

**APLICATIVO PARA EL CONTROL DE CALIDAD POR PESO APLICADO A UN  
SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL DE CALIDAD INTEGRADO AL CIM DEL  
CTAI EN LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.**

WILLIAM VAN VIANEN

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

JOHN EDUARDO PEÑA FORERO

CODIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

SERGIO RAMIRO GONZALEZ BAUTISTA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

2011

## TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción .....	12
2. Planteamiento del Problema .....	13
3. Justificación .....	15
4. Objetivos.....	19
4.2 Objetivo General .....	19
4.3 Objetivos Específicos .....	19
5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	20
5.1 Marco Teórico .....	20
5.1.1 Automatización .....	20
5.1.2 Automatización Industrial.....	20
5.1.3 <i>Computer Integrated Manufacturing</i> (CIM).....	20
5.1.4 <i>Flexible Manufacturing System</i> (FMS) .....	20
5.1.5 Robot (The American Heritage Dictionary, 2010).....	21
5.1.6 Robot Manipulador Industrial .....	21
5.1.7 Calidad .....	22
5.1.8 Control de Calidad.....	22
5.2 Marco de Referencia .....	23
5.2.1 Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI) (Pontificia Universidad Javeriana, 2010) .....	23
5.2.2 CIM (Manufactura Integrado por Computadora) .....	24
5.3 Marco Conceptual .....	27
5.3.1 Gráficos de Control.....	27
5.3.2 LABVIEW®.....	32
6. Estudio de Herramientas de Consecución de Datos .....	33
6.1 Descripción de Balanza (La Página de las Básculas y las Balanzas, 2011). .....	35
6.2 Cotizaciones.....	36
6.3 Planteamiento de Alternativas .....	37
6.4 Selección de Herramienta .....	38
7. Descripción y Desarrollo del Proceso .....	40
7.1 CIM (Manufactura Integrada por Computador) .....	40
7.2 Robot Manipulador .....	43
7.3 Estación de Calidad .....	48
7.3.1 Registrar la muestra en una base de datos. ....	50

7.3.2	Lectura de datos en LabVIEW® de la base de datos guardada en el archivo Access®. ....	53
7.3.3	Organización de datos obtenidos en arreglos manejables. ....	56
7.3.4	Calcular los promedios y rango por lote. ....	58
7.3.5	Calcular los valores de los límites para el rango. ....	59
7.3.6	Calcular los valores de los límites para el promedio. ....	60
7.3.7	Graficar histograma, los valores del promedio y rango por lotes límites y muestras fuera de especificación (alarma).....	61
7.3.8	Calcular el valor del CP, CPK, PP y PPK.....	63
7.3.9	Interpretar valor de CP, CPK, PP y PPK.....	65
7.3.10	Organizar Interfaz para Usuario.....	65
8.	PROTOCOLO DE PRUEBA .....	72
8.1.1	Definición de Producto.....	72
8.1.2	Definición de variables iniciales para el aplicativo de control de calidad. ....	74
8.1.3	Procedimiento .....	75
9.	Análisis de funcionamiento de sistema .....	77
10.	Conclusiones.....	82
11.	Recomendaciones.....	83
12.	Bibliografía .....	85

## Tabla de Figuras

<b>Figura 1.</b> Robot Manipulador.....	21
<b>Figura 2.</b> Robot Manipulador que se encuentra en el CTAI.....	22
<b>Figura 3.</b> Almacén Materia prima y producto terminado .....	24
<b>Figura 4.</b> Banda transportadora .....	25
<b>Figura 5.</b> Robot Manipulador.....	25
<b>Figura 6.</b> MPS.....	26
<b>Figura 7.</b> Centro de mecanizado (torno).....	26
<b>Figura 8.</b> Tipos de gráficos de control de calidad .....	27
<b>Figura 9.</b> Constantes para gráficos de control .....	29
<b>Figura 10.</b> Gráfico de control X .....	29
<b>Figura 11.</b> Gráfico de control R .....	30
<b>Figura 12.</b> Tabla de decisión para el Índice de Capacidad de Proceso .....	31
<b>Figura 13.</b> LabVIEW®.....	32
<b>Figura 14.</b> Productos estudiados del mercado y fabricados en el CTAI.....	33
<b>Figura 15.</b> Criterio de decisión para el tipo de gráfica y variable a controlar.....	34
<b>Figura 16.</b> Cotización de Balanzas.....	36
<b>Figura 17.</b> Criterio de decisión para el Precio.....	37
<b>Figura 18.</b> Criterio de decisión para la accesibilidad .....	37
<b>Figura 19.</b> Criterio de decisión para el cumplimiento de requisitos.....	37
<b>Figura 20.</b> Selección de la Herramienta .....	38
<b>Figura 22.</b> Ruta de proceso para el CIM.....	41
<b>Figura 23.</b> Ejecutar archivo Javeriana .....	42
<b>Figura 24.</b> Ruta de proceso del CIM.....	43
<b>Figura 25.</b> Ruta del robot para muestreo de MPS .....	44
<b>Figura 26.</b> Ruta del robot para muestreo de piezas mecanizadas.....	44
<b>Figura 27.</b> Abrir Cosimir Control® .....	45
<b>Figura 28.</b> Ejecutar RCI Explorer.....	45
<b>Figura 29.</b> Propiedades de conexión del Robot.....	46
<b>Figura 30.</b> Modificar tipo de conexión a “Serial Interface”.....	46
<b>Figura 31.</b> Posiciones del robot manipulador para manejar piezas mecanizadas.....	47
<b>Figura 32.</b> Descargar posiciones y ruta al robot.....	47
<b>Figura 33.</b> Ruta de proceso para el aplicativo de control de calidad.....	49

<b>Figura 34.</b> Lectura de Datos desde la balanza original.....	51
<b>Figura 35.</b> lectura de datos de la balanza modificado por el autor.....	53
<b>Figura 36.</b> Lectura de datos de producto desde base de datos. ....	54
<b>Figura 37.</b> Lectura de datos D3 desde base de datos. ....	55
<b>Figura 38.</b> Lectura de datos de D4 desde base de datos. ....	56
<b>Figura 39.</b> Lectura de datos de A2 desde base de datos. ....	56
<b>Figura 40.</b> Lectura de datos de d2 desde base de datos.....	56
<b>Figura 41.</b> Organización de datos obtenidos en arreglos manejables, .....	57
<b>Figura 42.</b> Calcular los promedios y rango por lote. ....	58
<b>Figura 43.</b> Calcular los valores de los límites para el Rango .....	59
<b>Figura 44.</b> Calcular los valores de los límites para el promedio.....	60
<b>Figura 45.</b> Graficar histograma, los valores del promedio por lotes, límites y muestras fuera de especificación (alarma). ....	61
<b>Figura 46.</b> Graficar histograma, los valores del rango por lotes, límites y muestras fuera de especificación (alarma). ....	62
<b>Figura 47.</b> Generar alarma, histograma y presentar muestras fuera de especificación. ..	63
<b>Figura 48.</b> Calcular valores de CP y CPK.....	64
<b>Figura 49.</b> Calcular valores de PP y PPK.....	64
<b>Figura 50.</b> Interpretar los valores de CP, PP, PPK y CPK .....	65
<b>Figura 51.</b> Manejo de páginas del VI.....	66
<b>Figura 52.</b> Presentación de página “Inicio”.....	67
<b>Figura 53.</b> Presentación de página “Lectura de Datos”. ....	68
<b>Figura 54.</b> Presentación de página “Resultados”.....	69
<b>Figura 55.</b> Presentación de página “Gráfica”.....	70
<b>Figura 56.</b> Presentación de página “Análisis de Capacidad de Proceso”.....	71
<b>Figura 59.</b> Productos a analizar por el aplicativo de control de calidad.....	74
<b>Figura 60.</b> Posición de ubicación de la balanza en la estación de calidad.....	76
<b>Figura 61.</b> Presionar el botón “TARE” .....	77
<b>Figura 62.</b> Análisis DOFA de la integración del aplicativo de control de calidad en el CTAI. ....	78
<b>Figura 64.</b> Pros de aplicativo de visión artificial y peso.....	80
<b>Figura 65.</b> Contras de aplicativo visión artificial y peso. ....	81
<b>Figura 66.</b> Recomendaciones. ....	83

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde pequeños, los padres enseñan a sus hijos a diferenciar entre lo bueno y lo malo, intentando con su mayor esfuerzo proteger y cuidarlos. En el camino a ser adultos, se presentan situaciones en las que se debe poder diferenciar entre lo uno y lo otro, y para cada ocasión, se debe hacer un análisis que permita determinar las consecuencias de cada decisión. En pocas palabras, la vida se basa en tomar decisiones usando el criterio personal de lo que se cree que es correcto e incorrecto. En el colegio, lo malo es castigado y lo bueno es recompensado; en la universidad, pasa algo parecido, pero se tiene más libertad para cometer errores. Como adulto la responsabilidad aumenta, pero por la libertad que se tiene al tomar decisiones, es más fácil cometer errores. De una u otra forma, en el criterio de diferenciación está la capacidad de decidir, fundamental para la supervivencia.

Lo bueno y lo malo se disfrazan de muchas maneras y es difícil diferenciar. Existen dos caras para todas las cosas, comparación que se logra basado en la experiencia. Desde una perspectiva individual, bueno es lo que le conviene a un individuo y malo lo que afecta negativamente sus intereses. Por el contrario, desde una perspectiva grupal, bueno es lo que conviene al grupo y malo lo que afecta negativamente los intereses colectivos. Dado que en el mundo no se está solo, se debe velar por los intereses personales y grupales buscando lo bueno para todos y para uno.

El control que se tiene en una determinada situación, afecta los intereses individuales y grupales. Si se toman decisiones asegurando el beneficio grupal e individual, se concluye que se está obrando bien. De esta manera, en lo que concierne a los procesos productivos, al asegurar un producto que satisface el mercado, se afirma el bien común. Para controlar estos procesos existe el control de calidad que permite garantizar la satisfacción del mercado con productos de calidad. Se evidencia entonces la necesidad de gestionar el control de calidad, para así alcanzar el propio bien de la empresa y sus consumidores. Por este motivo, ante la gran demanda de productos que cumplan las exigencias, en la actualidad es necesario estar a la vanguardia en las técnicas empleadas para el control de los procesos. Utilizando los medios tecnológicos del laboratorio CTAI (Centro Tecnológico de Automatización Industrial) y el acceso a la información, en este trabajo se desarrolla una herramienta de control de calidad. La herramienta consiste en un aplicativo desarrollado en la plataforma LabVIEW® que agiliza el registro de las muestras y genera automáticamente los resultados.

En este trabajo de grado se encuentra consignada la información relevante al desarrollo del aplicativo de control de calidad. Esta herramienta analiza automáticamente muestras de peso medidas por una balanza de precisión, para productos fabricados en el laboratorio CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana. Con base en esto, el fin del trabajo es ofrecer la automatización de un proceso mecánico, agilizando y promoviendo el desarrollo tecnológico industrial. Utilizando la plataforma LabVIEW® de la empresa *National Instruments*, es posible crear un instrumento virtual para un operario encargado de controlar la calidad de un producto en cuanto a su peso. El instrumento virtual contiene

un despliegue de información con resultados, gráficas y análisis de las muestras del producto. La comunicación de hardware y software es esencial en el desarrollo del trabajo. En resumen, la calidad es la meta y la tecnología una herramienta para llegar a lograrla.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI) es un laboratorio ubicado en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, cuya función responde a necesidades de automatización de procesos para el sector productivo, de investigación, innovación y desarrollo del país y de formación académica para los estudiantes de diferentes programas universitarios. Cuenta con los recursos humanos, equipos y demás componentes requeridos para el diseño, planeación y fabricación de productos, planeación y control de la producción, simulación de procesos, operaciones de control numérico, control de calidad por visión artificial y manufactura integrada por computador. Además de esto, tiene como finalidad contribuir a la formación científica de futuros profesionales, apoyar los procesos investigativos llevados a cabo por la Universidad, ofrecer servicios de consultoría para el sector productivo en temas de automatización, orientado todo al desarrollo tecnológico y científico de Colombia (Pontificia Universidad Javeriana, 2010).

Creado en 1993, el CTAI fue una respuesta directa a la necesidad de tener una sección de laboratorios en el Departamento de Ingeniería Industrial. En su inicio, se adquirieron equipos de automatización para responder a las necesidades de la asignatura Procesos Industriales de la carrera de Ingeniería Industrial. Su siguiente expansión consistió en agregarle al laboratorio recursos informáticos para el diseño y manufactura asistidos por computador. En la actualidad, el laboratorio cuenta con una Manufactura Integrada por Computadora (CIM, por sus siglas en inglés), que integra una estación de mecanizado (Torno de Control Numérico), un almacén de materia prima y producto terminado, una estación de control de calidad por visión artificial, un robot manipulador y una banda transportadora. El crecimiento que ha tenido el laboratorio se ha basado en las contribuciones recibidas producto de las investigaciones realizadas por el Departamento de Ingeniería Industrial. En un futuro, el CTAI se proyecta como líder en el desarrollo de tecnología y avance científico en el país, con la aspiración de pertenecer al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, contribuyendo así a la transferencia de conocimiento y tecnología (Pontificia Universidad Javeriana, 2010).

La más reciente adquisición del laboratorio fue el Sistema de Producción Modular (MPS, por sus siglas en inglés) de la empresa FESTO. Dicho MPS consta de una serie de estaciones de procesos en los que un líquido es filtrado, mezclado con otros líquidos, calentado, y finalmente dispensado en envases de vidrio por caudal (Cantidad de fluido en unidad de tiempo). El proceso que se lleva a cabo en el MPS es completamente automatizado. Cada estación tiene su programación individual y su posible programación independiente de las otras estaciones. El conjunto de todos los módulos, ofrece la

posibilidad de programar todo el proceso productivo y recibir, al finalizar, un envase lleno del contenido requerido. Recientemente el MPS se ha integrado al CIM que se encuentra en el CTAI, en un trabajo de grado realizado por los estudiantes Juliana Jaramillo Sanín y Diego Tabares de Ingeniería Industrial. En dicho trabajo de grado los estudiantes realizaron un modelo de un proceso productivo de embotellamiento y sellado de líquidos mediante la integración de la estación MPS al CIM del CTAI. El principal problema que deseaban solucionar en su trabajo de grado era integrar el nuevo sistema MPS a un proceso productivo en donde se lograran realizar procesos de transporte y almacenamiento del producto realizado en la MPS. Con el propósito de aumentar la flexibilidad y funcionalidad del sistema MPS junto con el del CIM, realizaron una integración entre estos dos sistemas (Sanín, 2011). Gracias al desarrollo realizado en el trabajo de grado mencionado anteriormente, es posible gestionar el uso de dicha integración de la MPS al CIM, con la posibilidad de enfocarlo hacia el control de calidad de procesos, siendo además posible integrarle una estación de calidad.

Para desarrollar nuevos conceptos científicos y tecnológicos, utilizando los recursos que ofrece el laboratorio, surge entonces la necesidad de continuar con la integración que tiene esta nueva estación MPS con la estación de calidad, el robot manipulador, el almacén y la banda transportadora que componen al CIM. La finalidad de dicha integración permite gestionar el control de calidad para todos los productos que se manejan en el CIM controlando su peso, incluyendo en este caso, específicamente, los productos realizados por el MPS.

Actualmente, existe una estación de Control de Calidad integrada al CIM. Dicha estación tiene como función el control del proceso por visión artificial de los diámetros generados en la mecanización realizada en el torno de control numérico (Zambrano Rey, 2007). Este proceso de control de calidad utiliza una cámara de alta resolución para capturar imágenes con las cuales, luego de ser procesadas por un programa realizado en LabVIEW®, genera gráficos de control de calidad y datos que permiten analizar el proceso en cuanto a las medidas longitudinales y de forma del objeto, definiendo piezas aceptadas o rechazadas dependiendo de su tamaño. Dicho aplicativo realizado para el control de calidad del proceso de mecanizado fue una inspiración para realizar este proyecto.

Aunque ya exista el aplicativo como tal, el proceso de control de calidad por visión artificial apenas mencionado, el aplicativo para controlar el proceso por el peso de los productos fabricados en el CIM, ofrecerá aspectos diferentes en cuanto a la herramienta de consecución de datos, la complejidad, el alcance y el uso. En esta dirección, el aplicativo a desarrollar debe manejar un control de la variable medible “peso” de productos envasados por el MPS y piezas mecanizadas en el torno. Por esta razón surge la necesidad de diseñar un nuevo aplicativo con el cual se obtengan los datos de la variable “peso” del producto a controlar utilizando una balanza digital; y adicionalmente, un análisis de datos históricos del producto con el cual sea posible categorizar entre lotes de producto defectuoso o aceptado en calidad, utilizando gráficos de control. El objetivo del

proyecto es entonces implementar la automatización orientada a controlar el peso de los productos fabricados en el CTAI.

En lo que concierne los detalles de su desarrollo, el proyecto se enfoca en trabajar en la actual estación de calidad, la cual hace parte del CIM, pero convirtiéndola en una estación flexible, que además de control de calidad por visión artificial, pueda controlar el peso de los productos fabricados en el CIM por el Torno CNC y por la estación MPS. Para alcanzar tal objetivo, es necesario incluir un aplicativo que permita generar una interfaz gráfica en la cual se relacionen los resultados de la medición de los pesos obtenidos con un análisis respectivo utilizando gráficos de control e indicadores de calidad. Una vez obtenidos los resultados, el aplicativo genera un diagnóstico del estado actual de los productos terminados fabricados por el CIM y señala cuáles de éstos requieren un control de peso. Este tipo de diagnóstico es la base principal de un sistema de manufactura inteligente. El diagnóstico y el análisis de la información entregada al operador, le permiten tener detalles avanzados del proceso con lo cual puede tomar decisiones para prevenir fallas o para solucionarlas.

Cumpliendo con un adecuado proceso de control de calidad se garantiza la calidad del producto, reducción en el tiempo de consecución de datos y tiempos del proceso (Auditoría, 2011). Las ventajas de automatizar el proceso de consecución de datos y manejo automatizado de las piezas antes, durante y después, hace que el proceso sea flexible, de alta repetitividad, reduce los tiempos invertidos en inspección y asegura la calidad del proceso productivo. En la integración del proceso de control de calidad para el mecanizado de piezas y los contenidos envasados por el MPS, se realiza una integración de dos procesos independientes en una misma línea de producción, lo que apoya el concepto de flexibilidad. Se beneficia directamente al CTAI en su proyección como líder en investigación y desarrollo del conocimiento científico y tecnológico en el país, pues se promueve la investigación tecnológica en los estudiantes y permite afrontar las necesidades tecnológicas del país con soluciones frescas e innovadoras.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

En la industria, cada vez es más requerido ganarse la confianza del mercado con la calidad de los productos (Ishikawa, 2003). No obstante, el mercado no es el único en exigir el cumplimiento de la calidad. La metrología legal reglamentada en Colombia existe con el fin de proteger al consumidor y, en general, a toda la sociedad que entra en su legislación; interviene en todas las transacciones en que un instrumento de medida determina las características de un producto. Un campo fundamental de la metrología legal es el control del peso de los productos que entran al mercado, especialmente los alimenticios. Su función principal es asegurar al público que controlan a las empresas en cuanto a la información que ofrecen en sus productos (Cedeno Tamayo, 2011). Las actuales necesidades del cliente en el mercado, han generado nuevos requerimientos que desafían los procesos industriales modernos. Estos desafíos llevan al desarrollo de

nuevas tecnologías y herramientas que sean capaces de satisfacer los requerimientos exigidos por los clientes.

La automatización industrial y el uso de software y hardware altamente flexible son herramientas que permiten una ventaja competitiva con la cual se satisfacen las necesidades del cliente. La automatización industrial cumple con alta eficiencia de movimientos, alto desempeño de producción, alta repetición, cero fatiga por desgaste, entre otros (García Moreno, 2011). Este tipo de optimización del proceso productivo es adicionalmente más accesible a los presupuestos de las empresas que a futuro desean ser más productivas, eficientes, flexibles y competitivas. Esto sucede porque existe un comportamiento en el desarrollo tecnológico que a medida que surgen nuevas tecnologías, las tecnologías desarrolladas anteriormente bajan de precio con el tiempo dado su obsolescencia y, por esta razón, en la industria los activos fijos se deprecian (Mimi, 2011). Muchas de las tecnologías que llegan a Colombia del exterior son ya versiones anteriores de los nuevos desarrollos tecnológicos. Partiendo del supuesto anterior, el comportamiento de la tecnología estipula que el desarrollo tecnológico realizado hoy es costoso; pero en un futuro será más accesible a todos y más rentable invertir o adquirir, dada la depreciación y obsolescencia tecnológica.

En la actualidad, existe una gran necesidad de que los sistemas automatizados tengan como característica fundamental una alta flexibilidad para cambiar la manera de operar según las necesidades de la empresa en el momento (Medina, 2010). A la hora de diseñar una estrategia empresarial, las empresas tienen en cuenta dos conceptos claves que definen su competitividad: flexibilidad y respuesta al cambio (Zufiria, 2011). Estos dos conceptos son necesarios si se desea competir en un mercado que constantemente cambia. Debido a los cambios del cliente en sus exigencias y necesidades, la industria debe reinventarse cada vez para satisfacer al mercado. Si se compara el CIM con las necesidades de la industria, es necesario aumentar su flexibilidad para poder reaccionar al cambio y así innovarse constantemente. En el momento en el cual se integra la MPS al sistema, se evidencia un cambio en el CIM. Este cambio genera la necesidad de continuar la integración de la MPS con la banda transportadora y el almacén, con el nuevo concepto de estación de calidad flexible. El proceso de control de calidad que se va a desarrollar se puede reprogramar para adaptarse a otros productos, lo que permite cumplir con otras funciones aumentando la flexibilidad de la CIM y su posibilidad de responder al cambio. Cabe notar que hay productos que no se pueden manejar dentro del laboratorio. Dada su forma no puedan ser manipulados por la banda transportadora y/o el robot manipulador. El peso no debe superar el límite de peso manipulable por el robot, la banda transportadora y la balanza. Además, el volumen de los productos no debe interferir con el funcionamiento del CIM.

Aprovechando los recursos actuales del laboratorio, se automatiza el proceso de control de calidad integrando la banda transportadora, el MPS, el robot manipulador, la estación de calidad, la estación de mecanizado y los demás aspectos fundamentales que se encuentran en el CIM. Al automatizar el proceso de toma de muestras en la estación de control de calidad se estandariza la manera como se colocan las muestras sobre la

balanza para registrar los datos para un determinado producto. Dado que existe poca manipulación humana en la toma de datos, se aíslan los posibles errores cometidos por los operarios. Además de la interferencia que pueda generar el operario con la correcta toma de muestras, existen factores ambientales que se deben controlar. Los factores ambientales que pueden interferir son: temperatura, presión atmosférica y humedad en el espacio en donde se realiza el control de calidad. Dichos factores deben ser controlados para evitar afectar las condiciones del laboratorio; y para poderlos controlar, se deben establecer políticas en la estación de trabajo que los mantengan constantes. Es tan importante este control ambiental que es además necesario que en toda el área en donde funciona el proceso productivo (planta o laboratorio) se conserven las mismas características.

A partir de la automatización del proceso y el control de los factores, se logra una alta repetición en el proceso a altas velocidades de trabajo, asegurando así un proceso de gran eficiencia (Auditoría, 2011). Utilizando datos obtenidos de manera confiable por el sistema y validados por el mismo, el aplicativo conduce a desarrollar nuevas estrategias corporativas que estandarizan el proceso acorde con los resultados obtenidos y las necesidades de la empresa. Al estandarizar surge la automatización del proceso (The Free Dictionary, 2011). Para automatizar un proceso, se debe también estudiar la secuencia de actividades, simplificar las actividades complejas, eliminar actividades innecesarias y agilizar las transacciones del proceso (información, materiales y herramientas) (Arnoletto, 2011). La automatización consiste en repetir el proceso estándar según las necesidades de la empresa. En vista de cambios en las necesidades de la empresa, el sistema automatizado debe ser flexible para ajustarse a los requisitos. Sin embargo, la automatización tiene la gran desventaja de ser reconocida como inflexible, ya que se encarga de repetir el mismo único proceso. De cualquier forma, la flexibilidad y la automatización no son incompatibles, y se puede generar automatización de actividades repetitivas y al mismo tiempo generar la flexibilidad de prestar servicios adicionales.

Los aspectos más importantes para elegir el software de programación son: el manejo y obtención de los datos para presentar la información pertinente del trabajo y la comunicación entre el software y el instrumento de medición, a partir de controladores de dispositivos. Existe una gran variedad de *softwares* de adquisición de datos como por ejemplo: Windmill Software® (Windmill Software, 2011), Picolog® (Pico Technology, 2011), NI LabVIEW®, entre otros disponibles. *National Instruments*, creador de LabVIEW®, es quien certifica los controladores de dispositivos que entran a IDNet (Red de Controladores de Dispositivos) y tiene a disposición más de 8,000 controladores gratis de más de 275 empresas productoras de instrumentos tecnológicos. LabVIEW® cuenta con la facilidad de acceder a estos controladores y, si se da el caso de que el controlador no se encuentre en la base de datos, tiene la opción de crearlo. Además de poder ejercer una gran comunicación con una alta gama de instrumentos, es utilizado a nivel mundial por ingenieros para desarrollar aplicativos de medida, prueba y control entre otros, utilizando iconos gráficos y cables que parecen un diagrama de flujo. Su fácil programación y su extensa gama de aplicaciones hacen de NI LabVIEW® uno de los líderes en la industria. Actualmente, el laboratorio CTAI cuenta con la licencia de dicho

programa en su versión 9, utilizado en muchos trabajos y proyectos realizados en el CTAI. En la asignatura Manufactura Flexible, que hace parte del énfasis en tecnología, se presta además capacitación en el uso de LabVIEW® (National Instruments, 2010a).

Como ya lo mencioné anteriormente, la Pontificia Universidad Javeriana cuenta actualmente con la licencia para que los estudiantes puedan hacer uso de las ventajas académicas que LabVIEW® ofrece. LabVIEW® ofrece el manejo y la obtención de datos requeridos para elaborar el aplicativo de control de calidad propuesto en este trabajo, y además es compatible con muchos otros instrumentos del mercado. Se encuentra disponible en el CTAI y el personal del laboratorio se encuentra capacitado para brindar soporte. En comparación con los demás *softwares*, ninguno ofrece las facilidades de LabVIEW® y, por lo tanto, hacen de este el adecuado para manejar la programación del aplicativo de control de calidad acá buscado. En conclusión, la comunicación que maneja LabVIEW® con otros *softwares* como MS ACCESS®, la extensa biblioteca de funciones y su fácil programación utilizando iconos gráficos, hacen de LabVIEW® la herramienta adecuada para realizar el proyecto (National Instruments, 2010).

Una vez realizada la implantación del sistema de control de calidad, se ofrecerá una guía con la cual estudiantes interesados en el tema de Manufactura Flexible o Calidad puedan entender los detalles del sistema. De esta manera, los estudiantes pueden tener un ejemplo real dentro del campus con el cual pueden ampliar su conocimiento al respecto de estos dos temas de ingeniería mencionados previamente. Dado que el CTAI tiene una razón de ser académica, es necesario que el desarrollo generado colabore con la connotación educativa. Es por esta razón que es necesaria la documentación paso a paso de los aspectos fundamentales del proyecto que son: la programación de la automatización y la interpretación y análisis de los resultados de calidad. Ya que una de las funciones principales del CTAI es la de educar a futuros profesionales, surge la necesidad de dar a conocer la nueva tecnología que se ha de implementar. En un futuro, los estudiantes interesados en automatización y en calidad, podrán acercarse al CTAI y aprender lo que hay detrás de la programación e implementación del sistema automatizado de control de calidad. Aquellos interesados en control de calidad podrán ver cómo se realiza un proceso adecuado de control utilizando gráficos de control de proceso. Además, los estudiantes estarán en capacidad de realizar un correcto análisis de los datos y observar cómo de manera automática se ejecuta el proceso productivo y su respectivo control. Por otro lado, para aquellos interesados en la automatización como tal, se pueden educar con este ejemplo práctico, al entender cómo se maneja la MPS, el robot manipulador, la implementación del aplicativo de LabVIEW® para el control y, por último, la manera de conectar una nueva herramienta de toma de datos con el aplicativo. Ambas materias de Ingeniería Industrial se verán beneficiadas con un ejemplo real dentro del campus de la Pontificia Universidad Javeriana.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.2 Objetivo General**

Desarrollar un sistema automatizado de control estadístico de la calidad, soportado en LabVIEW®, para el control de peso en productos fabricados en el CIM del CTAI en la Pontificia Universidad Javeriana.

### **4.3 Objetivos Específicos**

- Determinar las variables de los productos fabricados en el CIM para establecer los parámetros del aplicativo de control de calidad.
- Seleccionar las herramientas de medición de peso disponibles para adquirir y comunicar los datos en medios digitales con el aplicativo.
- Desarrollar el aplicativo en la plataforma LabVIEW® que sea capaz de generar gráficos de control y análisis de los datos.
- Establecer la ruta de proceso para el sistema CIM, con el fin de obtener un método estándar de toma de datos para un producto requerido.
- Documentar una guía de usuario y programación del aplicativo de control de calidad por peso.

## 5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 5.1 Marco Teórico

#### 5.1.1 Automatización

"El proceso de tener una máquina o varias máquinas para cumplir con tareas que anteriormente venían siendo realizadas totalmente o parcialmente por humanos." (McGraw Hill Encyclopedia of Science and Technology, 2010a).

#### 5.1.2 Automatización Industrial

"La Automatización Industrial se puede entender como la facultad de autonomía o acción de operar por sí solo que poseen los equipos y donde las actividades de producción son realizadas a través de acciones autónomas, y la participación de fuerza física humana es mínima y la de inteligencia artificial, máxima." (Quiroz Herrera, 2010).

#### 5.1.3 *Computer Integrated Manufacturing* (CIM)

"Filosofía y estrategia de producción, caracterizada por integrar toda la información de las distintas áreas de una empresa a través de sistemas informáticos y la utilización de equipos electrónicos para el control, supervisión y gestión de los procesos.

*Computer Integrated Manufacturing* (CIM) ha sido acuñado para denotar el uso de las computadoras en el diseño de los productos, el planeamiento de la producción, control de operaciones y asegurar el cumplimiento de todas las funciones del negocio requeridas en una fábrica." (Velásquez Costa, 2010).

#### 5.1.4 *Flexible Manufacturing System* (FMS)

"Una planta o parte de ella hecha de máquinas y dispositivos programables que pueden comunicarse entre sí. Existe un control realizado por computador que permite la ejecución de las operaciones automáticas realizados en un CIM." (McGraw Hill Encyclopedia of Science and Technology, 2010b).

Los sistemas FMS son flexibles siempre y cuando los controladores de los dispositivos, y su control central de todo el proceso, puedan ser reprogramados para hacer cambios en su ejecución. Ej. El cambio de referencia del producto implica un cambio en el proceso; si el sistema puede cambiar de referencias en cualquier momento requerido, se dice que se cuenta con un sistema de manufactura flexible (McGraw Hill Encyclopedia of Science and Technology, 2010b).

### 5.1.5 Robot (The American Heritage Dictionary, 2010).

1. Dispositivo mecánico de apariencia humana capaz de realizar variedad de tareas, a veces complicadas, programadas con anterioridad.
2. Máquina o dispositivo que opera automáticamente o por control remoto.
3. Entidad que trabaja mecánicamente sin pensamiento original y responde automáticamente a comandos de otros."

### 5.1.6 Robot Manipulador Industrial

"Un robot industrial, es un manipulador multifuncional reprogramable capaz de mover cargas, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias varias: programado para realizar trabajos diversos".

"Un mecanismo diseñado para manipular y transportar piezas, herramientas o útiles especiales, por medio de movimientos variables, programados para la ejecución de tareas específicas de manufactura". (Junta de Andalucía, 2010).



**Figura 1.** Robot Manipulador

Fuente: Mitsubishi Electric – Robots MELFA – Serie RV. [http://www.mitsubishi-automation.es/products/robots\\_RV\\_content.html?distributor=0](http://www.mitsubishi-automation.es/products/robots_RV_content.html?distributor=0).



**Figura 2.** Robot Manipulador que se encuentra en el CTAI

Fuente: Robot Manipulador que se encuentra en el CTAI. [http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/dpto\\_indust\\_laboratorios](http://puj-portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/Facultad%20de%20Ingenieria/dpto_indust_laboratorios)

#### 5.1.7 Calidad

"Conjunto de propiedades y características de un producto, proceso o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer las necesidades establecidas o implícitas." (Anónimo, 2010)

#### 5.1.8 Control de Calidad

"Es el proceso de regulación a través del cual se puede medir la calidad real, compararla con las normas o las especificaciones y actuar sobre la diferencia."

La finalidad de controlar un proceso es que este proporcione un producto de acuerdo con los requisitos de calidad. Además permite identificar las variaciones de los procesos utilizando herramientas como los gráficos de control.(Salazar, 2010)

## 5.2 Marco de Referencia

### 5.2.1 Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI) (Pontificia Universidad Javeriana, 2010)

"El (C.T.A.I.) tiene como propósito contribuir a la formación científica y tecnológica de los futuros profesionales, al fortalecimiento de los procesos e intereses investigativos de la Universidad y a la prestación de servicios de consultoría en automatización de procesos para el sector productivo con el fin de aportar al desarrollo científico y tecnológico del país."

El Centro Tecnológico presta servicios para el desarrollo de prácticas de laboratorio en temas de diseño y manufactura de productos, control numérico computarizado, neumática, electroneumática, que contribuyen a la formación de profesionales y permite desarrollar proyectos de investigación y consultoría. Se proyecta como líder en investigación y desarrollo del conocimiento científico y tecnológico del país para insertarse en el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación contribuyendo a la transferencia del conocimiento.

El CTAI es un lugar en donde se prestan servicios académicos y se desarrollan proyectos de investigación. En la actualidad existen dos grupos de investigación que utilizan los recursos del centro: ZENTECH y SIRP. Finalmente, el Centro ofrece soluciones de ingeniería mediante asesorías que incluyen la asistencia humana a través del uso de equipos y herramientas computacionales enfocadas al diseño de operaciones automatizadas; la planeación y el control de la producción mediante el uso de sistemas de información; el desarrollo de prototipos mediante el uso de máquinas de control numérico; y el diseño de un sistema de manufactura integrado por computador.

Líneas de Servicio:

- Diseño y manufactura de productos a través de herramientas computacionales.
- Diseño de operaciones automatizadas.
- Planeación y control de la producción.
- Desarrollo de prototipos mediante el uso de máquinas de control numérico.
- Integración de procesos.
- Análisis ambiental del ciclo de vida de productos.

### 5.2.2 CIM (Manufactura Integrado por Computadora)

El CIM está compuesto por un FMS que cuenta con cinco estaciones que realizan un proceso automatizado de mecanizado de piezas. Las cinco estaciones fundamentales son: un almacén de materia prima y producto terminado, una banda transportadora, un robot manipulador industrial, un centro de mecanizado y por último la MPS FESTO. Lo anterior es controlado por una estación de control central.

Almacén Materia prima y producto terminado: es un sistema de almacenamiento automático de la empresa FESTO. Tiene 40 celdas en donde se pueden almacenar materiales. Para la ubicación del material, se debe poner en un *pallet* que posibilita el manejo y transporte del material por el CIM. El almacén cuenta con un brazo robótico que se mueve a todas las 40 celdas y puede retirar o ubicar en ellas los *pallet*. Si el brazo robótico retira un pallet del almacén, puede ubicarlo luego en la banda transportadora o en otra celda.



**Figura 3.** Almacén Materia prima y producto terminado

Banda transportadora: cumple la función de transportar el material desde el almacén al robot manipulador y de vuelta. Cuenta con actuadores electro-neumáticos que indican la posición de los *pallets* controlando el tráfico y el flujo por la banda.



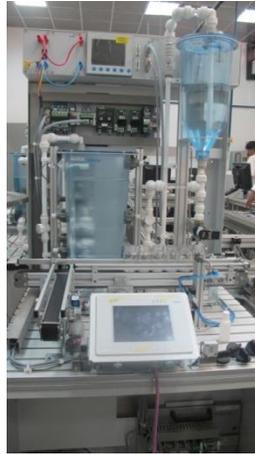
**Figura 4.** Banda transportadora

Robot Manipulador: cumple con el manejo de la materia prima a procesar en el centro de mecanizado. Inicialmente retira el *pallet* de la banda transportadora y lo coloca en el centro de mecanizado, y una vez termina el mecanizado, devuelve el producto terminado a la banda transportadora.



**Figura 5.** Robot Manipulador

Sistema de Producción Modular (MPS, por sus siglas en inglés) de FESTO: consta de una serie de estaciones de procesos en las que un líquido es filtrado, mezclado con otros líquidos, calentado, y en últimas dispensado en envases de vidrio por caudal (Cantidad de fluido en unidad de tiempo). El proceso que se lleva a cabo en el MPS es completamente automatizado. Cada estación tiene su programación individual y su posible programación independiente de las otras estaciones. El conjunto de todos los módulos, ofrece la posibilidad de programar todo el proceso productivo y recibir, al finalizar, un envase lleno del contenido requerido.



**Figura 6.** MPS

Centro de mecanizado: actualmente el centro de mecanizado consiste en un torno de control numérico que mecaniza cilindros dependiendo del diseño ingresado. El robot manipulador alimenta el proceso de mecanizado con materia prima y una vez termina retira la pieza mecanizada.



**Figura 7.** Centro de mecanizado (torno)

Control Central: todos los sistemas mencionados anteriormente responden a un computador central en donde, utilizando el software COSIMIR CONTROL®, es posible gestionar el manejo de todas las estaciones.

## 5.3 Marco Conceptual

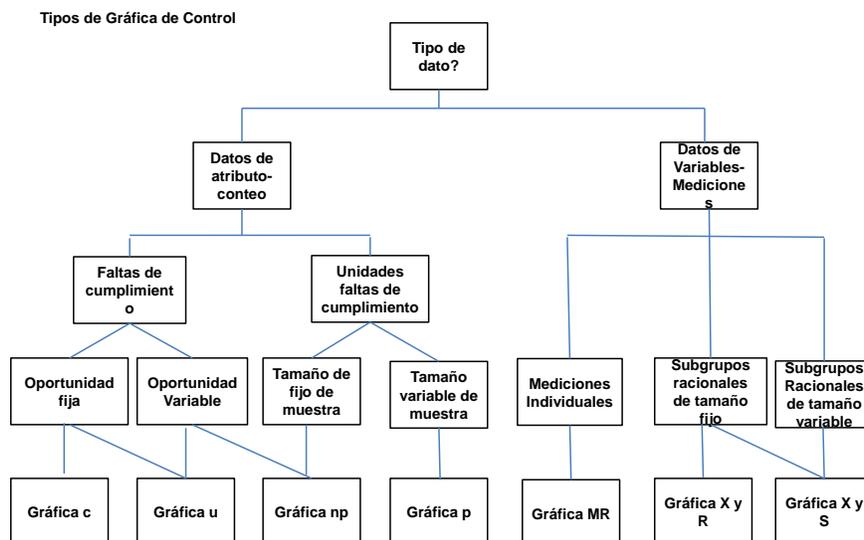
### 5.3.1 Gráficos de Control

Las gráficas de control se utilizan en la industria como una técnica de diagnóstico con la cual se supervisan los procesos productivos identificando inestabilidad del proceso y circunstancias anormales (Gutiérrez Pulido, 2004).

Una gráfica de control es una comparación gráfica de los datos de desempeño de procesos estableciendo límites de control, identificando los datos del proceso que se encuentran dentro o fuera de estos límites. Al identificar datos que están fuera o dentro de los límites de control, se puede decir que el proceso se encuentra en capacidad de funcionar correctamente o fuera de control. (Gutiérrez Pulido, 2004).

Una gráfica de control permite además identificar situaciones en donde existen causas que afectan negativamente la calidad y el buen desempeño de un proceso. Una vez identificado un proceso fuera de control, se puede realizar una investigación de la causa y tomar medidas correctivas (Gutiérrez Pulido, 2004). El objetivo fundamental de las gráficas de control es monitorear las variaciones que se tienen en la producción, para así poder reducir estas variaciones y asegurar un producto conforme y de calidad a través del tiempo.

Existen varios tipos de gráficas de control que actualmente son utilizadas. La diferencia fundamental entre los tipos de gráficas se especifica cuando se elige el dato a controlar, ya que dependiendo del dato a controlar, se debe definir si este es un atributo o una variable. Para ilustrar los tipos de gráficas, observar la siguiente figura:



**Figura 8.** Tipos de gráficos de control de calidad

Fuente: JIMENEZ, M. Gráficas de Control y Conceptos Estadísticos. <  
<http://es.scribd.com/doc/16623/Graficos-de-Control>>

Según la clasificación de gráficos de control, y dado que se maneja la variable medible peso en lotes de tamaño fijo, para este proyecto se deben realizar gráficas X y R. La gráfica de control X y R se utiliza para el control del promedio de producción en el proceso y el control de la variabilidad del proceso. En relación a la variable peso, esta gráfica de control debe presentar el promedio de peso de cada lote y la variabilidad en el peso de cada lote de producción. Para realizar la gráfica X y R, se establece un tamaño de muestra y un número de lotes a controlar. A partir de los datos introducidos, se generan los límites de control. Las fórmulas para la gráfica de control son las siguientes:

Ecuaciones:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_K}{K} \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$R = \text{VALORMAXIMO} - \text{VALORMINIMO} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{I=1}^K R_I}{K} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$\begin{aligned} \text{LCS}\bar{X} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ \text{LCI}\bar{X} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{aligned} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$\begin{aligned} \text{LCS}\bar{R} &= \bar{R} D_4 \\ \text{LCI}\bar{R} &= \bar{R} D_3 \end{aligned} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Fuente: JIMENEZ, M. Gráficas de Control y Conceptos Estadísticos. <  
<http://es.scribd.com/doc/16623/Graficos-de-Control>>

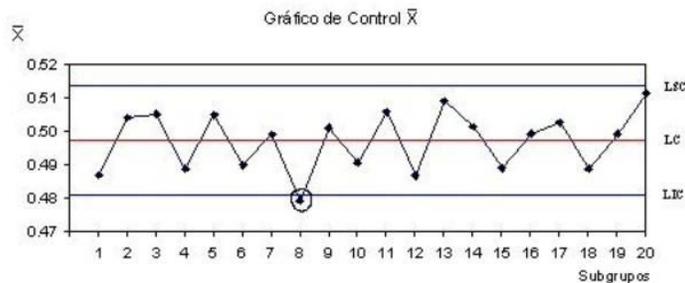
La ecuación 1, genera el valor del promedio de los promedios de todos los lotes. La ecuación 2, establece el rango de cada lote haciendo la resta entre el mayor dato del lote con el menor. La ecuación 3, saca el promedio del rango para los lotes medidos. La ecuación 4, encuentra el valor de los límites superior e inferior para el promedio de lote, utilizando el rango y los valores de la tabla 5 para las constantes. La ecuación 5, encuentra el valor de los límites superior e inferior para el rango de los lotes, utilizando la tabla 5 para las constantes.

Constantes para Gráficos de Control																
n	A	A2	A3	c4	1/c4	B3	B4	B5	B6	d2	d3	1/d2	D1	D2	D3	D4
2	2.121	1.880	2.659	0.798	1.253	0.000	3.267	0.000	2.606	1.128	0.853	0.886	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.886	1.128	0.000	2.568	0.000	2.276	1.693	0.888	0.591	0.000	4.358	0.000	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.921	1.085	0.000	2.266	0.000	2.088	2.059	0.880	0.486	0.000	4.698	0.000	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.940	1.064	0.000	2.089	0.000	1.964	2.326	0.864	0.430	0.000	4.918	0.000	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.952	1.051	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0.395	0.000	5.079	0.000	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.959	1.042	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.370	0.205	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.965	1.036	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.820	0.351	0.388	5.307	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.969	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.337	0.547	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.973	1.028	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.325	0.686	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.975	1.025	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.315	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.978	1.023	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.778	0.307	0.923	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.979	1.021	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.770	0.300	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.981	1.019	0.406	1.594	0.398	1.563	3.407	0.763	0.294	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.982	1.018	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.756	0.288	1.203	5.740	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.983	1.017	0.448	1.552	0.440	1.527	3.532	0.750	0.283	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.985	1.016	0.466	1.534	0.459	1.510	3.588	0.744	0.279	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.985	1.015	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	0.275	1.424	5.856	0.391	1.609
19	0.688	0.187	0.698	0.986	1.014	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.733	0.271	1.489	5.889	0.404	1.596
20	0.671	0.180	0.680	0.987	1.013	0.510	1.490	0.503	1.470	3.735	0.729	0.268	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.988	1.013	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.724	0.265	1.606	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.988	1.012	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.720	0.262	1.660	5.979	0.435	1.565
23	0.626	0.162	0.633	0.989	1.011	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	0.259	1.711	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.989	1.011	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	0.257	1.759	6.032	0.452	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.990	1.010	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.708	0.254	1.805	6.056	0.459	1.541

**Figura 9.** Constantes para gráficos de control

Fuente: HERNANDEZ GARZA, M. Tabla de Constantes para Gráficos de Control. <<http://optyestadistica.wordpress.com/2008/08/27/tabla-de-constantas-para-graficos-de-control/>>

Una gráfica de control para variables, consiste en una medida de tendencia central y una medida de dispersión. Se utiliza la media aritmética o la mediana. Las medidas de dispersión que se pueden utilizar son la desviación estándar y el rango. Además, se deben tener en cuenta cuáles son los límites de control del proceso. Se puede calcular tomando como base la tendencia central y la dispersión del proceso, o una más acorde al proceso en específico, teniendo en cuenta los límites de tolerancia, sólo si la dispersión del proceso es pequeña (Herrera Quiroz, 2010). Luego de haber obtenido los datos que representan al sistema, se procede a calcular la medida de tendencia central y la dispersión de los datos. Se calculan o definen los límites de tolerancia según los parámetros del investigador. A partir de estos datos se puede generar las siguientes dos gráficas.



**Figura 10.** Gráfico de control X



**Figura 11.** Gráfico de control R

Fuente: Revista Electroindustria - Hacia un concepto moderno de la Automatización Industrial. <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=81&edi=35>.

La correcta interpretación de estos dos gráficos permite conocer el comportamiento del sistema y si se encuentra en control o fuera de control. La manera de interpretarlos consiste en analizar los puntos de la gráfica. Si en la gráfica X los puntos se encuentran fuera de control y en la gráfico R se encuentra en control, significa que hay un cambio en la media; si ambas gráficas se encuentran fuera de control, hay cambio en la variabilidad; si se encuentran 6 puntos seguidos en sentido creciente o decreciente, existe una tendencia que se puede causar por varios motivos (ej. desgaste de la máquina); si se encuentran 7 puntos consecutivos por encima o por debajo de la media, indica cambios en la media; si hay repetición o agrupamiento de datos, significa que hay una presencia de un efecto periódico que genera el comportamiento; si hay grandes fluctuaciones en los datos, indica la presencia de cambios realizados en material o en mano de obra, entre otras; finalmente, si existe sobrestabilidad de la mayoría de puntos sobre el límite central, puede que estén mal calculados los límites o que exista un factor positivo temporal que esté afectando el resultado (Jiménez, 2011).

Si se analizaran sólo los puntos en la gráfica y sus posibles resultados, sería complicado definir numéricamente si el proceso se encuentra o no en estado de control. Por esta razón se utilizan los indicadores CP (capacidad de proceso a corto plazo), CPK (variación del proceso dentro de las tolerancias a corto plazo), PP (capacidad de proceso a largo plazo), PPK (variación del proceso dentro de las tolerancias a largo plazo).

CP, PP, CPK y PPK se calculan mediante las siguientes fórmulas:

$$Cp = (LCS - LSI) / 6\sigma \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$Cpk = \frac{LCS - \bar{X}}{3\sigma}$$

Ecuación (7)

$$Cpk = \frac{\bar{X} + LCI}{3\sigma} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$pp = (LCS - LSI) / 6\sigma \quad \text{Ecuación (9)}$$

$$ppk = \frac{LCS - \bar{X}}{3\sigma}$$

Ecuación (10)

$$ppk = \frac{\bar{X} + LCI}{3\sigma}$$

Ecuación (11)

Para calcular el valor de sigma (variación) CP y CPK, se usa la fórmula:

Ecuación 12 para CP y CPK, Ecuación 13 para PP y PPK

$$s = R/d_2$$

Ecuación (12)

$$\hat{s}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Ecuación (13)

Fuente: Estudio de Capacidad y Habilidad de Proceso (Cp. y CPK)

<<http://www.calidad.com.mx/articulos/58.htm>>

Luego de obtener los valores de CP, PP, CPK y PPK se utiliza la tabla a continuación, que permite interpretar el resultado:

ICP	Decisión
1.33 < ICP < 2.22	Más que adecuado, incluso puede exigirse más en términos de su capacidad. Posee capacidad de diseño.
1 < ICP < 1.33	Adecuado para lo que fue diseñado. Requiere control estrecho si se acerca al valor de 1.
0.67 < ICP < 1	No es adecuado para cumplir con el diseño inicial.  Requiere monitoreo constante.
ICP < 0.67	No es adecuado para cumplir con el diseño inicial.

**Figura 12.** Tabla de decisión para el Índice de Capacidad de Proceso

Fuente: JIMENEZ, M. Gráficas de Control y Conceptos

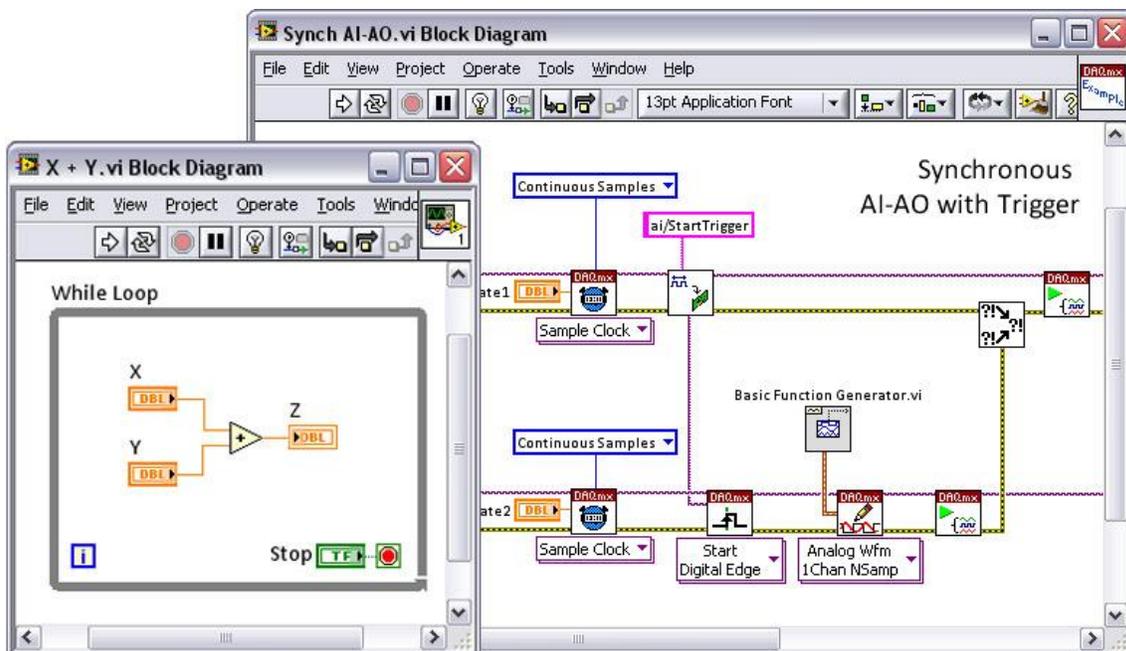
Estadísticos. <http://es.scribd.com/doc/16623/Graficos-de-Control>>

Una vez se ha elegido la interpretación correcta, se pueden tomar las decisiones pertinentes sobre la capacidad que tiene un proceso de producir con calidad y su capacidad de responder a las exigencias del cliente.

### 5.3.2 LABVIEW®

LabVIEW® es un entorno de programación gráfico usado por ingenieros e investigadores para desarrollar sistemas de medida, pruebas y control, entre otros. Mediante el uso de íconos gráficos y cables es posible programar y manejar el *software*. Dado que LabVIEW® hace parte de *National Instruments*, cuenta con un soporte en la integración con miles de dispositivos de *hardware* y cuenta con controladores para manejarlos. Brinda bibliotecas extensas para el análisis, manejo y visualización de datos, enfocados a la instrumentación virtual. Desde su introducción en 1986, se ha vuelto líder en la industria. (National Instruments, 2010b).

Esta herramienta cuenta con varios aspectos que la hacen ideal para la programación del aplicativo de calidad objetivo de este proyecto. En primer lugar, permite, a partir de diagramas de flujo, generar la programación de un proceso utilizando iconos gráficos, en vez de utilizar código de texto. Permite además comprender fácilmente el código de programación del programa, a diferencia de lo que ocurre con C++ o Java. Tiene un alto grado de compatibilidad con *software* y *hardware* externo a LabVIEW®, lo cual permite una integración ideal entre ambos elementos. Finalmente, cuenta con múltiples funciones y una extensa biblioteca de datos en la que es posible encontrar virtualmente cualquier aplicación de ingeniería.



**Figura 13.** LabVIEW®

Fuente: NATIONAL INSTRUMENTS. <<http://www.ni.com/labview/whatis/esa/>>.

## 6. ESTUDIO DE HERRAMIENTAS DE CONSECUCCIÓN DE DATOS

Materia es todo aquello que tiene masa y ocupa un volumen (Membuela, 2011). Los objetos que se perciben como productos en el mercado son materia, en cuanto tengan masa y volumen. Las propiedades de la materia se pueden dividir en generales y específicas. Las propiedades generales son volumen y masa. Por su parte, las propiedades específicas son densidad, ductilidad, maleabilidad, dureza, entre otras. Para cada una de estas propiedades existe una herramienta que mide numéricamente el atributo.

“La densidad es una medida que relaciona la cantidad de masa contenida en un determinado volumen” (Wikipedia, 2011). Las sustancias que se encuentran en el mundo tienen una densidad específica dada por su relación volumen y masa. La fórmula de densidad se observa en la ecuación 14.

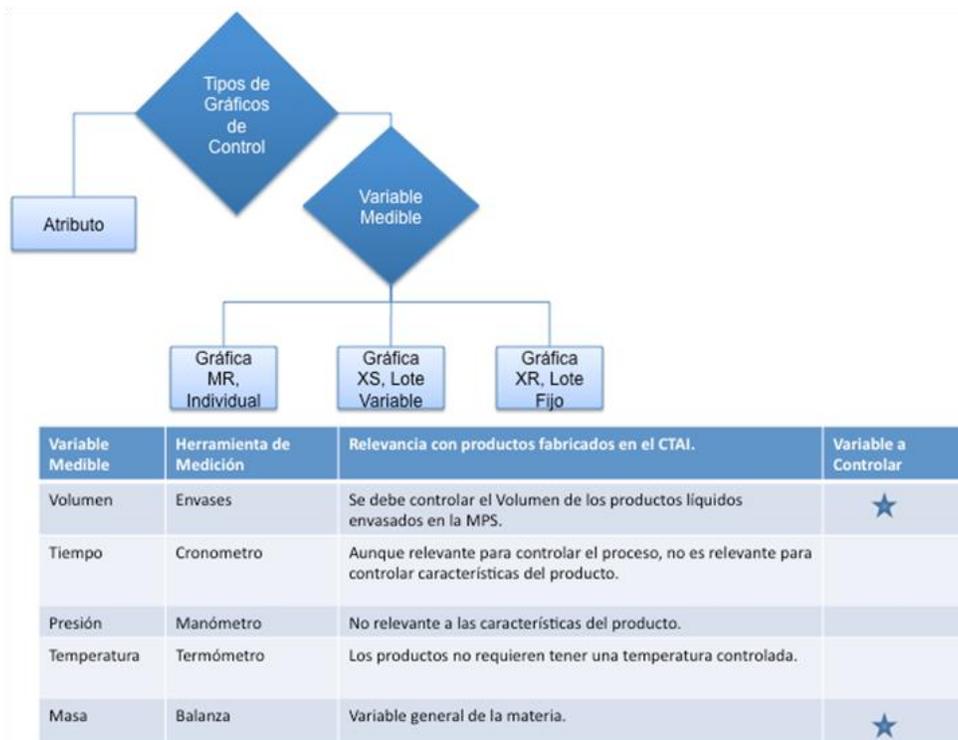
$$\rho = \frac{m}{V} \text{ Ecuación (14)}$$

Fuente: GÓMEZ, M.A. Midiendo la densidad de un líquido  
 <<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/practica2/pr-65/pr-65.htm> >

Es posible hallar la incógnita utilizando la fórmula de densidad si se conocen al menos dos de las tres variables de la ecuación. Por ejemplo, es posible hallar el volumen de un producto conociendo la masa y la densidad utilizando la ecuación 14.

Producto	Foto	Variables medibles	Origen
Chocolate M&M		Masa	Mercado
Jeringa		Masa, Volumen	Farmacia
CoffeeDelight		Masa	Mercado
Líquido envasado		Masa, Volumen	CIM, MPS
Pieza en bronce		Masa, Diámetro, Longitud	CIM, Torno
Pieza en parafina		Masa, Diámetro, Longitud	CIM, Torno

**Figura 14.** Productos estudiados del mercado y fabricados en el CTAI



**Figura 15.** Criterio de decisión para el tipo de gráfica y variable a controlar.

Para identificar variaciones que hagan referir a errores de calidad, se requiere controlar un producto en cuanto a su peso. El peso es una variable medible continua. Si un producto es demasiado pesado en comparación a los demás de un mismo lote, dicho producto puede tener más volumen que el requerido y se puede concluir que no cumple con el diseño. Si el producto es liviano, en comparación a su lote, se perdió material en el trabajo y tampoco cumple con el diseño.

A partir del supuesto anterior, resulta necesario entonces conocer el peso de los productos en el mercado. Si se conoce la densidad del producto es posible conocer el volumen y controlar sus propiedades generales. Para medir la masa es necesaria una balanza de precisión que pueda pesar los productos realizados en el CTAI. En el caso de medir un volumen envasado de densidad conocida, se puede pesar el líquido envasado utilizando una tara para el peso del envase y, a partir de la ecuación (14), despejar el valor del volumen. A partir de estos dos casos es posible conocer el peso y volumen de cualquier producto teniendo como conocidos el peso y la densidad.

Para definir la balanza necesaria se debe poder pesar el producto más liviano y el más pesado fabricado en el CTAI. El producto más pesado fabricado es la pieza de bronce, seguido por la botella envasada por la MPS. Se establece que la pieza de bronce tiene un peso aproximado de 120 a 130 gramos. Para poder pesar este producto y productos adicionales se debe al menos asegurar una capacidad en la balanza de 200 gramos. Debido a que se planea medir cualquier producto, se debe tener en consideración una

capacidad superior a 200 gramos y para el proyecto se define como una mínima capacidad en la balanza de 300g. En cuanto a la precisión que debe tener la balanza, se tiene la consideración que una gota de agua pesa aproximadamente 0,05g. Para poder tener lectura precisa que pueda identificar en un envase líquido la diferencia de una gota, es necesario manejar una sensibilidad de la balanza de 0,01g. Además, el propósito de este trabajo requiere que la balanza tenga comunicación con el computador, y para esto es necesario que cuente con el respectivo cable de comunicación que puede ser USB, RS232 o cualquiera que cumpla esta función. Por último, se debe realizar una investigación en el mercado en la que se comparen las diferentes balanzas y, a partir de esta comparación, elegir la que cumpla mejor los requisitos.

### **6.1 Descripción de Balanza (La Página de las Básculas y las Balanzas, 2011).**

Las balanzas se utilizan cotidianamente para medir la masa que se encuentra en un objeto. Existen diferentes tipos de balanzas con especificaciones diferentes. Para el objeto del proyecto, es necesaria una balanza que tenga la posibilidad de conectarse al computador.

Las características fundamentales que definen una balanza son:

**Exactitud:** concordancia del resultado de una medida comparada con el valor verdadero del objeto que está siendo medido.

**Precisión:** confiabilidad del instrumento de medida relacionado con la repetición de resultados similares cuando se mide un material de referencia de manera repetida.

**Repetibilidad:** parámetro que evalúa la precisión del resultado de las mediciones y tiene en cuenta al operario.

**Reproducibilidad:** evalúa la precisión del resultado de las mediciones y tiene en cuenta el método. (Ramírez Castellanos, 2011)

**Sensibilidad:** capacidad de la balanza de poder precisar mayores divisiones de una medida dada, es decir, más cantidad de decimales. Para efectos de este trabajo la balanza necesaria para el proyecto debe tener una sensibilidad de 0.01 g., para así poder identificar el peso de una gota de agua que es de 0.05g.

**Capacidad de Carga:** máxima carga que una balanza puede medir. El peso máximo manejado por el CIM es de 200g; de los productos fabricados en el CIM ninguno supera este valor.

Teniendo en cuenta las siguientes características, es necesario que la balanza que ha de utilizarse cumpla con una conexión a PC. Esto con el fin de realizar una comunicación debida entre instrumento de medición y PC.

## 6.2 Cotizaciones

Las diferentes alternativas de balanzas cotizadas del mercado, se categorizan de la letra A a la E.

Alternativa	Descripción del Artículo									Información de Contacto		
	Nombre de Producto	Imagen	Precio en pesos	Capacidad (gramos)	Precisión	Displ y	Unidade s	Alimentación	Comun icación a PC	Nombre de Proveedor	Dirección	Teléfono
A	Balanza de alta Precisión Modelo Setra H1410		\$ 2.374.520,00	410 g	0,001	LED	g,oz, ct,%	110 v VAC/60hz	RS232	Kazarcol Ltda	Colombia, Bogotá DC, Av. Américas No. 71A-49	4812829
B	Balanzas serie Traveler Modelo TA302		\$ 1.183.200,00	300g	0,01	LCD	g, Newton	Adaptador CA Incluido, 4 Baterías AA (no incluido)	RS232	Kazarcol Ltda.	Colombia, Bogotá DC, Av. Américas No. 71A-49	4812829
C	Salter Brecknell ESA-600		\$ 399.080,00	600g	0.01g	LCD	g,oz, ct,%	Adaptador CA Incluido, 6 Baterías AA (no incluido)	RS232	Salter Brecknell	<a href="http://balance.balances.com/sc ales/1430/">http://balance.balances.com/sc ales/1430/</a>	(978)-521- 7095
D	VirtualMC VB-302A-300 Precisión Balance		\$ 571.410,00	300g	0.005g	LCD	g,oz, ct,%	Adaptador CA Incluido, 6 Baterías AA (no incluido)	RS232	Virtual MC	<a href="http://balance.balances.com/sc ales/1050/">http://balance.balances.com/sc ales/1050/</a>	(978)-521- 7095
E	Sartorius BL 310		Propiedad de la Pontificia Universidad Javeriana.	310g	0.01g	LCD	g,oz, ct,%	Adaptador CA Incluido, 1 PP3 9 volt (no incluido)	RS232	Pontificia Universidad Javeriana	Dirigirse a German Pavón en el edificio Ed. 52 Carlos Ortiz S.J. 6 piso.	

Figura 16. Cotización de Balanzas

### 6.3 Planteamiento de Alternativas

En el proceso de escoger la mejor herramienta posible, en cuanto a satisfacer las necesidades del proyecto, es necesario generar 3 categorías de calificación. Las categorías elegidas para escoger la herramienta ideal son: precio, accesibilidad, cumplimiento de los requisitos. En la categoría precio, se tiene en cuenta el costo que tiene la herramienta y se compara con el presupuesto de 1 millón de pesos con el que cuenta el autor del trabajo de grado. En la categoría de accesibilidad, se compara la manera en que se adquiere la herramienta y los plazos de tiempo requeridos para obtenerla. En cumplimiento de los requisitos, es necesario considerar la capacidad de la balanza (300g mínimo de capacidad), 0,01g mínimo de sensibilidad y comunicación con PC. Ver **Figuras 17, 18 y 19** para los criterios de decisión.

Precio	
Calificación	Justificación
1	Esta por fuera del presupuesto.
2	Es posible adquirir, pero limitaría el presupuesto.
3	Se ajusta al presupuesto
4	No afecta el presupuesto

**Figura 17.** Criterio de decisión para el Precio

Accesibilidad	
Calificación	Justificación
1	Imposible de adquirir
2	Importar el producto
3	Se adquiere del mercado nacional
4	Se cuenta con el equipo en el campus

**Figura 18.** Criterio de decisión para la accesibilidad

Cumplimiento de Requisitos	
Calificación	Justificación
1	No cumple con los requisitos
2	Cumple con algunos requisitos
3	Cumple con todos los requisitos

**Figura 19.** Criterio de decisión para el cumplimiento de requisitos

## 6.4 Selección de Herramienta

Alternativa	Precio	Accesibilidad	Cumplimiento de Requisitos	Total
A	1	3	3	7
B	1	3	3	7
C	3	2	3	8
D	2	2	3	7
E	4	4	3	11

**Figura 20.** Selección de la Herramienta

Luego de la suma de las calificaciones presentadas en la **Figura 20**, la alternativa E, balanza *Sartorius*, resulta ser la mejor para este proyecto. Los motivos por los cuales su calificación fue tan alta es que su costo en el presupuesto es nulo, es de fácil accesibilidad dado que se cuenta con la herramienta en el Campus de la Javeriana y, por último, cumple con todos los requisitos planteados. Aunque la alternativa E es la elegida por su alto puntaje, se debe tener en cuenta que el presupuesto del laboratorio CTAI supera el millón de pesos. Por esta razón, al momento de llevar el proyecto a la realidad, vale la pena adquirir un equipo que tenga mejores especificaciones y que no sea limitado por el presupuesto. Para ello se puede elegir cualquiera de las alternativas anteriores teniendo en cuenta si se desea traer del exterior o adquirir en Colombia. Todas las alternativas cumplen con los requisitos. Siguiendo esta argumentación, se podría elegir la alternativa C que tiene un costo bajo, se consigue en el país y además supera la capacidad de peso con 600g.

Para el propósito de futuros desarrollos del aplicativo, es prudente considerar el uso de celdas de carga. Las celdas de carga traducen la fuerza ejercida por la masa de un producto y la convierten en una señal de voltaje o en un valor digital (Poise, 2011). Son utilizadas comúnmente en la industria para medir masa. La celda de carga consiste en un metal que sufre una deformación mientras se le aplica una fuerza. Esto define la capacidad de dicha celda de carga. La señal de la celda se lleva a un convertidor análogo o digital que transforma la señal a un valor de peso, ya sean kilos, libras o lo que se necesite.

Para los propósitos específicos de este trabajo, se investigó la celda de carga iLoad Series® (Loadstar Sensors, 2011), una celda de carga digital con conexión USB. Está diseñada para ser conectada al computador, inmediatamente estableciendo una conexión, enviando datos de peso y fuerza. Aparece como un puerto COM y se puede conectar fácilmente con el computador usando comandos ASCII. Además, ofrece un *software* LoadVUE® que permite las comunicaciones con el PC y permite elegir en qué formato se manejaran los datos (kg, lbs o N). Adicionalmente, tiene un rango de capacidades que van desde los 4 kilogramos a los 200 kilogramos. Como el robot manipulador soporta un peso máximo de carga de 2 kilogramos, se requiere igualmente que la celda de carga mida con capacidad máxima de 2 kilogramos. Por último, la celda tiene una precisión de 0.025% (Se expresa en porcentaje ya que maneja varias posibles unidades) de la carga. Ver figura 21.



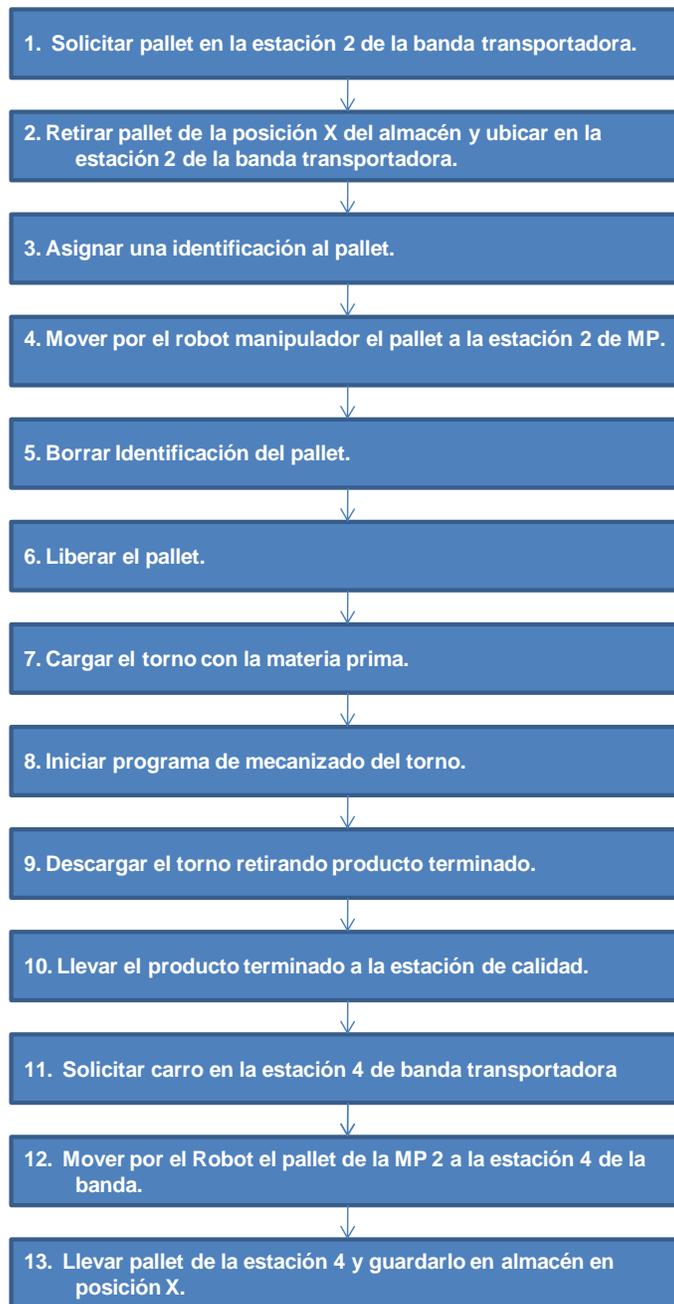
**Figura 21.** iLoad Series®, celda de carga

Fuente: Loadstar Sensors, Inc., Loadstar introduces iLoad load sensor.  
<<http://www.automation.com/content/loadstar-introduces-iloa-load-sensor>>

## 7. DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROCESO

### 7.1 CIM (Manufactura Integrada por Computador)

El CIM está compuesto por un FMS que cuenta con cinco estaciones que realizan un proceso automatizado de mecanizado de piezas. Las cinco estaciones fundamentales son: un almacén de materia prima y producto terminado, una banda transportadora, un robot manipulador industrial, un centro de mecanizado y, por último, la MPS FESTO. Todo lo anterior es controlado por una estación de control central que maneja el programa Cosimir Control®. Para manejar el CIM es necesario que el programa Cosimir Control® envíe tareas al almacén de materia prima y producto terminado, a la banda transportadora, al robot y al torno. Además, tiene la tarea de supervisar los inventarios manejados por el almacén asignando identificación a los productos. Para que se cumpla el proceso de control de calidad, se requiere el siguiente recorrido: la materia prima debe salir del almacén y ser montada en un *pallet* de la banda transportadora, luego el *pallet* debe viajar por la banda transportadora y llegar a la posición en donde el robot manipulador pueda llevarla hasta el torno para que la pieza sea mecanizada. Una vez se ha mecanizado la pieza, es necesario que el robot manipulador lleve la pieza a la estación de control de calidad para controlar su peso. A continuación, el robot manipulador debe retirar el producto terminado de la estación de calidad y llevarlo de nuevo a la banda transportadora para así almacenar el producto en el almacén. Se debe repetir el proceso dependiendo de la cantidad de piezas que se necesiten mecanizar. Se resume la ruta en la figura 22.

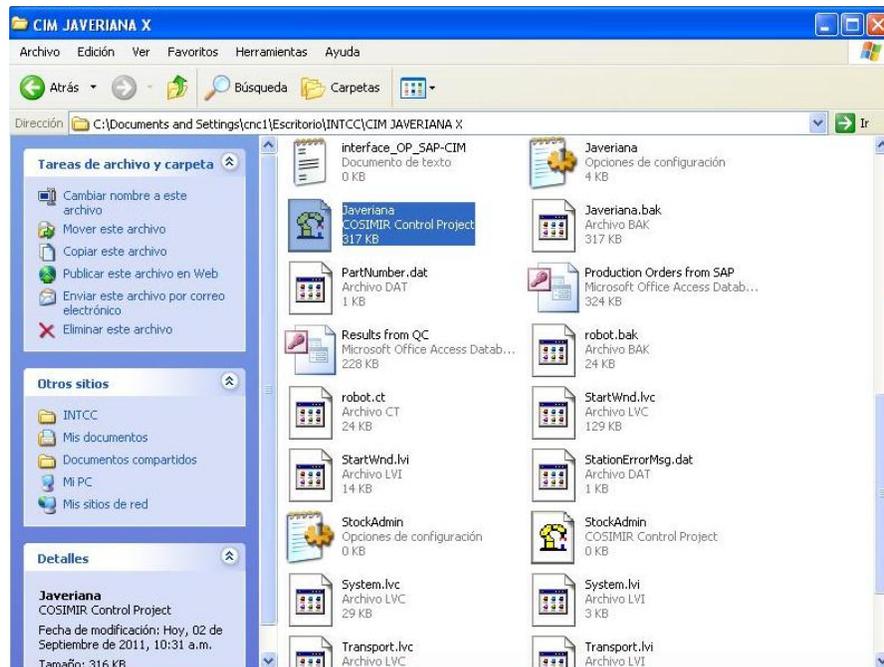


**Figura 22.** Ruta de proceso para el CIM

Para el uso del CIM, es necesario haber cursado la asignatura “Manufactura Flexible”, que pertenece al énfasis en tecnología de la carrera de Ingeniería Industrial. En dicha asignatura, se adquiere el conocimiento teórico y práctico en el manejo de los componentes del CIM. Debe conocerse también el adecuado manejo de las máquinas y equipos, su debida programación y la integración que existe entre cada uno.

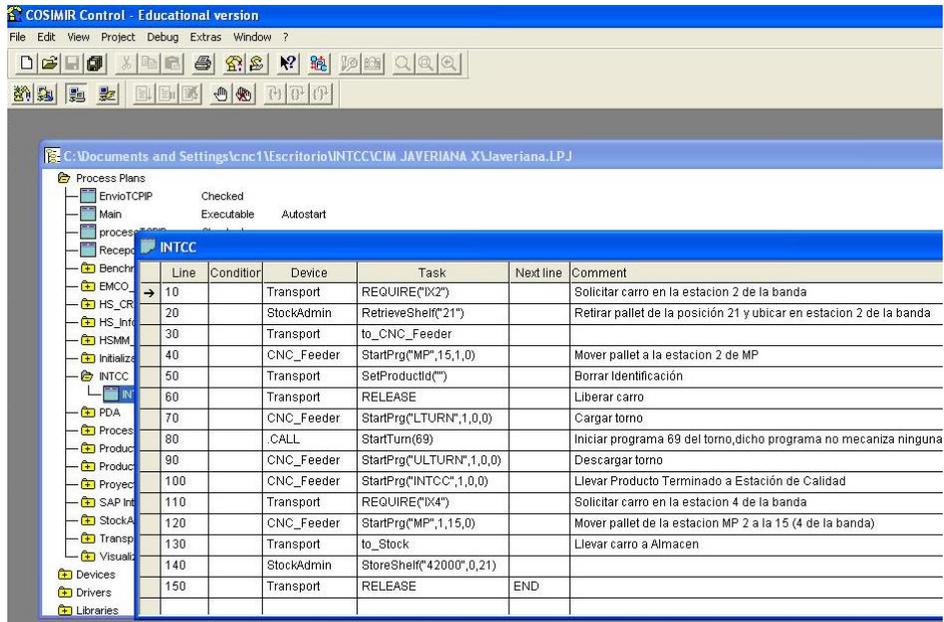
Al usar el CIM, se requiere programar dos aspectos. El primer aspecto que se ha de programar es el recorrido del CIM. Para ello se utiliza el programa Cosimir Control® que permite establecer la ruta del proceso. El segundo aspecto son los movimientos del robot manipulador que se programan en otro computador.

Lo primero que se debe hacer es realizar una copia del archivo **Anexo 4: INTCC** en el escritorio del computador que maneja el CIM. Luego dentro de la carpeta CIM Javeriana X ejecutar el archivo Javeriana, como se muestra en la **Figura 23**.



**Figura 23.** Ejecutar archivo Javeriana

Utilizando el **Anexo 3: Tutorial CIM**, es posible ver el paso a paso necesario para realizar la interfaz en donde se ejecutara la ruta de proceso. Es importante que se siga al pie de la letra el tutorial del CIM. El proceso que se utilizara está basado en la **Figura 22**, que define la ruta de proceso y se evidencia en el programa en la **Figura 24**.

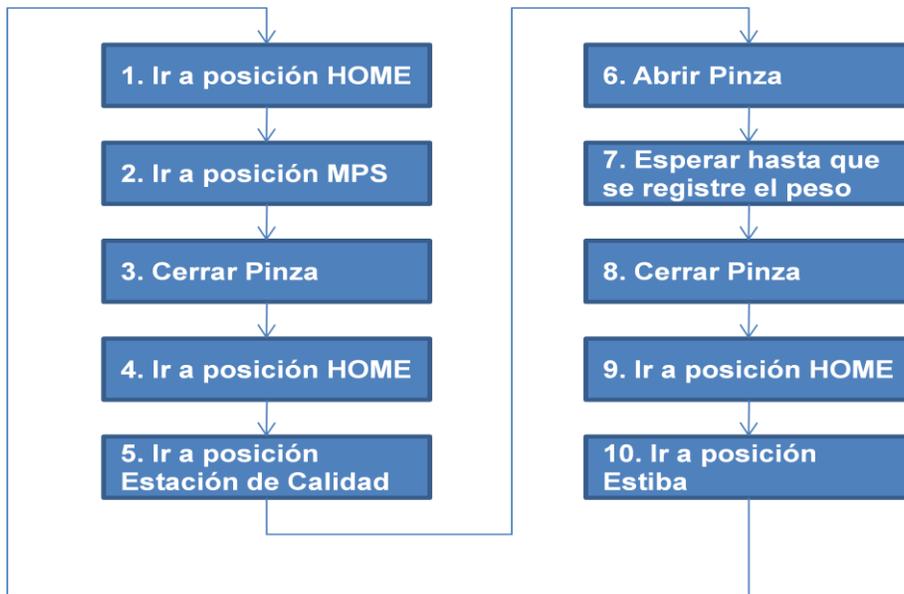


**Figura 24.** Ruta de proceso del CIM

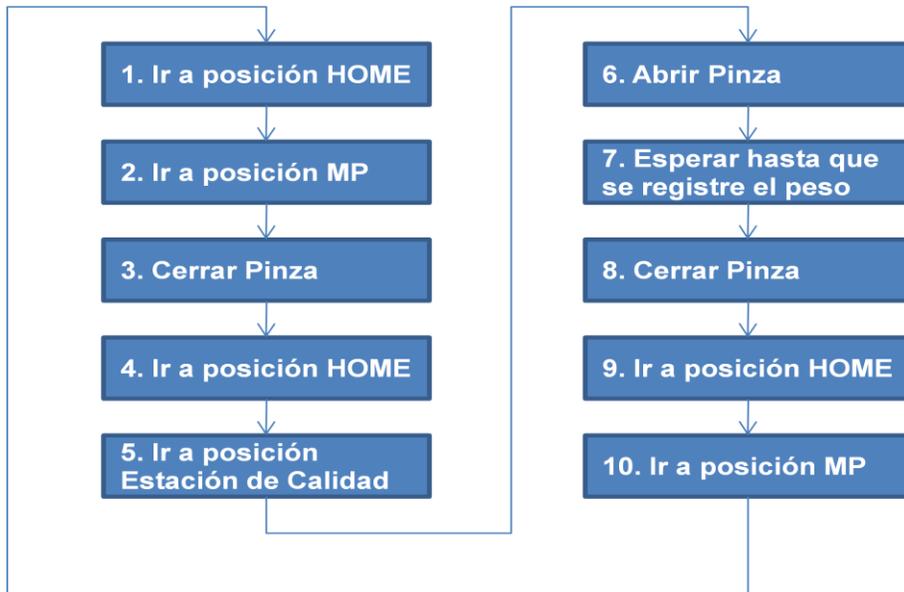
Una vez se tiene el siguiente plan de proceso, se evidencia en la línea 100 de la **Figura 24** el llamado al programa INTCC, que ejecuta los procesos del robot.

## 7.2 Robot Manipulador

El uso del robot manipulador está orientado hacia las muestras del CIM, como lo son las piezas mecanizadas por el torno y la manipulación de los productos del almacén. El robot necesita unos parámetros iniciales para moverse. En primer lugar, se necesita subir al robot una secuencia de movimientos coordinada por posiciones. Las posiciones que éste debe manejar para cumplir su objetivo son: posición de embarque de la muestra, posición inicial y posición de desembarque de la muestra. Aunque dichas posiciones son las fundamentales, se pueden añadir posiciones adicionales, dependiendo de los requisitos del usuario. En el contexto del trabajo, las tres posiciones fundamentales son necesarias y se requiere de una posición adicional. Para obtener piezas de la MPS y controlar su calidad es necesario desarrollar los movimientos del robot, una vez que la MPS ha entregado los envases llenos. Las posiciones que debe manejar el robot manipulador son su posición de inicio, posición de coger muestra de la estación de llenado en la MPS, posición de descargar pieza sobre la balanza que se encuentra en la estación de calidad y, por último, colocar la muestra en el *pallet* (ver **Figura 22**). Se debe realizar una ruta adicional de proceso si se desea obtener piezas mecanizadas por el torno. Los movimientos que debe realizar el robot para obtener muestras se presentan en la **Figura 25**.



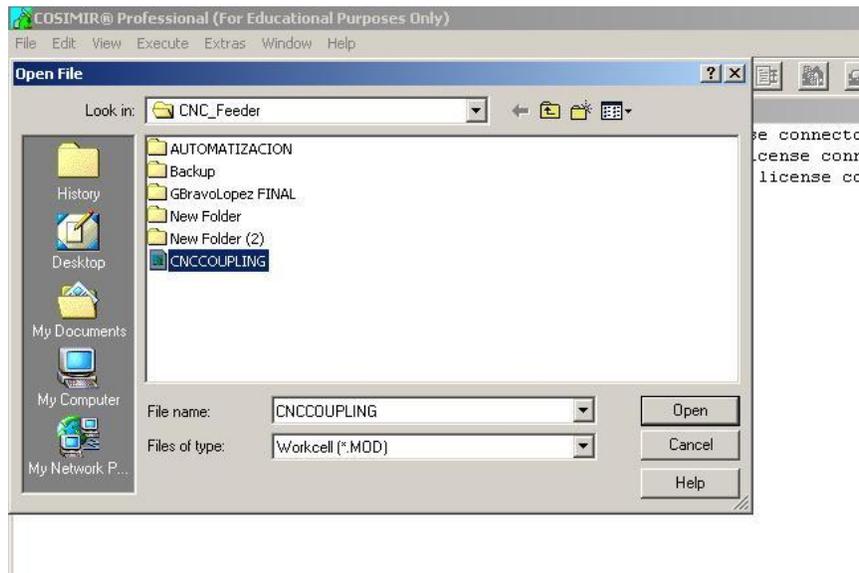
**Figura 25.** Ruta del robot para muestreo de MPS



**Figura 26.** Ruta del robot para muestreo de piezas mecanizadas

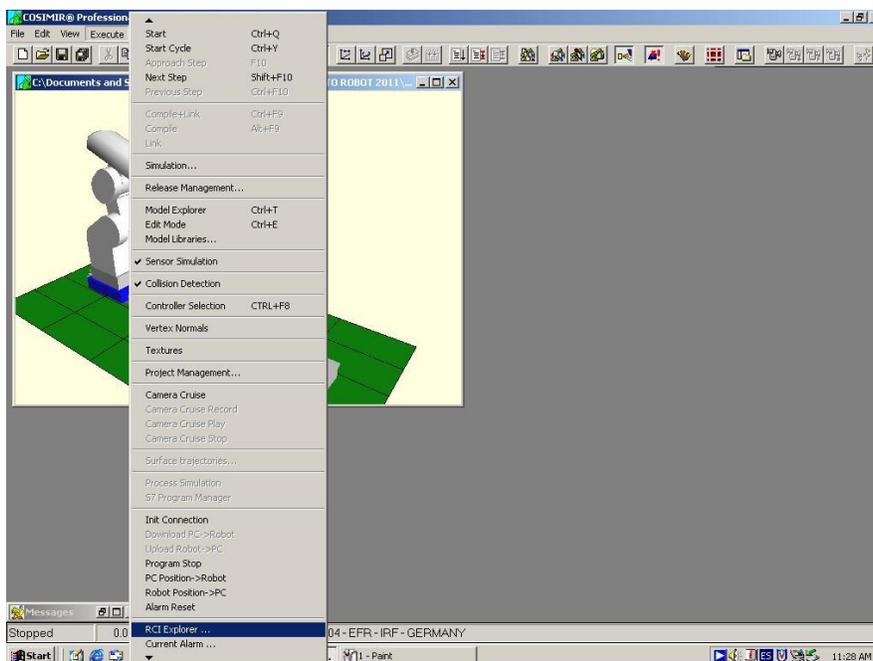
Para el desarrollo del programa INTCC, que ejecuta los movimientos del robot, es necesario basarse en las posiciones del robot y cómo debe moverse para hacer el proceso de muestreo de control de calidad de las **Figuras 25 y 26**. Para establecer las posiciones del robot es necesario crear un archivo que contenga las posiciones y otro archivo con el plan de movimientos del robot. Para ello es necesario entrar a Cosimir

Control® en el computador del CIM que maneja al robot manipulador. Se ejecuta Cosimir Control® y se abre el siguiente archivo, presentado en la **Figura 27**.



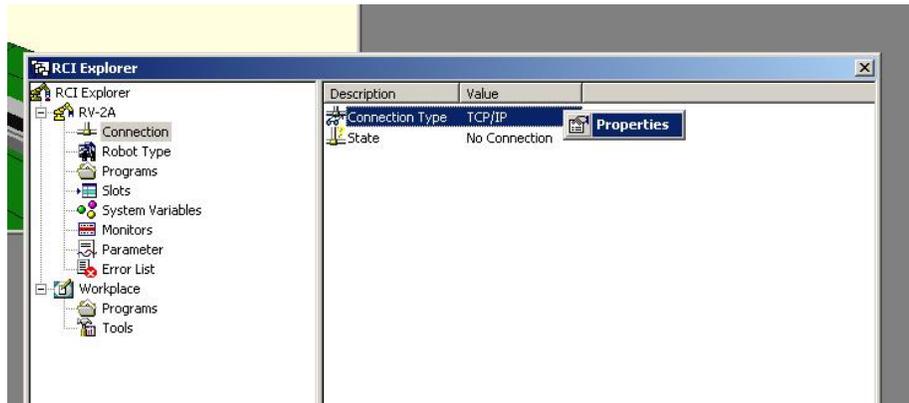
**Figura 27.** Abrir Cosimir Control®

Luego se debe hacer clic en “Ejecutar” en Cosimir Control® y hacer clic en “RCI Explorer” como se muestra en la **Figura 28**.



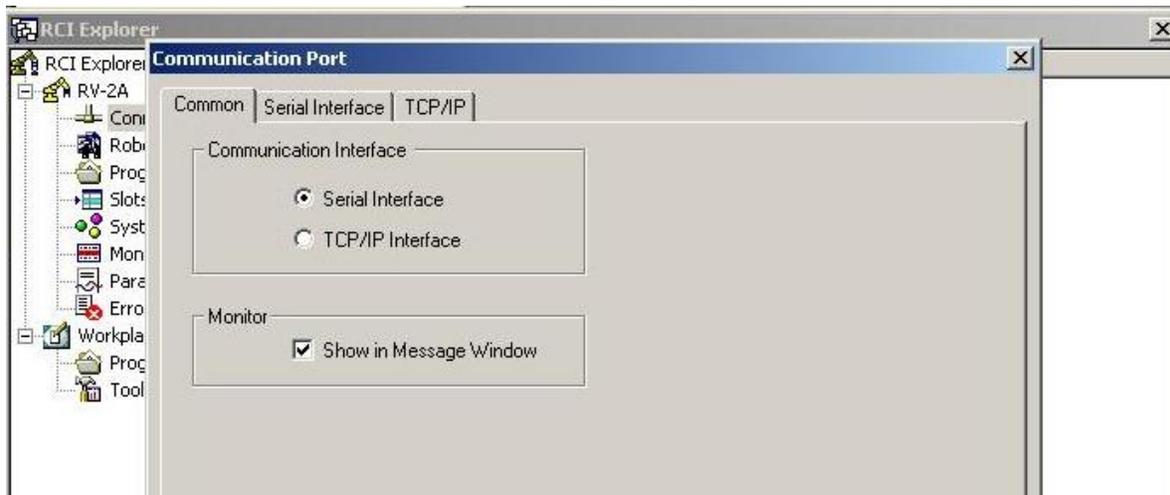
**Figura 28.** Ejecutar RCI Explorer

Se presentara entonces la ventana en la **Figura 29**, que permite la manipulación de los programas del robot.



**Figura 29.** Propiedades de conexión del Robot.

Se debe hacer clic en “Conexión Serial” para poder enviar información desde el computador al robot, como se muestra en la **Figura 30**.



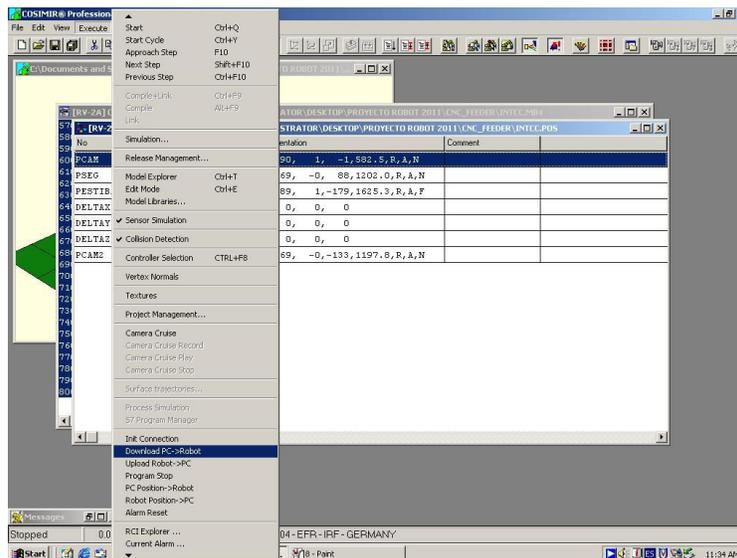
**Figura 30.** Modificar tipo de conexión a “Serial Interface”

Se deben crear las posiciones y la ruta bajo la cual se harán los movimientos del robot. Para visualizar las posiciones, se debe revisar la **Figura 31**.

No	Position	Orientation	Comment
PC&M	-404.2, 305.2, 58.0	-90, 1, -1, 582.5, R, A, N	
PSEG	385.8, -10.2, 424.7	169, -0, 88, 1202.0, R, A, N	
PESTIBA	385.3, -379.1, 64.4	-89, 1, -179, 1625.3, R, A, F	
DELTAZ	39.0, 0.0, 0.0	0, 0, 0	
DELTAY	0.0, 39.2, 0.0	0, 0, 0	
DELTAZ	0.0, 0.0, -90.0	0, 0, 0	
PC&M2	-283.0, 262.3, 424.6	169, -0, -133, 1197.8, R, A, N	

**Figura 31.** Posiciones del robot manipulador para manejar piezas mecanizadas.

Para revisar la ruta haga referencia al **Anexo 6: INTCC Control Robot**. Una vez se tienen tanto las posiciones como la ruta para llegar a ellas se debe subir la información al robot usando la opción “Ejecutar” y luego haciendo clic en “Download Pc -> robot” como se muestra en la **Figura 32**.

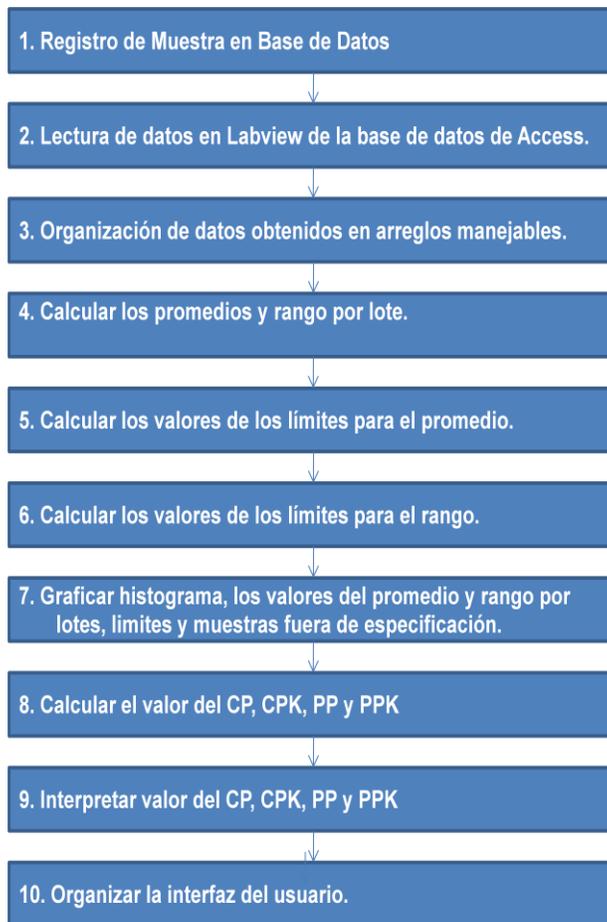


**Figura 32.** Descargar posiciones y ruta al robot.

Para evidenciar el proceso integrado, revisar el **Anexo 8** “Video de la Integración del CIM con el VI”. La diferencia que existe entre la ruta de proceso para la toma de muestras de piezas mecanizadas y de envases llenados por la MPS recae en la posición de embarque de la pieza. La posición a modificar es PESTIBA, las otras posiciones permanecen sin modificar. Para evidenciar la toma de muestras se puede observar el **Anexo 9** “Video de la integración de la MPS con el VI”. En el video no se percibe el robot manipulando los envases de vidrio de la MPS por motivos de seguridad. La mordaza del brazo robótico no es la adecuada para manipular dichos envases de vidrio. Por este motivo se debe considerar un cambio de mordazas.

### 7.3 Estación de Calidad

Una vez la muestra se encuentra sobre la balanza, se inicia el proceso de control de calidad en la estación de calidad. La balanza comienza a registrar el peso hasta que se estabiliza la medida y se registra el dato utilizando el aplicativo en su sección de escritura. Se espera mientras el brazo robótico retira la muestra y coloca la siguiente; una vez esto suceda, se vuelve a registrar la muestra en el aplicativo. Se continúa el proceso anterior hasta que se hayan registrado todas las muestras para los lotes requeridos. Una vez terminado el registro, lo primero que debe hacer es organizar todos los registros en combinaciones entre lotes y muestras. Para ello se ingresa a la página de resultados en el VI (Instrumento Virtual) en donde se selecciona el nombre del producto a analizar. En esta página se presentan los resultados en cuanto al promedio de lotes y rango por lote. Para el análisis de los resultados, se presentan las gráficas de control con los límites para el promedio y rango ya calculados. El usuario debe analizar las gráficas identificando lotes fuera del promedio o del rango. Después de esto, el siguiente paso del usuario consiste en introducirle al aplicativo la información correspondiente a los límites de especificación del producto. A partir de los límites de especificación, el aplicativo encuentra los valores de capacidad de proceso y presenta la interpretación de los valores para que el usuario pueda decidir si el proceso se encuentra en capacidad de producir con las especificaciones necesarias. Ver **Figura 33**.



**Figura 33.** Ruta de proceso para el aplicativo de control de calidad.

Es necesaria una breve explicación de lo que se encuentra en la estación de calidad. Primero que todo se denomina a este espacio como “estación de calidad” debido a que en ella se encuentra implementada la cámara de video utilizada en el proceso de control de calidad por visión artificial. Además de la cámara se encuentra un computador muy cercano a dicha estación y en él se desarrolló gran parte de este trabajo. Dicho computador cuenta con una versión de LabVIEW® actualizada a LabVIEW® 2010. Debido a esto, todo lo que se programa en el programa debe estar al día con LabVIEW® 2010.

En esta sección del trabajo se presenta ahora la programación llevada a cabo luego de implementar la programación inicial de obtención de datos y muestreo. Esta sección se fundamenta en los pasos y actividades requeridas para llegar a analizar y mostrar el análisis de los datos en las diferentes muestras que se realizaron.

El programa de control de calidad por peso debe ser capaz de hacer lo siguiente:

1. Registrar la muestra en una base de datos.
2. Leer los datos en LabVIEW® de la base de datos de Access®.
3. Organizar los datos obtenidos en arreglos manejables.
4. Calcular los promedios y rango por lote.
5. Calcular los valores de los límites para el rango.
6. Calcular los valores de los límites para el promedio.
7. Graficar histograma, los valores del promedio y rango por lotes, límites y muestras fuera de especificación (alarma).
8. Calcular el valor del CP, CPK, PP y PPK.
9. Interpretar valor de CP, CPK, PP y PPK.
10. Organizar la interfaz del usuario.

Se debe realizar en detalle la explicación de la programación de cada uno de estos pasos en el orden establecido. Debido a que el programa requiere de un entendimiento total, es necesario mostrar cada una de estas actividades y cómo se relacionan.

### 7.3.1 Registrar la muestra en una base de datos.

En este proceso, se deben tener en cuenta los elementos claves a integrar. Los elementos que cumplirán con la función de automatizar el proceso de control de calidad son: el computador de la estación de calidad y la balanza. Luego de obtener la balanza, se debe realizar la debida comunicación entre ésta y el equipo. Para comunicarse con el computador, la balanza dispone de un cable RS-232 que se puede conectar con el computador. Una vez realizada la conexión, se debe encontrar la manera en la cual el equipo registrara los datos una vez medidos.

Luego de explorar en Internet y leer los foros de *National Instruments*, se encontró un ejemplo con el cual se lograban manejar los controladores de la Balanza Sartorius. En dicho ejemplo hay varios VI (Instrumento Virtual) en las cuales se descarga información de la balanza. Luego de estudiar los ejemplos y modificarlos a las necesidades del proyecto, se obtiene uno que descarga la información de la balanza y se visualiza en la pantalla una vez se ejecuta. Para lograr descargar el ejemplo de la página de *drivers* de *National Instruments* se debe realizar un proceso de registro e ingresar a la página de descargas y descargar el ejemplo, que además, contiene los controladores requeridos para manejar la lectura de datos desde la balanza. Dicho ejemplo, se encuentra como **Anexo 9** Sartorius-SBI (National Instruments, 2011a). En esa biblioteca de VIs aplicadas a la balanza, se encuentra un VI (Instrumento Virtual) denominado Sartorius Example Save Data.VI, que tiene la apariencia de la **Figura 34**.

# Sartorius Example Save Data.VI

## Diagrama de Bloques

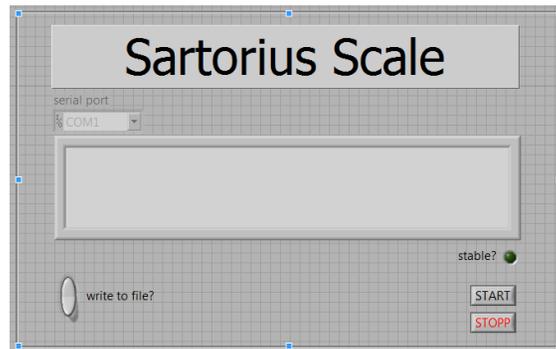
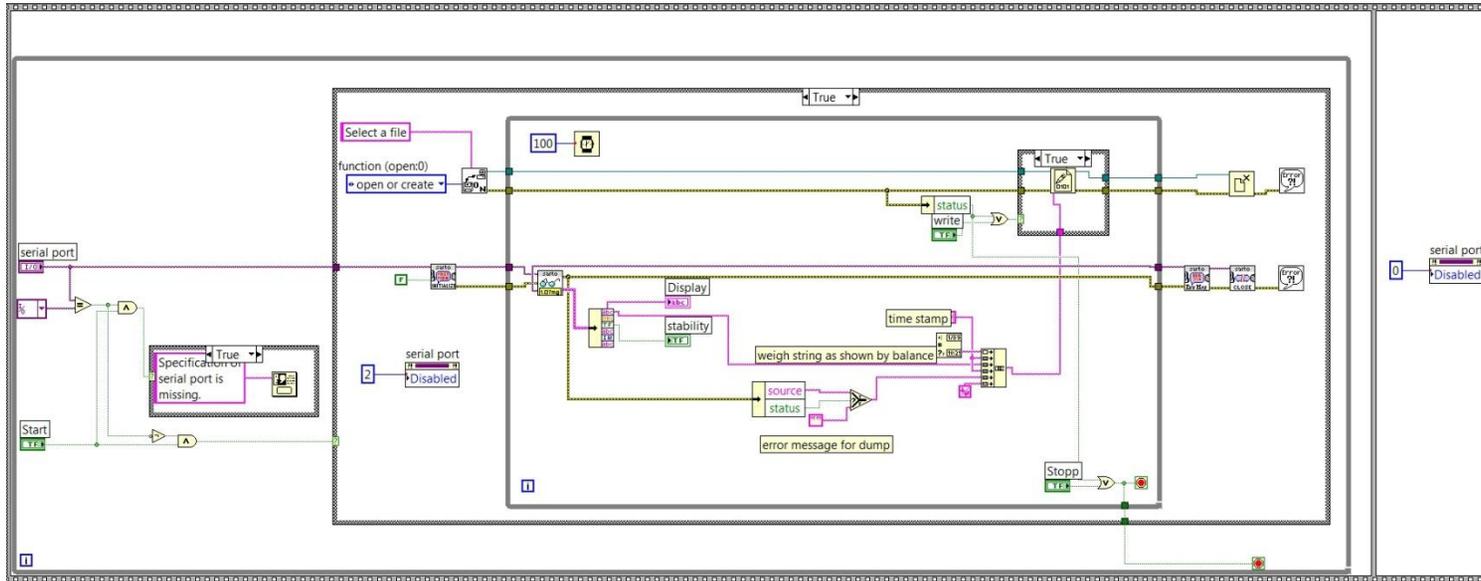
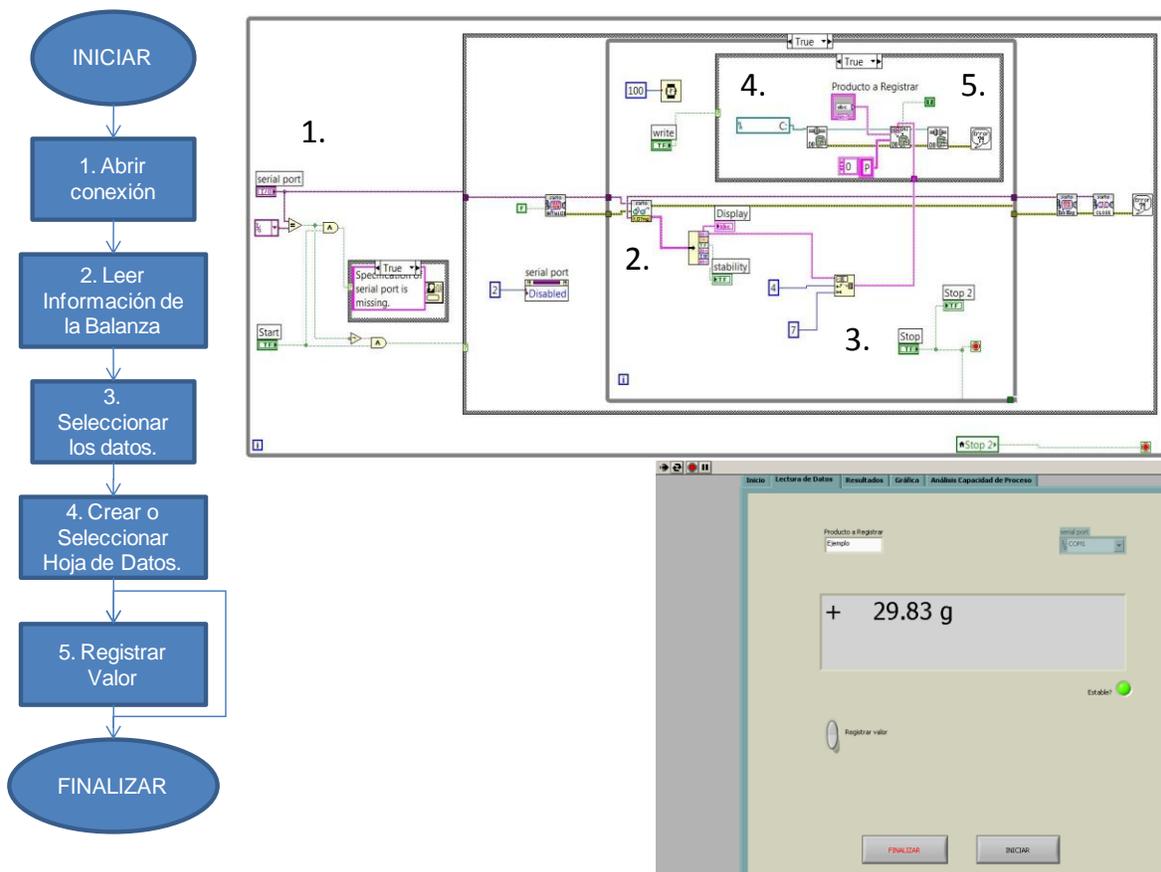


Figura 34. Lectura de Datos desde la balanza original.

El VI (Instrumento Virtual) selecciona un archivo de texto o Excel y le imprime el valor que se está pesando en la balanza en el momento de hacer clic en el botón “*Write to File*”. Aunque la manera en que maneja los datos este VI resulta ser, se debe ajustar para que realice el registro en la base de datos de Access® y el formato de la información debe modificarse para que sólo se registre el valor del peso.

Al iniciar el programa ejemplo, éste pide al usuario que ingrese el archivo en donde se registrara el peso. Esto resulta bastante útil para realizar los registros de datos, pero para el propósito de este trabajo es necesario fijar un solo archivo para registrar. Este archivo debe ser una base de datos de Microsoft Access®, debido a que tiene ciertas herramientas para el manejo de base de datos en lectura y escritura que en la hoja de cálculo MS Excel resultan complicadas. Para el propósito de comunicar LabVIEW® y Microsoft Access® se deben realizar las siguientes actividades. LabVIEW® requiere la instalación de unas herramientas que permiten el manejo de bases de datos. Al ingresar e iniciar sesión en la página de *National Instruments* se puede proceder a buscar la herramienta *Database Connectivity Toolkit*. El archivo se llama **Anexo 10 2010DCT.exe**, que al instalarse y ejecutarse pide un código serial para su autenticación. Para este proyecto se instala a modo de evaluación por 30 días. Para saber cómo manejar e instalar la herramienta de base de datos, es necesario el manual llamado **Anexo 11 Database Connectivity Toolkit**(National Instruments, 2011b).

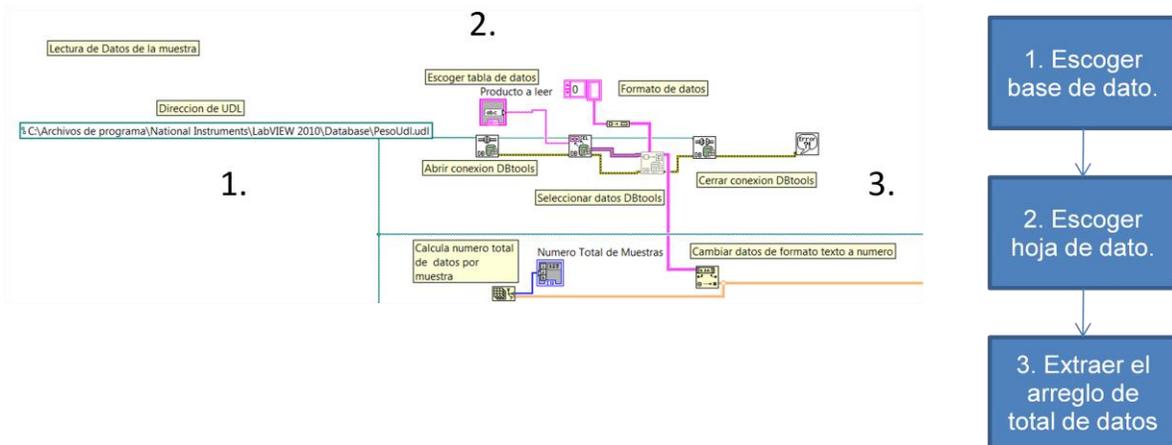
El manual se encuentra actualmente en inglés pero para resumir su manejo, el manual consta de tres actividades fundamentales. La primera actividad es cómo conectarse a una base de datos. Se debe crear una base de datos en el sistema utilizando una nueva base de datos de Microsoft Access®. Luego utilizando ODBC *Data Source Administrator*, en las herramientas administrativas encontradas en el panel de control de Windows se procede a configurar y crear la nueva fuente de datos. Siguiendo los pasos del manual, se debe crear un archivo UDL (*Universal Data Link*), utilizando las herramientas de LabVIEW® con el cual se logra la comunicación entre LabVIEW® y la base de datos de Microsoft Access®. La segunda actividad es consiste en cómo insertar datos desde LabVIEW® a una base de datos. En esta actividad se explican las funciones del *toolkit* de base de datos y muestran un VI (Instrumento Virtual) ejemplo con el cual se basó la programación de la lectura de datos de éste trabajo. Finalmente, la tercera actividad hace referencia a la lectura de datos, que se utilizara posteriormente para el proceso de lectura y análisis de datos. Dicho VI generado tiene la siguiente apariencia y programación, cuya función responde a escribir los datos de la balanza en una base de datos de Microsoft Access®.



**Figura 35.** lectura de datos de la balanza modificado por el autor

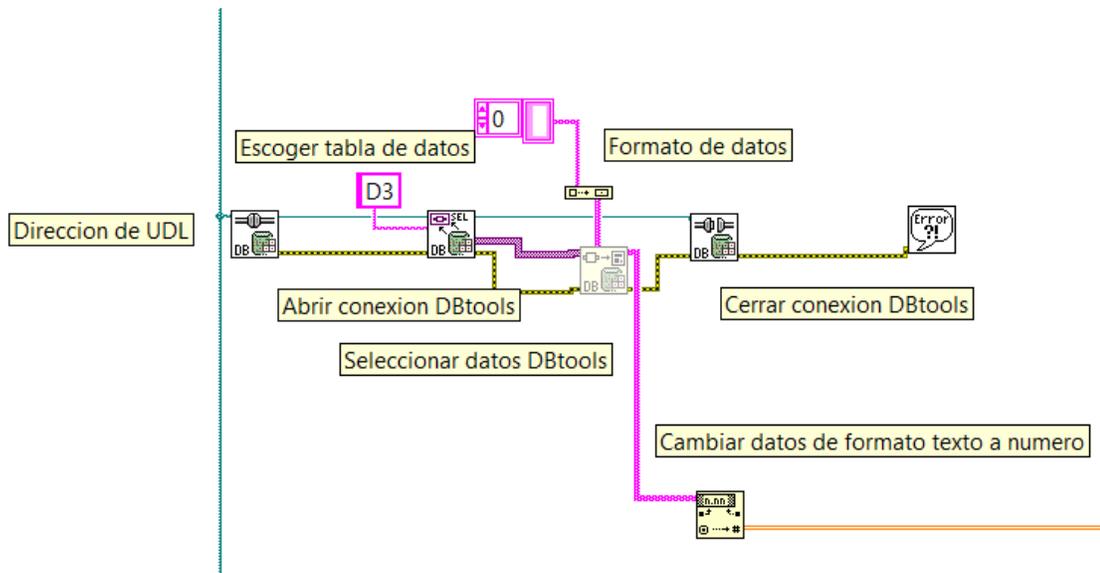
### 7.3.2 Lectura de datos en LabVIEW® de la base de datos guardada en el archivo Access®.

En esta actividad es necesario seguir con el manual **Anexo 11 Database Connectivity Toolkit User Manua** (National Instruments, 2011b). En la página 16 del manual está la sección, “*Selecting Data from Database*”. Se describe un ejemplo de cómo se debe manejar las diferentes funciones de la herramienta *Database Toolkit*, para así adquirir y seleccionar la información registrada en la sección anterior de escritura de base de datos. Se supone que en este punto, los datos de la muestra están registrados y sólo falta poder manejarlos. A partir del ejemplo se llega al siguiente diagrama en la **Figura 36**.



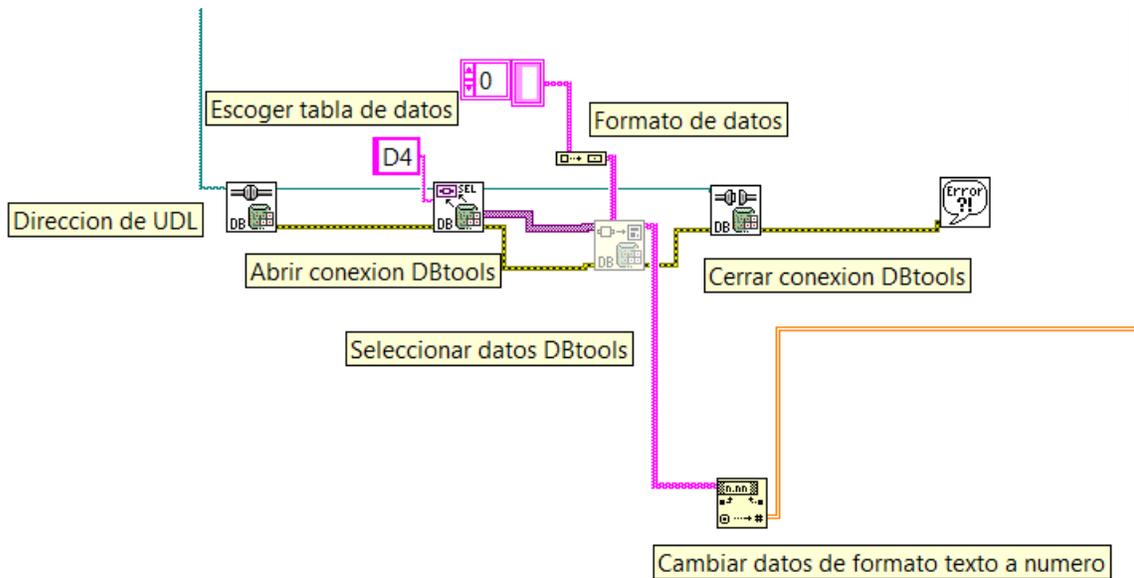
**Figura 36.** Lectura de datos de producto desde base de datos.

Al tener un archivo UDL creado como se explica en el manual de *Database Connectivity Toolkit*, en la sección de conectar a la base de datos, se debe realizar una constante que haga referencia a la dirección del archivo UDL asignado a la base de datos. Se utiliza el VI (Instrumento Virtual) *DB Tools Open Connection VI* para abrir la conexión y a este se le conecta la dirección UDL. Luego se debe añadir el VI (Instrumento Virtual) *DB Tools Select Data VI*, en el cual uno puede escoger la tabla específica de los datos a manejar. El siguiente VI, ayuda a darle un formato a manera de arreglo a los datos de una dimensión. Luego se debe cerrar la conexión utilizando *DB Tools Close Connection VI* y sacar los errores. Una vez se tenga la salida del arreglo de datos, se le debe cambiar el formato de texto a números, para poder manejar los datos en formato numérico. Se añade un último VI (Instrumento Virtual) que permite calcular el número total de registros en la base de datos seleccionados, con lo cual el usuario puede saber cómo manejar las muestras y los lotes. De esta manera, se deben manejar los datos que se registraron en la base. Por último, se deben añadir los datos de las constantes A2, D3 y D4 con las cuales se calculan posteriormente los valores de los límites del rango y del promedio. La programación es exactamente la misma.

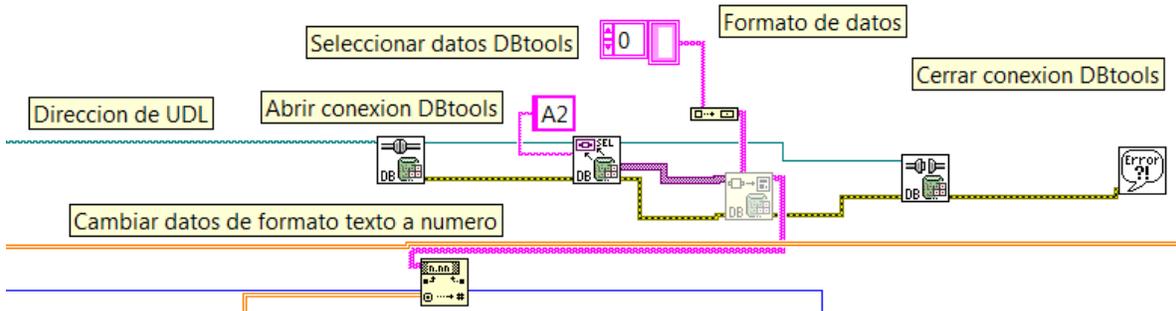


**Figura 37.** Lectura de datos D3 desde base de datos.

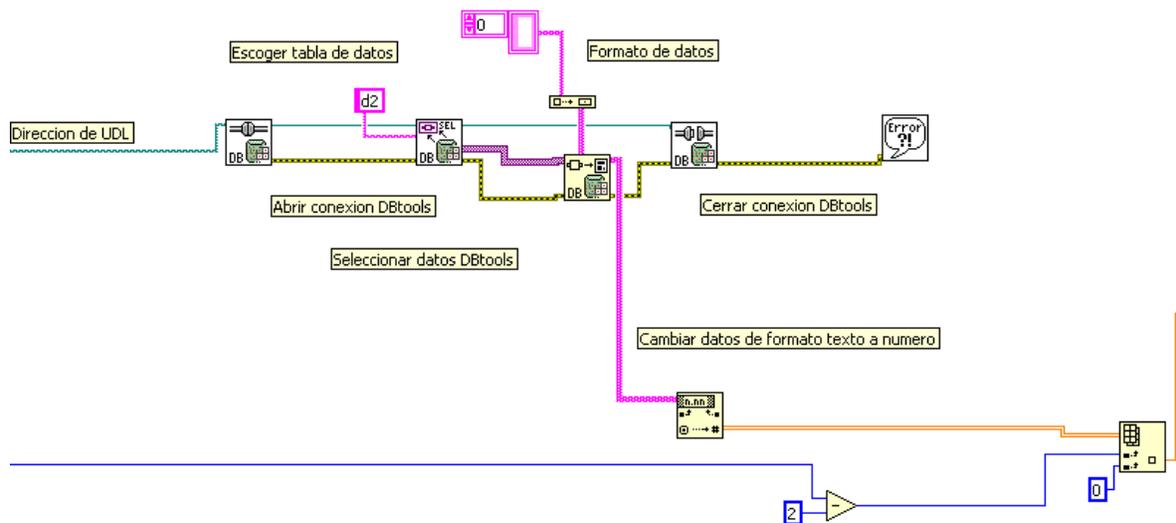
La dirección UDL viene de la misma constante creada anteriormente. En este caso la tabla que se escogerá es la D3 cuyos valores deben ser ingresados anteriormente según las constantes de los gráficos de control. Se repite la explicación para los siguientes VI.



**Figura 38.** Lectura de datos de D4 desde base de datos.



**Figura 39.** Lectura de datos de A2 desde base de datos.



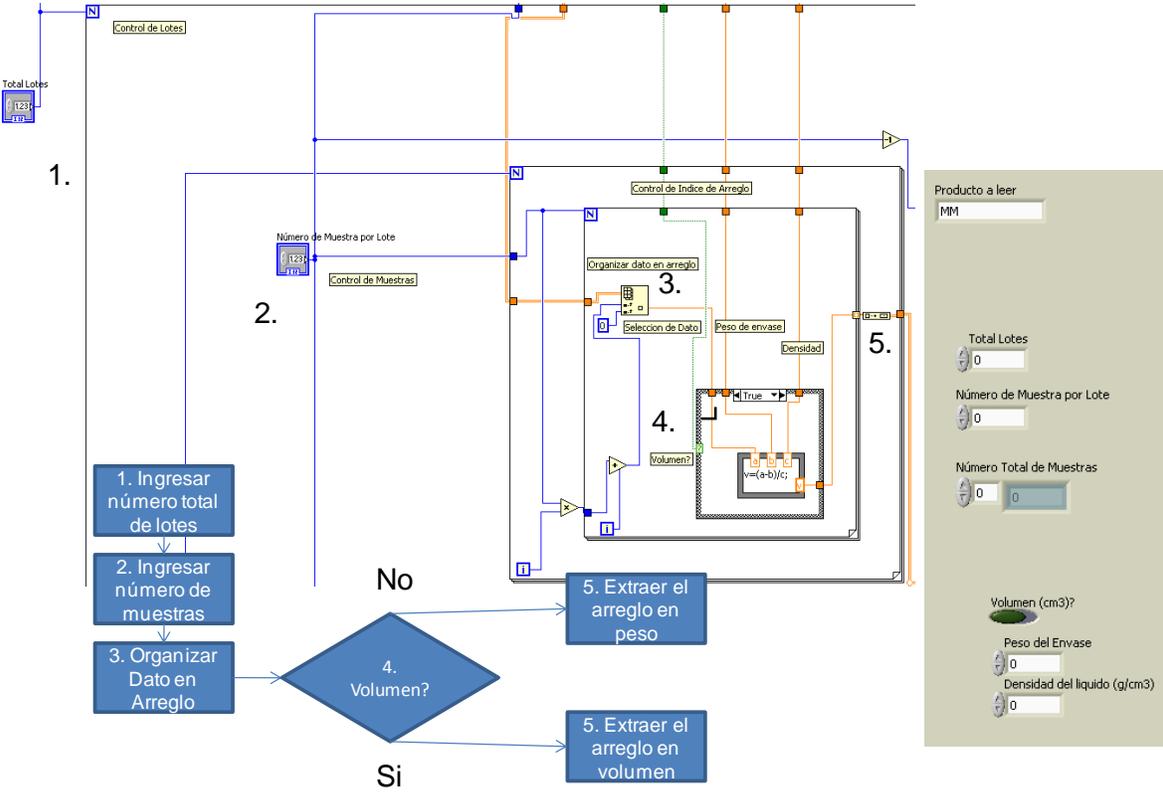
**Figura 40.** Lectura de datos de d2 desde base de datos.

Una vez realizada esta parte, es posible acceder a toda la información registrada en la base de datos Access®.

### 7.3.3 Organización de datos obtenidos en arreglos manejables.

Lo primero que se debe realizar es un *For Loop*, que hace una acción determinado número de veces. Se necesita manejar tres *loops* diferentes, uno que controle el manejo de los lotes, otro que controle el manejo de las muestras y un último *loop* que maneje el índice del arreglo. La idea fundamental de esta parte es poder realizar arreglos nuevos dependiendo del número de lotes y muestras que se manejarán. Se requiere poder hacer n subgrupos de n número de lotes ajustado a un total de muestras. Por ejemplo, de un

total de 90 registros se pueden encontrar los valores específicos de 5 lotes de 18 muestras o, cambiando los controles, 3 lotes de 30 muestras. Mientras se ajuste a las restricciones del sistema, se puede hacer cualquier combinación entre lotes y muestras requeridos por el operador del aplicativo.



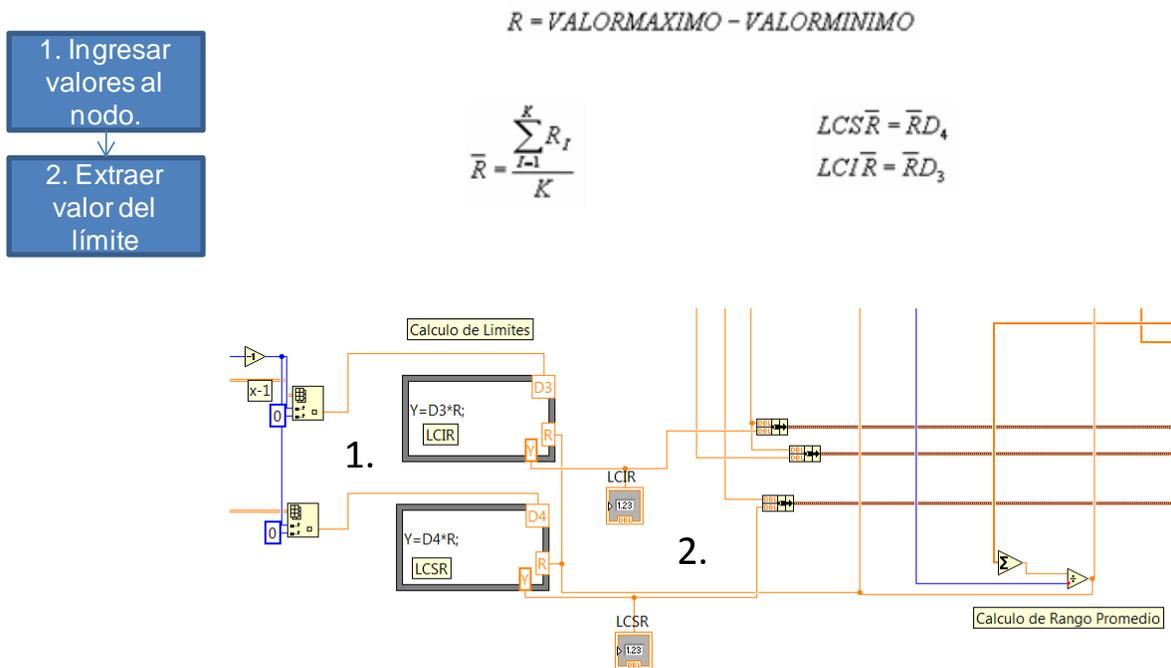
**Figura 41.** Organización de datos obtenidos en arreglos manejables,

Básicamente lo que se puede notar de estos tres *loops* es que a medida que el número de lote cambia, y se hace el registro dentro de un nuevo arreglo de las muestras requeridas que van aumentando una a una hasta llegar al tope, de la misma manera avanza el índice. En la salida de los *loops* se llega a un sub arreglo del cual se calcularán los promedios y rangos. Esta parte refleja la flexibilidad del programa de poder manejar cualquier combinación entre número de lotes y número de muestras para cualquier registro. Permite adicionalmente hacer la conversión del valor del peso a volumen. Para realizar dicha conversión es necesario generar un caso de verdadero o falso. Si se desea controlar volumen se activa el booleano en “true” y permite el flujo de los datos por el nodo de fórmula que contiene la conversión de peso a volumen. Ver **Figura 41**.



### 7.3.5 Calcular los valores de los límites para el rango.

Para esta parte es fundamental crear una estructura de *Formula Node*, en donde se permite ingresar entradas y salidas en una fórmula que realiza la operación de calcular el promedio. Basado en las fórmulas de límite superior e inferior para el rango, se encuentra el siguiente VI en la **Figura 43**.

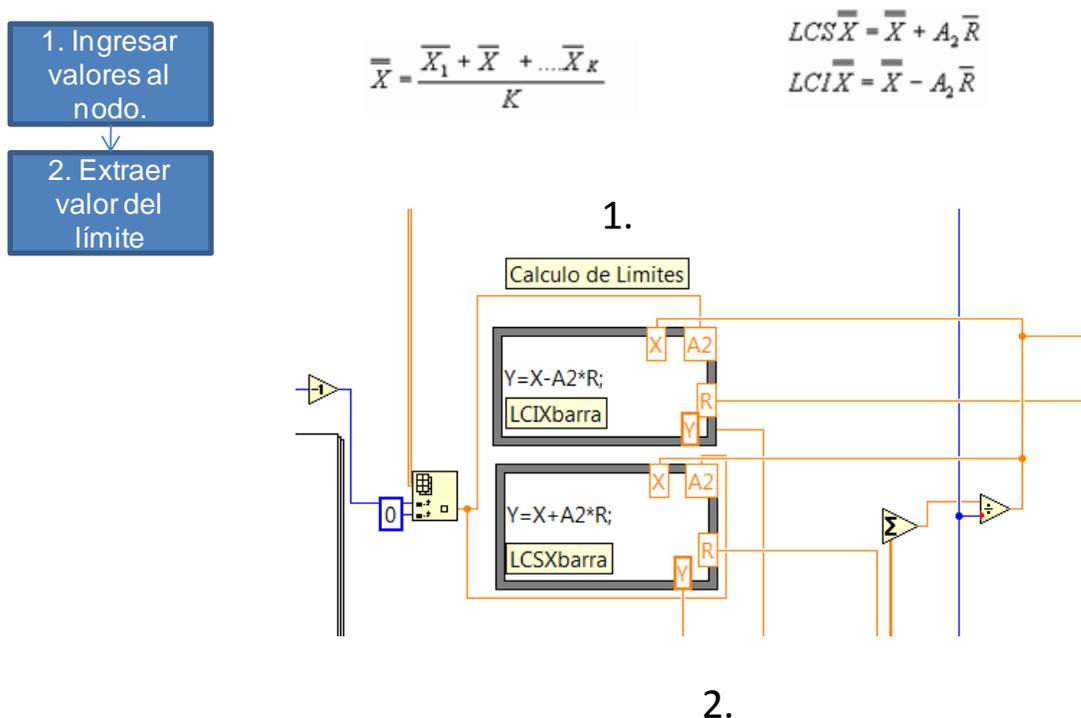


**Figura 43.** Calcular los valores de los límites para el Rango

En el VI (Instrumento Virtual) anterior se ve en la parte izquierda una selección de los datos para los valores de D3 y D4 que salen de los VI anteriores para obtener, dependiendo del número de muestra, su correspondiente valor constante. Las entradas a la fórmula son las constantes D3 y D4 para los dos casos y el promedio de los rangos. La salida se representa como Y y los valores respectivos corresponden a los límites superiores e inferiores del rango. Para calcular el rango promedio, se toman todos los rangos por lotes previamente almacenados y se calcula la sumatoria de ellos, para luego dividirla por el número total de lotes.

### 7.3.6 Calcular los valores de los límites para el promedio.

Para esta parte es fundamental crear una estructura de *Formula Node*, en donde se permite ingresar entradas y salidas en una fórmula que realiza la operación de calcular el promedio. Basado en las fórmulas de límite superior e inferior para el promedio se encuentra el siguiente VI. Ver **Figura 44**.

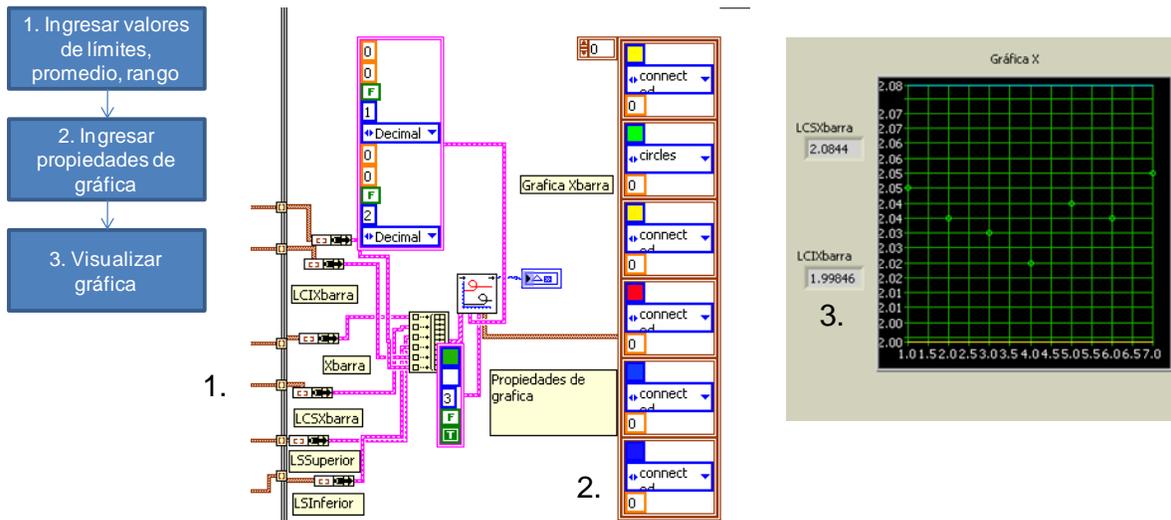


**Figura 44.** Calcular los valores de los límites para el promedio

En el siguiente VI, se realiza un llamado al número de muestra. Este número de muestra se define en la selección de datos de la tabla A2, encontrada en la base de datos que permite el cálculo del límite. Como es el mismo valor, el valor de A2 ingresa en ambas fórmulas. Además de la constante A2 es necesario encontrar el valor del promedio de los promedios por lote. Para esto se suman todos los promedios y se dividen por el número de lotes y se ingresa como X en la fórmula. Además, es necesario ingresarle a la fórmula el promedio de los rangos que se calculan en la sección anterior. Una vez obtenidas y creadas todas las entradas, la formula retorna como Y el valor de los límites.

### 7.3.7 Graficar histograma, los valores del promedio y rango por lotes límites y muestras fuera de especificación (alarma).

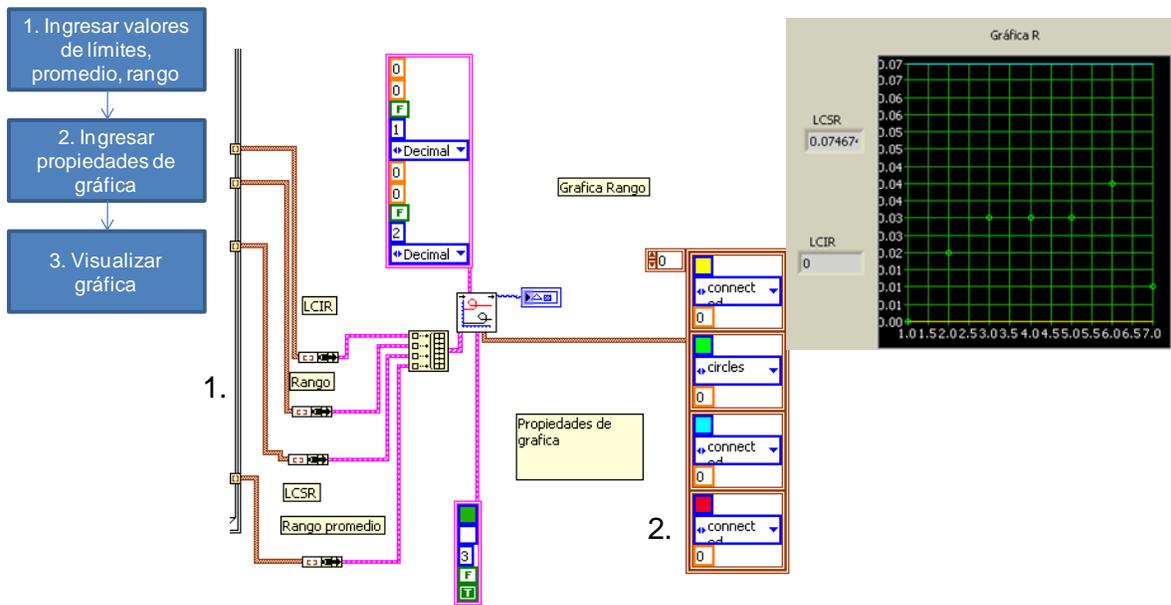
Una vez obtenidos todos los valores de la gráfica Xbarra que son, el valor X barra, límite superior e inferior calculados en el paso anterior, es posible generar la gráfica con el siguiente VI. Ver **Figura 45**.



**Figura 45.** Graficar histograma, los valores del promedio por lotes, límites y muestras fuera de especificación (alarma).

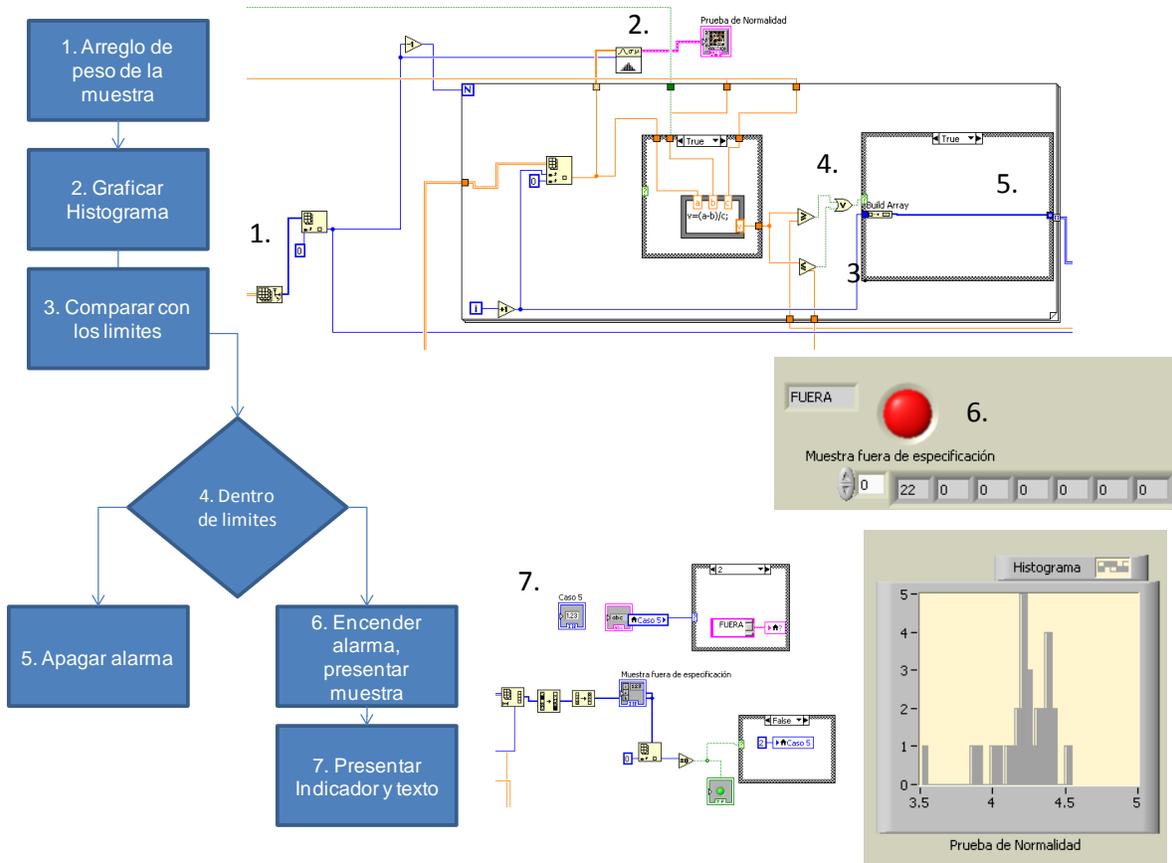
Desde el momento en que se obtienen los valores específicos de Xbarra, LCSXbarra, LCIXbarra, y límites de especificación, se deben organizar en arreglos en los cuales se graficarán por lote los valores mencionados. Saliendo de los *loops*, los arreglos se juntan en un arreglo aún más complejo que graficara las 5 series. Esta función de gráfica tiene propiedades que si se manejan con las constantes registradas en el VI, reproducen la gráfica de la misma manera siempre.

Para la gráfica de rangos se maneja una estructura muy similar y el mismo orden lógico expresado anteriormente. El VI para graficar rangos, ver **Figura 46**.



**Figura 46.** Graficar histograma, los valores del rango por lotes, límites y muestras fuera de especificación (alarma).

Adicionalmente se tiene un sistema de alarma para detectar qué muestras se encuentran por fuera de especificación. Para ello se presenta un indicador visual que alarma al operador cuando se sale de capacidad. La alarma hace una comparación entre cada muestra y los límites de especificación ingresados. Si el peso de la muestra se encuentra por fuera del límite, se presenta el número correspondiente a la muestra y además se enciende la alarma visual. Permite adicionalmente hacer la conversión del valor del peso a volumen. Para realizar dicha conversión es necesario generar un caso de verdadero o falso. Si se desea controlar volumen se activa el booleano en “true” y permite el flujo de los datos por el nodo de fórmula que contiene la conversión de peso a volumen. Ver **Figura 47.**



**Figura 47.** Generar alarma, histograma y presentar muestras fuera de especificación.

### 7.3.8 Calcular el valor del CP, CPK, PP y PPK.

Para calcular los valores de CP, CPK, PP y PPK lo primero que se debe tener es el valor de sigma de la muestra. Este valor se calcula con un VI, que al ingresarle el arreglo total de las muestras obtiene el valor de sigma. Luego de tener los valores a operar que son sigma, límite de especificación superior e inferior y el promedio de los lotes, se ingresan todos en un *Formula Node* que opera ambas funciones para obtener CP, CPK, PP y PPK.

1. Calculo de sigma
2. Ingresar limites de especificación.
3. Ingresar valores al nodo.
4. Extraer valor CP y CPK

$$Cp = (LCS - LSI) / 6\sigma \quad (6)$$

$$Cpk = \frac{LCS - \bar{X}}{3\sigma} \quad S = R/d2 \quad Cpk = \frac{\bar{X} + LCI}{3\sigma}$$

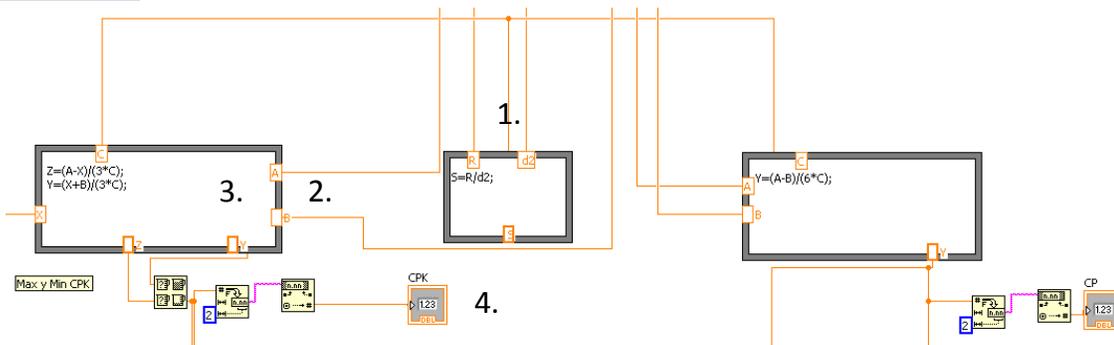


Figura 48. Calcular valores de CP y CPK

1. Calculo de sigma
2. Ingresar limites de especificación.
3. Ingresar valores al nodo.
4. Extraer valor PP y PPK

$$pp = (LCS - LSI) / 6\sigma \quad (6)$$

$$ppk = \frac{LCS - \bar{X}}{3\sigma} \quad ppk = \frac{\bar{X} + LCI}{3\sigma}$$

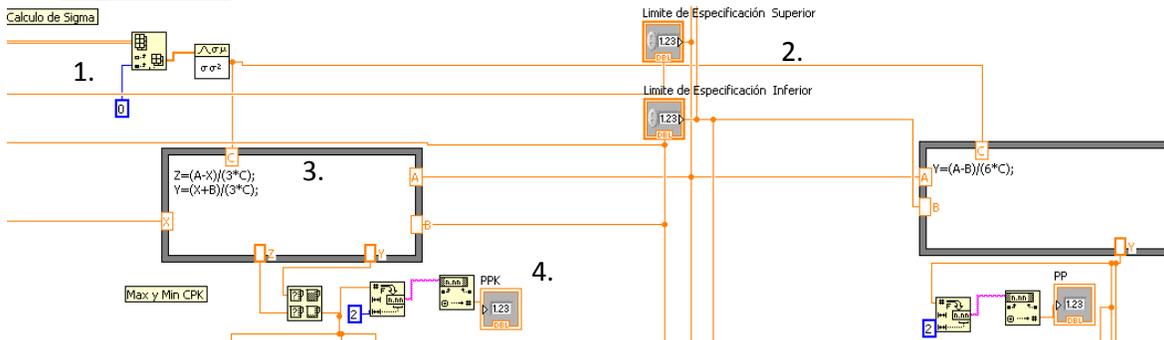


Figura 49. Calcular valores de PP y PPK

### 7.3.9 Interpretar valor de CP, CPK, PP y PPK.

La interpretación de los valores CP y CPK se fundamenta en la tabla del marco teórico en la cual se establecen las interpretaciones dependiendo de los valores. Dado que se establecen ciertos intervalos por interpretación se procede a manejar comparaciones. Para cada intervalo se asigna un booleano que toma valores de verdadero o falso. Si el valor CP y CPK cumple con uno de los casos, se asigna su debida interpretación de la siguiente manera.

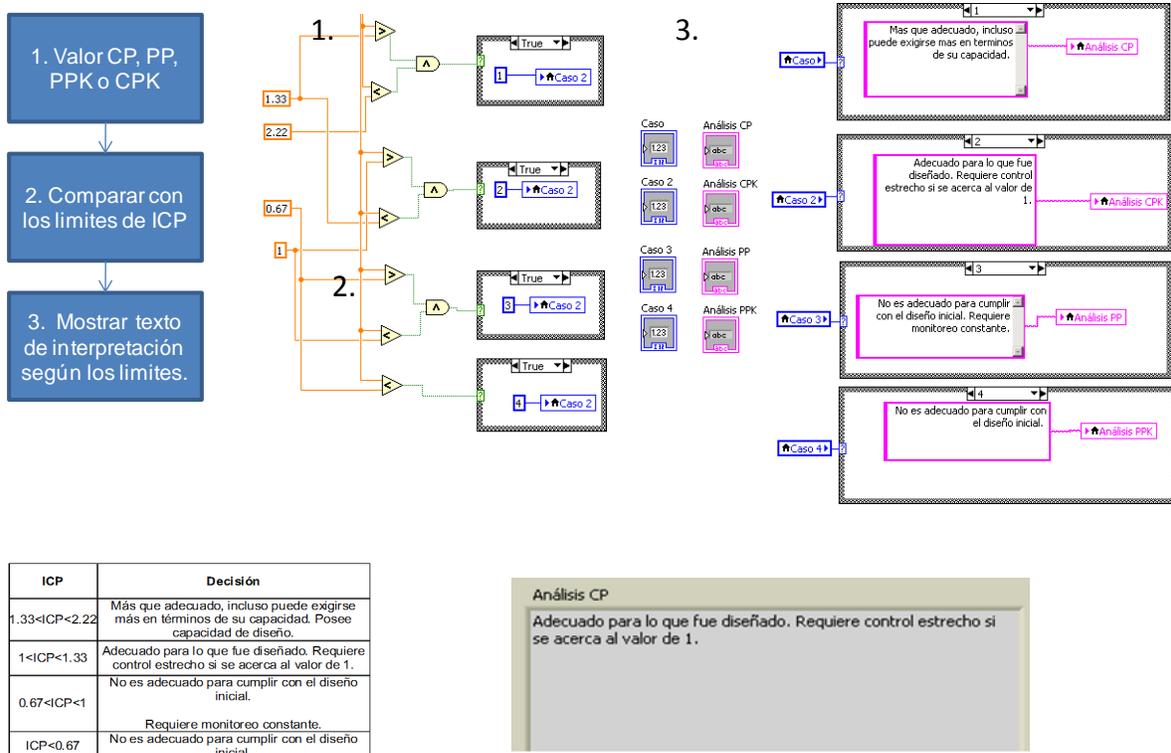


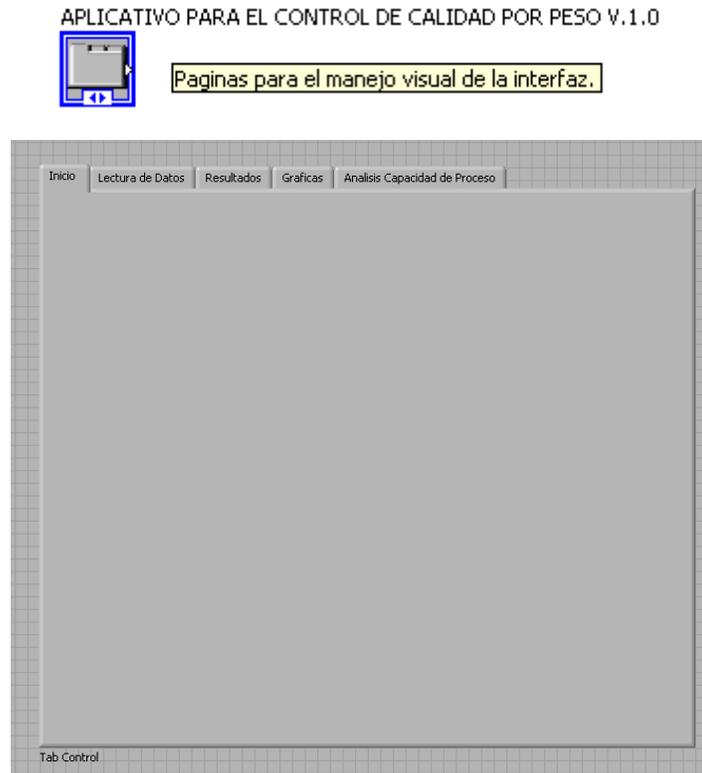
Figura 50. Interpretar los valores de CP, PP, PPK y CPK

En la imagen anterior se puede ver que a partir del valor de CP, PP, PPK, o CPK se establecen ciertas condiciones que, de cumplirlas, asignaría a la parte derecha un mensaje. Si cumple con la interpretación 1, entonces esta aparecerá como mensaje para el usuario y así sucesivamente para todas las interpretaciones. Para lograr esta actividad es necesario crear casos *True* y *False* que, al cumplirse las condiciones, manejan un caso final basado en números que muestran la interpretación correcta. En resumen, las desigualdades hacen cumplir los casos de cada interpretación y al cumplirse, asignan un número con el cual se asignara de 1 a 4 todas las interpretaciones.

### 7.3.10 Organizar Interfaz para Usuario

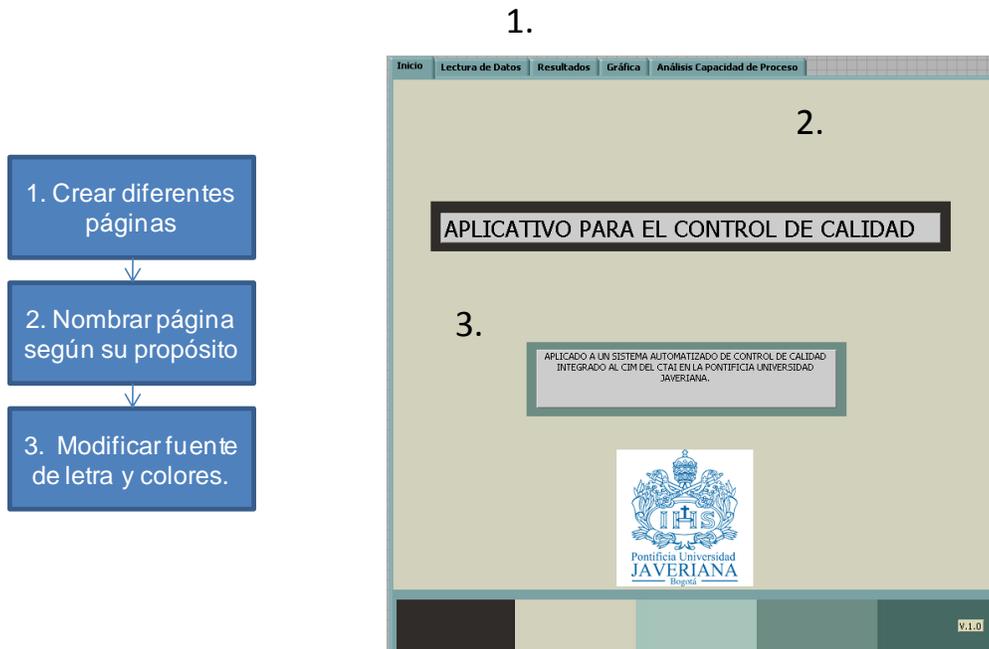
Lo primero que se debe hacer es colocar la función de *tabs* o paginado, con la cual es posible dividir el aplicativo en páginas que ayudan a simplificar el instrumento virtual. La programación de esta parte es muy sencilla y no requiere de mayor explicación que la

**Figura 51.** Una vez colocados los *tabs*, el instrumento virtual debe tener organizada la información que se desea presentar. Se crean las páginas con los siguientes nombres: Inicio, Lectura de Datos, Resultados, Gráficas y, por último, Análisis de capacidad de proceso.



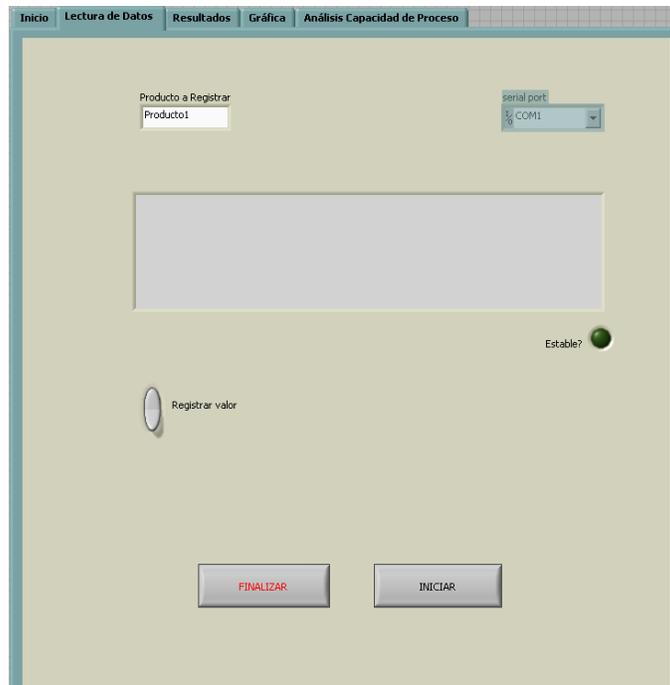
**Figura 51.** Manejo de páginas del VI.

Al iniciar, las páginas no se encuentran creadas; si se hace clic derecho sobre el control de páginas se pueden encontrar las propiedades del control y permite crear y organizar las páginas en la manera requerida. Para la página de inicio se hace una presentación del título y se agregan imágenes con colores, lo que le brinda un tono visual más agradable para el usuario. Además, se aconseja tener en consideración colores suaves para evitar la fatiga visual. Ver **Figura 52.**



**Figura 52.** Presentación de página “Inicio”.

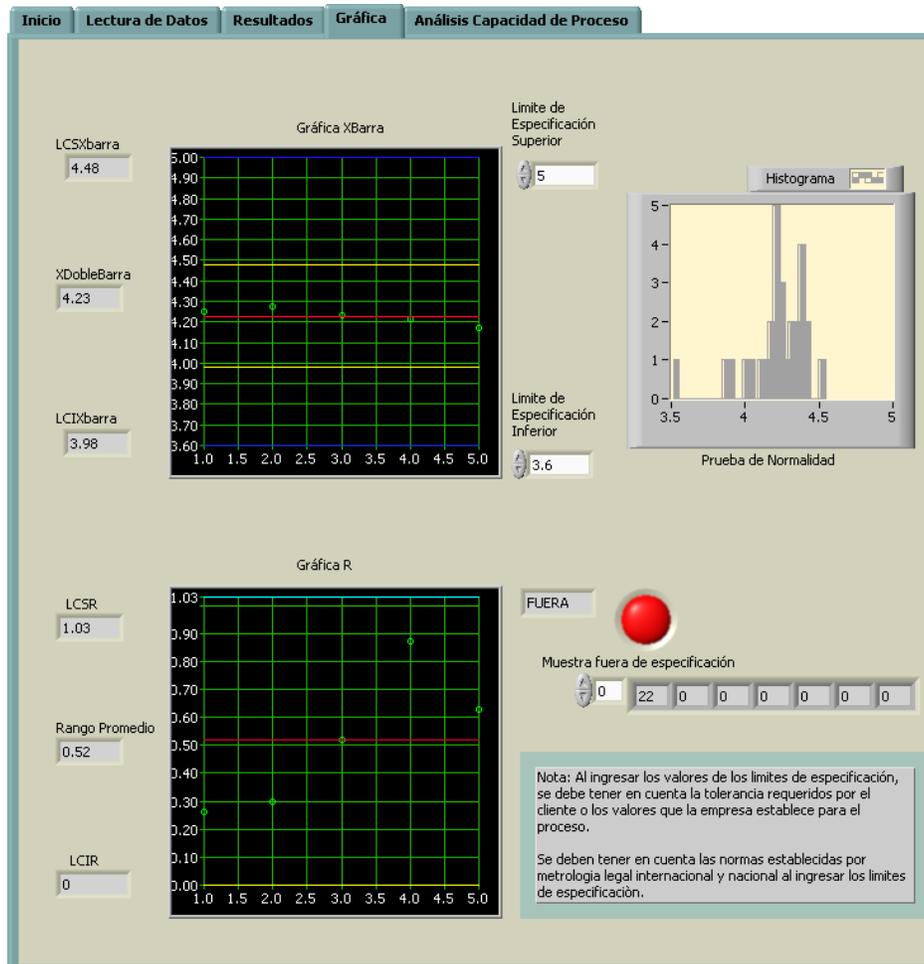
Para la página de Lectura de datos, se deben consignar los indicadores generados en la programación de la lectura de información desde la balanza. Los indicadores son el botón de Inicio y Finalizar, el control de texto para el producto a registrar, el puerto serial de comunicación, el botón de Registrar Valor, el indicador *string* que genera la visualización del valor registrado en la balanza y, por último, el booleano que indica si la balanza se encuentra estable o no. Para organizar estos indicadores y controles se presenta la **Figura 53**.



**Figura 53.** Presentación de página “Lectura de Datos”.

Para la página de resultados se deben presentar fundamentalmente los arreglos generados por el programa que presentan los promedios de cada lote medido y los rangos de cada uno de ellos. Para ello, es necesario ingresarle los controles que indican el nombre del producto que previamente se ha registrado en la base de datos. Si no se escribe exactamente el nombre del producto como fue registrado, el programa presentará un mensaje de error. Una vez ingresado el nombre exacto del producto, se puede manipular el número de lotes y muestras dependiendo del número total de muestras registradas en la base de datos y presentadas por el indicador Número Total de Muestras. Para controlar los lotes y muestras se utilizan los controles de Total Lotes y Número de muestras por lote. Aquellos controles harán que los indicadores de promedio por lote y rango por lote se alteren para las necesidades del usuario. Cabe recordar que el máximo número de muestras por lote que maneja este aplicativo es de 25 muestras por lote. La representación de esta página se muestra en la **Figura 54**.

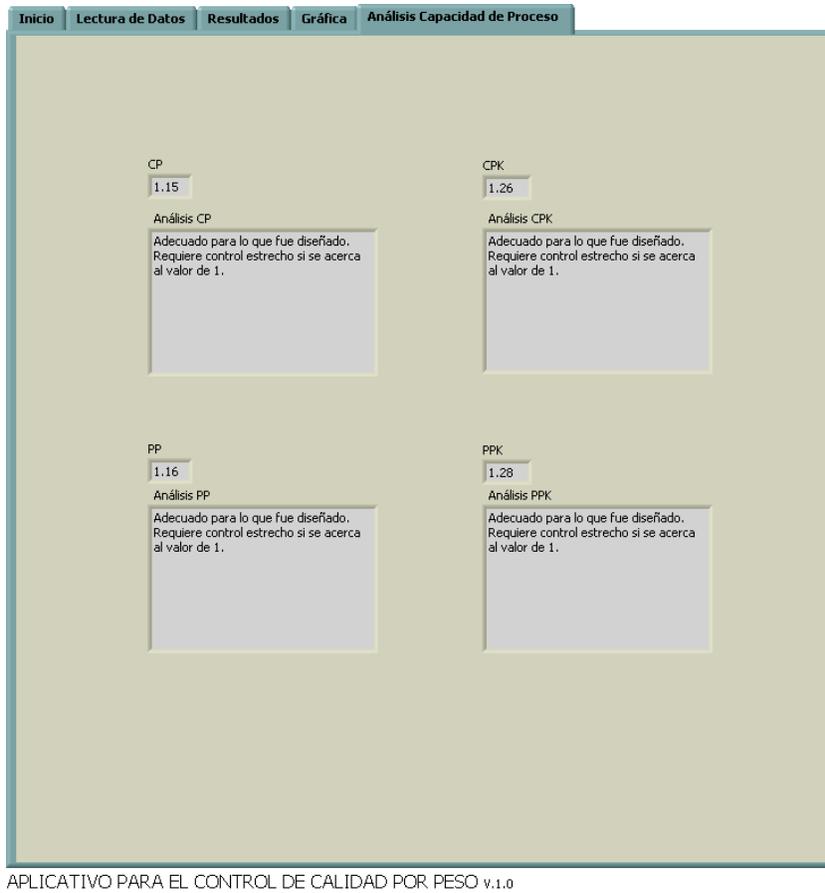




APLICATIVO PARA EL CONTROL DE CALIDAD POR PESO v.1.0

**Figura 55.** Presentación de página “Gráfica”.

Al organizar la página de Análisis de Capacidad de proceso se deben presentar los valores de CP, PP, PPK, y CPK. Aquellos indicadores son calculados por los límites de especificación que son los controladores en el proceso de calcular los valores de capacidad de proceso. Se presenta una nota en la cual se clarifica al operador lo que debe introducir en el control de los límites de especificación. Una vez calculados los valores de CP, PP, PPK, y CPK, los indicadores de análisis CP, PP, PPK, y CPK mostrarán la interpretación adecuada dependiendo de los intervalos de decisión. La página de Análisis se presenta en la **Figura 56**.



**Figura 56.** Presentación de página “Análisis de Capacidad de Proceso”.

## 8. PROTOCOLO DE PRUEBA

Protocolo de prueba general de control de calidad para productos manejados por el CIM del CTAI de la PUJ y el mercado.

Es necesario comprobar si la variable “peso” es relevante en la medición de calidad de un producto. Para ello se diseña un protocolo genérico de control de calidad con el fin de poder reproducir dichas pruebas. Utilizando el aplicativo de control de calidad se registran los valores de peso para cada prueba realizada y luego son analizadas para comprobar la calidad de los productos medidos.

### 8.1.1 Definición de Producto.

Se define el producto como una oferta que tenga la capacidad de satisfacer una necesidad o un deseo del mercado, para ser adquirido, usado o consumido. Un producto, puede ser un bien tangible, un servicio, una idea, una persona, un evento, una experiencia, un lugar, una organización, una información o una propiedad (Thompson, 2011). Para el caso de estudio, se analizarán productos generados en el laboratorio CTAI en el CIM, además se verificará el comportamiento haciendo uso de productos cotidianos del mercado. A continuación se hace la presentación de productos generados el CIM. Ver **Figura 57**.

Producto	Foto	Variables medibles	Origen
Líquido envasado		Masa, Volumen	CIM, MPS
Pieza en bronce		Masa, Diámetro, Longitud	CIM, Torno

**Figura 57.** Productos fabricados en el CTAI.

En cuanto a la elección de los productos del mercado a manejar se decide elegir los productos de la **Figura 58**.

Producto	Foto	Variables medibles	Origen
Chocolate M&M		Masa	Mercado
Jeringa		Masa, Volumen	Farmacia
CoffeeDelight		Masa	Mercado

**Figura 58.** Productos del mercado

Se eligen los tres productos mencionados en la **Figura 58**. Los chocolates M&M® se eligieron para verificar la calidad de productos fabricados por una compañía multinacional, de una marca de gran reconocimiento y que maneja una alta calidad. Los dulces Coffee Delight®, se eligieron para representar una compañía colombiana y comparar con la calidad que manejan las compañías multinacionales. Las jeringas se eligieron para representar a la industria farmacéutica, a la que se exige mayor calidad. Se exige mayor calidad para productos farmacéuticos ya que de estar fuera de calidad repercute directamente en la salud del paciente.

Se miden los productos manejados por el CIM y otros productos del mercado, con el fin de controlar su calidad. Los productos del CIM son: líquidos envasados por la MPS y piezas mecanizadas por el torno. Los productos del mercado son: Jeringas desechables, chocolates M&M®, dulces Coffee Delight®.

Producto	Foto	VARIABLES medibles	Origen
Chocolate M&M		Masa	Mercado
Jeringa		Masa, Volumen	Farmacia
CoffeeDelight		Masa	Mercado
Líquido envasado		Masa, Volumen	CIM, MPS
Pieza en bronce		Masa, Diámetro, Longitud	CIM, Torno
Pieza en parafina		Masa, Diámetro, Longitud	CIM, Torno

**Figura 59.** Productos a analizar por el aplicativo de control de calidad.

Según la tabla se puede ver que todos los productos manejan la variable medible de peso, variable medible de masa y se utiliza la balanza seleccionada para realizar las mediciones.

### 8.1.2 Definición de variables iniciales para el aplicativo de control de calidad.

Para cada producto a manejar se requiere asignar los datos relevantes a cada uno de los siguientes parámetros:

Nombre de Producto: Ej. Jeringa

Número total de muestras a registrar: en el caso de las aproximaciones normales, valores  $N \geq 30$  son comúnmente aceptados. Se tiene en cuenta que este valor es requerido en la definición del número de veces que ha de repetirse cada registro y veces que el robot manipulador va a llevar el producto a medir.

Número de muestras por lote: define el tamaño del lote. Ej. Cada lote tiene 10 productos.

Número de lotes: define la cantidad de lotes que se van a manejar en la prueba de calidad. Ej. 10 lotes de 10 productos.

Límite de especificación Superior: define el valor máximo en peso que ha de tener el producto medido, de acuerdo con las especificaciones del cliente, empresa o la norma establecida.

Límite de especificación Inferior: define el valor mínimo en peso que ha de tener el producto medido, de acuerdo con las especificaciones del cliente, empresa o la norma establecida.

Volumen o Peso: se debe definir si se va a trabajar con una medida de volumen o peso. En el caso de trabajar volumen se debe conocer el valor de la densidad exacta de lo que se está pesando. Una vez definida la densidad del producto se tiene en cuenta el peso del envase si se tratara de un líquido.

El proceso de muestreo para realizar las pruebas debe clasificarse como muestreo manual o automatizado.

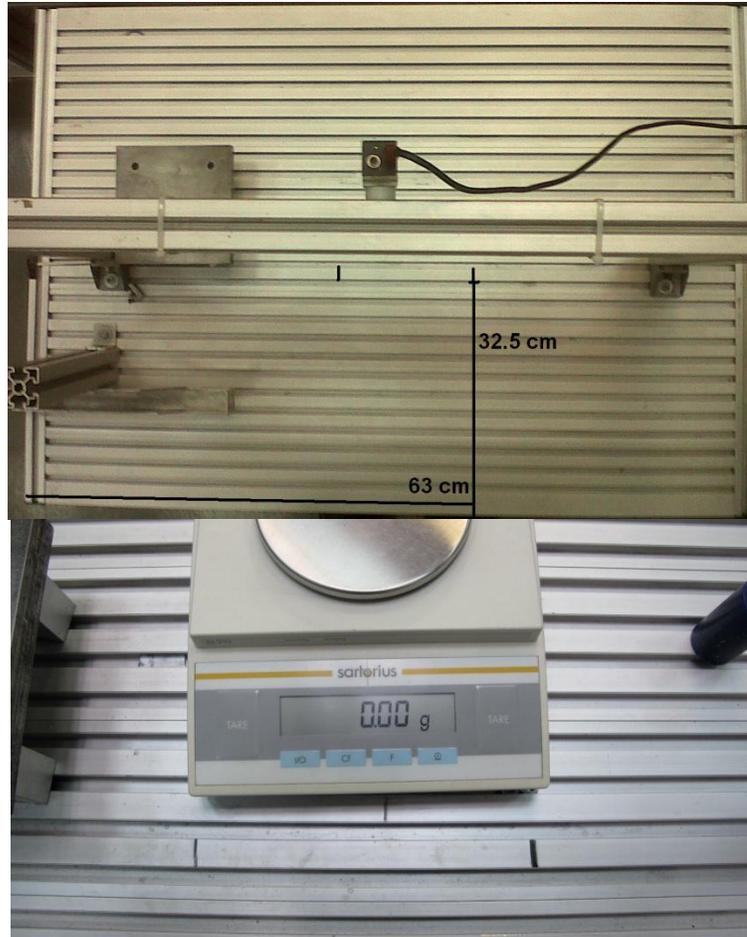
Manual: se colocan manualmente las muestras sobre la balanza y se registra el valor medido del peso de la muestra.

Automatizado: el robot manipulador coloca las muestras sobre la balanza en la estación de calidad y registra el valor medido del peso de la muestra.

### **8.1.3 Procedimiento**

Los siguientes pasos refieren al protocolo genérico de toma de muestras para cada producto requerido.

1. Ubicar en la posición adecuada la balanza.



**Figura 60.** Posición de ubicación de la balanza en la estación de calidad.

2. Verificar la conexión RS-232 entre la balanza y el computador que se encuentra en la estación de calidad.
3. Encender la balanza y verificar que el valor que registra se encuentra en 0 gramos. Si la balanza no muestra el valor de 0 gramos presionar el botón de “TARE” como se muestra en la figura



**Figura 61.** Presionar el botón “TARE”

4. Definir los parámetros iniciales del producto a registrar. (Nombre de producto, número de muestras, tamaños de lote, límites de especificación).
5. Identificar la variable a medir y registrarla. Posibles variables (volumen o de peso).
6. Definir proceso de muestreo manual o automatizado.
  - 6.1 Manual: se debe poner cada muestra manualmente sobre la balanza, registrando después de cada muestra el dato en el aplicativo en su sección de lectura de datos.
  - 6.2 Automatizado: revisar el **Anexo 7**: Guía de Uso para el CIM
7. Seguir el **Anexo 1**: Guía de Uso del VI, para el manejo adecuado del aplicativo de control de calidad.
8. Revisar cada una de las pruebas realizadas en el **Anexo 2**: Pruebas de Laboratorio.

Una vez se ha realizado el protocolo, se debe hacer un análisis del funcionamiento del sistema, realizar las conclusiones pertinentes y exponer las recomendaciones para el futuro.

## 9. ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DE SISTEMA

Una vez implementado el aplicativo, desarrollado pruebas de laboratorio y documentado el correcto uso y funcionamiento, se debe hacer un análisis del funcionamiento del

sistema. Para dicho estudio, se debe realizar un análisis DOFA en el cual se describen las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que tiene la integración. Ver **Figura 62**.

Debilidades	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Por fines académicos, resulta limitado el nivel de acercamiento que se tiene con la industria.</li> <li>•Algunos software utilizados en versión de evaluación.</li> <li>•Es necesario reprogramar el VI para adaptar un nuevo instrumento de medición.</li> <li>•Solo gráficos X y R.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Puede fácilmente adaptarse a las necesidades de un cliente.</li> <li>•Se puede implementar en una línea automatizada.</li> <li>•Usar varios aplicativos controlando diferentes atributos simultáneamente.</li> </ul>
Fortalezas	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aplicativo genérico para el uso industrial.</li> <li>•Permite un uso de bastante flexibilidad.</li> <li>•Fácil de usar y enseñar.</li> <li>•Aumenta la Calidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Obsolescencia</li> <li>•Incompatibilidad al requerir algo distinto a XR.</li> </ul>

**Figura 62.** Análisis DOFA de la integración del aplicativo de control de calidad en el CTAI.

Debido a que el desarrollo del trabajo fue sin ánimo de lucro y contemplando el servicio académico que puede prestar, es inadecuado un análisis costo beneficio en una cifra de dinero exacta. Los equipos fueron completamente suministrados por el departamento de física y el laboratorio CTAI, entonces, no hubo costo en ese aspecto. El recurso humano utilizado en horas es difícil de calcular debido a que el horario de trabajo no fue estricto, medido, ni remunerado de ninguna manera. Para mayores aclaraciones en cuanto al análisis de costo beneficio, revisar la **Figura 63**.

Artículo	Costo	Beneficio
LabVIEW Full	\$2,599 Dólares	Herramienta de programación grafica muy poderosa, usada a nivel mundial por ingenieros en el desarrollo de aplicativos de medida, prueba y control entre otros, utilizando iconos gráficos y cables que parecen diagrama de flujo.
NI LabVIEW Database Connectivity Toolkit	\$999 Dólares	Permite la comunicación y manejo con bases de datos, como MS Access, SQL, Oracle y mas.
Balanza	Cotizaciones de Balanzas	Mediciones de peso.
Microsoft Access	\$139.99 Dólares	Maneja y controla fácilmente una base de datos y permite la comunicación con mas software.
Un sistema automatizado o de control estadístico de la calidad por peso.	Por encima de \$3,700 dólares, en adquisición de software	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Calidad.</li> <li>•Aumenta la Flexibilidad del sistema automatizado.</li> <li>•Facilita la toma de decisiones.</li> <li>•Aumenta la productividad.</li> <li>•Reducción de tiempo.</li> </ul>
El uso de las instalaciones del CTAL.	No dispongo de esta cifra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Educacion para los estudiantes.</li> <li>•Promueve la tecnologia.</li> <li>•Atrae nuevos inversionistas.</li> </ul>
Mano de Obra	Approximadamente 200 horas \$3,000,000 pesos SM.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Propiedad intelectual.</li> <li>•Experiencia en automatizacion, calidad, programacion, desarrollo de proyecto entre otras.</li> </ul>

**Figura 63.** Análisis Costo Beneficio de la integración del aplicativo de control de calidad

En cuanto al costo de calidad, la teoría de la calidad dice que lo que realmente cuesta es la no calidad (García, 2011). Asegurar un producto en calidad antes de sacarlo al mercado resulta en un ahorro de las devoluciones generadas: devolverle dinero a los clientes insatisfechos y una mala publicidad generada por pérdida de clientes. El costo de la calidad se puede enfocar al costo de inspección y ensayos, el costo del área de control de calidad, el costo de asegurar la calidad, el costo de la gestión total de la calidad y, por último, el costo del mejoramiento continuo.

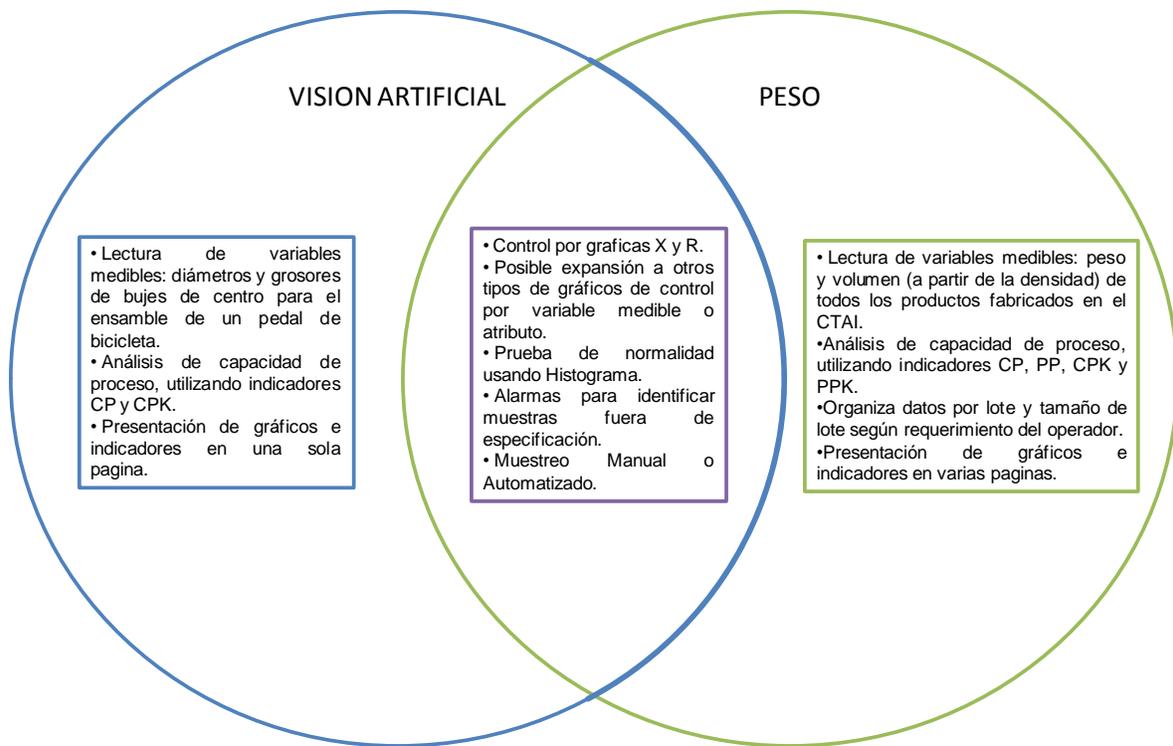
Con respecto al costo de inspección y ensayos, se ve reducido en un gran porcentaje debido al robot manipulador. El robot se encarga de manejar las muestras y de ejecutarse de una manera programada repitiendo de manera precisa el proceso de manejo de ensayos. Debido a las ventajas que tiene el robot, el proceso de ensayo no se ve afectado por la fatiga o el error humano. Aunque el costo del robot pueda ser alto, se reducen los costos del personal asociado a inspección y ensayos. El robot no siente, no se cansa, no se desmotiva como lo haría un humano. El beneficio en este aspecto de la calidad se ve en reducción de costos en personal, aumento de la productividad en el proceso de toma

de muestras, aumento de la productividad en el proceso y reducción sustancial de tiempos de proceso.

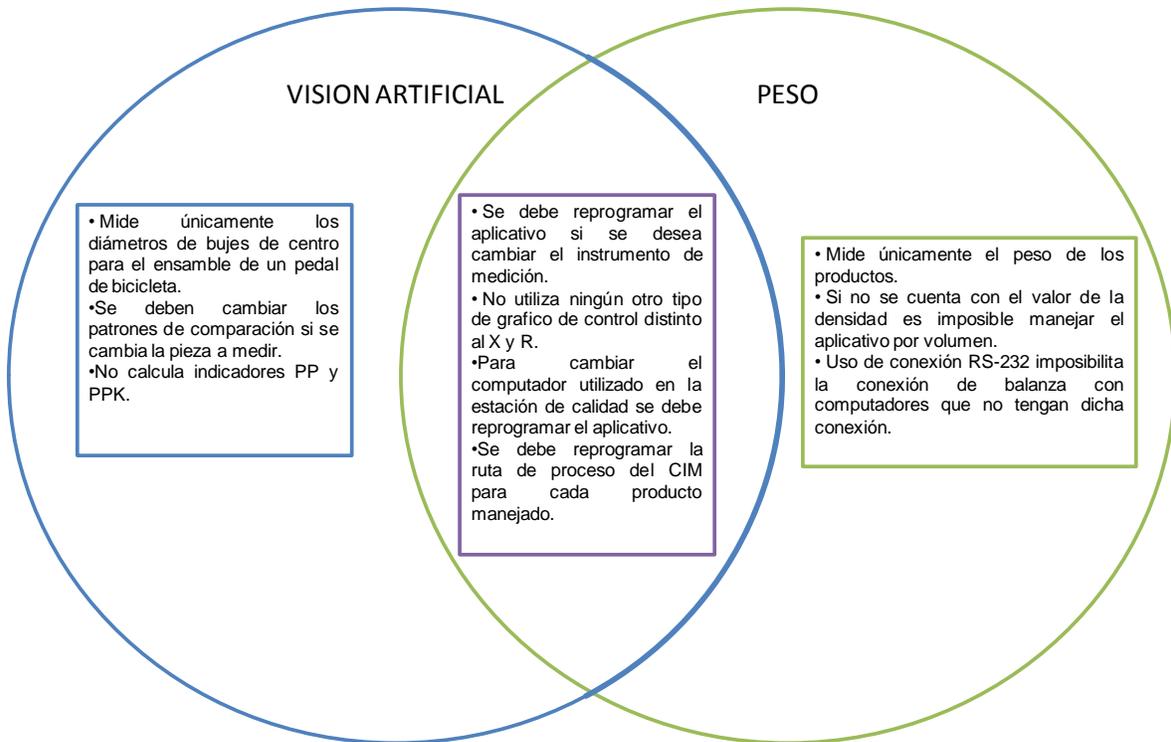
En cuanto al costo del aseguramiento de la calidad se puede mencionar que el proceso logra estandarizar la manera en que se controla la calidad. Se reduce el costo de asegurar la calidad debido al análisis que se maneja en el aplicativo desarrollado. Dicho análisis permite encontrar la capacidad del proceso para producir productos según el diseño. En caso de que el proceso no se encuentre en capacidad de producir, no se puede asegurar la calidad y el costo de calidad aumenta.

Para el control de calidad se necesita recurso humano y un espacio en la empresa designado para el controlar y verificar la calidad. Este recurso humano debe ser gestionado por profesionales en calidad. El uso de este aplicativo está dirigido a aquellos profesionales que entienden la calidad y saben interpretar los resultados presentados. No es necesario personal para el manejo de las muestras. No es necesario personal que haga cálculos matemáticos, expertos en hacer gráficos; es necesaria una persona que pueda interpretar resultados y tomar decisiones.

Adicionalmente, se debe realizar una comparación con el aplicativo de control de calidad por visión artificial implementado en la misma estación de calidad, con el fin de analizar los pros y los contras. Ver pros de la comparación entre aplicativos en la **Figura 64**. Ver contras entre aplicativos en la **Figura 65**.



**Figura 64.** Pros de aplicativo de visión artificial y peso.



**Figura 65.** Contrastes de aplicativo visión artificial y peso.

El verdadero beneficio de este desarrollo va enfocado a los estudiantes interesados en los temas de control de calidad y manufactura flexible. Según una entrevista con Sergio Gonzales, profesor de la asignatura “Manufactura Flexible”, aproximadamente, por semestre, atiende un total de 150 estudiantes. En la asignatura de “Gestión de calidad”, el número de estudiantes es el mismo. Aproximadamente se estima que 300 estudiantes por semestre se verán beneficiados de este ejemplo real implementado en el CTAI. Aquellos estudiantes en camino a ser profesionales encontrarán un gran valor en este aplicativo. El aplicativo presenta, de manera sencilla, la información y el manejo para interpretar resultados acerca de la calidad de los productos. Además enseña cómo manejar, calcular, gestionar, programar y diseñar el aplicativo de control de calidad, resulta en un valor agregado al Ingeniero Industrial en la industria internacional.

## 10. CONCLUSIONES

La tecnología es una de las herramientas con la cual se logra el objetivo de generar un sistema automatizado de control estadístico de la calidad. Utilizando el programa LabVIEW® de *National Instruments* es posible generar el instrumento virtual con la cual un operario puede, en cuestión de minutos, registrar y analizar el peso de las muestras de productos. El instrumento virtual tiene la capacidad de calcular datos relevantes para generar gráficos de control y análisis de control de calidad. Para ello fue necesario tener la herramienta de medición de peso y el *software* ideal para el desarrollo. La variable pertinente a controlar para el objetivo del trabajo es el peso, dado que es la variable medible común de muchos productos del mercado y los fabricados por el CIM. A partir del peso es posible encontrar propiedades adicionales del producto por la relación que tiene la variable peso con las demás propiedades que describen el producto.

Se desarrolló un aplicativo de control de calidad para el peso de los productos del mercado y fabricados por el laboratorio CTAI. Dicho aplicativo se integró eficientemente con el CIM, generalizando y estandarizando el proceso de almacenamiento de materia prima, el transporte de producto, el mecanizado por torno CNC (control numérico), el llenado de envase por la MPS, el proceso de toma de muestra manual o automatizado por un robot manipulador y la adquisición de datos por una balanza para el registro y análisis del peso de producto en una base de dato. La integración del aplicativo de control de calidad por peso y su integración con el CIM, permite un fácil y rápido control y manejo de la producción e inspección de calidad.

La variable medible peso, resulta ser de gran importancia para el control de calidad de productos del mercado. El peso es una propiedad de los materiales que define la cantidad de materia que se encuentra en un objeto. Dado que se esta controlando la cantidad de materia de los productos, es posible hacer una relación con el volumen del producto. Debido a que los empaques de los productos que se encuentran en el mercado presentan el valor del peso neto, es posible hacer control de calidad de productos ya incluidos en el mercado. En cuanto al desarrollo del proyecto, una vez se sabe que el peso es la propiedad medible a la que se le desea hacer control de calidad, se debe escoger la herramienta más adecuada para este control. Partiendo de varias balanzas de precisión se escoge la que mejor se ajuste a los requisitos del trabajo. A continuación, se desarrolla el instrumento virtual que comunica la balanza con el aplicativo que manejará los datos y genera resultados, gráficas y análisis de capacidad de proceso. Una vez implementado y desarrollado el aplicativo, debe ser de fácil acceso para quien le encuentre un uso. Aquella persona que sienta la necesidad de poder manejar dicho aplicativo debe generar los mismos resultados obtenidos en esta práctica. Para esto, la persona interesada necesita seguir las diferentes guías de uso presentadas en los anexos.

Una balanza con conexión al computador o cualquier otra herramienta que mida una variable medible requerida en el control de calidad, es suficiente para hacer control de productos del mercado. El aplicativo desarrollado tiene un gran potencial de uso en la industria, revoluciona la manera como se realizan pruebas de calidad en la actualidad.

Implementar el uso del aplicativo brinda a la empresa una reducción en costos, tiempos de procesos, expansión a varias aplicaciones industriales, funciona de manera amigable para el usuario y potencializa la toma de decisiones.

## 11. RECOMENDACIONES

Aunque se cumplieron los objetivos planteados desde un inicio, existen ciertas consideraciones que se deben tener para continuar con el trabajo desarrollado. Para esto, ver la **Figura 66** de recomendaciones. En cuanto a la integración realizada con los demás componentes del CIM, queda todavía mucho espacio para trabajar. Una consideración que se debe tener en cuenta es la manera como se registran los datos para los procesos. Debido a que el aplicativo hace el registro de las muestras cada vez que el usuario haga clic en “Registrar dato”, el operario debe hacer registro manual de todas las muestras. Se puede realizar un cambio en el aplicativo para que, al transcurrir determinado tiempo y cuando la medida en la balanza encuentre estabilidad, registre el dato a medir. El tiempo específico que tarda el robot en sus posiciones debe ser registrado, para sincronizar ese tiempo con la medida del dato por parte de la balanza.

Oportunidad/ Debilidad	Recomendación
Hacer click en Registrar dato en la lectura de datos desde la balanza	Al transcurrir determinado tiempo y la medida en la balanza encuentra estabilidad registre el dato a medir.
Solo registra el valor de peso.	Cambiar la herramienta de medición por otra que mida el atributo deseado.
Solo se analizan graficas XR para un lote fijo.	Realizar una ampliación del aplicativo para que pueda manejar otros tipos de gráficos de control.
Para cambiar de PC	Se debe configurar el aplicativo al nuevo PC, siguiendo la guía de programación, de esta manera se puede tener varios equipos con el aplicativo controlando atributos diferentes.
Unión de aplicativo de control de calidad por visión artificial con el desarrollado por peso.	Aumenta el potencial de control de calidad de ambos aplicativos, se recomienda una unión entre los dos.

**Figura 66.** Recomendaciones.

Se debe considerar que el aplicativo puede manejar cualquier dato numérico ingresado en la base de datos. Esto permite la facilidad de cambiar la balanza Sartorius por una balanza o herramienta que mida otros variables. Si se logra transmitir la información desde la herramienta hasta la base de datos Access®, el aplicativo es utilizable. Por ejemplo, si se cambia la balanza Sartorius por una herramienta que mida temperatura, es

posible hacer control de temperatura. Si se intercambia la herramienta por un manómetro, es posible medir presión de fluidos.

Existen otros tipos de gráficos como se ve en la **Figura 3** “Tipos de Gráficos de Control”, que manejan formulas diferentes, controlan atributos o variables adicionales a las manejadas en este proyecto. Ampliando el aplicativo a otras tipos de gráficos de control, éste puede ofrecer mucho a empresas en donde se deben controlar varios aspectos diferentes en cuanto a la calidad en un producto o en varios.

Si se desea cambiar el computador en donde está instalado el aplicativo, es necesario volver a programar el aplicativo desde la sección “Lectura de datos” en LabVIEW® de la base de datos de Access®. En esta sección se debe realizar una nueva base de datos en ese computador. El computador debe contar con LABVIEW® 2010, Microsoft Access® y Windows XP o 7. Se modificarán las direcciones según los nuevos parámetros pero no se debe hacer una programación adicional en el aplicativo. De esta manera se asegura la movilidad del aplicativo y es posible tener más de un computador manejándolo. Si se tiene el aplicativo funcionando en varios lugares, es posible medir más de una variable en un producto o medir varios productos simultáneamente.

Para mayores beneficios en calidad y ampliación del potencial del CIM, se recomienda unir el aplicativo de control de calidad por visión artificial con el aplicativo de peso. De esta manera se controlan dos variables medibles en una misma estación de calidad. Si es posible unir el instrumento virtual de control por visión artificial y el VI de peso, se aumentaría el potencial de ambos de controlar la calidad de un producto.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- AUDITORIA. *Ventajas y Desventajas de los Sistemas Automatizados*. [Documento en línea]. <<http://auditoria.obolog.com/ventajas-desventajas-sistemas-automatizados-63189>> [Consulta: 4-3-2011].
- ANÓNIMO. *ISO: Introducción conceptos de Calidad*. Mgar. [Documento en línea]. <<http://mgar.net/soc/isointro.htm>>. [Consulta: 22-10-2010].
- ARNOLETTO, E. J. *Administración de la producción como ventaja competitiva*. [Documento en línea]. <<http://www.eumed.net/libros/2007b/299/46.htm>> [Consulta: 4-3-2011].
- CEDENO TAMAYO, O. *Introducción a la metrología legal*. [Documento en línea] <[http://www.cmcmetrologia.com/metrologia\\_legal.pdf](http://www.cmcmetrologia.com/metrologia_legal.pdf)> [Consulta: 24-2-2011].
- GARCIA MORENO, E. *Automatización de procesos industriales: robótica y automática*. [Documento en línea]. <<http://sites.google.com/site/rubenloredoamaro/biblioteca/robotica-y-automatizacion/automatizacion-de-procesos-industriales-robotica-y-automatica-escrito-por-emilio-garcia-moreno>> [Consulta: 17-3-2011].
- GARCIA, P., QUISPE, C. Y RAEZ, L. *Costo de la calidad y la mala calidad*. [Documento en línea]. [http://sisbib.unmsm.edu.pe/Bibvirtual/publicaciones/indata/v05\\_n1/calidad.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/Bibvirtual/publicaciones/indata/v05_n1/calidad.htm). [Consulta: 4-3-2011].
- GUTIÉRREZ PULIDO, H. *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. México: McGraw Hill, 2004.
- HERRERA QUIROZ, J. Hacia un concepto moderno de la Automatización Industrial. *Revista Electroindustria*. [Documento en línea]. <<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=81&edi=35>> [Consulta: 26-10-2010].
- ISHIKAWA, K. *¿Qué es el control total de calidad?* Bogotá: Editorial Norma, 2003.
- JARAMILLO SANIN, J., TABARES, D. *Modelo de un proceso productivo de embotellamiento y sellado de líquidos, Mediante la integración de la estación de flujo continuo (MPS® PA) al C.I.M. del Centro Tecnológico de*

*Automatización Industrial -C.T.A.I.-*. Trabajo de Grado. [Consulta: 24-2-2011].

- JIMENEZ, M. *Gráficas de Control y Conceptos Estadísticos*. [Documento en línea]. <<http://es.scribd.com/doc/16623/Graficos-de-Control>> [Consulta: 21-2-2011].
- JUNTA DE ANDALUCÍA. *Robot Industriales*. [Documento en línea]. <<http://formacion.faico.org/Proyectos/ROBINDUSTRIA/RobotsIndustriales.htm>> [Consulta: 22-10-2010].
- LA PÁGINA DE LAS BÁSCULAS Y LAS BALANZAS. *Balanzas*. La página de las Básculas y Balanzas. <<http://www.basculas-y-balanzas.com/balanzas.html>> [Consulta: 24-2-2011].
- LOADSTAR SENSORS Inc. *Loadstar introduces iLoad load sensor*. [Documento en línea] <<http://www.automation.com/content/loadstar-introduces-ilo-load-sensor>> [Consulta: 9-9-2011].
- MCGRAW-HILL ENCYCLOPEDIA OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. *Automation*. [Documento en línea] <<http://www.answers.com/topic/automation>> [Consulta: 22-10-2010a].
- MCGRAW-HILL ENCYCLOPEDIA OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. *Flexible Manufacturing System*. [Documento en línea]. <<http://www.answers.com/topic/flexible-manufacturing-system>> [Consulta: 22-10-2010b].
- MEDINA, J. L., GUADAYOL, J. M. *La Automatización en la Industria Química*. Barcelona: Ediciones UPC, 2010.
- MEMBIELA, A. *Propiedades de la materia*. [Documento en línea]. <<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd98/Fisica/01/fisica-01.html>> [Consulta: 23-5-2011].
- MIMI. *Definición de Depreciación (Economía) y Obsolescencia (Economía)*. [Documento en línea]. <<http://es.mimi.hu/economia/obsolescencia.html>> [Consulta: 3-3-2011].
- NATIONAL INSTRUMENTS. *¿Qué es NI Labview?* [Documento en línea]. <<http://www.ni.com/labview/whatis/esa/>>. [Consulta: 26-10-2010a].
- NATIONAL INSTRUMENTS. *¿Qué es NI Labview?* [Documento en línea]. <<http://www.ni.com/labview/whatis/esa/>>. [Consulta: 26-10-2010b].

NATIONAL INSTRUMENTS. *Sartorius Sartorius-SBI Balance*.

<[HTTP://SINE.NI.COM/APPS/UTF8/NIID\\_WEB\\_DISPLAY.DOWNLOAD\\_PAGE?P\\_ID\\_GUID=E654C3E882593B45E0340003BA230ECF](http://sine.ni.com/apps/utf8/niid_web_display.download_page?p_id_guid=E654C3E882593B45E0340003BA230ECF)> [Consulta: 12-5-2011a].

- NATIONAL INSTRUMENTS. *NI LabVIEW Database Connectivity Toolkit*. [Documento en línea]. <[https://www.ni.com/pdf/LABVIEW@/us/database\\_connectivity\\_toolkit.pdf](https://www.ni.com/pdf/LABVIEW@/us/database_connectivity_toolkit.pdf)> [Consulta: 12-5-2011b].
- PICO TECHNOLOGY: DATA ACQUISITION SOFTWARE. <<http://www.picotech.com/data-logging-software.html>> [Consulta: 4-3-2011].
- POISE. *¿Cómo funcionan las celdas de carga?* POISE Básculas. [Documento en línea]. <[http://www.basculaspoise.com/Soporte/Celdas\\_de\\_Carga.html](http://www.basculaspoise.com/Soporte/Celdas_de_Carga.html)> [Consulta: 9-9-2011].
- PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. *Centro Tecnológico de Automatización Industrial*. [Documento en línea]. <[http://portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/facultad\\_ingenieria/espanol/industrial/laboratorios/C\\_T\\_A\\_I/TAB841381?tab=inicio](http://portal.javeriana.edu.co/portal/page/portal/facultad_ingenieria/espanol/industrial/laboratorios/C_T_A_I/TAB841381?tab=inicio)> [Consulta: 26-10-2010].
- QUIROZ HERRERA, J. *Hacia un concepto moderno de la Automatización Industrial*. *Revista Electroindustria*. [Documento en línea]. <<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=81&edi=35>>. [Consulta: 22-10-2010].
- RAMÍREZ CASTELLANOS, A. *Conceptos generales sobre sistemas de gestión de la calidad*. [Documento en línea] <[http://www.upaep.cesat.com.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=28:exactitud-y-precision&catid=11:metrologia&Itemid=14](http://www.upaep.cesat.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=28:exactitud-y-precision&catid=11:metrologia&Itemid=14)> [Consulta: 11-9-2011].
- SALAZAR, D. *Joseph M. Juran y sus aportes a la calidad*. [Documento en línea]. <<http://www.calidadlatina.com/pub/058-JUN-04.pdf>>. [Consulta: 26-10-2010].
- THE AMERICAN HERITAGE DICTIONARY OF THE ENGLISH LANGUAGE, FOURTH EDITION. *.Robot*. [Documento en línea] <<http://www.answers.com/topic/robot>> [Consulta: 22-10-2010].
- THE FREE DICTIONARY. *Definición de Estandarizar*. <<http://es.thefreedictionary.com/estandarizar>> [Consulta: 4-3-2011].
- THOMPSON, I. *Conozca a profundidad cual es la definición de producto*. [Documento en línea].

<<http://www.promonegocios.net/mercadotecnia/producto-definicion-concepto.html>> [Consulta: 9-9-2011].

- VELASQUEZ COSTA, J. A. *Computer Integrated Manufacturing*. [Documento en línea]. <<http://www.urp.edu.pe/labcim/portal/imagenes/CIM.pdf>> [Consulta: 22-10-2010].
- WIKIPEDIA. *Densidad*. [Definición en línea] <<http://es.wikipedia.org/wiki/Densidad>>. [Consulta: 23-5-2011].
- WINDMILL SOFTWARE LTD: DATA ACQUISITION INTELLIGENCE. <<http://www.windmill.co.uk/>> [Consulta: 4-3-2011].
- ZAMBRANO REY, G. M., PARRA RODRÍGUEZ, C. A., MANRIQUE TORRES, M. R., y BUSTACARA MEDINA, C. J.C. Estación de control de calidad por visión artificial para un Centro de Manufactura Integrada por Computador (CIM). *Ingeniería y Universidad*. 2007, vol. 11, No. 1. [Documento en línea]. <<http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/IyU/article/viewArticle/923>>. [Consulta: 4-11-2010].
- ZUFIRIA, J. *Empresas Bajo Demanda, la Capacidad de Respuesta ante el Cambio*. [Documento en línea]. <<http://ipractic.com/noticia1.html>> [Consulta: 29-3-2011].