



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA AUTÓNOMO BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA DE POSTURAS APLICANDO EL MÉTODO RULA”**

**CANDO ANDRADE DANNY ALEJANDRO  
GAIBOR NARANJO JAVIER ALEXANDER**

### **TRABAJO DE TITULACIÓN Tipo: Propuestas Tecnológicas**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2017**

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

2016-11-17

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**CANDO ANDRADE DANNY ALEJANDRO**

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA AUTÓNOMO BASADO  
EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA DE  
POSTURAS APLICANDO EL MÉTODO RULA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Eduardo Francisco García Cabezas  
**DIRECTOR**

---

Ing. Ángel Geovanny Guamán Lozano  
**ASESOR**

---

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**2016-11-17**

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

**GAIBOR NARANJO JAVIER ALEXANDER**

Titulado:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA AUTÓNOMO BASADO  
EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA EVALUACIÓN ERGONOMICA DE  
POSTURAS APLICANDO EL MÉTODO RULA”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Eduardo Francisco García Cabezas  
**DIRECTOR**

---

Ing. Ángel Geovanny Guamán Lozano  
**ASESOR**

---

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CANDO ANDRADE DANNY CANDO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA AUTÓNOMO BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA DE POSTURAS APLICANDO EL MÉTODO RULA”

**Fecha de Examinación:** 2017-12-12

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB.DEFENSA</b>			
Ing. Eduardo Francisco García Cabezas <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Ángel Geovanny Guamán Lozano <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** GAIBOR NARANJO JAVIER ALEXANDER

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA AUTÓNOMO BASADO EN VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA DE POSTURAS APLICANDO EL MÉTODO RULA”**

**Fecha de Examinación:** 2017-12-12

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza <b>PRESIDENTE TRIB.DEFENSA</b>			
Ing. Eduardo Francisco García Cabezas <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Ing. Ángel Geovanny Guamán Lozano <b>ASESOR</b>			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**Cando Andrade Danny Alejandro**

---

**Gaibor Naranjo Javier Alexander**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Danny Alejandro Cando Andrade y Javier Alexander Gaibor Naranjo, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

---

**Cando Andrade Danny Alejandro**

Cedula de Identidad: 150079362-3

---

**Gaibor Naranjo Javier Alexander**

Cedula de Identidad: 020234518-7

## **DEDICATORIA**

Dedicó mi logro principalmente a Dios, porque Él ha estado siempre en cada paso que doy en el camino de la vida, guiándome para ser mejor cada día ya sea de forma espiritual e intelectual.

A mis padres y hermanos que han sido mi más grande motivación ya que me han enseñado buenos valores, ya que siempre han estado ahí en los momentos difíciles de la vida, apoyándome moralmente y aconsejándome para ser un hombre de bien.

A mi familia en general que con sus consejos han hecho de mí un hombre de provecho a todos ellos les digo gracias y este logro es de todos por el esfuerzo y dedicación que todos contribuyeron.

**Danny Alejandro Cando Andrade**

Dedico principalmente a Dios por mi objetivo cumplido con empeño, fuerza y sabiduría que en el camino de mi vida me ha brindado sin dejar que me derrumbe por las adversidades hasta alcanzar mi meta anhelada.

A mis padres que me han acompañado en esta ardua lucha sin dejarme caer, enseñándome a vencer los obstáculos que se pongan en mi camino hasta llegar a conseguir lo que yo me proponga.

A mis hermanos y amigos que siempre con su granito de arena, ánimos y consejos lograron ayudarme para salir adelante, solo me queda decirles un Dios le page a todos.

**Javier Alexander Gaibor Naranjo**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme fortaleza y estar siempre conmigo, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mis padres y hermanos que siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional y consejos para hacer de mí una persona de bien.

A mis familiares y amigos que de una u otra forma han contribuido para el logro de mis objetivos.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

**Danny Alejandro Cando Andrade**

Agradezco a Dios por darme fortaleza para lograr mis metas, a mi familia por brindarme todo el cariño y confianza para ver culminada una meta más de la vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por darme la oportunidad de obtener una profesión, y ser una persona útil a la sociedad.

Agradezco al Ing. Eduardo García e Ing. Ángel Guamán Lozano, por brindarme su amistad y asesoramiento de la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento y experiencia se logró elaborar el presente documento.

**Javier Alexander Gaibor Naranjo**

## RESUMEN

El trabajo tiene como finalidad describir la implementación de una aplicación para la evaluación ergonómica de los puestos de trabajo mediante el método RULA basado en visión artificial con el fin de optimizar los tiempos de experimentación. Mediante el estudio del arte del método Rula, se llegó a caracterizarlo, utilizando un lenguaje de programación Gráfico de LabVIEW. Atraves de la selección de una cámara que cumpla con los requisitos y exigencias que demanda este proyecto se seleccionó a Kinect for Windows V2, al contar con bondades como poseer un sensor de profundidad basado en iluminación activa y brindar acceso a datos los cuales se encuentran representados por un esqueleto simplificado facilitando así el desarrollo de algoritmos. La aplicación tiene como finalidad reducir considerablemente el tiempo de evaluación, además de presentar ventajas como un monitoreo en tiempo real de las condiciones de exposición del operario a riesgos ergonómicos por posturas inadecuadas y movimientos repetitivos. El software posee menor variabilidad en la puntuación obtenida por algoritmos vs analistas con métodos tradicionales. Se concluye que con la implementación de la aplicación basada en visión artificial para evaluación de riesgos ergonómicos, existe mayor eficiencia con respecto a los factores tiempo y precisión, a lo cual se agrega un desarrollo bajo un ambiente de pruebas, las cuales proporcionaron información para obtener algoritmos fiables y precisos. Se recomienda que esta aplicación sea una base para el mejoramiento de estudios ergonómicos basados en visión artificial.

PALABRAS CLAVE: <VISIÓN ARTIFICIAL>, <ERGONOMÍA>, <MÉTODO RULA>, <KINECT FOR WINDOWS V2 (CÁMARA)>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <HARO 3D (COMPLEMENTO DE SOFTWARE)>.

## **ABSTRACT**

This work is the implementation of an application for the ergonomic risk assessment at placework using artificial vision based the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method to optimize time during experimentation. With this method, it was featured using LabVIEW graphical programming language. The Kinect for Windows V2 was chosen, since it met the project requirements and needs. Not only does it have active illumination based depth sensor, but it also provides access to data that are represented by a simple structure making easy the algorithm development. Its purpose is to decrease the assessment periods considerably. Besides, it has the advantage of monitoring workers exposed to ergonomic risks due to poor working postures and repeated movements in real time. The software has a less variability in the score gotten by algorithms against analysts with traditional methods.

It is concluded that the implementation of this artificial vision based application to assess ergonomic risks shows more efficiency related to time and accuracy factors, and it is developed under a testing environment which provides information to get reliable and accurate algorithms. It is recommend that this application provide a basis to improve the artificial vision based ergonomic studies.

**KEY WORDS:** <ARTIFICIAL VISION>, <ERGONOMICS>, <RULA METHOD>, <KINECT FOR WINDOWS V2 (CAMERA)>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <HARO 3D (SOFTWARE COMPLEMENT)>.

CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivos Generales</i> .....	3
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
CAPITULO II .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1. Visión artificial.....	4
2.1.1. <i>Adquisición y digitalización de imágenes</i> .....	5
2.1.1.1. <i>Realce de bordes</i> .....	5
2.1.1.2. <i>Perfilado</i> .....	6
2.1.1.3. <i>Segmentación</i> .....	6
2.1.2. <i>Tipos de cámaras para visión artificial</i> .....	7
2.1.2.1. <i>Cámaras lineales</i> .....	8
2.1.2.2. <i>Cámaras matriciales.</i> .....	9
2.1.3. <i>Técnicas de iluminación</i> .....	10
2.1.4. <i>La luz y el espectro electromagnético</i> .....	11
2.1.5. <i>Sistemas de iluminación para visión artificial</i> .....	11
2.1.5.1. <i>Luz frontal</i> .....	11
2.1.5.2. <i>Luz lateral</i> .....	12
2.1.5.3. <i>Iluminación por campo oscuro</i> .....	13
2.1.5.4. <i>Iluminación por contraste</i> .....	14
2.1.5.5. <i>Iluminación axial difusa</i> .....	15
2.1.5.6. <i>Iluminación difusa tipo domo</i> .....	16
2.1.5.7. <i>Iluminación por láser</i> .....	16
2.1.6. <i>Procesado de datos</i> .....	17
2.1.7. <i>Reconocimiento e interpretación</i> .....	18
2.1.8. <i>Extracción de características</i> .....	18
2.1.9. <i>Actuadores</i> .....	18
2.2. LabVIEW 2016. ....	19
2.2.1. <i>Ni Visión de LabView 2016 para visión artificial</i> .....	20
2.2.2. <i>Vías de comunicación de controladores para LabVIEW</i> .....	21
2.2.3. <i>Tipos de datos</i> .....	22
2.2.3.1. <i>Tipo de datos cadena de caracteres.</i> .....	22
2.2.3.2. <i>Tipo de Dato Numérico</i> .....	22
2.2.3.3. <i>Tipo de dato booleano</i> .....	23
2.2.4. <i>Programación estructurada</i> .....	23
2.2.4.1. <i>Estructura iterativa: WHILE LOOP</i> .....	24
2.2.4.2. <i>Estructura Case</i> .....	25
2.2.4.3. <i>Estructura Sequence</i> .....	26
2.2.5. <i>Tipos de datos estructurados</i> .....	26
2.2.5.1. <i>Arrays</i> .....	26
2.2.5.2. <i>Clusters</i> .....	27
2.2.5.3. <i>Controles e indicadores String</i> .....	28
2.3. Método Rula .....	28

2.3.1.	<i>Posturas de trabajo consideradas en el método RULA</i> .....	29
2.3.2.	<i>Grupo A</i> .....	29
2.3.3.	<i>Grupo B</i> .....	33
2.3.4.	<i>Tablas de resultados método RULA</i> .....	37
CAPITULO III.....		39
3.	DESARROLLO DE LA APLICACION .....	39
3.1.	Hardware .....	39
3.1.1.	<i>Kinect for Windows V2</i> .....	39
3.1.2.	<i>Requerimientos de software de la cámara Kinect for Windows V2</i> .....	40
3.2.	Sistema de adquisición Kinect.....	42
3.2.1.	<i>Estructura del sistema.</i> .....	42
3.2.2.	<i>Espacios</i> .....	43
3.2.3.	<i>Interferencias</i> .....	43
3.2.4.	<i>Parámetros para determinación de ángulos</i> .....	43
3.2.4.1.	<i>Planos</i> .....	43
3.3.	Librerías.....	44
3.3.1.	<i>Haro 3D</i> .....	44
3.4.	DESARROLLO DE ALGORITMOS PARA APLICACIÓN ERGONÓMICA ...	45
3.4.1.	<i>Adquisición de datos desde la cámara Kinect V2</i> .....	45
3.4.2.	<i>Tiempo establecido para la Kinect V2</i> .....	46
3.4.3.	<i>Extracción de Point Kinect desde un SubVI</i> .....	47
3.4.4.	<i>Declaración de puntos de la cámara Kinect respecto al cuerpo humano</i> .....	48
3.4.5.	<i>Estructura del caso y selector de etiquetas.</i> .....	49
3.4.6.	<i>Dimensiones y coordenadas obtenidas por la Kinect</i> .....	50
3.4.7.	<i>Cálculo de ángulos del brazo Izquierdo</i> .....	50
3.4.8.	<i>Evaluación adicional con la puntuación muscular y carga manejada</i> .....	51
3.5.	Determinación del nivel de actuación.....	52
3.6.	Algoritmo de paralización de programa .....	53
CAPITULO IV.....		56
4.	INTERFAZ DEL USUARIO .....	56
4.1.	VI portada de la APP .....	56
4.2.	VI selección de datos.....	56
4.3.	VI interfaz con el usuario en tiempo Real. ....	58
4.4.	VI panel de reporte .....	60
4.5.	Análisis de resultados .....	61
4.6.	Detalles de pruebas de un puesto de soldadura. ....	63
CONCLUSIONES. ....		68
RECOMENDACIONES .....		68
BIBLIOGRAFÍA		

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2-1:</b> Diagrama de bloques de visión artificial.....	4
<b>Figura 2-2:</b> Procesamiento realce de bordes .....	5
<b>Figura 2-3:</b> Cámara lineal .....	8
<b>Figura 2-4:</b> Cámara matricial.....	10
<b>Figura 2-5:</b> Imágenes con variación de iluminación.....	10
<b>Figura 2-6:</b> Espectro electromagnético en unidades de energía.....	11
<b>Figura 2-7:</b> Luz frontal.....	12
<b>Figura 2-8:</b> Luz lateral .....	13
<b>Figura 2-9:</b> Iluminación por campo oscuro.....	14
<b>Figura 2-10:</b> Iluminación por contraste .....	15
<b>Figura 2-11:</b> Iluminación axial difusa.....	15
<b>Figura 2-12:</b> Iluminación difusa tipo domo .....	16
<b>Figura 2-13:</b> Iluminación por láser .....	17
<b>Figura 2-14:</b> Imágenes con variación de iluminación.....	18
<b>Figura 2-15:</b> Menú de vision anda motion.....	20
<b>Figura 2-16:</b> Menú de ni-imaq .....	20
<b>Figura 2-17:</b> Tarjeta at-gpib/tnt (pnp .....	21
<b>Figura 2-18:</b> Dato tipo cadena de caracteres.....	22
<b>Figura 2-19:</b> Dato tipo numérico .....	23
<b>Figura 2-20:</b> Dato tipo booleano.....	23
<b>Figura 2-21:</b> Tipos de estructuras .....	24
<b>Figura 2-22:</b> Estructura while loop.....	25
<b>Figura 2-23:</b> Estructura case .....	26
<b>Figura 2-24:</b> Estructura sequence .....	26
<b>Figura 2-25:</b> Diferente tipos de arrays .....	27
<b>Figura 2-26:</b> Clusters. ....	27
<b>Figura 2-27:</b> Control e indicador string .....	28
<b>Figura 2-28:</b> Calificación para brazos.....	30
<b>Figura 2-29:</b> Calificación para antebrazos.....	30
<b>Figura 2-30:</b> Calificación para hombros .....	31
<b>Figura 2-31:</b> Calificación de muñecas .....	31
<b>Figura 2-32:</b> Calificación modificante de muñecas .....	32
<b>Figura 2-33:</b> Tabla para evaluación mediante el tipo de actividad muscular.....	32
<b>Figura 2-34:</b> Tabla para evaluación del grupo a .....	33

<b>Figura 2-35:</b> Tabla de calificación del cuello .....	34
<b>Figura 2-36:</b> Tabla modificante de puntuación de cuello .....	34
<b>Figura 2-37:</b> Tabla de evaluación de posición de tronco .....	35
<b>Figura 2-38:</b> Tabla evaluación modificante de calificación del tronco.....	35
<b>Figura 2-39:</b> Tabla para calificación mediante la posición de las piernas .....	36
<b>Figura 2-40:</b> Tabla de puntuación del grupo b.....	36
<b>Figura 2-41:</b> Tabla de puntuación de la actividad muscular (c).....	37
<b>Figura 2-42:</b> Tabla de puntuación de fuerza ejercida carga manejada (d).....	37
<b>Figura 2-43:</b> Tabla de puntuación f método rula .....	38
<b>Figura 3-1:</b> Cámara kinect for windows v2. ....	39
<b>Figura 3-2:</b> Distribución de sensores en kinect for windows v2.....	40
<b>Figura 3-3:</b> Esquema de joints detectados por la cámara kinect for windows v2.....	41
<b>Figura 3-4:</b> Diseño sistema de adquisición kinect .....	42
<b>Figura 3-5:</b> Diseño de estructura del sistema de adquisición kinect.....	42
<b>Figura 3-6:</b> División del cuerpo en planos.....	44
<b>Figura 3-7:</b> VIs de la sub paleta kinect for windows de la librería haro 3d .....	45
<b>Figura 3-8:</b> Algoritmo de adquisición de datos de la cámara kinect v2.....	46
<b>Figura 3-9:</b> Tiempo establecido para la kinect v2.....	47
<b>Figura 3-10:</b> Algoritmo contenedor del sub vi point kinect.....	48
<b>Figura. 3-11:</b> Algoritmo de declaración de puntos de la kinect.....	48
<b>Figura. 3-12:</b> Estructura del caso y selector de etiquetas.....	49
<b>Figura 3-13:</b> Dimensiones y coordenadas obtenidas por la kinect .....	50
<b>Figura 3-14:</b> Algoritmo cálculo de ángulo del brazo izquierdo.....	51
<b>Figura 3-15:</b> Evaluación adicional con la puntuación muscular y carga manejada .....	51
<b>Figura 3-16:</b> Algoritmo nivel de actuación.....	52
<b>Figura 3-17:</b> Algoritmo paralización de programa .....	53
<b>Figura 4-1:</b> VI portada de la app.....	56
<b>Figura 4-2:</b> VI de selección de parámetros de datos .....	57
<b>Figura 4-3:</b> VI panel frontal de monitoreo.....	59
<b>Figura 4-4:</b> VI panel de reportes .....	61
<b>Figura 4-5:</b> Operario del puesto de soldadura.....	63
<b>Figura 4-6:</b> Selección de parámetros puntuales de operario de soldadura.....	64
<b>Figura 4-7:</b> Pantalla de monitoreo .....	64
<b>Figura 4-68:</b> Pantalla de monitoreo en tiempo real activa .....	65
<b>Figura 4-8:</b> Reporte generado en campo.....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 4-1: VI Reporte .xls generado en campo.....</b>	<b>67</b>
--	-----------

## **CAPITULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad poder identificar los riesgos ergonómicos en un puesto de trabajo se hace cada vez más necesario, para ofrecer un lugar de trabajo que cumpla con características de seguridad y confort. En concreto el método Rula permite la evaluación del riesgo asociado a cargas posturales, con el fin de realizar la evaluación de los trabajadores a riesgo que generan una elevada carga postural y que pueden ocasionar trastornos en los miembros superiores del cuerpo (Ergonautas, 2017). Mediante el análisis de 4 componentes fundamentales como son: la postura adoptada, la duración, frecuencia y las fuerzas ejercidas cuando se mantiene. De este análisis de podrá obtener una puntuación la cual determinará el nivel de actuación, que determinará si la postura adoptada es aceptable o en qué medida será necesarios realizar cambios o un rediseño en el puesto de trabajo.

La falta de aplicación de visión artificial para detectar este tipo de riesgo es muy inminente, en el mercado solo existen softwares que permitan determinar los riesgos ergonómicos con el ingreso manual de datos y a su vez fotografías no secuenciales, los cuales hacen que tome mucho tiempo poder evaluar los riesgos en un puesto de trabajo.

Realizar un software basado en visión artificial será de ayuda, ya que el mismo permitirá evaluar el puesto de trabajo en tiempo real y sin el ingreso de una gran cantidad de datos que puede ser tedioso para la persona que está realizando la evaluación de riesgo ergonómico en cierto puesto de trabajo.

#### **1.1. Antecedentes**

“La ergonomía en los últimos años ha suscitado el interés de un gran número de especialistas de todas las ramas de la ciencia: ingeniería, medicina, psicología, sociología, arquitectura, diseño, etc.” (MONDELO, et al, 1884, pp.6)

La capacidad intelectual del ser humano ha hecho posible encontrar soluciones prácticas a los problemas y retos que el camino a la modernización ha presentado en las distintas etapas de avances tecnológicos y que han marcado los registros históricos del desarrollo y mejoramientos de métodos ergonómicos.

Las exigencias del mercado nacional actual, obligan a las empresas a buscar métodos de producción cada vez más rápidos, eficientes y que puedan mantener o superar las expectativas de calidad del cliente, es por eso que no se puede dejar de lado la seguridad de los trabajos a un lado la evaluación ergonómica de los puestos de trabajo es muy útil y necesaria para poder ir a la par con los nuevos procesos y las exigencias del mercado sin que el personal sufra de algún tipo de enfermedad laboral a corto o largo plazo.

La integración de los principios ergonómicos en el diseño de los procesos propios de la ingeniería de fabricación es una práctica cada vez más habitual en las empresas. En este sentido, las lesiones músculo-esqueléticas tiene una repercusión muy importante en el puesto de trabajo. La evaluación y medición de los factores de riesgo para este tipo de lesiones es un paso importante para conseguir un puesto de trabajo de excelencia. (GARCÍA, et al., 2013)

La facilidad de poder detectar estos riesgos en tiempo real y con el menor tiempo empleado es de gran importancia ya que nos permite tomar decisiones claras acerca del riesgo al que se pueden enfrentar los trabajadores.

## **1.2. Justificación**

Dentro del sector industrial, la implementación de este proyecto resulta una buena alternativa, para poder obtener resultados en tiempo real y dentro del puesto donde se está desarrollando la actividad.

Para el desarrollo de esta aplicación se utilizara el lenguaje de programación G de LABVIEW.

La respuesta por parte de la escuela de Ingeniería Industrial de la ESPOCH a la solicitud que la industria ha presentado, demuestra la capacidad y actualidad de la carrera frente a las exigencias de la industria, demuestra también el compromiso de la carrera de Ingeniería Industrial en su vinculación con la comunidad y favorece a la formación de futuros profesionales en la aplicación de conocimientos teórico prácticos acumulados en el transcurso de estudio de la carrera.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivos Generales***

Desarrollar e implementar una aplicación para la evaluación ergonómica de los puestos de trabajo mediante el método RULA basado en visión artificial para optimizar los tiempos de investigación

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

Analizar la bibliografía existente a cerca de los principales programas para la evaluación ergonómica utilizados en la actualidad.

Desarrollar una aplicación mediante el lenguaje de programación LABVIEW basado en visión artificial aplicando el método RULA en forma de algoritmo.

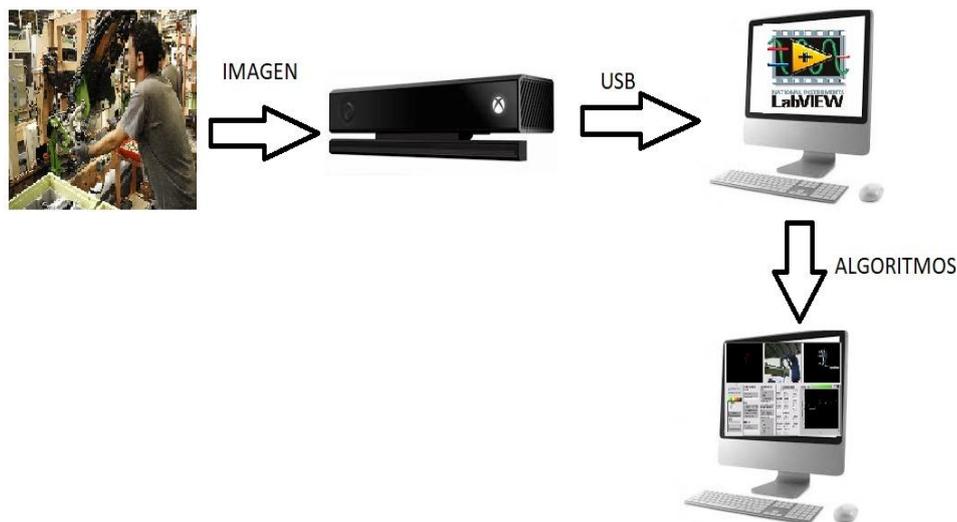
Realizar las pruebas de campo para obtener resultados, que generen una retroalimentación en el sistema informático.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Visión artificial.

La visión artificial puede ser definida como los procesos de obtención, caracterización e interpretación de información de imágenes tomadas de un mundo tridimensional como se observa en la (Figura 2-1). Estos procesos, también habitualmente llamados visión por computadora, pueden a su vez ser subdivididos en seis áreas principales: 1) captación, 2) preparación, 3) segmentación, 4) descripción, 5) reconocimiento, 6) interpretación. Captar una imagen visual del mundo exterior es el proceso realizado por la captación. El procesamiento incluye técnicas tales como la reducción de ruido y realce de detalles. La segmentación es la fase que fracciona una imagen en objetos que sean de nuestro interés mediante los procesos de descripción se obtienen características (por ejemplo, tamaño, forma) convenientes para diferenciar un tipo de objeto con otro. El reconocimiento es el proceso que identifica estos objetos (por ejemplo, una llave, una iglesia, una un tornillo, un soporte de motor). Finalmente, la interpretación le asocia un significado a un conjunto de objetos reconocidos. (FU, et al, 1989a: pp.306).



**Figura 2-1:** Diagrama de bloques de visión artificial  
Fuente: Elaboración propia

### 2.1.1. Adquisición y digitalización de imágenes

En cualquier caso para la adquisición de imágenes digitales se requieren dos elementos básicos. El primero es un dispositivo físico que es sensible a una determinada banda del espectro de energía electromagnético (tal como rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, etc.) y que produce una señal eléctrica de salida proporcional al nivel de energía incidente en cualquier instante de tiempo. El segundo denominado digitalizador, es un dispositivo para convertir la señal eléctrica en continua de salida del dispositivo físico discreto de localizaciones del plano de la imagen y, después, en la cuantización de dicha muestra. Esto implica, en primer lugar, determinar el valor de la imagen continua en cada una de las diferentes localizaciones discretas de la imagen. Una vez capturada la señal se obtiene una imagen digital, que es como se representa en el computador. (PAJARES Martinsanz, et al, 2004: pp.3)

En visión artificial son usados un sin número de dispositivos para la adquisición de imágenes entre los principales son la cámaras de televisión, que generan una imagen en video, como también dispositivos electrónicos como el computador, elementos químicos escáner, etc.

#### 2.1.1.1. Realce de bordes

Estas técnicas logran realizar contornos de los objetos que aparecen en una imagen (Figura 2-2), ofreciendo mayor transparencia a estos objetos y creando una imagen subjetivamente más agradable al estudiar. También, realzando desorbitadamente los bordes, podemos alcanzar que la imagen tenga un procesamiento posterior, normalmente una localización umbral, lleve a la adquisición de una imagen en la que solo aparezcan los contornos presentes en la imagen original. A este proceso se denomina extracción de contornos. (BONAL María, et al, 1995a: pp.68)

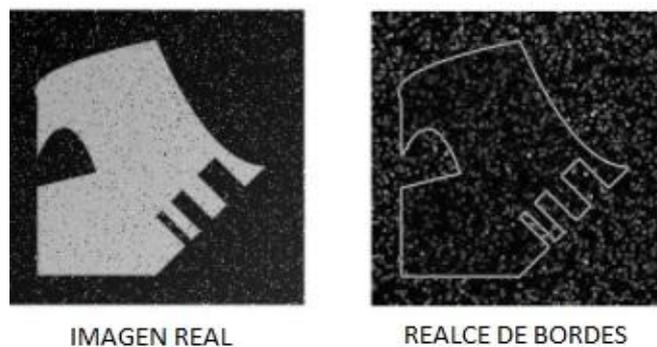


Figura 2-2: Procesamiento realce de bordes

Fuente: Elaboración propia

### 2.1.1.2. *Perfilado*

Se utilizan técnicas apoyadas en el cálculo de gradientes o bien en los operadores laplacianos para verificar el realce y la extracción de contornos. Para poder utilizar operadores de este tipo sobre una imagen muestreada es necesario obtener una aproximación del concepto de derivada para espacios discretos. La generalización comúnmente usada se basa en el cálculo de diferencias entre píxeles vecinos. Estas diferencias, según la relación entre los píxeles considerados, pueden dar lugar a derivadas unidimensionales o bidimensionales, así como aplicarse en alguna dirección determinada de la imagen o en todas las direcciones de forma global. Existen otras aproximaciones diferenciales que han probado ser de gran utilidad para la extracción de contornos, es el caso de la de Roberts, la de Sobel, Canny, etc.(ORTEGA Pedro, et al, 2004: pp.26)

### 2.1.1.3. *Segmentación*

En general, un sistema de reconocimiento de imágenes parte de una matriz intensidades (pixels), y usando modelos conocidos, determina el contenido de la escena, típicamente, se comienza por determinar una serie de características como líneas y áreas. A continuación, se comparan estas características similares de modelos almacenadas en el computador para encontrar un parecido entre ambas. A partir de esta comparación, debemos relacionar estos resultados para obtener una descripción de la escena a analizar. (BONAL María, et al, 1995b: pp.69).

El modelo más básico se basa en los siguientes pasos para la extracción de una segmentación: Extracción de características a un bajo nivel, segmentación y extracción de características de una imagen a alto nivel, representación simbólica e interpretación semántica.

Si consideramos técnicas como enfoques clásicos de segmentación tenemos la siguiente clasificación (ALFARO Analí & Sibirán Iván, pp. 34-35):

- **Basados en Umbrales**, se caracterizan por trabajar con umbrales para segmentar la imagen. Los umbrales actúan como separadores que permitirán decidir qué conjunto de tonos de gris pertenecen a una determinada región. Estas técnicas son aplicadas sobre una imagen completa, y también pueden combinarse con otras durante el pre-procesamiento o post-procesamiento de la imagen, de manera que se obtenga mejores resultados.

- **Basados en Clustering**, como su nombre lo indica estas técnicas tratan de agrupar un conjunto de píxeles que son similares bajo algún criterio.
- **Basado en Crecimiento de Regiones**, estas técnicas intentan segmentar una imagen partiendo desde el centro de un objeto y creciendo hacia el exterior del mismo hasta encontrar los bordes que lo limitan, este proceso es repetitivo para cada objeto dentro de la imagen.
- **Basados en Bordes**, estas permiten encontrar los bordes de una imagen, los cuales en realidad determinan límites de cada segmento en la imagen y así poder identificar un objeto.
- **Basados en Matching**, se trata de identificar determinados objetos en una imagen, entonces a partir de este crecimiento es posible ubicarlos en la imagen. A esto se denomina un enfoque matchig.

### *2.1.2. Tipos de cámaras para visión artificial*

La función esencial de estos dispositivos es obtener en el sensor óptico la imagen proyectada, para enviar a un sistema electrónico.

Las cámaras empleadas para los sistemas de visión artificial deben cumplir una serie de características entre ellas poder controlar el disparo de la cámara para la captura de elementos que pasan por su lente óptico con la posición requerida. Se recalca que estos dispositivos son más sofisticados que los convencionales, ya que deben realizar un control completo de variables como el tiempo, señales, velocidad de obturación, sensibilidad, etc. Realiza la siguiente clasificación: (CIP ETI, 2017)

#### **La tecnología del sensor:**

- **Cámaras de Tubo**. Se fundamentan en el uso de un material fotosensible que capta la imagen, leída por un haz de luz de electrones.
- **Cámaras de Estado Sólido CCD (Charge – Coupled – Device)**. Se justifica en materiales semiconductores fotosensibles para la lectura no es indispensable un barrido electrónico.

## La disposición física

- Cámaras Lineales. Se apoya en la uso de un material fotosensible que capta la imagen, leída por un conjunto de electrones.
- Cámaras Matriciales. Se obtiene de un sensor CCD matricial, lo que autoriza el análisis de imágenes bidimensionales.

Cada cámara está diseñada para la interpretación de diferentes características como: tinte, monocromo, elevada definición, superior sensibilidad, gran velocidad de infrarrojos, etc. En el siguiente grafico se ve brevemente su funcionamiento.

### 2.1.2.1. Cámaras lineales

(VISION ARTIFICIAL. 2017) deduce que, fabrica la imagen línea a línea empleando un barrido del objeto cercano con un desplazamiento longitudinal del mismo. Estas utilizan sensores que varía entre los 512 y 8192 píxeles, con una longitud lo más corta posible y alta calidad de imagen. Las mismas requieren de una alta precisión, alineación y el sincronismo del procedimiento son críticos si se necesita obtener una imagen precisa del objeto a estudiar. (Figura 2-3)

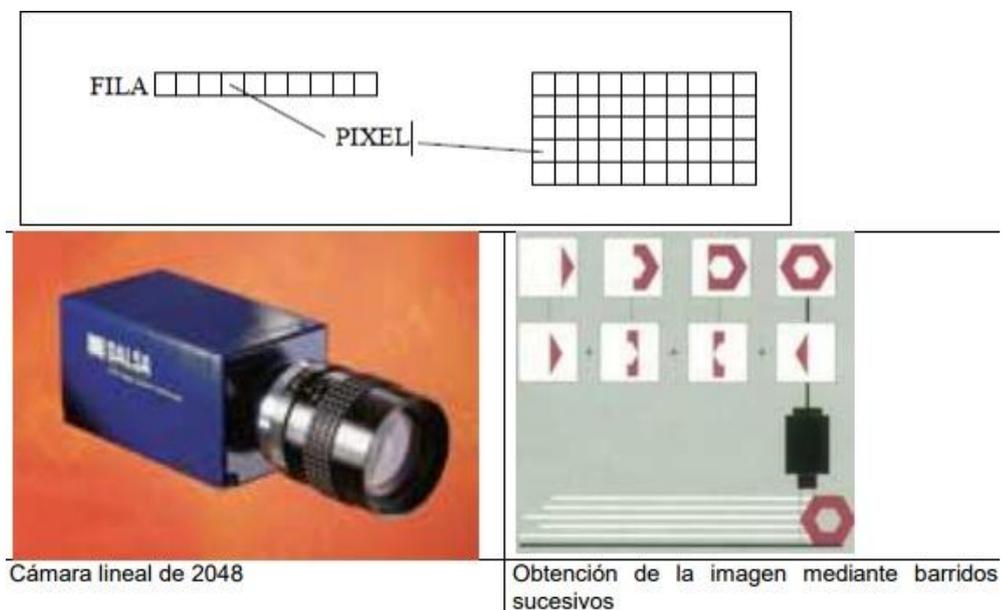


Figura 2-3: Cámara lineal

Fuente: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

### **Características técnicas:**

- CIFRA DE COMPONENTES DEL SENSOR. A un alto número de componentes (píxeles); tamaño grande de la óptica.
- VELOCIDAD. Cantidad de píxeles apto a ser leídos por unidad de tiempo. Las cámaras lineales poseen un valor mucho más alto que en las matriciales. Las cámaras de última generación logran obtener velocidades por encima de los 200 MHz
- CÁMARAS LINEALES A COLOR. Posee tres sensores lineales, para cada color uno (rojo verde y azul). Pueden ser de 2 tipos:
- TRISENSOR. Los sensores CCd están colocados unos junto a otros independizado por un pequeño espacio. Beneficia una buena sensibilidad sin embargo solo pueden emplearse en aplicaciones con superficies planas.
- PRISMA. Los sensores están situados en las tres caras de un prisma. Estos se aplican para cualquier tipo de aplicación pero es necesario de una mayor iluminación.

Estas cámaras son muy usadas en lo referido a inspección de objetos de longitud indeterminada, telas, papel, vidrio, planchas de metal, etc.

#### **2.1.2.2. Cámaras matriciales.**

En aplicaciones industriales de visión artificial, donde normalmente los productos se desplazan rápidamente, la utilización de cámaras de vídeo entrelazado hace que el objeto aparezca borroso. La imagen completa se genera a partir de dos exposiciones separadas 1/50 segundos correspondientes a cada uno de los campos. Para evitar este efecto, las cámaras de vídeo entrelazado permiten ajustes para adquirir en modo campo o no entrelazado que consiste en la pérdida de la mitad de la resolución vertical, eso sí permitiendo la adquisición de 50 cuadros por segundo. No obstante, si en una aplicación de alta velocidad se precisa de la resolución vertical completa se debe recurrir a una cámara progresiva. En una cámara progresiva la imagen completa, es rastreada simultáneamente, de una vez, no en dos pasadas como en las cámaras de TV tradicional.

El resultado es un vídeo no entrelazado con resolución vertical completa, lo cual es lo propio para capturar imágenes de objetos en movimiento con la máxima resolución. (LOPEZ: 2012, pp. 8). (Figura 2-4)

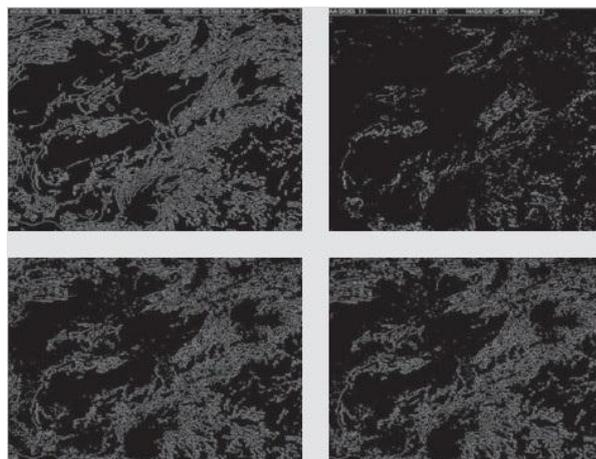


**Figura 2-4: Cámara Matricial**

Fuente: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

### ***2.1.3. Técnicas de iluminación***

La iluminación de la imagen es una causa importante que suele perjudicar a la variedad de los algoritmos de visión. El alumbrado injustificado del entorno no suele ser admisible ya que se consiguen imágenes con bajo contraste, reflexiones especulares, sombras y detalles espúreos. Un sistema de luces bien diseñado ilumina una imagen de forma que la complejidad del gráfico que se obtiene sea mínima, aumentándose a su vez la información necesaria para la detección y extracción de objetos. (FU, et al, 1989b:pp.306). (Figura 2- 5)



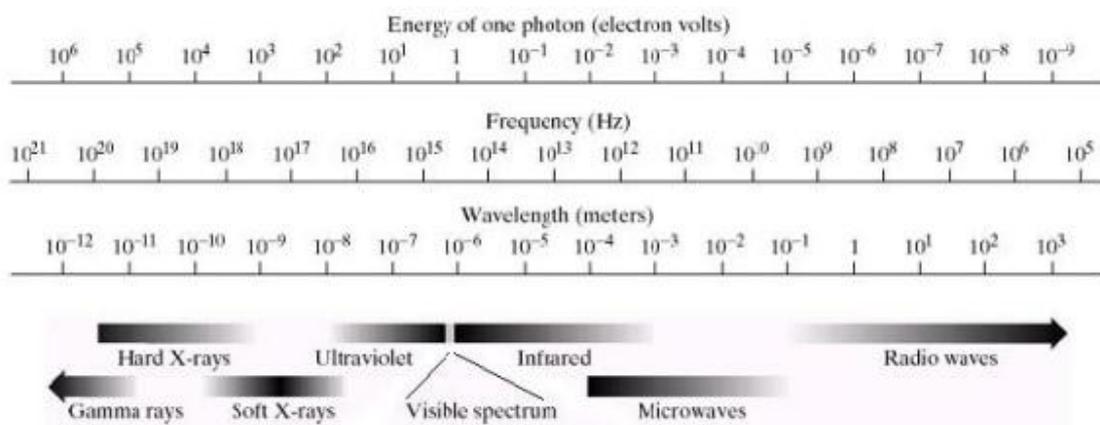
**Figura 2-5: Imágenes con variación de iluminación**

Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.4. La luz y el espectro electromagnético

En 1666, Isaac Newton descubrió que al pasar un rayo de luz por un prisma de vidrio, el rayo de salida no es blanco sino que está compuesto de un espectro de colores continuo, que va desde el violeta hasta el rojo.

El rango de colores, que percibimos no es sino una muy pequeña parte del espectro electromagnético (EEM) (Figura 2- 6). En un extremo del espectro se encuentran las ondas de radio con longitudes de onda mil millones de veces más largas que los de la luz visible. En el otro están los rayos gama con longitudes de onda millones de veces más pequeños que los de la luz visible. (MEJIA José, 2005, pp. 22)



**Figura 2-6:** Espectro electromagnético en unidades de energía  
Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.5. Sistemas de iluminación para visión artificial

Este aspecto se debe considerar fundamentalmente cuando se habla de visión artificial. Si el sistema comprende de una iluminación apropiada, se podrá tener un desarrollo óptimo del mismo.

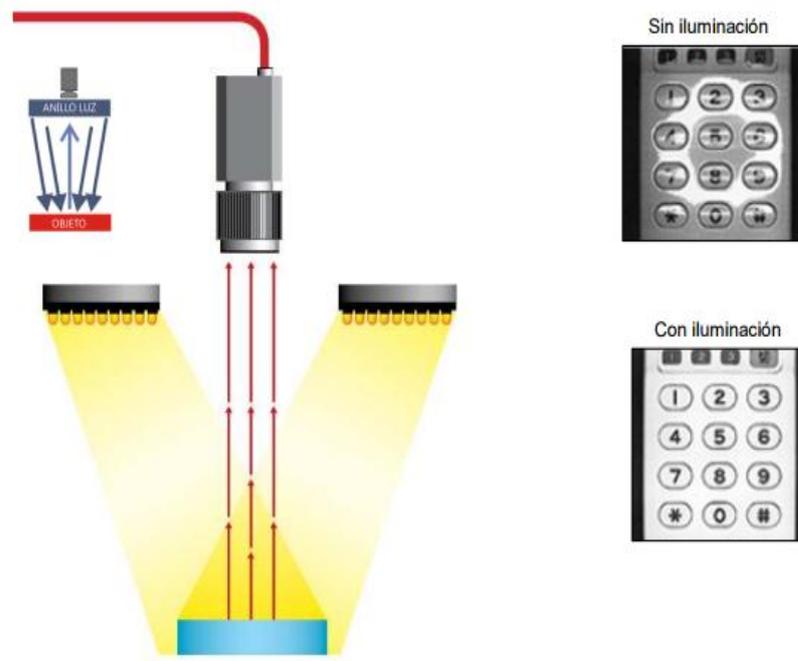
Existe un sin número de técnicas que permiten obtener un buen sistema de iluminación entre las más comunes tenemos:

##### 2.1.5.1. Luz frontal

Se posiciona la cámara en la misma dirección que la luz, los dos con enfoque hacia el objeto, este método autoriza ablandar la textura y bajar la cantidad de rayas y defectos que el objeto

posee. Este modelo de alumbrado se obtiene mediante argollas de luz, dicho efecto hace que la cámara reciba la luz reflejada en el objeto.

Es más utilizada para objetos con poco reflejos como: telas, papel, etc. Además su principal aplicación es lo concerniente a detección de colores en cualquier superficie. (Figura 2- 7)



**Figura 2-7:** Luz frontal

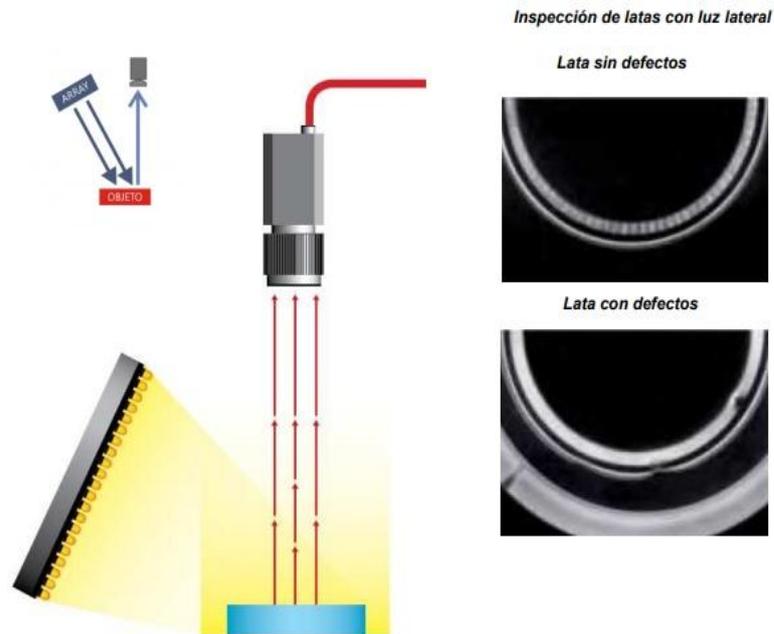
Fuente: [http://www.infopl.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_Conocimientos\\_vISIONARTIFICIAL.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf)

#### **2.1.5.2. Luz lateral**

En este caso la cámara se la posiciona con enfoque al objeto, mientras que luz se ubica en dirección lateral al objeto. Donde el grado de iluminación se determinara mediante el criterio de graduación de resalte de los relieves que se deseen obtener.

Se aplicación es para fines de resaltado como fisuras, bordes, rayas en una dirección determinada.

Como ventajas se destaca la capacidad de resalte de relieves por muy pequeño que sea el objeto y una sombra muy definida, como desventaja se tienen sombras en todos los relieves y contorno de la pieza debido a la variación del ángulo con respecto a la horizontal. (Figura 2- 8)



**Figura 2-8:** Luz lateral

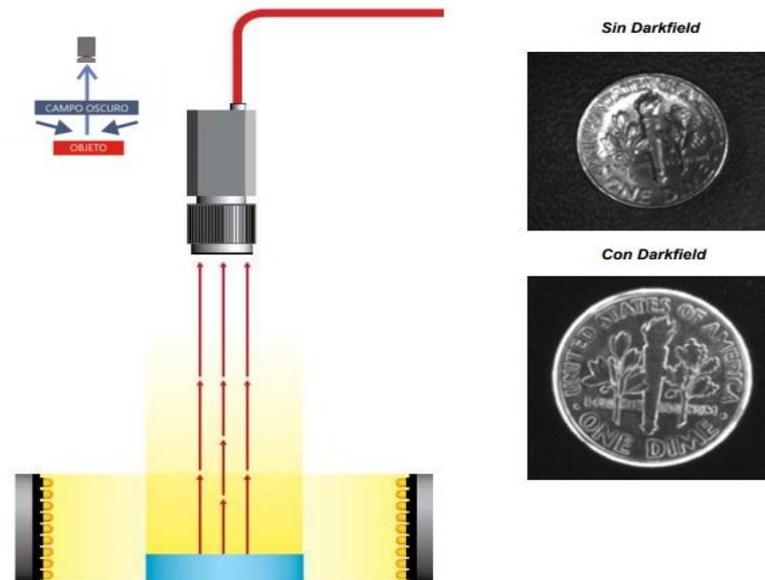
Fuente: [http://www.infopl.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_Conocimientos\\_vISIONARTIFICIAL.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf)

### **2.1.5.3. Iluminación por campo oscuro**

Mediante un ángulo muy pequeño se emiten luces lateralmente mediante un anillo en todas las direcciones, las cuales rebotan en los defectos del objeto que se analice e incide a la cámara.

Las aplicaciones más comunes de ese método de iluminación son: resaltar incrustaciones y códigos alfa numéricos que no pasean un buen contraste cuando se analiza sobre metal o gris sobre gris. Uso muy frecuente en grabados láser y troquelados.

No se recomienda para aquellas superficies que absorbe mucha luz y su mayor ventaja es destacar detalles que se encuentren con poco contraste. (Figura 2- 9)



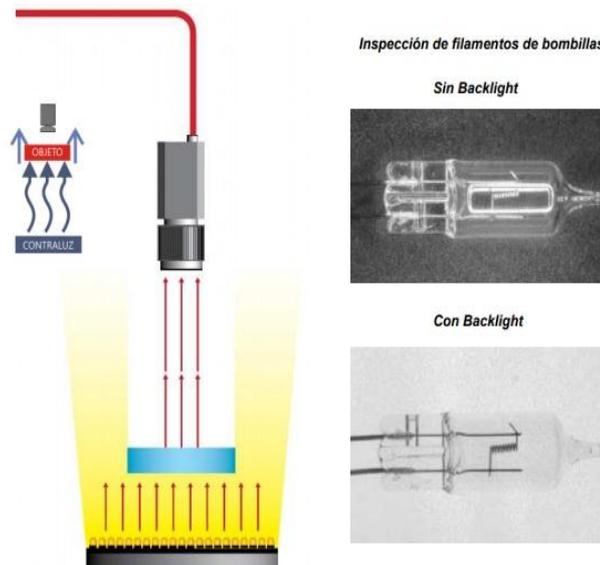
**Figura 2-9:** Iluminación por campo oscuro

Fuente: [http://www.infopl.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_Conocimientos\\_vISIONARTIFICIAL.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf)

#### **2.1.5.4. Iluminación por contraste**

El sistema de iluminación se encuentra en la parte inferior, con lo que el objeto se encuentra entre la cámara y la fuente de iluminación. Para este caso la luz que se emite tiene que ser uniforme sobre toda la superficie del objeto. Se realiza una inspección por parte de la cámara al contorno del elemento por diferencia; logrando alcanzar evaluaciones muy precisas, debido a que se descartan las sombras que resultan por la iluminación.

Este sistema es muy aplicado en la inspección de siluetas del objeto, además de usarse en materiales translúcidos o transparentes para la detección de posibles fisuras, grietas, manchas o cualquier otro imperfecto. Su desventaja no permite el reconocimiento de códigos alfa numéricos. (Figura 2-10)



**Figura 2-10:** Iluminación por contraste

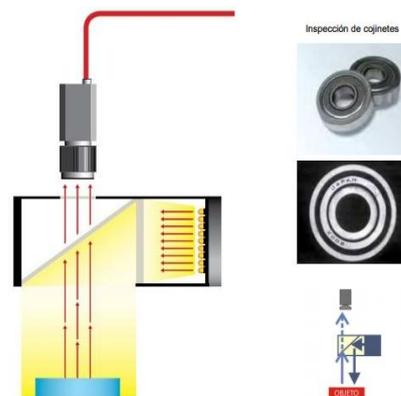
Fuente: [http://www.infopl.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_Conocimientos\\_vISIONARTIFICIAL.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf)

### 2.1.5.5. *Iluminación axial difusa*

Mediante la ayuda de un espejo esta luz es emitida de forma lateral la desviando los haces de luz  $90^\circ$ , los cuales van en la misma dirección del eje de la cámara consiguiendo así una luz difusa homogénea, es muy utilizado este método debido a que en superficies reflectantes planas si no se aplica este método la cámara reflejaría su propio objetivo.

La aplicación es para superficies de aluminio, etiquetas reflectantes, superficies planas reflectantes o cavidades profundas.

Este método no permite el reconocimiento de relieves en un objeto más permite la inspección de materiales altamente reflectantes. (Figura 2- 11)



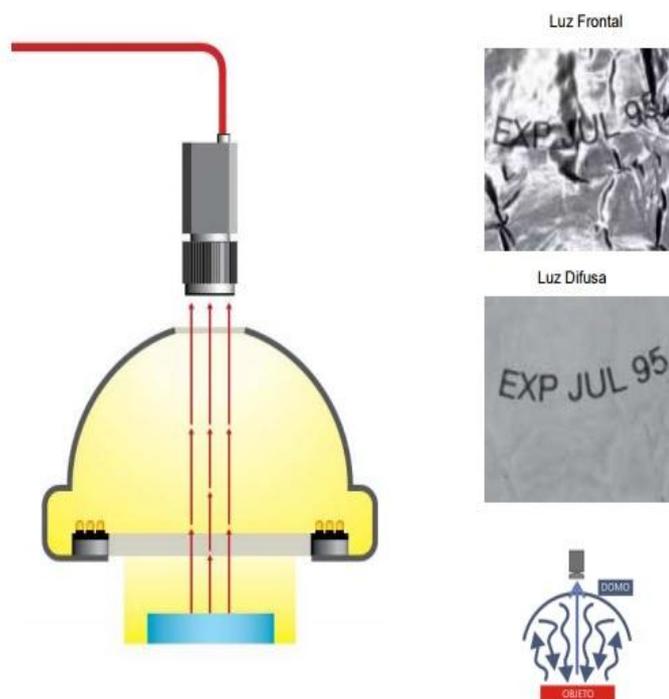
**Figura 2-11:** Iluminación axial difusa

Fuente: [http://www.infopl.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_Conocimientos\\_vISIONARTIFICIAL.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf)

### 2.1.5.6. Iluminación difusa tipo domo

Se emite la luz dentro de una capsula esférica, dando como resultado una luz difusa por todas las direcciones, la cual elimina sombras, reflejos produciendo un suavizado de texturas y minimizando la influencia de rayas, relieves, manchas, polvos y efectos de curvaturas que un objeto posee. Se lo ha denominado como día nublado debido a que no produce ningún tipo de sombra. Se utiliza en el control de instrumentos médicos, latas, espejos etc.

Reduce altamente las sombras y minimiza las arrugas, polvos y relieves. Tiene como desventaja su elevado costo. (Figura 2-12)



**Figura 2-12:** Iluminación difusa tipo domo

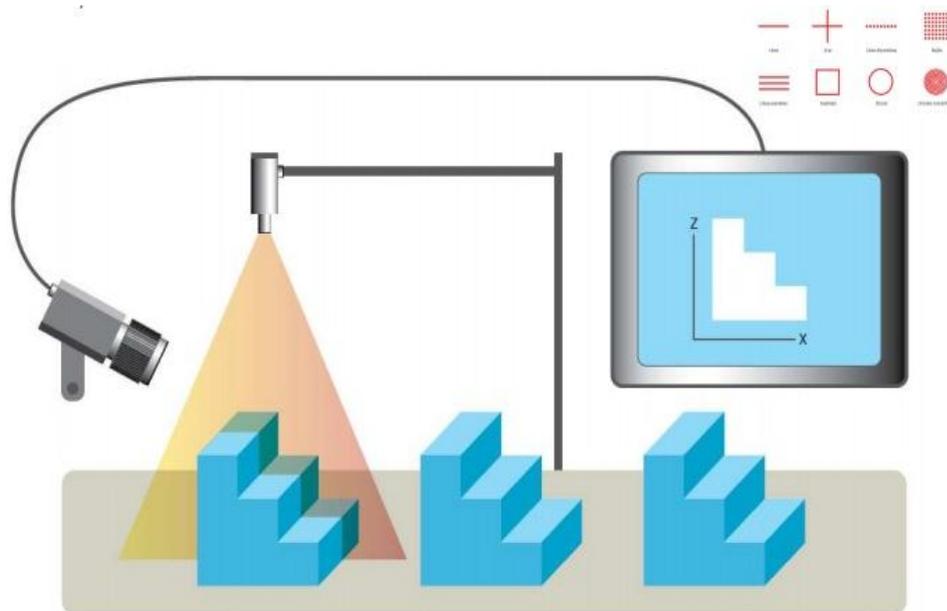
Fuente: [http://www.infoplac.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_Conocimientos\\_VISIONARTIFICIAL.pdf](http://www.infoplac.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_VISIONARTIFICIAL.pdf)

### 2.1.5.7. Iluminación por láser

Este tipo de iluminación se utiliza para normalmente resaltar una tercera dimensión de un objeto de estudio. Se lo realiza con la colocación de una fuente de luz láser con referencia al elemento a iluminar y la cámara, en el cual al intercambiar la alteración de la luz se logra analizar la profundidad de los elementos a medir. También se emplea como un indicador de trazado para ajustar un proceso como aplicaciones de corte por ejemplo.

La proyección de una línea de luz realiza la inspección en 3D con lo que la distorsión en la línea produce variaciones de altura a las cuales se puede producir una apariencia en 3D, localizando la carencia o sobra de material, y a su vez llegar hacer la reconstrucción tridimensional de un objeto.

El costo de este sistema de iluminación es muy elevado, como ventaja principal no tiene influye la iluminación externa. (Figura 2- 13)



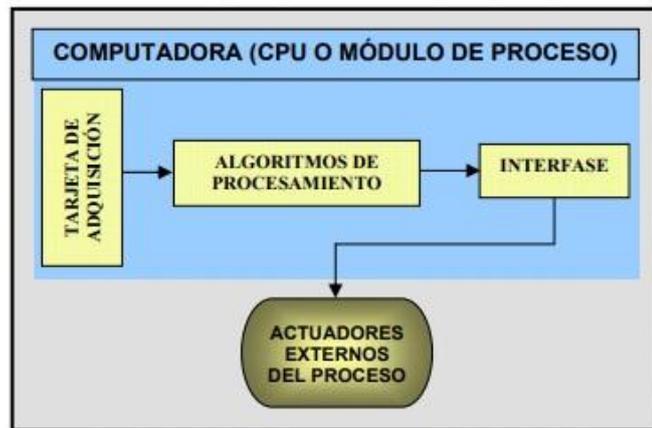
**Figura 2-13:** Iluminación por láser

Fuente: [http://www.infopl.net/files/documentacion/vision\\_artificial/infoPLC\\_net\\_Conocimientos\\_vISIONARTIFICIAL.pdf](http://www.infopl.net/files/documentacion/vision_artificial/infoPLC_net_Conocimientos_vISIONARTIFICIAL.pdf)

#### 2.1.6. *Procesado de datos*

VARGAS, (2010, pp.9) plantea, el sistema de visión suele ser una computadora o un clúster de computadora, dependiendo de las necesidades de los algoritmos de visión a utilizar; y con las cuales se aplican las herramientas de visión adecuadas, a imágenes provenientes del sensor de visión, se trata del sistema encargado de recibir y analizar las imágenes de los objetos a inspeccionar, a una velocidad necesaria para poder interactuar con otros dispositivos en tiempo real.

Partiendo de una representación digital de las imágenes, el modelo de proceso, procesa la información digital, hasta alcanzar información de más alto nivel (decisión binaria), ayudando a la interacción con las aplicaciones o actuadores externos del proceso. (Figura 2-14)



**Figura 2-14:** Imágenes con variación de iluminación  
Fuente: Realizado por: Víctor Vargas

### **2.1.7. Reconocimiento e interpretación**

En este procesamiento de alto nivel de reconocimiento, se le asigna una etiqueta a un objeto con base en la información que brindan sus descriptores. La interpretación le da un sentido o significado a los objetos reconocidos para finalmente llegar a clasificarlos según sus propiedades. Una técnica comúnmente usada en la etapa de clasificación se basa clasificadores estadísticos o modelos neuronales multicapa mediante el algoritmo de retro propagación. (VALDIVIA, 2016a, pp.14)

### **2.1.8. Extracción de características**

Una vez se han separado adecuadamente los objetos que componen la imagen se procede a aplicar un método con el cual sea posible extraer los datos de interés. El objetivo entonces es extraer rasgos que proporcionen información cuantitativa o que permitan diferenciar una clase de objetos de otra. Estas características pueden ser de tipo morfológico como área, perímetro, esqueletos, así como características basadas en textura y color. (VALDIVIA, 2016b, pp.14)

### **2.1.9. Actuadores**

Debido a que los sistemas de visión artificial, generalmente forman parte de grandes procesos en grandes sistemas, sus resultados son entregados a robots, cintas transportadoras y todo tipo de actuadores los cuales se encargan de realizar el procedimiento mecánico del sistema. (LOZANO, 2015, pp.18)

## 2.2. LabVIEW 2016.

Se ha considerado el uso del software LabVIEW 2016, para el diseño y desarrollo tanto de los algoritmos de procesamiento de datos, ya que este software “hace posible traer información del mundo exterior en una computadora” (LARSEN, 2011, pp.1), tomar decisiones en base a los datos adquiridos” el manejo y representación de estos en la interfaz, que se han implemente con la ayuda de este software de ingeniería.

LabVIEW es una herramienta de programación G donde la G simboliza que es un lenguaje gráfico esto significa que los programas no se escriben sino se dibujan con lo que facilitan su comprensión. Originalmente este programa estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. Por este motivo los programas creados en LabVIEW se guardaran en ficheros llamados VI y con la misma extensión (LAJARA Y PELEGRÌ, 2007, pp 4). Recomendado para elaborar softwares<sup>6</sup> de pruebas, control, diseño real o simulado, pues acelera la productividad al hacer programas completamente complejos, imposibles de hacer con lenguajes tradicionales, por otra parte posee un amplio grupo de librerías pre-diseñadas las mismas que facilitan al usuario la creación del proyecto, con lo cual se puede dedicar mayor tiempo en lo que conlleva la elaboración de la interfaz gráfica con el usuario final.

Los archivos VI, constan de dos partes las cuales son, Panel frontal donde el usuario interactúa con los datos del programa generado en tiempo real y con datos actualizados mientras este se está ejecutando, y el diagrama de bloques es donde se desarrolla propiamente dicho el código del programa, pero basado en bloques. Estos VIs trabaja en base a controladores e indicadores los mismo que representan las entradas y salidas de los programas.

Una de las principales ventajas que presenta LabVIEW es la de poder realizar el recorrido que hacen los datos por dentro del programa, y así poder detectar si existe algún tipo de error en los VIs ya creados.

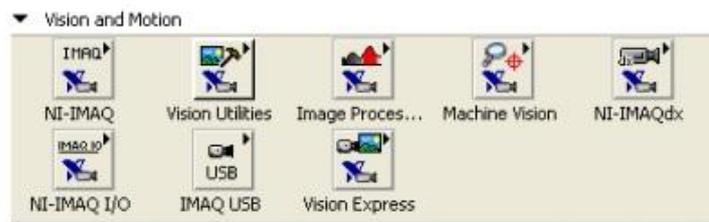
Con los detalles presentados LabVIEW es la pieza angular para desarrollar este proyecto, dado que posee las características que facilitan la programación gráfica y su velocidad e procesamiento con lo que implementar algoritmos complejos es muy fácil, por lo cual nos ayuda a darle un toque muy característico a este proyecto.

### 2.2.1. Ni Visión de LabView 2016 para visión artificial

Ni visión es parte del módulo de desarrollo de visión NI. La mayoría de los campos de la industria moderna, requieren para el análisis de sus tareas una herramienta que permita la combinación de de adquisición de imágenes en movimiento, uso de visión robótica y la capacidad para el análisis de las mediciones tomadas de cada uno de los procesos, es así que LabView provee toda una gama de diversas funciones a fin de suplir todos estos requerimientos. (TELLO & SALCÁN, 2009, pp.35).

LabView contempla dos funciones que se incluyen en el paquete de Ni Vision desarrollado por National Instrumets para soluciones tecnológicas.

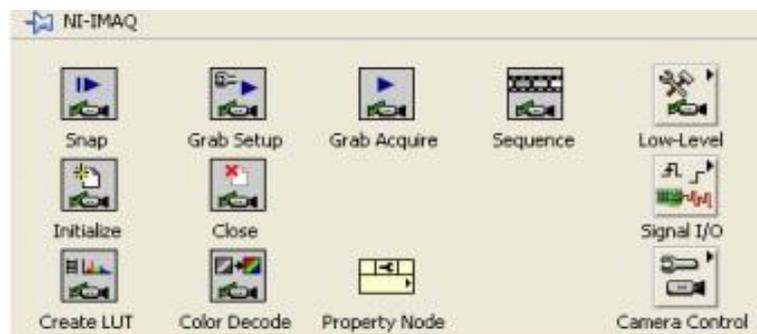
**Vision and Motion:** Dota una serie de paquetes que permiten desarrollar la combinación de visión artificial y tecnología de control de movimientos, en la (Figura 2-15), se muestra el menú de Vision and Motion.



**Figura 2-15:** Menú de Vision anda Motion

Fuente: LabView, 2016

**NI-IMAQ:** Permite al sistema la adquisición de imagen por lo que es indispensable. En este paquete los VIs permiten abrir y cerrar una interfaz, se muestra el menú que ofrece en la (Figura 2-16).



**Figura 2-16:** Menú de NI-IMAQ

Fuente: LabView, 2016

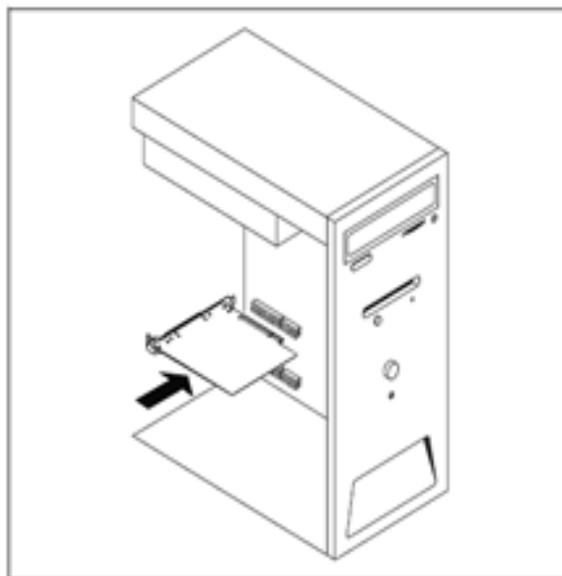
### 2.2.2. Vías de comunicación de controladores para LabVIEW

(National Instrument, 2017) determina, que LabVIEW permite realizar una amplia comunicación y a su vez un múltiple control por vías como USB, Ethernet/LAN, AT-GPIB/TNT (PnP), etc.

**USB**, es un bus de comunicación basado en mensajes. Esto significa que una PC y un dispositivo USB se comunican enviando comandos y datos a través del bus en forma de texto o datos binarios. Cada dispositivo USB tiene su propio conjunto de comandos. Se puede utilizar funciones de Lectura y Escritura NI-VISA para enviar comandos a un instrumento y leer la respuesta del mismo.

**AT-GPIB/TNT (PnP)**, es una utilidad de software estándar incluido con los productos del controlador GPIB. Al usar su PC, puede aprovechar esta potente herramienta de desarrollo y depuración para comunicarse interactivamente (leer, escribir, sondeo serial y demás) con sus instrumentos GPIB. Con la utilidad VISAIC.

Para las plataformas Windows, la utilidad VISAIC incluye ayuda en línea que describe las funciones NI-488 aplicables y rutinas NI-488.2, sintaxis, códigos de error y variables de estado que le proporcionan la información de depuración que necesita para resolver problemas (National Instrument, 2017) (Figura 2-17).



**Figura 2-17:** Tarjeta AT-GPIB/TNT (PnP)

Fuente: LabView, 2016

**Ethernet/LAN**, sirven para realizar comunicaciones de tipo bidireccional, la cual permite leer y escribir datos vía Ethernet.

**Vía Serial.** La mayoría de las PCs incluyen un puerto serial (generalmente RS232). Aquellas que no tienen este puerto generalmente pueden ser aumentadas con una interfaz serial vía ranuras PCI, adaptadores de puertos USB y otros. La única configuración de hardware requerida es conectar el cable serial al puerto serial en la PC y el puerto serial en el instrumento. El instrumento serial puede incluir algunos controladores de hardware o utilidades de software para comunicación. Puede contener documentación sobre velocidad de transferencia, tamaño del paquete, bits de paro y bits de paridad que el instrumento usará. Estas especificaciones son necesarias para asegurar la comunicación adecuada en el bus serial.

### 2.2.3. *Tipos de datos*

#### 2.2.3.1. *Tipo de datos cadena de caracteres.*

Determina como una cadena de caracteres ASCII visibles o no visibles, proponen un tamaño liberado a la plataforma para información y datos. Varias de las aplicaciones más frecuentes de cadena de caracteres incorpora las siguientes características: (Figura 2-18)



**Figura 2-18: Dato tipo cadena de caracteres**

Fuente: National Instruments, 2011

- Establecer mensajes de texto sencillo.
  - Verifica instrumentos al mandar comandos de texto al instrumento y retorna valores de datos en la forma de ASCII o cadena de caracteres binarias, las cuales posteriormente puede cambiar en valores numéricos.
  - Aglomera datos numéricos al disco, para acumular datos numéricos en un archivo ASCII, primero debe transformar datos numéricos en cadena de caracteres antes de escribir a un archivo de disco.
  - Instruir o advertir al usuario con ventanas de diálogo.
- National Instruments, (2011a, pp.1)

#### 2.2.3.2. *Tipo de Dato Numérico*

Lab-VIEW simboliza datos numéricos como cifras de punto flotante, cifras de punto fijo, cifras enteros, cifras enteras sin signo y cifras complejos. Precisión doble o simple, así como datos de cifras complejos son simbolizados con el color naranja, todos los datos con cifras enteras son representados con el color azul. (National Instruments, 2011b, pp.1) (Figura 2-19).



**Figura 2-19: Dato tipo numérico**

Fuente: National Instruments, 2011

### 2.2.3.3. *Tipo de dato booleano*

LabVIEW guarda datos Booleanos como valores de 8 bits. Este tipo de datos puede ser usado para representar un 0 o 1 o un TRUE o FALSE. Si el valor de 18 bits es cero, el valor Booleano es FALSE; cualquier valor no igual a cero representa TRUE. Las aplicaciones comunes para datos Booleanos incorpora representar datos digitales y ejerce como un control de panel frontal que ejecuta como un conmutador que tiene una labor mecánica comúnmente usada para controlar una estructura de ejecución como una estructura de Caso. Un control Booleano normalmente es utilizado como la declaración condicional para terminar un Ciclo While. El color verde simboliza datos Booleanos. (National Instruments, 2011c, pp.1) (Figura 2-20).



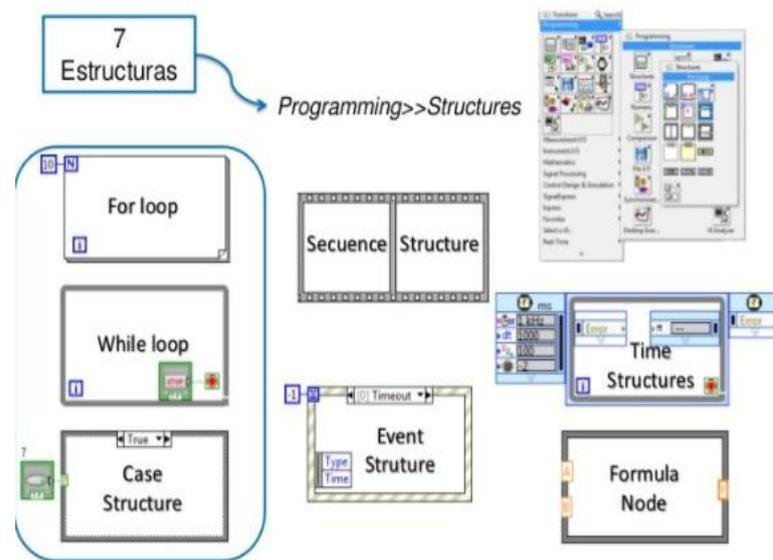
**Figura 2-20: Dato tipo booleano**

Fuente: National Instruments, 2011

### 2.2.4. *Programación estructurada*

Para la elaboración de este proyecto es necesaria la aplicación de una programación estructura ya que esto facilita la ejecución de un mismo conjunto de sentencias un número determinado de veces o que estas se repitan mientras cumplan ciertas condiciones. Como también la ejecución de una u otra sentencia basada en condiciones fijadas o simplemente forzar a que siempre unas se ejecuten antes que otras.

Es por ello que las estructuras que se detallaran fueron las que se usaron para el desarrollo de este proyecto: (Figura 2-21)



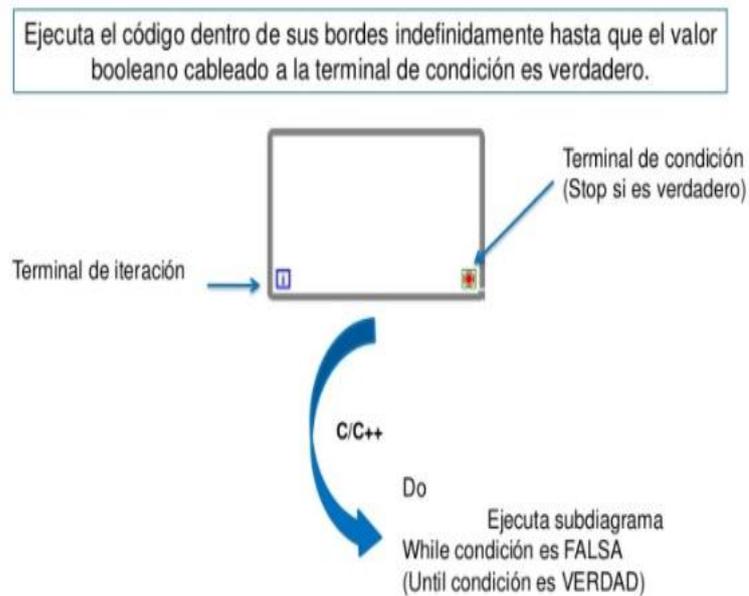
**Figura 2-21: Tipos de estructuras**

Fuente: Realizado por: Othoniel Hernández

#### 2.2.4.1. Estructura iterativa: WHILE LOOP

(Lázaro, 2001a, pp. 56), afirma que el uso del While Lopp es cuando queremos que una operación se repita mientras una determinada condición sea cierta o falsa. Aunque esta estructura es más similar al comando Repeat-Until, ya que se repite como mínimo una vez, independiente del estado de la condición. Su equivalente en lenguaje convencional es: (Figura 2-22)

- Do ejecutar subdiagrama
- While condición is TRUE OR false



**Figura 2-22: Estructura While Loop**

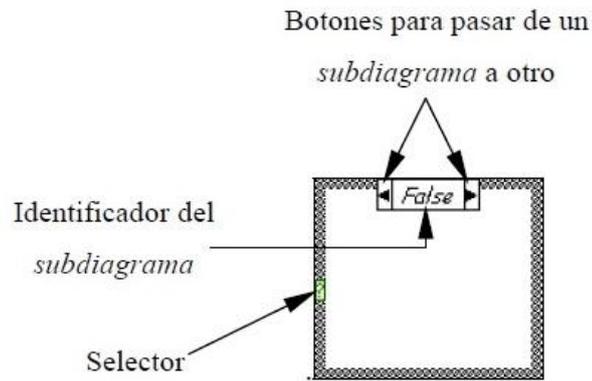
Fuente: Realizado por: Othoniel Hernández

#### 2.2.4.2. Estructura Case

Como lo determina (Lázaro, 2001b, pp. 56) la aplicación de la estructura Case en aquellas situaciones en las que el número de alternativas disponibles sean dos o más. Según qué valor tome el selector dentro de los  $n$  valores posibles, se ejecutará en correspondencia uno de los sub diagramas. La estructura Case consta de un terminal llamado selector y un conjunto de sub diagramas, cada uno de los cuales está dentro de un case o suceso y etiquetado por un identificador del mismo tipo que el selector. En cualquier caso siempre hemos de cubrir todo el rango de posibles valores, y al menos ha de haber un Case por defecto.

En este caso la estructura case engloba dos sentencias diferentes de otros lenguajes convencionales: (Figura 2-23)

- If condición true then ejecutar case true else ejecutar case false
- Case selector of 1: ejecutar case 1 ; n:ejecutar case n end

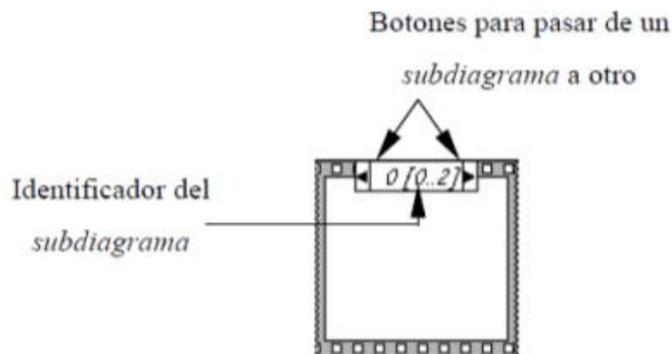


**Figura 2-23: Estructura Case**

Fuente: Realizado por: Othoniel Hernández

### 2.2.4.3. Estructura Sequence

Sequence (Lázaro, 2001c, pp. 56) deduce que esta estructura no tiene su homóloga en los diferentes lenguajes convencionales, ya que en estos las sentencias se ejecutan en el orden de aparición pero, como ya sabemos. En LabVIEW una función se ejecuta cuando tiene disponible todos los datos de entrada. Se produce de esta manera una dependencia de datos que hace que la función que recibe un dato directo o indirectamente de otra se ejecute siempre después. Creándose un flujo de programa. (Figura 2-24)



**Figura 2-24: Estructura Sequence**

Fuente: Realizado por: Othoniel Hernández

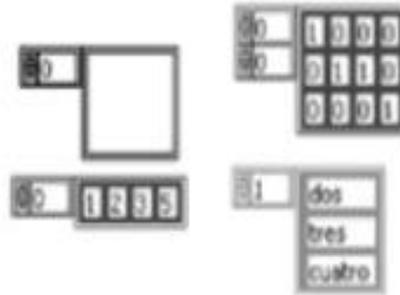
### 2.2.5. Tipos de datos estructurados

#### 2.2.5.1. Arrays

Los arrays o arreglos interpretados desde el punto de vista de (LAJARA y PELEGRÍ, 2011a: pp.94) son un conjunto de datos ordenados y de un tipo determinado; de esta forma no puede hablarse simplemente de array, sino de array de booleanos, array de string, etc.

El cableado de un array es del mismo color que el tipo de datos que contiene, pero más grueso, y en el caso de los numéricos, el cableado es de doble línea para dos o más dimensiones.

Junto a los terminales (control, indicar y constante) de cualquier tipo de array aparecen uno o varios índices numéricos que indican, (Figura 2-25).



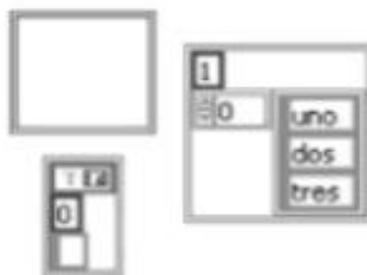
**Figura 2-25: Diferente tipos de arrays**

Fuente: Realizado por: Lajara José Rafael

### 2.2.5.2. *Clusters*

Al igual que los arrays (LAJARA y PELEGRÍ, 2011b: p.94), interpreta que los clusters son un tipo de datos estructurado. También son un conjunto de datos, pero a diferencia de los anteriores, los cluster pueden contener datos de varios tipos en su interior, incluidos otros clusters. El concepto es equivalente a los STRUCT en C o a los RECORD en Pascal.

La (Figura 2-26) podemos visualizar un cluster vacío, el otro presenta un entero y un array string y otro con un booleano, un entero y un string este último cluster es especial ya que es usado para describir errores.



**Figura 2-26: Clusters.**

Fuente: Realizado por: Lajara José Rafael

### 2.2.5.3. *Controles e indicadores String*

Los string más conocidos como cadena de caracteres, como lo determina (LAJARA y PELEGRÍ, 2011c: pp.102), un string es una colección de caracteres ASCII. No solo se usan como mensajes de texto. En el control de instrumentos pasamos los datos numéricos como cadena de caracteres o string. A continuación convertimos esas cadenas en números. Así mismo se necesitan strings para almacenar datos numéricos en el disco. (Figura 2-27)



**Figura 2-27: Control e indicador String**

Fuente: Elaboración propia

Con la ayuda de las herramientas operating o labeling se puede realizar el cambio o introducción de texto.

### 2.3. **Método Rula**

El principio ergonómico fundamental que debe regir todas nuestras intervenciones es el de adaptar la actividad a las capacidades y limitaciones de los usuarios, y no a la inversa. (MONDELO, et al, 2000: pp.25)

RULA (Rapid Upper Limb Assessment), creado por el Dr. Lynn McAtamney y el Profesor E. Nigel Corlett, en el año de 1993 en la universidad de Nottingham en Inglaterra. (MCATAMNEY y CORLETT, 1993: pp. 91-99)

Un método mediante el cual se entrega una evaluación rápida de los esfuerzos que realizan los trabajadores teniendo como afectación el aparato músculo-esquelético debido a posturas, función muscular y fuerzas que ellos ejercen. Entre las ventajas principales que ofrece este método es la evaluación inicial rápido de un gran número de trabajadores.

Este método se basa en la observación directa en el puesto del operario durante la realización de la tarea, mediante el análisis de las posturas realizadas por las extremidades superiores, cuello, espalda y piernas.

Para realizar el registro de las posturas del cuerpo el método ocupa 3 tablas que sirven para ejecutar la evaluación de exposición a factores de riesgo como:

- Numero de movimientos
- Trabajo estático muscular
- Fuerza aplicada
- Posturas de trabajo determinadas por los equipos e inmobiliarios
- Tiempo de trabajo sin pausa

### ***2.3.1. Posturas de trabajo consideradas en el método RULA.***

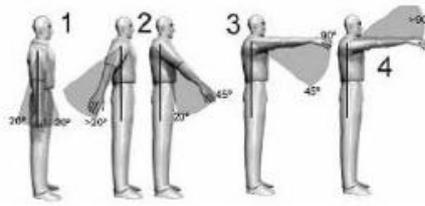
Para realizar la evaluación de este método se divide al cuerpo en segmentos los cuales se clasifican en dos grupos, A y B. El grupo A el cual se encuentra conformado por el brazo, antebrazo y muñeca, y el grupo B que abarca el cuello, el tronco y las piernas, cada una de las posturas analizadas llevan consigo un código el cual permite llevar un registro de manera rápida.

La calificación depende del número de factores de riesgo que se encuentren en el puesto de trabajo por ejemplo, el valor 1 es asignado al rango de movimiento o la postura que contiene un mínimo de factores de riesgos presentes en ese puesto de trabajo, la asignación de valores superiores se da cuando el puesto de trabajo posee mayores factores de riesgo.

### ***2.3.2. Grupo A***

En las siguientes figuras se determina la calificación de cada una de las posturas del grupo A, el mismo que está conformado por:

Tabla para calificación de posición de los brazos. (Figura 2-28)

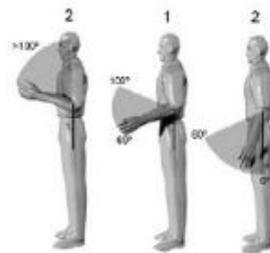


Puntos:	Posición:
1	20° ext.-20° flex
2	>20° ext.- >20° o flexión entre 20° y 45°
3	flex.45° y 90°
4	flexión >90°

**Figura 2-28: Calificación para brazos**

Fuente: Realizado por: Ana García

Tabla para calificación de posición de antebrazos. (Figura 2-29)

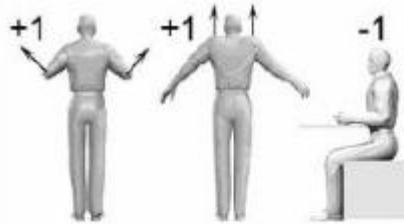


Puntos:	Posición:
1	FLEX. 60° Y 100°
2	FLEX.<60° y >100°

**Figura 2-29: Calificación para antebrazos.**

Fuente: Realizado por: Ana García

Tabla para calificación de posición de hombros. (Figura 2- 30)

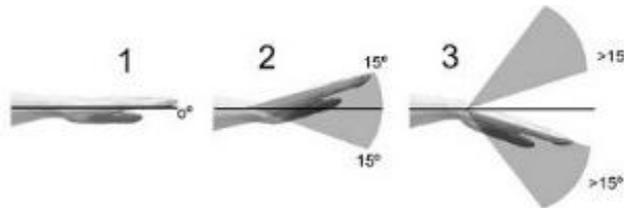


Puntos:	Posición:
+1	Si el hombro está elevado o el brazo rotado.
+1	Si los brazos están abducidos.
-1	Si el brazo tiene un punto de apoyo.

**Figura 2-30: Calificación para hombros**

Fuente: Realizado por: Ana García

Tabla de evaluación por posición en las muñecas. (Figura 2- 31)



Puntos:	Posición:
1	Neutra respecto a flexión.
2	Flex. o ext. entre 0° y 15°.
3	Flex. o ext. > 15°.

**Figura 2-31: Calificación de muñecas**

Fuente: Realizado por: Ana García

Tabla modificante de puntuación de muñecas por su posición. (Figura 2-32)



Puntos:	Posición:
+1	Desviación radial o cubitalmente.

**Figura 2-32: Calificación modificante de muñecas**

Fuente: Realizado por: Ana García

Tabla para puntuación mediante el tipo de actividad muscular. (Figura 2-33)

Puntos:	Posición:
0	si la carga o fuerza es menor de 2 Kg. y se realiza intermitentemente
1	si la carga o fuerza está entre 2 y 10 Kg. y se levanta intermitente
2	si la carga o fuerza está entre 2 y 10 Kg. y es estática o repetitiva
2	si la carga o fuerza es intermitente y superior a 10 Kg
3	si la carga o fuerza es superior a los 10 Kg., y es estática o repetitiva
3	si se producen golpes o fuerzas bruscas o repentinas

**Figura 2-33: Tabla para evaluación mediante el tipo de actividad muscular**

Fuente: Realizado por: Ana García

Una vez concluidos los análisis de brazo, antebrazo, muñeca y giro de muñeca de la situación determinada procedemos a conseguir el valor pertinente al cruzar estas cuatro puntuaciones. (Figura 2-34)

Brazo	Antebrazo	Muñeca							
		1		2		3		4	
		Giro de Muñeca		Giro de Muñeca		Giro de Muñeca		Giro de Muñeca	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

**Figura 2-34: Tabla para evaluación del grupo A**

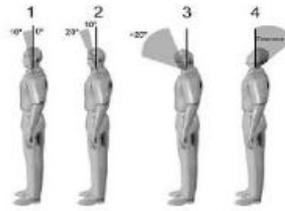
Fuente: Realizado por: Ana García

### 2.3.3. Grupo B

La siguiente clasificación permite seguir con la evaluación de los siguientes parámetros para llevar la calificación de este grupo y así tener un nivel de riesgo existente para analizarlo con el nivel de riesgo del grupo A.

Las partes a evaluar son las siguientes:

Tabla para calificación de posición en el cuello. (Figura 2-35)

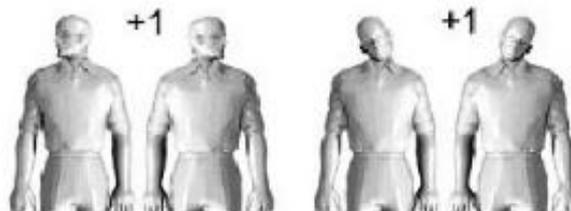


Puntos:	Posición:
1	flex. entre 0° y 10°
2	flex. entre 10° y 20°
3	flex. >20°
4	si esta extendido

**Figura 2-35: tabla de calificación del cuello**

Fuente: Realizado por: Ana García

Tabla de calificación modificante de puntuación de cuello. (Figura 2-36)

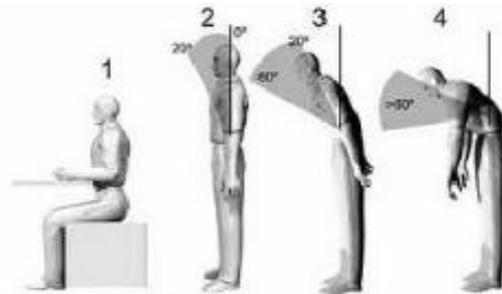


Puntos:	Posición:
+1	Cuello rotado
+1	Inclinación lateral

**Figura 2-36: tabla modificante de puntuación de cuello**

Fuente: Realizado por: Ana García

Tabla evaluación de posición en el tronco. (Figura 2-37)

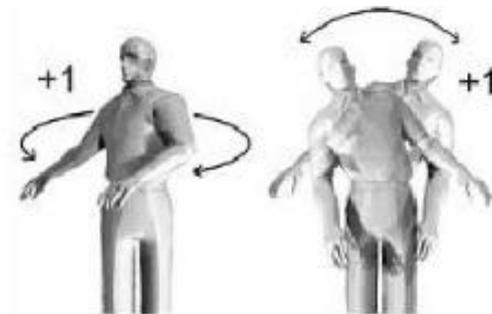


Puntos:	Posición:
1	Sentado, bien apoyado y con un ángulo tronco-caderas >90°
2	Si está flexionado entre 0° y 20°
3	Si está flexionado entre 20° y 60°
4	Si está flexionado más de 60°

**Figura 2-37. Tabla de evaluación de posición de tronco**

Fuente: Realizado por: Ana García

Tabla modificante para la puntuación en la posición del tronco. (Figura 2-38)



Puntos:	Posición:
+1	Si hay torsión de tronco
+1	Si hay inclinación lateral del tronco.

**Figura 2-38: Tabla evaluación modificante de calificación del tronco**

Fuente: Realizado por: Ana García

Tabla para calificación según el posicionamiento de las piernas. (Figura 2-39)



Puntos:	Posición:
1	Sentado, con pies y piernas bien apoyados
1	De pie con el peso simétricamente distribuido y espacio para cambiar de posición
2	Si los pies no están apoyados, o si el peso no está simétricamente distribuido

**Figura 2-39: Tabla para calificación mediante la posición de las piernas**

Fuente: Realizado por: Ana García

Al igual que el grupo anterior, una vez adquiridas las puntuaciones del cuello, tronco y piernas de la posición que se evaluó procedemos a obtener la calificación del grupo B, al cruzar estas tres puntuaciones. (Figura 2-40)

		Tronco											
		1		2		3		4		5		6	
		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas		Piernas	
Cuello		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7	
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7	
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8	
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	

**Figura 2-40: Tabla de puntuación del grupo B**

Fuente: Realizado por: Ana García

### 2.3.4. Tablas de resultados método RULA

A las calificaciones obtenidas tanto de los grupos A y B, hay que sumar la puntuación tanto por el tipo de actividad muscular desarrollada (Figura 2-41) y la puntuación ejercida o carga manejada (Figura 2-42) para cada uno de los grupos, y se obtendrán según los siguientes criterios:

Puntuación de la actividad muscular	
Actividad	1 Si la actividad es principalmente estática (si la postura analizada se mantiene más de un minuto seguido).
	1 Si la actividad es repetitiva (se repite más de 4 veces/minuto).
	0 Si la tarea se considera de actividad dinámica (es ocasional, poco frecuente y de corta duración).

**Figura 2-41: Tabla de puntuación de la actividad muscular (C)**

Fuente: Realizado por: Ana García

En consecuencia la puntuación en lo que corresponde actividad muscular puede ser 1 o 0.

Puntuación de fuerza ejercida o carga manejada			
0	1	2	3
No resistencia o menos de 2kg de carga fuerza <u>intermitente</u>	2 – 10 kg de carga o fuerza <u>intermitente</u>	2 – 10 kg de carga o fuerza <u>estática</u>  2 – 10 kg de carga fuerza <u>repetida</u>	10 kg o más de carga o fuerza <u>estática</u>  10 kg o más de carga o fuerza <u>repetida</u>  Sacudidas o fuerzas que aumentan rápidamente

**Figura 2-42: Tabla de puntuación de fuerza ejercida carga manejada (D)**

Fuente: Realizado por: Ana García

Obtenidas las puntuaciones de las tablas de actividad muscular y fuerza ejercida toman una nueva codificación como tablas C y D como se explica a continuación:

VALOR C= Puntuación A + puntuación de la actividad muscular (grupo A)+puntuación de fuerza ejercida o carga manejada (grupo A)

VALOR D= Puntuación B + puntuación de la actividad muscular (grupo B)+puntuación de fuerza ejercida o carga manejada (grupo B)

Con los nuevos valores encontrados procedemos a ubicarlos en el la tabla F (Figura 2-43), donde obtendremos la puntuación final del método RULA.

		PUNTUACIÓN D (cuello, tronco, pierna)						
		1	2	3	4	5	6	7+
PUNTUACIÓN C (miembro superior)	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

**Figura 2-43: Tabla de puntuación F método Rula**

Fuente: Realizado por: Ana García

Como paso final la puntuación que se ha obtenido nos situará dentro de cualquiera de los 4 niveles de acción que definen al método RULA los niveles son:

- **Nivel de acción 1:** Teniendo como puntuación de 1 o 2 nos indica que la postura es tolerable si no se mantiene o repite durante largos periodos.
- **Nivel de acción 2:** Teniendo como puntuación de 3 o 4 nos indica que podrían requerirse investigaciones complementarias o cambios.
- **Nivel de acción 3:** Teniendo como puntuación de 5 o 6 nos indica que se precisan a corto plazo investigaciones o cambios.
- **Nivel de acción 4:** Teniendo como puntuación de 7 indica que se requieren investigaciones y cambios inmediatos.

## CAPITULO III

### 3. DESARROLLO DE LA APLICACION.

#### 3.1. Hardware

##### 3.1.1. *Kinect for Windows V2*

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron las cámaras *Kinect for Windows V2*, ya que estas poseen un sensor de profundidad basado en iluminación activa, que se adapta perfectamente a las necesidades y exigencias que demanda el proyecto brindando un entorno tridimensional.

El uso de las cámaras *Kinect for Windows V2*, necesita de requerimientos mínimos tanto en hardware como también a nivel de software. (HAROTEK, 2014, pp.9) En lo que se refiere a hardware es necesario como requerimientos mínimos. Procesador del ordenador: I7 3.1 GHz (o superior), núcleo x64, memoria de 4GB o más, de 64-bit, tarjeta de vídeo DX11 adaptadora de gráficos, por la parte de software como ínfimo se recomienda sistema operativo Windows 8 o superior.

La Kinect for Windows V2, ofrece características a tener en cuenta como son (Figura 3-1):

- Campo de visión: 70 ° horizontal y 60 ° vertical
- Resolución de 1920 x 1080 full HD
- Rango de profundidad de 0,5m a 4,5m
- Framerate con el sensor de profundidad 30 Hz (30fps)
- 25 joints de esqueleto



**Figura 3-1: Cámara Kinect for Windows V2.**

Fuente: HaroTek, 2014

### 3.1.2. Requerimientos de software de la cámara Kinect for Windows V2

El software utilizado para la realización de este proyecto. Cumpliendo con las necesidades específicas de las cámaras Kinect for Windows V2, un ordenador que en cuestión posea Windows 8 o superior, por otra parte, es necesario además que el servidor tenga por lo menos Microsoft Office 2013 o superior.

Las cámaras Kinect cuentan con una cámara RGB, la cual es capaz de trabajar a 1920x1080, un sensor de profundidad y tres emisores de infrarrojos. Además de un sistema multi-array de micrófonos los cuales en este proyecto no fueron utilizados, tener un buen conocimiento del funcionamiento de las cámaras Kinect for Windows V2, nos facilitará comprender cada una de sus propiedades y así analizar debidamente la adquisición de datos. (Figura 3-2)



**Figura 3-2: Distribución de sensores en Kinect for Windows V2**

Fuente: Microsoft, 2017

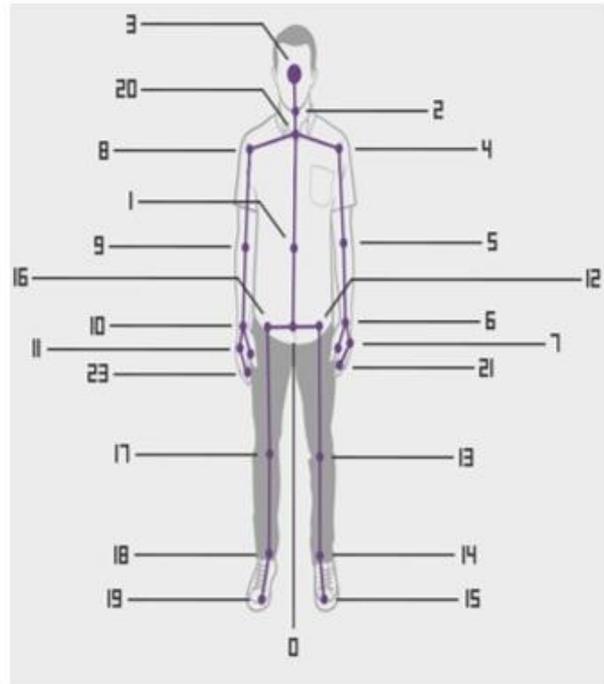
Las cámaras Kinect for Windows V2 trabajan mediante un sistema de coordenadas en 3D, con una delimitación específica de cada coordenada:

- El origen de coordenadas ( $x = y = z = 0$ ) se encuentran en el sensor de profundidad.
- La coordenada x maneja un rango de (- 1,5 a 1,5) metros, aumentado esta hacia la izquierda.
- La coordenada y se maneja con un rango (-1 a 1) metros, esta aumenta hacia arriba del sensor, teniendo en cuenta que en la parte inferior está ubicado el soporte de la cámara.

- La coordenada z, se maneja mediante un rango (0,5 a 4) metros, aumenta en dirección a donde enfoque la cámara.
- La cámara Kinect for Windows V2, determina como unidad el metro.

Como característica principal Kinect resalta una funcionalidad para realizar el monitoreo del cuerpo humano y seguimiento de cada una de sus partes mediante un algoritmo especial. (Figura 3-3)

SPINE BASE	CADERA	0
SPINE MID	COLUMNA	1
NECK	CUELLO	2
HEAD	CABEZA	3
SHOULDER LEFT	HOMBRO IZQ	4
ELBOW LEFT	CODO IZQ	5
WRIST LEFT	MUÑECA IZQ	6
HAND LEFT	MANO IZQ	7
SHOULDER RIGHT	HOMBRO DER	8
ELBOW RIGHT	CODO DER	9
WRIST RIGHT	MUÑECA DER	10
HAND RIGHT	MANO DER	11
HIP LEFT	CADERA IZQ	12
KNEE LEFT	RODILLA IZQ	13
ANKLE LEFT	TOBILLO IZQ	14
FOOT LEFT	PIE IZQ	15
HIP RIGHT	CADERA DER	16
KNEE RIGHT	RODILLA DER	17
ANKLE RIGHT	TOBILLO DER	18
FOOT RIGHT	PIE DER	19
SPINE SHOULDER	ESPINA DORSAL	20
HAND TIP LEFT	PUNTA DE LA MANO IZQ	21
THUMB LEFT	PULGAR IZQ	22
HAND TIP RIGHT	PUNTA DE MANO DER	23
THUMB RIGHT	PULGAR DER	24



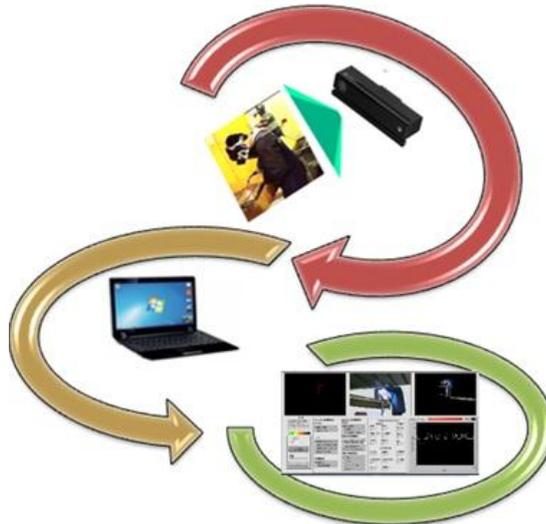
**Figura 3-3: Esquema de joints detectados por la cámara Kinect for Windows V2**

Fuente: Elaboración propia

La funcionalidad del algoritmo que usa Kinect es que a cada “joint” la cámara le asigna un valor en 3D(x, y, z) de posición y cuatro valores de rotación de cada joint respecto a la cámara, para la realización de este proyecto solo se han utilizado los valores en 3D.

### 3.2. Sistema de adquisición Kinect.

Comprendido el funcionamiento de las cámaras Kinect for Windows V2, crear un sistema de adquisición Kinect, es la siguiente fase con la finalidad de obtener datos de manera fiable (Figura 3-4).



**Figura 3-4: Diseño sistema de adquisición Kinect**  
Fuente: Elaboración propia

Por consecuencia se debe tener en cuenta varios factores como:

#### 3.2.1. Estructura del sistema.

La estructura del sistema cuenta con una cámara Kinect for Windows V2, la misma que envía la información a un ordenador el cual procesa los datos y se reflejan en app creada. (Figura 3-5)



**Figura 3-5: Diseño de estructura del sistema de adquisición Kinect**  
Fuente: Elaboración propia

### **3.2.2. Espacios**

En lo correspondiente al espacio de trabajo adecuado para que las cámaras Kinect for Windows V2 tengan un alto desempeño debe ubicarse entre 0,5 metros y 4,5 metros un punto relevante a tener en cuenta es el espacio. Para que la cámara Kinect trabaje adecuadamente se debe tener como mínimo una superficie de 2 metros cuadrados, donde debe existir un operario en la parte central, si para analizar el puesto de trabajo se requiere de un mayor número de cámaras por ende aumentara considerablemente la superficie, pero como mínimo debe haber 2 metros cuadrados de superficie para realizar las correspondientes comparaciones.

### **3.2.3. Interferencias**

El uso entre Kinect pueden producir interferencias cuando son utilizadas en sistemas múltiples debido a la tecnología ToF (Time of Flight), el cual calcula la profundidad de imagen. Estudios demuestran que existen efectos negativos cuando las Kinect se encuentran enfocadas a una superficie que refleja el haz luminoso de un dispositivo en dirección a otro.

### **3.2.4. Parámetros para determinación de ángulos**

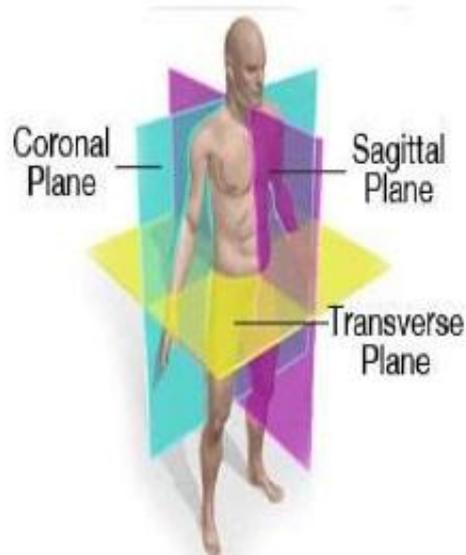
El sistema de adquisición Kinect nos ofrece un sistema de coordenadas delimitado por el marcador, en consecuencia el cálculo de los ángulos no se los puede realizar de manera directa con las coordenadas 3D de los joints adquiridos.

#### **3.2.4.1. Planos**

El cuerpo humano se encuentra definido por 3 planos biomecánicos para así poder realizar el cálculo adecuado de los ángulos que se requieren.

Que planos que se definen son los siguientes: (Figura 3-6):

- Plano Sagital, el plano perpendicular a la línea recta que conecta la cadera derecha e izquierda y pasa por el centro de la cadera.
- Plano Frontal, el plano vertical que pasa a través de la cadera derecha e izquierda
- Plano Transversal, plano horizontal que pasa a través de la cadera derecha e izquierda
- Plano Troncal, plano determinado a través del cuello y la cadera derecha e izquierda(AVARIA,2016,pp19)



**Figura 3-6: División del cuerpo en planos**

Fuente: Realizado por: Avaria Vicent

### 3.3. Librerías

#### 3.3.1. Haro 3D

En este apartado se darán a conocer las librerías que fueron utilizadas para el desarrollo de este proyecto basándose en las necesidades que demanda el mismo, ya que LabVIEW 2016 trabaja con librerías pre-diseñadas.

Cabe recalcar que LabVIEW 2016 contiene librerías preestablecidas, que son parte del programa las mismas que fueron desarrollados por National Instruments, como son Vision Development Module y Math Plots, las cuales fueron usadas en este proyecto.

Haro 3D es una librería creada para poder obtener acceso a la varias funcionalidades de la cámara Kinect for Windows V2, entre ellas las más esenciales procesamiento de una nube de puntos, reconstrucciones 3D, cuerpos, imágenes infrarrojas etc.

Esta librería contiene diferentes VIs, que se encargan de controlar las funciones necesarias para extraer los datos indispensables desde la cámara Kinect For Windows V2. (Figura 3-7)

- Kinect2\_AudioBeam\_API.vi
- Kinect2\_Body\_API.vi
- Kinect2\_Cloud\_API.vi
- Kinect2\_Depth\_API.vi

- Kinect2\_Fusion\_API.vi
- Kinect2\_Imagen\_API.vi
- Kinect2\_IR\_API.vi
- Kinect2\_\_Control\_API.vi



**Figura 3-7: VIs de la Sub paleta Kinect for Windows de la librería Haro 3D**  
Fuente: (Microsoft, 2015)

En este proyecto se utiliza para obtener la nube de puntos el VI Kinect2\_Cloud\_API.vi, y así poder calibrar el sistema de adquisición Multi-Kinect. El VI Kinect2\_Imagen\_API.vi, utilizado para adquirir la imagen que captura la cámara. Por otra parte, el VI Kinect2\_IR\_API.vi es utilizado para realizar el control del estatus de la cámaras en cada momento, finalmente el VI más indispensable para desarrollar el proyecto es Kinect2\_Body\_API.vi, mediante este VI se realiza la adquisición de los cuerpos para posteriormente realizar los cálculos con los algoritmos planeados ya que este VI tiene como salida un clúster con los 25 joints del cuerpo e información individual de cada joint.

### 3.4. DESARROLLO DE ALGORITMOS PARA APLICACIÓN ERGONÓMICA

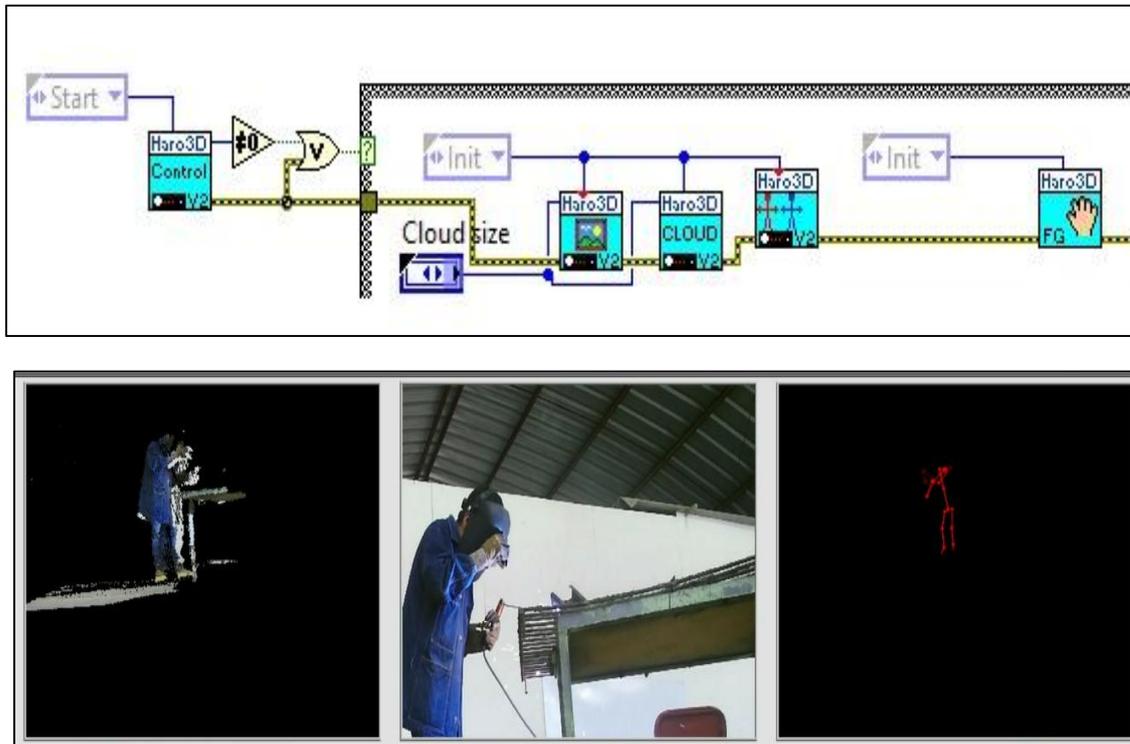
#### 3.4.1. Adquisición de datos desde la cámara Kinect V2

Inicia el Kinect V2 usando la aplicación de KinectControl, quien inicializa y obtiene características de la Kinect V2; seguidamente está conectado a tres aplicaciones que son:

Imagen Kinect.\_ Adquiere la imagen en color desde la Kinect, a un tamaño constante de 1080 X 1900 pixeles.

Cloud Kinect.\_ Adquiere los datos de la nube de Kinect y los envía a un evento de usuario de LabVIEW, proporcionando coordenadas espaciales en 3D (X, Y, Z).

Bodies Kinect.\_ Controla y adquirir cuerpos de Kinect V2, es una matriz de 6 elementos donde cada elemento da las propiedades del cuerpo detectadas con 25 articulaciones. Estas funciones trabajan con el comando Init, en el cual se puede desarrollar más de una funcionalidad simultáneamente. (Figura 3-8)



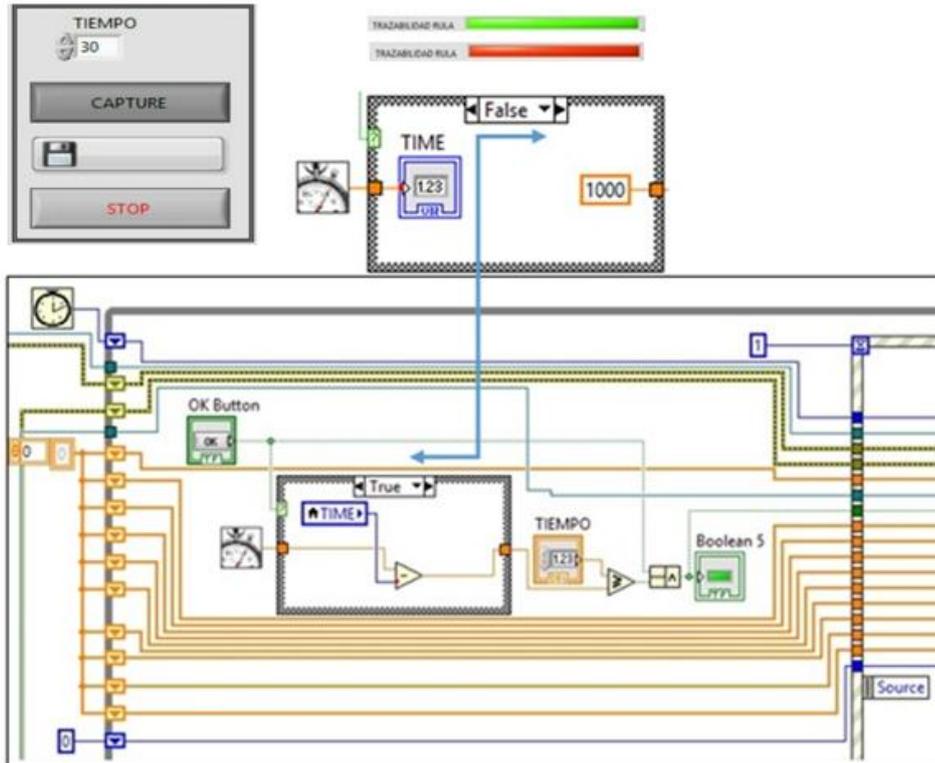
**Figura 3-844: Algoritmo de adquisición de datos de la cámara Kinect V2**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2. Tiempo establecido para la Kinect V2

La ejecución del programa se realiza mediante un desplazamiento de registro, el cual transfiere los datos conectados en la parte izquierda del registro a la próxima iteración ubicada a la derecha, después que el ciclo se ejecuta, la terminal en la parte derecha del ciclo regresa al último valor almacenado en el registro.

A continuación se seleccionó el botón OK Button, que es quien crea una constante a partir del tiempo establecido dentro de la estructura del caso (False), al instante que se presione en el BOTÓN CAPTURARE en la interfaz del usuario cambia de una manera instantánea a TRUE, comenzará a restarse el tiempo establecido y conectado a la gráfica de trazabilidad se mostrara con un indicador en forma de luz LED verde, que indicara las actividades, al finalizar el tiempo este indicador mostrara un color LED rojo. (Figura 3-9)



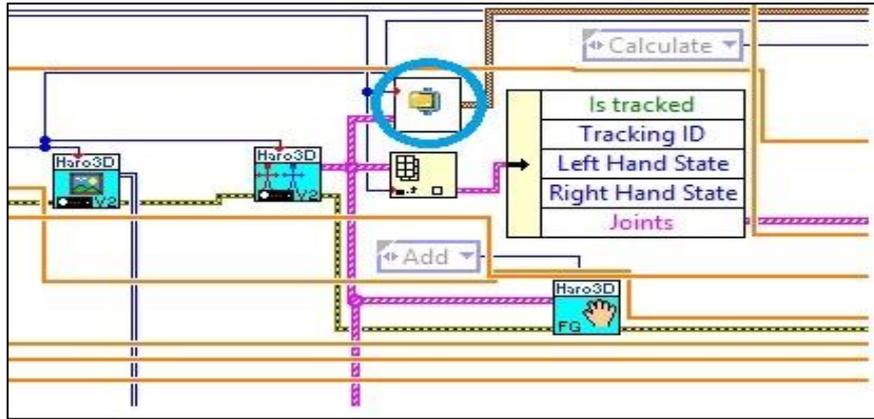
**Figura 3-9: T Tiempo establecido para la Kinect V2**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. *Extracción de Point Kinect desde un SubVI*

Después de desarrollar un VI y haber mostrado los cuerpos las nubes y mallas en 3D, esto se puede usarlo en otro VI. Un VI llamado desde el diagrama de bloques de otro VI es llamado un sub VI, que en nuestro caso es el Point Kinect (Puntos del Kinect), creando un nodo de sub VI que corresponde a una llamada de subrutina en lenguajes de programación basados en texto.

Además se crea características específicas de rastreo en la mano derecha y mano izquierda, apropiando coordenadas y niveles de profundidad que serán sumados dentro de esta matriz de datos en el cual se representan todas las articulaciones del cuerpo. (Figura 3-10)

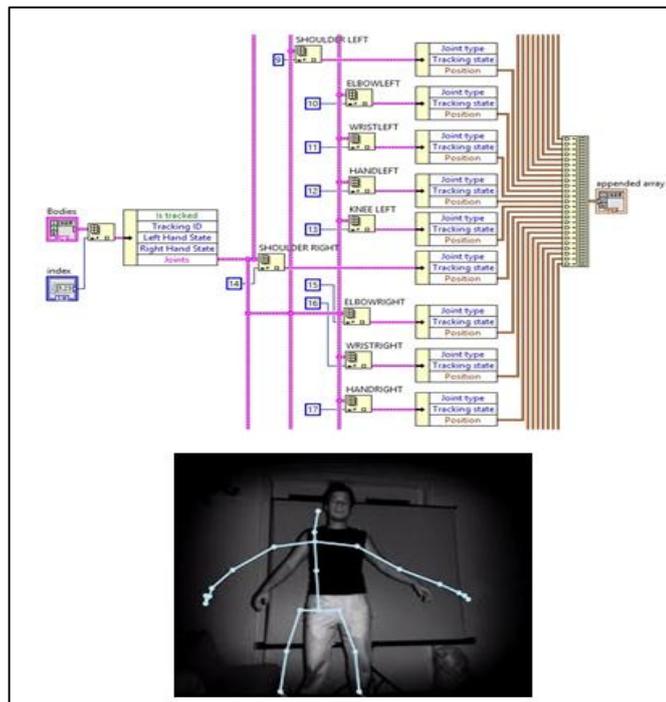


**Figura 3-1045: Algoritmo contenedor del Sub VI Point Kinect**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4. Declaración de puntos de la cámara Kinect respecto al cuerpo humano

En este bloque se muestra un clúster que descomprime los datos enviados de otro clúster, y trabajando conjuntamente con elementos de datos del mismo tipo, crea una matriz con características específicas para cada plano izquierda y derecha. La agrupación de datos se descomprime de una forma ordenada ubicando los 25 puntos de las articulaciones respectivamente; y creando en cada matriz elementos de datos de tipo grupales y tipos mixtos, con sus características, finalmente estos datos requeridos serán receptados en una matriz que determinara señales específicas y concretas de los cuerpos con las articulaciones. (Figura 3-11).



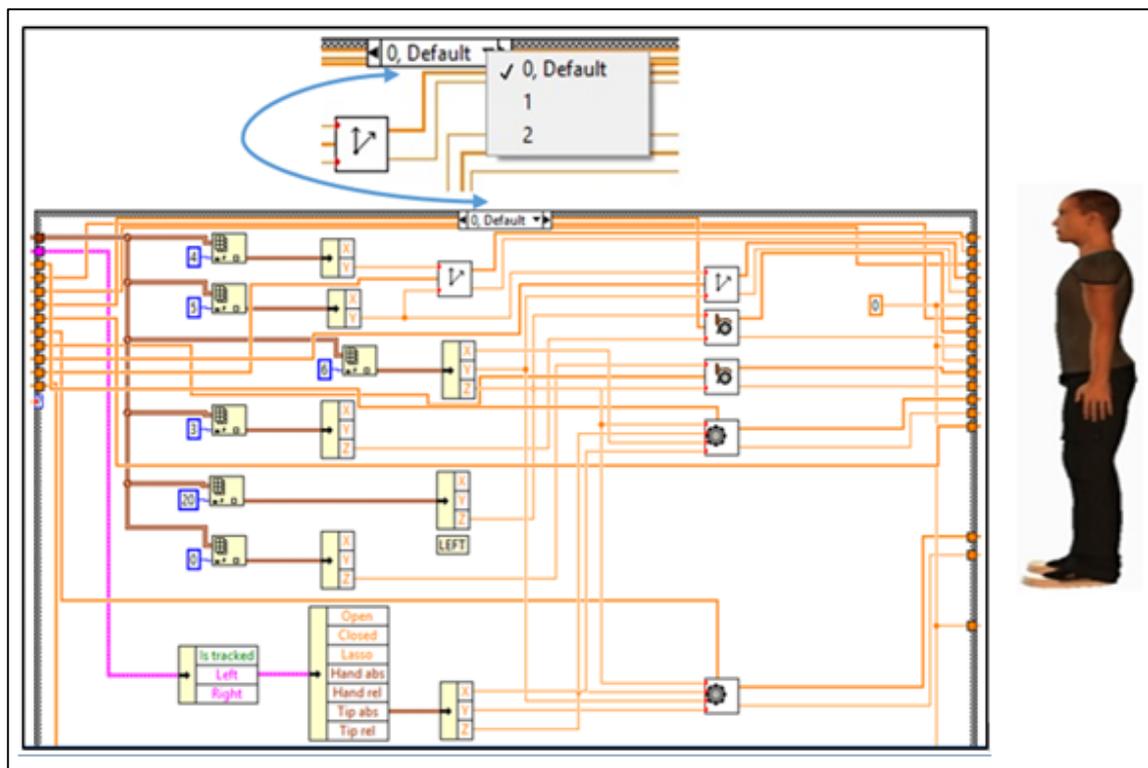
**Figura. 3-1146: Algoritmo de declaración de puntos de la Kinect**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.5. Estructura del caso y selector de etiquetas.

El siguiente bloque está contenido de diferentes selectores de etiquetas, que muestra los valores para los que se ejecuta el caso asociado, el selector de caso es un número entero contenido en un sub diagramas como podemos observar el selector 0, 1 y 2, (Plano Izquierdo, Plano Derecho y Plano Simétrico) respectivamente; cada uno con diferentes matrices.

El selector de etiqueta cero (0), analiza la parte izquierda del cuerpo, utilizando en cada articulación (4, 5, 3, 20, 0) una matriz de dimensiones, que arroja coordenadas en X, Y, y Z. (Figura 3-12)

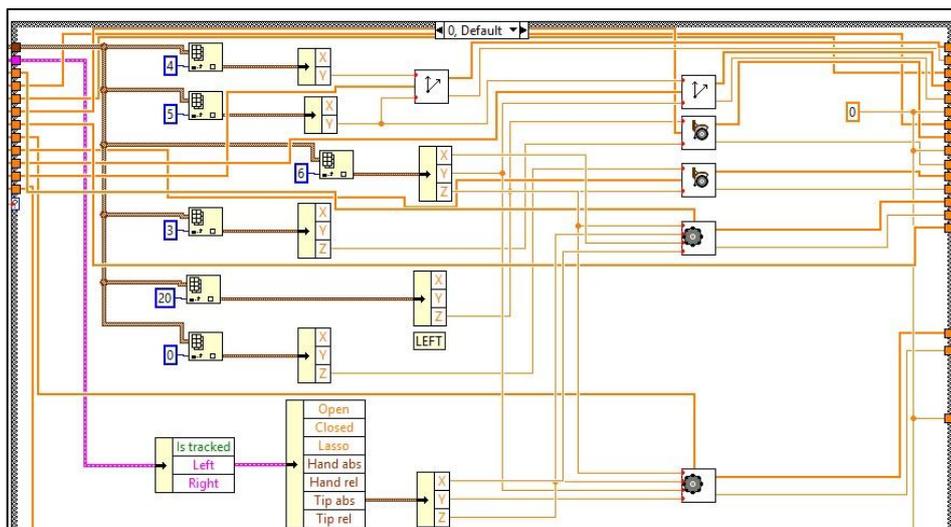


**Figura. 3-12: Estructura del caso y selector de etiquetas**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.6. Dimensiones y coordenadas obtenidas por la Kinect.

A continuación se muestra la matriz que contiene las dimensiones, con sus coordenadas, teniendo en cuenta la longitud, la altura o la profundidad del cuerpo. Cabe recalcar que dependiendo de la exposición del operario varía el selector de etiqueta de forma automática. La matriz obtenida analiza en este caso solo la parte izquierda (0) en un SubVI que corresponde a los ángulos de: Hombro Izquierdo (4), codo izquierdo (5), cabeza (3), espina dorsal (20), y cadera (0) y finalmente la mano izquierda con sus características. (Figura 3-13)



**Figura 3-13: Dimensiones y coordenadas obtenidas por la Kinect**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.7. Cálculo de ángulos del brazo Izquierdo

En este caso se muestra el subVI del brazo Izquierdo, en el cual se usa Controles e indicadores numéricos del panel frontal; teniendo en cuenta características de las persona en lo que respecta a ser alta, baja o mediana, estos indicadores trabajan con los datos receptados de las matrices de las articulaciones, en el cual dependiendo de su análisis de ángulos respecto al método rula se ha ejecutado cada estructura del caso; que puede especificar un solo valor o un rango de valores, este ejecuta cuando se ejecuta la estructura. De acuerdo a la posición del bazo, cuando este sobrepasa los  $90^\circ$  asigna un valor negativo de (-1), el cual pasara directo a ser analizado como valor absoluto, cuando el brazo está en un intervalo de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  asignara un valor normal y si el brazo se encuentra menor de  $0^\circ$  se multiplica por  $45^\circ$  y se suma los  $90^\circ$ , todo este proceso será dependiendo de la posición del operario y será analizado de forma automática e interna. (Figura 3-14)

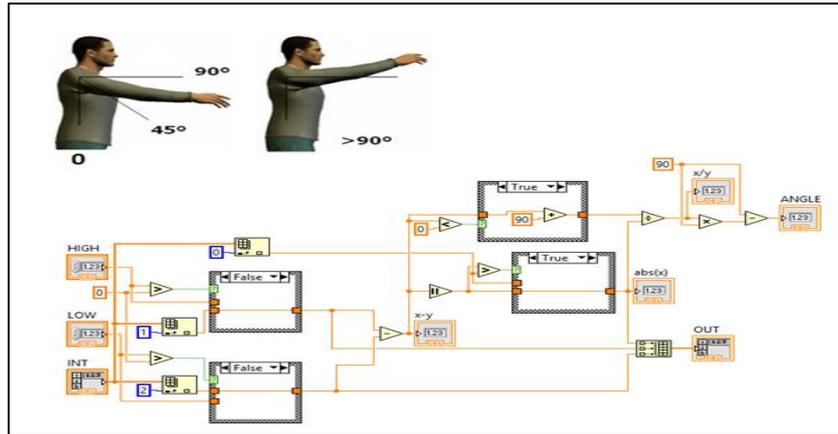


Figura 3-14: Algoritmo cálculo de ángulo del brazo Izquierdo

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.8. Evaluación adicional con la puntuación muscular y carga manejada

Después de obtener las puntuaciones parciales y finales debe sumar la puntuación por el tipo de actividad muscular y la puntuación de la carga manipulada para cada uno de los grupos A y B. Se establece mediante controladores, valores constantes que dependerán del bloque de selección de datos (SubVI), postura del operario. Todos estos datos forman una matriz de Dimensiones, que pasa a ser analizados en la Tabla F del método rula (Puntuación Final) de cada grupo, convirtiendo un valor binario a número, y seleccionando de forma automática la intersección de cada grupo y finalmente es receptado en un array con su nivel de acción. (Figura 3-15)

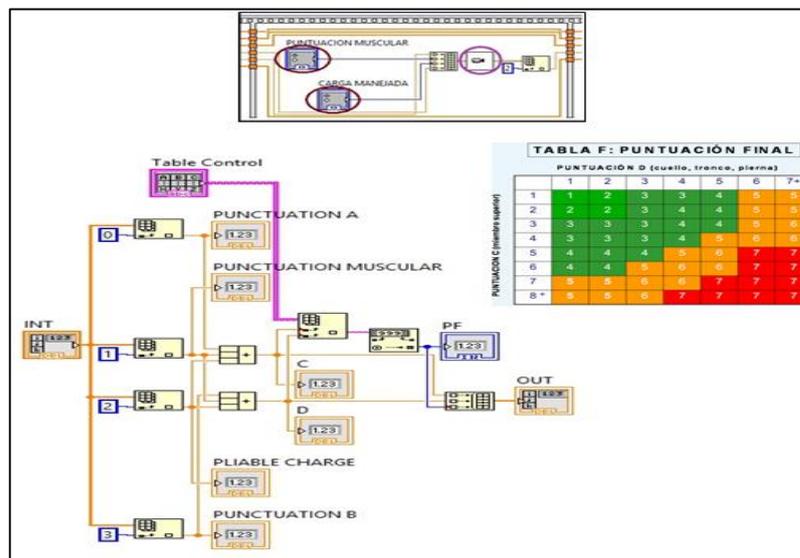


Figura 3-15: Evaluación adicional con la puntuación muscular y carga manejada

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Determinación del nivel de actuación

Se tiene un indicador, el cual contiene un valor promedio de todo el análisis del método rula, receptado por la matriz de (nivel de acción), trabajando simultáneamente con una gráfica en forma de Onda que es un tipo especial de indicador numérico que muestra un gráfico de datos adquiridos típicamente a una velocidad constante; el cual envía un reporte de manera real, al que está expuesto el operario, que dependiendo de este nivel se activaran luces led de color verde, amarillo, naranja y rojo respectivamente, como se puede observar en la figura; y las demás luces se encuentran apagadas, y al mismo tiempo proyectando el nivel de acción. (Figura 3-16)

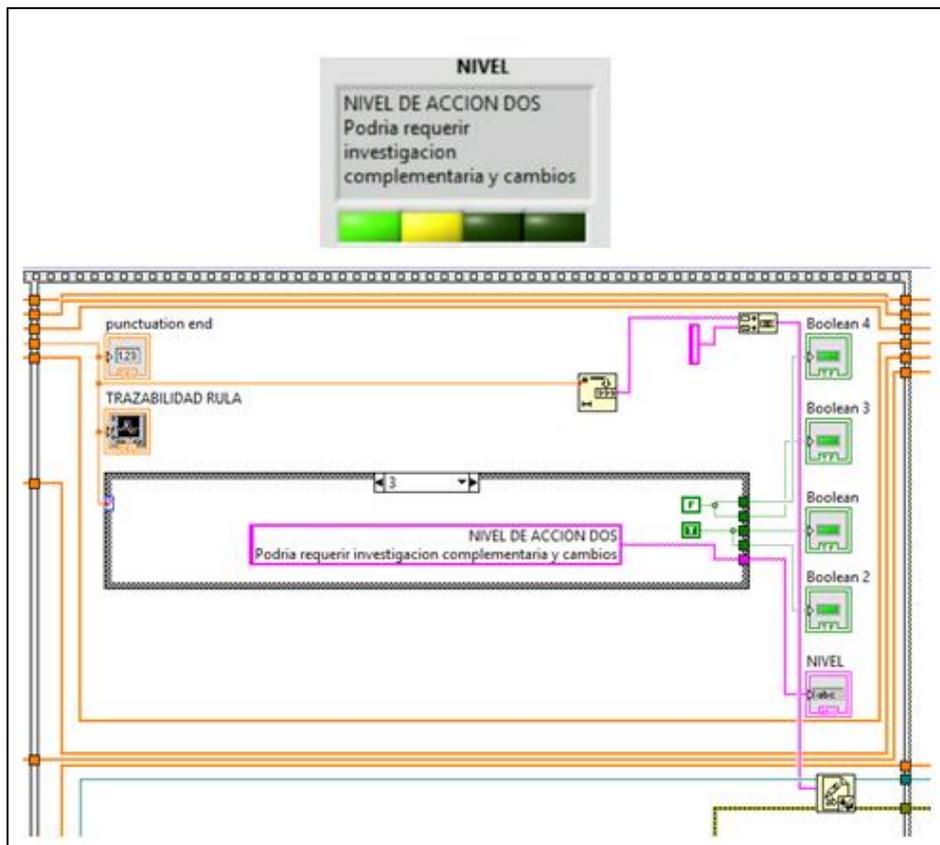


Figura 3-1647: Algoritmo nivel de actuación

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Algoritmo de paralización de programa

Finalmente se cierra la función del archivo, de manera independiente es decir si se produjo un error en una operación anterior; este asegura que los archivos se cierran correctamente. Todas las aplicaciones que contiene la librería de Haro 3D, dentro de la Kinect V2, serán suspendidas de forma sucesiva comenzando por la aplicación de KinectControl, usando el comando STOP, y a continuación cerrando las demás funciones. (Figura 3-17)

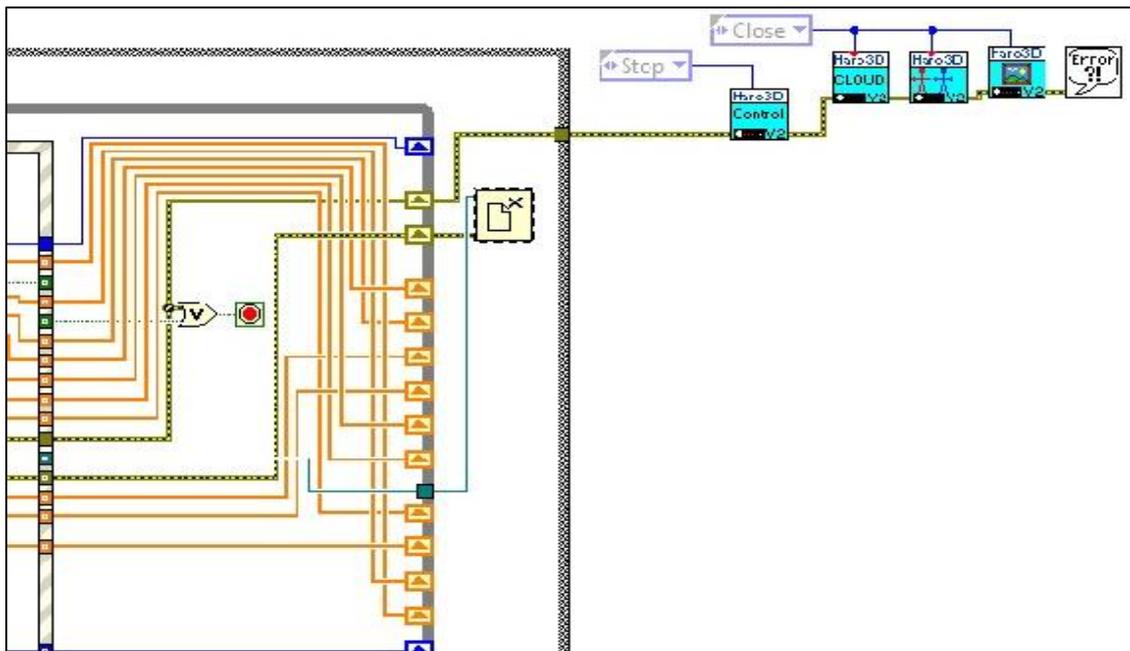


Figura 3-17: Algoritmo paralización de programa

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO IV

### 4. INTERFAZ DEL USUARIO

#### 4.1. VI portada de la APP

En la portada se encuentra dos botones principales el Stop el cual es un controlador booleano el cual nos permite que el programa se detenga y el booleano Next el cual nos permite continuar al apartado 4.2 para realizar la selección de parámetros básicos para empezar el análisis del método RULA.(Figura 4-1)

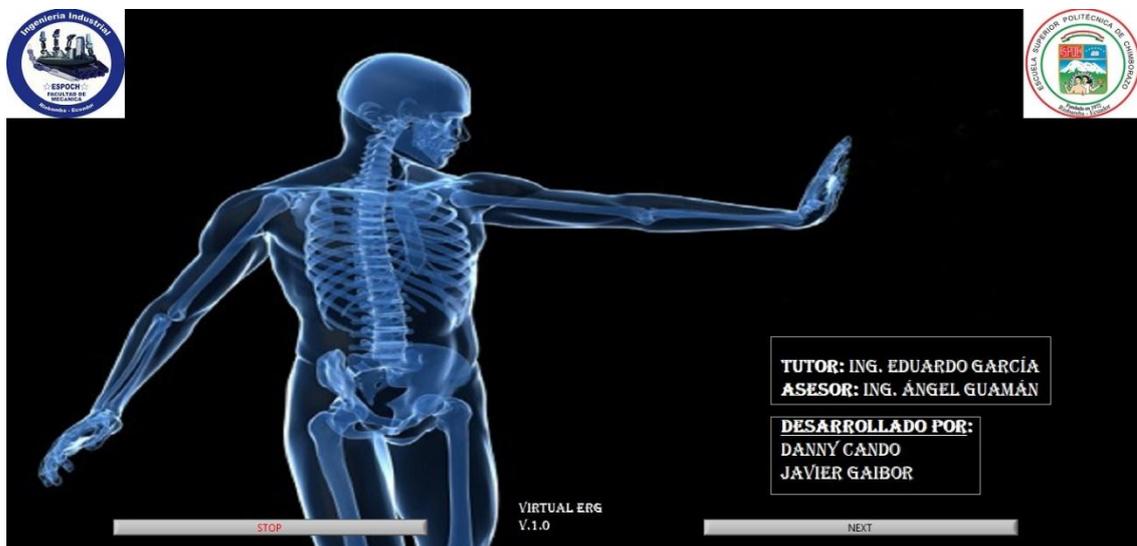


Figura 4-48: VI portada de la APP

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. VI selección de datos

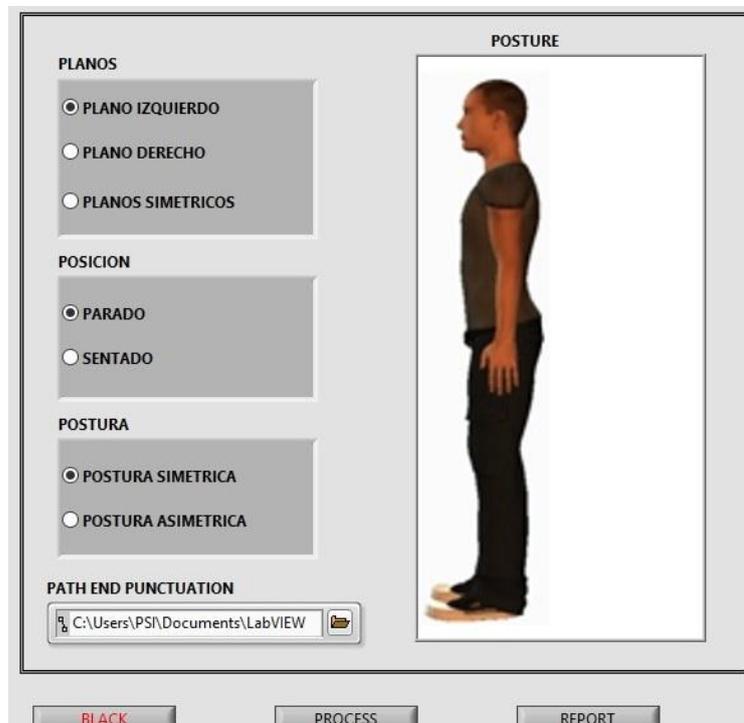
Esta ventana está conformada por 3 paneles de selección en lo referente a los planos que el operario desea analizar es decir tenemos el plano derecho, izquierdo y simétrico, al seleccionar el plano derecho el programa analizará los movimientos del grupo A y B pero solo del lado derecho dando así una puntuación rula de únicamente los movimientos realizados por este plano del cuerpo de igual manera al seleccionar el plano izquierdo. En lo correspondiente al plano simétrico el programa analizará tanto al lado derecho como izquierdo tomando como dato primordial al de puntuación más alta es decir el plano que tenga mayor exposición o riesgo.

El siguiente panel de selección determina si el individuo a realizar el estudio se encuentra parado o sentado con lo que al seleccionar cualquiera de las dos opciones el sistema agregara una calificación de +1 a cualquiera de las dos selecciones siendo estas sumadas automáticamente a la parte de la evaluación de la tabla B

El ultimo panel de selección respecto a la postura se habilitara siempre y cuando en la selección anterior el individuo se encuentre de pie, se determinará si su postura es simétrica es decir se encuentra bien parado o asimétrica si tiene un pie apoyado sobre algún objeto, agregando +1 punto automáticamente a la puntuación del grupo B siendo este el caso.

El botón PROCESS nos llevara a el panel de monitoreo y adquisición de imagen en tiempo real como se muestra y explica el apartado 4.3.

El PATH END PUNCTUATION es la dirección física de la carpeta a la cual se envían los reportes que genera la App, en esta dirección se selecciona según la fecha, hora y tipo de archivo teniendo como extensión PP a final siendo este elemento el monitoreo del ciclo en tiempo real, seleccionado el archivo se procede a seleccionar Report para proceder a el análisis y toma de decisiones respecto a la actividad analizada. (Figura 4-2)



**Figura 4-49: VI de selección de parámetros de datos**

Fuente: Elaboración propia

### **4.3. VI interfaz con el usuario en tiempo Real.**

En este apartado se describe cada uno de los elementos que forman parte de la interfaz de monitoreo de las actividades en tiempo real, donde se reflejan los resultados de los algoritmos planteados anteriormente. (Figura 4-3)

#### **1. Picture 3D:**

Es una representación del esqueleto de forma temporal adquirida por el sistema Kinect.

#### **2. Imagen en tiempo real:**

Es una representación temporal en 2D, la cual se desarrolla mientras se realiza la adquisición de datos, es decir la representación en video de las actividades que se están analizando.

#### **3. Monitoreo 3D**

Captura de la actividad en una imagen 3D, que nos va a permitir analizar posteriormente los ángulos de cada parte de la actividad que procedamos a guardar.

#### **4. Grafica (Tiempo vs puntuación RULA):**

Se trata de un XY graph, donde se va a representar en tiempo real la variación de puntuación del método Rula.

#### **5. Selección de tiempo de evaluación:**

Es la aplicación de un controlador numerito el cual utilizamos para determinar el tiempo de duración de la evaluación este tiempo se encuentra dado en segundos.

#### **6. Capture:**

En un button booleano el cual nos permitirá iniciar un nuevo ciclo cada vez que se realice un cambio de tiempo. Es decir este button nos va a permitir iniciar la cámara para proceder a la adquisición en las pantallas

#### **7. Guardar:**

Es un button booleano el cual nos permitirá realizar capturas en tiempo real para posteriormente poder visualizarlas en un reporte estas se reflejaran en 3D la captura de estas imágenes dependerán de la decisión del usuario.

#### **8. Stop:**

EL booleano Stop tienen como finalidad terminar el análisis general del método Rula es decir, da por finalizado el estudio con lo que presionado este botón se regresa al apartado 4.2 de selección el siguiente paso es realizar el respectivo análisis en el reporte.

## 9. Selección de parámetros de los grupos A y B y otros factores que alteran la calificación:

En este apartado según la actividad realizada por el operario el analista selecciona parámetros los cuales van a variar la calificación de cada grupo, cada una de estas adicióna valores de +1 a cada grupo sea este A o B, los cuales se agregan automáticamente en el análisis.

## 10. Calificación individual de los grupos A y B

En un indicador numérico se refleja en tiempo real la calificación individual de cada parte de los grupos A y B para poder realizar un análisis del grado al que se encuentran expuestas las partes del cuerpo que intervienen en el método RULA.

## 11. Valores de actuación RULA

Se encuentran representados por 4 indicadores booleanos los cuales de izquierda a derecha nos representan los niveles de actuación que se tienen en tiempo, cada nivel contienen un color siendo la representación la siguiente:

- Color verde: nivel de acción 1
- Color amarillo: nivel de acción 2
- Color anaranjado: nivel de acción 3
- Color rojo: nivel de acción 4

## 12. Indicador del nivel de actuación en tiempo real

Un indicador de tipo string nos ayuda a reflejar el nivel de acción en tiempo real este variará dependiendo de la actividad analizada.

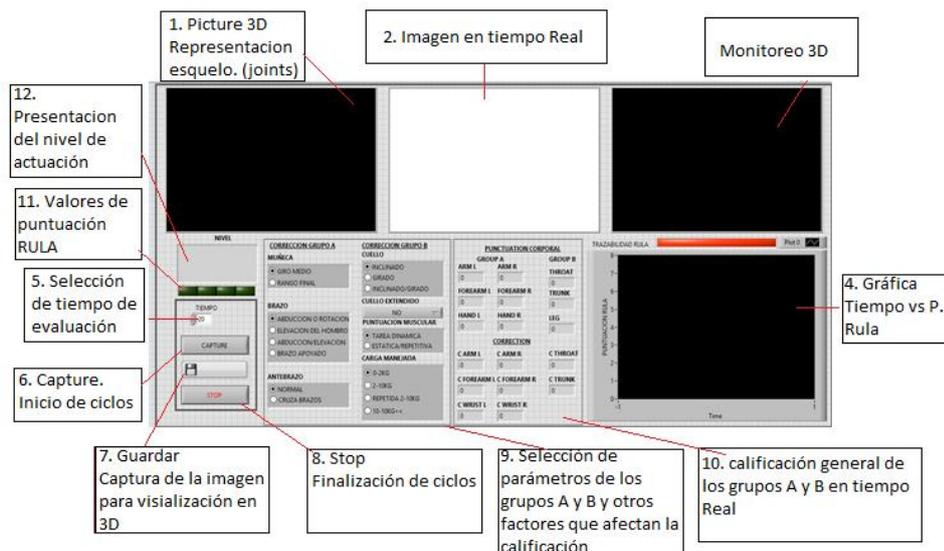


Figura 4-50: VI panel frontal de monitoreo

Fuente: Elaboración propia

#### **4.4. VI panel de reporte**

En el siguiente Sub Vi se presenta el reporte el cual consta de las siguientes partes para un mejor análisis: (Figura 4-4)

##### **1. Report:**

Este botón booleano nos permite inicializar la secuencia de la gráfica que se obtuvo en el apartado 4.3.

##### **2. Grafica tiempo vs puntuación RULA**

Un XY graph nos refleja la secuencia en obtenida en la actividad grabada anteriormente, esta nos grafica la puntuación RULA durante el tiempo que se realizó el estudio.

##### **3. Botón Stop**

Un button booleano nos permite detener el análisis del reporte, para proceder abrir un nuevo archivo y analizar nuevos resultados.

##### **4. Open picture 3D**

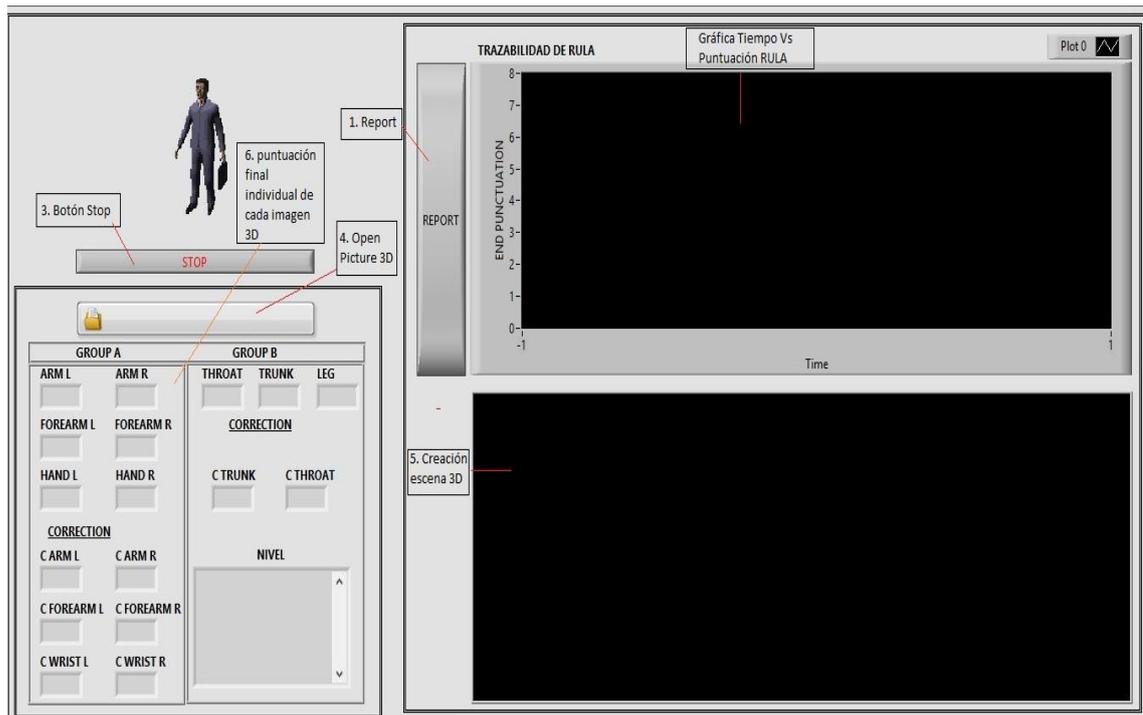
Un Read cloud booleano nos permite abrir una carpeta en la cual se encuentran las imágenes que en el apartado 4.3 fueron capturadas, estas imágenes tienen una extensión única es decir solo se visualizan las imágenes las cuales se seleccionan con parámetros de fecha y hora.

##### **5. Creación escena 3D**

Un 3D picture representa la imagen en 3D que se capturó, con la finalidad de poder verificar la calificación final con los ángulos que se tiene en la imagen 3D.

##### **6. Puntuación final**

Varios indicadores string reflejan la calificación final de cada grupo que conforman el método rula, estos controles reflejan la puntuación que se obtiene de cada imagen 3D.



**Figura 4-51: VI panel de reportes**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5. Análisis de resultados

Para la evaluación y validación de la App desarrollada se sometieron a varias pruebas de campo las cuales arrojaron resultados como: limitaciones de la cámara Kinect for Windows V2, distancia máxima de detección de la cámara, limitaciones de detección del operario al usar EPP, etc. (Figura 4-5)

##### 1ª Prueba 3/10/2017

En esta prueba se comprobó que no existía algún tipo de interferencia con el sistema de adquisición por lo tanto el sistema Kinect funcionaba correctamente, además que la prueba se la realizó sin tener aun definido una interfaz (HMI).

El desarrollo de los algoritmos se diseñó para poner el marcador delante del operario, ya que si al realizar la adquisición de los datos la cámara se la ubica a espaldas del operario la detección se hace de forma inversa por ende los ángulos calculados son errados.

También se comprobó la necesidad de implementar un algoritmo de restricción debido a que al momento de realizar la evaluación al no encontrarse el operario los ángulos variaban

constantemente por lo que al desarrollar el algoritmo los ángulos se calculan solo si el sistema de adquisición detecta la presencia del operario.

### **2ª Prueba 11/10/2017**

Ya con una primera versión de la interfaz (HMI), y los algoritmos de procesado de datos ya culminados se procedió a realizar una nueva prueba.

Al tener como limitante el algoritmo de detección de los joints de la Kinect, debido a que si existe presencia de algún elemento que impida visualizar el cuerpo, los algoritmos no envían cálculos exactos, por lo tanto se implementó realizar en cada uno de los SubVI cuadros de selección de actividades, los cuales nos envían la puntuación automática a la valoración RULA, sin necesidad de que la cámara tenga que detectar esa posición.

Además de la implementación de una gráfica Tiempo vs Puntuación RULA, para así poder realizar un monitoreo en tiempo real, mediante esta analizar muy detalladamente en qué momento se obtiene un alto nivel de exposición.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorio debido a que con los cuadros de selección implementados, se obtuvieron datos reales que al realizarlos anteriormente con el algoritmo de Kinect presentaban errores.

### **3ª Prueba 19/10/2017**

Al llevar las pruebas a campo la necesidad de implementar un mayor número de cámaras para la obtención de un mayor número de datos es necesario, ya que con una sola cámara según la disposición del operario hace difícil la obtención de datos, por otro lado la interfaz HMI ya se encontraba en una fase final de su implementación.

Los algoritmos de procesado de datos no presentaron ningún error, para el mejoramiento del resultado de método Rula la implementación de la gráfica Tiempo vs Puntuación rula en el reporte para así poder analizar de mejor manera los momentos en el cual la puntuación es mayor con lo que el operario se encuentra expuesto a un mayor riesgo. A parte de estas mejoras no se presentó ningún problema remarcable.

#### **4.6. Detalles de pruebas de un puesto de soldadura.**

Esta prueba consiste en analizar en tiempo real y generar un reporte de un operario de un puesto de soldadura como se puede visualizar en la (Figura 4-5), la posición de trabajo es la que se va analizar.



**Figura 4-52: Operario del puesto de soldadura**

Fuente: Elaboración propia

Las condiciones en las que se realiza esta actividad se detallan en la (Figura 4-6), estos parámetros generan adiciones directas a la puntuación final de cada grupo, según la observación del analista selecciona parámetros puntuales.



**Figura 4-53: Selección de parámetros puntuales de operario de soldadura**

Fuente: Elaboración propia

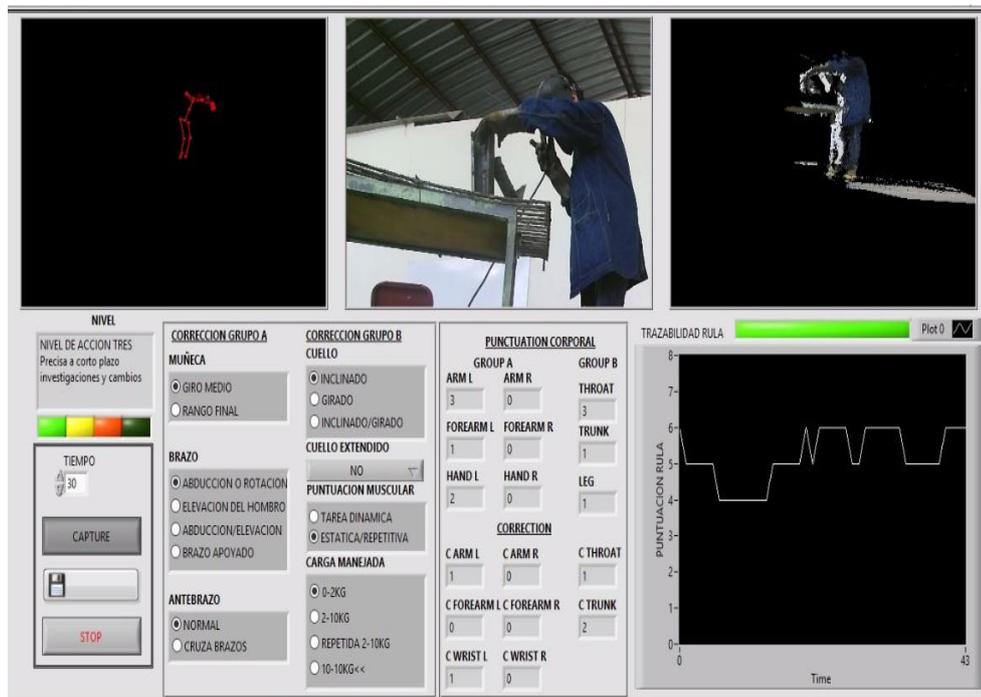
Seleccionados los parámetros básicos de la actividad, se accede al pantalla de monitoreo (Figura 4-7), donde se completa la información de la actividad analizar, para seleccionar los parámetros de estudio de cada parte el cuerpo se debe tener total conocimiento tarea que se va a llevar a cabo, con lo que permitirá obtener resultados reales.



**Figura 4-54: Pantalla de monitoreo**

Fuente: Elaboración propia

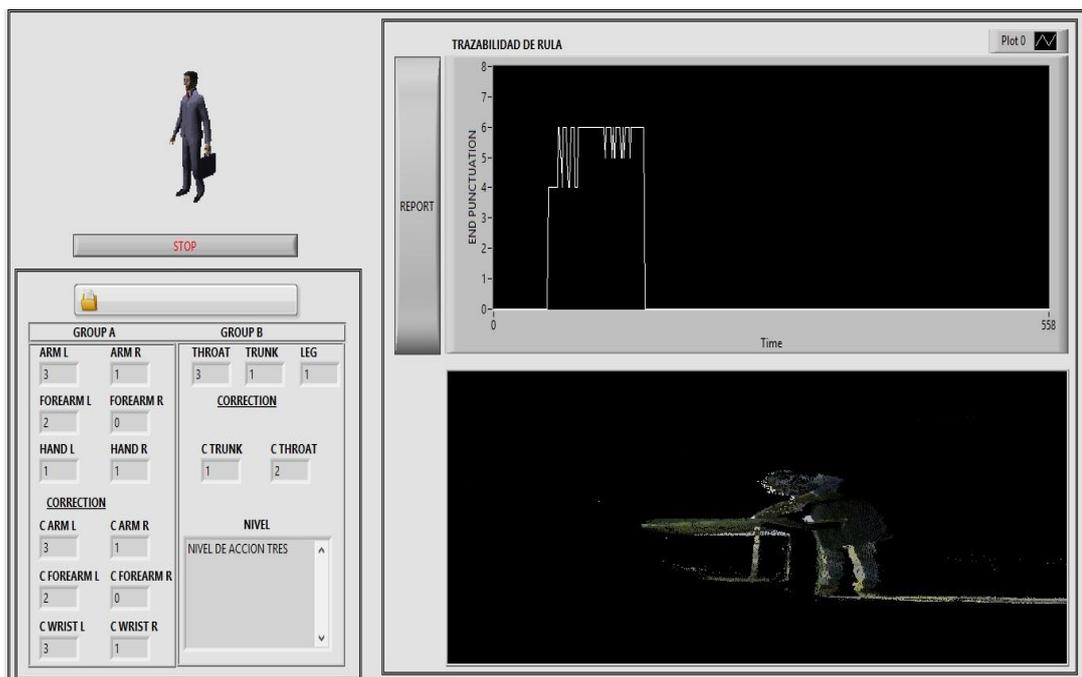
Una vez completados los datos de selección adicionales se procede a establecer un tiempo estimado el mismo que se encuentra en segundos, para esta prueba se estableció un tiempo de 30 segundos, al haber fijado bien la cámara la cual enfoque correctamente al operario, se inicia el monitoreo en tiempo real con un clic en capture, después cada vez que el analista vea la necesidad de obtener una imagen en 3D de un momento exacto se da clic en el logo de guardar la misma se guardará de forma automática y el monitoreo continuará. (Figura 4-8)



**Figura 4-55: Pantalla de monitoreo en tiempo real activa**

Fuente: Elaboración propia

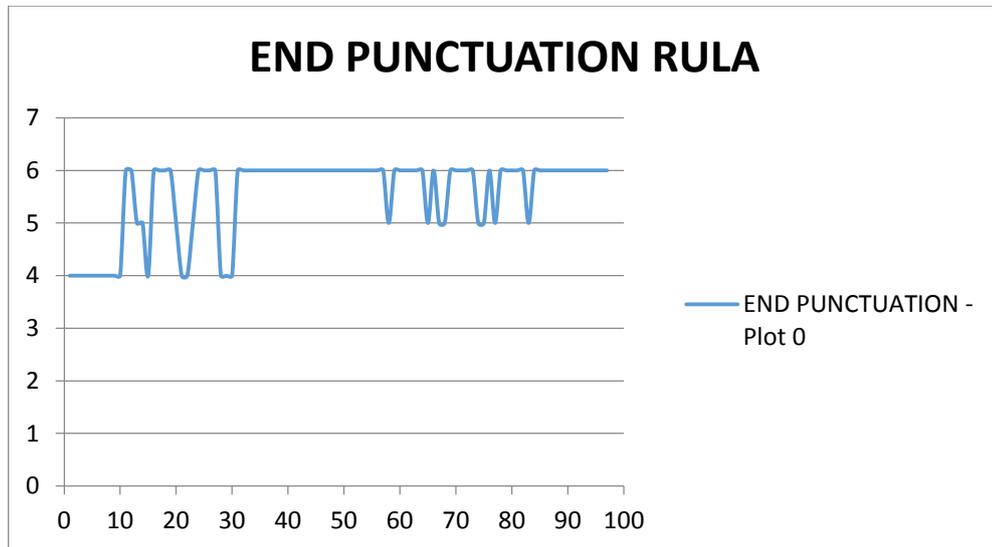
Dado por terminado el ciclo de análisis de esta actividad se procede a la venta de Report el mismo que nos mostrara la gráfica Tiempo vs Puntuación Rula, que se obtuvo en tiempo real de una manera estable para poder tomar decisiones acerca de los puntos más altos. Los datos de esta grafica a su vez se pueden exportar a un archivo de tipo .xls, para poder analizar de mejor manera los datos obtenido, la puntuación obtenida que se muestra en nuestro caso son datos calculados de la imagen 3D, y estos variaran de acuerdo al número de fotos que el analista pudo haber generado. Para este caso el nivel de acción en esta actividad es de 3 el cual nos determina que se precisan cambios o investigaciones a corto plazo. (Figura 4-9).



**Figura 4-56: Reporte generado en campo**

Fuente: Elaboración propia

Este reporte nos arroja en el archivo .xls, el mismo que establece una tabla Tiempo vs Puntuación Rula, como una forma de obtener el nivel de acción de todo el ciclo analizado se puede obtener un promedio para nuestro caso el valor que se obtiene 3,43 como podemos observar el valor reportado se encuentra dentro de los parámetros de la actividad monitoreada, teniendo como efectividad un 87,46 % en el cálculo de datos. (Gráfico 4-1)



**Gráfico 4-1: VI Reporte .xls generado en campo**

Fuente: Elaboración propia

## **CONCLUSIONES.**

Este trabajo se ha basado en el diseño y desarrollo de algoritmos para realizar la evaluación del método Rula de manera autónoma basada en visión artificial, dando así una optimización de tiempo en la investigación de factores de riesgos ergonómicos.

La investigación logro determinar los tipos de software que ofrece el mercado los cuales no se basan en el principio de visión artificial, por lo que la aplicación desarrollada permite al analista obtener resultados en tiempo real de la actividad que se esté analizando.

Se obtuvo un sistema que genera reportes en tiempo real mostrados en la trazabilidad, y estos resultados pueden ser analizados al mismo tiempo en un formato xls (Excel).

Se logró el diseño de una interfaz de monitoreo en tiempo real que interactúa con el usuario de forma simple y amigable.

Con el proyecto finalizado, las pruebas de campo arrojaron resultados óptimos debido a que en la obtención de datos de la aplicación existe poca variabilidad y corroborando la información obtenida por parte de los analistas, estadísticamente se comprobó que los resultados obtenidos son iguales.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda implementar un mayor número de cámaras para así poder obtener un mayor flujo de datos para el sistema debido a que en puestos de trabajo existen elementos que impiden poder detectar al cuerpo humano y así llevar a cabo la evaluación, ya que para que el algoritmo de la cámara Kinect necesita tener un enfoque total del cuerpo.

Para la ejecución de esta aplicación en otro ordenador se deberá configurar eh instalar principalmente los complementos de la Kinect For Windows que serán descargados de la página oficial de Windows.

La distancia para tener un enfoque óptimo del sistema es en un intervalo de 2 a 2,5 metros máximo, donde la cámara deberá enfocarse frente del operario para comenzar el análisis.

El usuario no deberá ubicar la cámara en ambientes abiertos donde la presencia de luz sea muy intensa, debido a que la captura por parte de la cámara presentará distorsiones y no se obtendrá una visualización del cuerpo del operario muy definida.

## BIBLIOGRAFÍA

**AVARIA AVARIA, Vicent .** Diseño y desarrollo de algoritmos de procesamiento para una estación ergonómica en una empresa del sector automovilístico[En línea](tesis).(Pre-grago) Universidad Politécnica de Valencia, Gandia, España.2016. pp 19. [Consulta:2017-10-14]. Disponible en: [http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/title/dise%C3%B1o-desarrollo-algoritmos-procesado-estacion-ergonomica-empresa-sector-automovilistico/id/67216056.html#](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/title/dise%C3%B1o-desarrollo-algoritmos-procesado-estacion-ergonomica-empresa-sector-automovilistico/id/67216056.html#)

**BONAL María; et al. LÓPEZ Ana:** Notas de visión y apuntes sobre ingeniería de software. España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 1995, pp. 68

**CIP ETI:** Visión Artificial [en línea].España 2017. [Consulta: 10 de octubre 2017]. Disponible en: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>

**ERGONAUTAS:** Método RULA [en línea].España 2017. [Consulta: 10 de octubre 2017]. Disponible en: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php>

**FU K; et al. LEE:** Robótica Control detección, visión e inteligencia. México: McGraw-Hill, 1989, pp. 306

**LAJARA VIZCAÏNO, José & PELEGRI SEBASTIA, José.** LabVIEW Entorno gráfico de programación.México: Marcombo, 2007, pp.4

**LÁZARO, Antonio Manuel.** LabVIEW Programación básica para el control de instrumentación. Madrid-España: Paraninfo, 2001, pp.56

**LAJARA VIZCAÏNO, José & PELEGRI SEBASTIA, José.** LabVIEW Entorno gráfico de programación.2ª ed. Barcelona-España: Marcombo, 2011, pp.94

**LÁRSEN, Ronal W.** LabVIEW for Enginners. New Jersey- Estados Unidos: Pearson, 2011, pp.1)

**LÁZARO, Antonio Manuel.** LabVIEW Programación básica para el control de instrumentación. Madrid-España: Paraninfo, 2001, pp.56

**LOPEZ DE LA FUENTE, Eusebio & TRESPADERNE, Felix.** Procesamiento de imágenes para Inspeccion automatica y robotica . Valladolid-España: Secretariado de publicaciones e Intercambio, 2012, pp.8

**LOZANO MANTILLA, German.** Diseño de un sistema de visión artificial para la revisión del nivel de llenado de bebidas embotelladas. [En línea](tesis).(Pre-grago)Universidad Autónoma del Caribe , Barranquilla., Colombia. 2015. pp. 18. [Consulta:2017-10-14]. Disponible en: <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/1371/TMCT%200013C.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**MCATAMNEY, Lynn & CORLETT, E.** A survey method for the investigation of work – related upper limb disorders applied Ergonomics. Science Direct, vol. 24, N° 2 1993, United State of America, pp. 91-99

**MEJÍA Ramon, José,** Procesamiento digital de imágenes . San Luis Potosí-Mexico: Universidad Autonoma de San Luis Potosí, 2004, pp.22

**MONDELO, Pedro; et al. Barrau:** Ergonomía 1 fundamentos.3ªed. Barcelona-España: UPC, 1884, pp.6

**NATIONAL INSTRUMENTS.** HARO 3D, Texas-Estados Unidos 2014, pp.9

**NATIONAL INSTRUMENTS:** Data Types and Structures [en línea].Texas:2011. [Consulta: 18 de octubre 2017]. Disponible en: <http://www.ni.com/tutorial/4478/es/>

**NATIONAL INSTRUMENTS:** Data Types and Structures [en línea].Texas:2011. [Consulta: 18 de octubre 2017]. Disponible en: **National Instruments:** Data Types and Structures [en línea]. Texas:2011. [Consulta: 18 de octubre 2017]. Disponible en: <http://www.ni.com/tutorial/4478/es/>

**NATIONAL INSTRUMENTS:** Data Types and Structures [en línea].Texas:2011. [Consulta: 18 de octubre 2017]. Disponible en: <http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/datatypes.htm#string>

**ORTEGA Pedro, et al.** “SISTEMA DE INSPECCION BASADO EN VISION ARTIFICIAL APLICADO A UN PROCESO INDUSTRIAL [En línea](tesis).(Pre-grago) Universidad Don Bosco, Soyapango, San Salvador. 2004. pp. 26. [Consulta:2017-10-14]. Disponible en: [http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11715/283/1/034512\\_tesis.pdf](http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/11715/283/1/034512_tesis.pdf)

**TELLO, Denisse & SALCÁN, Miguel,** Aplicación de vision con labview para la deteccion de frascos de distinto color. [En línea](tesis).(Pre-grago)Escuela Superior Politecnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2009. pp.35. [Consulta:2017-10-14]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10183/1/D-42136.pdf>

**VARGAS BAEZA, Victor.** Sitema de Vision Artificial para el control de Calidad en piezas cromadas. [En línea](tesis).(Pre-grago) Instituto Politecnico Nacional, Mexico D.F., Mexico.2010. pp. 9. [Consulta:2017-10-14]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/7250/68.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**VALDIVIA ARIAS ,César.** Diseño de un Sistema de Visión Artificial para la clasificación de Chorimoyas basado en medidas. [En línea](tesis).(post-grado) Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima., Perú. 2016. pp. 14. [Consulta:2017-10-14]. Disponible en: <http://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/CONCYTEC/573/1/Tesis%20Valdivia%20Arias%2C%20C%20C3%A9sar%20Javier.pdf>

**VISIÓN ARTIFICIAL:** Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. [En línea].La Garrocha: 2011. [Consulta: 18 de octubre 2017]. Disponible en: [http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD\\_1\\_didac\\_Conceptos\\_previos.pdf](http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf)