve en la gráfica de la figura 2.

FIGURA 2 CURVA DE TOSTIÓN



FUENTE: <http://www.scribd.com/doc/32570408/Colorimetros-y-Grados-de-Tueste-Del-Café>

4.1.2 TEMPERATURA DE TUESTE

La temperatura de tueste depende del tipo de máquina de tostar, del tiempo de tueste y de la intensidad del color final requerido.

En una primera fase se seca la humedad del café. En una segunda fase se origina la expansión de las celdillas del grano de café y empieza la creación de los gases. La tercera fase debe ser más lenta pues es la que confiere básicamente el gusto final al producto, la cual oscila entre un minuto y un máximo de 25 o hasta 30 minutos, según el sistema.

- SISTEMA LENTO: De 15 y hasta 20 minutos, es muy apreciado por los tostadores artesanos. Su producto final es un grano de color oscuro y uniforme, buena apariencia, con una óptima presencia para ser vendido al detalle y en grano.
- PROCESO RÁPIDO: De 1 a 3 minutos, tiene detractores que le achacan que produce menos calidad que el sistema anterior. Se obtiene menos merma al tostar -se gana alrededor de un 2%- y se utiliza principalmente para tostar los cafés de calidades inferiores, normalmente vendidos molidos. El sistema de tueste rápido se aplica en países nórdicos y no es que produzca una menor calidad, sino que da un resultado al gusto local.⁸

4.2 QUÍMICA ELEMENTAL DEL TOSTADO

Las principales reacciones químicas son las siguientes:

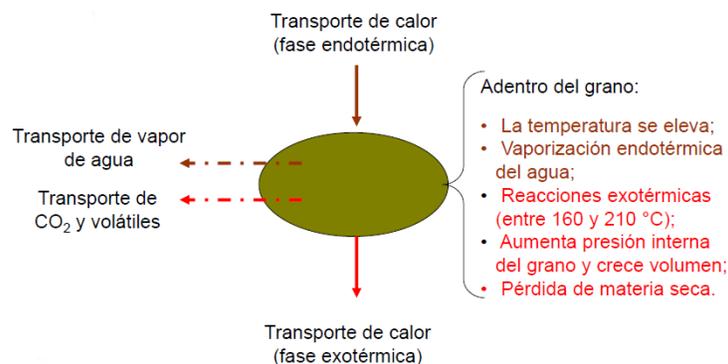
- Pérdida de humedad y peso ($\pm 20\%$); caféina (10 a 15%); y azúcares (10 a 2%); aunque azúcares y acidez aumentan primero para reducirse después.
- Descomposición de aminoácidos y pérdida de proteínas (que participan en la formación del aroma, sabor amargo) y compuestos metal-quelutados café.
- CAMELIZACIÓN: “Reacción de oscurecimiento de los azúcares calentados por encima de su punto de fusión en ausencia de proteínas o aminoácidos. Tiene lugar la isomerización y deshidratación de carbohidratos, produciendo: furanos,

⁸ <http://www.infoagro.net/shared/docs/a5/gtecnol3.pdf>

furanonas, lactonas, pironas, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres y pirazinas de bajo peso molecular o de dobles enlaces conjugados, que absorben luz y dan color”. Como consecuencia de la desestabilización térmica de los azúcares aparecen dos grupos diferentes de compuestos, Compuestos de bajo peso molecular y Polímeros de azúcares. El intervalo de temperatura en el que se produce una caramelización correcta es bastante estrecho. A partir de 170°C empieza la aparición de sustancias amargas como consecuencia del comienzo de la carbonización.

- REACCIONES DE MAILLARD: Reacción no enzimática de oscurecimiento (color “tostado”) resultado del calentamiento de azúcares”. En esta reacción los aminoácidos libres, derivados de péptidos y proteínas, reaccionan con azúcares reducidos para formar heterociclos nitrogenados y melanoidinas cafés.
- DESHIDRATACIÓN: Al pasar la temperatura de los 90 °c el color verde de los granos comienza a cambiar a amarillo; la desecación se traduce en desprendimiento de vapor de agua y olor a pan tostado. Al elevarse la temperatura interna del grano (a cerca de 100 °C), el agua que contienen sus tejidos, se vaporiza. Por tal razón, la evaporación del agua y su salida generan una pérdida de peso, la reducción de los carbohidratos y eliminación de la película plateada.
- HIDRÓLISIS: Es la reacción del agua liberada por evaporación con otras sustancias, usualmente sales, al elevarse la temperatura interna del grano por encima del punto de ebullición del agua (□ 100 °C). A más de 120-130 °C en la cámara de tostado, el grano de café adquiere un color castaño.
- DESMOLISIS: Es una serie de procesos enzimáticos que resultan en la ruptura de los eslabones de las cadenas de carbono, en la cual los azúcares y almidones empiezan a transformarse, los cuales otorgan al café gran parte de su aroma y sabor. Entre los 150 y 170°C el café empieza a desprender un olor parecido al del grano tostado.
- CATÁLISIS: El aroma característico del café tostado comienza a producirse entre 190 y 210°C, a estas temperaturas los gases de combustión (CO₂ y CO) se desprenden. En esta etapa además el color de los granos cambia a marrón, y aumenta el volumen de los granos (40-60%).

FIGURA 3 PROCESOS QUÍMICOS DEL TOSTADO



FUENTE: Seminario-Taller “Formación técnica de maestros tostadores”, Manuel Díaz P. ONA, SRL, Septiembre 2010.

4.3 CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

La composición química de los granos cambia durante el proceso de tostado, ya que el agua se disipa en el grano y una serie de reacciones químicas convierte los azúcares y almidones en aceites. Al ser tostado, el grano aumenta su tamaño al doble, y la caramelización del azúcar cambia el color de verde a marrón.

El color y aspecto del grano tostado dependen del tiempo de tostado, ya que mientras más largo sea el tiempo de tostado, más oscuro será el grano. Generalmente el grano se tuesta durante 10 a 20 minutos a temperaturas oscilantes entre 400°F y 425°F.

Los granos tostados oscuros contienen menos acidez y un poco menos de caféina que los granos más claros, aunque también menor período de conservación, debido a la cantidad de aceites en la superficie. El tostado no determina si una taza de café será más o menos fuerte.

Los granos tostados claros tienen un sabor más intenso, más altos en acidez con respecto a los tostados más oscuros. El café ha sido menos expuesto al calor, por lo cual las cualidades del grano son mejor mantenidas.⁹

⁹ <http://caféparaiso.tripod.com/tostion.htm>

TABLA 2 NIVELES DE TOSTADO

NIVEL	ASPECTO		CARACTERÍSTICAS
Tueste Canela	Tostado claro, tono canela claro		Sabor como de nuez pronunciado, alta Nivel de acidez del café
Tueste Americano	Tostado mediano, tono castaño		Sabor como de acaramelado
Tueste de la ciudad	Tostado mediano, marrón mediano sin aceites en la superficie		Sabor completo de café, con algo menos de acidez
Tueste Urbano	Marrón castaño, apenas más oscuro que el tueste de la ciudad		Sabor completo de café, con buen balance de azúcar y acidez
Vienna	Marrón oscuro, con rastros de aceite en la superficie		Sabor de tostado oscuro
Tueste Francés	Marrón oscuro, casi negro, aceitoso en la superficie		Amargo, sabor ahumado y aroma intenso
Italiano	Marrón chocolate amargo, con aceites en la superficie		Sabor quemado
Espresso	Tostado oscuro, de uso específico para máquinas de espresso		Sabor quemado, fuerte y dulce

FUENTE: <http://caféparaiso.tripod.com/tostión.htm>

4.4 DEFECTOS

En la Tabla 3 se enuncian los defectos del proceso de tostion

4.4.1 DEFECTOS PRIMARIOS

Es muy difícil tener pleno control del proceso de tostado y se puede incurrir en errores básicos si no se controla adecuadamente. Algunos de los errores más cometidos son:

- **Muy ligero.** Tiempo insuficiente de tostado o excesiva temperatura por poco tiempo.
- **Café crudo.** Temperatura insuficiente durante poco tiempo. Granos con consistencia dura, aroma y sabor subdesarrollado.
- **Café carbonizado.** El café sobretostado por exceso de temperatura y/o de tiempo. Tiene un cuerpo pronunciado pero con sabor y resabio carbonizado metalizado.
- **Café horneado.** Granos expuestos a bajas temperaturas por mucho tiempo; color homogéneo, consistencia quebradiza; sabor subdesarrollado; pérdida de aroma, dulzura y cuerpo; sabor a cacahuete o harina horneada.
- **Tueste arrebatado.** Granos tostados en el exterior y mal tostados al interior (tueste rápido a alta temperatura); textura dura; desprendimiento de partículas redondas (tipping) por exceso de temperatura superficial; sabor subdesarrollado, acidez pronunciada y resabio amargo (sobre tueste del exterior del grano).
- **Tueste disperejo.** Granos desigualmente tostados por falta de movimiento, mala distribución del calor y presencia de granos de tamaño y madurez irregulares.

TABLA 3 PRINCIPALES DEFECTOS DEL TOSTADO

Defect	Temperature	Time	Agtron	Physical appearance	Impact on cup quality
Very light	OK (or low)	Too short	>65	Raw, hard, underdeveloped bean	High aroma and acidity (but not complex); herbal and woody flavors
Baked	Low	Too long	55-75	Slightly brittle, dim	Cereal and malty aroma and flavors, low acidity and sweetness
Too fast	Too high	Too short	45-55	Uneven roast: darker outside, lighter inside	High aroma and acidity (but not complex), some herbal and smoky flavors
Tipping	Too high	Too short	45-55	Uneven roast with dark spots that sometimes split	Smoky aftertaste, astringent flavors
Scorching	Extremely high (i. e. for light beans)	Too short	45-55	Uneven roast with dark spots and stripes	Smoky flavors, astringent after taste
Burnt	Too high	Too long	<45	Very brittle, shinny, black	Smoky aromas; low acidity; burnt simplified flavors
Uneven	OK (bean control is the problem) *	OK	55-65	Uneven roast, beans over and under roasted	High aroma and acidity (but not complex), herbal and smoky flavors

* Uneven size and density beans, excess moisture, too big a batch

FUENTE: Seminario-Taller "Formación técnica de maestros tostadores", Manuel Díaz P. ONA, SRL, Septiembre 2010.

4.4.2 DEFECTOS SECUNDARIOS

Algunos de los defectos secundarios son: Tueste inadecuado para las cualidades del grano (taza óptima), tueste pasado o insuficiente (fuera del punto óptimo), tueste inadecuado para el uso del café, inconsistencia en el perfil de sabor, cambio en el tipo de tueste (no hay replicabilidad del ciclo de tostado), cambio de granos o pérdida de la calidad del café verde en almacén, daños en el manejo posterior al tueste (pérdida de aroma y cuerpo; oxidación, humidificación, etc.).

4.5 PRÁCTICAS DE TOSTADO

Estos son los pasos más importantes a seguir:

TENER UN PLAN DE TRABAJO, BUENA PREPARACIÓN Y ORGANIZACIÓN

- Limpieza total de equipos y monitoreo de seguridad.

- Plan integral de tostado.

- Preparación térmica del tostador.

- Preparación del grano (fuera o dentro del tostador).

- Definición de ciclo de tostado del cliente.

- Preparación de fase de reposo, envase, molido y envasado.

- Registro de resultados.

CONOCER EL PERFIL DE SABOR Y DEFINIR EL PAPEL DE CADA GRANO

- Perfil de sabor primario (aroma, acidez, cuerpo, dulce).

- Perfil de sabor secundario (nariz, posgusto).

- Granos de altura (densos) vs zona baja (menos densos).

- Granos frescos vs añejos.

- Granos húmedos vs secos.

LA CLASIFICACIÓN Y HOMOGENEIDAD DEL GRANO FACILITA EL TOSTADO CONTROLADO

- Densidad (los granos de altura tienen más puntos de tostado).

- Tamaño (separar criba 15 y menores; cribas 16 y 17; y cribas 18 y 19).

- Proceso (cada técnica y equipo aporta diferencias de sabor).

- Variedad (puede maximizarse el perfil organoléptico).

- Secado (veteado dificulta tostado de calidad).

MANTENER ALTA EFICIENCIA EN LA TRANSMISIÓN DEL CALOR

Transmisión eficiente del calor hasta el interior del grano

Alcanzar la temperatura necesaria por el tiempo adecuado para alcanzar la presión térmica necesaria al interior del grano y desarrollar el sabor del café.

Enfriamiento rápido para eliminar el calor concentrado al interior del Café.

MONITOREAR CONSTANTEMENTE EL PROCESO DE TOSTADO

Chequear los dispositivos de presión de gas, temperatura y tiempo.

Chequear los cambios en el grano (color, olor y aspecto físico).

Cuando se esté por llegar al punto deseado debe intensificarse el monitoreo de los granos (probar directamente).

4.6 TECNOLOGÍAS DE TOSTADO

TOSTADORAS

- Tostadores de contacto (tambor con quemador).
- Tostadora a chorro de aire
- Tostadores de Lecho Fluido

Es una combinación de los sistemas tambor y convección. Con este sistema se puede efectuar un proceso en 5 o 6 minutos y además permite una gran variedad de tipos de tueste.

El café está en una cámara estática, que tiene perforada únicamente la base, por donde se inyecta aire caliente a presión. El café es impulsado por una fuerte corriente de aire caliente que fluye del fondo perforado, obligando al café a elevarse por un lateral describiendo una curva o bóveda en la parte superior de la cámara y descendiendo por el lateral opuesto. Durante el proceso, los humos son aspirados y se elimina la cascarilla. El quemador calienta los humos hasta una temperatura de 600/700 °C, para proceder a una óptima combustión de las impurezas".¹⁰

¹⁰ <http://www.infoagro.net/shared/docs/a5/gtecnol3.pdf>

4.7 PUNTOS Y MECANISMOS DE CONTROL

- Inspección física del grano

- Humedad
 - Densidad
 - Tamaño
 - Homogeneidad

- Temperaturas durante el proceso de tostado

- Temperatura de precalentamiento (180-250 °C).
 - Temperatura de salida (llama o fuente de calor).
 - Temperatura de la cámara de tostado.
 - Temperatura objetivo (final) (120-220 °C).

- Pruebas de Calidad al Proceso de Tostión del Café:

Respecto al Color: Una vez se ha realizado el proceso de tostión, se utiliza una escala que contiene diferentes colores de tostado. Una de estas escalas es la **Specialty Coffee American Association** (SCAA) la cual determina 8 colores de tostado empezando por un "Light" que es el más claro hasta un "Francés" que es el más oscuro. Aproximadamente 3 minutos después del primer "crack", al alcanzar una temperatura de 210°C en el café, se desarrollará el segundo "crack", quedando solo 1-2 minutos para alcanzar el máximo color, momento en el que se debe retirar el café del tambor para su rápido enfriamiento, evitando así que el café se llegue a quemar o pasar de punto. Los tuestes claros desarrollan mejores sabores y aromas dulces del café, mientras que los tuestes oscuros desarrollan sabores y aromas amargos.

4.8 VISIÓN HUMANA

La visión humana se relaciona con la percepción del color, forma y distancia de los objetos tridimensionales. El proceso de percepción visual es posible gracias al ojo, el cual es esférico con un diámetro aproximado de 20 mm rodeado por tres membranas, esclerótica externa, esclerótica y retina, esta última es la región sensorial del ojo, la cual es flexible para poder enfocar objetos distantes y cercanos, y también formar la imagen clara en la retina. Además tiene la capacidad de discriminar entre diferentes niveles de iluminación. [13]

La retina es una membrana transparente, es fotosensible y trasforma los estímulos luminosos en energía electroquímica, que se trasmite a los centros perceptivos del cerebro, mientras que la pupila es quien regula la cantidad de luz que entra en el interior del ojo. [24]

Los objetos se evalúan a distancia por la luz que reflejan en el ojo. El ojo humano responde a la radiación de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm (violeta profundo) y los 800 nm (rojo profundo), si las ondas electromagnéticas luminosas no están comprendidas en este ancho de banda no se produce impresión visual. [24]

4.9 VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial es una rama de la inteligencia artificial que tiene como objetivo modelar la imagen digital obtenida por un sensor que sea capaz de “ver” el lugar de trabajo y que un ordenador la interprete, para que de esta manera pueda ser utilizada para la toma de decisiones. Es importante tener en cuenta que los sensores trabajan bajo un rango de luz visible, sensibles al infrarrojo y rayos X.

Algunas de las aplicaciones de esta rama son:

De medición:

- Mediciones precisas de distancias entre bordes
- Defectos en bordes

De Inspección

- Encontrar rupturas
- Soldadura Paralela

Inclusiones de material extraño

- Descascarado, ampollas
- Poros, huecos
- Rasguños
- Oxidación, manchas
- Segregación de elementos aleantes
- Daños mecánicos (huellas, impresiones, dobleces, etc.)

Análisis Cuantitativo

- Piezas ensambladas faltantes
- Desviación Estándar
- Perfil de línea

Aplicaciones de Inspección Industrial

- Inspección de Chips
- Medidas térmicas sin contacto
- Medidas de alta Temperatura
- Movimiento del ojo.
- Ergonomía de dispositivos [4]
- Test y calibración de aparatos [37]

La inspección se refiere a la comprobación de un objeto respecto a algunos criterios, para esto se debe tener un patrón que cumple con los criterios establecidos y además que nivel de tolerancia está permitido del producto. La inspección puede implicar las siguientes tareas:

- Verificar la presencia de las características esperadas una a una
- Verificar las dimensiones de las características
- Verificar las interrelaciones entre características [19]

Gracias a la visión artificial, los sistemas de producción a nivel industrial han llegado a ser más precisos y seguros, pues estos sistemas no son engañados por ilusiones ópticas del entorno, no necesitan el contacto físico en el momento de realizar verificaciones con productos nocivos para el ser humano, y realizan rutinas de verificación para procesos de gran velocidad en los cuales el ojo humano está limitado.

También es importante tener en cuenta las desventajas de la visión artificial, tales como la imposibilidad del sistema para responder ante un caso imprevisto si no se tuvo en cuenta en el momento de desarrollar el aplicativo siendo el ser humano superior por su capacidad de reacción para tomar una mejor decisión con base a la experiencia. [14]

En el caso de la industria alimentaria, la inspección con visión artificial es muy importante, ya que los productos pueden contaminarse en la inspección por seres humanos [19], pero para una mejor comprensión de la fuente del problema se puede dividir en dos:

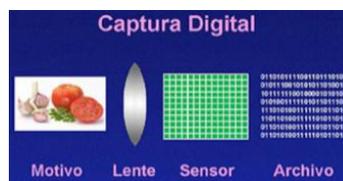
- Defectos de la producción
- Impurezas no deseadas¹¹

¹¹ PAJARES, G., DE LA CRUZ, J. Visión por computador: Imágenes digitales y Aplicaciones. Alfaomega Grupo Editor Ra-Ma. 2008. ISBN: 9788478978311 p. 23

Cabe nombrar que la visión artificial es una técnica de inspección no destructiva que permite automatizar el control de calidad del 100% de la producción. Además de los procesos de supervisión, manipulación y robotización, esta tecnología supone reducción de costes en el control de calidad y evita comercializar productos defectuosos. [12]

Los sistemas de visión artificial comienzan con imágenes en espacio continuo en el tiempo, y luego pasa a ser discreta [23] como lo muestra la (Figura 4).

FIGURA 4 CAPTURA DIGITAL



Fuente: [23]

4.9.1 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES.

El proceso digital de imágenes tiene varias fases, todas necesarias para poder realizar un control de calidad con visión artificial. [13]

4.9.2 Fase de adquisición de imágenes

En esta fase hay un conjunto de operaciones para poder transformar la información luminosa de una imagen a una señal digital y así poder almacenarla, ya sea en memoria o digitalizada. Las operaciones necesarias son:

- **Iluminación:** Este factor es muy importante en el proceso de visión, pues si es bien utilizada puede simplificar los algoritmos de detección y extracción de las características de la escena. Los aspectos a considerar en el sistema de iluminación.
- **Precisión del sistema:** Donde se tiene en cuenta el defecto a detectar y a la precisión con la que se desean los defectos (Tolerancia).
- **Tipo de escena:** Se tienen cuenta el tamaño del objeto y las posiciones fijas o indeterminadas del objeto en la escena.

- Profundidad del enfoque: es la distancia vertical (z) del objeto.
- Las características ópticas del objeto:
- Tipo de superficie pues dependiendo de esta característica se da reflectancia de la luz.
- Sensibilidad a ciertas longitudes de onda
- Geometría de la superficie
- Adquisición de la imagen a través de un sensor y su óptica asociada: Para poder adquirir la imagen se debe hacer uso de una cámara, la cual capta la información luminosa de la escena, por medio de su respectiva óptica, que incide en la superficie sensible a la luz compuesta por unidades básicas llamados "Pixels" que son la función de la cantidad de luz presente en cada punto de la escena y finalmente la convierte en una señal analógica o digital. [38]

4.9.3 Fase de análisis de imágenes

El análisis de la imagen reúne todas las técnicas con las cuales se puede extraer información explícita de las partes que conforman la imagen. Estas técnicas se pueden reunir en los siguientes 4 nombres:

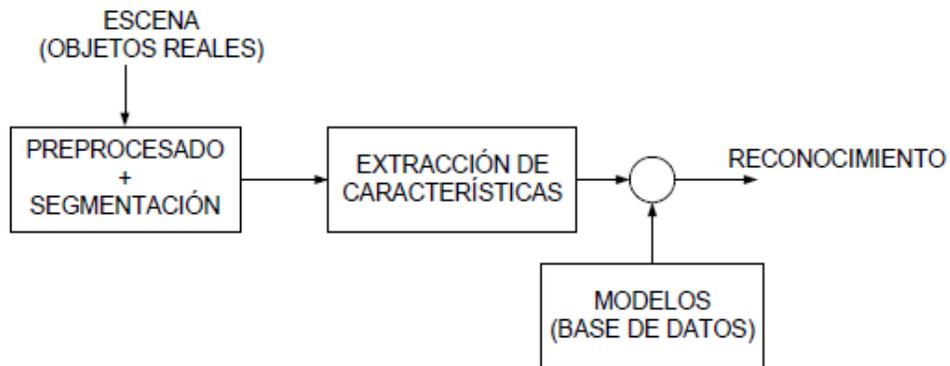
Procesado: Tiene como fin realizar una mejora de la imagen en formato digital, modificando Nivel de grises, Contraste, eliminación de ruido, realce de características y transformaciones geométricas, entre otras.

Segmentación: En este proceso la imagen es dividida en objetos y de esta manera es reconocida, para posteriormente analizar la imagen para futuros análisis de discontinuidad y similitud.

Descripción: Se basa en extraer ciertas características de un objeto y así reconocerlo. En lo posible los descriptores deben contener información suficiente para poder distinguir los objetos y ser independientes de localización, orientación y cambios de la escala de los objetos de una imagen.

Reconocimiento: En esta operación se clasifica y etiqueta cada objeto de una imagen en función de un conocimiento previo.

FIGURA 5 FASE DE ANÁLISIS DE IMÁGENES



Fuente: [31]

Para poder desarrollar las fases representadas en la figura 5 se necesita de un hardware específico y sus componentes específicos son:

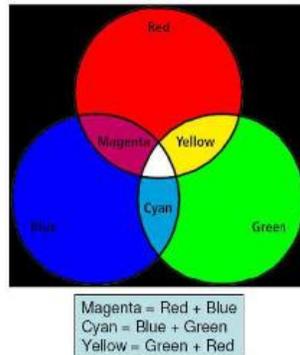
- Sistema de iluminación
- Sistema de captación óptica + sensor
- Convertor analógico-digital (ADC)
- Ordenador central
- Periféricos
- Entorno industrial [38]

4.10 COLOR.

Si a través de un prisma transparente se hace pasar luz, se formará un espectro compuesto por los colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta, entonces el ojo humano percibe diferentes longitudes de onda como colores.

Cualquier color se puede obtener a partir de la mezcla de los tres primarios dependiendo de la proporción de estos, los colores primarios de la luz son rojos, verdes y azules (RGB) si se combinan los tres en iguales proporciones se forma el blanco y si estos tres están ausentes se forma el negro como se muestra en la (Figura 6).

FIGURA 6 COLORES PRIMARIOS (RGB) Y COLORES PRIMARIOS DE PIGMENTACIÓN (MCY)



Fuente: [31]

La mezcla entre dos colores primarios da como resultado los colores primarios de pigmentación que son Amarillo, cyan y magenta (CMY). [31]. Gracias a los modelos de colores RGB CMY y HSL matiz, saturación y luminiscencia se pueden representar imágenes a color, entonces si el mapa de bits es representado con el modelo RGB el valor de cada elemento en la matriz es de 3 bytes, uno para cada color.

4.10.1 PROCESO DE LA PERCEPCIÓN DEL COLOR

El aspecto del color no es una cualidad material. El color solo existe como “impresión sensorial” del espectador.

Normalmente percibimos los objetos bajo distintas fuentes luminosas y desde distintas posiciones, lo que puede derivar en diferentes percepciones de un mismo color. Este hecho es esencial a la hora de establecer comparaciones de colores entre dos muestras.

Las diferencias de color se reconocen cuando los detalles del campo visual –a causa de la composición espectral de sus estímulos de color- dan paso a diferentes códigos. Cuando el material está iluminado posee dependiendo de su estructura molecular, una capacidad variable de absorción de una parte determinada del espectro. El resto del espectro que no es absorbido por la estructura molecular de la materia se convierte en “estímulo de color”.

Para percibir el color que tiene un objeto, es necesario que llegue la luz emergente del objeto a los ojos y, en consecuencia, que se estimule el proceso de la visión. El color es uno de los atributos perceptivos del objeto observado junto con la forma, la textura, la profundidad y el movimiento.

Cada color tiene su propia apariencia basada en tres elementos: matiz, croma y luminosidad. Al describir un color usando estos tres atributos se identifica con precisión un color específico y se distingue de cualquier otro.

Si se quiere asignar a cada color una determinada posición en un sistema que coordine el tono con su saturación y su luminosidad es necesario representar los colores por medio de un *sólido tridimensional* (sólido de color), en el que una de las dimensiones determina la posición del tono, otra la posición de la saturación y la tercera la luminosidad de cada tono.

Para clasificar los colores El sistema Munsell, es uno de los más conocidos y utilizados, donde las muestras son ordenadas según su tono, luminosidad y saturación, están preparadas para representar un intervalo igual de percepción visual entre muestras contiguas. Este sistema consta de varias páginas, en las cuales el tono se mantiene constante y las muestras se ordenan según la luminosidad (*value*) y la saturación (*chroma*). La luminosidad varía desde el negro hasta el blanco, mientras que la saturación va creciendo de izquierda a derecha, menos saturadas y las más saturadas, respectivamente.¹²

4.10.2 ILUMINANTES ESTÁNDAR

No todas las fuentes de luz que se conocen emiten radiaciones con las mismas características. Cada fuente puede caracterizarse por la energía de luz que emite a diferentes longitudes de onda.

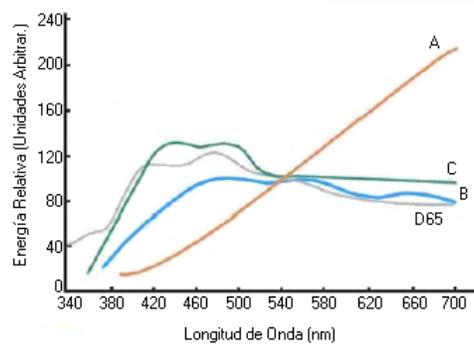
Así, las distintas fuentes de luz se caracterizan entre otras cosas por su temperatura de color; esta temperatura indica que la fuente de la que se habla tiene la misma distribución de energía espectral que tendría un *cuerpo negro** que estuviera a esa temperatura.

La CIE define varios iluminantes imaginarios para aplicación en colorimetría, los más conocidos son los siguientes: Iluminante A, iluminante B, iluminante C e iluminante D65.

¹² Documentos Investigación Quantik Ltda.

* En física se llama **cuerpo negro** a aquel que absorbe todas las radiaciones que percibe, de igual forma si un cuerpo tiene mayor poder absorbente que otro, también tiene mayor poder emisor (para una misma longitud de onda y una temperatura determinada) por esto, el cuerpo negro es también el emisor ideal de radiaciones. Al ir elevando la temperatura de un cuerpo negro encima de 500°C este emite radiaciones que tienen longitudes de onda en el rango del espectro visible, de forma que el color con el que se observan estos cuerpos dependen de la temperatura. La temperatura del cuerpo negro se denomina temperatura de color.

FIGURA 7 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LOS ILUMINANTES PATRÓN



Fuente: Ingeniero Diego Vargas, Gerente General Quantik Ltda.

En la figura 7 se observan las distribuciones espectrales de energía de los iluminantes mencionados anteriormente, iluminantes patrón.

4.10.3 COMPARACIÓN DE COLOR

El ojo humano puede distinguir pequeñísimas diferencias de color. Esta facultad le permite establecer óptimas comparaciones entre muestras, siempre que se hagan de forma correcta.

Los factores principales que influyen en la comparación visual son tres:

- Fuente de iluminación

Para que los resultados de la comparación sean satisfactorios, la misma fuente de iluminación debe aplicarse a ambas muestras. Además, las condiciones del entorno deben influir lo menos posible en el experimento, por eso la comparación se debe realizar sólo con la fuente de iluminación escogida, y procurando que el campo iluminado alrededor de las muestras sea colorimétricamente neutro.

- La geometría de la medición

La geometría de medición viene determinada por la orientación que toma una muestra o patrón con respecto a la dirección de iluminación y al observador. Un cambio en la geometría puede producir un cambio en la percepción del color.

- El observador

A diferencia de los otros dos factores, el observador no puede ser normalizado por completo. El requisito mínimo para una buena comparación visual de color que debe satisfacer un observador, es poseer una visión normal del color. Para detectar algún tipo de *anomalía cromática** se puede utilizar cualquiera de los tests destinados a este fin.

Para una buena comparación visual conviene seguir un método adecuado. Normalmente las muestras se colocan una junto a otra, en el mismo plano si es posible. La comparación se debe realizar utilizando muestras de color homogéneas.

4.10.4 SISTEMA DE COLOR CIE (COMISIÓN INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN)

La evaluación numérica del color se efectúa en base a los denominados valores triestímulo y coordenadas cromáticas y haciendo uso de una serie de cálculos que definen lo que se ha dado en llamar una fórmula de diferencia de color.

Para ello, en 1931 la CIE introdujo un sistema para cuantificar los colores en términos de números matemáticos, siendo necesario definir las denominadas fuentes de luz patrón y las características “tipo” de un observador.

En muchas de las industrias que utilizan el color como un parámetro a controlar en sus productos o procesos, es necesario conocer y medir la diferencia de color existente entre dos productos. Por esta causa, se han desarrollado ecuaciones que permiten, a partir de los valores triestímulo y coordenadas cromáticas, calcular la diferencia de color entre ellos de forma objetiva.

4.10.5 ACEPTABILIDAD FRENTE A PERCEPTIBILIDAD

El ojo humano es capaz de detectar diferencias de color muy pequeñas entre dos muestras, pero es incapaz de cuantificar esta diferencia. La evaluación numérica de las diferencias de color entre dos muestras o productos se efectúa en base a los valores triestímulo o a las coordenadas cromáticas de ambas, en algún sistema de representación del color a través de una serie de cálculos que definen lo que se ha dado en llamar una fórmula de diferencia de color.

* En un observador tricromata los tres tipos de conos están funcionando correctamente en completa armonía. Estos observadores tienen la capacidad de diferenciar pequeños cambios en los colores. Hay otros observadores que identifican pobremente, o no pueden identificar, la distinción del color. Se dice que tienen una visión del color defectuosa o que sufren ceguera del color.

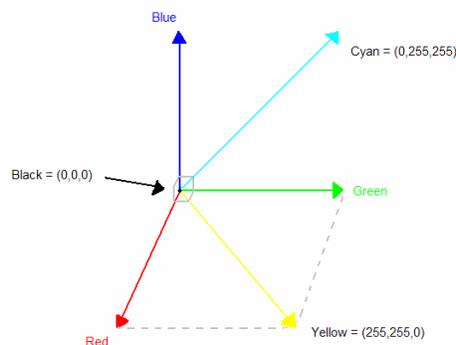
Diferencias iguales en el diagrama cromático no proporcionan iguales diferencias de color perceptibles, es decir, que si se toma una serie de objetos cuyos colores tengan la misma luminosidad, y en los que visualmente se perciba un cambio de color constante de uno a otro, si seguidamente se representan las coordenadas cromáticas x , y correspondientes al color de cada uno de estos objetos en el diagrama cromático CIE, se observa que los puntos que representan cada uno de los colores (que visualmente se observa que presentan una misma diferencia de color de uno a otro), no están igualmente distanciados en el diagrama cromático CIE.

En función de facilitar el análisis matemático para el pre-procesamiento, los colores se representan como vectores, ver figura (8)

Color = a *Rojo + b *Verde + c *Azul, Color = (a , b , c)

Donde a , b , y c son valores enteros que pertenecen al intervalo $[0,255]$.

FIGURA 8 REPRESENTACIÓN VECTORIAL DE LOS COLORES



Fuente: [34]

4.10.6 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL COLOR PARA DETERMINAR EL GRADO DE TOSTIÓN DEL CAFÉ

La medición del color es un indicador del grado de tostación del café, que permite determinar cualitativamente características tales como sabor, aroma, entre otras.

El control del grado de tostación del café se puede realizar por dos métodos. El primer método es el comúnmente llamado ojo del maestro tostador, que a través de su

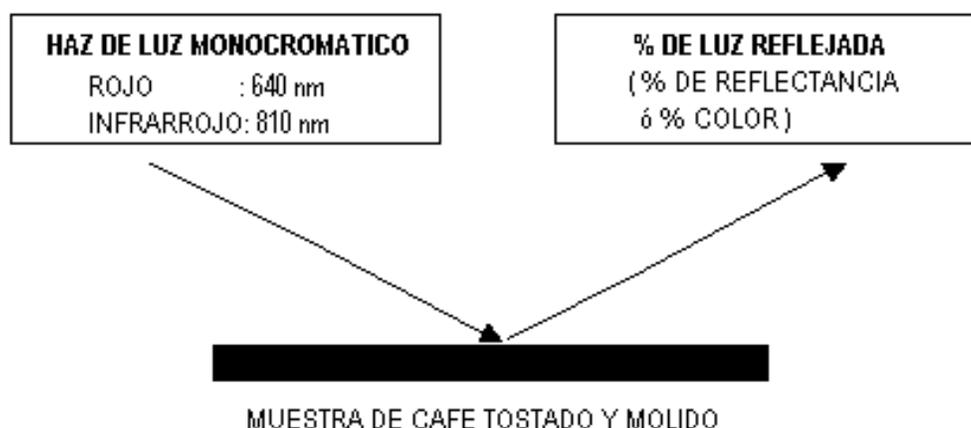
experiencia conoce el grado de tosti3n esperado, pero esta observaci3n no es la m3s precisa del color.

El segundo m3todo es con m3todos de desarrollo tecnol3gico representado en instrumentos que calculan de una manera exacta el color, es decir los color3metros.

Estos instrumentos al medir el grado de tostaci3n garantizan un control de calidad del caf3 tostado y molido que cumpla con la norma ICONTEC 3534. CAF3 TOSTADO Y MOLIDO.

13

FIGURA 9 PRINCIPIO PARA MEDICI3N DEL GRADO DE TOSTACI3N DEL CAF3 POR INFRAROJO



Fuente: Ingeniero Diego Vargas, Gerente General Quantik Ltda.

4.10.7 COLOR3METROS EXISTENTES EN EL MERCADO COLOMBIANO

En Colombia los color3metros que generalmente se utilizan para realizar el control de calidad del caf3 tostado y molido son los siguientes¹⁴:

Quantik[®] de fabricaci3n Colombiana, el cual trabaja con haz monocrom3tico en el infrarrojo a 810 nm para el caf3, cuenta con dos discos de calibraci3n uno negro y uno rojo. Este color3metro est3 patronado con muestras medidas en un color3metro Hunter-Lab de la FNC (Federaci3n Nacional de Caf3teros). Cabe aclarar que el color3metro Quantik tiene su propia escala (Uq), la cual tiene sus respectivos equivalentes a las escalas del color3metro Agrtron, Hunter-Lab (L*) y la carta Agrtron (Anexo A).

¹³ Documentos Investigaci3n Quantik Ltda.

¹⁴ FEDERACI3N NACIONAL DE CAF3TEROS DE COLOMBIA. Vadem3cum del tostador colombiano. Bogot3, 1990.

FIGURA 10 COLORÍMETRO QUANTIK



Fuente: Las autoras

Agtron[®] de fabricación Americana, trabaja en el rango de espectro visible de 640 nm para el café para los modelos (M500A, M31A/M40A, M30A/M40A), cuenta con discos de color, numerados desde 00 hasta 100 para calibración, en el caso para el café son comunes las calibraciones con los discos 05/24 y también 02/16. La referencia E10 incluye características como auto calibración, lectura permanente, tiempo de respuesta rápido, comunicación RS232.

FIGURA 11 COLORÍMETRO E20-CP ANALIZAR



Fuente: <http://www.agtron.net/Products.html>

Neuhaus[®] COLORTEST 2 de fabricación Alemana y trabajan con haz monocromático en el infrarrojo de semiconductores y una fuente mide la luz reflejada de la muestra, cuenta con dos discos de calibración.

FIGURA 12 COLORÍMETRO NEUHAUS



Fuente: <http://www.neuhaus-neotec.de/kaffee/de/produkte/qualitaetskontrolle/>

Hunter lab The ColorFlex EZ Espectrofotómetro de mesón para la medición de color en geometría 45/0 con área de medición de una (1) pulgada (25 mm).

FIGURA 13 COLORÍMETRO HUNTER LAB



Fuente: http://www.hunterlab.com/files/uploads/ColorFlexEZ_Brochure.pdf

4.11 LABVIEW

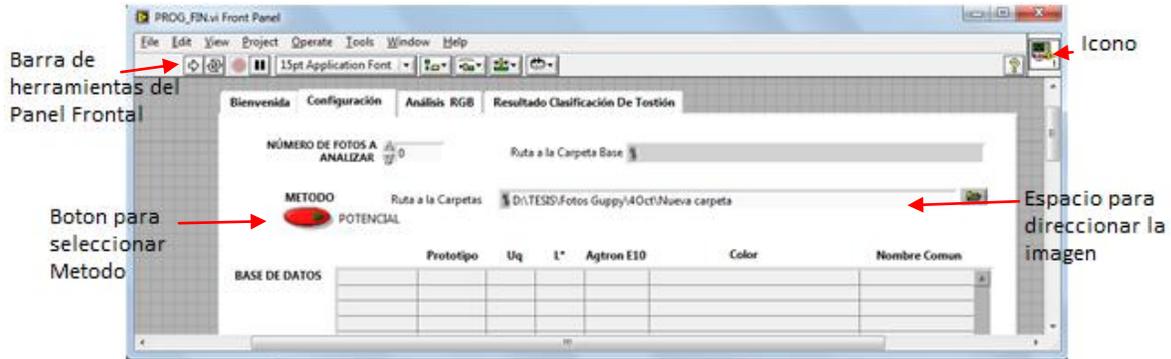
El software Labview es un entorno gráfico de programación que se utiliza para desarrollar sistemas de medición, pruebas y control, íconos gráficos e intuitivos, que parecen un diagrama de flujo.¹⁵

Los programas desarrollados en Labview se denominan Instrumentos Virtuales (VIs) y está compuesto de tres partes:

¹⁵ www.ni.com/labview/esa

- Panel Frontal: Como el usuario interactúa con el Vis, en el se visualizan las entradas, salidas, controles e indicadores
- Icono/ conector: Medios para conectar un Vis con otros Vis [39]

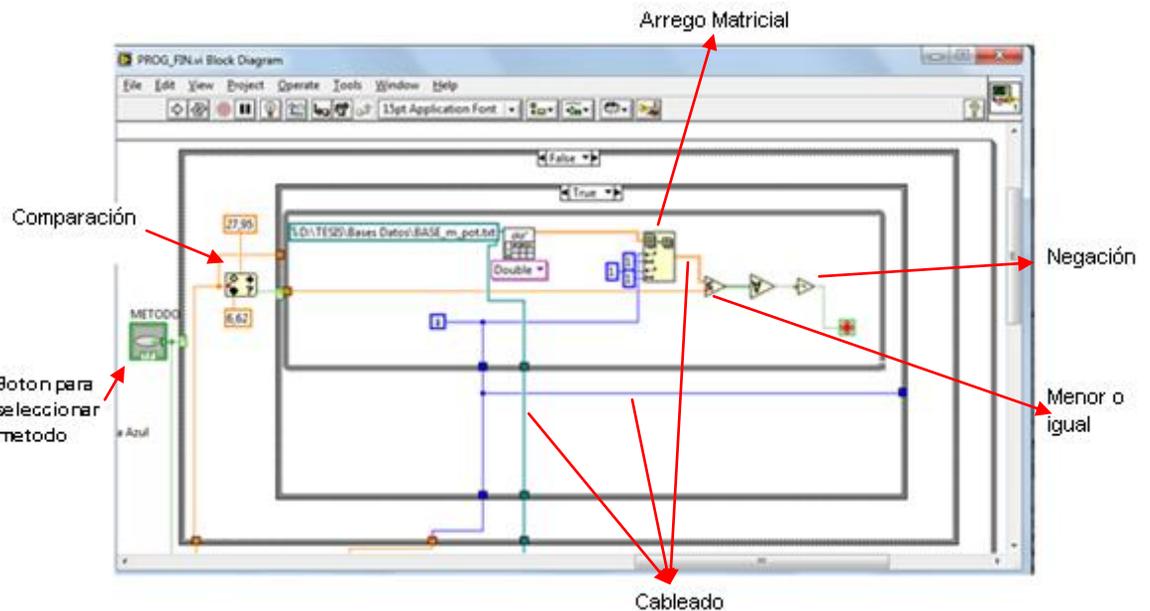
FIGURA 14 PANEL FRONTAL E ICONO DE LABVIEW



Fuente: Las Autoras

- Diagrama de bloque: Contiene el código fuente gráfico del programa

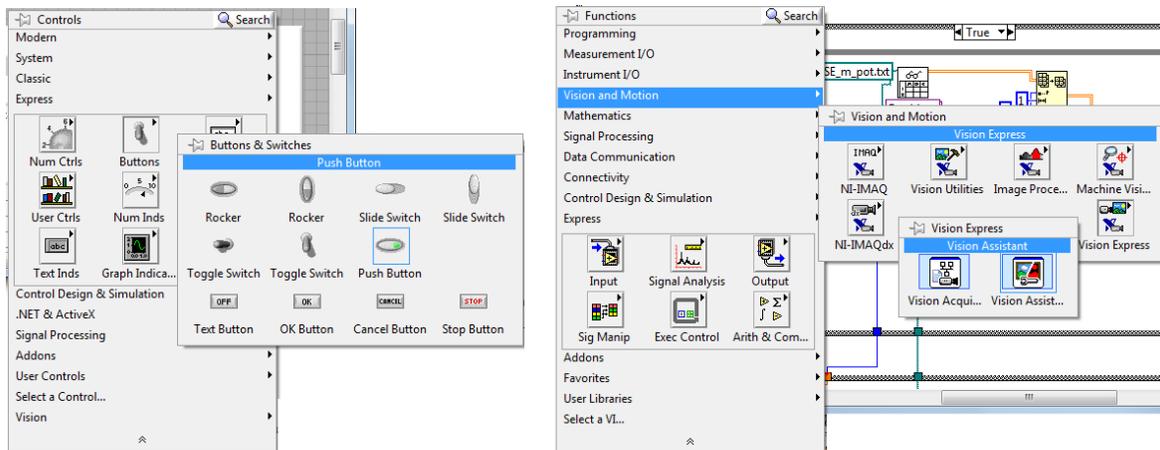
FIGURA 15 DIAGRAMA DE BLOQUES LABVIEW



Fuente: Las Autoras

La paleta de controles se visualiza en el panel frontal y la de funciones en el diagrama de bloques.

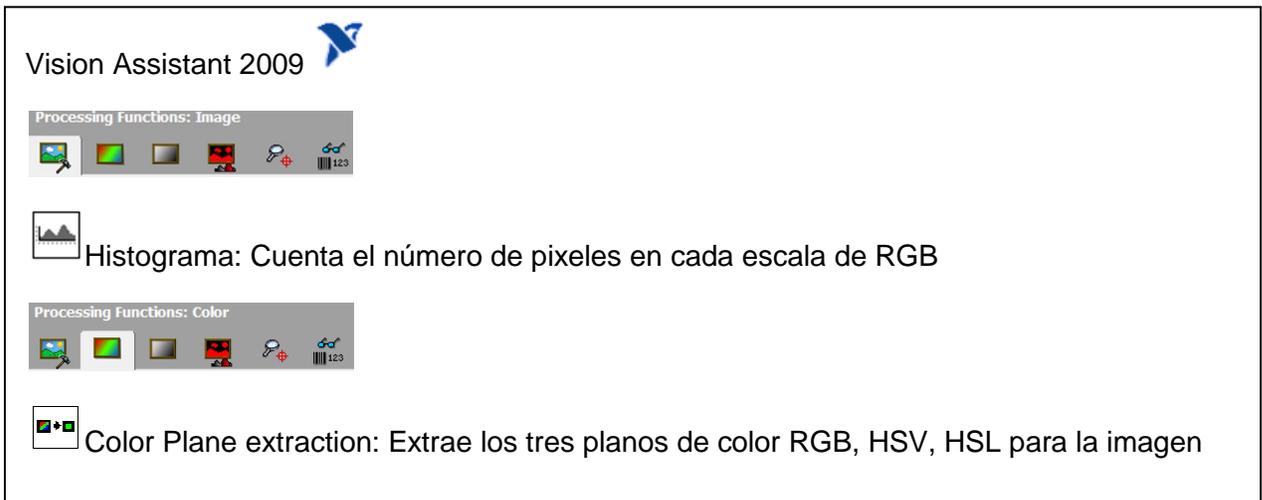
FIGURA 16 PALETA DE CONTROLES



Fuente: Las Autoras

Labview cuenta con varios módulos para trabajar en diferentes casos, pero para el caso de visión artificial cuenta con el módulo de *NI Vision Development*, el cual es una biblioteca que cuenta con una gran número de algoritmos para el procesamiento de imágenes y funciones de Visión artificial, con este módulo se puede mejorar la imágenes, comprobar la presencia de elementos, encontrar características. [39]

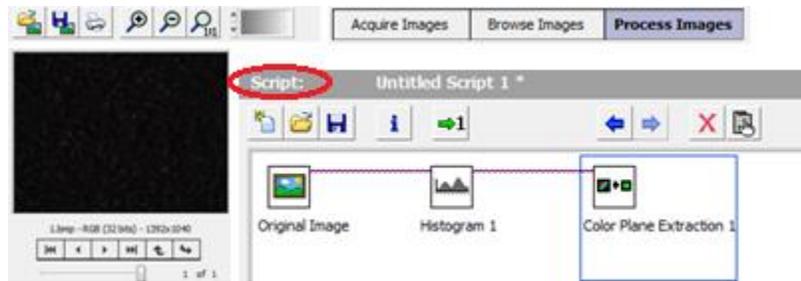
FIGURA 17 FUNCIONES UTILIZADAS DEL MÓDULO DE NI VISION DEVELOPMENT



Fuente: Las Autoras

El Script es donde se crea la secuencia de pasos para tratar la imagen.

FIGURA 18 SECUENCIA DE PASOS PARA TRATAR LA IMAGEN.



Fuente: Las Autoras

5 METODOLOGÍA

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE CONTROL DE CALIDAD (QC)

La estación de calidad se diseñó con el objetivo de ser una extensión del Centro Integrado de Manufactura (Sistema de manufactura flexible); está fabricada en perfil de aluminio extruido de 4,5 x 4,5 cm, y cuenta con una mesa y un soporte en forma de marco el cual permite colocar un travesaño por medio de ángulos rectos, en éste se acopla la cámara; la estación se encuentra ubicada en el CTAI en la sala CNC

El sistema de iluminación de la estación consta de 4 lámparas de halógeno que tienen un selector de potencia de salida de dos posiciones de 75W y de 150W, las cuales están ubicadas de la siguiente manera: dos en la parte superior y dos en los laterales (figura 14). Sobre la mesa se encuentra una placa de acero 10/20 (Plataforma), esta tiene rectificadas sus dos caras y cuenta con 4 bases de lámina de perfilería. Es importante decir que esta placa está nivelada en los ejes x, y y z. con respecto a la mesa y a los perfiles laterales. [36]

FIGURA 19 ESTACIÓN DE CALIDAD QC



Fuente: Las Autoras

5.2 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Los pasos propuestos a seguir fueron los siguientes:

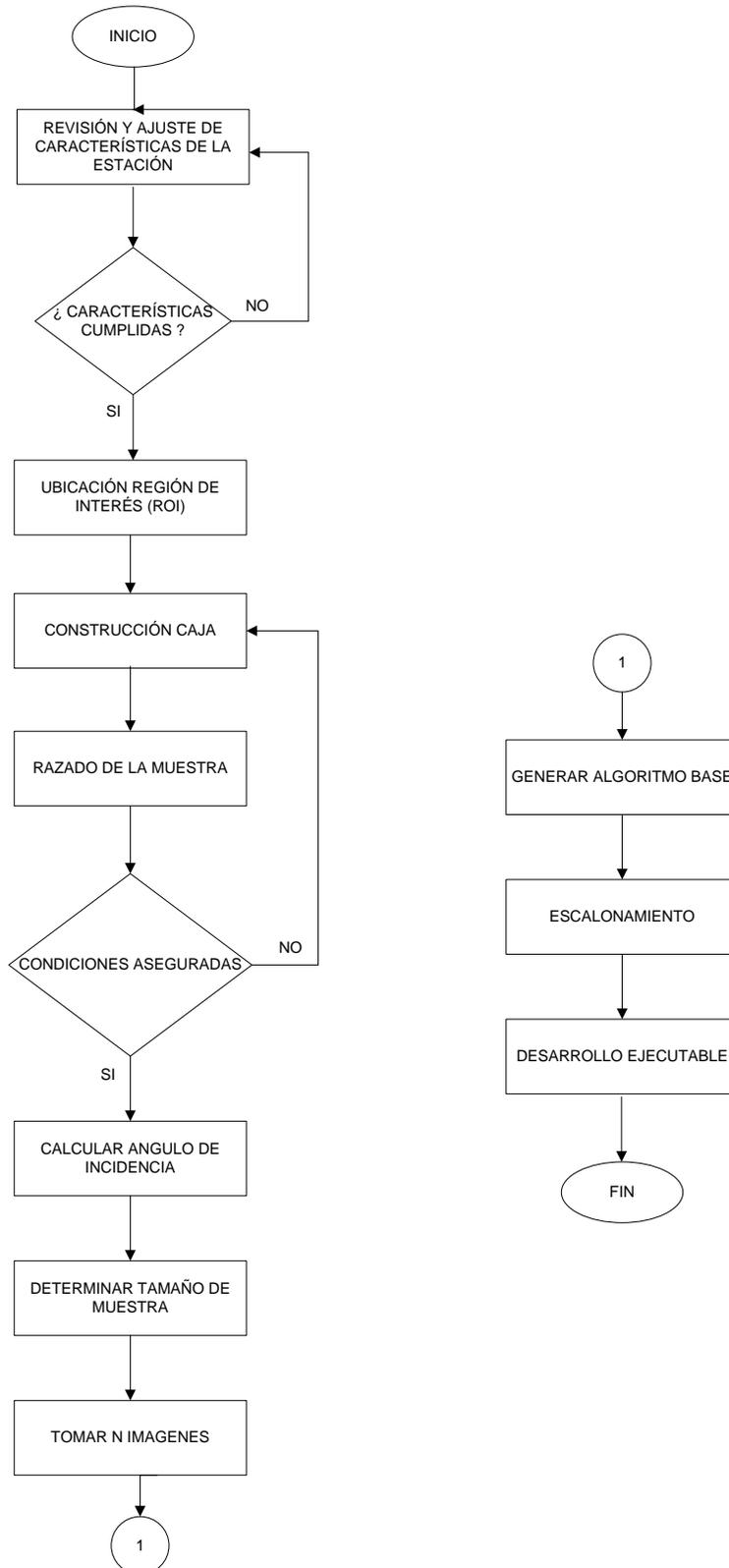
- Evaluación de las condiciones físicas y estructurales actuales de la estación de calidad.
- De ser necesario, realizar los ajustes a la estación para adaptarla a las condiciones óptimas para el estudio.
- Ubicar el área de enfoque de la cámara (Región de Interés “ROI”) sobre la plataforma y dibujar el centro y la ubicación de la caja de Petri.
- Fotografió la carta Agrtron como patrón.
- Capturar una imagen del modelo (muestra).
- Desarrollo del Vi en Labview que permita almacenar datos cuantitativos de los resultados.
- Realizar pruebas de (Repetibilidad, reproducibilidad, exactitud y Consistencia)
- Determinar el porcentaje de error.
- Determinar costos del prototipo

FIGURA 20 ESQUEMA DEL PROCESO DEL PROTOTIPO



Fuente: Las Autoras

DIAGRAMA DE FLUJO METODOLOGÍA



Siguiendo los pasos anteriormente nombrados, se revisaron:

- Conexiones eléctricas
- Estado de las lámparas
- Estado de la plataforma
- Condiciones de velocidad del Computador
- Comunicación de la cámara con el computador
- Instalación del paquete completo de visión de Labview

Ya evaluados los aspectos anteriores, se realizaron las adecuaciones y revisiones a la estación de calidad con el objetivo de reacondicionarla para el desarrollo del prototipo; las cuales consistieron en:

- Colocar una nueva cubierta de acetato sobre la plataforma de acero, ya que este material cuenta con una superficie opaca, y por su color negro no refleja la luz, puesto que la cubierta anterior ya se encontraba deteriorada.
- Se confirmó que la superficie estuviera paralela en sus caras con el travesaño y los perfiles, éstas ubicaciones se hicieron con un nivel de mano pequeño.
- Se aislo las conexiones y se instaló un switch para evitar la conexión y desconexión desde la toma eléctrica.
- El computador de la estación presentaba un desempeño lento pues demoraba 2 minutos para ejecutar Labview debido a que contaba solo con 512 mb de memoria por lo que se le instalo una memoria adicional de 512 mb con la cual su tiempo de ejecución disminuyo a 25 segundos.
- Se intentó comunicar la cámara con Labview para adquirir las imágenes con ayuda del bloque de adquisición de imagen, entonces se descargaron los drivers para Windows de la página del fabricante Allied Vision Technologies y se instaló el ejecutable AVT FirePackage_3_0 el cual instala el driver de IEEE1394 compatible con la sdk del fabricante, el cual permitió que la cámara transmitiera imágenes al computador con una ventana donde se podían capturar imágenes, pero con Labview sólo se logró obtener imágenes en un tono verde, estas imágenes eran reconocidas por Labview como tipo RGB, por lo que se contactó a NI y se comentó

el inconveniente, y como respuesta obtuvimos que Labview no soportaba la cámara.

En vista de éste inconveniente, se adquirieron las imágenes por medio de la aplicación GrabDemo, se almacenaron y se trabajaron individualmente para hacer su respectivo análisis, para lo cual se tuvo en cuenta, guardarlas en carpetas separadas por tipo de café y que cada fotografía dentro de la carpeta fuera enumerada desde 1 hasta n, aumentando de 1 en 1; en GrabDemo se configuraron los siguientes parámetros para la calibración (Figura 21), se puede decir que, esta calibración se hizo seleccionando el automático de cada parámetro y por apreciación visual. (Anexo B)

DIAGRAMA DE FLUJO ALMACENAMIENTO IMAGEN

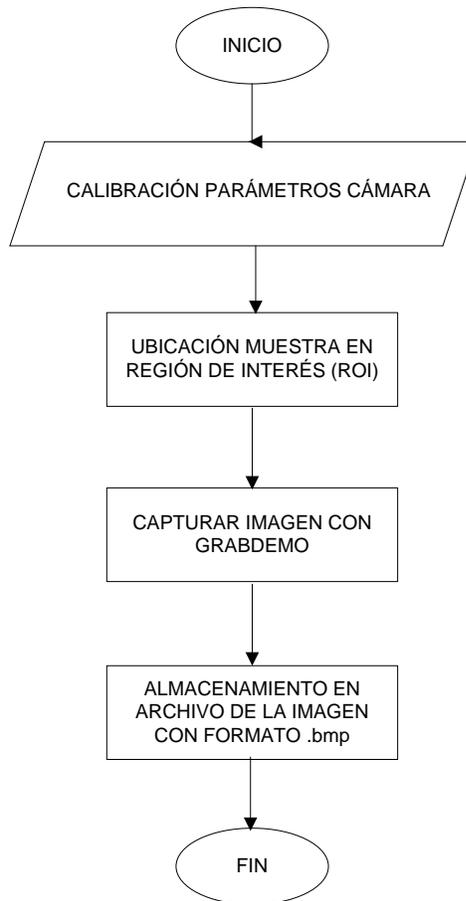
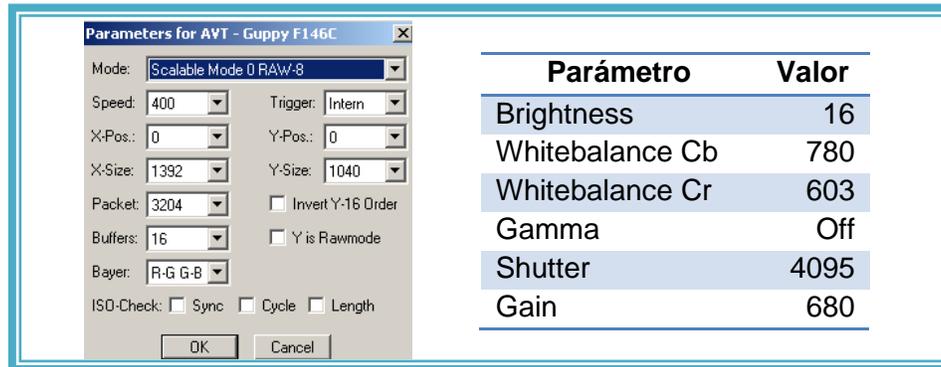


FIGURA 21 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS CÁMARA EN GABDEMO



Parámetro	Valor
Brightness	16
Whitebalance Cb	780
Whitebalance Cr	603
Gamma	Off
Shutter	4095
Gain	680

Fuente: Las Autoras

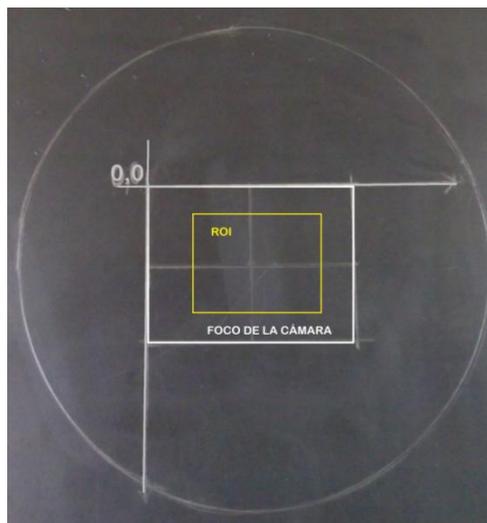
- Para facilidad de la ubicación de la caja de petri para las respectivas fotografías, se señaló en la plataforma el foco de la cámara con las siguientes medidas como se ve en la Figura 21:

Área de la superficie de la caja de Petri = 28cm^2 aprox.

Área de Región de Interés (ROI) $4\text{ cm} \times 3\text{ cm} = 12\text{ cm}^2$

La ROI es delimitada por las siguientes coordenadas en pixeles $x1=0$; $x2=1392$; $y1=0$; $y2=1040$ y se ubica en el centro de la imagen.

FIGURA 22 UBICACIÓN DE LA MUESTRA, FOCO DE LA CÁMARA Y ROI



Fuente: Las Autoras

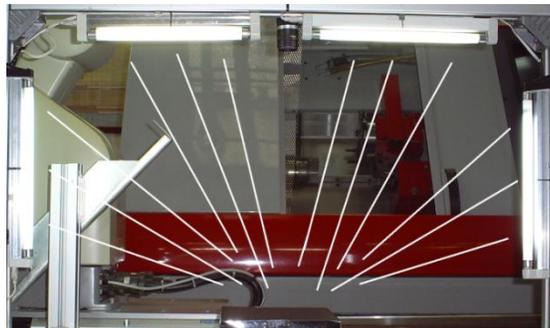
5.3 CONDICIONES

5.3.1 ILUMINACIÓN

La estación cuenta con un sistema de iluminación incandescente ya que los bombillos son halógenos, cuyas ventajas son: ser de bajo costo, de fácil instalación, frecuencia e intensidad de luz constante y además se consigue luz similar a la natural. Como desventaja se puede decir que su vida útil depende de las condiciones de trabajo, pues se estima entre 1000 a 2000 horas, el consumo es mayor que el flujo luminoso que entregan, pues hay pérdidas de calor.¹⁶

La ubicación de las lámparas referencia una iluminación axial difusa, la cual se utiliza para todos los tipos de objetos sin importar si su superficie es mate o brillante; además se requiere proporcionar una luz difusa y uniforme, la cual es emitida por las de halógeno (Figura 23).

FIGURA 23. ILUMINACIÓN AXIAL DIFUSA



Fuente: Las Autoras

Para poder constatar que la luz que incidía sobre la placa era constante durante el transcurrir del día se realizaron mediciones de luz con un luxómetro **EXTECH Instruments 407026**, como resultado se obtuvo que la luz no se mantenía constante como se observa en los datos de la (Tabla 4); pues variaba dependiendo del estado climático del día, la hora y si alguna persona se ubicaba cerca a la estación el nivel de luz disminuía.

¹⁶ Datos proporcionados por el Ingeniero Electrónico Sergio González, Docente de la materia Manufactura Flexible y del Técnico Ray Bello encargado de compras del CTAI

TABLA 4. CANTIDAD DE LUZ DURANTE VARIOS DÍAS SOBRE LA PLATAFORMA

Fecha	Hora	Condiciones	Parámetros	
L-Lux				
22/09/2010	2:45pm	Luz ambiente	177	Día nublado y lluvioso
22/09/2010	4:50pm	Luz ambiente	153	Día nublado y lluvioso
22/09/2010	6:50pm	Luz ambiente	184	Día nublado y lluvioso
23/09/2010	8:30a.m.	Luz ambiente	223	Día Soleado
23/09/2010	1:30p.m.	Luz ambiente	216	Día Soleado
23/09/2010	2:40p.m.	Luz ambiente	219	Día Soleado
24/09/2010	8:35a.m.	Luz ambiente	233	Día Soleado
24/09/2010	2:40p.m.	Luz ambiente	186	Día nublado y lluvioso
25/09/2010	10:40a.m.	Luz ambiente	246	Día Soleado
25/09/2010	12:40a.m.	Luz ambiente	233	Día Soleado

Fuente: Las Autoras

En vista de que la luz no era constante y se presentaban variaciones se decidió construir una caja para aislar el sistema de la luz exterior, para la construcción de ésta se utilizó laminas de fibra de media densidad de aglomerado (Medium Density Fiberboard “MDF”) de 5.5 mm, dos bisagras, colbón para madera y cinta aislante, la caja cuenta con una puerta para permitir el ingreso y la extracción de la muestra del sistema, las características de la caja se pueden ver mejor en el (Anexo C).

Ya con la caja aislando la luz externa se midió nuevamente con el luxómetro la cantidad de luz dentro de la caja y dio como resultado 0 Lux, lo que indicaba que no ingresaba luz externa al sistema; posteriormente, se midió de nuevo la luz, pero con las 4 lámparas encendidas, el valor obtenido en todas las mediciones a lo largo del día fue de 650 a 652 Luxes, logrando así tener esta variable controlada. (Tabla 5)

FIGURA 24. AMBIENTE CONTROLADO



Fuente: Las Autoras

TABLA 5. LUZ SISTEMA Y AMBIENTE

Fecha	Hora	Condiciones	Parámetros L-Lux
24/09/2010	8:35a.m.	Luz ambiente	233
		sistema 1	651
24/09/2010	2:40p.m.	Luz ambiente	186
		sistema 1	650
25/09/2010	10:40a.m.	Luz ambiente	246
		sistema 1	650
25/09/2010	12:40a.m.	Luz ambiente	233
		sistema 1	652

Fuente: Las Autoras

Una vez controladas las condiciones de iluminación, se procedió a fotografiar la carta Agtron pero se encontraron varios inconvenientes como:

Los discos tiene una superficie que refleja la luz y se detectaron dos brillos como se observa en la figura (Figura 25). Esto no permitía asegurar que la luz incidiera sobre el área homogéneamente.

FIGURA 25. FOTO DE # 45 CARTA AGTRON CON BRILLOS



Fuente: Las Autoras

Por lo tanto, fue necesario hacer nuevos cambios en la ubicación de las lámparas girándolas 90° sobre el eje x con respecto a la posición inicial. Adicionalmente, se colocó un elemento que permitió la disminución de la incidencia directa de la luz sobre la muestra, funcionando como un filtro para disminuir la intensidad de ésta, para que en el área de enfoque de la cámara se lograra que la luz llegara homogéneamente (Figura 26).

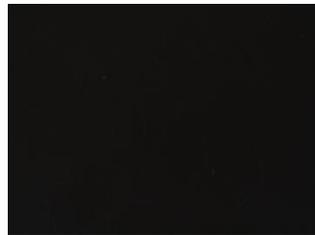
FIGURA 26. SISTEMA CON FILTROS DE PAPEL



Fuente: Las autoras

Con estos nuevos cambios, se intentó nuevamente tomar imágenes de la carta Agtron, las cuales no presentaron problemas con los brillos y la luz era homogénea en la ROI. Sin embargo, un inconveniente encontrado fue la baja iluminación que incidía sobre la imagen haciéndola muy oscura (Figura 27).

FIGURA 27. FOTO # 45 CARTA AGTRON CON SISTEMA OSCURO



Fuente: Las Autoras

Debido a esto, se procedió a realizar nuevos cambios a la estación teniendo en cuenta que éstos permitieran una iluminación que realzara el color, que no presentara brillos y que la luz fuera homogénea en el área de foco. Por lo tanto, se movió el travesaño sobre el eje Z y de esta manera disminuir la distancia entre la plataforma y el lente de la cámara, en:

ECUACIÓN 1. DISTANCIA FINAL ENTRE ELLENTE Y LA PLATAFORMA

$$\begin{aligned} & \textit{Distancia inicial} - \textit{distancia movida} = \textit{Distancia Final} \\ & 36\textit{cm} - 9,5\textit{cm} = 25,5\textit{cm} \end{aligned}$$

Fuente: Las autoras

En vista de las modificaciones, se niveló nuevamente la plataforma y el travesaño para así tener conocimiento de las características de la estación de calidad como se muestra en la Figura 28. Las nivelaciones se hicieron con un nivel digital marca MITUTOYO con incertidumbre de 0.01mm.

FIGURA 28. NIVELACIÓN DE LA MESA, PLATAFORMA Y TRAVESAÑO CON 0.05MM RESPECTO A LA HORIZONTAL



Fuente: Las Autoras

Después de las modificaciones se tomaron nuevas medidas de luz dentro del sistema y se presentaron los siguientes valores. (Tabla 6)

TABLA 6. LUZ SISTEMA DEFINITIVO

Fecha	Hora	Condiciones	Parámetros L-Lux
27/09/2010	6:35p.m.	sistema	434
27/09/2010	7:10p.m.	sistema	435

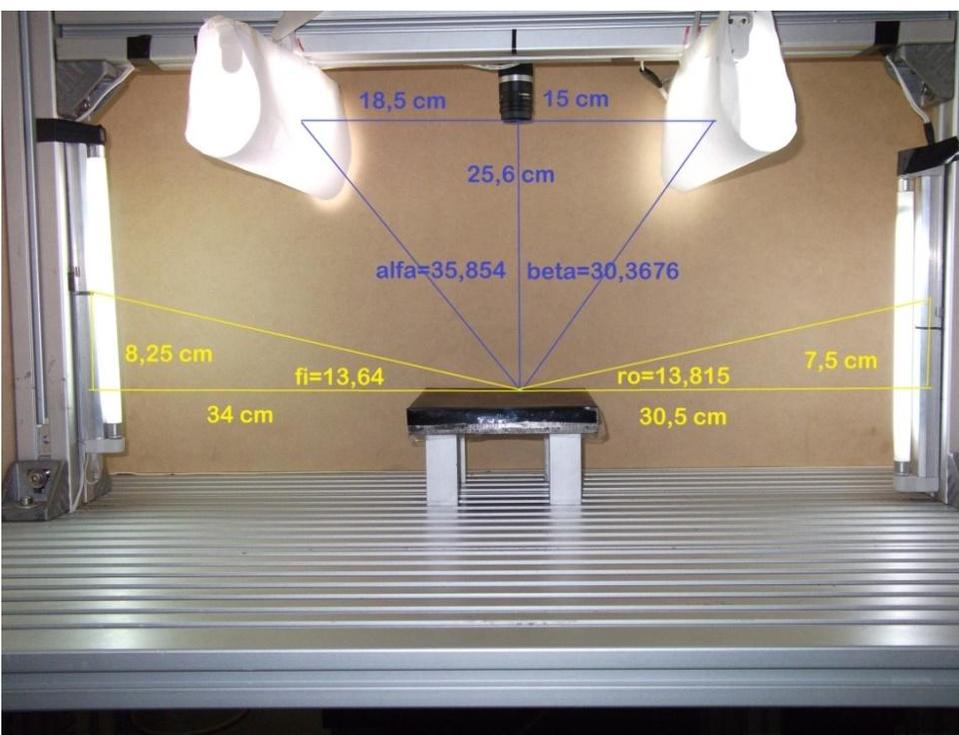
27/09/2010	8:20p.m.	sistema	434
28/09/2010	7:40a.m.	sistema	434

Fuente: Las Autoras

5.3.2 ÁNGULOS DE INCIDENCIA

Por sugerencia del Ingeniero Diego Vargas Gerente General de Quantik Ltda., se midieron los ángulos de incidencia de la luz para tener la información necesaria en caso de reproducir el prototipo (Figura 29). Los cálculos para hallar los ángulos se encuentran a continuación.

FIGURA 29. ÁNGULOS DE INCIDENCIA SISTEMA DEFINITIVO



Fuente: Las Autoras

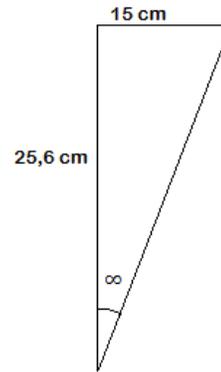
Cálculos de ángulos de Inferencia

- **Alfa**

$$\tan \alpha = \frac{Co}{Ca}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{15cm}{25,6cm}$$

$$\alpha = 30,3676$$

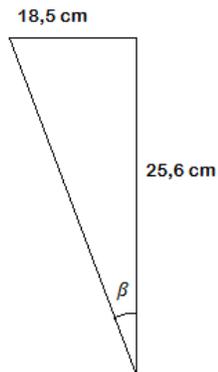


- **Beta**

$$\tan \beta = \frac{Co}{Ca}$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{18,5cm}{25,6cm}$$

$$\beta = 35,854$$

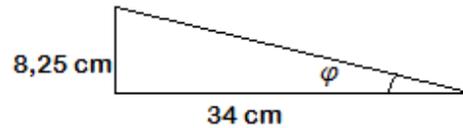


- **Fi**

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{Co}{Ca}$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{8,25cm}{34cm}$$

$$\varphi = 13,64$$

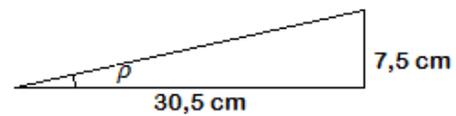


- **Ro**

$$\tan \rho = \frac{Co}{Ca}$$

$$\rho = \tan^{-1} \frac{7,5cm}{30,5}$$

$$\rho = 13,815$$



Finalmente, se cumplieron las condiciones de iluminación, y se decidió no patronar el sistema definitivo, el cual a partir de ahora será llamado Sistema en el documento, con la carta Agtron, puesto que el colorímetro mide los rayos infra rojos que son reflectados en la superficie y al medir los discos en el colorímetro no darían un valor referente para comparar contra una muestra de café. De acuerdo a esto, se decidió patronar el prototipo con muestras de café tostado y molido medidas en el colorímetro QuantiK Digital IR-800.

5.3.3 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras de café para la adquisición de imágenes se obtuvieron gracias a la colaboración de Grupo café y Quantik Ltda. para obtener diferentes grados de tuestión y luego ser medidas en el colorímetro QuantiK Digital 800.

Para las mediciones y toma de imágenes se agregó café tostado y molido a la caja de Petri y se movió de tal manera que el café se organizara y generara una superficie relativamente plana; visualmente se notó que se presentaban zanjas y grumos que creaban ciertas sombras, por tal motivo, se diseñó y construyó un rizador para que la superficie de la muestra quedara homogénea el proceso de dejar la superficie plana al pasarla por el rizador se denomina rizar, y de esta manera se controló la variable homogeneidad de la superficie. Las características del rizador se encuentran en el (Anexo D).

FIGURA 30. RASADO DE LA SUPERFICIE



Fuente: Las Autoras

Para confirmar que efectivamente las variables debían ser controladas, se tomaron fotografías de la muestra de café m12 bajo las siguientes condiciones. (Tabla 7)

TABLA 7. CONDICIONES

Fecha Septiembre 28	Día nublado y lluvioso	Hora 8: 20 pm
Luz ambiente 177 lux	Ambiente + Luz 405 lux	Sistema 434
#	CONDICIONES	
1	Rasada dentro del sistema	
2	Sin rasar dentro del sistema	
3	Rasada con luz ambiente + iluminación	
4	Sin rasarla, con luz ambiente + iluminación	
5	Rasada, con luz ambiente	
6	Sin rasar, con luz ambiente	

Fuente: Las Autoras

Posteriormente, a las 6 imágenes obtenidas se les realizó un histograma, los cuales se compararon entre sí, donde gráficamente era evidente que no se presentaba el mismo comportamiento. Adicionalmente, el valor medio de las matrices RGB fue un parámetro que se comparó, y como era de esperarse éstos no coincidieron en las diferentes imágenes a pesar de ser la misma muestra (Figura 31).

En los tres primeros casos, la variación es poca en el color rojo, por lo que se podría pensar que no es importante mantener las condiciones controladas pero la diferencia aumenta en el color verde y en el azul, lo que demuestra que la cantidad de verde y azul en la imagen disminuye por las condiciones de luz y de homogeneidad en la superficie de la muestra; en los tres siguientes casos las variaciones de los valores medios entre los RGB tienen una gran diferencia entre ellos.

FIGURA 31 RESULTADOS DE LA MUESTRA DE CAFÉ M12 EN DIFERENTES CONDICIONES



Fuente: Las Autoras

5.4 MODELOS DE COLOR

Antes de empezar a programar en Lab View se pensó en cuál sería el mejor método para lograr que el sistema clasifique.

El éxito de la clasificación del café depende de escoger apropiadamente las características, que son los rasgos que se van a extraer, para este caso, se escogió la característica interna del color (propiedades de los pixeles), la otra característica interna es textura pero como en nuestro caso no es relevante entonces no se tendrá en cuenta y sólo se usará como característica el color ya que la selección de las características dependen de la naturaleza del problema en particular.

Para caracterizar el color del café tostado y molido se debe analizar las componentes de los diferentes modelos de color en cada pixel, los modelos de color como se menciono en el capítulo 4 son el RGB (Red GreenBlue) en el cual cada color se divide en sus componentes espectrales primarios rojo, verde, azul y el HSI (Hue Saturation Intensity) es la componente que describe un color puro y la saturación, HSL (Hue Saturation Luminance), HSV (Hue Saturation Value)

Las características que permiten definir el color son variables estadísticas (promedio y varianza) para cada modelo de color, y deben poder permitir separar entre clases, tener una baja dispersión (desviación estándar baja) y la correlación que tenga la característica sea cercana a 1.

Para el proceso de clasificación se tomo como guía las tablas de equivalencias las cuales ya contienen las diferentes clases y los valores atribuidos a éstas en la escala Uq y su equivalencia con otros colorímetros.

Teniendo en cuenta lo anterior se tomaron 7 fotografías de 7 muestras diferentes y se les halló histogramas por HSI, HSL, HSV y RGB, para los cuales se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 8)

TABLA 8 DATOS DE HISTOGRAMAS DE HSI, HSL, HSV Y RGB

HSI		1Q	m13	m19	m21	m20	m3
Hue	Media	250,789756	75,4919374	76,166221	88,5714636	144,483956	112,079589
	S. D.	43,8807673	44,9582089	48,757494	56,136151	59,9573524	60,4715831
Saturation	Media	41,028365	43,436221	51,6231336	49,6831399	45,0981119	20,6214407
	S. D.	25,4494491	28,0344203	30,8534586	30,1986679	29,199585	13,5128823
Intensity	Media	79,2857143	44,2857143	6	0,57142857	9,14285714	24859,5714
	S. D.	585,428571	199,857143	8,85714286	1,57142857	16,2857143	35814,2857

HSL		1Q	m13	m19	m21	m20	m3
Hue	Media	247,38988	180,521897	73,0982857	120,658935	204,796146	212,745478
	S. D.	46,918252	44,5904079	42,1141527	59,0453546	61,1328451	63,4286249
Saturation	Media	40,7965526	43,4662201	54,6417809	48,0755203	44,1429287	21,3199767
	S. D.	27,7025639	29,370506	33,6250286	29,9607749	30,4097906	14,821361
Luminance	Media	12,7454496	1025,57143	23,7142857	3,28571429	57,8571429	31556,7143
	S. D.	2,61024329	7465,85714	259,285714	23,1428571	520,428571	41109,2857

HSV		1Q	m13	m19	m21	m20	m3
Hue	Media	144,556928	75,2449254	75,2449254	38,3814976	126,907323	126,907323
	S. D.	48,4893919	46,0360309	46,0360309	48,0452406	53,9683417	53,9683417
Saturation	Media	39,5424634	42,4687991	42,4687991	52,5889063	49,3795923	49,3795923
	S. D.	25,640032	27,4319619	27,4319619	31,2665854	30,1036334	30,1036334
Value	Media	142,857143	43,7142857	43,7142857	0,42857143	6,57142857	6,57142857
	S. D.	886,428571	193,857143	193,857143	0,42857143	16,1428571	16,1428571

RGB		1Q	m13	m19	m21	m20	m3
Rojo	Media	14,0664788	12,3990258	8,83892057	7,80584636	8,92949076	37,3681681
	S. D.	2,9393666	2,8408576	2,27507929	2,02558793	2,2556331	9,04959676
Verde	Media	12,2117757	10,8184698	7,92615744	7,19484756	8,26266168	35,7241909
	S. D.	2,56991557	2,47110647	1,86599169	1,60732378	1,94936168	9,70289936
Blue	Media	12,2468766	10,0053425	7,73253675	6,92815844	8,06896147	35,0741364
	S. D.	3,82757143	3,22926153	2,63548394	2,28233928	2,71846384	10,3495542

Fuente: Las Autoras

De los datos obtenidos en la tabla 8 se puede concluir que los modelos HSI, HSL y HSV tiene una desviación mayor respecto a la desviación que muestran los datos del modelo RGB por lo que se decidió trabajar con éste, ya que la variación de los datos es menor.

5.5 TAMAÑO DE LA MUESTRA

Nuestra población objetivo se definió como muestras de café tostado y molido con tonos similares y contenidos en los 9 tonos de la carta Agtron, luego se realizó un muestreo aleatorio simple de diferentes muestras de café, es decir, con grados de tosti3n diferentes; durante varios intentos de tosti3n se obtuvieron 7 diferentes colores, de los 9 determinados por la carta Agtron ya que la tosti3n se realizó en tostadoras de laboratorio de fabricaci3n colombiana no pueden programarse para lograr cambios m3nimos de temperatura y lograr tonos espec3ficos, los dos que no se lograron obtener fueron caf3 medio claro y caf3 oscuro los cuales no est3n sombreados en la (Tabla 9).

TABLA 9 TONOS DE LA CARTA AGTRON

Café Claro
Café moderadamente Claro
Café medio Claro
Café medio
Café medio Oscuro
Café moderadamente Oscuro
Café Oscuro
Café muy oscuro
Café muy oscuro cercano a negro

Fuente: Las Autoras

Después de obtener las muestras se midieron en el colorímetro Quantik Digital 800 catorce veces cada una para asegurar que éstas eran homogéneas, teniendo en cuenta calibrarlo cada 2 mediciones, puesto que se detectó que el colorímetro después de algunas mediciones se descalibraba, luego las muestras se empacaron en bolsas ziplo y se guardaron en una caja para evitar que el contacto con el oxígeno y la luz natural modificaran su color.

De las mediciones realizadas se obtuvo el promedio de cada tipo de café, siendo este el valor del U_q que tomamos para realizar las fichas técnicas (Anexo E) las cuales se realizaron para conocer las características de las muestras, que fueron los patrones para el prototipo

Como las muestras obtenidas debían ser fotografiadas varias veces para determinar los valores medios a partir de la imagen que serian asignados al valor obtenido (u_q) con el colorímetro Quantik, se determinó el tamaño de la muestra o en nuestro caso el número de fotografías a tomar por cada muestra o tipo de café.

Para hallar el número de fotografías por muestra se utilizó la ecuación 2:

ECUACIÓN 2 TAMAÑO DE MUESTRA

$$n_{\infty} = \frac{\sigma_{\infty}^2 \cdot z^2}{\epsilon^2}$$

Donde n_{∞} = Tamaño de la muestra

$z = 1,96$ para el 95% de confianza.

$\sigma =$ Varianza

$\epsilon^2 =$ Error máximo de 0,05

De acuerdo a la ecuación 3 y con base a la (Tabla 10), se comprobó que el tamaño de muestra era el adecuado

ECUACIÓN 3 CONFIRMACIÓN SI EL TAMAÑO DE LA MUESTRA ES EL ADECUADO

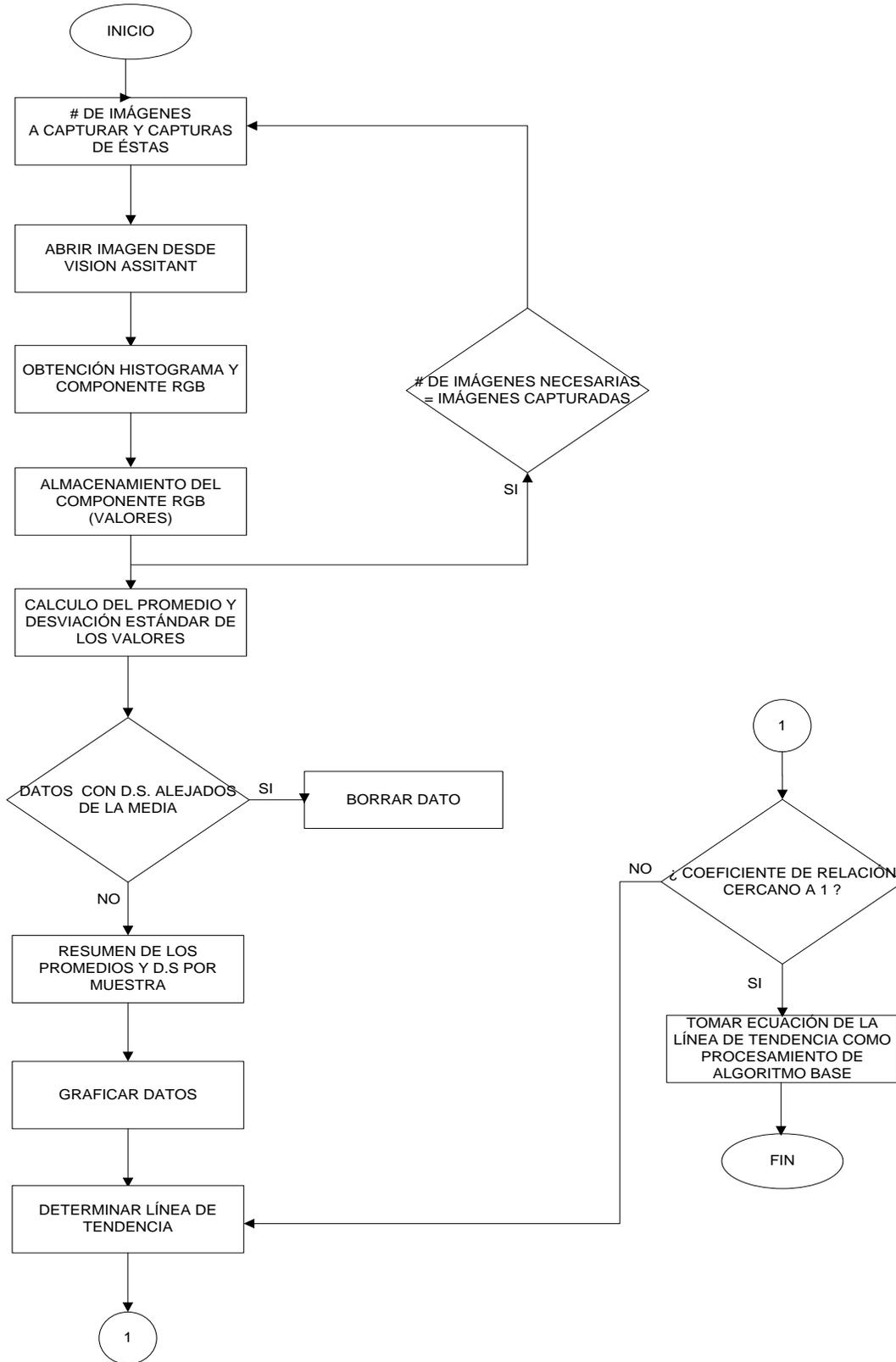
$$N \rightarrow \infty \quad n_{\alpha}(n_{\alpha} - 1)$$

TABLA 10 NÚMERO DE FOTOGRAFÍAS NECESARIAS PARA CADA MUESTRA

MUESTRA	V. Medio	Varianza	N	>	$\frac{n_{\alpha}(n_{\alpha} - 1)}{}$				
m1	48,6397	47,9623	48,9048	48,6529	48,9025	0,1487	33,9655	>	20
m3	36,7205	36,9395	36,8511	36,9102	37,7700	0,1744	46,7395	>	20
m4	20,9372	20,5401	21,4530	21,2405	20,4477	0,1886	54,6535	>	20
m5	21,2003	20,8725	20,7167	20,6646	21,5171	0,1291	25,6021	>	20
m6	17,7053	18,5477	18,8115	18,4871	18,2328	0,1750	47,0655	>	20
m7	17,2986	16,6361	16,3687	16,7999	16,7175	0,1155	20,4890	>	20
m8	13,9862	14,7492	13,9212	14,3018	14,7806	0,1658	42,2553	>	20
m9	13,9244	14,8273	14,0468	14,4768	14,5924	0,1432	31,5299	>	20
m10	13,4359	13,2804	13,0151	12,6104	12,7028	0,1272	24,8486	>	20
m11	12,7719	12,8391	13,4761	12,8708	13,6282	0,1618	40,2262	>	20
m12	11,5477	11,4709	11,2538	11,2928	12,2045	0,1471	33,2625	>	20
m13	10,8631	10,8295	11,2972	11,5157	11,5692	0,1238	23,5339	>	20
m14	12,2699	12,1491	11,6077	11,5414	12,1588	0,1174	21,1845	>	20
m15	11,2479	10,9765	11,1665	11,0416	11,9912	0,1671	42,9207	>	20
m16	9,7966	9,3027	8,9685	9,1568	8,9766	0,1159	20,6521	>	20
m17	8,9685	9,0134	9,2336	9,4797	9,7966	0,1188	21,6942	>	20
m18	7,7618	7,9978	8,7936	7,8940	7,9231	0,1691	43,9170	>	20
m19	7,8720	8,7122	7,9978	7,9287	7,8877	0,1274	24,9407	>	20
m20	8,8900	8,8674	8,1715	8,3306	8,2948	0,1163	20,7885	>	20
m21	7,4831	6,7968	7,6552	7,2674	6,8870	0,1377	29,1334	>	20
m22	6,4034	6,7477	7,3577	6,8609	6,3677	0,1620	40,3215	>	20

Fuente: Las Autoras

GENERACIÓN DEL ALGORITMO BÁSICO



Ya definido el número de fotografías por muestra se decidió tomar 50 fotos a todas las muestras. Para cada fotografía se tuvo en cuenta que la muestra debía ser revuelta y rasada previamente, para de esta manera asegurar que fuera la misma, más no exactamente igual; a continuación, por medio de *Vision Assistant* se halló el histograma de las *n* fotografías de cada muestra (Anexo F), se extrajeron a Excel los datos obtenidos, y se realizó por cada muestra una Tabla resumen, con los siguientes parámetros por capa de rojo-verde-azul (Anexo G). De los datos obtenidos, se trabajó con:

- Valor medio

Se tomaron los datos que presentaban, demasiado distantes del promedio y se eliminaron, dejando los datos necesarios para el tamaño de la muestra, que se detectó que en algunas fotos salió el borde del Petri y generaba un dato erróneo para la medición del color de café.

Posteriormente, las muestras se ordenaron de mayor a menor en una tabla por su respectivo valor en Uq, que es la escala de medición en el colorímetro Quantik, a cada muestra se le halló y asignó su valor promedio de la capa Roja, Verde y Azul respectivamente y luego se halló el valor promedio de las tres capas para cada muestra como se ve en la (Tabla 11).

TABLA 11 VALORES DE UQ Y PROMEDIO DE RGB PARA LAS MUESTRAS

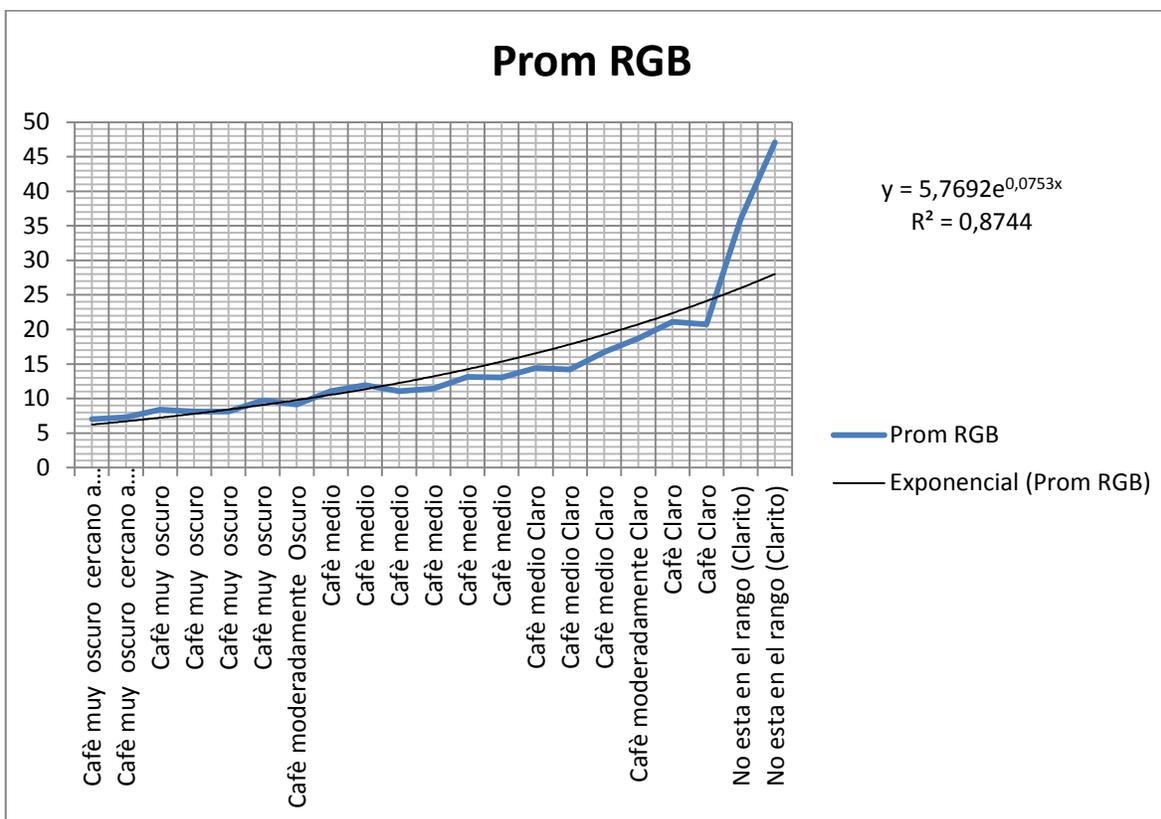
#	NOMBRE COMÚN	MUESTRA	Uq	VERDE	ROJO	AZUL	PROM RGB
1	Café muy oscuro cercano a negro	m22	-59	6,869291	5,868619	8,28135	7,00642
2	Café muy oscuro cercano a negro	m21	-94	7,194847	7,805846	6,89462	7,29843
3	Café muy oscuro	m20	-142	8,262661	8,929490	7,99733	8,39649
4	Café muy oscuro	m19	-142	7,926157	8,838920	7,59295	8,11934
5	Café muy oscuro	m18	-143	8,104869	8,171690	8,10076	8,12577
6	Café muy oscuro	m17	-162	10,221578	9,648464	9,33817	9,73607
7	Café moderadamente Oscuro	m16	-188	8,9745385	9,736082	8,66684	9,12582
8	Café medio	m15	-217	10,957189	12,092038	10,08195	11,04372
9	Café medio	m14	-223	11,922526	13,100451	10,82025	11,94774
10	Café medio	m13	-234	10,818469	12,399025	10,00326	11,07358
11	Café medio	m12	-247	11,212221	12,947090	10,13647	11,43192
12	Café medio	m11	-251	12,950017	14,666199	11,74010	13,11877
13	Café medio	m10	-252	12,996576	14,411228	11,77625	13,06135
14	Café medio Claro	m9	-257	14,500498	15,709058	13,13348	14,44767
15	Café medio Claro	m8	-258	14,22026	15,30550	13,09260	14,20611
16	Café medio Claro	m7	-268	16,62581	17,93936	15,56876	16,71131
17	Café moderadamente Claro	m6	-315	18,626659	20,159539	17,37845	18,72155
18	Café Claro	m5	-333	21,29731	22,130851	19,90258	21,11024

19	Café Claro	m4	-342	20,72951	21,942851	19,51131	20,72789
20	No está en el rango (Clarito)	m3	-375	35,724190	37,368168	34,93043	36,00759
22	No está en el rango (Clarito)	m1	-403	49,10507	49,035070	43,07439	47,07151

Fuente: Las Autoras

Los datos de la tabla 11 se graficaron, y a la línea que une éstos se le halló la línea de tendencia teniendo en cuenta seleccionar una tendencia con un coeficiente de relación R^2 cercano a 1 y su respectiva ecuación, como se ve en la (Gráfica 1).

GRÁFICA 1 PROMEDIO RGB DE LAS MUESTRAS



Fuente: Las Autora

La ecuación que se obtuvo de la gráfica 1 que será nuestro algoritmo de procesamiento básico 1:

ECUACIÓN 4 ALGORITMO DE PROCESAMIENTO BÁSICO 1

Fuente: Las Autoras

$$y = 5,7692e^{0,00753x}$$

Para obtener el X para la ecuación 4, se utilizó la ecuación 5, para escalonar.

ECUACIÓN 5 ESCALONAMIENTO

$$X = X_1 * \frac{\text{Número de muestras o tipos de café tostado y molido}}{\text{Número de datos totales}}$$

Fuente: Las Autoras

Donde:

X_1 : Posición del dato

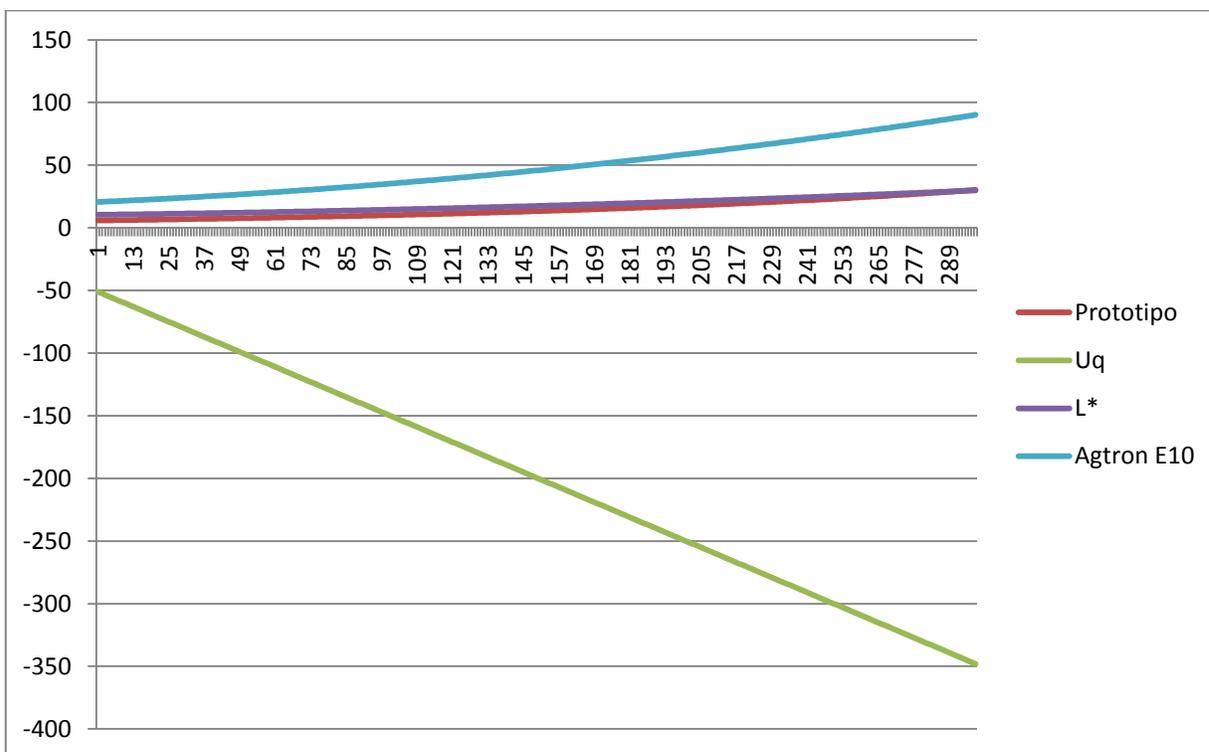
Con la ecuación 4 se halló de la columna **Prototipo (Y)** la cual contiene los valores de nuestro prototipo, luego se restó los valores en la columna **X** con la columna **muestra** y se halló el error del dato, es decir, cuan alejado está del valor real; De los 22 datos obtenidos se calculó el promedio y obtuvimos: 3,641

FIGURA 32 CÁLCULOS PARA DETERMINAR LOS VALORES DEL PROTOTIPO EN LA TABLA DE EQUIVALENCIAS

X	Prototipo (Y)	Error	TABLA DE CORRELACION Uq Y LUMINANCI					
X	muestra	Prototipo Y	Uq	L*	Agtron E10			
0,0735786	5,8012101		2	5,8012101	-51	10,38	20,60	
0,14715719	5,8333978		3	5,8333978	-52	10,41	20,71	
0,29431438	5,89830997		4	5,89830997	-53	10,44	20,82	
0,36789298	5,93103643		5	5,93103643	-54	10,47	20,92	
0,44147157	5,96394446		6	5,96394446	-55	10,50	21,03	
0,51505017	5,99703509		7	5,99703509	-56	10,53	21,14	
0,58862876	6,03030932		8	6,03030932	-57	10,56	21,25	
0,66220736	6,06376816		9	6,06376816	-58	10,59	21,35	
0,73578595	6,09741266	-0,90901	10	7,006422	6,09741266	-59	10,62	21,45
0,80936455	6,13124382		11		6,13124382	-60	10,65	21,57

Fuente: Las Autoras

GRÁFICA 2 COMPORTAMIENTO DE LOS DATOS DE Uq, L*, AGTRON Y EL PROTOTIPO EN LA TABLA DE EQUIVALENCIAS CON ECUACIÓN 4



Fuente: Las Autoras

En la (Gráfica 2) se puede observar que el prototipo tiene una tendencia similar a L* la cual es la escala del colorímetro Hunter Lab, lo que indica gráficamente que podemos obtener valores de mediciones posiblemente validos.

En busca de un coeficiente de relación (\square^2) tomamos los datos gráficos en la gráfica 1 y les hayamos la línea de tendencia y su respectiva ecuación para un \square^2 más alto como se ve en la (Gráfica 3), la cual fue:

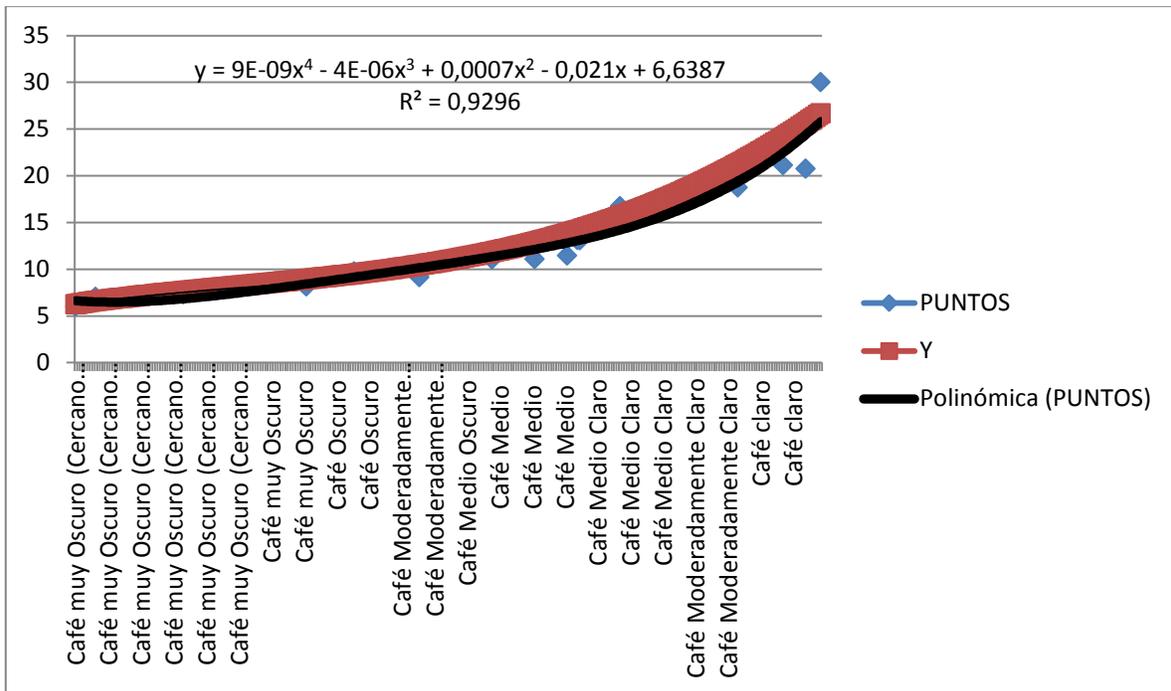
Algoritmo de procesamiento básico 2:

ECUACIÓN 6 ALGORITMO DE PROCESAMIENTO BÁSICO 2

$$y = 9 E^{-9x^4} - 4E^{-6x^3} + 0,0007x^2 - 0,021x + 6,6387$$

Fuente: Las Autoras

GRÁFICA 3. LÍNEA DE TENDENCIA CON R² = 0.9296



Fuente: Las Autoras

En la (Gráfica 3) la línea negra corresponde a la línea de tendencia (función polinómica) general de los puntos y la roja corresponde a los valores de Y encontrados reemplazando X que es resultado del escalonamiento en la ecuación 6

FIGURA 33 CÁLCULOS PARA DETERMINAR LOS VALORES DEL PROTOTIPO EN LA TABLA DE EQUIVALENCIAS CON ECUACIÓN 5

Prototipo	Uq	Ecuación polinómica	X	Prototipo	Uq	L*	Agtron E10	Color tostado	Nombre Común
6	-50	6,618396009	1	6,62	-51	10,4	20,60	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French
	-51	6,599468144	2	6,60	-52	10,4	20,71	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French
	-53	6,565646304	3	6,57	-53	10,4	20,82	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French
	-54	6,550705625	4	6,55	-54	10,5	20,92	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French
	-55	6,537047664	5	6,54	-55	10,50	21,03	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French
	-56	6,524649609	6	6,52	-56	10,5	21,14	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French
	-57	6,513488864	7	6,51	-57	10,6	21,25	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French
	-58	6,503543049	8	6,50	-58	10,6	21,35	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French
7,0064216	-59	6,49479	9	6,49	-59	10,6	21,45	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French
	-60	6,487207769	10	6,49	-60	10,7	21,57	Café muy Oscuro (Cercano a Negro)	Dark French

Fuente: Las Autoras

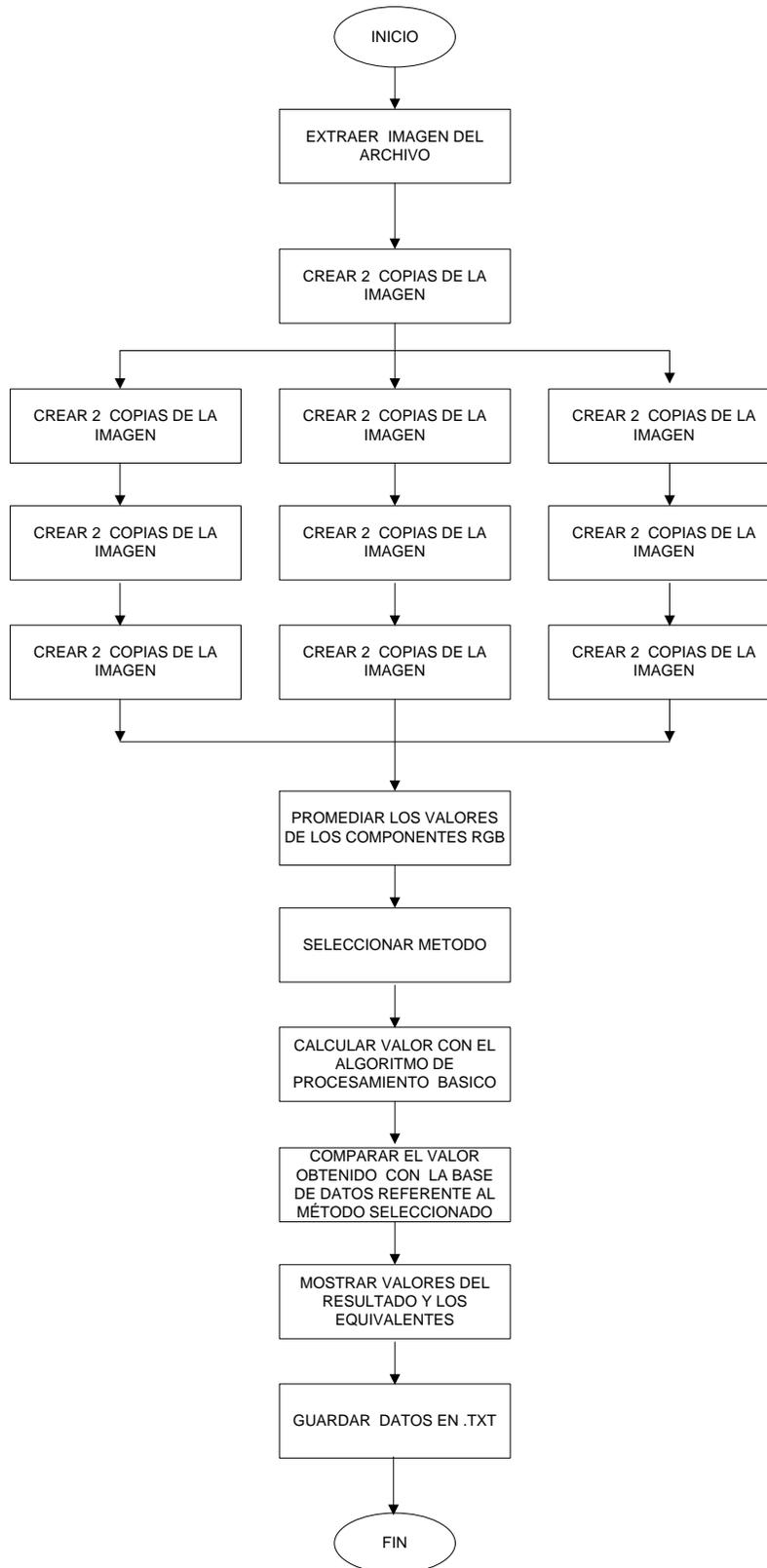
5.6 PASOS PARA DESARROLLAR EL EJECUTABLE NI VISIÓN

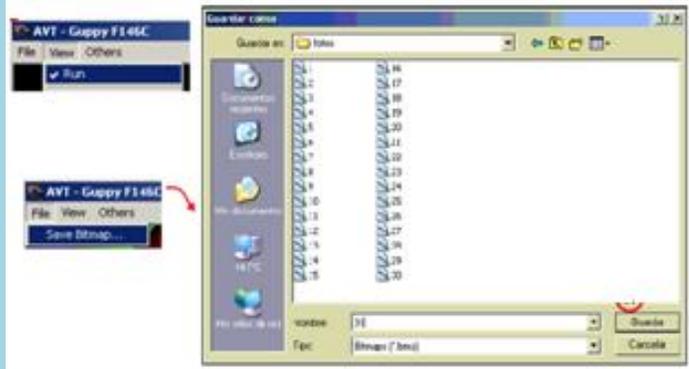
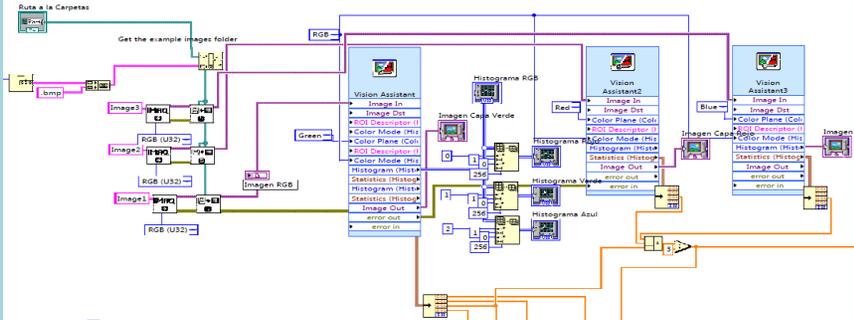
Los pasos a seguir para crear un aplicativo en NI Visión son los siguientes

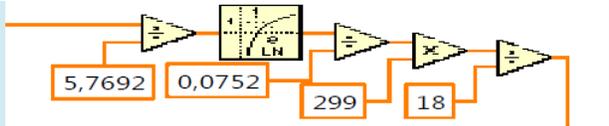
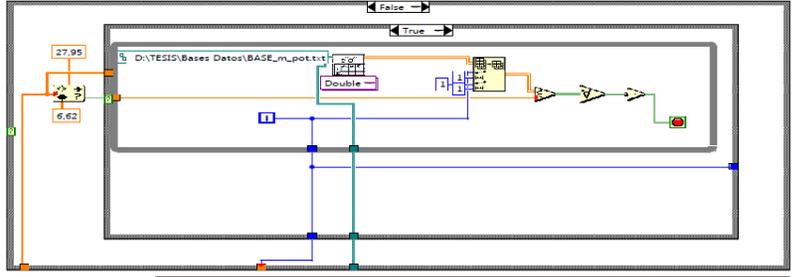
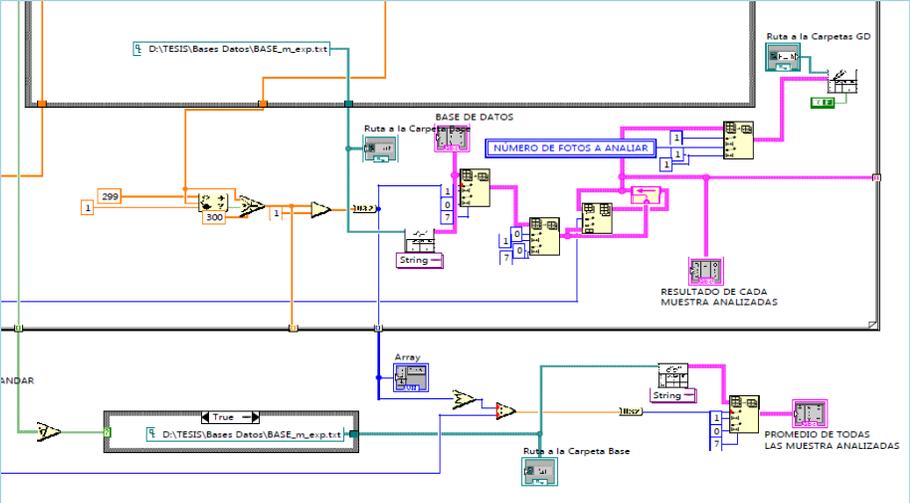
- 1- Acomodar la muestra
- 2- Tomar la foto de la muestra y guardarla
- 3- Se carga la imagen en el programa (1 muestra a la vez)
- 4- Procesamiento IMAGEN ->histograma ->Promedia
- 5- Se es caliza (0 a 299) ya sea por exponencial o polinomial
- 6- Se compara contra la base de datos correspondiente
- 7- Se obtiene un resultado (por muestra) **Se guarda en un archivo**
- 8- Se promedia los resultados de cada muestra se obtiene RESULTADO GENERAL

En el (Anexo H) podemos ver el diagrama de bloques completo en conjunto

DIAGRAMA DE FLUJO PROCESAMIENTO



PASO	Descripción		Imagen del software	
1	Acomodar la muestra			
2	Muestreo Y Retención	Tomar la foto de la muestra y guardarla		
3		Se carga la imagen en el programa (1 muestra a la vez)		
4	Procesamiento	Histograma (por capa RGB) Promedio (Todas las capas)		
5	Condicional	Exponencial TRUE	Polinomial FALSE	
6	Procesamiento	Se es caliza (0 a 299)	Se es caliza (0 a 299)	
				Exponencial

				 <p style="text-align: center;">Polinomial</p> 
7	Búsqueda "Comparación"	Se compara contra la base de datos Expo	Se compara contra la base de datos Pot	
8	Obtención De Resultado	Se obtiene un resultado (por muestra) (Para varias muestras se ejecuta desde paso 1) <i>Se guarda en un archivo</i>	Se obtiene un resultado (por muestra) (Para varias muestras se ejecuta desde paso 1) <i>Se guarda en un archivo</i>	
9	Procesamiento Obtención De Resultado	Se promedia los resultados de cada muestra se obtiene RESULTADO GENERAL	Se promedia los resultados de cada muestra se obtiene RESULTADO GENERAL	

Fuente: Las Autoras

5.7 DESARROLLO DEL EJECUTABLE NI VISIÓN

En el VI el cual es la ventana de interacción del usuario con el prototipo se determinaron las siguientes entradas y salidas:

ENTRADAS: Elementos con los cuales el usuario se comunica con el prototipo.

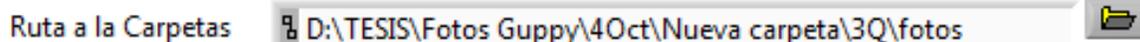
- Switch: Este botón es donde el usuario podrá seleccionar el método con el cual desea trabajar si, Exponencial o Potencial.



- Control Numérico: En esta entrada el usuario define la cantidad de fotos a analizar, ésta entrada puede hacerse haciendo click sobre las flechas para aumentar o disminuir la cantidad de fotos o haciendo click sobre el área del número y escribirlo con el teclado.



- Archivo de control de Ruta: Esta entrada permite al usuario haciendo click sobre el vínculo de la carpeta buscar el archivo de interés o haciendo clic en el área del texto y escribir con el teclado del computador la dirección de enrutamiento.



- Archivo de ruta para guardar datos: Esta entrada permite al usuario haciendo click sobre el vínculo de la carpeta definir el lugar en la memoria para guardar los datos generados de las mediciones o haciendo clic en el área del texto y escribir con el teclado del computador la dirección.



SALIDAS: Elementos con los cuales el prototipo se comunica con el usuario.

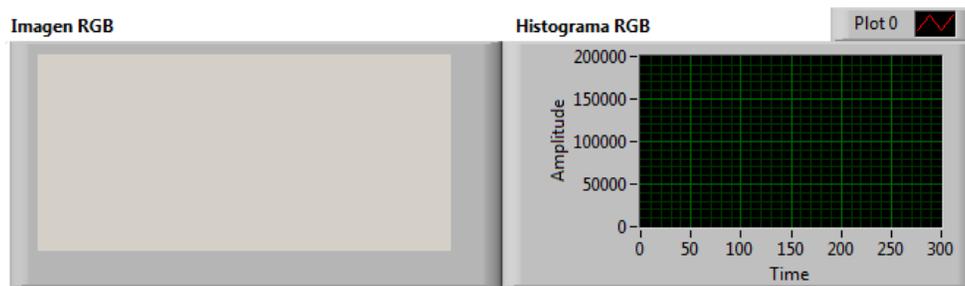
- Ruta a la Carpeta Base: Esta salida informa al usuario la dirección de la base de datos con la cual está comparando los valores de la imagen de la muestra.

Ruta a la Carpeta Base

- Base de datos: Esta salida muestra al usuario la tabla de equivalencias de los colorímetros y el prototipo dependiendo el método utilizado para procesar la imagen.

	Prototipo	Uq	L*	Agtron E10	Color	Nombre Comun
BASE DE DATOS						

- Imagen e histograma: Esta salida muestra al usuario la imagen actual de la muestra y su respectivo histograma, hay cuatro salidas de este tipo la primera muestra la imagen y el histograma de las tres capas RGB en conjunto y las tres siguientes muestran las capas por separado.



- Resultado de cada muestra analizada: Esta salida informa al usuario del valor obtenido por el prototipo de cada imagen que es procesada.

	Prototipo	Uq	L*	Agtron E10	Color	Nombre Comun
RESULTADO DE CADA MUESTRA ANALIZADAS						

- Valores estadísticos: Esta salida informa al usuario de la desviación estándar y la varianza de los valores del prototipo de cada imagen procesada.

DESVIACIÓN ESTANDAR

0,00

VARIANZA

0,00

- Promedio de todas las muestras analizadas: Esta salida informa al usuario del promedio de los valores del prototipo de cada imagen procesada y sus respectivas equivalencias con los demás colorímetros.

	Prototipo	Uq	L*	Agtron E10	Color	Nombre Comun
PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS						

INTERFAZ: Es el medio con que el usuario puede comunicarse con el prototipo, comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el prototipo.

- Teclado
- Mouse
- Pantalla

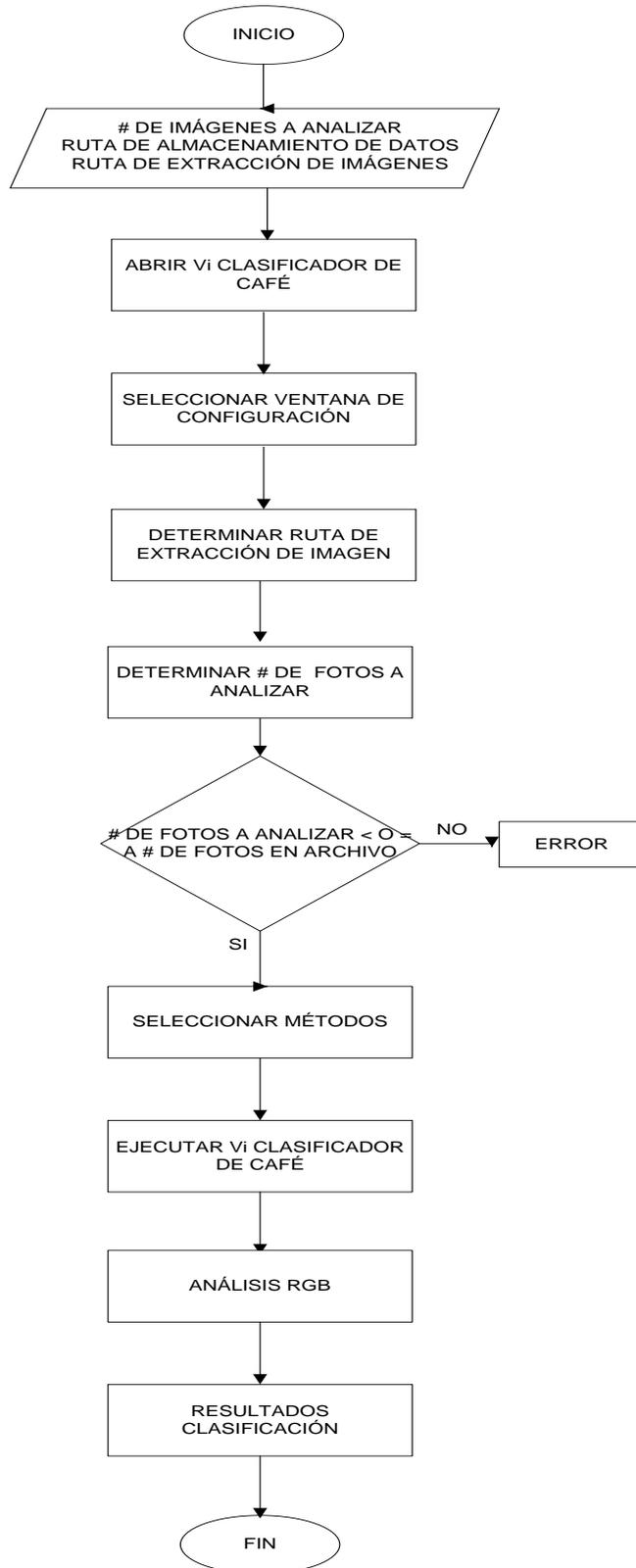
DISEÑO Y APARIENCIA DEL EJECUTABLE

Un buen diseño de la interfaz ayuda a minimizar las consecuencias desfavorables de las acciones accidentales o involuntarias por lo que la estética de la interfaz es de gran importancia en la comunicación efectiva de la información a los usuarios (Anexo I), por lo que en el diseño de ésta se tuvo en cuenta:

- Separar la información en pestañas por agrupamiento de información, para que los elementos puedan ser relacionados con solo mirarlos.
- La información debe ser representada de forma simple y ordenada, teniendo en cuenta que las entradas del usuario se encontrarán en la parte superior para que sean las más visibles ya que son elementos importantes.
- Los gráficos con fines decorativos fueron mínimos.
- Se utilizaron pocos colores, pues cuando éstos son usados en exceso distraen al usuario; se trabajó con un fondo blanco para resaltar los botones y cuadros de enrutamiento.

El manual de uso del ejecutable del prototipo se encuentra en el anexo M

DIAGRAMA DE FLUJO USO DEL EJECUTABLE



6. PRUEBAS, RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

6.1 PRUEBA DE REPETIBILIDAD

Se tomó la muestra m10 que pertenece al café sello rojo contenida en el petri, previamente razada, y se fotografió durante un día entero cada 30 minutos teniendo en cuenta no mover ni cambiar la muestra, entonces se obtuvieron 30 imágenes las cuales se enumeraron de 1 a 30 para que el sistema las pueda extraer de la carpeta, en el momento de correrlo y se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 7):

TABLA 7 HORAS DEL DÍA EN QUE LA MUESTRA FUE FOTOGRAFIADA

Foto número	Hora	Foto número	Hora	Foto número	Hora
1	6:30 am	11	11:30 am	21	4:30pm
2	7:00 am	12	12:00 pm	22	5:00pm
3	7:30 am	13	12:30 pm	23	5:30pm
4	8:00 am	14	1:00 pm	24	6:00pm
5	8:30 am	15	1:30 pm	25	6:30pm
6	9:00 am	16	2:00pm	26	7:00pm
7	9:30 am	17	2:30pm	27	7:30pm
8	10:00 am	18	3:00pm	28	8:00pm
9	10:30 am	19	3:30pm	29	8:30pm
10	11:00 am	20	4:00pm	30	8:45pm

Fuente: Las autoras

Estos datos se pueden observar en el (Anexo J) donde podemos ver los datos obtenidos y al final los resultados vistos a continuación para cada uno de los sistemas.

Se corrió el sistema en el método exponencial y como resultado se obtuvo

DESVIACIÓN ESTANDAR

0,00

VARIANZA

0,00

PROMEDIO DE TODAS
LAS MUESTRA ANALIZADAS

162	14,21688599	-212	18,26	48,75	Café_Medio_Oscuro	Viennesse_Full_City_Light_French
-----	-------------	------	-------	-------	-------------------	----------------------------------

Se corrió el sistema en el método potencial y como resultado se obtuvo

DESVIACIÓN ESTANDAR

0,00

VARIANZA

0,00

PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS	185	11,98	-235	19,9	54,61	Café_Medio_	Medium_medium-high_America
---	-----	-------	------	------	-------	-------------	----------------------------

En los dos métodos se obtuvo como resultado una desviación estándar y una la varianza con un valor de cero, lo que indica que no se obtuvieron datos diferentes o dispersos lo que indica que el sistema bajo condiciones controladas clasifica de igual manera la misma muestra, es decir podemos decir que el sistema no varía en su comportamiento después intentos repetidos.

Se realizó la misma prueba en el colorímetro Quantik durante un día y se obtuvieron los siguientes datos:

TABLA 8 HORAS DEL DÍA EN QUE LA MUESTRA FUE MEDIDA

Medición	Valor Uq	Medición	Valor Uq	Medición	Valor Uq
1	-251	11	-252	21	-250
2	-250	12	-250	22	-251
3	-251	13	-249	23	-249
4	-252	14	-250	24	-252
5	-250	15	-251	25	-250
6	-248	16	-250	26	-252
7	-250	17	-252	27	-252
8	-252	18	-253	28	-250
9	-255	19	-250	29	-249
10	-251	20	-252	30	-250

Fuente: Las autoras

Los cuales tienen una desviación estándar de 1,42 y una varianza de 2,0276

6.2 PRUEBAS DE PRECISIÓN

Se fotografiaron diferentes muestras, cada una 30 veces, y del promedio, de todas las muestras fotografiadas, se tomó el valor del prototipo y se comparó con el valor obtenido previamente al medir estas muestras con el colorímetro Quantik.

Los datos obtenidos en estas pruebas se pueden ver en el (Anexo K), donde después de corrido el sistema nos da como resultado (la tabla 9):

TABLA 9 DATOS RESUMIDOS DE LA PRUEBA DE PRECISIÓN

MUESTRA	VALOR UQ	MET. EXPO	MET. POTE
M10	-253	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,37 VARIANZA 0,14 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 163 14,29576762 -213	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,37 VARIANZA 0,14 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 186 12,04 -236
M13	-234	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,35 VARIANZA 0,12 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 122 11,39421759 -172	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,35 VARIANZA 0,12 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 142 10,02 -192
M14	-223	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,26 VARIANZA 0,07 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 154 13,60130209 -204	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,26 VARIANZA 0,07 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 177 11,56 -227
M15	-217	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,54 VARIANZA 0,29 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 126 11,64921085 -176	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,54 VARIANZA 0,29 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 146 10,17 -196
M18	-143	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,28 VARIANZA 0,08 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 67 8,40464835 -117	DESVIACIÓN ESTANDAR 0,28 VARIANZA 0,08 PROMEDIO DE TODAS LAS MUESTRA ANALIZADAS 80 7,79 -130

Fuente: Las autoras

Para hallar el porcentaje de error se utilizó la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 7 PORCENTAJE DE ERROR

$$\%E = \frac{\text{Valor Prototipo} - \text{Valor Quantik}}{\text{Valor Quantik}} \times 100$$

Con los valores de la prueba reemplazados en la ecuación se obtuvieron los siguientes resultados de la (Tabla 10)

TABLA 10 PORCENTAJES DE ERROR

	m10	m13	m14	m15	m18
Quantik	-247	-234	-223	-217	-143
Prototipo	-236,448	-191,586	-227,207	-195,931	-130,586
% error	-7%	-17%	1%	-9%	-8%

FUENTE: LAS AUTORAS

Donde se ve (Tabla 9) que el porcentaje de error máximo es de 17% y el mínimo es 1%, de los 5 datos porcentuales 4 están por debajo del 10% lo que indica que la desviación del proceso de clasificación no está lejana a una realidad, pero a pesar de que los porcentajes de error que son relativamente bajos, al no ser menores que el margen de error de nuestros pares comparativos no nos permiten concluir que el prototipo brinda resultados confiables.

6.3 PRUEBAS DE ESTABILIDAD

- **Tiempo promedio de arranque**

Esta prueba consiste en arrancar el sistema y tomar el tiempo que este demora en abrir la aplicación en su totalidad y estar lista para ser utilizada, se arrancó el sistema 10 veces y se registraron los siguientes tiempos (Tabla 11).

Los tiempos que se tomaron, corresponden al lapso de tiempo que hay desde que se da doble click sobre el vínculo del ejecutable del programa hasta que éste inicia completamente.

TABLA 11 TIEMPOS DE ARRANQUE DEL SISTEMA

INTENTO	TIEMPO
1	7 seg
2	7 seg
3	5 seg
4	6 seg
5	6 seg
6	5 seg
7	6 seg
8	7 seg
9	6 seg
10	6 seg

FUENTE: LAS AUTORAS

De los siguientes tiempos se obtuvo que tiempo promedio de arranque es: **6,1 seg**

Los tiempos obtenidos se van a contrastar con el tiempo que toma el colorímetro Quantik en estar listo para poderlo utilizar, tiempo que según el fabricante es de 10 minutos, los cuales comienzan a correr desde que se da ON al instrumento, hasta que se pasó al proceso de calibración.

La diferencia entre el tiempo de arranque del prototipo y el colorímetro Quantik es bastante amplia (9 minutos con 54 segundos).

Podemos concluir que el tiempo que toma en arrancar el sistema es corto y en el proceso de control de calidad del café tostado y molido, se disminuirán tiempos muertos de proceso mientras se espera que el colorímetro Quantik arranque.

- **Arranque correcto**

Esta prueba consiste en arrancar el sistema y éste funcione correctamente, se arrancó el sistema 30 veces y se comportó de la siguiente manera (Tabla 12):

Con x se indica que el sistema arranco de manera correcta y con O se indica que el sistema no arrancó de manera correcta.

TABLA 12 RESULTADOS DEL ARRANQUE DEL SISTEMA EN 30 INTENTOS

INTENTO	RESULTADO	INTENTO	RESULTADO	INTENTO	RESULTADO
1	X	11	X	21	X
2	X	12	X	22	X
3	X	13	X	23	X
4	X	14	X	24	X
5	X	15	X	25	X
6	X	16	X	26	X
7	X	17	X	27	X
8	X	18	X	28	X
9	X	19	X	29	X
10	X	20	X	30	X

FUENTE: LAS AUTORAS

Sobre los datos podemos decir que el sistema es estable pues en todos los intentos arrancó de manera correcta y se pudo correr el programa.

- **Tiempo promedio de medición**

Se realizaron 5 tomas de tiempos con diferentes cantidades de imágenes, el primer intento se realizó con 10 imágenes, el segundo con 20 y así sucesivamente hasta el quinto intento con 50 imágenes. Como se ve en la (tabla 13)

TABLA 13 TIEMPOS DE MEDICIÓN DEL SISTEMA

INTENTO	TIEMPO Método Expo.	TIEMPO Método Pote.
1	3''1	17''4
2	5''62	34'' 2
3	8''6	51''2
4	11''82	1'14''1
5	15''92	1'25'5

FUENTE: LAS AUTORAS

Los datos de la (tabla 13) se utilizaron para calcular el valor del tiempo estimado de procesamiento por imagen por medio de una regla de tres simple.

El cual dio como resultado (Tabla 14)

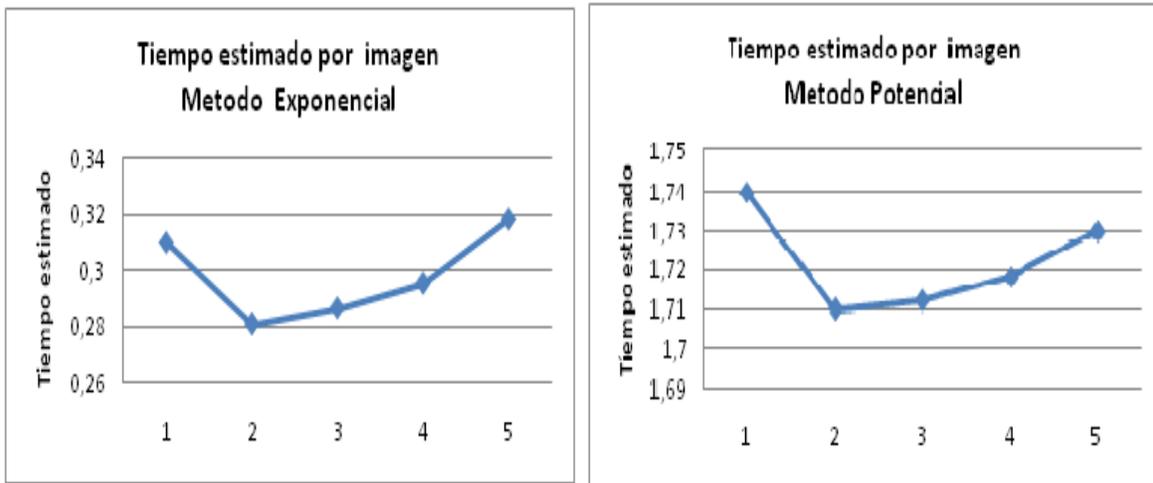
TABLA 14 TIEMPO DE MEDICIÓN DEL SISTEMA POR IMAGEN

INTENTO	TIEMPO Método Expo. (Seg)	TIEMPO Método Pote. (Seg)
1	0,31	1,74
2	0,281	1,71
3	0,286	1,712
4	0,2955	1,718
5	0,3184	1,73
Promedio	0,3	1,72

FUENTE: LAS AUTORAS

De los valores de la (tabla 14) se puede inferir que el sistema tiende a un valor medio para medir una imagen sea cual sea el método. Además es evidente que el método potencial requiere más tiempo para las mediciones, lo cual es debido a el desarrollo del código (diagrama de bloques).

FIGURA 34 GRÁFICAS DE LOS TIEMPOS DE PROCESAMIENTO DE UNA IMAGEN POR EL M. EXPONENCIAL Y POR EL M. POTENCIAL



FUENTE: LAS AUTORAS

En las gráficas de (la figura 34) es evidente que el sistema se comporta de la misma manera proporcionalmente en el tiempo de procesamiento de imágenes sin importar cuál es el método.

6.4 PRUEBAS DE REPRODUCIBILIDAD

La prueba de reproducibilidad se realizó comparando entre 3 operarios, quienes realizaron el proceso de razado y ubicación de la muestra en la plataforma.

- El robot
- Operario 1
- Operario 2

De los cuales se obtuvieron los siguientes datos (Tabla 15) al medir la muestra m13

Método Potencial

TABLA 15 VALORES DE LAS MEDICIONES DE LAS MUESTRAS UBICADAS POR TRES OPERARIOS DIFERENTES

Muestra	Robot	Operario 1	Operario 2
1	11,3111,4	11,31	10,58
2	11,07	11,12	10,63
3	11,21	10,76	10,67
4	11,36	10,67	10,58
5	11,31	10,71	10,67
6	11,12	10,93	10,46
7	10,71	10,93	10,1
8	11,21	10,84	9,75
9	11,07	11,4	9,86
10	10,8	11,12	9,71
11	10,84	11,26	9,71
12	11,07	11,26	9,79
13	10,93	11,56	10,17
14	11,12	11,31	9,82
15	10,89	11,21	10,17
16	11,02	10,98	9,82
17	10,93	10,8	9,86
18	11,5	11,8	9,71
19	11,5	11,31	9,94
20	11,21	11,31	9,45
21	10,89	11,4	10,06
22	10,8	11,07	9,86
23	10,71	11,07	9,82
24	10,76	11,21	9,71
25	11,45	,11,36	9,75
26	11,21	11,31	9,52
27	10,93	11,12	10,06
28	10,76	10,71	9,79
29	10,31	11,21	10,21
30	11,12	11,31	10,58
PROMEDIO	11,027931	11,137931	10,027
Desv. Est.		0,612	
Varianza		0,617	

FUENTE: LAS AUTORAS

La variación de los datos entre los operarios es de 0.61 el cual es alto para un sistema donde se está buscando exactitud en medidas.

Como resultado Final se obtuvo que el prototipo desarrollado en este trabajo es un modelo de utilidad el cual la comunidad andina define según lo establecido en la actual decisión 486 “*se considera modelo de utilidad a toda nueva forma de configuración, o disposición, de elementos de algún, artefacto, herramienta, instrumento, mecanismos u otro objeto o de alguna parte del mismo que permita un mejor o diferente funcionamiento, utilización o fabricación, del objeto que lo incorpore o que le proporcione alguna utilidad ventaja o defecto técnico, que antes no tenía*”, ya que es un sistema con características similares a otros sistemas que realizan tareas de inspección al café tostado y molido similares.

A continuación se describe dos diseños de experimentos, el primero con la intención de evidenciar la incidencia de cada lámpara y algunas combinaciones de éstas, dentro del sistema de iluminación; y el segundo es un planteamiento de un diseño de experimento que tenga en cuenta mas variables haciendo una trazabilidad y estandarización de los patrones que serán utilizados, haciendo mediciones de:

- ✓ Porcentaje de humedad
- ✓ Cantidad en (gr) a tostar
- ✓ Curva de tostion desarrollada
- ✓ Variedad de Café

DISEÑO DE ENSAYO DE ILUMINACIÓN

A partir del sistema definitivo de iluminación plateado en el capítulo Metodología (ver figura 29) se realizaron algunas mediciones adicionales para estudiar los cambios en la incidencia de la luz, para lo cual se realizó el siguiente procedimiento:

Se realizaron mediciones cuantitativas de la cantidad de luz emitida con un luxómetro.

Las unidades experimentales fueron las siguientes:

- a. Desde la posición original luz emitida por la lámpara Derecha
- b. Desde la posición original luz emitida por la lámpara sup Derecha
- c. Desde la posición original luz emitida por la lámpara sup Izquierda
- d. Desde la posición original luz emitida por la lámpara izquierda
- e. Desde la posición original luz emitida por las lámparas derecha e izquierda

- f. Desde la posición original luz emitida por las lámparas sup. Derecha y sup. Izquierda
- g. Todas las lámparas encendidas y desplazando la lámpara sup. Derecha 5 cm hacia la cámara
- h. Todas las lámparas encendidas y desplazando la lámpara sup. Derecha 5 cm en contra a la cámara
- i. Todas las lámparas encendidas y desplazando la lámpara sup. Izquierda 5 cm hacia la cámara
- j. Todas las lámparas encendidas y desplazando la lámpara sup. Izquierda 5 cm en contra a la cámara
- k. Todas las lámparas encendidas y desplazando la lámpara Derecha 5 cm hacia arriba
- l. Todas las lámparas encendidas y desplazando la lámpara Izquierda 5 cm hacia arriba

Unidad experimental	Valor en Lux
a.	103
b.	112
c.	115
d.	104
e.	207
f.	227
g.	490
h.	378
i.	492
j.	377
k.	485
l.	486
Sist. Definitivo	432

FUENTE: LAS AUTORAS

A continuación se plantea los primeros pasos para el desarrollo del diseño de experimentos.

DISEÑO DE EXPERIMENTO¹⁷

Objetivo: Minimizar el grado de error del clasificador de café tomando como factores el tipo de molido y el tono de tostion.

Fuentes de Variación: Son las variables que se pueden modificar (controlables) y de interés para el desarrollo del experimento

1. Tipo de molido (Tamaño de la partícula)

- Molido Fino
- Molido Medio
- Molido Grueso

2. Tono de tostion:

- Very light # 95
- Light # 85
- Moderately Light # 75
- Ligth Medium # 65
- Medium # 55
- Moderately Dark # 45
- Dark # 35
- Dark Very # 25

Definición de otras variables que pueden afectar el fenómeno y la manera en que se evitará que influyan

- Superficie de la muestra: Si la superficie de la muestra no es uniforme ya sea por grumos o zanjas que no permite capturar una imagen de la cual se pueda obtener un valor que represente el color característico de la muestra. Por lo tanto la

¹⁷¹⁷ Notas de la asignatura Diseño de experimentos, Jorge Alvarado

muestra debe ser razada antes de fotografiarse para asegurar una superficie homogénea.

- Iluminación: Sí la luz que incide sobre la muestra no es constante en ángulo y magnitud la imagen capturada no tendrá un valor que represente el color característico de la muestra ya que este variara con la intensidad de la luz. Por lo tanto la muestra debe ser fotografiada dentro de un sistema que evite interacciones de luz y en su interior mantenga una luz contante en intensidad y ubicación.

Bloques: Son variables que afectan el sistema, difíciles de medir o controlar y son de carácter discreto.

- Lote de café: La semilla de café tiene diferentes características que diferencian unas semillas de otras, los cuales son, humedad, altura de suelo del cultivo y tipo de variedad de café; para mantener éstos factores en igualdad de circunstancias se tratarán como un bloque el cual se llamará lote. Ya que dentro de un lote los factores recientemente nombrados tienen similares características.

Covariadas: Son variables que afectan el sistema, difíciles de medir o controlar y son de carácter continuo.

- Temperatura del grano de café en el momento de ser molido.

Protocolo

- Ya definido el sistema de iluminación como paso a seguir se debe obtener café de un lote específico del cual es importante conocer los datos de, origen del cultivo, humedad promedio del café y variedad de la semilla, luego de ese lote se obtendrán muestras de café tostado las cuales representen los 8 tonos de café de la carta Agrtron, teniendo en cuenta documentar la curva de tostion empleada para obtener cada una de las muestras, las cuales serán divididas en 3 porciones iguales (por peso) y se molerán las porciones en fino, medio y grueso.

Unidades experimentales: Son las combinaciones (Tratamientos) que se pueden realizar para conocer los posibles resultados (Niveles de Factor)

- Café molido Fino en tono Very light # 95
- Café molido Fino con tono Light # 85
- Café molido Fino con tono Moderately Light # 75

- Café molido Fino con tono Ligth Medium # 65
- Café molido Fino con tono Medium # 55
- Café molido Fino con tono Moderately Dark # 45
- Café molido Fino con tono Dark # 35
- Café molido Fino con tono Dark Very # 25
- Café molido Medio con tono Very light # 95
- Café molido Medio con tono Light # 85
- Café molido Medio con tono Moderately Light # 75
- Café molido Medio con tono Ligth Medium # 65
- Café molido Medio con tono Medium # 55
- Café molido Medio con tono Moderately Dark # 45
- Café molido Medio con tono Dark # 35
- Café molido Medio con tono Dark Very # 25
- Café molido Grueso con tono Very light # 95
- Café molido Grueso con tono Light # 85
- Café molido Grueso con tono Moderately Light # 75
- Café molido Grueso con tono Ligth Medium # 65
- Café molido Grueso con tono Medium # 55
- Café molido Grueso con tono Moderately Dark # 45
- Café molido Grueso con tono Dark # 35
- Café molido Grueso con tono Dark Very # 25

Aleatorización

La aleatorización tiene como función evitar el sesgo y se realizará de la siguiente manera para realizar la prueba piloto y determinar que combinación de factores favorece el patronado para lograr clasificar café tostado y molido y trabajar en base a éstos.

Por números aleatorios de Excel se escogerán entre los 8 tonos de la carta Agton 3 los cuales serán molidos en fino, medio y grueso para así patronar con estas unidades experimentales y ver cual tiene menor margen de error.

1	Very light # 95
2	Light # 85
3	Moderately Light # 75
4	Ligth Medium # 65
5	Medium # 55
6	Moderately Dark # 45
7	Dark # 35
8	Dark Very # 25

FUENTE: LAS AUTORAS

Aleatorio	
5	Medium # 55
3	Moderately Light # 75
7	Dark # 35

FUENTE: LAS AUTORAS

Ya conociendo cuales serán las unidades experimentales para la prueba piloto se patronará para los 3 casos el prototipo y se realiza un Análisis de la Varianza (ANOVA) para determinar si la hipótesis nula: Los tratamientos son iguales, es refutada y luego determinar con cual unidad experimental se genera menor margen de error y así proceder a patronar por completo el sistema con los factores más convenientes.

7. CICLO DE VIDA E IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE DE PRODUCTO

El ciclo de vida del producto se determinó que aproximadamente tendría una duración de 10 a 15 años, ya que esta variable depende de variables, como del tiempo que dure el equipo prendido, si el equipo es esta refrigerado, si la humedad es controlada y del mantenimiento que se le realice.

En vista de que el prototipo no está conformado por material radio activó, ni elementos tóxicos, este no tendrá un fuerte impacto en el medio ambiente, cabe agregar que el prototipo está compuesto por elementos que pueden prestar varias funciones e integrarse a otros sistemas para otras funciones, en caso dado de desmontar el prototipo.

Además las laminas de fibra de media densidad de aglomerado (Medium Density Fiberboard "MDF") es un material que se obtiene del aglomerado de aserrines de la madera cortada en industrias dedicadas a darle valor agregado a ésta.

8. ANÁLISIS DE COSTOS

La información del precio o del proyecto se basa en una segmentación de costos en los cuales se incurrió para el desarrollo del proyecto, siendo divididos los costos en directos e indirectos.

- **COSTOS DIRECTOS**

Aca se tiene en cuenta los las materia primas y materiales utilizados que se usaron directamente en la ejecución del proyecto, salarios directo de las proyectistas

TABLA 16 GASTOS POR MATERIALES GASTADOS EN EL PROYECTO

Material	Costo	Unid Adq	Consumo/Unid
Camara Guppy F 146	\$ 2.500.000	Und	1
Licencia Labview	\$ 20.000.000	Und	0,05
Sistema iluminacion	\$ 75.500	Und	1
Caja Petri Vidio	\$ 3.500	Und	2
Computador	\$ 1.300.000	Und	1
Muestras Patron	\$ 50.000	Und	0,05
Horas desarrollo (70)	\$ 1.400.000	Und	0,05
Estructura en perfileria	\$ 200.000	Und	1
Razador	\$ 10.000	Und	1
TOTAL	\$ 25.539.000		

FUENTE: LAS AUTORAS

Estos costos tienen su soporte en (Anexo L)

TABLA 17COSTOS SISTEMA DE ILUMINACIÓN

S	UNIDADES	COSTO
Armario MDF	1	\$ 35.000
4 lámparas	1	\$ 30.000
Cable flexible	5	\$ 10.000
Hojas blancas	2	\$ 50
Enchufe	1	\$ 500
Switch	1	\$ 200
TOTAL		\$ 75.500

FUENTE: LAS AUTORAS

TABLA 18 GASTOS POR PERSONAL VINCULADO AL PROYECTO

PAGO			
SALARIO BASICO			\$ 700.000,00
SUBSIDIO DE TRANSPORTE			\$ 55.000,00
TOTAL			\$ 755.000,00
CESANTIAS	8,33%		
INTERESES CESANTIAS	1,00%		
PRIMA SERVICIOS	8,33%		
TOTAL INTERES	17,66%		\$ 133.333,00
SOBRE SALARIO BASICO			
Cesantías		8,330%	
Intereses a cesantías		1,000%	
prima legal		8,330%	
Vacaciones		4,160%	
Pensión	Empresa	12,000%	
	Trabajador	4,000%	
		16,000%	
Salud	Empresa	8,500%	
	Trabajador	4,000%	
		12,500%	
Caja de compensación		4,000%	
ICBF		3,000%	
SENA		2,000%	
Riesgo profesional		1,014%	
Total de prestaciones		34,674%	\$ 242.718,000
Factor Prestacional		52,3340%	
TOTAL SALARIO POR MES			\$ 1.131.051,000

PERSONAS	MESES DE DURACIÓN DEL PROYECTO	SALARIO MENSUAL
2	4	\$ 1.131.051,000
TOTAL SALARIO		\$ 9.048.408,000

FUENTE: LAS AUTORAS

En los costos directos no se calcularon gastos por alimentación transporte, alojamiento, material de oficina, vehículos vinculados, aranceles ya que no se hicieron dichos gastos en el presente trabajo.

RESUMEN GASTOS	
SALARIOS	\$ 9.048.408,000
MATERIAL	\$ 25.539.000
TOTAL	\$ 34.587.408,000

FUENTE: LAS AUTORAS

- **COSTOS INDIRECTOS**

Se tendrán en cuenta como costos indirectos un porcentaje del costo total de utilización de los recursos del CTAI para los 4 meses en que se desarrollo el proyecto.

La utilización del CTAI por 4 meses incluye asesoramiento técnico y acceso a los computadores y dispositivos tecnológicos con que cuenta y tiene un costo de \$ 4'000.000¹⁸

COSTO TOTAL DEL PROYECTO = \$ 38'587.408

COSTO BENEFICIO

Partiendo del método del juicio¹⁹ se enumeran las ventajas y desventajas del prototipo:²⁰

TABLA 19 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROTOTIPO

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Calibración Rápida. - Manejo Sencillo. - Reproducible. - Asistencia técnica. - Mantenimiento y Servicio. - Software (Puede funcionar en cualquier sistema operativo). - No necesita de una capacitación compleja. - Sistema fácil de usar por lo que requiere menos entrenamiento, soporte para el usuario y menos mantenimientos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Manejo de luz, es una desventaja ya que si no se cuenta con un buen aislamiento de luz, se pueden producir brillos que pueden dañar la imagen y el tono del café. - Cambios en el montaje permanente: Dependiendo del lugar, las instalaciones, o la planta el montaje es diferente, y las condiciones y tiempo del montaje también podrían cambiar. - Tiempos de procesamiento - El software no genera código de errores cuando se presenta un error, simplemente no se ejecuta, lo cual puede ser confuso para el usuario. - Costo total de

¹⁸ Valor suministrado por Ray Bello Tecnico del CTAI

¹⁹ Evaluacion subjetiva de los beneficios de la investigación contra los costos para llegar a ciertas conclusiones.

²⁰ MOHAMMAD NAGHI NAMAUFOROOSH, Metodologia de la investigación. Limusa noriega editores 2005 ISBN: 968-18-5517-8. Pag. 34

De la tabla 19 podemos decir que el prototipo tiene más ventajas que desventajas pero a pesar de cuenta con múltiples ventaja, el costo del proyecto es demasiado alto y si se tiene en cuenta que el prototipo no cumple las condiciones para ser comercializado no se puede conocer la TIR y el punto de equilibrio.

9. CONCLUSIONES

El proceso de tuestión, es un proceso de gran importancia en la producción de café tostado y molido para comercializar. Éste proceso da características variadas dependiendo las curvas de tuestión aplicadas, las cuales son importantes estandarizar, así mismo es importante el control de calidad del producto de la tuestión para lograr asegurar que al cliente se le entregará un producto estandarizado que cumpla las expectativas que éste tiene, por lo que es importante generar mayor aporte al proceso de control de calidad.

El café tostado y molido, como todo producto, cuenta con características que lo determinan como son el color y la granularidad donde el color se determina en el proceso de tuestión y la granularidad en el proceso de molido, entonces para el desarrollo del actual Trabajo de Grado, se hizo uso de la característica interna del color ya que es la característica que referencia el problema que intentamos solucionar.

El desarrollo del prototipo se realizó en varias etapas, se comenzó a trabajar con ensayo y error por los convenientes encontrados, a pesar de lo planeado, pero este modo de trabajo no permitió hacer avances en un tiempo programado, por lo que se trabajó bajo una planeación a corto plazo lo que permitió generar avances y recopilar datos rápida y ordenadamente. Como resultado el prototipo funcionó consecuentemente con lo esperado teniendo en cuenta las limitaciones del proyecto, ya que fue capaz de clasificar muestras de café tostado y molido.

La construcción de la caja para evitar el ruido e interacciones de luz externas permitió tener la misma cantidad de luz homogéneamente durante el día, y en el momento de fotografiar las muestras sobre el área de interés.

En los resultados de los análisis de los datos experimentales se determinó que el prototipo, que cuenta con un tiempo de arranque de 6,1 seg y de procesamiento de 0.3 s por imagen con el método exponencial y de 1,72 s con el método potencial,

El porcentaje de error no permite que el prototipo sea implementado en la industria, ya que es mayor a los márgenes de error de sus pares comparativos.

El haber creado vínculos con empresas del sector real pone en evidencia que para poder generar aportes tecnológicos al sector cafétero es necesario que los profesionales se instruyan del proceso de producción del café.

Las actuales tecnologías y el rápido crecimiento de los mercados evidencian la necesidad de automatizar procesos, para asegurar y elevar los niveles de calidad y disminuir los

tiempos que toman los procesos de control de calidad, reduciendo costos de operación, siendo nuestro Trabajo un primer paso para una solución viable a la problemática del control de calidad al grado de tostión del café tostado y molido, reemplazando los métodos manuales susceptibles de ser subjetivos y afectados por curvas de cansancio.

Para desarrollar un producto usable, se tienen que conocer, entender y trabajar con las personas que representan a los usuarios actuales o potenciales del producto.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda en el futuro trabajar con software y cámaras del mismo propietario para evitar problemas de comunicación y limitación de funciones.

En un futuro se podrían plantear desarrollos en base a lo planteado en este trabajo ya que la aplicación desarrollada permite clasificar colores y así incluir mejoras y nuevas funcionalidades.

Los tiempos de análisis de imágenes dependen mayormente de la capacidad del procesador del equipo donde se ejecuta el programa y del tiempo de captura de imágenes, por lo que se recomienda que se realicen pruebas en varios computadores para observar sistemas de mejores rendimientos adecuados para el ambiente industrial.

En aplicaciones en ambientes naturales e incluso en ambientes protegidos es muy difícil mantener las mismas condiciones, por esta razón el prototipo debe ser lo suficientemente específico como para resolver la aplicación en particular pero además debe ser lo más general posible para considerar las variaciones comunes.

Se recomienda mejorar el método de clasificación, cambiando el método de generar una ecuación por métodos estadísticos, pues la ecuación es rígida, es decir, se comporta bien para las muestras con las que se patronó el prototipo pero cuando se prueba con tipos de café diferentes a los de las muestra no presenta un comportamiento confiable, por lo que se recomienda trabajar con lógica difusa o redes neuronales, generando una ecuación en matlab e implementándola en Labview.

Para futuras mejoras del prototipo, después de mejorar el método de clasificación y el prototipo presente un comportamiento positivo en las pruebas de precisión con las muestras ubicadas una por una en la caja de Pietri, se podrán clasificar muestras en movimiento continuo simulando una banda transportadora donde la muestra antes de pasar por el área de captura pasará por un sistema de escobillas, el cual dejarán el café

nivelado para no tener problema con el color por la luz reflectada y además se puedan detectar la presencia de elementos externos al producto.

En caso de implantar el sistema después de mejorarlo se recomienda tener un sistema de respaldo el cual que sería otro computador con similares condiciones, que tenga instalado el ejecutable y los archivos de bases de datos para conectar en caso de que falle el sistema.

Se recomienda que el prototipo en caso de ser implantado reciba un mantenimiento preventivo el cual consistiría en limpiar periódicamente el lente de la cámara y una limpieza a los componentes internos de la CPU para eliminar acumulación de polvillo del café tostado y molido; lo que generaría ruido en la captura de imágenes y disminuiría la vida útil de los componentes internos del computador.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. ÇABDULLAH, MAHMUD. Normas de calidad en la industria alimentaria a nivel europeo e internacional. Implantación problemáticas y desarrollo. Tesis Doctoral. Granada: Universidad de Granada, 2007.
- [2]. ALMENGOR, M. Sistema de HACCP en la Industria Alimentaria. [Documento en línea]. <http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_09_ING01.pdf> [Consulta D-M-2010].
- [3]. ARIZA, H., GORDILLO F. Uso De La Técnica Fotoacústica Para La Caracterización De Café Proveniente Del Eje Cafétero Colombiano [Documento en línea]. 2007 <http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_31/119/217-234.pdf> [Consulta D-M-2010].
- [4]. ARBILDO, A. Sociedad Inducontrol Ingeniería SAC [Documento en línea]. <http://www.ipen.gob.pe/site/capacitacion/2007/present_2007/11_01_07.pdf>
- [5]. BREZMES, J., Diseño de una nariz electrónica para la determinación no destructiva del grado de maduración de la fruta. Tesis. 2001. Cataluña: Universidad de Cataluña. P. 13
- [6]. CALÍ, M. Entrevista a Nora Barda Análisis sensorial de los alimentos. [Documento en línea]. <http://www.inta.gov.ar/altovalle/info/biblo/rompecabezas/pdfs/fyd48_entrev.pdf> [Consulta D-M-2010].
- [7]. CHUNG, A., Práctica 1: Introducción a Labview. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Centro de Manufactura Avanzada 2009.
- [8]. CHUNG, A., Práctica 2: Loops, Estructuras y Otros. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Centro de Manufactura Avanzada 2009.
- [9]. CHUNG, A., Práctica 3: Gráficos, Arreglos y Descarga. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Centro de Manufactura Avanzada 2009.
- [10]. CLARKE, R. Coffe, chemistry Vol. 1. Gran Bretaña 1985 p. 10-15
- [11]. DE VILDÓSA, A. Tecnología de alimentos. Manual de prácticas. [Documento en línea]. 2007 <<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r45220.PDF>> [Consulta D-M-2010].

- [12]. DÍAZ, R. Jornada de Innovación en la Industria Agroalimentaria a Través de la Automatización y Robotización de Procesos. Visión Artificial para el Control de la Calidad y la Seguridad Alimentaria. [Documento en línea]. 2009. <http://www.aeratp.com/documentos/Presentacion_VISION%20%287%29.pdf> [Consulta D-M-2010].
- [13]. GONZÁLEZ, R., WOODS, R. Tratamiento Digital de Imágenes. Addison-Wesley Iberoamericana S.A. 1992. ISBN: 0-201-62576-8
- [14]. GORDILLO, L., YÁNEZ, J. Aplicación de visión con LabVIEW para la detección de frascos con Turbiedades. Trabajo de Grado. 2009 Guayaquil: Escuela Superior Politécnica
- [15]. HERNÁNDEZ, M., MUÑOZ, M., Diseño de una metodología para la planeación y programación de café tostado y molido en la planta de COLCAFÉ Bogotá. Trabajo de Grado. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. 2004
- [16]. MONDINO, M., FERRATO, F. El análisis sensorial, una herramienta para la evaluación de la calidad desde el consumidor. [Documento en línea]. 2006 <<http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/18/7AM18.htm>> [Consulta D-M-2010].
- [17]. MONSÓ, J. Sistemas de Identificación y Control Automáticos (II). Marcombo. 1994. ISBN: 84-267-0923-0
- [18]. NAWROCKI, M., MOHIUDDIN, T., BITTER, R. LabVIEW Advanced Programming Techniques. Taylor & Francis Group. 2007 ISBN 10: 0-8493-3325-3
- [19]. PAJARES, G., DE LA CRUZ, J. Visión por computador: Imágenes digitales y Aplicaciones. Alfaomega Grupo Editor Ra-Ma. 2008. ISBN: 9788478978311
- [20]. PASCUAL, M., CALDERON, V. Microbiología Alimentaria: Metodología Analítica para Alimentos y Bebidas. Diaz de Santos S.A. 2000. ISBN 84-7978-424-5 p.
- [21]. PÉREZ, C., ZAMANILLO j. Fundamentos de Televisión Analógica y Digital. Servicio de Publicaciones de la universidad de Cantabria. 2003. ISBN: 84-8102-355-8
- [22]. PIZANO, D. Calidad, Salud e Investigación: La Experiencia de la OIC [Documento en línea]. 2002. <<http://www.cafédecolombia.com/docs/ensayos182002/calidadinvestigacionysalud.pdf>> [Consulta D-M-2010].

- [23]. PLATERO, C. Apuntes de Visión Artificial [Documento en línea]. <<http://www.elai.upm.es/spain/Asignaturas/Robotica/ApuntesVA/cap2formacimágenes.pdf>> [Consulta D-M-2010].
- [24]. POCOCK, G., RICHARDS, C. Fisiología: La Base de la Medicina. Masson S.A. 2005. ISBN: 84-458-1479-6
- [25]. PRIETO, M., MOUWEN, J., LÓPEZ, P., CERDEÑO, A. Concepto de la Calidad en la Industria Agroalimentaria. [Documento en línea]. 2008 <<http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n4/art06.pdf> > [Consulta D-M-2010].
- [26]. PRIETO, Y. Caracterización física del café semitostado. Trabajo de Grado. Bogotá: fundación universidad América. 2002
- [27]. RAMOS, O. Comparación de métodos de calibración [Documento en Línea] [<http://www.lacomet.go.cr/DocumentosTecnicos/MF-MA-DT-05%20Comparacion%20de%20metodos%20de%20calibracion.pdf>]
- [28]. RODRÍGUEZ, J., VIRGÓS, J. Fundamentos de Óptica Ondulatoria. Universidad de Oviedo. 1999. ISBN: 84-8317-117-1
- [29]. RODRÍGUEZ, A. Metrología: Conceptos y definiciones [Documento en Línea] http://portales.puj.edu.co/objetosdeaprendizaje/Objetos%20de%20Informativos/OI073_Luis%20Alfredo%20Rodriguez.pdf
- [30]. SANCHO, J., BOTA, E., DE CASTRO, J., Introducción al análisis sensorial de los alimentos. Edicions Universitat de Barcelona. 1999. ISBN 84-8338-052-8 p.
- [31]. SEE, J. TDI2131 Digital Image Processing [Documento en línea]. <<http://www.scribd.com/doc/16404968/Digital-Image-Processing-12-Color-Image-Processing>> [Consulta: D-M-2010]
- [32]. STAUB, C. Roast Color Classification System Developed by: Agtron – SCAA 1995
- [33]. SOLÀ, A. Tostado y Molido del café. [Documento en línea]. <<http://www.infocafés.com/descargas/biblioteca/18.pdf> > [Consulta D-M-2010].
- [34]. TELLO, D., SALCÁN, M., Aplicación de Visión con labVIEW para la detección de frascos de distinto color. Tesis de Grado. Guayaquil. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2009
- [35]. XU, H. Digital Image Processing [Documento en línea]. 2007. <<http://www.scribd.com/doc/19725080/Digital-Image-Processing>> [Consulta: D-M-2010]

- [36]. ZAMBRANO, G., PARRA, C., MANRRIQUE, M., BUSTACARA, C., Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador (CIM). Artículo. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. 2006
- [37]. Desarrollo de un sistema de visión artificial para el control eficiente de pulverizadores de cera en el tratamiento post-cosecha de la fruta. [Documento en línea]. <<http://www.circulocpi.es/resourceserver/248/d112d6ad-54ec-438b-9358-4483f9e98868/71388c829e58abf77e88ad7d9d13d64b/rclang/es-ES/filename/caso-citrosol.pdf>> [Consulta D-M-2010].
- [38]. Fases de un Sistema de Visión Artificial [Documento en línea]. <<http://74.125.45.132/search?q=cache:SZZ3DCOZ7dUJ:www.depeca.uah.es/docencia/IT-INF/sva/t2-fases.pdf+%22FASES+DE+U+N+S.V.A.%22&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co&client=firefox-a>> [Consulta: D-M-2010]
- [39]. Introducción a LabVIEW Curso de Seis-Horas National Instruments Corporation. 2003 Part Number 323669B-1
- [40]. Un café diferenciado. En Alimentos. Bogotá. Año 2 Edición 5; p 8-10

GLOSARIO

TOSTIÓN: Aunque la palabra no se ha reconocido por la real academia de la lengua esta palabra se utiliza por el gremio cafétero para designar el proceso en el cual el café verde se expone durante cierto tiempo a una alta temperatura por lo cual sufre cambios físicos y químicos.

CONFORME: Cumplimiento de un requisito.

REPROCESO: Acción tomada sobre un producto no conforme para que cumpla con los requisitos.

NO CONFORME: Incumplimiento de un requisito.

PRUEBA DE LA TASA: También llamada catación, es evaluar las características, atributos, defectos, contaminaciones, etc., en una taza de café, pero también ayuda a definir la limpieza de la misma.

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO: Es una herramienta estadística de la calidad que permite conocer, por medio de la comparación continua, los resultados y la calidad de un proceso de fabricación, identificando a través de datos estadísticos las tendencias y variaciones más significativas con el fin de prevenirlas, controlarlas y eliminarlas.

PRUEBA DE LA TASA O CATAACION: Proceso de evaluar la bebida de café, que consiste en mezclar cierta porción de café molido (con un tueste ligero) con agua caliente, después de esto se introduce una cuchara en la taza y se lleva el líquido a la boca donde se absorbe con un sorbo fuerte para así poder percibir cualidades o defectos.

CATADOR: Es la persona encargada de degustar los sabores y aromas de una taza preparada. Debe especificar entre otras cosas importantes de la bebida, el cuerpo que es la textura o volumen del café preparado, las notas aromáticas y el sabor final.

TOSTIÓN: Es el proceso que define en gran parte el grado de rendimiento y aroma del producto terminado.

CALIDAD: Conjunto de propiedades y características inherentes a una cosa que permita apreciarla como igual, mejor o peor entre las unidades de un producto y la referencia de su misma especie.

REPROCESO: Significa un producto que está limpio, no adulterado y que ha sido separado del proceso por razones diferentes a las condiciones sanitarias, o que ha sido reacondicionado de acuerdo a otras especificaciones y que es adecuado para su uso.

PROTOTIPO: Es una implementación parcial pero concreta de un sistema o una parte del mismo que principalmente se crean para explorar cuestiones sobre aspectos muy diversos del sistema durante el desarrollo del mismo.

INOCUIDAD: La inocuidad alimentaria es un proceso que asegura la calidad en la producción y elaboración de los productos alimentarios. Garantiza la obtención de alimentos sanos, nutritivos y libres de peligros para el consumo de la población.

CONFIABILIDAD: es la "capacidad de un ítem de desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado"

EFICIENCIA O EFICIENTE: Es la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados"

ESTANDAR: Tipo, modelo, norma, patrón o referencia.

INEXACTO: Que no es preciso o exacto o que no se ajusta a otra cosa.

PROCESAMIENTO DIGITAL: Tratamiento de datos también llamado pre-procesamiento

RASAR Pasar rozando ligeramente un cuerpo [con otro].

DEFINICIÓN DE TAZA OBJETIVO Es el perfil de taza que debe proveer un café o una mezcla de cafés tostados.

El tueste óptimo es el tipo de tueste que nos da la mejor taza para un determinado grano.

El protocolo de tueste es el conjunto de indicadores que nos permiten controlar y repetir cualquier perfil de tostado.

Una taza limpia es la que está libre de defectos primarios.

La taza redonda tiene un balance agradable de cualidades organolépticas básicas (aroma, cuerpo, acidez y nariz).

ABREVIATURAS

AC Corriente alterna

bit Dígito binario

BMP Mapa de bits

bps Bits por segundo

byte Conjunto de ocho bits

QC estación de control de calidad del CIM

CIM Centro integrado de Manufactura

CTAI Centro de automatización Industrial

BMP Formato de archivo de mapa de bits

CMOS Semiconductor de óxido metálico complementario

CMY Cian, magenta y amarillo

cm Centímetro

CMOS Semiconductor de metal oxido

CMY o CMYK Cian, Magenta y Amarillo o Cian, Magenta, Amarillo y Negro

DAQ Adquisición de Datos

DC Corriente continúa

FFT Transformada rápida de Fourier

GIF Formato de archivo de imágenes, Graphics Interchange Format

GPIB Interface de bus de Propósito General

HSV Tono, Saturación y Valor o Brillo

HSI Tonalidad, saturación e intensidad

HSL Tonalidad, saturación y luminancia

IMAQ Adquisición de Imágenes, paquete de instrumentos virtuales de National Instruments

IMAQ Adquisición de Imágenes

JPG Formato de archivo de imágenes, Joint Photographic Experts Group ki constante de integración kp constante de proporcionalidad

LabVIEW Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

LSB Byte menos significativo

m Metro

Mbps Mega bits por segundo

Cm² Centímetro Cuadrado

MSB Byte más significativo

MCPWM Módulo de control de modulación de ancho de pulso

MHZ Megahertz

MOS Semiconductor de óxido metálico

MSPS Millones de muestras por segundo

NI National Instruments

ON

PDI Procesamiento Digital de Imágenes

PC Computadora Personal

PNG Portable Network Graphics virtuales de National Instruments

RAM Memoria de acceso aleatorio

RAW formato de archivo digital

RGB Rojo, Verde y Azul

ROI Región de Interés