

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**Proyecto Fin de Grado**

**CONTROL DE CALIDAD DEL ACABADO  
SUPERFICIAL DE BOBINAS DE ALAMBRO  
MEDIANTE INSPECCION ROBOTIZADA  
ASISTIDA POR VISION ARTIFICIAL**

**(Quality control of the surface finish of wire rod spools  
through automated inspection assisted by computer vision)**

**Para acceder al título de:**

**GRADO EN INGENIERIA ELECTRÓNICA  
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

**Autor: JAVIER SANCHEZ DIEZ  
Director: CARLOS TORRE FERRERO**

**(Enero – 2016)**

TÍTULO	<b>Control de calidad del acabado superficial de bobinas de alambón mediante inspección robotizada asistida por visión artificial</b>		
AUTOR	<b>Javier Sánchez Diez</b>		
DIRECTOR / PONENTE	<b>Carlos Torre Ferrero</b>		
GRADO EN INGENIERÍA	<i>Electrónica Industrial y Automática</i>	FECHA	13 - 01 - 2016

## PALABRAS CLAVE

Defecto/s; Visión artificial; Sistema inspección; Manipulador robótico; RobotExpert; Labview; Vision Assistant; Iluminación

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se tiene un puesto de control de calidad al final del proceso de un tren de laminación, en el cuál se realiza la inspección superficial de bobinas de alambón en busca de posibles defectos, visualmente por un operario, en un tiempo máximo de 75 segundos, en condiciones de escasa iluminación y ayudándose únicamente de una linterna, además de realizar otros trabajos a su vez. Por ello, surge el problema de la omisión de defectos por falta de tiempo o cansancio, pues ha de inspeccionar correctamente todas las bobinas.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Se pretende sustituir la inspección visual que realiza el operario de forma manual, por una automatizada mediante un sistema de visión artificial programado con Labview, y un manipulador robótico para la inspección de las bobinas.

El proyecto de título no tiene como finalidad la implantación física del sistema de visión artificial propuesto, ya que no se trata de un proyecto asignado sino de uno tipo prototipo. Se ha desarrollado teóricamente utilizando las alternativas comerciales más actuales y económicas para probar su posible aplicación e instalación en el control de calidad superficial de bobinas de alambón.

Asimismo, la parte práctica desarrollada en el laboratorio, ha servido de prototipo para demostrar la manera de localizar y caracterizar los distintos defectos superficiales que pueden encontrarse en el alambón.

## CONCLUSIONES / PRESUPUESTO

A pesar de las limitaciones existentes para la elaboración del prototipo, se puede considerar que se han alcanzado los objetivos propuestos y han quedado bien descritos y demostrados mediante la elaboración de este proyecto.

De llevarse a cabo, su presupuesto tendría un coste estimado de 27.930,79 €. Sujeto a variaciones en función de los cambios o mejoras, que convenientemente podrían adoptarse.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Libros y trabajos académicos:**
  1. “*Visión por computador*”, Jose F. Vélez Serrano, Ana Belén Moreno Díaz, Angel Sánchez Calle, José L. Estéban Sánchez-Marín.
  2. “*Reconocimiento de formas y visión artificial*”, Darío Maravall Gómez-Allende.
  3. “*Computer Vision: A Modern Approach*”, Addison-Wesley, David A. Forsyth y Jean Ponce.
  4. “*Fundamentos de Robótica*”, A. Barrientos, L. F. Peñín, C. Balaguer, R. Aracil.
  5. “*Introduction to robotics, analysys, control and applications*”, Saeed B. Niku.
- **Documentación online:**
  1. Iluminación y sistemas de visión artificial, accesible en:  
[www.infaimon.com](http://www.infaimon.com)
  2. Cámaras para procesos industriales y accesorios, accesible en:  
[www.baslerweb.com](http://www.baslerweb.com)
  3. Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales, accesible en:  
[http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD\\_4\\_indus.pdf](http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_4_indus.pdf)
  4. Teoría de visión artificial, accesible en:  
<http://www.uco.es/users/ma1fegan/2011-2012/vision/Temas/Vision-artificial.pdf>  
<http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/tecnologias-de-vision-e-imagen/vision-artificial/iluminacion/laser-estructurado/3d-pro-laser/>



<http://www.measurecontrol.com/tecnologia-de-un-escaner-3d-con-vision-artificial/>

5. Teoría de manipuladores robóticos industriales, accesible en:  
<https://prezi.com/qflseodi4xl/robots-industriales/>  
[https://docs.google.com/presentation/d/1P6R5K6cDZle3VOMenSSnumCTU83mKHRYWA\\_oBFcaLE4/edit](https://docs.google.com/presentation/d/1P6R5K6cDZle3VOMenSSnumCTU83mKHRYWA_oBFcaLE4/edit)
6. Guía técnica de seguridad en robótica, accesible en:  
<http://www.conectapyme.com/documentacion/2006robotica.pdf>
7. Proceso siderúrgico tren de laminación alambrón, accesible en:  
[http://www.siderurgicasevillana.com/es/gestion\\_de\\_la\\_calidad](http://www.siderurgicasevillana.com/es/gestion_de_la_calidad)  
[http://www.ternium.com/files/BR\\_Tx\\_2012-sp.pdf](http://www.ternium.com/files/BR_Tx_2012-sp.pdf)  
[http://www.infoacero.cl/catalogo/csh100\\_108.htm](http://www.infoacero.cl/catalogo/csh100_108.htm)
8. Estudio de los defectos en el alambrón, accesible en:  
<http://www.gef.es/Congresos/20/pdf/GEF064.pdf>
9. Defectos de calidad en el alambrón, accesible en:  
<http://www.antaac.org.mx/assets/2.-defectos-en-alambron.pdf>

## INDICE GENERAL DEL PROYECTO:

---

<b>DOCUMENTO I: MEMORIA</b> .....	8
CAPÍTULO 1: OBJETO.....	9
CAPÍTULO 2: ALCANCE DEL PROYECTO.....	10
CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES.....	12
CAPÍTULO 4: NORMAS Y REFERENCIAS.....	13
4.1 NORMATIVA CONSULTADA Y APLICADA.....	13
4.2 REFERENCIAS.....	13
CAPÍTULO 5: REQUISITOS DE DISEÑO.....	19
5.1 REQUISITOS Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VISION ARTIFICIAL.....	19
5.2 REQUISITOS Y FUNCIONAMIENTO DEL MANIPULADOR ROBOTICO.....	19
5.3 FUNCIONAMIENTO: SALIDA DEL SISTEMA.....	20
CAPÍTULO 6: CONOCIMIENTOS PREVIOS.....	22
6.1 SIDERURGIA DEL ACERO.....	22
6.1.1 Introducción.....	22
6.1.2 Aplicaciones en función de las calidades del acero.....	22
6.2 FABRICACION DEL ALAMBRON.....	22
6.2.1 Acería.....	23
6.2.2 Tren de laminación.....	23
6.2.3 Diagrama de flujo del proceso completo.....	24
6.2.4 Controles de calidad final.....	24
6.2.5 Origen de los defectos de calidad.....	25
6.2.6 Tipos de defectos superficiales y caracterización.....	25
6.2.6.1 ESCAMAS.....	25
6.2.6.2 RAYADO.....	26

---

6.2.6.3	INCRUSTACIÓN.....	27
6.2.6.4	MARCAS / SURCOS.....	27
6.2.6.5	CORDON / BIGOTE.....	28
6.3	VISION ARTIFICIAL.....	28
6.3.1	Funcionamiento de un sistema de visión artificial.....	29
6.3.2	Objetivos de la visión artificial.....	29
6.3.3	Procesamiento digital de las imágenes y etapas.....	29
6.4	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VISION ARTIFICIAL.....	31
6.4.1	Cámara: definición y características.....	31
6.4.2	Ópticas o lentes.....	31
6.4.3	Iluminación del sistema de visión artificial.....	32
6.4.4	Programación de un sistema de visión artificial.....	32
6.4.5	Hardware: Framegrabbers.....	33
6.4.6	Softwares empleados en la visión artificial.....	34
6.5	SISTEMA DE MANIPULACION ROBOTICO.....	35
6.5.1	Definición manipulador robótico.....	35
6.5.2	Morfología.....	35
6.5.3	Arquitectura del manipulador robótico.....	36
6.5.4	Espacio de trabajo.....	36
6.5.5	Programación del manipulador robótico.....	37
6.5.5.1	Cinemática de robots.....	37
CAPÍTULO 7: ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....		39
7.1	ELECCION DE LA CAMARA ADECUADA.....	39
7.2	SELECCIÓN DE LA OPTICA O LENTE.....	40
7.3	OPCIONES DE ILUMINACION PARA EL SISTEMA DE VISION.....	40
7.3.1	LED.....	41
7.3.2	Láser.....	41
7.3.3	Fibra óptica.....	41
7.4	ALTERNATIVAS DE SOFTWARE DE VISION ARTIFICIAL.....	41
7.4.1	LABVIEW.....	42
7.4.2	MATLAB.....	42

---

7.4.3	SAL3D.....	42
7.4.4	HALCON12.....	43
7.5	OPCIONES DE MANIPULADORES ROBÓTICOS.....	43
CAPÍTULO 8: DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ESCOGIDA.....		44
8.1	EQUIPOS PRINCIPALES DE LA INSTALACIÓN.....	44
8.1.1	Material a examinar.....	44
8.1.2	Cámara industrial.....	44
8.1.3	Óptica o lente.....	45
8.1.4	Sistema de iluminación.....	46
8.1.5	Manipulador robótico.....	47
8.2	OTROS ELEMENTOS DEL SISTEMA.....	48
8.2.1	Alarma audiovisual.....	48
8.2.2	Ordenador CPU.....	49
8.2.3	Monitor táctil.....	50
8.2.4	Hardware Cameralink.....	50
8.2.5	Sensor ultrasónico de presencia.....	52
8.2.6	MAX232 board.....	53
8.2.7	Celda robótica de seguridad.....	53
8.2.8	Fuentes de alimentación.....	54
8.2.8.1	Power supply mod PSS – 61006 12V.....	54
8.2.8.2	Power supply mod PD2-1024.....	55
8.2.8.3	Fuente alimentación manipulador robótico.....	56
8.2.9	Buses, cableado y protocolos.....	56
8.2.9.1	Cámara.....	56
8.2.9.2	Iluminación.....	57
8.2.9.3	Manipulador robótico.....	57
8.2.9.4	Alarma audiovisual.....	57
CAPÍTULO 9: PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA.....		58
9.1	CARACTERÍSTICAS DE LA PROGRAMACIÓN.....	58
9.1.1	Protocolo de comunicaciones.....	58
9.1.2	NI-IMAQ Driver Software.....	58
9.1.3	Triggering.....	59

---

9.2 PROGRAMACION MANIPULADOR ROBOTICO.....	59
9.2.1 Software del Sistema KUKA.....	59
9.2.2 Simulación RobotExpert de Siemens.....	60
9.3 BLOQUES Y FUNCIONES DEL PROGRAMA DE VISION ARTIFICIAL.....	64
9.3.1 Inicio del sistema de inspección y captura de imágenes.....	64
9.3.2 Análisis y caracterización de los defectos.....	67
9.3.2.1 Análisis 1: inspección de surcos o marcas, y escamas.....	68
9.3.2.2 Análisis 2: inspección de defectos de rayado.....	70
9.3.2.3 Análisis 3: inspección de defectos de cordón o bigote.....	73
9.3.2.4 Análisis 4: inspección de defectos de incrustación.....	75
9.3.3 Exportación Excel informe con datos.....	75
9.3.4 Activación alarma audiovisual.....	78
9.3.5 Parada y reanudación del sistema.....	79
CAPÍTULO 10: PLANIFICACION.....	80
10.1 DIAGRAMA DE PERT.....	80
CAPÍTULO 11: VALORACIÓN FINAL.....	83
-----	
<b>DOCUMENTO II: ANEXOS.....</b>	<b>84</b>
ÍNDICE DE ANEXOS.....	85
ANEXO 1: CONOCIMIENTOS PREVIOS ADICCIONALES.....	86
A.1.1 METODOS DE CAPTACION DE LAS IMAGENES.....	86
A.1.1.1 Diagrama de bloques del proceso.....	86
A.1.2 CAMARAS LINEALES.....	87
A.1.2.1 Propiedades cámaras lineales.....	87
A.1.3 ELEMENTOS DE LAS OPTICAS.....	88
A.1.4 SENSORES DE IMAGEN.....	88
A.1.4.1 Sensor CCD.....	89
A.1.4.2 Sensor CMOS.....	91
A.1.4.3 Sensores CCD vs CMOS.....	92

---

ANEXO 2: CALCULOS.....	94
A.2.1 POSICIONES DEL MANIPULADOR ROBOTICO.....	94
A.2.2 CALCULO DE LA DISTANCIA FOCAL.....	95
ANEXO 3: SOLUCION DE ILUMINACION ALTERNATIVA.....	97
ANEXO 4: MANUALES Y HOJAS DE CARACTERISTICAS.....	99
ANEXO 5: DOCUMENTACION GENERADA.....	100
A.5.1 CAPTURAS SELECCIONADAS PARA SU ANALISIS.....	100
A.5.2 SOFTWARE GENERADO.....	100
-----	
<b>DOCUMENTO III: PLANOS.....</b>	<b>101</b>
ÍNDICE DE PLANOS.....	102
PLANO 1: ALZADO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE INSPECCION Y LA CELDA ROBOTICA.....	103
PLANO 2: PLANTA DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE INSPECCION Y LA CELDA ROBOTICA.....	105
PLANO 3: ESQUEMA ELÉCTRICO, CONEXIONADO GENERAL DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA.....	107
-----	
<b>DOCUMENTO IV: PLIEGO DE CONDICIONES.....</b>	<b>109</b>
ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES.....	110
CAPÍTULO 1: CONDICIONES GENERALES.....	111
1.1 OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES.....	111
1.2 LEGISLACION DE APLICACIÓN A LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES.....	112
CAPÍTULO 2: CONDICIONES FACULTATIVAS.....	113
2.1 CONCEPTOS COMPRENDIDOS POR EL DIRECTOR DE MONTAJE.....	113

---

---

2.2	CONCEPTOS COMPRENDIDOS POR EL DIRECTOR DE PROGRAMACIÓN.....	114
2.3	MATERIALES COMPLEMENTARIOS COMPRENDIDOS.....	115
2.4	INTERPRETACION DEL PROYECTO.....	115
2.5	COORDINACION DEL PROYECTO.....	115
2.6	MODIFICACIONES AL PROYECTO.....	116
CAPÍTULO 3: CONDICIONES TECNICAS.....		118
3.1	REGLAMENTACION DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO.....	118
3.2	DOCUMENTACION GRAFICA.....	118
3.3	NORMAS DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE INSPECCION.....	119
3.4	CABLEADO.....	120
3.5	ALIMENTACION.....	120
3.6	GARANTIAS.....	121
CAPÍTULO 4: CONDICIONES ECONOMICAS.....		122
CAPÍTULO 5: NORMATIVA DE SEGURIDAD E HIGIENE.....		123
5.1	SEGURIDAD Y PREVENCIÓN.....	123
5.2	CANALIZACIONES PREFABRICADAS.....	123
5.3	EQUIPOS Y CONDUCTORES ELECTRICOS.....	123
-----		
<b>DOCUMENTO V: PRESUPUESTO.....</b>		<b>125</b>
ÍNDICE DE PRESUPUESTO.....		126
CAPÍTULO 1: PARTIDAS Y JUSTIFICACION DE PRECIOS.....		127
1.1	ADQUISICIÓN DE LOS EQUIPOS QUE FORMAN EL SISTEMA DE INSPECCIÓN ROBOTIZADO.....	127
1.2	INSTALACION Y PROGRAMACION DEL SISTEMA DE INSPECCIÓN ROBOTIZADO.....	128
CAPÍTULO 2: PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....		130
CAPÍTULO 3: PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....		131
CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO DE LA ADMINISTRACIÓN.....		132

# **DOCUMENTO I**

# **MEMORIA**

## **CAPÍTULO 1: OBJETO**

El objeto de este proyecto es automatizar un puesto de control de calidad en una industria siderúrgica. Se tratará de lograr una detección temprana de todos y cada uno de los posibles defectos en el acabado superficial de una bobina de alambtrn al final del proceso de un tren de laminaci3n de acero. Para ello se utilizaran t3cnicas de visi3n artificial y un manipulador rob3tico para la inspecci3n de las bobinas.

Se trata de un proyecto tipo prototipo que pretende demostrar la posible implantaci3n de un sistema robotizado de visi3n artificial para lograr la automatizaci3n y mejora de un control de calidad.

De llevarse a cabo y con su correcta instalaci3n, se podr3a conseguir ese objetivo, con el consiguiente ahorro econ3mico que supondr3a para la empresa al no tener que desechar toda una serie de bobinas defectuosas.

## **CAPÍTULO 2: ALCANCE DEL PROYECTO**

El proyecto de título no tiene como finalidad la implantación física del sistema de visión artificial propuesto, ya que no se trata de un proyecto asignado sino de uno tipo prototipo. Se desarrollará teóricamente utilizando las alternativas comerciales más actuales y económicas para probar su posible aplicación e instalación en el control de calidad superficial de bobinas de alambroń.

Se expondrá la modificación y sustitución de elementos del sistema rudimentario, lo que implicará reformas en el puesto de control de calidad. Los cambios más significativos serán la sustitución del operario encargado de realizar la inspección manualmente por un manipulador o brazo robótico y la creación de un sistema de visión artificial formado principalmente por una cámara industrial y un sistema de iluminación que irán unidos al extremo del robot.

Se llevará a cabo la programación del sistema robótico y de visión teniendo en cuenta las condiciones y necesidades del puesto de control. Se explicará con detalle las características de los sistemas seleccionados y de su correspondiente programación, con el fin de facilitar el trabajo al operario encargado del puesto.

La demostración práctica se limitará al material disponible del laboratorio. El prototipo elaborado funcionará de igual manera y con las mismas técnicas, pero con menos efectividad debido a las siguientes limitaciones:

- Ausencia de un sistema de iluminación anular profesional, necesario para garantizar el mínimo error a la hora de realizar la caracterización visual de los defectos.
- Carencia de un manipulador robótico industrial, imprescindible para el proceso de barrido.
- Imposibilidad de la adquisición de una bobina de alambroń completa, debido al elevado coste y el complejo transporte que esto supondría pues su peso es superior a una tonelada.

Para solventar todas estas limitaciones expuestas y conseguir formalizar la demostración práctica que cumpla los objetivos marcados del proyecto, se realizarán las siguientes acciones:

- El sistema de iluminación anular se confeccionará artesanalmente utilizando una tira de LEDs.

- El manipulador robótico se construirá virtualmente mediante el software "Robot Expert" proporcionado por Siemens. Además, se desarrollará a modo de simulación la programación de los movimientos de barrido que realizaría el manipulador real.
- El material a inspeccionar serán recortes de alambión de unos 30 cm de longitud, parte de ellos en buen estado y otros con defectos reales, unidos de tal forma que simulen una parte de la bobina.

En resumen, los aspectos más importantes de este proyecto serán:

- Análisis del proceso actual a partir de la documentación existente.
- Definición de las técnicas de visión artificial y elementos a utilizar en un sistema de inspección automatizado.
- Búsqueda y elección de alternativas tecnológicas.
- Definición del futuro sistema de inspección visual.
- Definición del material requerido para la instalación (cámara, iluminación, manipulador robótico, software, etc.).
- Programación de los sistemas.
- Generación de un informe detallado con los defectos encontrados.

## CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES

Los controles de calidad son estrictamente necesarios en todo el ámbito de la industria para lograr comercializar un buen producto que satisfaga las necesidades del cliente. Un producto que cumpla con todos los aspectos impuestos de ingeniería que lo refieren: diseño, propiedades físicas, propiedades mecánicas, acabado superficial, etc. De esta manera, cuando un producto se fabrica correctamente obteniendo la máxima calidad, es más fácil alcanzar el objetivo impuesto de competitividad, rentabilizar las inversiones, eliminar costos innecesarios y aumentar los beneficios.

Para lograr esa calidad, en las industrias existen distintos tipos de controles o inspecciones para verificar las características deseadas del producto. En el apartado del control de calidad del acabado superficial del producto es donde se incluye este proyecto.

Hasta no hace muchos años, la mayoría de este tipo de controles de calidad se realizaban manualmente (con diversas herramientas) o mediante inspección ocular por parte de los operarios. Pero la necesidad de obtener el mínimo error de defectos en la fabricación, ha abierto las puertas a nuevas tecnologías que garantizan este propósito. Un operario presenta un claro inconveniente para esta clase de testeos, ya que la capacidad humana para realizar procesos repetitivos se reduce increíblemente cuando además se requiere un gran nivel de precisión en la inspección. Sin embargo, un sistema de inspección automatizado como el propuesto, puede trabajar sin descanso todas las horas necesarias y mantener siempre el mismo margen muy reducido de error.

En el caso del puesto de control de calidad donde va actuar este proyecto, la inspección superficial del alambrión ya terminado se lleva a cabo visualmente por un operario cada vez que se completa una bobina de alambrión, tras salir de la bobinadora y circular por una cinta transportadora hasta su puesto. El operario realiza la inspección en un tiempo máximo de 75 segundos, en condiciones de escasa iluminación, y ayudándose únicamente de una linterna. Además realiza otros trabajos como cortar un trozo de alambrión de varias bobinas al principio, a mitad y al final de cada serie de 40 bobinas para mandar analizar sus características al laboratorio. Por tanto, es fácil que se le pasen defectos por falta de tiempo o cansancio, pues ha de inspeccionar correctamente cada bobina que mide entre 1,40m y 1,80m de altura, por 1,10m de diámetro.

Dicha inspección es clave en la detección de defectos de fabricación que pueden repetirse y afectar a toda una serie de bobinas, así como comprometer las propiedades mecánicas del alambrión.

## CAPÍTULO 4: NORMAS Y REFERENCIAS

### 4.1 NORMATIVA CONSULTADA Y APLICADA.

AENOR. 2014. UNE 157001: Criterios generales para la elaboración formal de proyectos.

AENOR. 1997. UNE 20460: Instalaciones eléctricas en edificios.

AENOR. 2000. UNE-EN ISO 5457: Documentación técnica de productos: formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.

AENOR. 2004. UNE-EN-ISO 7200: Documentación técnica de productos: Campos de datos en bloques de títulos y en cabeceras de documentos.

AENOR. 2000. UNE-EN ISO 9000: Sistemas de Gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario.

AENOR. 2000. UNE 1027 - Dibujos técnicos. Plegado de planos.

AENOR. 1996. UNE-EN 775: Robots manipuladores industriales. Seguridad.

AENOR. 1996. UNE EN 294: Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores.

AENOR. 1996. UNE EN 953: Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.

### 4.2 REFERENCIAS.

En este apartado se recogen todas las fuentes de información consultadas durante la elaboración de este documento. Asimismo se incluye un índice de las ilustraciones obtenidas de páginas web o publicaciones:

- **Bibliografía y trabajos académicos:**

1. “*Visión por computador*”, Jose F. Vélez Serrano, Ana Belén Moreno Díaz, Angel Sánchez Calle, José L. Estéban Sánchez-Marín.
2. “*Reconocimiento de formas y visión artificial*”, Darío Maravall Gómez-Allende.
3. “*Computer Vision: A Modern Approach*”, Addison-Wesley, David A. Forsyth y Jean Ponce.
4. “*Fundamentos de Robótica*”, A. Barrientos, L. F. Peñín, C. Balaguer, R. Aracil.
5. “*Introduction to robotics, analys, control and applications*”, Saeed B. Niku.

- **Documentación online:**

1. Iluminación y sistemas de visión artificial, accesible en:  
[www.infaimon.com](http://www.infaimon.com)
2. Cámaras para procesos industriales y accesorios, accesible en:  
[www.baslerweb.com](http://www.baslerweb.com)
3. Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales, accesible en:  
[http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD\\_4\\_indus.pdf](http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_4_indus.pdf)
4. Teoría de visión artificial, accesible en:  
<http://www.uco.es/users/ma1fegan/2011-2012/visión/Temas/Vision-artificial.pdf>  
<http://www.alava-ing.es/ingenieros/productos/tecnologias-de-vision-e-imagen/visión-artificial/iluminación/laser-estructurado/3d-pro-laser/>  
<http://www.measurecontrol.com/tecnologia-de-un-escaner-3d-con-visión-artificial/>
5. Teoría de manipuladores robóticos industriales, accesible en:  
<https://prezi.com/gfflseodi4xl/robots-industriales/>  
[https://docs.google.com/presentation/d/1P6R5K6cDZle3VOMenSSnumCTU83mKHRYWA\\_oBFcaLE4/edit](https://docs.google.com/presentation/d/1P6R5K6cDZle3VOMenSSnumCTU83mKHRYWA_oBFcaLE4/edit)
6. Guía técnica de seguridad en robótica, accesible en:  
<http://www.conectapyme.com/documentacion/2006robotica.pdf>
7. Proceso siderúrgico tren de laminación alambión, accesible en:  
[http://www.siderurgicasevillana.com/es/gestion\\_de\\_la\\_calidad](http://www.siderurgicasevillana.com/es/gestion_de_la_calidad)  
[http://www.ternium.com/files/BR\\_Tx\\_2012-sp.pdf](http://www.ternium.com/files/BR_Tx_2012-sp.pdf)  
[http://www.infoacero.cl/catalogo/csh100\\_108.htm](http://www.infoacero.cl/catalogo/csh100_108.htm)
8. Estudio de los defectos en el alambión, accesible en:  
<http://www.gef.es/Congresos/20/pdf/GEF064.pdf>
9. Defectos de calidad en el alambión, accesible en:  
<http://www.antaac.org.mx/assets/2.-defectos-en-alambion.pdf>

- **Manuales y características de equipos online:**

1. Manual frame grabber Cameralink de National Instruments, disponible en:  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/374001b.pdf>
2. Manuales del manipulador robótico KUKA KR 16-2 y de la unidad de control KRC-4, disponibles en:  
[http://www.kuka-robotics.com/res/sps/94de4d6a-e810-4505-9f90-b2d3865077b6\\_Spez\\_KR\\_C4\\_NA\\_en.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/94de4d6a-e810-4505-9f90-b2d3865077b6_Spez_KR_C4_NA_en.pdf)

- [http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4\\_PF0033\\_KR\\_6-2\\_KR\\_16-2\\_en.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4_PF0033_KR_6-2_KR_16-2_en.pdf)
3. Hoja características del sensor de distancias ultrasónico, disponible en:  
<http://www.mikroe.com/downloads/get/1277/es/>
  4. Manual de la cámara visión artificial Basler, disponible en:  
[http://www.baslerweb.com/linklist/3/9/3/1/6/DA00044803\\_A301f\\_Users\\_Manual.pdf](http://www.baslerweb.com/linklist/3/9/3/1/6/DA00044803_A301f_Users_Manual.pdf)
  5. Características del sistema de iluminación, disponibles en:  
<http://www.infaimon.com/es/ldr2-32>
  6. Características de las fuentes de alimentación de los equipos, disponibles en:  
[http://www.ccs-grp.com/s2\\_ps/src/pro\\_item/1/1/2/3/48/e.html#dl](http://www.ccs-grp.com/s2_ps/src/pro_item/1/1/2/3/48/e.html#dl)
  7. Características de la alarma audiovisual, disponibles en:  
<http://alarmasacusticas.com/Alarma-Audiovisual-110VCA-101dB-Mca-SOSLite-Mod-SOS1200S>
- **Ilustraciones numeradas por capítulos de la memoria y sus fuentes de obtención:**
    - 6.1 – “*Palanquilla de sección cuadrada a la salida de la artesa*”, de <Siderúrgica Sevillana>, accesible en:  
[http://www.siderurgicasevillana.com/items/20/foto/1/00\\_palanquillas.jpg](http://www.siderurgicasevillana.com/items/20/foto/1/00_palanquillas.jpg)
    - 6.2 – “*Alambón a la salida del formador de espiras*”, de <grupo CAP S.A.>, accesible en:  
[http://www.infoacero.cl/catalogo/images\\_csh/100\\_Instalaciones/108\\_Laminador\\_de\\_Barras/108\\_012.jpg](http://www.infoacero.cl/catalogo/images_csh/100_Instalaciones/108_Laminador_de_Barras/108_012.jpg)
    - 6.3 – “*Bobina de alambón aguardando su expedición al cliente*”, accesible en:  
[https://es.wiki2.org/wikipedia/commons/thumb/7/72/Rollo\\_de\\_alambre.JPG/im264-Rollo\\_de\\_alambre.JPG](https://es.wiki2.org/wikipedia/commons/thumb/7/72/Rollo_de_alambre.JPG/im264-Rollo_de_alambre.JPG)
    - 6.4 – “*Escamas en el alambón*”, de <grupo Ternium>, accesible en:  
<http://www.antaac.org.mx/assets/2.-defectos-en-alambron.pdf>
    - 6.5 – “*Rayados en el alambón*”, de <grupo Ternium>, accesible en:  
<http://www.antaac.org.mx/assets/2.-defectos-en-alambron.pdf>
    - 6.6 – “*Incrustación de material no deseado en el alambón*”, de <grupo Ternium>, accesible en:  
<http://www.antaac.org.mx/assets/2.-defectos-en-alambron.pdf>

- 6.7** – “*Marcas / golpes en el alambión*”, de <grupo Ternium>, accesible en:  
<http://www.antaac.org.mx/assets/2.-defectos-en-alambion.pdf>
- 6.8** – “*Cordón longitudinal en alambión*”, de <grupo Ternium>, accesible en:  
<http://www.antaac.org.mx/assets/2.-defectos-en-alambion.pdf>
- 6.9** – “*Equivalencia entre visión artificial y visión humana*”, accesible en:  
<http://www.display-central.com/wp-content/uploads/2013/Screen-Shot-07-at-AM.png>
- 6.10** – “*Diagrama de las etapas que integran el procesamiento digital de las imágenes*”, accesible en:  
[http://www.visiononline.es/assets/images/ACTUALIDAD/VisionArtificial\\_Espanya/scu\\_nciaprocsodvision.png](http://www.visiononline.es/assets/images/ACTUALIDAD/VisionArtificial_Espanya/scu_nciaprocsodvision.png)
- 6.11** – “*Imagen vista por una persona frente a una imagen digitalizada vista por un ordenador*”, accesible en:  
<http://www.uco.es/users/ma1fegan/2011-2012/vision/Temas/Vision-artificial.pdf>
- 6.12** – “*Ejemplo; importancia de la iluminación para resaltar defectos superficiales*”, accesible en:  
<http://blog.simbolocalidad.com/wp-content/uploads/sites/4/2009/11/esquema-inspeccion-superficies-vamad.jpg>
- 6.13** – “*Diagrama de bloques del proceso operativo del sistema*”, accesible en:  
<http://www.uco.es/users/ma1fegan/2011-2012/vision/Temas/Vision-artificial.pdf>
- 6.14** – “*Diagrama proceso de captura de las imágenes*”, accesible en:  
<http://www.uco.es/users/ma1fegan/2011-2012/vision/Temas/Vision-artificial.pdf>
- 6.15** – “*Equivalencia entre cuerpo humano y las partes de un manipulador robótico*”, accesible en:  
[http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_/ctrl\\_rob/robotica/sistema/images/morfol39.gif](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_/ctrl_rob/robotica/sistema/images/morfol39.gif)
- 6.16** – “*Arquitecturas de manipuladores robóticos con morfología serial*”, accesible en:  
<http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/Alexander/Docts%20Docencia/image004.gif>
- 6.17** – “*Espacio de trabajo generado según el tipo de manipulador robótico*”, accesible en:  
<http://blog-j.marcano.net.ve/robotwiki/images/9/Robot2.jpg/300px-Robot2.jpg>
- 6.18** – “*Diagrama cinemática directa e inversa*”, accesible en:  
“*Fundamentos de Robótica*”, A. Barrientos, L. F. Peñín, C. Balaguer, R. Aracil.

- 8.1** – “*Cámara visión Basler serie A200 mod 201b*”, de <Basler AG>, accesible en:  
[http://www.baslerweb.com/linklist/3/9/3/1/6/DA00044803\\_A301f\\_Users\\_Manual.pdf](http://www.baslerweb.com/linklist/3/9/3/1/6/DA00044803_A301f_Users_Manual.pdf)
- 8.2** – “*Óptica Cosmocar Pentax TV Lens 4.5mm F1.8*”, accesible en:  
<http://www.c-mountlens.com/lenses/c-mount-lens-brands-a-e/cosmocar/>
- 8.3** – “*Esquema situación y funcionamiento de iluminación anular LED*”, de <Infaimon>, accesible en:  
<http://www.infaimon.com/es/ldr2-32>
- 8.4** – “*Anillo LED Darkfield mod LDR2-208 SW2-LA*”, de <Infaimon>, accesible en:  
<http://www.infaimon.com/es/ldr2-32>
- 8.5** – “*Robot KUKA mod KR 16 L6-2*”, de <KUKA Robots Ibérica S.A.>, accesible en:  
[http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4\\_PF0033\\_KR\\_6-2\\_KR\\_16-2\\_en.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4_PF0033_KR_6-2_KR_16-2_en.pdf)
- 8.6** – “*Alarma audiovisual 110VCA 120dB mod AL1200S*”, de <grupo SOS Lite>, accesible en:  
<http://soslite.com.mx/alarma-audiovisual-marca-sos-lite-modelo-al1200s-110vcd-120db-90rpm>
- 8.7** – “*CPU DELL OPTIPLEX 755*”, de <Dell Spain S.A.>, accesible en:  
<http://refurbtek.com/store/image/cache/data/Dell/Desktop/745/1a-500x500.JPG>
- 8.8** – “*Monitor Dell Serie S 2240T de 21.5*”, de <Dell Spain S.A.>, accesible en:  
<https://shop.bechtle.es/medias/bRLu8uSkJv2I591aCBYV58-30.jpg>
- 8.9** – “*Tarjeta de adquisición de imágenes CameraLink PCIe-1433*”, de <National Instruments Spain>, accesible en:  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/374001b.pdf>
- 8.10** – “*Diagrama de bloques del funcionamiento de la tarjeta PCI e-1433*”, de <National Instruments Spain>, accesible en:  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/374001b.pdf>
- 8.11** – “*Placa MAX232*”, de <Mikroelektronika>, accesible en:  
<http://www.mikroe.com/add-on-boards/communication/max232/>
- 8.12** – “*Interruptor electromagnético de seguridad para celda robotizada*”, accesible en:  
<http://www.conectapyme.com/documentacion/2006robotica.pdf>
- 8.13** – “*Powersupplymod PSS-61006 12V*”, de <1stVision Inc.>, accesible en:

[http://www.ccs-grp.com/s2\\_ps/src/pro\\_item/1/1/2/3/48/e.html#dl](http://www.ccs-grp.com/s2_ps/src/pro_item/1/1/2/3/48/e.html#dl)

**8.14** – “Powersupplymod PD2-10 24V”, de <CCS Inc.>, accesible en:

[http://www.ccs-grp.com/s2\\_ps/src/pro\\_item/1/1/2/3/48/e.html#dl](http://www.ccs-grp.com/s2_ps/src/pro_item/1/1/2/3/48/e.html#dl)

**8.15** – “Unidad KR-C4”, de <KUKA Robots Ibérica S.A.>, accesible en:

[http://www.kuka-robotics.com/res/sps/94de4d6a-e810-4505-9f90-b2d3865077b6\\_Spez\\_KR\\_C4\\_NA\\_en.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/94de4d6a-e810-4505-9f90-b2d3865077b6_Spez_KR_C4_NA_en.pdf)

**8.16** – “Cable CameraLink 26 pines MDR-MDR”, de <1stVision Inc.>, accesible en:

<http://www.1stvision.com/cameras/accessories/CB-CL.jpg>

**8.17** – “Cable FCB 5m 24V”, de <CCS Inc.>, accesible en:

[http://www.ccs-grp.com/promotion/img/FCB/FCB-5\\_e\\_p.gif](http://www.ccs-grp.com/promotion/img/FCB/FCB-5_e_p.gif)

**8.18** – “Cable ethernet 5m CAT6”, accesible en:

<http://www.electrorincon.com/imagenes/Cable-Ethernet.jpg>

**8.19** – “Cable serial DB-9 rs-232 macho – hembra”, accesible en:

<https://qsmartbuy.com/eshop/images/04-632-06.jpg>

## **CAPÍTULO 5: REQUISITOS DE DISEÑO**

Los requisitos de diseño serán establecidos por el tipo de inspección a realizar, las condiciones ambientales, el espacio disponible para la instalación y el tiempo de actuación (acorde al de producción).

### **5.1 REQUISITOS Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE VISION ARTIFICIAL.**

El sistema de visión artificial constará de una cámara industrial, específica para este tipo de inspecciones de materiales defectuosos. Para ello contará con la ayuda de una iluminación especial compuesta por un anillo de leds, de manera que sea capaz de resaltar las partes defectuosas del alambión para que la cámara pueda diferenciarlos (surcos, hilos, grietas, rayados, etc).

La cámara se encargará de transmitir las imágenes obtenidas por medio de un bus de alta velocidad a un framegrabber (tarjeta de captura) instalado en un ordenador, dónde mediante técnicas de programación con el software apropiado, serán debidamente procesadas y posteriormente analizadas y caracterizadas en función de la observación o no de errores superficiales.

### **5.2 REQUISITOS Y FUNCIONAMIENTO DEL MANIPULADOR ROBÓTICO.**

El brazo robótico o manipulador será un elemento ya diseñado por la empresa KUKA-robotics, con su propio software, cableado y base de montaje. El modelo elegido cumple con las características necesarias para funcionar en este tipo de puesto, que son:

- Velocidad.
- Maniobrabilidad en espacio reducido.
- Bajo coste y mantenimiento.
- Fiabilidad.
- Conexión de alta velocidad.

La función del manipulador será proporcionar movimiento a la cámara y al anillo de leds que irán instalados en su extremo. Para ello, se instalará anclado al suelo mediante tirafondos, a una distancia de 110cm de la cinta que transporta las bobinas, conectado a la

fuelle de alimentación y a la unidad de control correspondiente. Se programará de forma que realice un barrido por una cara de la bobina, pues los posibles defectos se producirán de forma repetitiva cada X distancia, luego con analizar media bobina será más que suficiente. El movimiento que realizará será un movimiento lateral en zig-zag, y su sentido de desplazamiento será de izquierda a derecha empezando por la parte superior de la bobina y terminando por la inferior.

El extremo del manipulador robótico donde estará instalada la cámara deberá mantenerse durante todo el barrido a una distancia de 10 cm de la bobina. Mediante el software que incorpora de fábrica el brazo robótico se programará este tipo de movimiento para que se realice de forma suave y continuada, para garantizar el buen captado de imágenes por la cámara. Además deberá cumplimentarse en el tiempo máximo disponible que será el marcado por el ritmo de producción de una bobina (1 minuto y 10 segundos aproximadamente).

Asimismo, se procederá a la construcción de una celda robótica con sensor de cierre automático, para garantizar la seguridad de los operarios. Dentro de ella se instalarán todos los elementos del sistema debidamente ordenados.

### **5.3 FUNCIONAMIENTO: SALIDA DEL SISTEMA.**

Mientras no se detecte ninguna imperfección el programa seguirá corriendo y la cámara inspeccionando bobinas, pero si el programa manifiesta defectos se tendrá que activar a la salida una alarma audiovisual (foco rotativo y sirena acústica). Esto servirá para alertar al operario responsable del puesto, quién deberá acercarse a comprobar el grado de error superficial y verificar su inconveniencia.

Para facilitar el trabajo a este, se instalará un panel de control compuesto por una pantalla táctil conectada al sistema de inspección, en la cual aparecerá un informe detallado en formato Excell de las circunstancias del posible defecto. De esta manera, el trabajador rápidamente podrá situarse, buscar los defectos con su propia vista, verificar si se está repitiendo en otras bobinas y disponer si el grado es suficiente para ordenar la parada del tren de laminación hasta que se arregle la máquina o pieza que lo está produciendo.

Los datos que se mostrarán en la pantalla serán los siguientes:

- Foto de la zona de la bobina donde se está produciendo el defecto.
- Tabla con datos informativos: posible tipo de defecto, causa y solución.
- Accesibilidad a historial completo de defectos precedentes con sus correspondientes fechas de sucesión. Esto permitirá comparar defectos y

controlar la vida útil de los elementos, para así llevar a cabo mantenimientos de tipo preventivo.

Asimismo, la pantalla servirá de interfaz para:

- Realizar la pertinente programación del sistema de inspección visual.
- Dirigir la parada o puesta en funcionamiento de todo el sistema.
- Apagar la alarma audiovisual en caso de que se encuentre activada.

## **CAPÍTULO 6: CONOCIMIENTOS PREVIOS**

### **6.1 SIDERURGIA DEL ACERO.**

#### **6.1.1 Introducción:**

Un tren de laminación de alambre o tren de alambroń es una instalación de la industria siderúrgica que permite mediante un proceso de laminación en caliente, la obtención de acero en forma de barras de sección ovalada o cilíndrica, con espesores de entre 5 y 30 mm de diámetro, y que suelen ser enrolladas en forma de bobinas para su posterior almacenamiento y exportación.

#### **6.1.2 Aplicaciones en función de las calidades del acero:**

- *Aceros altos en carbono.* Este acero se usa para fabricar cables de alambre trenzado, alambre pretensado y postensado para la industria civil, muelles de colchón, etc.
- *Aceros para muelles.* Tanto para los muelles de suspensiones de los automóviles como para máquinas de precisión y mobiliario.
- *Aceros para estampado en frío.* Con este acero se fabrican tornillos, tuercas y en general piezas conformadas en frío para formar parte de los automóviles o máquinas industriales.
- *Aceros de fácil mecanización.* Estos aceros son utilizados para fabricar piezas de alta precisión, y están presentes en todos los objetos, desde un reloj a un avión.
- *Aceros bajos en carbono.* El alambroń de acero bajo en carbono es el más versátil de los productos, cuyas aplicaciones son muy variadas, puntas, clips, grapas, carritos de supermercados, etc.
- *Refuerzo de neumáticos.* Se trata del cordón de acero que llevan los neumáticos de automóviles, camiones, etc., utilizado para reforzarlos y aumentar su duración.

Para fabricar cualquiera de estos aceros, se requieren estrictos controles de calidad y la eliminación de cualquier defecto superficial.

### **6.2 FABRICACION DEL ALAMBROń:**

El proceso siderúrgico del alambre se puede dividir en dos etapas, que suceden en dos sectores distintos:

## 6.2.1 Acería.

Empieza el proceso con la transformación del producto recibido, chatarra previamente seleccionada, en una colada continua de acero fundido, mediante su calentamiento en hornos. Seguido este paso se realizan diversas operaciones de análisis, afinación química y purificación. Posteriormente se dejar enfriar la colada en forma de palanquilla de sección cuadrada, que será el semiproducto que se someterá a las operaciones de forja y conformación siguientes.



(Ilustración 6.1 -Palanquilla de sección cuadrada a la salida de la artesa)

Después la palanquilla ha de sufrir una estricta inspección visual y de selección de calidad con el fin de evitar rechupes, grietas en su superficie, fisuras externas y otros defectos, que puedan afectar en el proceso de laminación.

## 6.2.2 Tren de Laminación.

En esta segunda etapa comienza el proceso de laminación. Para ello se calienta la palanquilla en un horno a 1100 °C, acto seguido, se pasa al tren de desbaste y tren intermedio dónde mediante diversas maquinas constituidas principalmente por rodillos y cilindros montados sobre rodamientos; cajas desbastadoras, caja preparadora, conformadoras, cajas acabadoras, conos de devanado, etc, la palanquilla se va estirando y conformando debido a fuerzas de aplastamiento en formato redondo-macizo, hasta llegar a la gama de espesor deseada.

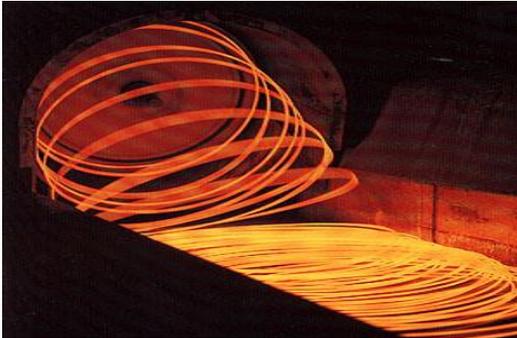
Es decir, la laminación consiste en hacer pasar la palanquilla entre dos rodillos o cilindros que giran a la misma velocidad y en sentido contrario, para reducir la sección transversal del producto de acero mediante la presión ejercida, dando lugar finalmente al alambón.

Después de este paso, se produce el primer control de calidad automatizado en caliente mediante tecnología láser.

Posteriormente, en condiciones especiales para garantizar la calidad mecánica del alambón, se produce su refrigeración y enfriamiento mediante agua y aire en forma de

espiras (una espira es cada vuelta o anillo de alambrión) dando lugar a los rollos o bobinas, los cuales habrán de pasar otros dos controles de calidad.

Finalmente, si el alambrión ha superado todos los controles, las bobinas pasan a ser almacenadas para su posterior venta y expedición hacia el cliente.

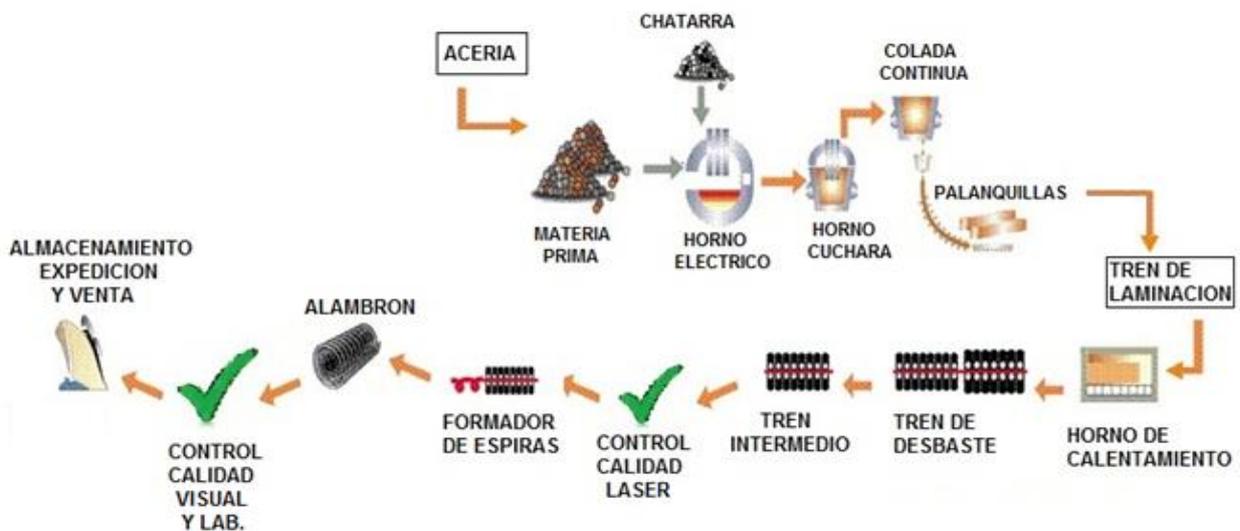


(Ilustración 6.2 - Alambrión a la salida del formador de espiras)



(Ilustración 6.3 - Bobina de alambrión aguardando su expedición al cliente)

### 6.2.3 Diagrama de flujo del proceso completo:



### 6.2.4 Controles de calidad final:

Una vez finalizado el producto, antes de realizarse la expedición de las bobinas de alambrión hacia el cliente, se realizan dos controles que certifiquen la calidad final. El primero, es una inspección visual por parte de un operario que controla el acabado superficial, se produce a la salida del tren de laminación una vez que ya están formadas las bobinas y el acero se ha enfriado. Éste es el puesto donde va actuar el proyecto como ya se ha mencionado anteriormente.

El siguiente control, también imprescindible, se realiza en laboratorio. A partir de muestras o recortes de alambIÓN de distintas bobinas, se realizan pruebas físicas y químicas del acero donde se analizan entre otros factores su: densidad, corrugación, tensión, doblado, sanidad, etc.

Este tipo de control es muy preciso y fiable, pero lleva un periodo de tiempo de unos 30 minutos realizarlo; entre que se procede al corte del trozo de alambIÓN, se envía a laboratorio, se analiza y se elabora el informe. Tiempo en el que la producción de bobinas no cesa y en el que en caso de hallarse algún defecto superficial, obviado por el operario que trabaja en el puesto de control de calidad anterior, se estará repitiendo en toda la serie de bobinas hasta que no se ordene la parada para solucionarlo.

### **6.2.5 Origen de los defectos de calidad:**

Las máquinas que intervienen en el proceso de laminación son voluminosas y están constituidas por distintos componentes principalmente mecánicos, algunos de los cuales intervienen directamente en el desarrollo del alambIÓN mediante contacto directo. Si todas las máquinas y sus componentes funcionasen correctamente se garantizaría la calidad del alambIÓN, no obstante esto no sucede siempre así, principalmente debido a que todos los componentes presentan una vida útil y cuando se acerca su fin cabe la posibilidad de que aunque continúen funcionando, no lo hagan de la forma correcta.

Por este motivo, cuando un elemento en mal estado entra en contacto directo con el alambIÓN caliente, puede producir determinados defectos que se repetirán cada X cm de distancia.

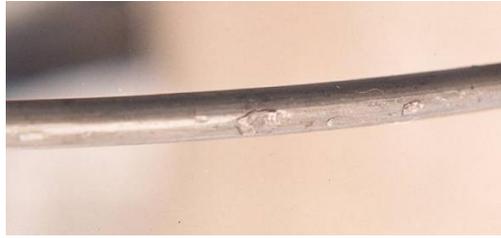
Como ejemplo; uno de los elementos principales de una máquina denominada caja acabadora situada a mitad del proceso de laminación son los cilindros de laminación, realizados por fundición especial en donde se tallan los canales de laminación, los cuáles dan forma mediante contacto directo al alambIÓN en su proceso de fabricación. Por tanto, si cualquiera de estos cilindros presentase un problema, se transmitiría al alambIÓN afectando en su calidad de acabado final.

### **6.2.6 Tipos de defectos superficiales y caracterización:**

Los diferentes tipos de defectos que pueden afectar al acabado superficial del alambIÓN, así como su posible causa de origen y su forma de detección son los siguientes:

#### **6.2.6.1 ESCAMAS:**

- *Definición*→ Defecto que se muestra en forma de grietas o escamas aisladas, de mayor o menor dimensión y que se observa sobre todo en secciones intermedias o diámetros gruesos del alambroń.



(Ilustración 6.4 – Escamas en el alambroń)

- *Causas posibles*→ Se puede producir en el tren de desbaste o en el tren intermedio debido a; exceso de óxido en la palanquilla, nivel alto de residuos en el acero o por inclusión de materiales no metálicos próximos a la superficie.
- *Detección*→ La forma de detectar este tipo de fallo es mediante inspección laser en caliente o por inspección visual a la salida del tren una vez formadas las bobinas. Se observan a simple vista como láminas adheridas a la superficie.
- *Solución*→ Revisar la calidad de las palanquillas y la limpieza de las distintas máquinas en contacto con el alambroń.

#### 6.2.6.2 RAYADO:

- *Definición*→ Se presenta como marcas continuas o discontinuas, lineales o no lineales, de diferentes aspectos y profundidad en forma de rayado, que se suceden y concentran en una misma zona del alambroń.



(Ilustración 6.5 – Rayados en el alambroń)

- *Causas posibles*→ Se puede producir en el formador de espiras y en las conformadoras, por una desalineación de los rodillos, por rozamiento del alambroń con sus guías o por el mal funcionamiento de algún cono de devanado.
- *Detección*→ Por inspección láser en caliente o inspección visual en frío.
- *Solución*→ Sustituir la pieza de la máquina dañada por otra.

### 6.2.6.3 INCRUSTACION:

· *Definición*→ Materiales de diferentes tipos y tamaños incrustados en la superficie del alambrión.

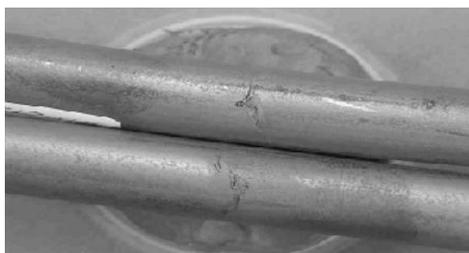


(Ilustración 6.6 – Incrustación de material no deseado)

- *Causas posibles*→ Es una avería relacionada con las guías del proceso, como puede ser un desajuste, rotura o algún trozo de chatarra pegada en la guía. Se puede producir en la etapa de preparación, en el tren de desbaste o en el tren intermedio.
- *Detección*→ Por inspección visual en frío y con láser en caliente. Asimismo se puede detectar recurriendo a pruebas más precisas utilizando técnicas especiales.
- *Solución*→ Revisar el estado y limpieza de las guías del tren de laminación.

### 6.2.6.4 MARCAS / SURCOS:

· *Definición*→ Marcas o surcos aislados, posiblemente longitudinales, de diferentes profundidades que reinciden a lo largo del alambrión.



(Ilustración 6.7 – Marcas/golpes en el alambrión)

- *Causas posibles*→ Problema en el proceso de estampación. Asimismo puede deberse al desgaste en las palas del formador de espiras.
- *Detección*→ La forma de detectarlo es por inspección láser en caliente o inspección visual en frío.
- *Solución*→ Verificar la estampadora en caliente y verificar las palas del formador de espiras.

### 6.2.6.5 CORDON / BIGOTE:

· *Definición*→ Cordón o tira longitudinal delgada a uno o ambos lados de la sección del alambrión, diametralmente opuestos.



(Ilustración 6.8 – Cordón longitudinal en alambrión)

- *Causas posibles*→ Se produce en la última pasada del laminado, en el tren de desbaste o en el tren intermedio, debido a un exceso de material, una temperatura de laminación inadecuada o una avería de alguna guía.
- *Detección*→ Por inspección láser en caliente o inspección visual en frío.
- *Solución*→ Verificar cuál de las causas posibles es la real y atajar el problema desde la raíz.

## 6.3 VISION ARTIFICIAL:

La visión artificial, también conocida como visión por computador (del inglés *computer vision*) o visión técnica, es un subcampo de la inteligencia artificial. El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen. En determinante, trata de simular el proceso del sentido de la visión de los seres vivos, según el cual un objeto es captado mediante los receptores de la retina y es transformado en impulsos nerviosos que son procesados por el cerebro.



(Ilustración 6.9 – Equivalencia entre visión artificial y visión humana)

### **6.3.1 Funcionamiento de un sistema de visión artificial:**

El funcionamiento principal de un sistema de visión artificial consiste en la captación de imágenes en línea mediante cámaras basadas en matrices de sensores sensibles a la luz (CCD o CMOS), el posterior tratamiento de las mismas mediante técnicas de análisis de imagen y la actuación sobre el proceso (control de producto) o sobre el producto (control de calidad).

Las principales ventajas que ofrece son la reproducción de los costes del control de calidad, el aumento de la producción, la reproducibilidad y el funcionamiento 24 horas al día sin “cansancio”.

Un sistema de estas características tiene en cuenta tres aspectos importantes:

- 1.- La visión es un proceso computacional.
- 2.- La descripción a obtener depende del observador.
- 3.- Reducción de información: es necesario eliminar la información que no sea útil.

### **6.3.2 Objetivos de la visión artificial:**

Los objetivos típicos de la visión artificial incluyen:

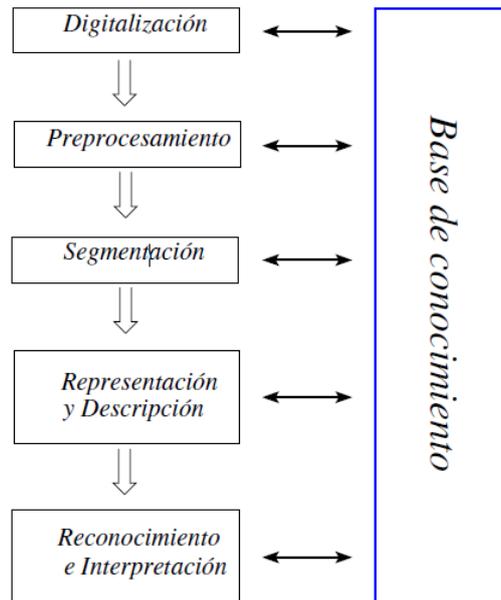
- La detección, segmentación, localización y reconocimiento de objetos en imágenes.
- La evaluación de los resultados.
- Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto.
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la misma.

Estos objetivos se consiguen por medio de reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesamiento de imágenes, teoría de grafos y otros campos.

### **6.3.3 Procesamiento digital de las imágenes y etapas que lo componen:**

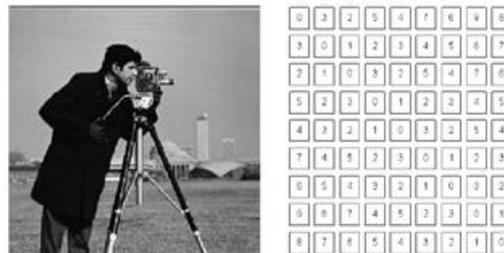
El procesamiento de digitalizar una imagen hace mención a la transformación de una imagen del mundo real a un formato digital inteligible por un ordenador y su posterior procesamiento por parte de este.

Las etapas que constituyen el procesamiento digital de cualquier imagen captada por el sistema de visión artificial son las mostradas en el siguiente diagrama:



(Ilustración 6.10 – Diagrama de las etapas que integran el procesamiento digital de las imágenes)

1. Digitalización → Es el primer paso en cualquier aplicación de procesamiento de imágenes. En esta etapa se produce la transformación de una imagen analógica a otra digital.



(Ilustración 6.11 – Imagen vista por una persona frente a una imagen digitalizada vista por un ordenador)

2. Preprocesamiento → Atenuación la degradación de la imagen para que las siguientes etapas tengan una probabilidad de éxito mayor.
3. Segmentación → Extracción de la información contenida en la imagen.
4. Representación y descripción → Parametrización de los objetos o partes generados por la segmentación mediante sistemas de coordenadas cartesianas, o polares.

5. Reconocimiento → Clasificación de los diferentes objetos de la imagen utilizando sus descriptores.
6. Interpretación → Su misión es darle un significado a los grupos de objetos reconocidos.

## **6.4 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VISION ARTIFICIAL.**

Los componentes que intervienen en un sistema de visión artificial y que afectan directamente a su correcto funcionamiento se muestran a continuación:

- El tipo de iluminación.
- La cámara, con su correspondiente lente u óptica y su sensor de captura de imagen (CMOS, CCD).
- El hardware apropiado: framegrabber o tarjeta de captura de imágenes de elevado ancho de banda.
- El software especializado encargado del procesamiento de la imagen, y compatible con el hardware.
- La sincronía con el proceso, para adquirir la imagen en el momento adecuado y para actuar posteriormente en el proceso mediante una salida.

### **6.4.1 Cámara: definición y características.**

Su función es capturar la escena proyectada en el sensor de imagen vía las ópticas, para poder transferirla al sistema electrónico.

Las cámaras utilizadas en visión artificial requieren de una serie de características que permitan el control del disparo de la cámara para capturar piezas que pasan por delante de ella en la posición requerida. Son más sofisticadas que las cámaras convencionales, ya que tienen que poder realizar un control completo de los tiempos y señales, de la velocidad de obturación, de la sensibilidad y de otros factores fundamentales a la hora de integrarlas en un sistema de visión artificial tanto en aplicaciones científicas como industriales.

### **6.4.2 Ópticas o lentes:**

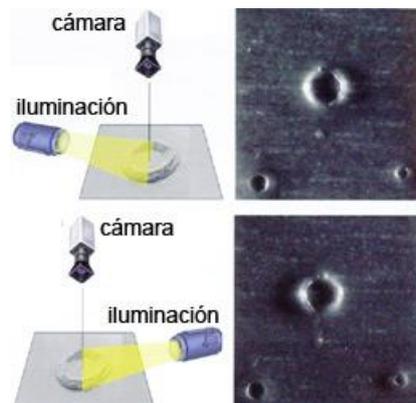
Las ópticas, también llamadas lentes u objetivos, se utilizan para transmitir la luz al sensor de la cámara de una forma controlada para poder obtener una imagen enfocada de uno o varios objetos.

### 6.4.3 Iluminación del sistema de visión artificial:

En las aplicaciones de visión artificial la importancia de la iluminación es en muchas ocasiones subestimada, dando únicamente importancia a otros elementos del sistema de visión, como puede ser la cámara, la óptica o el framegrabber.

Sin embargo, la iluminación se puede considerar la parte más crítica, debido a que las cámaras, por el momento, son mucho menos sensibles y versátiles que la visión humana y las condiciones de iluminación deben optimizarse al máximo para que una cámara pueda capturar una imagen que el ojo humano podría distinguir sin necesidad de una iluminación tan especializada.

Esto se hace mucho más evidente en sistemas de visión en los que el objeto a iluminar presenta formas complejas o superficies muy reflectantes, ya que las cámaras capturan la luz reflejada de los objetos. El propósito del sistema de iluminación utilizado es controlar la forma en que la cámara va a ver el objeto. La luz del sistema de visión artificial refleja de forma distinta si se ilumina una bola de acero, que si se ilumina una hoja de papel blanco y el sistema de iluminación por tanto debe ajustarse al objeto a iluminar.



(Ilustración 6.12 – Ejemplo; importancia de la iluminación para resaltar defectos superficiales)

Si se utiliza una iluminación adecuada, el sistema de visión resolverá la aplicación más fácilmente, mientras que si la misma aplicación recibe una iluminación incorrecta puede que sea imposible de resolver. Si para resolver una aplicación es necesario utilizar muchos filtros de software, significa que la iluminación que se está aplicando no es lo suficientemente correcta. Una iluminación adecuada permitirá emplear menos filtros en la imagen y por tanto aumentar la velocidad de proceso en esa aplicación.

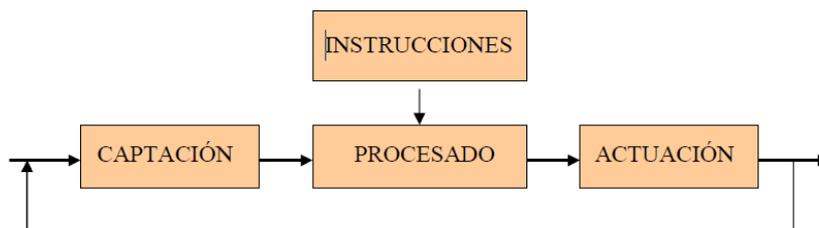
### 6.4.4 Programación de un sistema de visión artificial:

La programación de un sistema de visión artificial consiste en darle una sucesión de órdenes de trabajo o instrucciones que le permita llevar a cabo la secuencia de trabajo deseada. Para llevarla a cabo es necesaria una descripción detallada del proceso a controlar, una unidad de control tanto para la cámara como para el sistema de iluminación y su correspondiente software de programación.

La unidad de programación es por tanto una interfaz física entre el usuario y el sistema de visión, para transferencias de programas, supervisión y control del proceso. El lenguaje de programación es un conjunto de símbolos y textos inteligibles por la unidad de programación que le sirven al usuario para codificar sobre el sistema de inspección las leyes de control deseadas. Puede ser:

- Basado en texto: lista de instrucciones o texto estructurado.
- Gráfico: diagrama de escalera o diagrama de bloques funcionales.

La secuencia a seguir en el proceso operativo es:



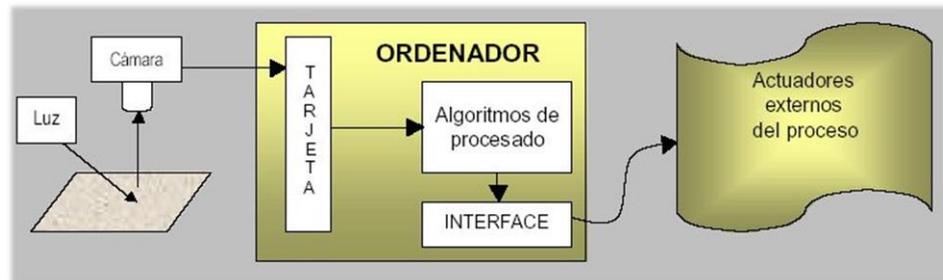
(Ilustración 6.13 – Diagrama de bloques del proceso operativo del sistema)

- **Captación:** Obtención de la imagen visual del objeto a inspeccionar.
- **Instrucciones:** Conjunto de operaciones a realizar para resolver el problema.
- **Procesado:** Tratamiento de la imagen mediante las instrucciones aplicadas.
- **Actuación:** Sobre el entorno (aparato, pieza, elemento) en función del resultado obtenido.

#### 6.4.5 Hardware: Framegrabbers.

En la actualidad, muchas de las cámaras utilizadas en los sistemas de visión artificial y análisis de imagen se conectan directamente al ordenador mediante diferentes puertos que ya hemos enumerado previamente: FireWire, USB, Gigabit Ethernet, etc. Sin embargo, algunas cámaras como las que poseen interfaces de conexión cameralink o coaxpress, aún requieren una conexión con el ordenador a través de una placa de captura o tarjeta de procesado de imágenes (IMAQ). Estas placas de captura se denominan framegrabbers o tarjetas de adquisición de imágenes.

Los framegrabbers cumplen con la función de captura en las aplicaciones de visión industrial y de análisis de imagen, en las que es necesario tomar las imágenes con la mejor calidad posible y enviarlas a la memoria del ordenador con el fin de procesarlas, analizarlas y visualizarlas.



(Ilustración 6.14 – Diagrama proceso de captura de las imágenes)

Las especificaciones y precios de las tarjetas o placas de captura de imagen varían enormemente y por tanto se deben tener en cuenta los requisitos técnicos de cada framegrabber para su elección.

#### 6.4.6 Softwares empleados en la visión artificial.

Las técnicas de proceso y análisis de imágenes, utilizadas en sistemas de visión artificial, son relativamente recientes. En el pasado más reciente no era posible hacer los procesos de los sistemas de visión artificial en tiempo real debido a que los ordenadores no eran lo suficientemente rápidos para realizar los cálculos con las imágenes. Con la llegada de nuevos tipos de buses, así como con la rápida evolución de los procesadores de los PC se ha conseguido visualizar las imágenes en tiempo real y realizar la mayoría de procesos en tiempos suficientemente cortos, como para que puedan resolver aplicaciones de visión artificial en entornos científicos e industriales con los resultados esperados en su justo tiempo.

La base del software de un sistema de visión artificial es la interpretación y análisis de los píxeles. El resultado final puede ser, desde la medida de una partícula, a la determinación o lectura de una serie de caracteres (OCR), pasando por cualquier otro proceso que podamos imaginar sobre las imágenes. Dependiendo de si la aplicación se realiza en entorno industrial o científico los pasos a seguir en un sistema de visión artificial serán algo distintos:

- **APLICACIONES INDUSTRIALES:**
  - Captura de la imagen.
  - Definición de la región de interés donde se realizarán las medidas.

- Inicialización de las tolerancias para determinar si la pieza es o no correcta.
- Ejecutar las medidas.
- Generar una salida apropiada.
- **APLICACIONES CIENTIFICAS:**
  - Captura de la imagen.
  - Realizar proceso de mejora.
  - Determinación de los elementos a medir.
  - Almacenar las medidas y realizar procesos gráficos o estadísticos.

## 6.5 SISTEMA DE MANIPULACION ROBOTICO.

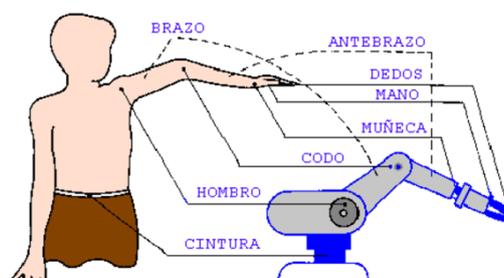
### 6.5.1 Definición manipulador robótico:

Un manipulador robótico o robot industrial, es un manipulador programable en tres o más ejes de manera que permita su control total automático y reprogramable. Es el resultado de la unión de una estructura mecánica articulada previamente estudiada y diseñada para ejecutar procesos industriales, y un sistema electrónico de control con un procesador integrado a modo de “cerebro”.

Esta disposición permite la programación y el control de los movimientos, así como la memorización de diversas secuencias de trabajo, dotando al manipulador de una gran flexibilidad y posibilidad de adaptación a diversos tipos de trabajos o tareas.

### 6.5.2 Morfología:

En la mayoría del ámbito de la industria se usan los robots clásicos, aquellos que presentan una *morfología serial* (cadena cinemática en serie) semejante a la de un brazo humano. Están constituidos por una serie de barras rígidas unidas entre sí a través de unos ejes denominados articulaciones, y que poseen un grado de libertad del tipo rotacional o prismático.



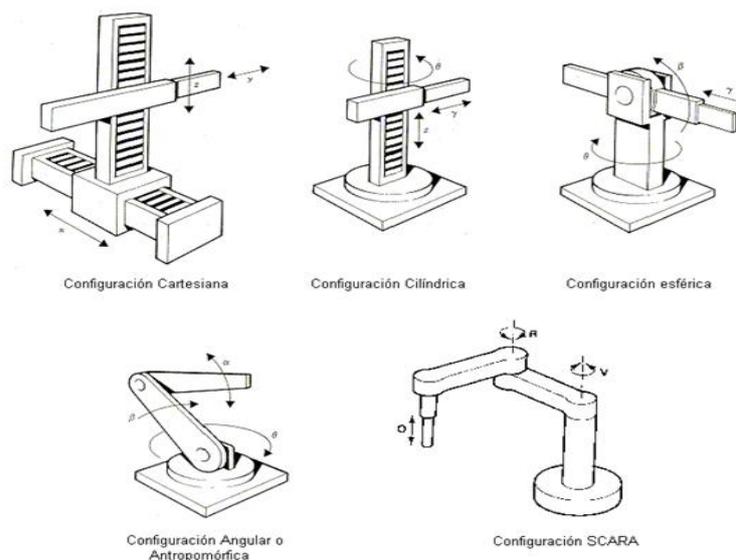
(Ilustración 6.15 – Equivalencia entre cuerpo humano y las partes de un manipulador robótico)

Por general, cada articulación logra su movimiento a través de un accionamiento de potencia como puede ser un motor eléctrico, e incluye otros dispositivos como reductores de velocidad, frenos y sensores de posición o velocidad.

El extremo del dispositivo diseñado para interactuar con el medio se denomina efector final. Lo más común es una pieza en forma de pinza, pero en función de la aplicación puede variar en distintos modelos de herramientas (soplete, láser, cámara de visión artificial, etc).

### 6.5.3 Arquitectura del manipulador robótico:

La distinta configuración y tipo de articulaciones de la cadena cinemática que forma el manipulador robótico, es decir su arquitectura, es la que determinará el espacio de trabajo necesario y el volumen de accesibilidad. Los modelos de arquitectura más frecuentes para un robot de morfología serie son: cartesiana, cilíndrica, esférica o polar, angular o antropomórfica y SCARA.



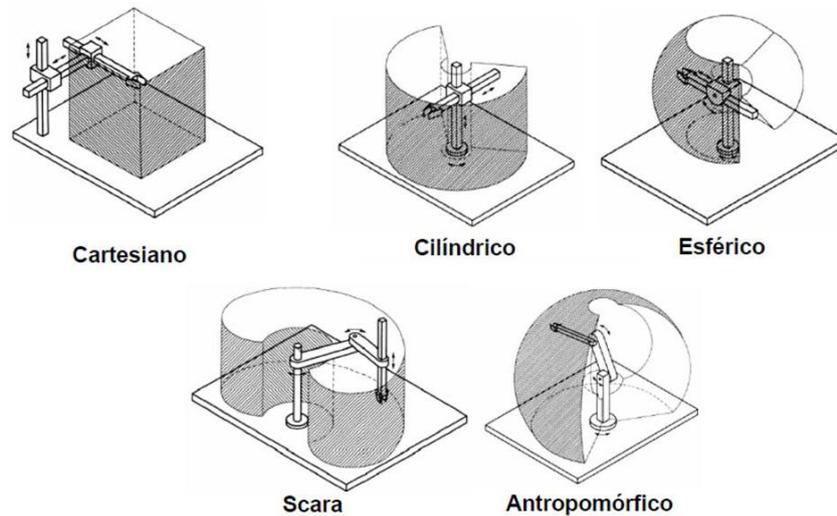
(Ilustración 6.16 – Arquitecturas de manipuladores robóticos con morfología serial)

### 6.5.4 Espacio de trabajo:

El espacio de trabajo del robot se define como la región descrita por el origen del sistema de referencia del efector final cuando todas las articulaciones del robot realizan todos los posibles movimientos. Suele distinguirse entre:

- Espacio de trabajo alcanzable: volumen de espacio que puede alcanzar el robot en al menos una orientación.

– Espacio de trabajo diestro: volumen que el origen del sistema de referencia del efector final genera cuando realiza diferentes orientaciones. En otras palabras en cada punto del espacio de trabajo diestro, el efector final puede orientarse arbitrariamente.



(Ilustración 6.17 – *Espacio de trabajo generado según el tipo de manipulador robótico*)

## 6.5.5 Programación del manipulador robótico:

Hoy en día los softwares disponibles para llevar a cabo la programación de un robot industrial están simplificados y son más fáciles de computar, por lo que bastará con adquirir el software compatible con el hardware del manipulador ofrecido por el fabricante y tener unas competencias livianas sobre la materia.

Los conocimientos teórico-prácticos para el correcto manejo de un robot hacen referencia principalmente a sus movimientos, el campo que estudia esta técnica se denomina cinemática de robots.

### 6.5.5.1 Cinemática de robots.

La cinemática de robots estudia principalmente:

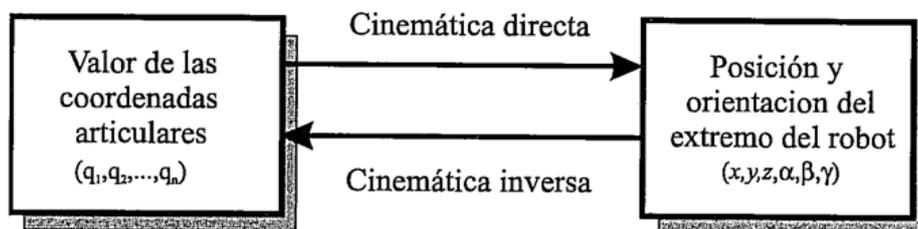
- Su movimiento con respecto a un sistema de referencia.
- La descripción analítica del movimiento espacial en función del tiempo.
- Las relaciones entre la posición y orientación del extremo final del robot con los valores articulares que toman sus coordenadas articulares.

Se pueden plantear dos tipos de problemas:

- Problema cinemático directo: Determinar la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas de referencia, conocidos los ángulos de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot.
- Problema cinemático inverso: Determinar la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas

En los robots debe conocerse, además de la relación entre las coordenadas articulares y del extremo, la relación entre sus respectivas velocidades. Así, el sistema de control del robot debe establecer qué velocidades debe imprimir a cada articulación (a través de sus respectivos actuadores) para conseguir que el extremo desarrolle una trayectoria temporal concreta. Para resolverlos se usa un modelo diferencial, denominado matriz Jacobiana, que establece relaciones entre las velocidades de movimiento de las articulaciones y las del extremo del robot. Existen dos tipos:

- La *matriz Jacobiana directa* que permite conocer las velocidades del extremo del robot a partir de los valores de las velocidades de cada articulación.
- La *matriz Jacobiana inversa* que determina las velocidades articulares necesarias para obtener unas velocidades determinadas en el extremo del robot.



(Ilustración 6.18 – Diagrama cinemática directa e inversa)

## CAPITULO 7: ALTERNATIVAS DE DISEÑO

A continuación, se exponen las diferentes alternativas entre las que se puede escoger de los elementos principales que formarán el sistema de inspección visual robotizado.

### 7.1 ELECCION DE LA CAMARA ADECUADA:

Existen múltiples modelos de cámaras:

- Cámaras Matriciales
- Cámaras Lineales
- Cámaras Alta Velocidad
- Cámaras 3D
- Cámaras Inteligentes
- Cámaras Infrarrojas / Cámaras Térmicas

Para la realización de este proyecto se usará una cámara lineal ya que atendiendo a sus características (redirigirse al Anexo I para más información), es la más adecuada para efectuar inspecciones del tipo superficial.

Dentro de las cámaras lineales, existen muchos modelos diferentes, las más utilizadas en los sistemas de visión artificial actualmente son las que usan conexiones que permiten transferir datos a altas velocidades (elevado ancho de banda). Atendiendo a esta característica, las principales serían las que incorporan los siguientes tipos de buses:

- Thunderbolt (20 GB/seg).
- Cameralink HS (desde 300MB/seg a 6GB/seg).
- Coaxpress (6GB/seg).
- USB3.0 (5GB/seg).
- Gigabit Ethernet (1GB/seg).
- Firewire (100MB/seg).

Algunas de estas interfaces de conexión de cámaras de visión son muy recientes, como las USB3.0, Coaxpress o Thunderbolt (Apple-Intel, que está en desarrollo y podría llegar a transmitir a 100GB/seg). La tendencia actual de los fabricantes de cámaras de visión artificial es la utilización del interfaz USB3.0, en lugar de otras interfaces como el Cameralink o Coaxpress que requieren la utilización de un framegrabber, aunque poseen la ventaja de la velocidad que permiten.

## **7.2 SELECCION DE LA OPTICA O LENTE:**

Para elegir la óptica adecuada, que saque el máximo partido a la cámara y a su calidad de enfoque hay que tener en cuenta una serie de parámetros:

- Tamaño del sensor.
- Distancia del objeto a la cámara.
- Campo de visión que deseamos abarcar.
- Profundidad de campo.

La profundidad de campo se refiere al campo de visión de una imagen que aparece enfocada. Cuando se utiliza una óptica, especialmente en distancias cortas, los objetos que están o muy cerca o muy lejos de la cámara aparecen borrosos o desenfocados. La profundidad de campo aumenta si la apertura de la lente es pequeña (un número f grande), y la profundidad de campo disminuye con una apertura grande (número f pequeño).

Estos parámetros tienen que cumplir con los cálculos realizados en el Anexo II.

## **7.3 OPCIONES DE ILUMINACION PARA EL SISTEMA DE VISION:**

Hay un cierto número de consideraciones a tener en cuenta para determinar la mejor iluminación, en función del tipo de aplicación o proceso de visión artificial que se va a realizar:

- ¿Es en color o en monocromo?
- ¿Requiere alta velocidad?
- ¿Cuál es el campo de visión a iluminar?
- ¿El objeto presenta superficies con reflejos?
- ¿Qué fondo presenta la aplicación: color, geometría, etc?
- ¿Cuál es la característica a resaltar?
- ¿Qué duración debe tener el sistema de iluminación?
- ¿Qué requisitos mecánicos, ambientales, u otros deben considerarse?

Asimismo, hay que tener en cuenta que el principal problema al que se enfrenta la inspección automática del alambión viene dado por sus características ópticas. Si la superficie es analizada bajo luz difusa, el contraste resulta muy bajo y los defectos son casi imperceptibles. Por otro lado, si se observa desde un punto fijo bajo luz direccional, la información que se percibe depende de la dirección de iluminación utilizada. Es decir, para un punto fijo de observación la superficie presenta una apariencia distinta para cada ángulo de iluminación diferente. Debido a esta característica, las superficies brillantes como el acero se denominan superficies no cooperativas.

Dependiendo de la respuesta a las preguntas y atendiendo a la característica previamente expuesta, se debe aplicar un tipo u otro de sistema de iluminación. La elección varía entre los siguientes tipos:

### **7.3.1 LED:**

Para aplicaciones donde no se requiera una gran intensidad de iluminación se puede utilizar la iluminación por LED (Light Emitting Diodes). Estos proporcionan una intensidad de iluminación relativa a un coste muy interesante, y tienen una gran vida útil, aproximadamente 100.000 horas.

Otra consideración a tener en cuenta es que sólo requieren un cable de alimentación y no un haz de fibra óptica que en ocasiones es muy delicado.

### **7.3.2 Láser:**

Son sistemas de luz láser estructurado. La luz estructurada en visión artificial se utiliza para iluminar un objeto (desde un ángulo conocido) con un patrón de luz específico (Ej. Una línea) y viendo la forma como cambia este patrón sobre el objeto se puede obtener información de la tercera dimensión del objeto iluminado.

Los sistemas láser actuales varían en función de sus intensidades y longitudes de onda, y se suministran con diferentes patrones: puntos, líneas rectas, circunferencias, cruces, cuadrados y matrices de puntos.

### **7.3.3 Fibra óptica:**

La iluminación por fibra óptica, es actualmente, la que proporciona más intensidad de luz. Su funcionamiento se basa en la conducción de la luz, procedente de una bombilla halógena o de xenón que se encuentra en una fuente de iluminación, a través de un haz de fibras ópticas que termina en un adaptador específico para cada tipo de aplicación.

En los haces de fibra óptica hay cierta pérdida de intensidad con relación a la longitud o distancia. La vida media de las lámparas halógenas utilizadas en este tipo de iluminación oscila entre 1.000 y 2.000 horas.

Algunas fuentes de iluminación incorporan control de intensidad mediante un bus, de forma que se puede controlar desde un elemento externo como un PC.

## **7.4 ALTERNATIVAS DE SOFTWARE DE VISION ARTIFICIAL:**

Existen diversos tipos de software que pueden utilizarse para controlar, interpretar y analizar las imágenes capturadas por el sistema de visión artificial. Estos son las distintas opciones:

### **7.4.1 LABVIEW:**

Acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench. Creado por National Instruments en 1976. Es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico, denominado lenguaje G.

Está recomendado para realizar pruebas, control y diseño, tanto simulado como real y embebido. Permite combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante; tarjetas de adquisición de datos, PAC, visión, instrumentos de hardware; como de otros fabricantes.

Asimismo, posee distintos módulos de trabajo que se pueden instalar o no según la necesidad de uso. Para el caso de aplicaciones con visión artificial existen dos:

- “Vision Development Module” o “Vision Assistant”, con cientos de funciones para adquirir imágenes y procesarlas.
- “Vision Builder”, integra una interfaz basada en menús, la cual sustituye las complejidades de la programación ganando en rendimiento y funcionalidad.

### **7.4.2 MATLAB:**

Abreviatura de MATrix LABoratory, es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M).

Permite la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

En el campo de la visión artificial permite todo tipo de trabajos (acceso a la cámara, capturas, control, segmentación, caracterización de las imágenes, salidas del sistema, etc), escribiendo el correspondiente código de programación.

### **7.4.3 SAL3D:**

Es un software de alineación y comparación de nubes de puntos 3D con modelos previamente establecidos, desarrollado por Aqsense.

Su principal utilidad es determinar la relativa igualdad de los componentes analizados con respecto a un componente previamente desarrollado como modelo. Esto se realiza a alta velocidad, con la ayuda de un láser, mediante una medida dimensional muy precisa que

permite comparar los modelos 3D de los objetos analizados en el tiempo de proceso productivo de la cadena de fabricación.

#### **7.4.4 HALCON12:**

Software desarrollado por MVTec. Permite un rápido desarrollo de aplicaciones de visión industrial y procesado de imágenes a un coste reducido.

Ofrece soluciones de altas prestaciones: análisis morfológico de objetos, reconocimiento de patrones, códigos de barra/matriz, OCR, aplicaciones de clasificación de color así como una amplia librería de análisis para realizar procesos en 3D.

### **7.5 OPCIONES DE MANIPULADORES ROBOTICOS:**

Con el desarrollo de controladores cada vez más rápidos basados en microprocesadores, y de sensores que permiten identificar los objetos; los procesos de automatización rígida han dado paso a los manipuladores robóticos. Esta evolución ha dado origen una gran cantidad de clases en función de las necesidades de trabajo, entre los que destacan:

- Robots de seis ejes en múltiples tamaños y capacidades, para tareas de carga desde 3 kg hasta más de 1000 kg.
- Robots diseñados para funcionar en ambientes severos, resistentes al calor y la suciedad.
- Robots para paletizado automático.
- Robots para trabajos de soldadura.
- Robots de consola, para espacios reducidos pero con gran alcance.
- Robots de máxima precisión.

La selección del manipulador robótico entre las distintas opciones disponibles, se realizará atendiendo a los cálculos realizados en el Anexo II.

## **CAPITULO 8: DESCRIPCION DE LA SOLUCIÓN ESCOGIDA**

Luego de haber tomado conocimientos sobre la materia que concierne este proyecto, así como de las distintas opciones del mercado, se está en disposición de elegir los distintos equipos y componentes que se usarán en el sistema de inspección propuesto para realizar una correcta inspección visual de los defectos superficiales posiblemente acontecidos en las bobinas de alambroń.

### **8.1 EQUIPOS PRINCIPALES DE LA INSTALACION:**

De inmediato se enumerarán los componentes ideales más importantes de la instalación, así como sus características principales y el motivo de su elección.

#### **8.1.1 Material a examinar.**

El material que será inspeccionado por el sistema ya se ha descrito anteriormente, bobinas compuestas por alambroń de acero enrollado. Ha de tenerse en cuenta principalmente las características físicas de cada una de ellas para la elección correcta de los elementos que componen el sistema, son aproximadamente:

- Diámetro interior: 58 cm.
- Diámetro exterior: 110 cm.
- Altura: 140 cm.
- Peso: >1000 kg.

#### **8.1.2 Cámara industrial.**

Para la elección de la cámara, a parte de las características descritas previamente, se han valorado también los siguientes factores:

- Resolución y calidad.
- FPS (frecuencia de disparos por segundo).
- Aplicaciones y ambientes para los que ha sido diseñada.
- Tamaño compacto acorde al disponible en la instalación.

Teniendo en cuenta todo ello, se ha elegido una cámara de la empresa alemana Basler pionera en tecnología de imagen para sistemas de visión artificial. El modelo pertenece a la serie A200:

### → Cámara Basler mod A201b.



(Ilustración 8.1 – Cámara visión Basler serie A200 mod 201b)

Se trata de una cámara monocroma que ofrece una calidad de imagen superior incrementando los resultados durante el procesado de la imagen. Su tamaño es súper compacto y posee un control de exposición electrónico. Permite una gran flexibilidad ya que es posible ajustar libremente la ganancia y el offset, además el trigger puede ser controlado de múltiples maneras mediante una señal externa hasta alcanzar los 48fps (“frames per second”).

Posee una conexión de 4 pines para alimentación con una fuente específica, y otra de 26 pines para transmitir los datos mediante un bus tipo CameraLink, lo que la otorga una gran velocidad de respuesta y de transferencia de imágenes al PC.

### 8.1.3 Óptica o lente:

Para la elección de la óptica se han tenido en cuenta los parámetros descritos previamente y los cálculos realizados en el Anexo II. El modelo de óptica elegido cumple con estas características y será proporcionado por el mismo fabricante que la cámara, Basler, para garantizar su total compatibilidad. Es el siguiente:

### → COSMICAR PENTAX TV LENS 4.5mm F/1.8



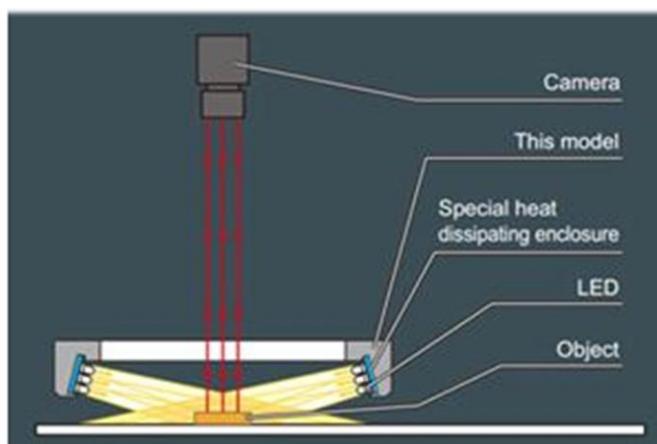
(Ilustración 8.2 – Óptica Cosmicar Pentax TV Lens 4.5mm F1.8)

### 8.1.4 Sistema de iluminación:

Para este proyecto se ha elegido un sistema de iluminación LED denominado Darkfield (campo oscuro), el cuál atendiendo a sus características es el más adecuado para destacar los errores de acabado superficial del alambión.

Se trata de un tipo de iluminación anular que se sitúa perpendicular al eje de captura de la cámara. Es un sistema ideal para aplicaciones donde la iluminación debe estar enfocada en el centro del objeto, ya que permite resaltar defectos superficiales, grietas, surcos, etc. También es válido para detectar, identificar y leer caracteres, códigos de matriz o barras grabadas en una superficie.

Recordar que el acero es una superficie brillante no cooperativa. Por tanto es necesario inspeccionar la superficie con un ángulo bajo de iluminación como el que ofrece la iluminación LED anular, de tal manera que el efecto de luz proyectado sea uniforme y homogéneo, para que los rayos reflejen en toda su superficie salvo en los diferentes tipos de defectos como las grietas o rayados, donde al no poder incidir quedarán marcados como una zona oscura en la imagen capturada por la cámara. La siguiente imagen resume el funcionamiento y colocación del anillo LED:



(Ilustración 8.3 – Esquema situación y funcionamiento de iluminación anular LED)

Este modelo de iluminación anular se comercializa por la empresa INFAIMON, una compañía multinacional dedicada en exclusiva a la visión artificial y el análisis de imagen. Ofrece una variedad de gamas en diferentes intensidades, longitudes de ondas, medidas y colores (rojo, verde, blanco y azul). Para este proyecto se ha optado por el siguiente:

→ Anillo LED de bajo ángulo “Darkfield” mod. LDR2 - 208SW2 - LA60°



(Ilustración 8.4 – Anillo LED Darkfield mod LDR2-208  
SW2-LA)

### 8.1.5 Manipulador robótico:

El robot manipulador que llevará acoplado en su extremo efector la cámara y el anillo de iluminación LED, será un modelo fabricado por la empresa alemana KUKA Roboter GmbH, pionera en la fabricación de robots industriales y con más de 25 filiales en todo el mundo.

El modelo se ha elegido por cumplir con todas las características necesarias para el sistema y también con los cálculos realizados. Además de ser un modelo versátil, flexible y eficaz para la mayoría de los sectores de la industria transformadora. Es el siguiente:

→ Robot KUKA modelo KR 16 L6-2.



(Ilustración 8.5 – Robot KUKA mod KR 16 L6-2)

Se trata de un manipulador serial de 6 ejes ideal para aplicaciones con cargas ligeras de hasta 10 kg, en las que el alcance desempeña un papel decisivo. En este proyecto la carga será mínima ya que el peso del conjunto cámara - iluminación es inferior a 1 kg, y el alcance es un factor a tener en cuenta muy importante.

El robot se puede montar en el suelo o techo, para este proyecto irá anclado al suelo mediante unos tornillos en su base. Posee un alcance de hasta 1611 cm. En la instalación, su base estará situada a una distancia de 1,20 metros del lugar de paso de las bobinas.

Además este manipulador posee una unidad o sistema de control suministrada junto a ello, denominada KR C4. La cual se caracteriza por reducir los costes de integración, mantenimiento y conservación, al mismo tiempo que aumenta la eficiencia y la flexibilidad del sistema de forma duradera. Se trata de una arquitectura de sistema completamente nueva y estructurada que se concentra en estándares de datos abiertos y de alto rendimiento, en la que todos los controles integrados (seguridad, robot, movimiento y lógica) disponen de una base de datos y una arquitectura comunes que aprovechan y comparten de forma inteligente.

Esto en resumen garantiza la obtención de nuestro movimiento de barrido y porte del sistema de inspección, gracias a un máximo rendimiento en el mínimo espacio y a una gran escalabilidad, flexibilidad y sobre todo inteligencia.

## **8.2 OTROS ELEMENTOS DEL SISTEMA:**

### **8.2.1 Alarma audiovisual.**

Se instalará una alarma audiovisual como salida del sistema para avisar al operario más cercano en caso de detección de errores. Para la elección del modelo se ha tenido en cuenta los niveles de ruido en el entorno de un tren de laminación en caliente o en frío, los cuales alcanzan valores de entre 95 - 110 dB. Por tanto, la alarma deberá emitir un sonido intermitente superior a los 110 dB para que pueda ser perfectamente escuchada. Además incluirá un foco de luz rotativo que facilitará su detección desde la distancia.

Se colocará junto al panel de control del sistema, en un poste metálico a una altura de 2 metros para lograr la máxima visualización de su luz y emisión de las ondas sonoras.

El modelo elegido que cumple con las características descritas previamente, pertenece al fabricante SOS Lite:

**→ Alarma Audiovisual SOS Lite 110VCA 120dB mod. AL1200S.**



(Ilustración 8.6 – Alarma audiovisual 110VCA  
120dB mod AL1200S)

Está compuesta por un zumbador industrial que produce un sonido intermitente de 120dB a una distancia de 1 metro. Posee una torreta giratoria de color ámbar con un foco de 25W en su interior, y su base metálica permite su acople a cualquier tipo de superficie. También incluye un transformador de 230VCA a 110VCA para poder ser directamente conectada a la red eléctrica normal, y dispone de una entrada digital que permitirá su activación o desactivación desde el ordenador mediante un conector db9.

### 8.2.2 Ordenador CPU.

Será necesaria la colocación de un ordenador o CPU en el puesto de control, en la cual se instalará el software Labview y se conectarán todos los buses y cables necesarios para controlar los distintos elementos que componen al sistema de inspección. Se programará de manera que con solo encenderlo se inicie el programa y se logre el correcto funcionamiento automatizado.

El computador elegido pertenece a la compañía multinacional estadounidense DELL, líder en el sector de material informático para oficinas y empresas. El modelo es el siguiente:

#### → DELL OPTIPLEX 755



(Ilustración 8.7 – CPU DELL OPTIPLEX 755)

Se ha elegido este modelo por su relación calidad - precio, ya que para soportar el software de Labview no es necesario un ordenador muy potente ni de altas prestaciones.

Con su procesador Intel Core 2 Duo E4500 integrado, su memoria de 2048MB y el sistema operativo Windows 7 será más que suficiente. Además al tratarse de una torre CPU de dimensiones reducidas se ganará en espacio.

### 8.2.3 Monitor táctil:

Se ha elegido el siguiente modelo de pantalla para ser conectada a la CPU, perteneciente también a la compañía multinacional estadounidense DELL:

#### → Monitor Dell Serie S2240T de 21.5"



(Ilustración 8.8 – Monitor Dell Serie S 2240T de 21.5")

Se trata de una pantalla Full HD de 16:9 con una excelente calidad y resolución de 1920 x 1080, para poder observar claramente las imágenes y datos de los defectos ocurridos.

Este modelo será suficiente para poder interactuar el operario táctilmente con el menú y los datos del sistema de inspección. Además también servirá de interfaz para realizar la correspondiente programación.

### 8.2.4 Hardware CameraLink:

Será necesario la instalación en la CPU de un framegrabber específico CameraLink, para posibilitar la conexión entre ordenador y cámara y por tanto la adquisición de imágenes. El modelo que se ha elegido pertenece al fabricante National Instruments:

#### → Frame grabber CameraLink NI PCIe-1433.



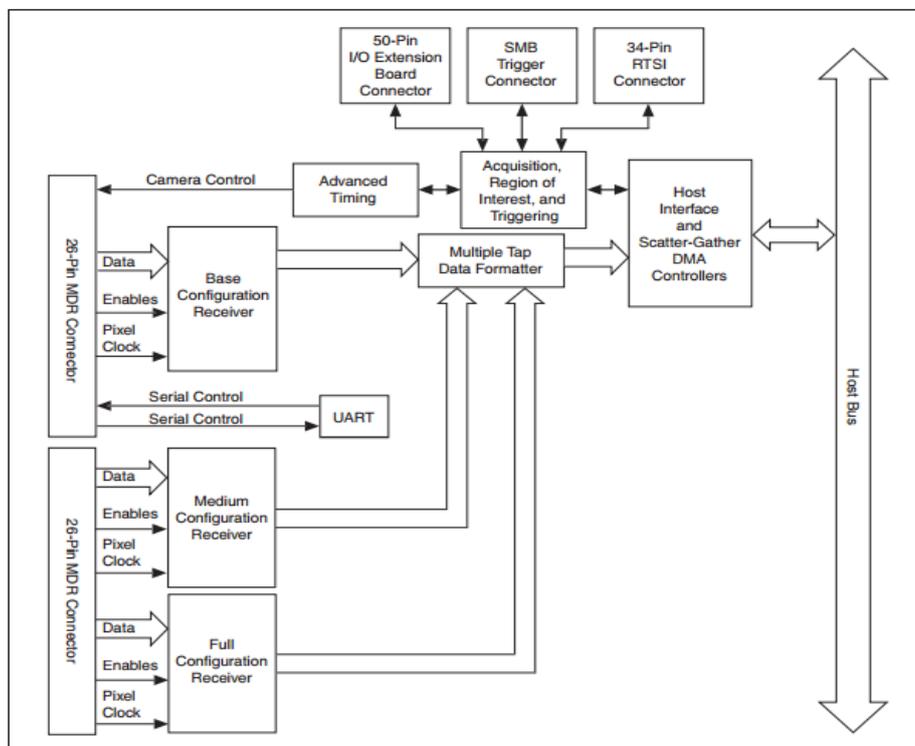
(Ilustración 8.9 – Tarjeta de adquisición de imágenes CameraLink PCIe-1433)

La tarjeta NI PCIe-1433 se conecta a la placa PCI Express del ordenador. Se trata de una tarjeta que trabaja con 8 bits (256 tonos de gris) y que se caracteriza por su alta velocidad de conversión (hasta 48 imágenes por segundo), su posibilidad de soporte de hasta 2 cámaras simultáneamente, su flexibilidad y su alto rendimiento. Aprovecha la tecnología FPGA para implementar el protocolo Camera Link, ayudando a superar los límites de longitud de cable convencionales a altas velocidades de transferencia de datos.

Además, ofrece un mayor ancho de banda, soporta una amplia variedad de cámaras, y permite ofrecer una velocidad de transferencia de datos de hasta 1.7GB/s.

La placa de captura junto con el driver NI-IMAQ asociado se encargará de digitalizar las señales analógicas procedentes de la cámara. Posteriormente, se aplicará un preprocesado si es necesario, se enviará al ordenador para que el software de programación (Labview en este caso) analice los datos y decida en consecuencia. Todo este procesado entre el ordenador y el hardware lo controlará el driver NI-IMAQ.

Esta tarjeta de adquisición de imágenes incorpora tres configuraciones para la conversión de los pixels, desde una conversión analógico-digital de 8bits hasta 36bits. A continuación se presenta un esquema que ilustra su funcionamiento:



(Ilustración 8.10 - Diagrama de bloques del funcionamiento de la tarjeta PCI e-1433)

Como se observa, la señal de imagen entra por la toma MDR de 26 pines y se almacena en un buffer. A continuación, si llega una petición de lectura, esta señal pasa a un conversor analógico-digital (habiéndose ajustado previamente el offset y la ganancia). Finalmente la señal se transmite al bus PCI del ordenador.

Esta tarjeta posee características de hardware para aplicaciones en tiempo real que ayudan a mejorar el rendimiento del sistema de visión. También permite un control de ROI (region of interest), seleccionando la zona de interés de la imagen de manera que la transferencia de la imagen hacia la memoria del PC y su procesamiento son más rápidos. Con la corrección de la relación de aspecto, se puede corregir la calibración del pixel debida a efectos de la cámara.

### 8.2.5 Sensor ultrasónico de presencia:

Para realizar la detección de las bobinas de alambión en el momento que se encuentran en el puesto de inspección, se usará un sensor ultrasónico de presencia. Se instalará en la base del manipulador robótico, enfrente de la bobina, por lo que se encontrará a una distancia aproximada de 95 cm respecto a esta.

Se programará en lenguaje C++ para que transmita una señal binaria a la unidad de control KRC-4 del manipulador robótico con valor lógico de 1 cuando detecte la presencia de la bobina, y valor 0 cuando la bobina no se encuentre presente. De tal manera que el robot inicie la trayectoria de barrido cuando le llegue la señal y no antes.

El modelo que se ha elegido por cumplir con las condiciones necesarias y además tener un coste muy reducido, es el siguiente:

→ **Sensor de distancias por ultrasonidos mod. SRF02 S320122:**



Se trata de un sensor de pequeño tamaño y mínimo consumo que destaca por tener interfaz serie e interfaz I2C. Además utiliza un único transductor tanto para transmitir la ráfaga ultrasónica como para recibir el eco de la misma y poder así medir la distancia. El interfaz serie tiene un formato estándar de 9600 baudios, un bit de comienzo de ocho de datos y un bit de parada. El nivel de tensión es a nivel TTL lo que permite conectarlo a

cualquier microcontrolador del mercado. En este proyecto se conectará al puerto RS232 del ordenador, por lo que será necesario utilizar un circuito convertidor de niveles como el MAX232.

Ofrece un rango de medidas desde 15 cm a 600 cm, pudiendo elegir las unidades en centímetros, pulgadas o microsegundos. Su alimentación es de 5V y el consumo medio de 4 mA. Sus medidas 24 x 20 x 17 mm de altura y su peso de 4,6 g.

### 8.2.6 MAX232 board:

Se adquirirá un convertidor de niveles de voltaje, una placa MAX232 para convertir la señal serie del estándar TTL proporcionada por el sensor ultrasónico de presencia a una señal RS232 para que sea posible el intercambio de datos con el ordenador y con la unidad de control KRC-4.

Esta placa dispone de un conector hembra DB9. También dispone de un conector de 6 pines, que será el utilizado para la comunicación serial con el sensor. Se alimenta con un voltaje único de 5V. Para la señal serial utilizada por este estándar, un voltaje de -3 a -12V corresponderá a un uno lógico, mientras que un voltaje de +3V a +12V corresponderá a un cero lógico.



(Ilustración 8.11 – Placa MAX232)

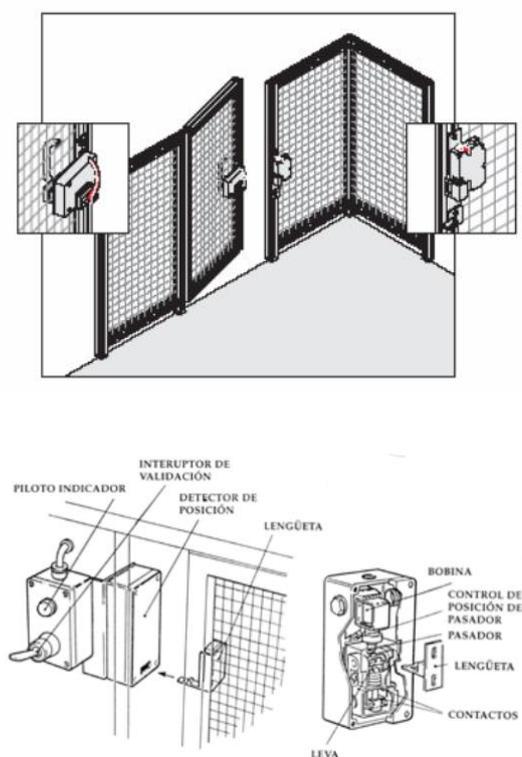
### 8.2.7 Celda robótica de seguridad:

En la mayoría de las instalaciones del ámbito industrial de un manipulador robótico, es obligatorio montar una celda o célula de seguridad para garantizar la ausencia de personas en el espacio controlado durante el funcionamiento automático y así evitar posibles accidentes.

La celda estará formada por dos barreras materiales en forma de vallas metálicas de 350 cm de ancho x 180 cm de altura y una puerta de 210 cm x 180 cm, dispuestas de forma que protejan al trabajador de los riesgos ocasionados por una disfunción del sistema de control del robot, y a su vez impidan que éste acceda a la zona de peligro del robot.

En la puerta de acceso se instalará un interruptor de seguridad con enclavamiento electromagnético, conexasiónado al circuito de seguridad de cerramiento general, de tal forma que si se abriese la puerta mientras el manipulador estuviese funcionando se produjese la parada de todos los equipos que forman la célula robotizada.

Este tipo de interruptor dispone de un electroimán que bloquea el pestillo una vez que está en posición de seguridad. Cuando un operario decida acceder a la zona protegida deberá solicitar acceso mediante un selector o un pulsador, una vez haya realizado esto se producirá la apertura de la misma cuando se hayan parado todos los equipos y se rearmarán los sistemas de seguridad. Se deberá colocar a su vez un dispositivo mecánico o eléctrico (seta de emergencia) para poder realizar la apertura de la puerta desde el interior en caso de quedar el operario encerrado en la celda.



(Ilustración 8.12 – Interruptor electromagnético de seguridad para celda robotizada)

## 8.2.8 Fuentes de alimentación:

Será necesaria la instalación de fuentes para alimentar los distintos elementos del sistema: la cámara, el sistema de iluminación y el manipulador robótico.

### 8.2.8.1 Power supply mod PSS – 61006 12V.

Una de las desventajas de la conexión Cameralink es que no transmite energía a la cámara, únicamente vale para la transmisión de datos. Por tanto es necesaria la utilización de una fuente de alimentación externa que supla este déficit y provea la energía necesaria a la cámara, para que esta pueda funcionar correctamente.

Para ello usaremos una fuente conectada a la red monofásica de 240V AC, modelo PSS – 61006 12V. Esta funcionará a modo de transformador proporcionando a la cámara 12V mediante el conector específico de 4 pines compatible con el de nuestro modelo de cámara.



(Ilustración 8.13 – Powersupplymod PSS-61006 12V)

#### **8.2.8.2 Power supply mod PD2-1024.**

Se instalará otra fuente de alimentación, esta vez de 24V, para conectar el anillo de iluminación LED y proporcionar la energía necesaria para su correcto funcionamiento. Esta fuente se encenderá al tiempo que se encienda el resto del sistema de inspección, de manera que el anillo LED siempre reciba energía y puede lucir en condiciones óptimas. El modelo seleccionado por su mayor compatibilidad y distribuido por la empresa japonesa CCS, es el PD2-1024.



(Ilustración 8.14 – Powersupplymod PD2-1024)

Esta fuente de alimentación digital se conectará a la línea monofásica de 240V AC. Se caracteriza por poseer un solo canal el cual permite el control total de la intensidad de luz en 256 niveles. Además ofrece unas dimensiones reducidas (W86mm x D120mm x H54mm) y posee una entrada de 8 bits para control remoto, la cual se conectará

mediante un cable rs-232 al PC para permitir poder encender y apagar el anillo automáticamente cada vez que sea necesario.

### 8.2.8.3 Fuente alimentación manipulador robótico:

El modelo elegido de brazo robótico posee como ya se ha mencionado anteriormente una unidad de control integrada denominada KR-C4. Esta unidad será la que además de controlar el robot provea de energía eléctrica a los motores de sus distintos ejes, es decir, será su propia fuente de alimentación. Para lograr su funcionamiento necesita una tensión de 380 – 480 VAC, por lo que se conectará en estrella a la red trifásica.



(Ilustración 8.15 – Unidad de control KUKA KR-C4)

### 8.2.9 Buses, cableado y protocolos:

El conexionado de los distintos elementos que componen el sistema de inspección es imprescindible para su correcto funcionamiento. Describiremos por partes, cada uno de los buses que se instalarán para el manejo de los distintos componentes.

#### 8.2.9.1 Cámara.

En el caso de la cámara, como ya se ha mencionado previamente se usará un bus Cameralink de transmisión paralelo, es decir, la comunicación se realizará enviando y recibiendo secuencialmente grupos de 8 bits.

El modelo elegido se trata de un cable compuesto por 26 pines con terminaciones MDR-MDR, y conectará la cámara con la framegrabber Cameralink correspondiente instalada en el PC.



(Ilustración 8.16 – Cable CameraLink 26 pines MDR-MDR)

### 8.2.9.2 Iluminación.

El sistema de iluminación cuenta con un cable específico propio de la serie FCB de 5 metros de longitud que será válido para conectar el anillo LED con su fuente de alimentación de 24V. El envío de la señal binaria de encendido y apagado de la fuente de alimentación se realizará desde el PC mediante un puerto serial DCE a DTE. Para ello se usará un cable serial rs-232 con conectores DB de 9 pines.



(Ilustración 8.17 – Cable FCB 5m 24V)

### 8.2.9.3 Manipulador robótico.

Para conectar la unidad de control KR-C4 del robot a la red trifásica se usará el cable de alimentación proporcionado por el fabricante KUKA junto con el robot. Para enlazar el sistema de visión con el robótico, usaremos un cable ethernet que conectará al último con el PC. La transmisión de datos se efectuará en forma de cadenas XML a través del protocolo ethernet TCP/IP.



(Ilustración 8.18 - Cable ethernet 5m CAT6.)

### 8.2.9.4 Alarma audiovisual:

La alimentación de la alarma audiovisual se proporciona mediante un cable propio conectado a la línea eléctrica de 230V.

La señal serial de encendido y apagado viajará al igual que la del sistema de iluminación por un cable rs-232 con conectores DB9.



(Ilustración 8.19 – Cable serial  
DB-9 rs-232 macho - hembra)

## CAPITULO 9: PROGRAMACION DEL SISTEMA

En este capítulo se esclarecerá con detalle todo lo relacionado con la programación del sistema: los protocolos, el software usado, los pasos seguidos para realizar cada programa, las simulaciones realizadas en el laboratorio y el funcionamiento o resultado a la salida del sistema.

### 9.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PROGRAMACIÓN:

#### 9.1.1 Protocolo de comunicaciones:

Las conexiones de red son esenciales para muchas aplicaciones de visión como medio de intercambio de datos, como apoyo para la toma de decisiones y para posibilitar procesos de integración sumamente eficaces. Por ejemplo, las conexiones de red permiten a los sistemas de visión transmitir resultados de aprobación/ no aprobación a las PC para su posterior análisis, o para comunicarse directamente con los PLC, robots y otros dispositivos de automatización de la fábrica en un sistema de control de procesos integrado.

Para integrar el sistema de visión con el robot y otros dispositivos de automatización como la sirena audiovisual, se usarán los siguientes protocolos de red:

- **Cliente/Servidor - TCP/IP:** permitirá al sistema de visión intercambiar fácilmente datos de los resultados con el manipulador robótico vía Ethernet y sin desarrollar ningún código.
- **Protocolos industriales de Ethernet:** como EtherNet/IP, PROFINET, POWERLINK, Modbus TCP. Estos protocolos permitirán vincular los sistemas de visión con los diferentes dispositivos mediante un único cable de Ethernet, lo que eliminará la necesidad de complejos esquemas de cableado y puertos de enlace de red costosos.

#### 9.1.2 NI-IMAQ Driver Software:

Mediante la instalación de esta herramienta se establecerá la unión entre la aplicación software Labview y el hardware PCI e-1433. Se trata de una interfaz software que controla los detalles de hardware, se comunica con las diferentes tarjetas y que permite que la funcionalidad hardware sea fácilmente accesible al programador sin necesidad de escribir a nivel de registro u otros programas complicados.

Este driver viene incluido con la tarjeta IMAQ de National Instruments. NI-IMAQ es una extensa librería de funciones que se llama desde el entorno de programación de Labview, entre las que se incluyen rutinas para:

- Adquirir imágenes continuamente en memoria o adquisición de múltiples imágenes hacia múltiples buffers.
- Manejar líneas digitales E/S para controlar relés de estado sólido.
- Iniciar el trigger de adquisición de imágenes por evento.
- Escalar la imagen desde el hardware.

El software NI-IMAQ dispone de dos niveles de programación: funciones de programación de alto y bajo nivel, lo cual proporciona flexibilidad, funcionalidad y un camino de interfase fácil entre Labview y los dispositivos hardware. Además, se tiene una ayuda para reducir el tiempo de desarrollo de la aplicación, pudiéndose elegir entre muchos tipos de métodos de adquisición.

Tanto la tarjeta de adquisición IMAQ PCI e-1433 como su driver NI-IMAQ están diseñados para trabajar con Visión Assistant y Vision Builder, dos módulos de procesado de imágenes pertenecientes al software de Labview, los cuáles ofrecerán capturas en tiempo real y permitirán la extracción de información crítica del proceso de inspección.

### **9.1.3 Triggering:**

El trigger es uno de los modos de funcionamiento de la tarjeta de adquisición. Su uso posibilita un aumento muy importante en las capacidades del sistema de adquisición. De esta manera, se podrá realizar una captura de eventos de corta duración de manera eficiente y por tanto, se evitará el tener que adquirir la imagen constantemente y la transferencia de información a través del bus PCI.

Asimismo, se usará un trigger externo para identificar exactamente el momento en el cual se tendrá que captar la imagen. La condición principal de la señal de trigger que acepta la tarjeta PCI e-1433 es que ha de ser una señal de entrada de trigger de tipo TTL con unos umbrales mínimos de 2V ( $V_{IH}$ ) y 0'8V ( $V_{IL}$ ). También es importante señalar que la detección del trigger puede ser tanto de flanco de subida como de bajada.

El trigger se programará a modo hardware con flanco de bajada, de modo que cada vez que el manipulador robótico realice la pausa después de cada movimiento de barrido programado a una posición, se enviará una señal de disparo y en consecuencia se realizará la captura de imagen de la sección correspondiente de la bobina de alambión, que se analizará posteriormente mediante el software Labview en busca de posibles defectos.

## **9.2 PROGRAMACION MANIPULADOR ROBOTICO.**

### **9.2.1 Software del sistema KUKA.**

La programación del manipulador robótico se realizará directamente desde la unidad de control KRC4, mediante el software de sistema KUKA desarrollado por el fabricante a modo de sistema operativo. La estructura del software de sistema KUKA, basada en Windows, permite manejarlo de forma muy sencilla, contiene todas las funciones básicas necesarias para el funcionamiento del sistema de robot e integra funciones adicionales que ofrecen un sinfín de posibilidades en materia de programación.

Una vez instalado el manipulador robótico en su puesto y situado enfrente de la bobina de alambión, se tomarán las medidas necesarias y mediante las coordenadas correspondientes se establecerán y guardarán las distintas posiciones sucesivas que ha de seguir el extremo del manipulador donde se situará la cámara y el sistema de iluminación anular, teniendo siempre en cuenta que esta ha de quedar en posición horizontal durante todo el barrido y no puede estar girada o inclinada.

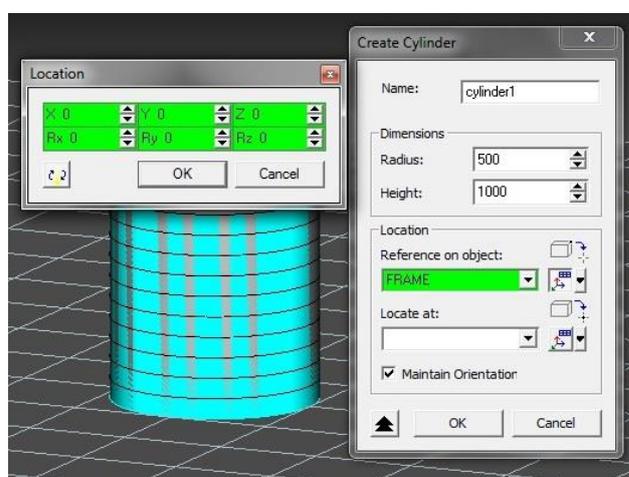
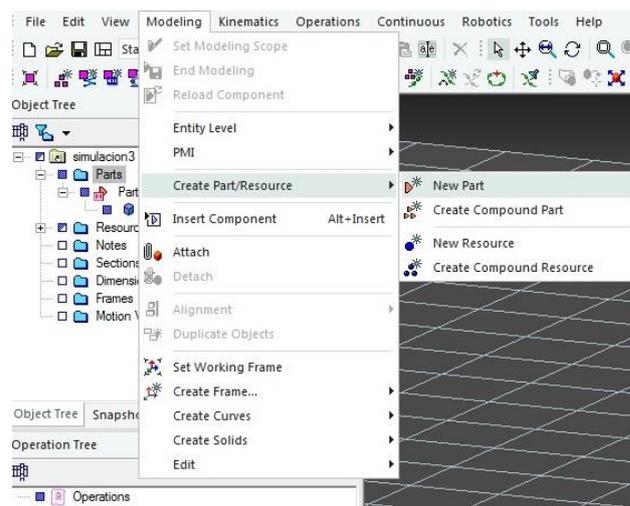
Se programará de tal forma que el manipulador reciba a la bobina en una posición denominada “pos Espera”, por lo que la primera y última posición del barrido será esta. Cuando la bobina se encuentre situada en el puesto de inspección el sensor ultrasónico detectará su presencia y mandará una señal binaria de valor lógico 1 al manipulador que comenzará a describir la trayectoria de las 49 posiciones programadas (ver Anexo II cálculos).

Asimismo, se establecerá una conexión vía Ethernet entre la unidad de control y el ordenador, y se programará al manipulador para que realice una pausa de un segundo entre cada una de las sucesivas posiciones a adoptar. Estos flancos de bajada del manipulador activarán el trigger de la tarjeta de adquisición y realizarán la captura de cada imagen por parte de la cámara. Todo esto en un tiempo máximo de un minuto.

### **9.2.2 Simulación RobotExpert de Siemens.**

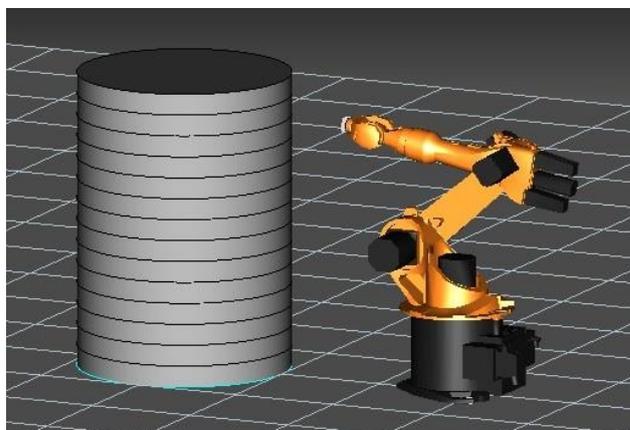
Como ya se mencionó al comienzo de este proyecto, la simulación del movimiento de barrido que debe realizar el manipulador robótico se ha llevado cabo con el programa de simulación robótica Siemens Tecnomatix, RobotExpert.

Para ello, lo primero se ha creado un cilindro de 1.50 m de altura y 1 m de diámetro que simula la bobina de alambión. Además se le han añadido un total de 15 circunferencias cada 10 cm a modo de referencia, para poder definir correctamente las posiciones de la trayectoria.



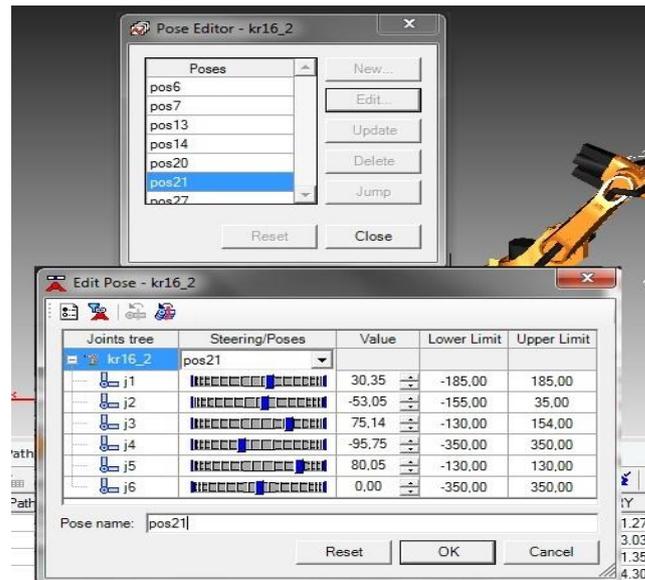
(Ilustraci3n 9.1 – Creaci3n del cilindro que simula a la bobina de alambrcn con RobotExpert)

Posteriormente se ha cargado una copia exacta del manipulador rob3tico KR-16 a usar, y se le ha situado estableciendo las coordenadas correspondientes respecto al eje de referencia frente a la bobina, a la distancia que se situar3a en la realidad de 1.10 m.



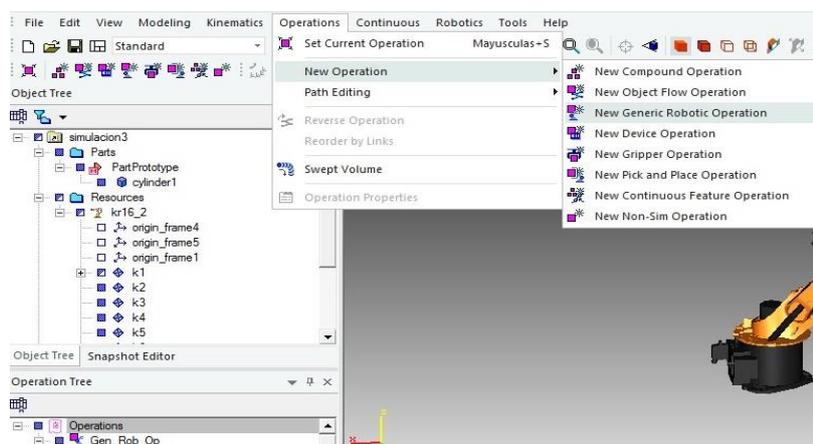
(Ilustraci3n 9.2 – Manipulador rob3tico ya situado frente a la bobina)

Se ha optado por utilizar técnicas de cinemática inversa, para definir un total de 49 localizaciones o posiciones para el extremo del manipulador con sus distintas coordenadas cartesianas XYZ, lo que permitirá determinar los valores que deben de tomar las coordenadas articulares de los distintos elementos de la cadena cinemática que conforman el manipulador, así como los ángulos de articulación requeridos y la velocidad de los distintos motores que controlan el movimiento de las articulaciones, que deberá ser lo más alta posible.

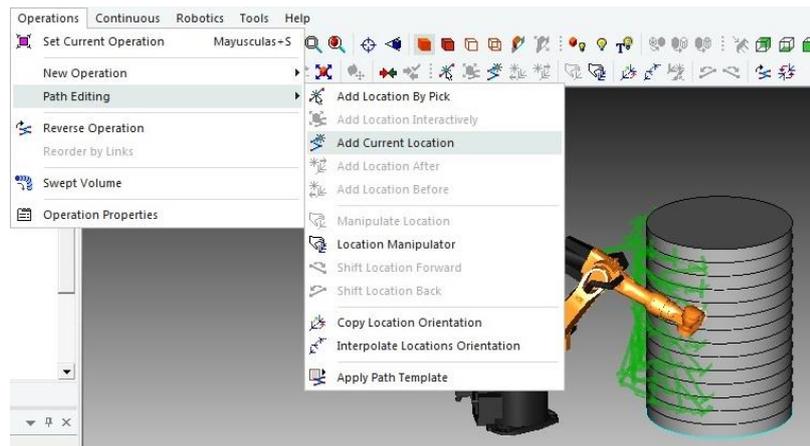


(Ilustración 9.3 – Menú del editor de posiciones)

El paso siguiente ha sido crear una operación robótica, y añadir las distintas posiciones ya definidas para formar una trayectoria.



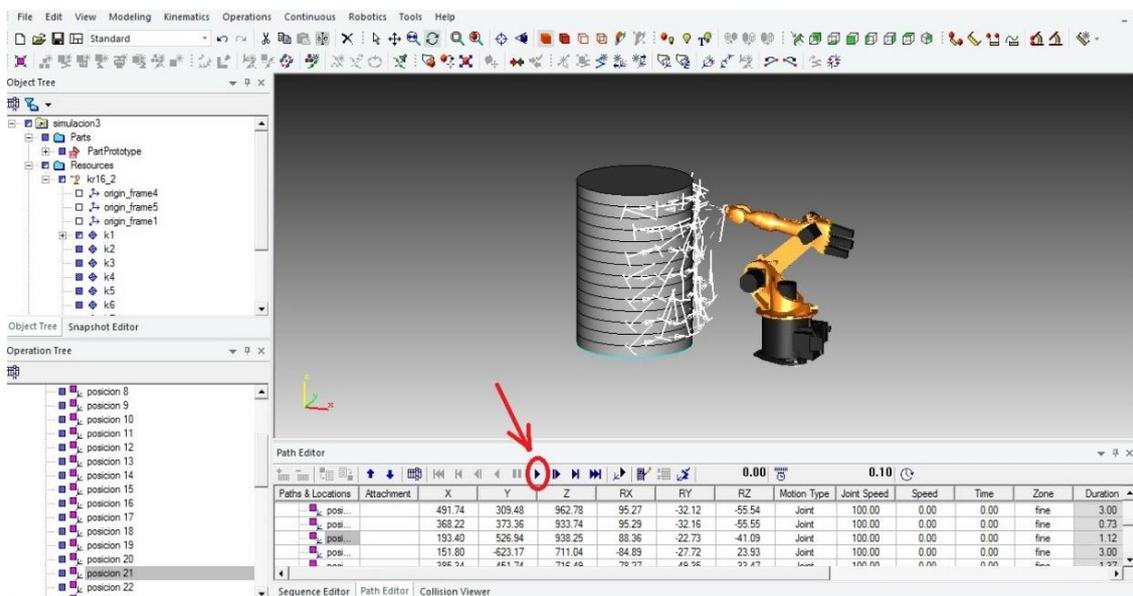
(Ilustración 9.4 – Creación de una operación robótica)



(Ilustración 9.5 – Opción para crear una trayectoria a partir de las posiciones definidas previamente)

Finalmente, se ha programado la trayectoria que seguirá el manipulador realizando la unión de todas las posiciones de barrido guardadas y se ha establecido un tiempo de pausa de 1 segundo entre cada una de ellas, para dar tiempo a la cámara a realizar la captura tras detectar cada parada después del movimiento del manipulador.

Con pulsar el botón “play” señalado en rojo, el manipulador robótico se moverá según lo descrito y programado en un tiempo aproximado de 53 segundos, tiempo inferior al disponible para realizar la inspección de cada bobina, por lo que la simulación se puede considerar correcta.



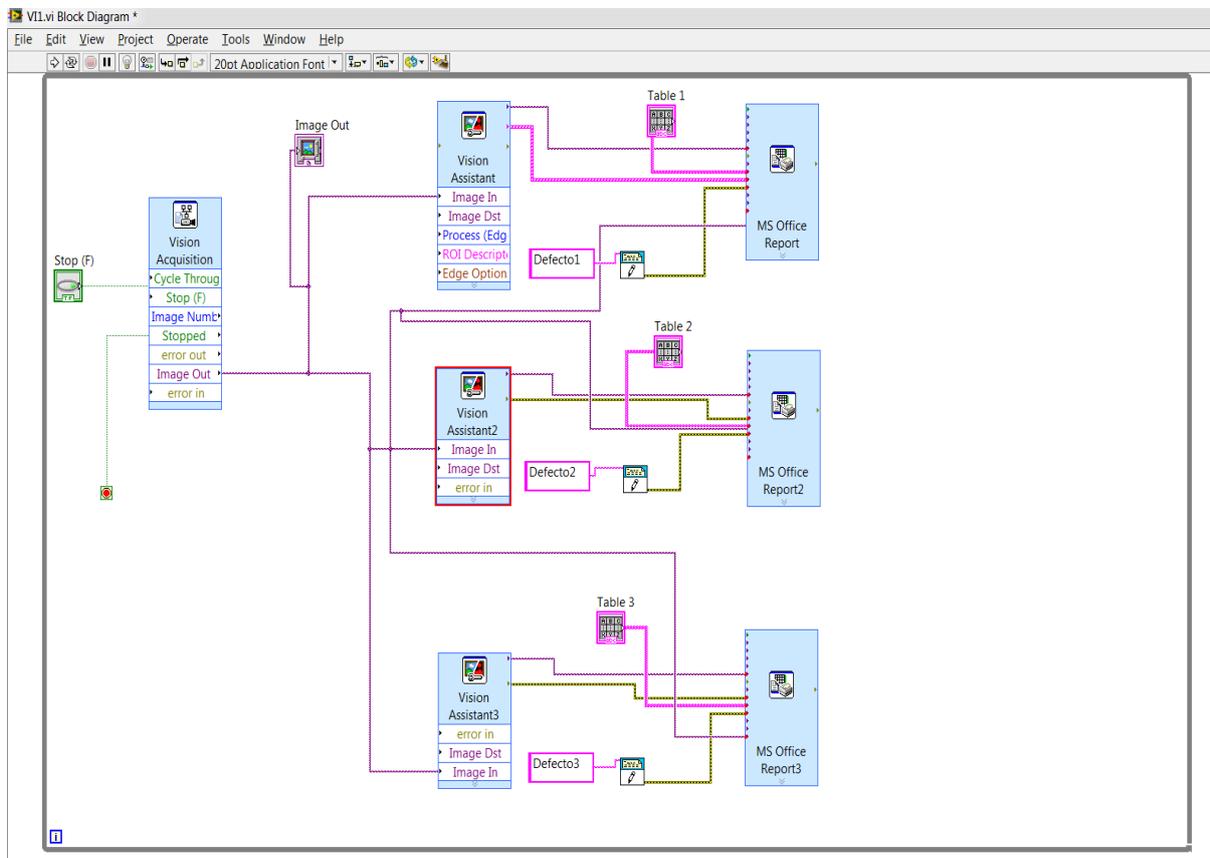
(Ilustración 9.6 – Resultado final con la trayectoria ya creada, y las distintas opciones para ejecutarla)

## 9.3 BLOQUES Y FUNCIONES DEL PROGRAMA DE VISION ARTIFICIAL

### 9.3.1 Inicio del sistema de inspección y captura de imágenes.

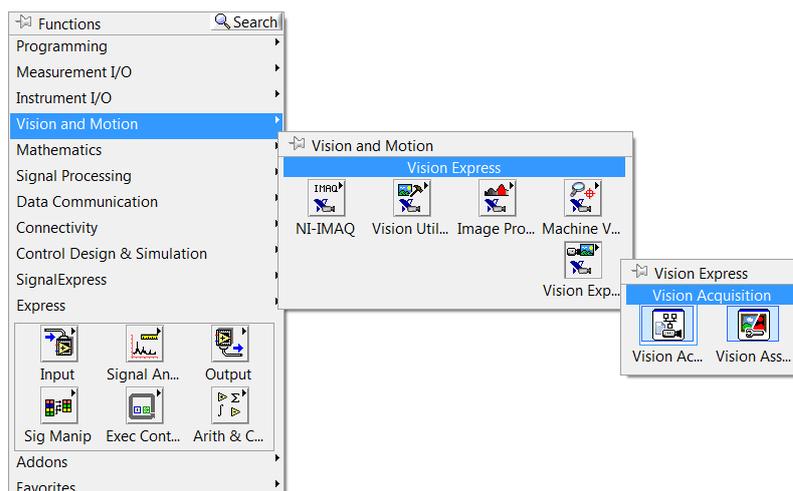
El programa VI de Labview junto a sus respectivos módulos de visión se iniciarán automáticamente tras detectar la primera señal hardware de flanco de bajada proveniente del manipulador robótico y con ello comenzará la adquisición de imágenes de la bobina de alambIÓN y su correspondiente caracterización y actuación en caso de error.

El programa creado mediante bloques es el siguiente:



(Ilustración 9.7 – Diagrama de bloques del programa VI creado en Labview)

Se compone de distintos bloques. El primero de ellos realiza la adquisición programada de las imágenes provenientes de la cámara, “Vision Acquisition”. Permite programar la adquisición desde cualquier cámara conectada al ordenador, o bien simularla adquiriendo las imágenes desde una carpeta seleccionada:



(Ilustración 9.8 – Llamada a la función o bloque Vision Acquisition)

Tras adquirirse las imágenes, van pasando a otros bloques que son los módulos “Vision Assistant” donde se analizarán en busca de los posibles defectos, y de ser detectado alguno de ellos se generarán unas salidas que se usarán en los siguientes bloques “MS Office Report” para elaborar el informe pertinente, y asimismo para controlar la activación de la alarma audiovisual.

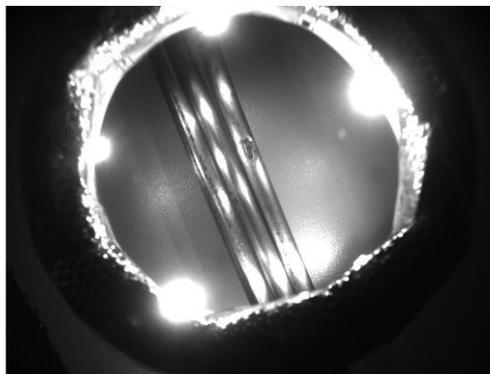
En el ensayo realizado en laboratorio a modo de prototipo o demostración, el trigger de la cámara se ha configurado de forma manual, y se han almacenado en una carpeta las distintas capturas de los recortes de alambroń en buen estado junto con las de recortes con defectos, seleccionando las que estuviesen bien capturadas. Es decir, no se ha podido realizar la adquisición automatizada en tiempo real junto con el análisis posterior, debido a la falta de un manipulador robótico y a que no todas las capturas estaban correctamente realizadas por problemas de iluminación, por lo que había que realizar una selección de las válidas antes de continuar con el resto del programa de análisis y caracterización

La iluminación artesanal que se ha usado, primeramente se construyó con una tira de LEDs dispuesta en forma de anillo como se muestra en la siguiente imagen:



(Ilustración 9.9 – Anillo LED diseñado artesanalmente)

Este diseño (más similar al elegido para el proyecto) tuvo que ser descartado debido al mal ángulo de incidencia de los rayos LED, que provocaban puntos con demasiado brillo y una iluminación irregular como se aprecia en la siguiente ilustración:



(Ilustración 9.10 – Funcionamiento no válido del anillo LED diseñado)

Posteriormente se realizaron distintas pruebas con diversos modelos y disposiciones para tratar de solventar este problema de la mejor manera, hasta dar con uno que bien sujetado y colocado con un ángulo adecuado sobre los recortes de alambión, ha podido servir para realizar las capturas que finalmente se han seleccionado y usado para su análisis correspondiente.

Este modelo construido también artesanalmente, contaba con dos piezas de plástico en forma de cuña con las paredes inclinadas, la tira de LEDs atravesando su interior y pegada en una de las caras de tal forma que se evitasen puntos brillantes al iluminar sobre el alambión. Además, al igual que en el resto de modelos probados, se recubrió su interior con papel reflectante para conseguir la máxima iluminación y reflexión de los rayos posible. En la siguiente imagen se pueden observar:



(Ilustración 9.11 – Sistema de iluminación artesanal utilizado finalmente)

El sistema de iluminación implementado, junto con la cámara disponible del laboratorio y un trípode a modo de manipulador que permitía acercar, alejar y rotar la cámara de forma manual han sido los elementos usados para formar el sistema de visión prototipo y continuar con los pasos pertinentes del programa VI creado:



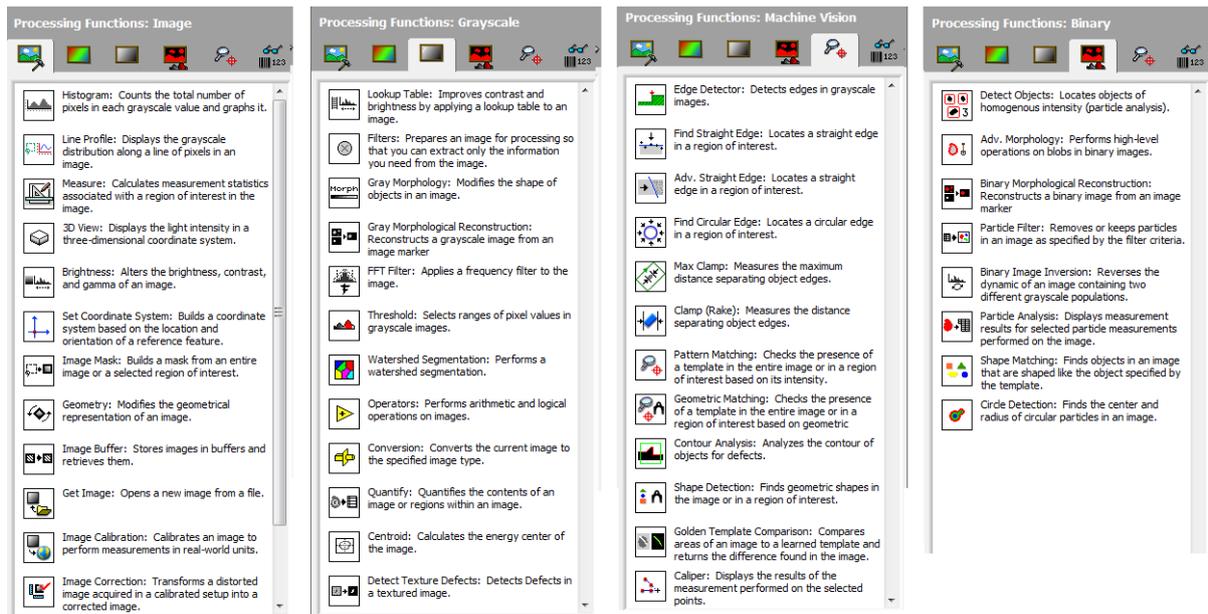
(Ilustración 9.12 – Sistema de visión utilizado en el laboratorio para realizar la programación)

### 9.3.2 Análisis y caracterización de los defectos.

Una vez ha comenzado el barrido de la bobina y la adquisición (ya sea automatizada como en el caso real, o manualmente a una carpeta como se ha realizado en el laboratorio), se van transfiriendo las distintas capturas del alambrión. Estas imágenes pasan a cuatro módulos programados “Vision Assistant”, como los que hemos visto en el diagrama VI inicial, donde se realizan cuatro tipos de análisis distintos en busca de posibles defectos:

- 1º → Inspección de defectos de tipo surcos o marcas, y de tipo escamas.
- 2º → Inspección de defectos de rayado.
- 3º → Inspección de defectos de cordón o bigote.
- 4º → Inspección de defectos de incrustación.

Dentro del módulo “Vision Assistant” las opciones de bloques de análisis son múltiples y muy variadas, para realizar todo tipo de programaciones relacionadas con la visión artificial. Estas son parte de los bloques con sus correspondientes funciones disponibles:

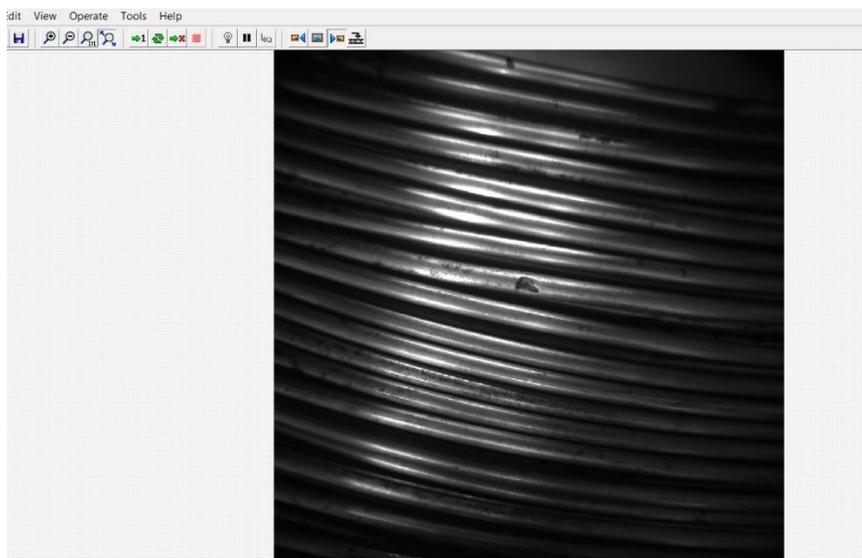


(Ilustracin 9.13 – Algunas de las opciones de anlisis disponibles en el mdulo o subprograma Vision Assistant de Labview)

### 9.3.2.1 Anlisis 1: inspeccin de surcos o marcas, y escamas.

El primer anlisis sigue el mismo procedimiento para conseguir detectar y caracterizar estos dos tipos de defectos. La programacin se realiza atendiendo al ensalzamiento de las posibles zonas oscuras de la superficie del alambrcn, ya que recordando el tipo de iluminacin anular que hemos elegido, los rayos de luz procedentes del anillo se reflejaran en las superficies ideales del alambrcn produciendo brillo, mientras que en las zonas defectuosas no habrn sido capaces de penetrar dando lugar a zonas oscuras que seran los orgenes de los posibles defectos.

En el ensayo en el laboratorio con recortes de alambrcn se dispona de una muestra con defecto de tipo surco como se aprecia en el centro de la siguiente imagen:



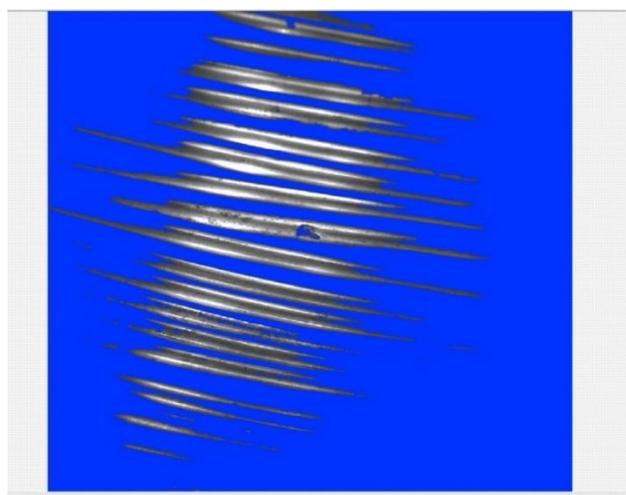
(Ilustración 9.14 – Imagen capturada de los recortes de alambrión a analizar, con uno de ellos con defecto de calidad de surco en su superficie)

Para caracterizar este defecto y realizar su detección se programaron los siguientes bloques:



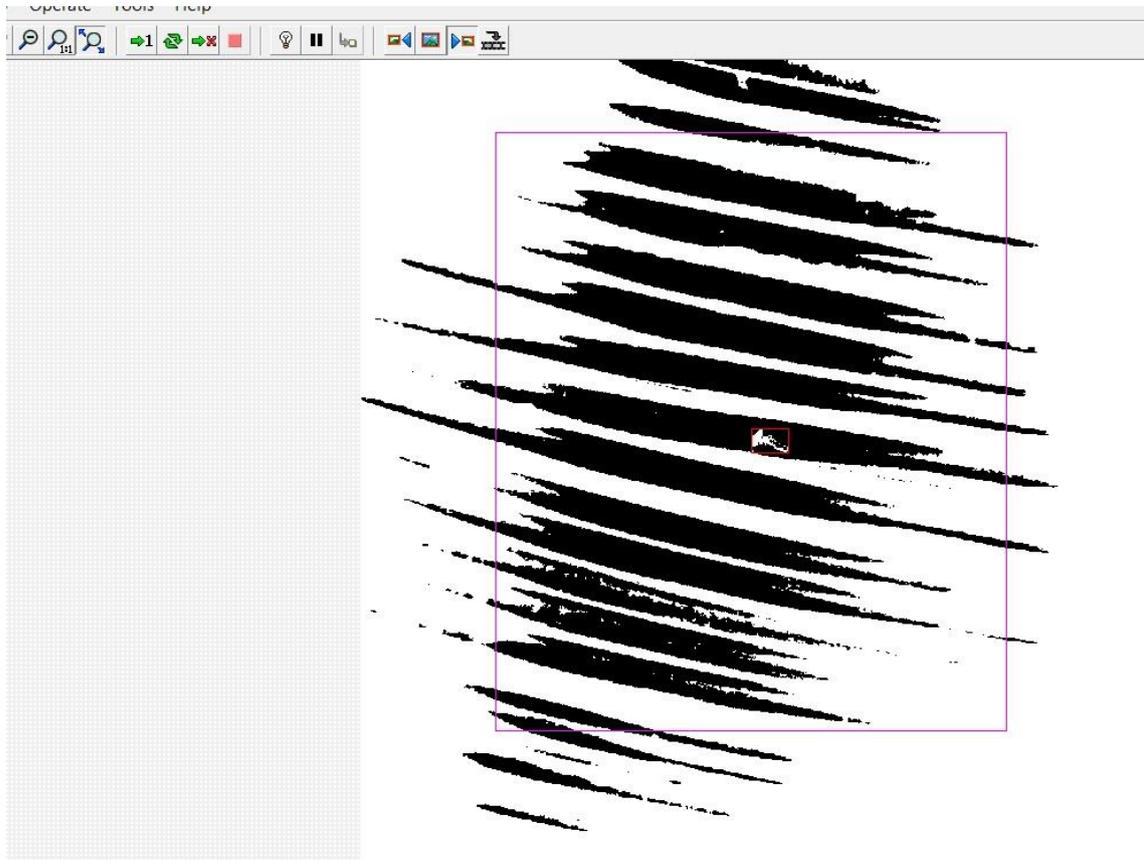
(Ilustración 9.15 – Bloques programados de Vision Assistant para caracterizar el defecto)

El primero informa de que la adquisición está realizándose correctamente. El segundo bloque varía los límites del histograma en escala de grises de forma manual (previamente programado), resaltando las zonas oscuras de la imagen a analizar con el siguiente resultado:



(Ilustración 9.16 – Resultado tras aplicación del bloque programado Threshold)

Con este paso realizado, se buscaba localizar automáticamente los defectos sobre la superficie del alambÓN, para ello se ha hecho uso del tercer bloque “Detect objects”:



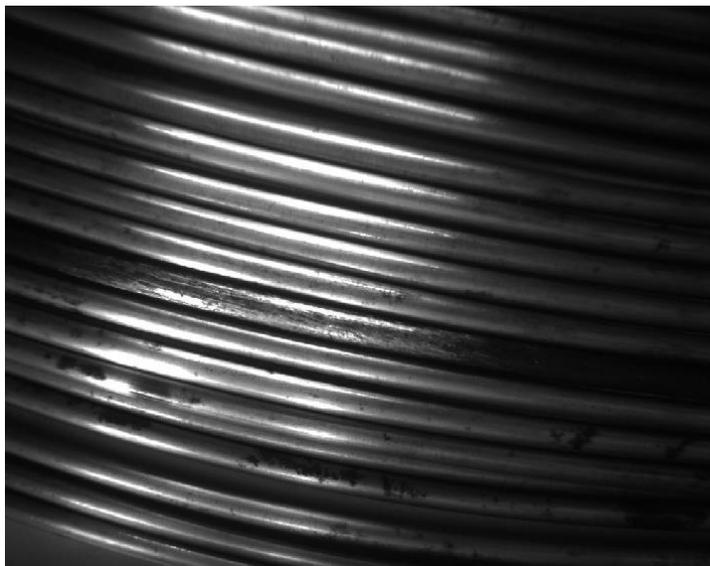
(Ilustración 9.17 – Detección del defecto mediante el bloque programado Detect Objects)

Este bloque trata de detectar píxeles blancos (a los que denomina objetos) que han quedado atrapados dentro de zonas oscuras, para su programación se han establecido límites de dimensiones para desprestigiar otros objetos minúsculos señalados erróneamente por la función del programa, ya que estos no son sino manchas debidas a la oxidación de los recortes de alambÓN. Además, como ya se indicó al comienzo del proyecto, usar un tipo de iluminación artesanal provoca sombras donde no debiera y limita el área de inspección. Finalmente mediante un recuadro rojo, como se ve en la imagen anterior se muestra el lugar donde se halla el objeto, que será el propio defecto.

El último bloque que realiza el programa de este módulo de inspección es un operador lógico, programado de tal forma que produzca una señal de nivel 1 lógico si se detecta algún defecto y una de nivel 0 si no hay ningún defecto. Esta señal binaria será la que se use posteriormente para activar el bloque Excel del VI para que se elabore el informe, así como para activar la salida de la alarma audiovisual.

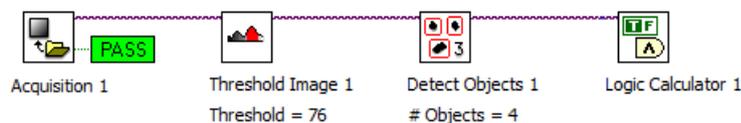
### **9.3.2.2 Análisis 2: inspección de defectos de rayado.**

El procedimiento seguido para detectar este tipo de defectos es muy similar al anterior, con la salvedad de que ahora hay que centrarse en detectar un tipo de fallos con forma de rayas, es decir con menos grosor, más longitudinales y repetitivos en una misma zona. Como el que se observa en la siguiente imagen, en la cuál se puede apreciar un defecto de rayado en uno de los recortes de alambrión que se ha usado en el laboratorio para la demostración práctica del proyecto:



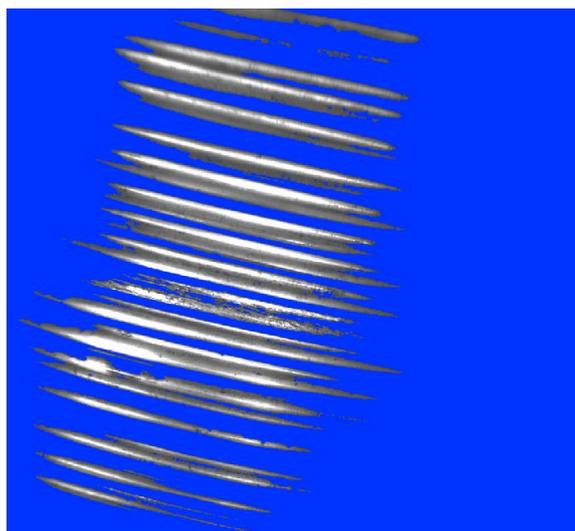
(Ilustración 9.18 – Imagen original de recortes de alambrión, con uno en la zona central con defecto de rayado)

El diagrama de bloques de programación a usar es el mismo que para el error anterior:



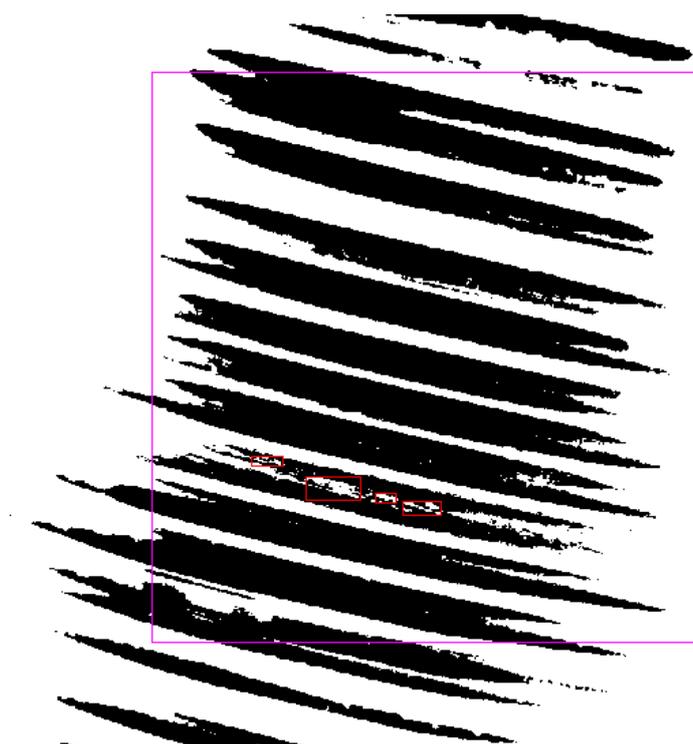
(Ilustración 9.19 – Bloques programados para detectar el defecto de rayado)

Como se puede observar en el bloque de detectar objetos, esta vez ha localizado 4 defectos, todos ellos en el mismo recorte de alambrión, ya que se ha establecido un patrón de búsqueda de defectos con menor tamaño, pero mayor longitud. De usarse el sistema de iluminación propuesto para este proyecto, en este caso, sería muy importante porque se podría resaltar mucho mejor la zona y detectar mejor todos los defectos en forma de rayado.



(Ilustración 9.20 – Resultado tras aplicar el bloque programado Threshold)

En la imagen anterior se aprecia el resultado de la aplicación de la variación en el histograma de grises, para resaltar las zonas oscuras, correspondiente al segundo bloque de programación “threshold”.



(Ilustración 9.21 – Localización de los defectos encontrados tras aplicar el bloque de programación Detect Objects)

En esta última imagen con el bloque de localizar objetos programado, se encuentran 4 defectos de rayado. Para diferenciar este análisis del previo de marcas, surcos y escamas,

en el bloque del operador lógico, se ha establecido que al menos se han de detectar 3 objetos próximos en la misma zona. De ser así, el resultado final al igual que en el caso anterior, es la salida de una señal a nivel 1 lógico con la que se activará el bloque Excel y el puerto serial de la alarma.

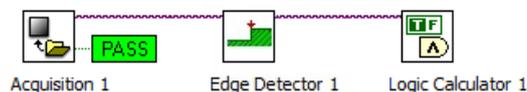
### 9.3.2.3 Análisis 3: inspección de defectos de cordón o bigote.

La muestra o recorte de alambión disponible para analizar aparece en la siguiente imagen:



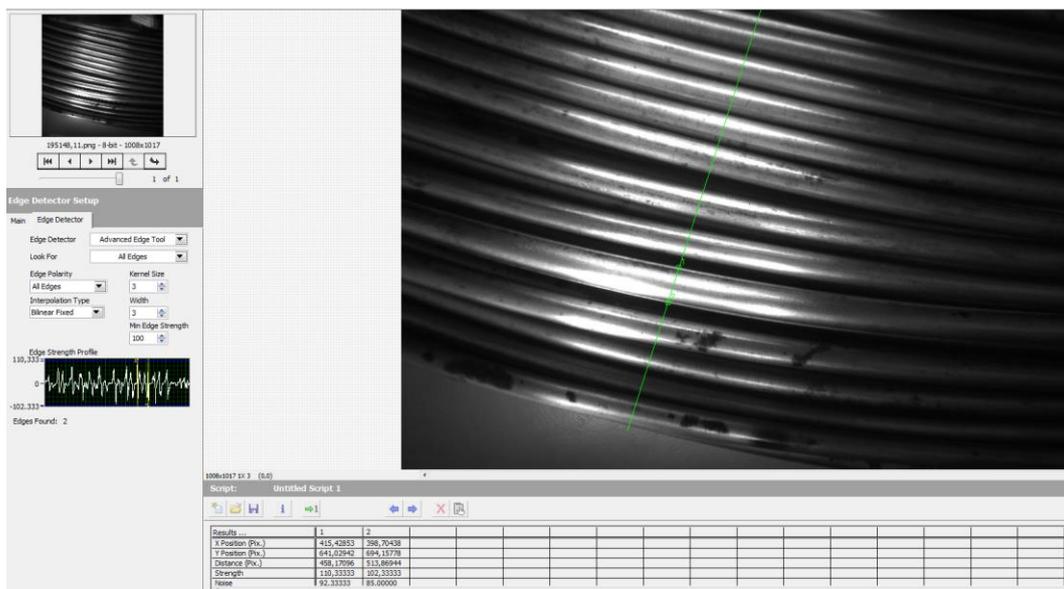
(Ilustración 9.22 – Imagen original capturada de recortes de alambión, con uno con defecto de cordón o bigote en la parte inferior)

Para caracterizar este tipo de defecto se ha usado un bloque de programación distinto a los anteriores:

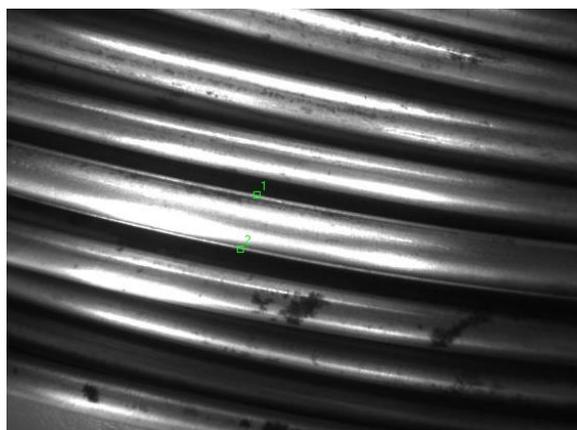


(Ilustración 9.23 – Bloques programados con Vision Assistant para detectar el defecto)

Este segundo bloque “Edge Detector” trata de encontrar los distintos bordes que pueden aparecer en una sección establecida de la imagen. La sección se establece mediante una línea, que en este caso se ha situado tangente a los recortes y a sus bordes. Para obviar los bordes de todos los demás recortes y quedarse únicamente con los del alambión defectuoso, se establecen unas condiciones de tamaño, anchura, fuerza, polaridad y tipo de interpolación. El resultado es el siguiente:

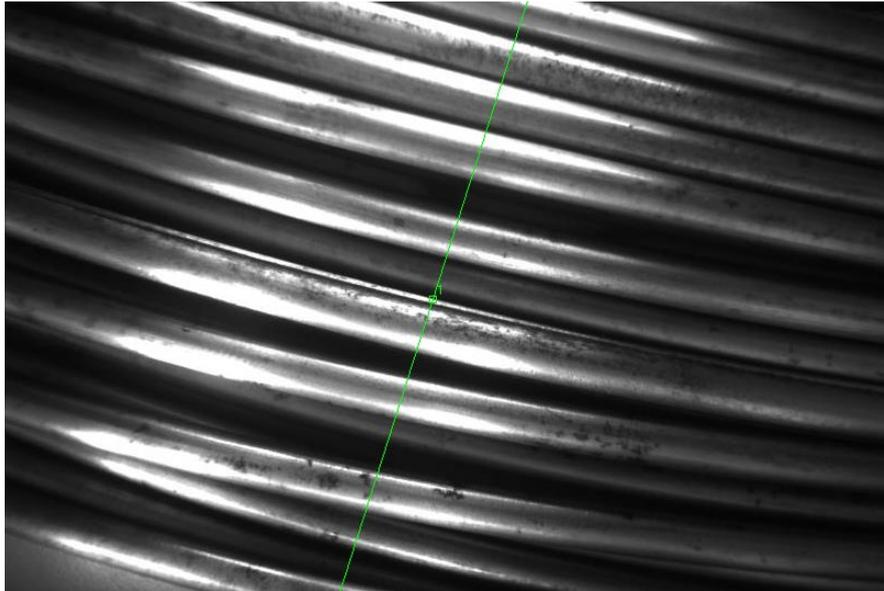


(Ilustración 9.24 – Aplicación tangencial a los recortes del detector de bordes y configuración)



(Ilustración 9.25 – Detección de los bordes que son defecto de cordón)

Para una segunda muestra defectuosa, en la que por su colocación solo se aprecia uno de los cordones o bigotes, el resultado sería:



(Ilustraci3n 9.26 – Detecci3n del defecto cord3n en otro recorte distinto)

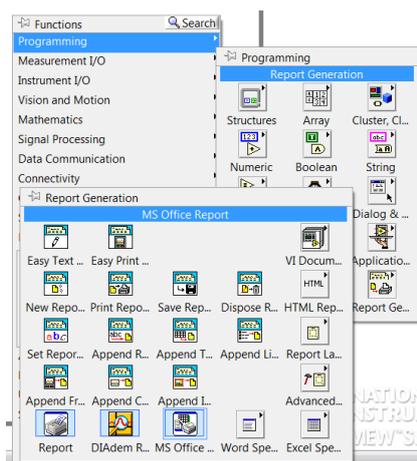
El proceso del bloque siguiente, el operador l3gico, es similar al del resto de an3lisis, si se detecta uno o m3s bordes, se genera una salida de nivel 1, que se usar3 para el resto del proceso de inspecci3n, y si no se detecta el programa seguir3 corriendo e inspeccionando las im3genes adquiridas.

#### **9.3.2.4 An3lisis 4: inspecci3n de defectos de incrustaci3n.**

No ha sido posible la realizaci3n de esta inspecci3n, debido a la falta de una muestra de alambri3n con este tipo de defecto. Las t3cnicas que se usar3an en este caso ser3an muy parecidas a las descritas en los apartados anteriores. Se a3adir3a un nuevo bloque al VI de “Vision Assistant”, as3 como el resto de bloques y conexiones necesarias, pero se necesitar3a establecer un patr3n, que sin disponer del defecto para ensayo, no es posible determinar en este momento.

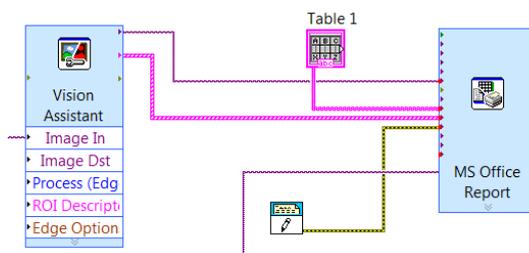
#### **9.3.3 Exportaci3n Excel informe con datos.**

Para la exportaci3n a un documento Excel de un informe en el que aparezcan los datos de error y la imagen del defecto correspondiente, se ha usado el m3dulo “Report Generation Toolkit” de Microsoft Office, como el que aparece en la imagen siguiente:



(Ilustración 9.27 – Llamada al bloque MS Office Report desde el VI de Labview)

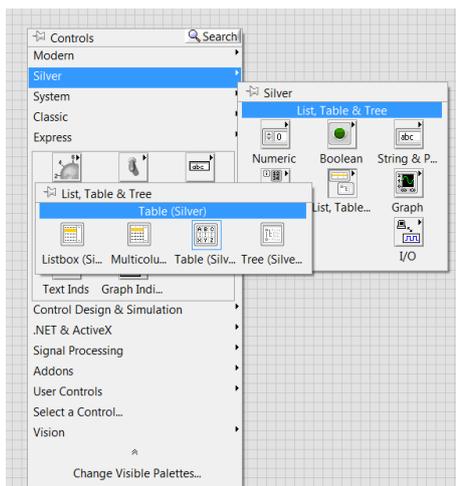
Este bloque, como ya se visualizó en el diagrama VI inicial, se conecta a la salida de cada bloque de análisis de defectos “Vission Assistant”.



(Ilustración 9.28 – Conexión de las entradas del bloque MS Office Report)

La primera de sus entradas es la misma señal binaria que activa la sirena audiovisual, conectada a la entrada “Enable” para activar el bloque “MS Office” correspondiente en caso de defecto. Las dos siguientes entradas son la imagen original proveniente de “Image out” y la imagen ya caracterizada con el defecto señalado proveniente del bloque “Vision Assistant”, conectadas a las pestañas “Graph1\_Data\_Input” y “Graph2\_Data\_Input” respectivamente. La cuarta entrada corresponde a un bloque que inserta el título elegido con el que se abrirá el documento Excel, conectado a “Title1\_Data\_Input”.

Finalmente, la quinta entrada es una tabla previamente creada en el panel frontal del VI para cada bloque, que será la encargada de mostrar en el informe Excel el tipo de defecto encontrado, su posible origen y la medida a adoptar para solucionarlo, y se conecta a “Table1\_Data\_Input”.



(Ilustración 9.29 – Llamada a las tablas que contendrán los datos del defecto)

Table 1			
DEFECTO ENCONTRADO	TIPO:	POSIBLE ORIGEN:	POSIBLE SOLUCIÓN:
	Marcas / Surco	Estampadora o formador de espiras.	Verificar el estado de la estampadora

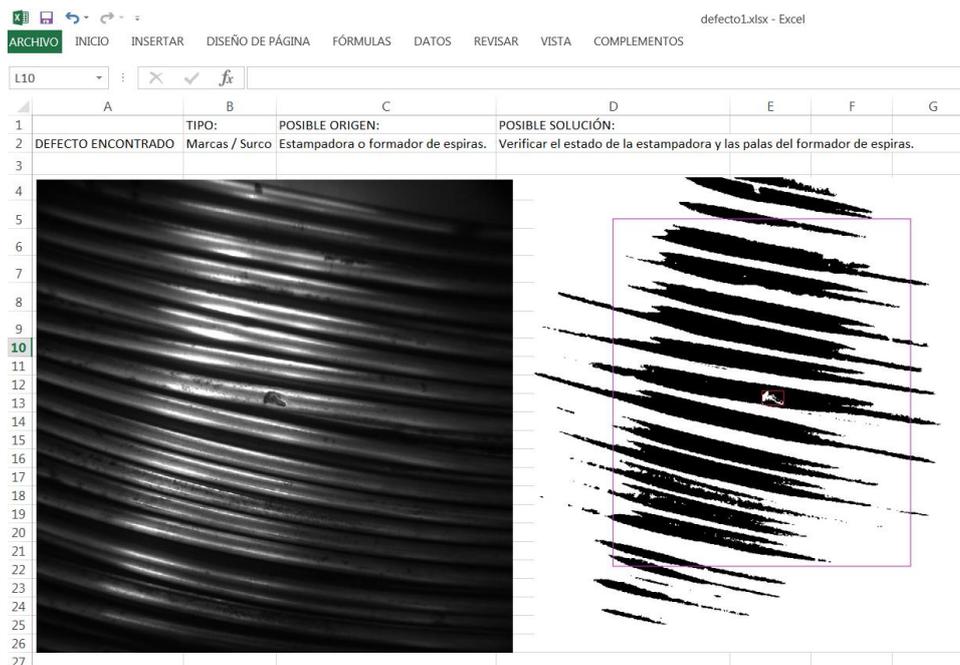
Table 2			
DEFECTO ENCONTRADO	TIPO:	POSIBLE ORIGEN:	POSIBLE SOLUCIÓN:
	Rayado	Formador de espiras o roce con las guías.	Localizar la pieza dañada y sustituirla.

Table 3			
DEFECTO ENCONTRADO	TIPO:	POSIBLE ORIGEN:	POSIBLE SOLUCIÓN:
	Cordón / Bigote	Exceso de material en la laminación, temperatura	Comprobar todas las c

(Ilustración 9.30 – Creación del contenido de las tablas que se conectarán al bloque MS Office Report correspondiente)

El resultado final al ejecutar el programa, y encontrar por ejemplo el defecto de surco, es la generación en Excel del siguiente documento:



(Ilustración 9.31 – Generación del informe en Excel para defecto de tipo Surco encontrado)

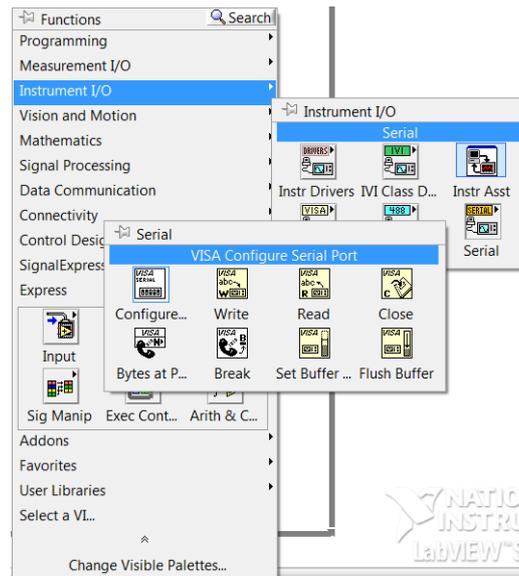
O para el defecto de tipo cordón / bigote:



(Ilustración 9.32 – Generación del informe en Excel para defecto de tipo Cordón encontrado)

### 9.3.4 Activación alarma audiovisual.

La activación de la alarma audiovisual dependerá de que se active la salida del puerto serial DB9 al que se encontrará conectada. Para que dicha salida se active o desactive, habría que usar el bloque siguiente:

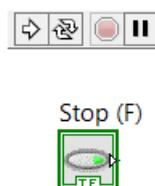


(Ilustración 9.33 – Llamada al bloque que configura las salidas Serial disponibles)

Este bloque irá conectado a la salida de una puerta OR junto con las señales del resto de inspecciones como entradas, de manera que si el estado de alguna de las entradas fuese un 1 lógico, la salida de la puerta OR sería también positiva y activaría el bloque programado para activar la salida serial DB9 y con ella la alarma audiovisual.

### 9.3.5 Parada y reanudación del sistema.

Para producir la parada instantánea del sistema de inspección existe un pulsador de paro, “stop”, y para reanudar el sistema una flecha de arranque como los que se muestran a continuación:



(Ilustración 9.34 – Botones de inicio, parada y reanudación del programa VI de Labview)

## CAPÍTULO 10: PLANIFICACIÓN

### 10.1 DIAGRAMA DE PERT.

Se ha elaborado un diagrama de PERT donde se programan la realización de dos grupos de actividades, con su duración en horas:

- ➔ **Actividades “A” hasta “G”:** Estas actividades representan la evolución en la elaboración de este proyecto.
- ➔ **Actividades “H” hasta “P”:** Estas actividades representan la planificación aproximada que habría que seguir en el caso de realizarse realmente este proyecto propuesto.

	<i>Actividad</i>	<i>Duración (horas)</i>	<i>Predecesora</i>
<b>A</b>	Definición, desarrollo del proyecto y tutorías	55h	N/a
<b>B</b>	Búsqueda de información y estudio	35h	A
<b>C</b>	Elección entre las distintas alternativas de diseño	20h	B
<b>D</b>	Construcción del prototipo e instalación de softwares	25h	C
<b>E</b>	Pruebas y ensayos en laboratorio del prototipo	55h	D
<b>F</b>	Programación y demostración de su funcionamiento	40h	E
<b>G</b>	Escritura de la memoria y preparación de la presentación	80h	B C y F
//	////////////////////////////////////	////////////////////////////////	////////////////////////////////
<b>H</b>	Aprobación y adquisición del proyecto	5h	G
<b>I</b>	Estudio del lugar físico de implantación	10h	H
<b>J</b>	Mejoras o cambios en función de las necesidades	60h	I
<b>K</b>	Compra y entrega de materiales	6h	I y J
<b>L</b>	Montaje e instalación del sistema	24h	K
<b>M</b>	Cableado y conexionado	8h	K
<b>N</b>	Programación de todos los elementos	20h	L y M

Ñ	Verificación del correcto funcionamiento	2h	N y O
O	Ajustes	2h	N
P	Limpieza final y recogida de los instrumentos empleados	2h	Ñ

### - SECUENCIA DE ACTIVIDADES:

El proyecto comienza con la definición del mismo, el aprendizaje de las técnicas a usar y consultas con el tutor del proyecto, para empezar con su desarrollo.

Una vez establecidas las pautas a seguir, comienza la elección entre las distintas alternativas y técnicas de diseño disponibles actualmente. Posteriormente se construye el prototipo más similar al elegido para el proyecto, teniendo en cuenta las limitaciones de presupuesto y material.

Tras este paso se realizan las distintas pruebas y ensayos en el laboratorio del prototipo, atendiendo a su programación y demostración de funcionamiento.

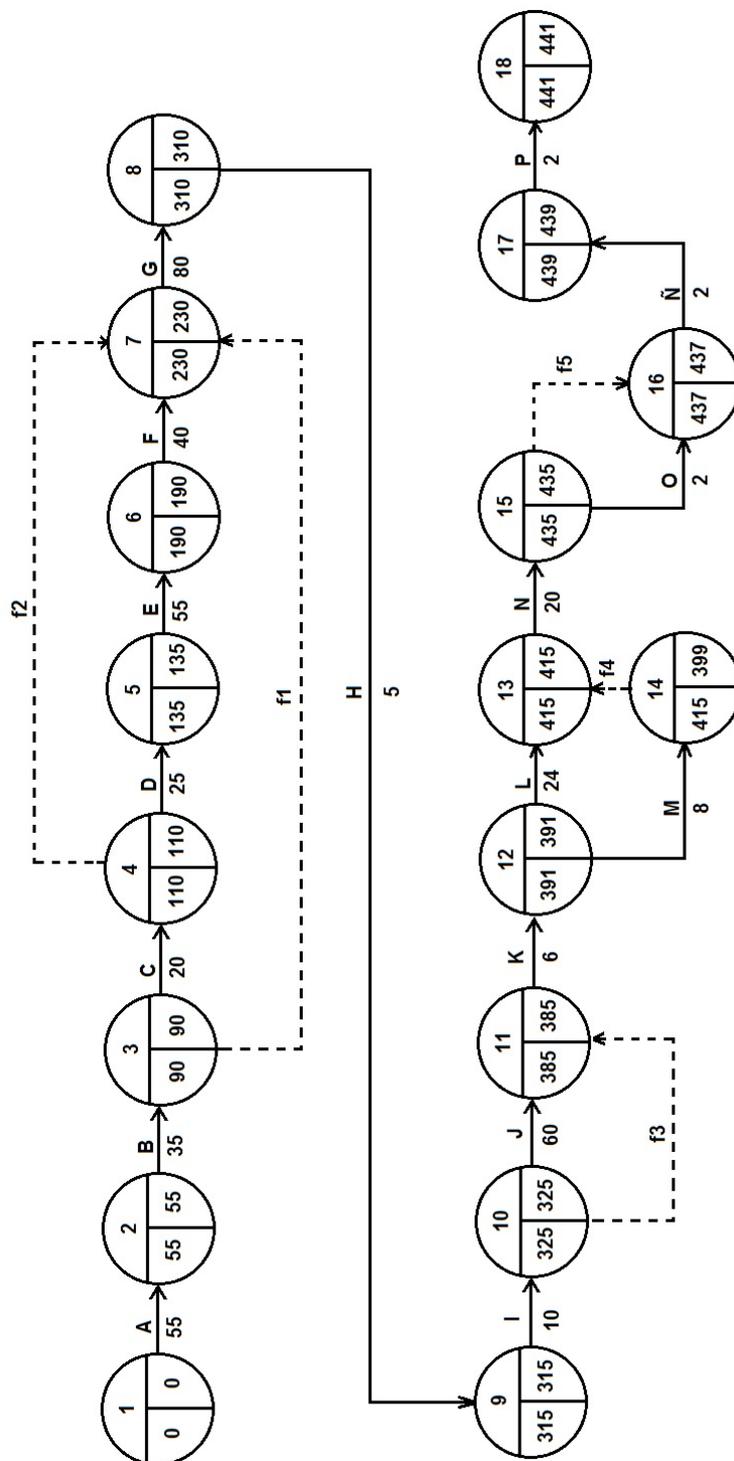
Con la realización escrita de la memoria de todo lo acontecido y la elaboración de la presentación, finaliza el proyecto propuesto.

Sí este proyecto se aprobase, adquiriese e instalase físicamente, continuarían las actividades. En primer lugar habría que estudiar el lugar de implantación del sistema, para cerciorarse de los tiempos, medidas, ambiente y el resto de condiciones que podrían afectar al diseño. Se realizarían cambios o mejoras en el sistema si fuese necesario.

Tras estos pasos se continuaría con la compra y recepción de todos los equipos y materiales que forman el sistema. Una vez en posesión de, podría comenzar la instalación, montaje y cableado de éstos por dos técnicos, un oficial de 1ª y un oficial de 2ª. Finalmente acudiría a la instalación un analista programador informático cualificado, el cuál sería el encargado de programar todos los elementos del sistema, verificar su correcto funcionamiento y realizar los ajustes oportunos.

La instalación finalizaría con la limpieza, y recogida de los instrumentos empleados.

A continuación se muestra el diagrama PERT con una duración final de 441 horas:



## **CAPÍTULO 10: VALORACIÓN FINAL**

El objetivo de este proyecto era diseñar un sistema de visión artificial robotizado para realizar la inspección de defectos superficiales de bobinas de alambión en el proceso final de un tren de laminación de acero.

La motivación para su elaboración era demostrar la posible aplicación de la visión artificial y la robótica para automatizar procesos de control de calidad, y reducir con ello los errores humanos.

En la demostración práctica se encontraron bastantes limitaciones, si se hubiese dispuesto de un presupuesto para poder comprar los elementos y construir el prototipo ideal, sobre todo el sistema de iluminación, y se hubiese dispuesto también de recortes de alambión en mejor estado, sin manchas de óxido y de más recortes con muestras de los distintos defectos superficiales que pueden acontecer, se habrían alcanzado resultados mucho mejores en el análisis y la programación.

Aun así y para finalizar, se puede considerar que los objetivos propuestos se han alcanzado y han quedado bien descritos y demostrados mediante la elaboración teórica y práctica de este proyecto.

# **DOCUMENTO II**

## **ANEXOS**

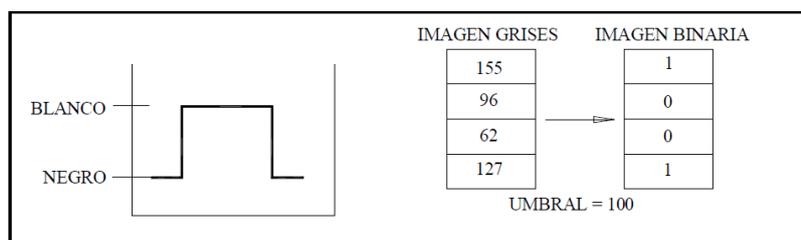
## INDICE ANEXOS

ANEXO 1: CONOCIMIENTOS PREVIOS ADICIONALES.....	86
A.1.1 METODOS DE CAPTACION DE LAS IMAGENES.....	86
A.1.1.1 Diagrama de bloques del proceso.....	86
A.1.2 CAMARAS LINEALES.....	87
A.1.2.1 Propiedades cámaras lineales.....	87
A.1.3 ELEMENTOS DE LAS OPTICAS.....	88
A.1.4 SENSORES DE IMAGEN.....	88
A.1.4.1 Sensor CCD.....	89
A.1.4.2 Sensor CMOS.....	91
A.1.4.3 Sensores CCD vs CMOS.....	92
ANEXO 2: CALCULOS.....	94
A.2.1 POSICIONES DEL MANIPULADOR ROBOTICO.....	94
A.2.2 CALCULO DE LA DISTANCIA FOCAL.....	95
ANEXO 3: SOLUCION DE ILUMINACION ALTERNATIVA.....	97
ANEXO 4: MANUALES Y HOJAS DE CARACTERISTICAS.....	99
ANEXO 5: DOCUMENTACION GENERADA.....	100
A.5.1 CAPTURAS SELECCIONADAS PARA SU ANALISIS.....	100
A.5.2 SOFTWARE GENERADO.....	100

## ANEXO 1: CONOCIMIENTOS PREVIOS ADICIONALES

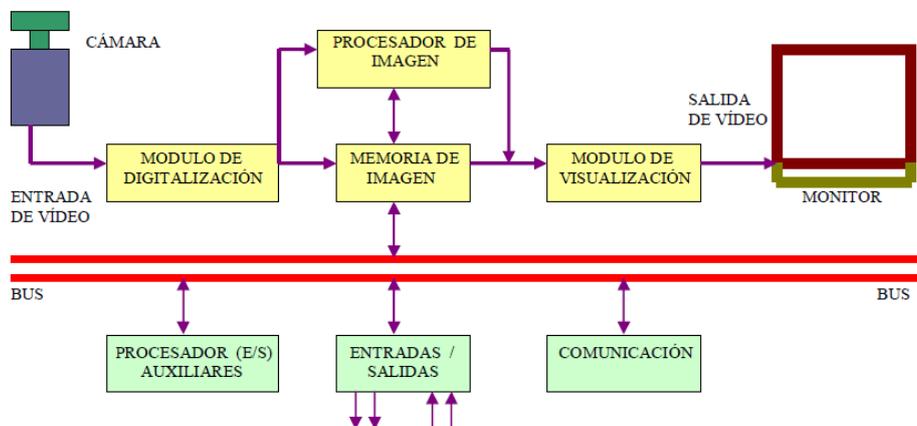
### A.1.1 Métodos de captación de las imágenes:

- Digital: La función obtenida tras el resultado de la medida o muestreos realizados a intervalos de tiempo espaciados regularmente, siendo el valor de dicha función un número positivo y entero. Los valores que esta función toma en cada punto dependen del brillo que presenta en esos puntos la imagen original.
- Píxel: Una imagen digital se considera como una cuadrícula. Cada elemento de esa cuadrícula se llama Píxel (Picture element). La resolución estándar de una imagen digital se puede considerar de 512x484 Pixel.
- Nivel de grises: Cuando una imagen es digitalizada, la intensidad del brillo en la escena original correspondiente a cada punto es cuantificada, dando lugar a un número denominado “nivel de gris”.
- Imagen binaria: Es aquella que sólo tiene dos niveles de gris: negro y blanco. Cada píxel se convierte en negro o blanco en función del llamado nivel binario o UMBRAL.



- Escena: Es un área de memoria donde se guardan todos los parámetros referentes a la inspección de un objeto en particular: Cámara utilizada, imágenes patrón memorizadas, tolerancias, datos a visualizar, entradas y salidas de control, etc.

#### A.1.1.1 Diagrama de bloques del proceso:



(Ilustración 6.13 – Diagrama de bloques del proceso de digitalización de las imágenes)

- **Módulo de digitalización.** Convierte la señal analógica proporcionada por la cámara a una señal digital (para su posterior procesamiento).
- **Memoria de imagen.** Almacena la señal procedente del módulo de digitalización.
- **Módulo de visualización.** Convierte la señal digital residente en memoria, en señal de vídeo analógica para poder ser visualizada en el monitor de TV.
- **Procesador de imagen.** Procesa e interpreta las imágenes captadas por la cámara.
- **Módulo de entradas/salidas.** Gestiona la entrada de sincronismo de captación de imagen y las salidas de control que actúan sobre dispositivos externos en función del resultado de la inspección.
- **Comunicaciones.** Vía I/O, ethernet, RS232, cameralink, USB.

### A.1.2 Cámaras lineales.

Las cámaras lineales construyen la imagen línea a línea realizando un barrido del objeto. Utilizan un sensor lineal, de forma que la cámara se desplaza con respecto al objeto a capturar, o bien el objeto se desplaza con respecto a la cámara.

La tecnología de cámaras lineales fue desarrollada para aplicaciones de inspección de materiales fabricados en continuo, como papel, tela, planchas metálicas, etc. Sin embargo en la actualidad se está imponiendo en muchos otros procesos productivos y de inspección, que requieren alta resolución y / o alta velocidad a un precio competitivo.

Las cámaras lineales utilizan sensores lineales que acostumbran a tener entre los 512 y 12.000 elementos (píxeles), con una longitud lo más corta posible, y con una gran calidad con el fin de obtener la mejor sensibilidad y prestaciones. El hecho de construir imágenes de alta calidad a partir de líneas individuales, requiere de una alta precisión. La alineación y el sincronismo del sistema son críticos si se quiere obtener una imagen precisa del objeto a analizar. Las cámaras lineales por tanto pueden capturar una imagen de una anchura conocida (el tamaño del sensor) y de una longitud ilimitada.

#### A.1.2.1 Propiedades cámaras lineales:

· Número de elementos del sensor: A mayor número de elementos (píxeles) mayor tamaño tendrá de la óptica.

· Velocidad: Número de píxeles capaces de ser leídos por unidad de tiempo. En las cámaras lineales es un valor mucho más alto que en las matriciales. En las cámaras de última generación se alcanzan velocidades superiores a los 200 Mhz.

·**Cámaras lineales a color:** A diferencia de las monocromas, tienen tres sensores lineales, uno para cada color (rojo verde y azul) y pueden ser de dos tipos:

- *Trisensor:* Los sensores de imagen están posicionados unos junto a otros separados por un pequeño espacio. Tienen una buena sensibilidad pero solo pueden utilizarse en aplicaciones con superficies planas.
- *Prisma:* Los sensores están posicionados en las tres caras de un prisma. Pueden utilizarse para cualquier tipo de aplicación pero necesitan de una mayor iluminación.

### A.1.3 Elementos de las ópticas.

- Anillo de enfoque: Cuanto más cerca enfocamos, más sobresale el objetivo.
- Diafragma: Se gira para seleccionar la entrada de luz a la cámara. Su escala suele ser: 16,11,...,1.8. A mayor número seleccionado, menor abertura del diafragma y mayor profundidad de campo.
- Velocidad de obturación: Selecciona el tiempo que estará abierto el diafragma. Su escala suele ser: 1/1, 1/2, 1/250, 1/ 1000. Para obtener por ejemplo imágenes nítidas de objetos que se desplazan a gran velocidad hay que seleccionar velocidades de obturación altas.
- Longitud focal: Valor en milímetros que nos informa de la distancia entre el plano focal (CCD) y el centro del objetivo.
- Profundidad de campo: Espacio en el cual se ve el objeto totalmente nítido. Depende de la longitud focal de la lente empleada.
- Precisión de la medida: Depende exclusivamente del campo de medida y de la resolución de la cámara. Ejemplo: si el campo de visión fuese de 10x10 mm y utilizásemos una cámara de 752x752 píxeles, la precisión de la medida en cada eje sería de  $10/752 = 0,013$  mm/píxel, o lo que es lo mismo, para este caso un píxel equivaldría a 13 milésimas de milímetro.

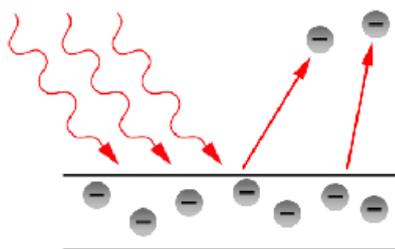
### A.1.4 Sensores de imagen.

Un sensor de imagen es un tipo de circuito integrado, con forma de chip, usado principalmente en las cámaras fotográficas y cámaras de video.



(Ilustración 6.15 – Esquema posición y funcionamiento de un sensor CCD en una cámara fotográfica Canon)

Su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico (descrito teóricamente por Einstein en 1905, quién ganó un premio nobel años después gracias a ello). La luz es energía que se transmite por medio de fotones en forma de ondas electromagnéticas, cuando un fotón incide sobre una superficie, si tiene la suficiente energía conseguirá arrancar algunos electrones del material. Con estos electrones se podrá generar después una corriente eléctrica aprovechable.



(Ilustración 6.16 – Efecto fotoeléctrico sobre una superficie cargada de electrones)

→ **Los dos tipos de sensores más usados son:**

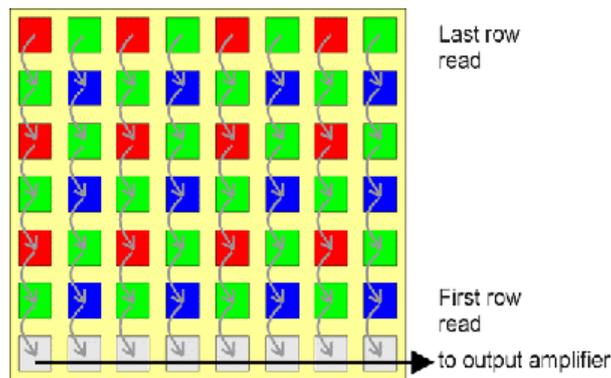
- **CCD** (Charge Coupled Device =Dispositivo de acoplamiento de carga).
- **CMOS** (Complementary Metal Oxide Semiconductor = Semiconductor de óxido metálico complementario).

Ambos están formados por semiconductores de metal-óxido (MOS), y distribuidos en forma de matriz. Su función es acumular carga eléctrica (los electrones que antes decíamos que se arrancan, acaban en un condensador) en cada una de las celdas de esta matriz, llamadas píxeles. A mayor intensidad de luz, más electrones se arrancan y mayor es la carga eléctrica almacenada. Dependiendo de esta carga se tendrá diferente voltaje que será una de las variantes que determine el color del píxel.

#### **A.1.4.1 Sensor CCD.**

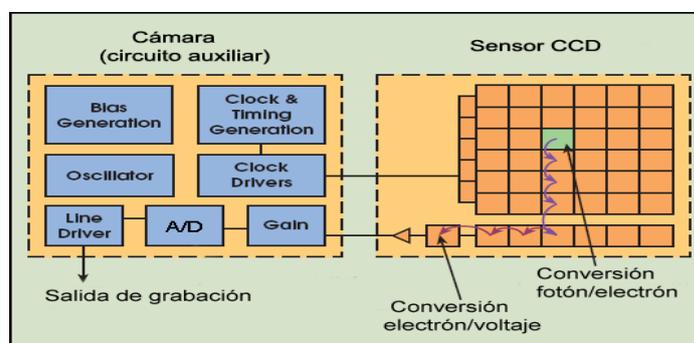
Se trata de un tipo de sensor de imagen formado principalmente por fotodiodos, uno por pixel, y condensadores enlazados. Su funcionamiento es el siguiente:

Al recibir luz los fotodiodos se produce el efecto fotoeléctrico y la corriente eléctrica que generan es conducida hasta los condensadores que se cargan. Bajo el control de un circuito interno, cada condensador puede transferir su carga a uno o a varios de los condensadores que estén a su lado en el circuito impreso. De esta manera, se convierten las cargas de estos en niveles determinados de voltajes, los cuales se entregan en forma de señal analógica a la salida de cada fila, dando lugar a la señal de lectura en el registro de salida del sensor.



(Ilustración 6.17 – Lectura del registro de salida en un sensor CCD)

Esta señal es amplificada y digitalizada a un valor por la cámara mediante un conversor Analógico/Digital (es decir convertido en datos). Dependiendo del número de bits del conversor se obtiene una imagen con mayor o menor gama de color. Con un solo bit por ejemplo, solo podríamos dar valores 0 y 1 a los píxeles, luego la imagen sería monocroma. Lo normal son 8 bits,  $2^8$ , suficiente para que cada pixel pudiese tomar 256 variaciones distintas de color.

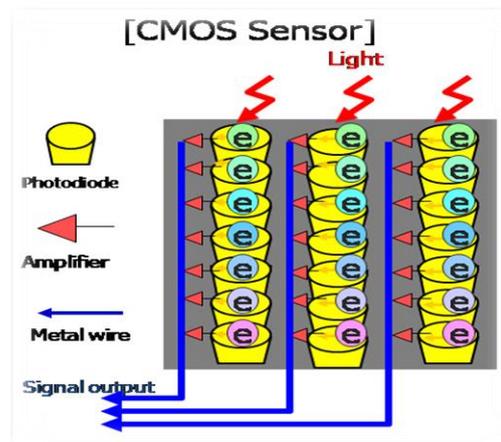


(Ilustración 6.18 – Diagrama funcionamiento de una cámara con un sensor del tipo CCD)

Una vez que la fila ha sido leída su carga en el registro de salida se borra y se lee la siguiente fila, y así sucesivamente con todas. La carga de cada fila esta acoplada a la de encima, así cuando una se mueve hacia abajo, la otra ocupa su lugar hacia abajo también.

#### A.1.4.2 Sensor CMOS.

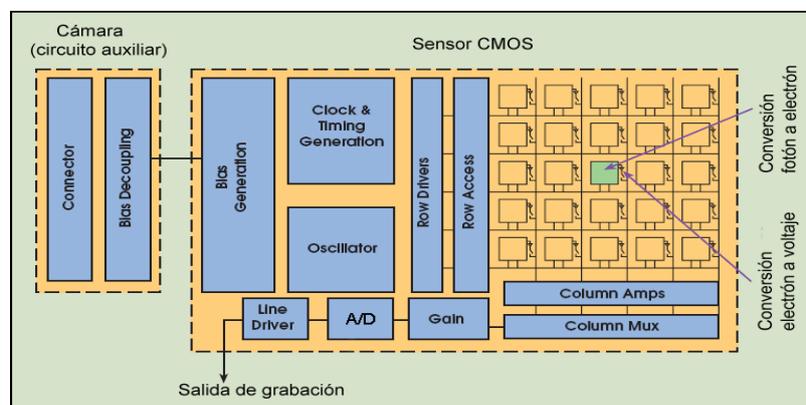
Su principal diferencia con el CCD es que aquí cada pixel es independiente. Además incorpora un amplificador de la señal eléctrica en cada fotodiodo. La digitalización o conversión analógica/digital de los píxeles en un sensor de imagen CMOS se realiza internamente en unos fototransistores que lleva cada pixel



(Ilustración 6.19 – Lectura del registro de salida en un sensor CMOS)

Gracias a este tipo de funcionamiento, todo el trabajo se lleva a cabo dentro del sensor y no es necesario un chip externo encargado de esta función, como ocurría en los sensores CCD. Esto ofrece dos grandes ventajas:

- Reducción de costes.
- Posibilidad de fabricación de equipos más pequeños.



(Ilustración 6.20 – Diagrama de funcionamiento de una cámara con un sensor CMOS)

### **A.1.4.3 Sensores CCD vs CMOS:**

Las ventajas o desventajas de los sensores CCD y CMOS que hay que tener en cuenta a la hora de elegir la cámara más adecuada son:

- En relación al precio; los sensores CCD son más caros que los CMOS, ya que están fabricados siguiendo un proceso no estandarizado y complejo para ser incorporados a una cámara. Sin embargo los CMOS son más baratos y consumen menos, ya que los amplificadores de señal se encuentran en la propia celda.
- En cuanto a tamaño se refiere; son más grandes los sensores del tipo CCD, debido a que además del sensor necesitan incorporar un convertidor A/D.
- En el rango dinámico; que es la relación entre la sensibilidad luminosa máxima para que no saturen los píxeles, y el umbral mínimo de luz por debajo del cual el sensor no capta señal, el CCD supera al CMOS. Por ese motivo, la mayoría de las cámaras de móviles cuando hay poca luz y sin usar el flash hacen fotos demasiado oscuras.
- En cuanto a los errores debido al ruido; también son superiores los CCD. Debido a que el procesado de la señal se lleva a cabo en un chip externo, el cual puede optimizarse mejor para realizar esta función. En cambio en el CMOS, al realizarse todo el proceso de la señal dentro del mismo sensor, los resultados serán peores, pues hay menos espacio para colocar los fotodiodos encargados de recoger la luz.
- Por último en velocidad; vencen los CMOS, debido a que todo el procesado se realiza dentro del propio sensor. Lo que permite mayores FPS (disparos por segundo), y les hace superiores para grabar videos y a cámara super lenta.

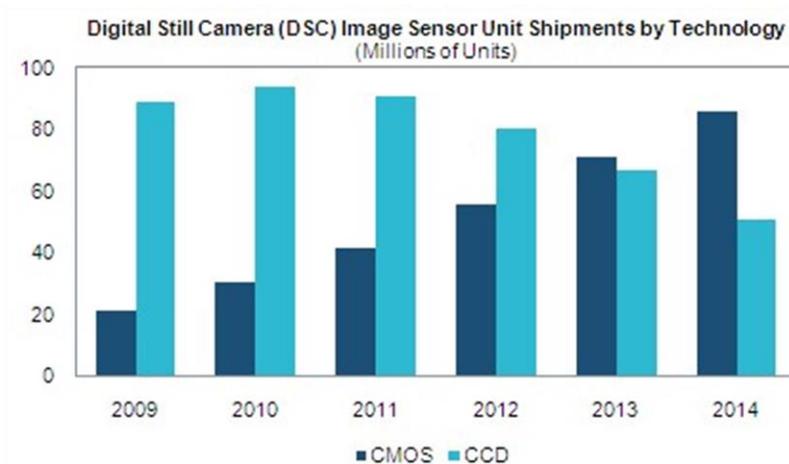
#### **→ Conclusión:**

La calidad de una cámara no depende del tipo de sensor y los píxeles que posea este. También influyen su tamaño, su rango dinámico, la organización de los píxeles y la calidad de la lente.

Por ejemplo, muchas cámaras fotográficas que poseen sensores CMOS se las critica por tener demasiados píxeles en relación al pequeño tamaño del sensor que incorporan. Pues cada píxel es tan pequeño que recoge muy pocos fotones y para poder conservar la relación señal-ruido se tiene que iluminar más el sensor. Esto disminuye la sensibilidad. Los píxeles de mayor tamaño tienden a generar una mejor calidad de imagen y una mayor sensibilidad.

La tecnología CCD está en el límite de desarrollo, pero se sigue usando en cámaras donde se exige la máxima calidad de imagen, como será nuestro caso.

La CMOS sigue en auge de desarrollo, y acabará desbancando completamente a la CCD. De momento gracias a los sensores CMOS conseguimos cámaras con velocidad de ráfaga más alta, precios más bajos y mayor autonomía en las baterías.



(Ilustración 6.23 – Gráfico de barras de evolución de la tecnología CMOS frente a la CCD desde 2009 a 2014, en millones de unidades fabricadas)

## ANEXO 2: CALCULOS.

### A.2.1 POSICIONES DEL MANIPULADOR ROBOTICO.

El factor determinante para el cálculo de las distintas posiciones que deberá tomar el manipulador robótico y generar su correspondiente trayectoria, queda establecido por el tamaño o diámetro del anillo de iluminación LED, debido a que la escena que observará la cámara, denominada región de interés, no podrá ser mayor que el área que está iluminada.

$$\varnothing \text{ Anillo LED} \rightarrow 20.80 \text{ cm}$$

Los otros datos a tener en cuenta para realizar los cálculos, son las dimensiones de la bobina de alambrión:

$$\text{Altura bobina} \rightarrow 150 \text{ cm}$$

$$\varnothing \text{ Bobina} \rightarrow 100 \text{ cm}$$

Como ya se explicó con anterioridad, la inspección se realizará sobre media bobina, luego:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r \quad ; \quad L_{1/2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{2} = \pi \cdot r \quad ; \quad L_{1/2} = 3'1416 \cdot 50 = 157 \text{ cm}$$

Por tanto, sabiendo la longitud que hay que inspeccionar y el tamaño máximo de la región de interés, podemos calcular el número de posiciones horizontales del barrido:

$$N^{\circ} \text{ posiciones} = \frac{L \text{ media bobina}}{\varnothing \text{ Anillo}} \quad ; \quad \frac{157}{20'80} = 7,44 \text{ posiciones}$$

$$L_{\text{inspeccionada}} = 7 \cdot 20'80 = 145'60 \text{ cm}$$

$$L_{\text{inspeccionada}} = 8 \cdot 20'80 = 166'40 \text{ cm}$$

Con 7 posiciones horizontales será suficiente pues se abarcará prácticamente la longitud de media bobina, mientras que si barriésemos 8 posiciones sobrepasaríamos esta longitud de manera innecesaria. Para las posiciones verticales:

$$N^{\circ} \text{ posiciones} = \frac{\text{Altura bobina}}{\varnothing \text{ Anillo}} \quad ; \quad \frac{150}{20'80} = 7,21 \text{ posiciones}$$

Luego con 7 posiciones verticales será bastante, por lo que en total se realizará un barrido de 49 posiciones que darán forma a la trayectoria del manipulador robótico.

## A.2.2 CALCULO DE LA DISTANCIA FOCAL.

Para la elección de la óptica o lente más adecuada, hay que realizar unos cálculos para determinar la distancia focal. Para ello se tomarán en cuenta los siguientes datos:

Región interés  $\rightarrow 20'80$  cm

Pixeles sensor cámara  $\rightarrow 658$  (V) x  $494$  (H)

Tamaño pixel  $\rightarrow 9'9\mu\text{m}$  (V) x  $9'9\mu\text{m}$  (H)

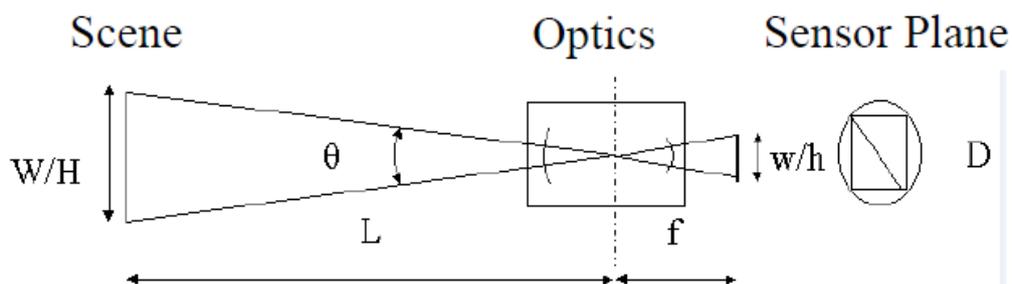
Distancia de trabajo  $\rightarrow 15$  cm

Lo primero será calcular el tamaño del sensor CCD de la cámara en milímetros:

Vertical =  $658 \cdot 9'9 \cdot 10^{-6} = 6'51$  mm ; Horizontal =  $494 \cdot 9'9 \cdot 10^{-6} = 4'89$  mm

Dimensiones sensor  $\rightarrow 6'51\text{mm}$  (V) x  $4'89\text{mm}$  (H)

El siguiente esquema establece la relación entre los distintos factores que influyen en el cálculo de la distancia focal:



$W/H = d_o \rightarrow$  Altura objeto a capturar, región de interés.

$w/h = d_i \rightarrow$  Altura del sensor.

$\theta \rightarrow$  Ángulo desde el que se observa el objeto.

L → Distancia de trabajo al objeto.

D → Diámetro de apertura.

f → Distancia focal.

La relación entre los distintos factores, viene establecida por las siguientes fórmulas:

$$\frac{w}{W} = \frac{h}{H} = \frac{f}{L} ; \theta = 2 \cdot \arctg\left(\frac{D}{2f}\right) ; M = \frac{d_i}{d_o} ; f = \frac{(L \cdot M)}{(M+1)}$$

$$M = \frac{6,51}{208} = 0,03129 ; f = \frac{(150 \cdot 0,03129)}{(0,03129+1)} = 4,5522 \text{ mm}$$

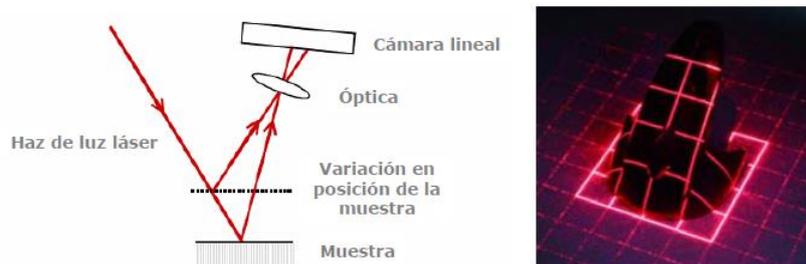
Atendiendo a la siguiente tabla de clases de lentes y teniendo en cuenta los cálculos realizados, se elegirá la óptica más adecuada:

Model	Focal Length (mm)	Aperture (mm)	Distance (mm)	Format	Thread Filter(0,5)	Ø	Length (mm)
IN23514	3.5	1.4	200	1/2"		31	39
IN24514	4.5	1.4	200	1/2"	25.5	31	37.6
IN26014	6	1.4	200	1/2"	27.0	30	30
IN38014	8	1.4	200	2/3"	27	32.5	36.7
IN21214	12	1.4	300	1/2"	27	30	34.5
IN31614	16	1.4	400	2/3"	27	30	24.5
IN32514	25	1.4	400	2/3"	27	30	24.5
IN33519	35	1.9	400	2/3"	30.5	30	28
IN35018	50	1.8	1000	2/3"	30.5	32	37.3
IN37527	75	2.7	1000	2/3"	30.5	32	42.5
IN310035	100	3.5	1000	2/3"	30.2	32	44.2

## ANEXO 3: SOLUCIÓN DE ILUMINACIÓN ALTERNATIVA.

Como ya se ha introducido en el apartado de iluminación, una de las alternativas actuales para formar parte de un sistema de visión artificial es el uso del láser, que para este proyecto encajaría a la perfección, aunque su implantación sería más cara y compleja. Entre sus ventajas destacan su elevada resolución y su velocidad de captura de datos que permiten grabar múltiples puntos al mismo tiempo.

El funcionamiento del láser aplicado a este caso se trataría de un tipo de inspección que generaría una visión 3D del alambrión, de la manera siguiente:



Para implementarlo se usaría un emisor láser, un dispositivo que genera un haz de luz coherente monocromática de alta densidad capaz de proyectar un patrón conocido de píxeles en la escena. La manera en que dicho patrón se deformaría al golpear la superficie del alambrión permitiría a los sistemas de visión mediante algoritmos de triangulación calcular la profundidad, altura e información de la superficie, y así detectar las posibles imperfecciones o defectos.

La cámara adquiriría la imagen del perfil del láser reflejado sobre el objeto, dicho perfil constituye el elemento básico a usar para la digitalización, mientras que la forma de la línea variaría en función de la sección del alambrión.

Comparando el perfil láser con una sección real, se observaría la deformación perspectiva que la imagen del perfil ha sufrido debido al ángulo de visión de la cámara y la oclusión de las paredes verticales del objeto. El funcionamiento básico del sistema de escaneado consistiría en repetir la adquisición de la imagen, a medida que la cámara y el láser se desplazarían sobre la bobina.

Estos pasos describen sólo el principio de la tecnología del escaneado que permitiría obtener una reconstrucción de la bobina. Faltaría tener en cuenta la deformación perspectiva, la aberración óptica provocada por la lente, la implementación que deriva de la discretización de los perfiles (el sensor los convierte en un conjunto discreto de puntos) y las

transformaciones no lineales necesarias para resolver las distorsiones que provocaría la cámara.

Todos estos aspectos habría que tratarles mediante algoritmos de programación con un software apropiado.

## **ANEXO 4: MANUALES Y HOJAS DE CARACTERÍSTICAS**

Las hojas de características o “datasheets” y manuales de los distintos elementos que componen el sistema de visión artificial robotizado, se encuentran en una subcarpeta de la carpeta “ANEXOS” adjunta a este documento, denominada:

<Carpeta> “Manuales y hojas de características”.

Los archivos .pdf que contiene son los siguientes:

Manual MAX232 Board.

Datasheet Alarma Audiovisual SOS1200S.

Manual Manipulador Robótico KR16 KUKA.

Frame Grabber NI PCIe-1433 User Manual and Specifications.

Manual Unidad de Control KRC-4.

Camera A301f Users Manual.

## **ANEXO 5: DOCUMENTACION GENERADA**

### **A.5.1 CAPTURAS SELECCIONADAS PARA SU ANALISIS.**

Las imágenes seleccionadas entre muchas capturas realizadas, con las que se ha trabajado finalmente para analizarlas y demostrar su caracterización de defectos mediante Labview, se encuentran en una subcarpeta de la carpeta “ANEXOS” adjunta a este documento, denominada:

<Carpeta> “Capturas seleccionadas para su posterior análisis”. Esta carpeta contiene un archivo comprimido:

Imágenes seleccionadas.zip

### **A.5.2 SOFTWARE GENERADO.**

Los archivos generados por LabView, los generados por el programa RobotExpert de Siemens y los Excel, se encuentran en una subcarpetas de la carpeta “ANEXOS” adjunta a este documento, denominada:

<Carpeta> “Software generado”. La cuál contiene tres archivos comprimidos:

Labview.zip

RobotExpert.zip

Excel.zip

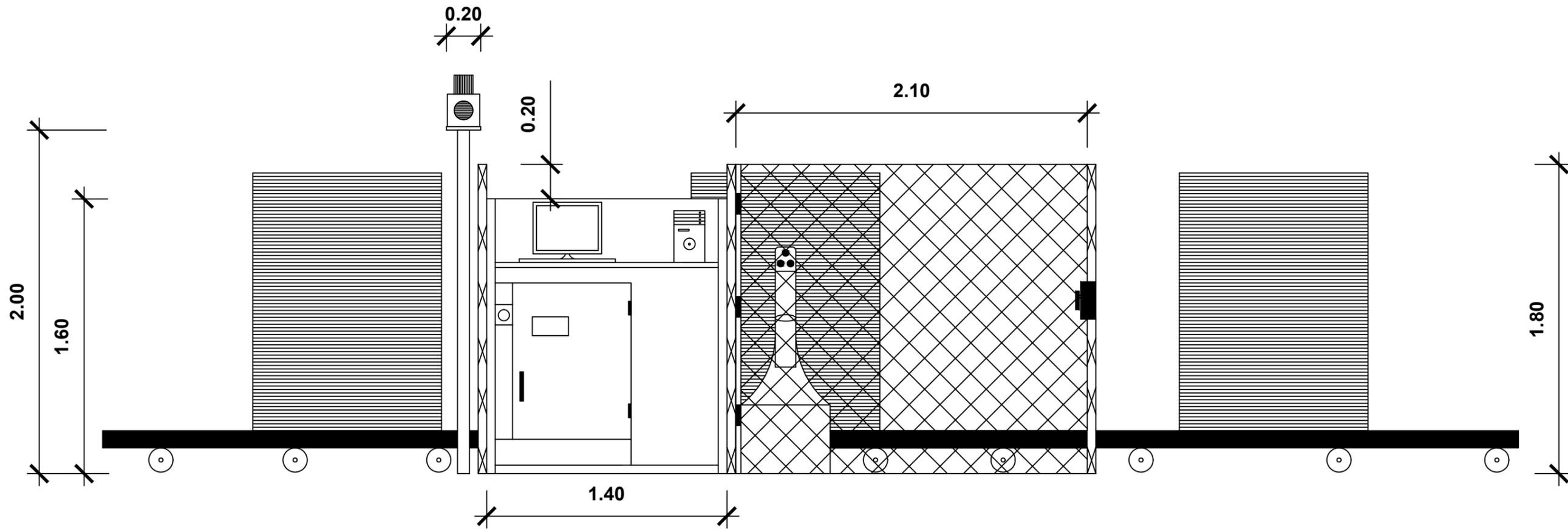
# **DOCUMENTO III**

# **PLANOS**

## INDICE DE PLANOS

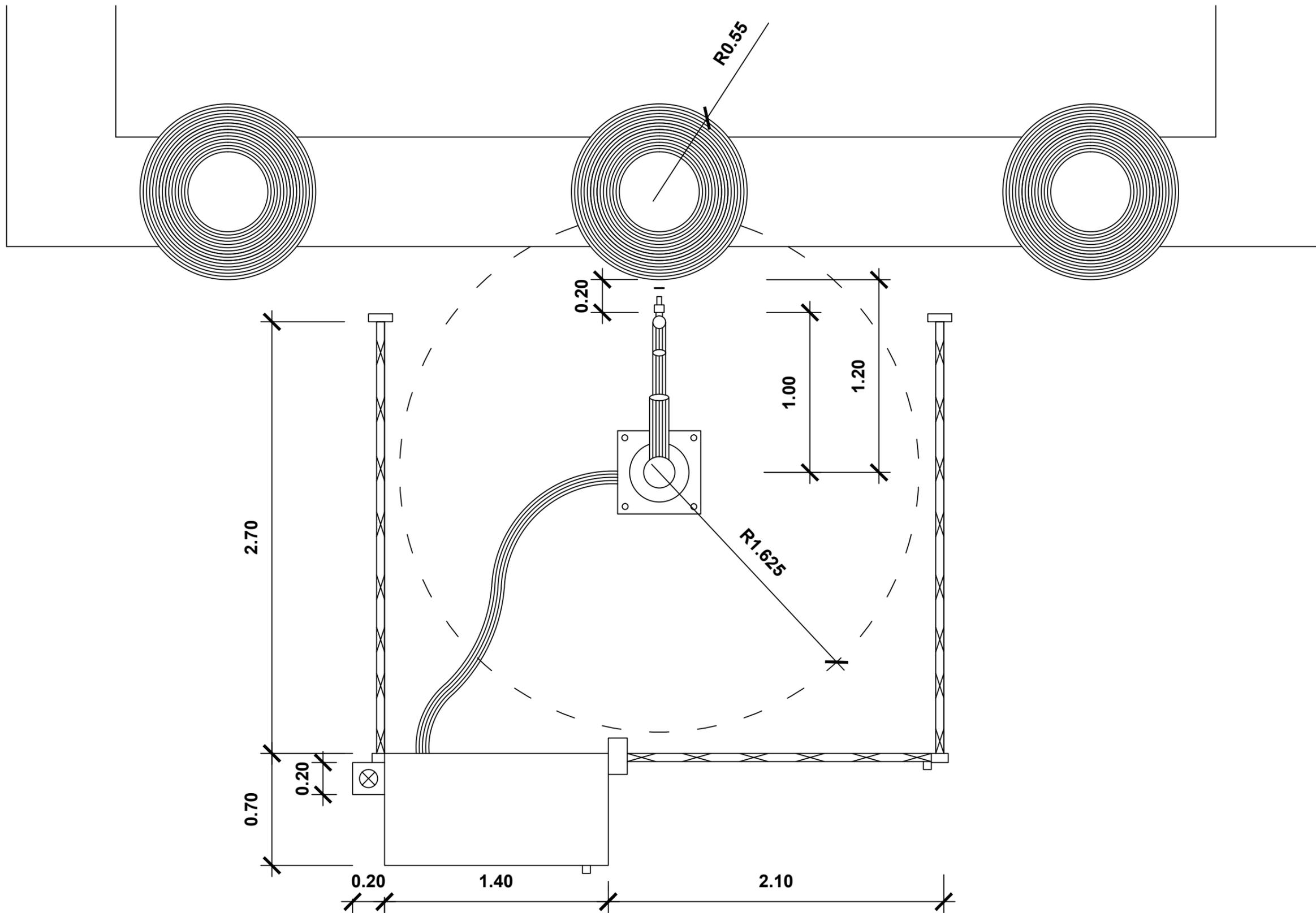
PLANO 1: ALZADO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE INSPECCION Y LA CELDA ROBOTICA.....	103
PLANO 2: PLANTA DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE INSPECCION Y LA CELDA ROBOTICA.....	105
PLANO 3: ESQUEMA ELÉCTRICO, CONEXIONADO GENERAL DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA.....	107

# **PLANO 1: ALZADO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE INSPECCION Y LA CELDA ROBOTICA**



Departamento Responsable	Referencia Técnica	Tipo de Documento <b>Plano</b>		Estado del Documento			
Propietario Legal	Creado por <b>Javier Sánchez Diez</b>	Titulo Suplementario <b>Alzado de los Elementos del Sistema de Inspección y la Celda Robótica</b>	Titulo del Proyecto <b>Control Calidad Superficial Alambrón</b>				
	Aprobado por		Fecha de Edición <b>13/01/2016</b>	Idioma <b>En</b>	Escala <b>1:25</b>	Nº Plano <b>1/1</b>	

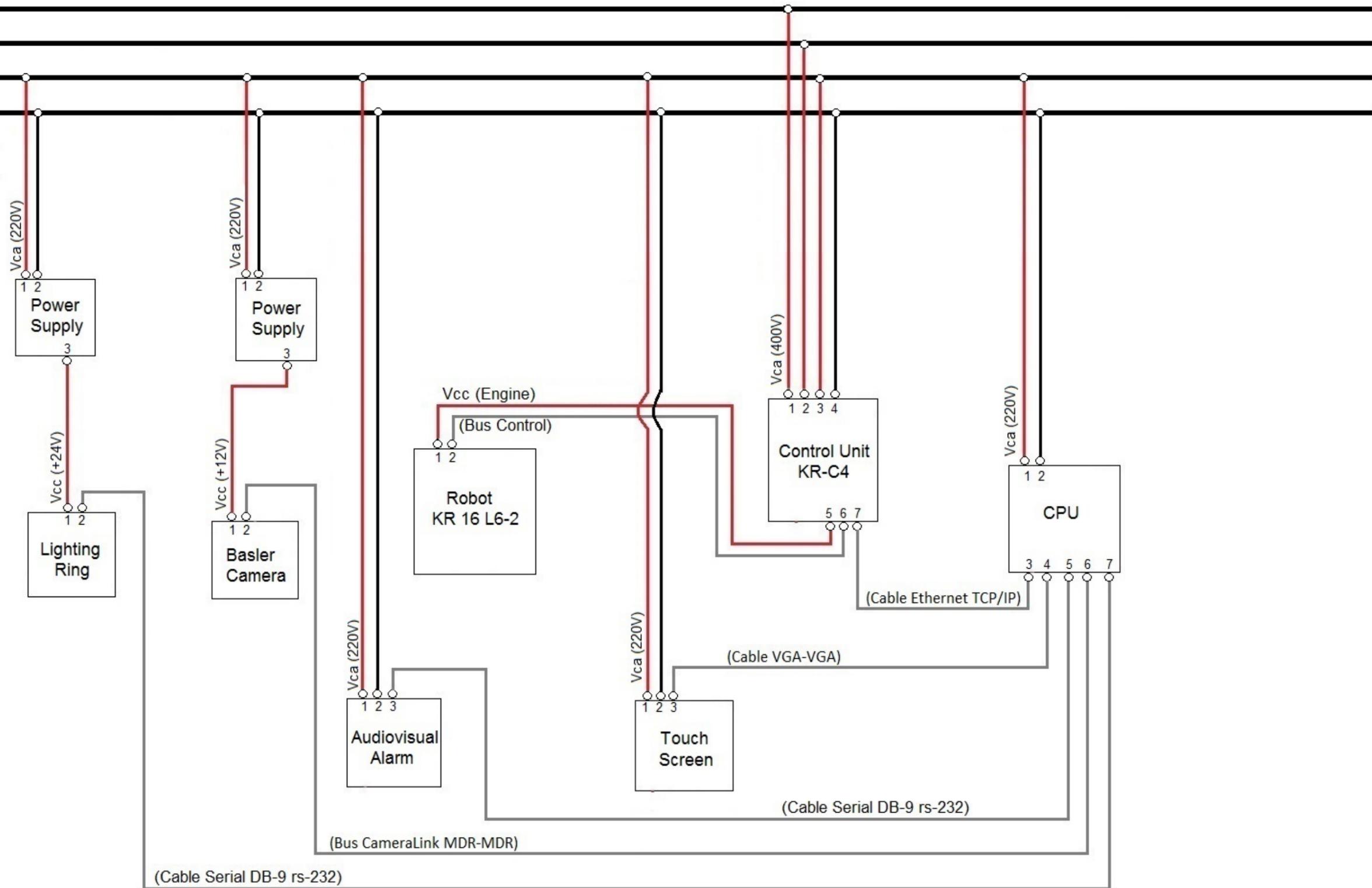
## **PLANO 2: PLANTA DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE INSPECCION Y LA CELDA ROBOTICA**



Departamento Responsable	Referencia Técnica	Tipo de Documento <b>Plano</b>		Estado del Documento			
Propietario Legal	Creado por <b>Javier Sánchez Diez</b>	Titulo Suplementario <b>Planta de los Elementos del Sistema de Inspección y la Celda Robótica</b>	Titulo del Proyecto <b>Control Calidad Superficial Alambión</b>				
	Aprobado por		Fecha de Edición <b>13/01/2016</b>	Idioma <b>En</b>	Escala <b>1:25</b>	Nº Plano <b>1/2</b>	

## **PLANO 3: ESQUEMA ELÉCTRICO, CONEXIONADO GENERAL DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA**

R  
S  
T  
N



Departamento Responsable	Referencia Técnica	Tipo de Documento <b>Esquema eléctrico</b>	Estado del Documento			
Propietario Legal	Creado por <b>Javier Sánchez Diez</b>	Título Suplementario <b>Conexionado general de los elementos que forman el sistema de inspección</b>	Título del Proyecto <b>Control Calidad Superficial Alambrón</b>			
	Aprobado por		Fecha de Edición <b>13/01/2016</b>	Idioma <b>En</b>	Escala <b>N/a</b>	Nº Plano <b>3/3</b>

**DOCUMENTO IV**  
**PLIEGO DE**  
**CONDICIONES**

## INDICE PLIEGO DE CONDICIONES

CAPÍTULO 1: CONDICIONES GENERALES.....	111
1.1 OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES.....	111
1.2 LEGISLACION DE APLICACIÓN A LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES.....	112
CAPÍTULO 2: CONDICIONES FACULTATIVAS.....	113
2.1 CONCEPTOS COMPRENDIDOS POR EL DIRECTOR DE MONTAJE.....	113
2.2 CONCEPTOS COMPRENDIDOS POR EL DIRECTOR DE PROGRAMACIÓN.....	114
2.3 MATERIALES COMPLEMENTARIOS COMPRENDIDOS.....	115
2.4 INTERPRETACION DEL PROYECTO.....	115
2.5 COORDINACION DEL PROYECTO.....	115
2.6 MODIFICACIONES AL PROYECTO.....	116
CAPÍTULO 3: CONDICIONES TECNICAS.....	118
3.1 REGLAMENTACION DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO.....	118
3.2 DOCUMENTACION GRAFICA.....	118
3.3 NORMAS DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE INSPECCION.....	119
3.4 CABLEADO.....	120
3.5 ALIMENTACION.....	120
3.6 GARANTIAS.....	121
CAPÍTULO 4: CONDICIONES ECONOMICAS.....	122
CAPÍTULO 5: NORMATIVA DE SEGURIDAD E HIGIENE.....	123
5.1 SEGURIDAD Y PREVENCION.....	123
5.2 CANALIZACIONES PREFABRICADAS.....	123
5.3 EQUIPOS Y CONDUCTORES ELECTRICOS.....	123

## **CAPITULO 1: CONDICIONES GENERALES.**

El presente pliego de condiciones regirá en unión de las disposiciones con carácter general y particular que se indican, y tiene por objeto la ordenación de las condiciones técnicas y facultativas que han de regir en la ejecución del proyecto.

### **1.1 OBJETO DEL PLIEGO DE CONDICIONES.**

El pliego de condiciones, como parte del proyecto, tiene como finalidad fijar los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que correspondan, según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, a la propiedad, al contratista sus técnicos y sus encargados, al ingeniero, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra. La ejecución del proyecto se efectuará bajo la dirección de un ingeniero técnico industrial, o en su defecto por un ingeniero industrial. Asimismo el presente pliego de condiciones técnicas consiste en la determinación y definición de los conceptos que se indican a continuación:

Alcance de los trabajos a realizar por el instalador y, por lo tanto, plenamente incluidos en su oferta. Materiales complementarios para el perfecto acabado de la instalación, no relacionados explícitamente, ni en el documento de medición y presupuesto, ni en los planos, pero que por su lógica aplicación quedan incluidos, plenamente, en el suministro del instalador. Calidades, procedimientos y formas de instalación de los diferentes equipos, dispositivos y, en general, elementos primarios y auxiliares. Pruebas y ensayos parciales a realizar durante el transcurso de los montajes. Pruebas y ensayos finales, tanto provisionales, como definitivos, a realizar durante las correspondientes recepciones. Las garantías exigidas en los materiales, en su montaje y en su funcionamiento conjunto.

El organismo correspondiente queda obligado a abonar al ingeniero técnico industrial autor del presente proyecto y al director del montaje el importe de los respectivos honorarios facultativos de formación del proyecto, de dirección técnica y administrativa, con arreglo a las tarifas y honorarios correspondientes. El ingeniero redactor del proyecto se reserva el derecho de percibir todo ingreso que en concepto de derechos de autor pudieran derivarse de una posterior comercialización, reservándose además el derecho de introducir cuantas modificaciones crea convenientes

### **1.2 LEGISLACION DE APLICACIÓN A LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES.**

- ✓ REAL DECRETO, 485/1997, de 14 de Abril (BOE 23/04/97), sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- ✓ REAL DECRETO, 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- ✓ REAL DECRETO, 842/2002, de 2 de agosto (BOE 18/09/2002), por el que se aprueba el reglamento electrotécnico para baja tensión.
- ✓ REAL DECRETO, 346/2011, de 11 de marzo por el que se aprueba el reglamento regulador de las infraestructuras comunes, para el acceso a los servicios de automatización en el interior de las edificaciones.
- ✓ REAL DECRETO, 1580/2006, de 22 de diciembre, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos, que incorpora al ordenamiento jurídico español la directiva 2004/108/CE sobre compatibilidad electromagnética.
- ✓ REAL DECRETO ,1077/2012 de 13 de julio, por el que se establecen cinco certificados de profesionalidad de la familia profesional electricidad y electrónica que se incluyen en el repertorio nacional de certificados de profesionalidad.

## **CAPITULO 2: CONDICIONES FACULTATIVAS.**

### **2.1 CONCEPTOS COMPRENDIDOS POR EL DIRECTOR DE MONTAJE.**

Es competencia exclusiva del director de montaje o instalador y, por lo tanto, queda totalmente incluido en el precio ofertado, el suministro de todos los elementos y materiales, mano de obra, medios auxiliares y, en general, todos aquellos elementos y/o conceptos que sean necesarios para el perfecto acabado y montaje de la instalación, según se describe en la memoria, representada en los planos, queda relacionada de forma básica en el presupuesto y cuya calidad y características de montaje se indican en el pliego de condiciones técnicas. Queda entendido que los cuatro documentos del proyecto, es decir, la memoria, el presupuesto, los planos y el pliego de condiciones técnicas forman todo un conjunto. Si fuese advertida o existiese alguna discrepancia entre estos cuatro documentos, su interpretación será la que determine la dirección de obra. Salvo indicación contraria en su oferta, lo que debe quedar explícitamente indicado en contrato, queda entendido que el instalador acepta este criterio y no podrá formular reclamación alguna por motivo de omisiones y/o discrepancias entre cualquiera de los cuatro documentos que integran el proyecto.

Cualquier exclusión, incluida implícita o explícitamente por el instalador en su oferta y que difiera de los conceptos expuestos en los párrafos anteriores, no tendrá ninguna validez, salvo que en el contrato, de una forma particular y explícita, se manifieste la correspondiente exclusión. Es responsabilidad del instalador el cumplimiento de toda la normativa oficial vigente aplicable al proyecto. Durante la realización de este proyecto se ha puesto el máximo empeño en cumplir toda la normativa oficial vigente al respecto. No obstante, si en el mismo existiesen conceptos que se desviasen o no cumplieren con las mismas, es obligación del instalador comunicarlo en su oferta y en la forma que se describirá más adelante. Queda, por tanto, obligado el instalador a efectuar una revisión del proyecto, previo a la presentación de su oferta, debiendo indicar, expresamente, en la misma, cualquier deficiencia a este respecto o, en caso contrario, su conformidad con el proyecto en materia de cumplimiento de toda la normativa oficial vigente aplicable al mismo.

El instalador efectuará a su cargo el plan de seguridad y el seguimiento correspondiente a sus trabajos, debiendo disponer de todos los elementos de seguridad, auxiliares y de control exigidos por la legislación vigente.

Quedan incluidos también, como parte de los trabajos del instalador, la preparación de todos los planos de montaje, así como la gestión y preparación de toda la documentación técnica necesaria, incluido visado y legalizado de proyectos y certificados de obra, así como su tramitación ante los diferentes organismos oficiales, al objeto de obtener todos los permisos requeridos de acuerdo a la legislación.

Asimismo, quedan incluidos todos los trabajos correspondientes a la definición, coordinación e instalación de todas las acometidas de servicios, tales como electricidad u otros que pudieran requerirse, ya sean de forma provisional para efectuar los montajes en obra o de forma definitiva para satisfacer las necesidades del proyecto. Se entiende, por tanto, que estos trabajos quedan plenamente incluidos en la oferta del instalador, salvo que se indique expresamente lo contrario.

Queda por tanto, el instalador enterado por este pliego de condiciones que es responsabilidad suya la realización de las comprobaciones indicadas, previo a la presentación de la oferta, así como la presentación en tiempo, modo y forma de toda la documentación mencionada y la consecución de los correspondientes permisos. El instalador, en caso de subcontratación, o la empresa responsable de su contratación, no podrán formular reclamación alguna con respecto a este concepto, ya sea por omisión, desconocimiento o cualquier otra causa.

## **2.2 CONCEPTOS COMPRENDIDOS POR EL DIRECTOR DE PROGRAMACIÓN.**

Las presentes condiciones técnicas serán de obligado cumplimiento para el director de programación o programador, el cual deberá hacer constar que las acepta y se compromete a finalizarlas dentro de los plazos exigidos.

El trabajo de instalación del programa en el manipulador robótico, y el programa de visión artificial correspondiente a la cámara, deberá ser ejecutado por un programador especialmente preparado y con conocimientos teórico-prácticos sobre el sistema de inspección colocado en la instalación. El director de programación será responsable del cumplimiento de todas las especificaciones indicadas en la memoria del proyecto, así como también será responsable de todos aquellos prejuicios que se puedan derivar de una incorrecta programación, no teniendo derecho a recibir pago alguno por el costo derivado de cualquier modificación necesaria tendente al cumplimiento de las especificaciones de la memoria.

También quedan incluidas la realización de todas las pruebas de puesta en marcha de la instalación. No se procederá a efectuar la recepción provisional si todo lo anterior no estuviese debidamente cumplimentado a satisfacción de la dirección de obra.

### **2.3 MATERIALES COMPLEMENTARIOS COMPRENDIDOS.**

Como complemento a los conceptos generales comprendidos, indicados en las condiciones generales y, en general, en los documentos del proyecto, se indican a continuación algunos puntos particulares concretos, exclusivamente como ejemplo o aclaración para el instalador, no significando por ello que los mismos excluyan la extensión o el alcance de otros. Soportes, perfiles, estribos, tornillería y, en general, elementos de sustentación necesarios, debidamente protegidos por pinturas o tratamientos electroquímicos. Estos materiales serán de acero inoxidable cuando se instalen en ambientes corrosivos.

Queda entendido por el instalador que todos los materiales, accesorios y equipamiento indicados en este apartado quedan plenamente incluidos en su suministro, con independencia de que ello se cite expresamente en los documentos de proyecto. Cualquier omisión a este respecto, por parte del instalador, debe ser incluida expresamente en su oferta y, en su caso, aceptado y reflejado en el correspondiente contrato. Todas estas unidades y, en particular, las relacionadas con albañilería (pasamuros, perforaciones, huecos, etc.) y electricidad serán coordinadas y efectuadas en tiempo y modo, para evitar cualquier tipo de rotura y otras posteriores. Los perjuicios derivados de cualquier omisión relativa a estos trabajos y acciones serán repercutidos directamente en el instalador.

### **2.4 INTERPRETACION DEL PROYECTO.**

La interpretación del proyecto corresponde en primer lugar al ingeniero autor del mismo o, en su defecto, a la persona que ostente la dirección de obra. Se entiende el proyecto en su ámbito total de todos los documentos que lo integran, es decir, memoria, planos, presupuesto y pliego de condiciones técnicas quedando, por tanto, el instalador enterado por este pliego de condiciones técnicas que cualquier interpretación del proyecto para cualquier fin y, entre otros, para una aplicación de contrato, debe atenerse a las dos figuras (Autor o Director), indicadas anteriormente. Cualquier delegación del autor o director del proyecto, a efectos de una interpretación del mismo, debe realizarse por escrito y así solicitarse por la persona o entidad interesada.

### **2.5 COORDINACION DEL PROYECTO.**

Será responsabilidad exclusiva del instalador la coordinación de las instalaciones de su competencia. El instalador pondrá todos los medios técnicos y humanos necesarios para que esta coordinación tenga la adecuada efectividad consecuente, tanto con la empresa constructora, como con los diferentes oficios o instaladores de otras especialidades que concurran en los montajes del sistema. Por tanto, cada instalador queda obligado a coordinar las instalaciones de su competencia con las de los otros oficios. Por coordinación de las instalaciones se entiende su representación en planos de obra, realizados por el instalador a partir de los planos de proyecto adaptados a las condiciones reales de obra y su posterior montaje, de forma ordenada, de acuerdo a estos planos y demás documentos de proyecto.

En aquellos puntos concurrentes entre dos oficios o instaladores y que, por lo tanto, pueda ser conflictiva la delimitación de la frontera de los trabajos y responsabilidades correspondientes a cada uno, el instalador se atenderá a lo que figure indicado en proyecto o, en su defecto, a lo que dictamine sobre el particularmente la dirección de obra. Queda, por tanto, enterado el instalador que no podrá efectuar o aplicar sus criterios particulares al respecto. Todas las terminaciones de los trabajos deberán ser limpias, estéticas y encajar dentro del acabado arquitectónico general de la nave industrial.

Tanto los materiales acopiados, como los materiales montados, deberán permanecer suficientemente protegidos durante la obra, al objeto de que sean evitados los daños que les puedan ocasionar agua, basura, sustancias químicas, mecánicas y, en general, afectaciones de construcción u otros oficios. Cualquier material que sea necesario suministrar para la protección de los equipos instalados, tales como plásticos, cartones, cintas, mallas, etc., queda plenamente incluido en la oferta del instalador. La dirección de obra se reserva el derecho a rechazar todo material que juzgase defectuoso por cualquiera de los motivos indicados.

A la terminación de los trabajos, el instalador procederá a una limpieza a fondo de todos los equipos y materiales de su competencia, así como a la retirada del material sobrante, recortes, desperdicios, etc. Esta limpieza se refiere a todos los elementos montados y a cualquier otro concepto relacionado con su trabajo, no siendo causa justificativa para la omisión de lo anterior, la afectación del trabajo de otros oficios.

## **2.6 MODIFICACIONES AL PROYECTO.**

Sólo podrán ser admitidas modificaciones a lo indicado en los documentos de proyecto por alguna de las causas que se indican a continuación. Mejoras en la calidad, cantidad o características del montaje de los diferentes componentes de la instalación, siempre y

cuando no quede afectado el presupuesto o, en todo caso, sea disminuido, no repercutiendo, en ningún caso, este cambio con compensación de otros materiales.

Cualquier modificación al proyecto, ya sea en concepto de interpretación del proyecto, cumplimiento de normativa o por ajuste de obra, deberá atenderse a lo indicado en los apartados correspondientes del pliego de condiciones técnicas y, en cualquier caso, deberá contar con el consentimiento expreso y por escrito del autor del proyecto y/o de la dirección de obra. Toda modificación que no cumpla cualquiera de estos requisitos carecerá de validez.

## **CAPITULO 3: CONDICIONES TÉCNICAS.**

### **3.1 REGLAMENTACION DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO.**

Con total independencia de las prescripciones indicadas en los documentos del proyecto, es prioritario para el instalador el cumplimiento de cualquier reglamentación de obligado cumplimiento que afecte, directa o indirectamente, a su instalación, bien sea de índole nacional, autonómico, municipal, de compañías o, en general, de cualquier ente que pueda afectar a la puesta en marcha legal y necesaria para la consecución de las funciones previstas en la vivienda. El concepto de cumplimiento de normativa se refiere no sólo al cumplimiento de toda normativa del propio equipo o instalación, sino también al cumplimiento de cualquier normativa exigible durante el montaje, funcionamiento y/o rendimiento del equipo y/o sistema.

Es por tanto, competencia, obligación y responsabilidad del instalador la previa revisión del proyecto antes de la presentación de su oferta y, una vez adjudicado el contrato, antes de que realice ningún pedido, ni que ejecute ningún montaje. Esta segunda revisión del proyecto, a efectos de cumplimiento de normativa, se requiere tanto por si hubiera habido una modificación en la normativa aplicable después de la presentación de la oferta, como si, con motivo de alguna modificación relevante sobre el proyecto original, ésta pudiera contravenir cualquier normativa aplicable. Si esto ocurriera, queda obligado el instalador a exponerlo ante la dirección técnica y la propiedad. Esta comunicación deberá ser realizada por escrito y entregada en mano a la dirección técnica de obra. Una vez iniciados los trabajos o pedidos los materiales relativos a la instalación contratada, cualquier modificación que fuera necesaria realizar para cumplimiento de normativa, ya sea por olvido, negligencia o por modificación de la misma, será realizada con cargo total al instalador y sin ningún coste para la propiedad u otros oficios o contratistas, reservándose ésta los derechos por reclamación de daños y perjuicios en la forma que se considere afectada.

Queda por tanto, el instalador enterado por este pliego de condiciones que no podrá justificar incumplimiento de normativa por identificación de proyecto, ya sea antes o después de la adjudicación de su contrato o por instrucciones directas de la dirección de obra y/o propiedad.

### **3.2 DOCUMENTACION GRAFICA.**

A partir de los planos del proyecto es competencia exclusiva del instalador preparar todos los planos de ejecución de la instalación, incluyendo tanto los planos de coordinación, como los planos de montaje necesarios, mostrando en detalle las características precisas para el

correcto montaje de los equipos y cableado por parte de sus montadores, para pleno conocimiento de la dirección de obra y de los diferentes oficios y empresas que concurren en la instalación. Estos planos deben reflejar todas las instalaciones en detalle al completo, así como la situación exacta de bancadas, anclajes, huecos, soportes, etc. El instalador queda obligado a suministrar todos los planos de detalle, montaje y planos de obra en general, que le exija la dirección de obra, quedando este trabajo plenamente incluido en su oferta.

Según se ha indicado en el apartado 2, asimismo, es competencia del instalador, la presentación de los escritos, certificados, visados y planos visados por el colegio profesional correspondiente, para la legalización de su instalación ante los diferentes entes u organismos. Estos planos deberán coincidir sensiblemente con lo instalado en obra.

Asimismo, al final de la obra el instalador queda obligado a entregar los planos de construcción y los diferentes esquemas de funcionamiento y conexionado necesarios para que haya una determinación precisa de cómo es la instalación, tanto en sus elementos vistos, como en sus elementos ocultos. La entrega de esta documentación se considera imprescindible, previo a la realización de cualquier recepción provisional de obra. Cualquier documentación gráfica generada por el instalador sólo tendrá validez si queda formalmente aceptada y/o visada por la dirección de obra, entendiéndose que esta aprobación es general y no relevará de ningún modo al instalador de la responsabilidad de errores y de la correspondiente necesidad de comprobación y adaptación de los planos por su parte, así como de la reparación de cualquier montaje incorrecto por este motivo.

### **3.3 NORMAS DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE INSPECCION.**

Tanto el manipulador robótico como la cámara y el resto de componentes que dan forma al sistema de inspección visual están preparados para trabajar en un ambiente industrial, pero se deben observar una serie de normas para garantizar su correcto aprovechamiento y prolongar su vida útil. Un robot sin un mantenimiento adecuado puede dar fallos de funcionamiento y su vida media se reduce de forma considerable. Estas normas básicas de mantenimiento son las siguientes:

- Las temperaturas del recinto en el que se encuentre localizado el sistema de inspección estarán comprendidas entre los 0°C y los 50°C aproximadamente. Si se sobrepasase esta temperatura, habría de valorarse la necesidad de instalar un ventilador o sistema de refrigeración adecuado, para que no se eleve la temperatura por encima del margen descrito anteriormente.

- La humedad ambiental se moverá en un margen del 20 al 80%, de no ser así se instalaría un sistema de humidificación o deshumidificación respectivamente.
- Deberá asegurarse una correcta sujeción de los elementos para evitar golpes fuertes y vibraciones.
- Todo el sistema pero en especial la óptica de la cámara deberá estar protegido contra el polvo y los agentes corrosivos.
- Se realizará diariamente una tarea sencilla de limpieza de la lente para evitar errores en las capturas de imagen, mediante un paño seco y un producto especial de contacto para limpiar ópticas o lentes.
- También se efectuará periódicamente una labor afable de mantenimiento preventivo del manipulador robótico que garantice entre otros factores: su limpieza, parámetros de alimentación adecuados y lubricación de los elementos giratorios que lo componen (rodamientos, engranajes, etc).

### **3.4 CABLEADO.**

En referencia a la disposición del cableado se deben de seguir las siguientes normas:

- Hay que separar los cables de continua de los de corriente alterna para evitar interferencias.
- Los cables de potencia de hasta 400V y las líneas de señales pueden ser tendidas en los mismos canales y sin separación física, pero es aconsejable distinguirlos y separarlos.
- Los cables de alimentación de entrada y salida discurrirán por canaletas separadas (30 cm si van paralelas). En caso de que esto no sea posible se situarán placas metálicas conectadas a tierra.

### **3.5 ALIMENTACIÓN.**

Respecto a la alimentación se deben considerar los siguientes aspectos:

- Cuando la fuente de alimentación sea independiente se han de prever medidas de vigilancia comunes de la tensión de carga de las fuentes de alimentación.
- Hay que proporcionar a los distintos componentes del sistema de inspección visual una tensión estable del valor indicado por el fabricante. Se tendrán en cuenta los posibles picos de tensión creados por otros dispositivos de la instalación.

- Las oscilaciones de la tensión de red respecto al valor nominal deben encontrarse dentro del margen de tolerancia admisible.

### **3.6 GARANTIAS.**

Tanto los componentes de la instalación, como su montaje y funcionalidad, quedarán garantizados por el tiempo indicado por la legislación vigente, a partir de la recepción provisional y, en ningún caso, esta garantía cesará hasta que sea realizada la recepción definitiva. Se dejará a criterio de la dirección de obra determinar ante un defecto de maquinaria su posibilidad de reparación o el cambio total de la unidad.

Este concepto se aplica a todos los componentes y materiales de la instalación, sean éstos los especificados, de modo concreto, en los documentos de proyecto o los similares aceptados.

## **CAPITULO 4: CONDICIONES ECONÓMICAS.**

Las valoraciones de las unidades de cada componente que figuran en el presente proyecto, se efectuarán multiplicando el número de éstos por su precio unitario asignado a los mismos en el documento presupuesto.

Todos los precios están sujetos a variaciones, pues su valor no es constante, sino que varía a través del tiempo, siendo generalmente más baratos cuanto más tarde desde su aparición en el mercado se compran, ya que se van quedando obsoletos debido a la salida al mercado de nuevas referencias tecnológicamente superiores.

## **CAPITULO 5: NORMATIVA DE SEGURIDAD E HIGIENE.**

### **5.1 SEGURIDAD Y PREVENCIÓN.**

Durante la realización de la instalación se estará de acuerdo en todo momento con el “Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo” y, en general, con todas aquellas normas y ordenanzas encaminadas a proporcionar el más alto grado de seguridad, tanto al personal, como al público en general. El instalador efectuará a su cargo el plan de seguridad y el seguimiento correspondiente a sus trabajos, debiendo disponer de todos los elementos de seguridad, auxiliares y de control exigidos por la legislación vigente. Todo ello con la debida coordinación en relación al resto de la obra, por lo que será preceptiva la compatibilidad y aceptación de este trabajo con el plan de seguridad general de la obra y, en cualquier caso, deberá contar con la conformidad de la dirección técnica responsable en obra de esta materia y el contratista general. En cualquier caso, queda enterado el instalador, por este pliego de condiciones técnicas, que es de su total responsabilidad vigilar y controlar que se cumplen todas las medidas de seguridad descritas en el plan de seguridad, así como las normas relativas a montajes y otras indicadas en este apartado.

El instalador colocará protecciones adecuadas en todas las partes móviles de equipos y maquinaria, así como barandillas rígidas en todas las plataformas fijas y/o móviles que instale, al objeto de facilitar la correcta realización de las obras de su competencia.

### **5.2 CANALIZACIONES PREFABRICADAS.**

Deberán tener el grado de protección adecuado a las características del local por el que discurren de acuerdo con lo establecido en la ITC-BT-20 del R.E.B.T. según el real decreto 842/2002 de 2 de Agosto. Cumpliendo a su vez con UNE EN-60570 en el caso de canalizaciones prefabricadas para iluminación y la normativa UNE EN- 60439-2 en el caso de las canalizaciones de uso general.

### **5.3 EQUIPOS Y CONDUCTORES ELÉCTRICOS.**

Todos los equipos y aparatos eléctricos usados temporalmente en la obra serán instalados y mantenidos de una manera eficaz y segura e incluirán su correspondiente conexión de puesta a tierra. Las conexiones a los cuadros eléctricos provisionales se harán siempre con clavijas, quedando prohibida la conexión con bornes desnudas.

Los conductores unipolares o multipolares deberán estar aislados según la norma UNE EN-20.460-5-52 de acuerdo con lo establecido en la ITC-BT-20 del R.E.B.T. según el real decreto 842/2002 de 2 de Agosto. Según las prescripciones particulares para las

instalaciones eléctricas de locales con riesgo de incendio o explosión los requisitos de los cables a emplear estarán de acuerdo con lo establecido en la ITC-BT-29 del R.E.B.T. según el real decreto 842/2002 de 2 de Agosto, y conforme a la norma UNE EN-50086-1 debido a la cual deberán estar aislados con mezclas termoplásticas o termoestables. En caso de alimentación de equipos portátiles o móviles se usarán cables con cubierta de policloropropeno según la norma UNE EN- 21027 parte 4 o UNE EN-21150 de tensión asignada mínima 450/700V, flexibles y de sección mínima de 1,5mm<sup>2</sup>.

# **DOCUMENTO V PRESUPUESTO**

## **INDICE DE PRESUPUESTO**

CAPÍTULO 1: PARTIDAS Y JUSTIFICACION DE PRECIOS.....	127
1.1 ADQUISICIÓN DE LOS EQUIPOS QUE FORMAN EL SISTEMA DE INSPECCIÓN ROBOTIZADO.....	127
1.2 INSTALACION Y PROGRAMACION DEL SISTEMA DE INSPECCIÓN ROBOTIZADO.....	128
CAPÍTULO 2: PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	130
CAPÍTULO 3: PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....	131
CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO DE LA ADMINISTRACIÓN.....	132

## CAPÍTULO 1: PARTIDAS Y JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS.

### 1.1 ADQUISICIÓN DE LOS EQUIPOS QUE FORMAN EL SISTEMA DE INSPECCION VISUAL ROBOTIZADO.

Nº de orden	Designación	Descripción
1	Adquisición de los equipos nuevos que formarán el sistema de inspección automatizado.	Costes de: cámara, sistema de iluminación, manipulador robótico, fuentes de alimentación, alarma audiovisual, CPU, monitor táctil, tarjeta de adquisición y cableado.

#### CUADRO DE PRECIOS DESGLOSADOS

Nº	Elemento	Cantidad	Coste unitario (€/Ud)	Total (€)
1	Cámara Basler mod. A201b	1	519.00	519.00
2	Anillo LED de bajo ángulo Darkfield mod. LDR2-208SW2-LA blanco 60º + Conector CCS 24V + cable para fuente de alimentación 24V.	1	2319.44	2319.44
3	Equipo Robótico KUKA compuesto por: 1x Robot KUKA mod. KR 16 L6-2. 1x Unidad de control KR-C4. 1x Licencia Software KUKA.Workvisual. 1x Buses y cableado eléctrico.	1	8795.00	8795.00
4	Alarma Audiovisual SOS Lite 110VCA 120dB mod. AL1200S	1	430.00	430.00

<b>5</b>	Equipo Informático DELL compuesto por: 1x CPU DELL OPTIPLEX 755 Ref. 4646T 1x Monitor Dell Serie S 2240T de 21.5” 1x Cableado alimentación y bus DVI pantalla.	1	517.55	517.55
<b>6</b>	Frame grabber CameraLink NI PCIe- 1433 + Bus power over Camera Link 26 pines MDR to SDR 5m	1	1964.17	1964.17
<b>7</b>	Power supply mod PSS – 61006 12V	1	76.74	76.74
<b>8</b>	Power supply mod PD2-10 24V	1	315.50	315.50
<b>Total</b>			<b>14937.40</b>	

## **1.2 INSTALACION Y PROGRAMACION DEL SISTEMA DE INSPECCION VISUAL ROBOTIZADO.**

<b>Nº de orden</b>	<b>Designación</b>	<b>Descripción</b>
<b>2</b>	Instalación y programación de los equipos y componentes necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.	Montaje del puesto de control y de la celda robótica; Instalación de equipos en el mismo; Montaje base manipulador robótico; Cablear y conexionar los distintos buses con sus elementos correspondientes; Montar equipo de inspección visual; Programar todos los sistemas; Verificar el correcto funcionamiento

### **CUADRO DE PRECIOS DESGLOSADOS**

Nº	Elemento	Cantidad	Coste unitario (€/Ud)	Total (€)
1	Espárragos 15cm Ø12mm para montaje base manipulador robótico	8	9.00	64.00
2	Tuercas Ø12mm para espárragos 15cm	8	3.75	30.00
3	Tubo acero inoxidable Ø60mm altura 200cm, con soporte final de 20x20cm para colocar alarma audiovisual.	1	65.20	65.20
4	Armario con sistema de refrigeración por aire, medidas 70x140x160cm, para colocación del sistema informático y la unidad de control KR-C4.	1	380.60	380.60
5	Sensor de distancias por ultrasonidos SRF02	1	13.75	13.75
6	Placa MAX 232 board	1	10.25	10.25
7	Celda seguridad robótica compuesta por: 2x Vallas red metálica 350x180cm 1x Puerta red metálica 210x180cm con sistema de cierre electrónico. 5x Postes metálicos altura 180cm	1	795.60	795.80
8	Mano de obra por hora oficial de 1ª	32	13.25	424.00
9	Mano de obra por hora oficial de 2ª	32	12.10	387.20
10	Mano de obra por hora analista programador informático.	24	14.60	350.40
<b>Total</b>				<b>2521.20</b>

## CAPÍTULO 2: PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

Nº de orden	Concepto	Importe (€)
1	Adquisición de los equipos nuevos que formarán el sistema de inspección visual.	14937.40
2	Instalación y programación de los equipos y sistema.	2521.20
<b>Total presupuesto de ejecución material</b>		<b>17458.60</b>

El presupuesto de ejecución material asciende a la cantidad de: **DIECISIETE MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA Y OCHO EUROS CON SESENTA CÉNTIMOS.**

Santander, a 13/01/2016

El ingeniero

Javier Sánchez Díez

## CAPÍTULO 3: PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

Concepto	Importe (€)
Presupuesto de ejecución material (P.E.M.)	17458.60
Gastos Generales (13% P.E.M.)	2269.61
Beneficio Industrial (6% P.E.M.)	1047.51
<b>Coste total</b>	<b>20775.72</b>
IVA (21% Coste total)	4362.03
<b>Total presupuesto de ejecución por contrata</b>	<b>25137.75</b>

El presupuesto de ejecución por contrata asciende a la cantidad de: **VEINTICINCO MIL CIENTO TREINTA Y SIETE EUROS CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS.**

Santander, a 13/01/2016

El ingeniero

Javier Sánchez Díez

## CAPÍTULO 4: PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO DE LA ADMINISTRACIÓN

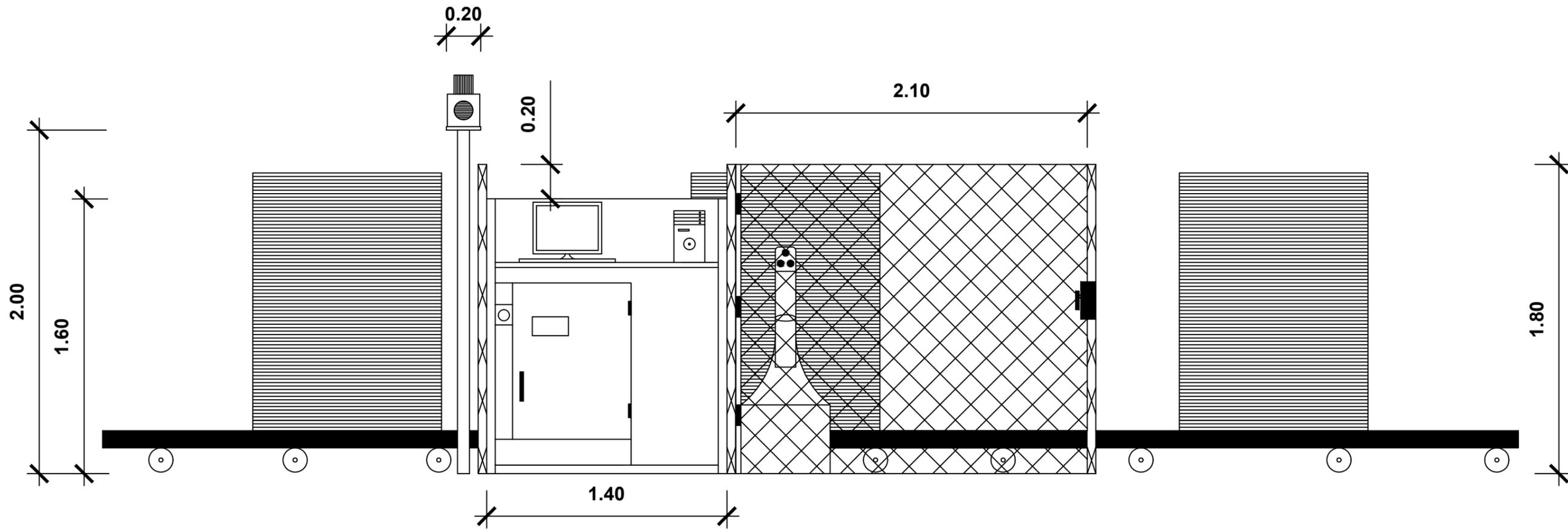
Concepto	Importe (€)
Presupuesto de ejecución por contrata	25137.75
Gastos de diseño del proyecto (10% P.E.M.)	1745.86
Gastos de tramitación de licencias (6% P.E.M.)	1047.51
<b>Total presupuesto para conocimiento de la administración</b>	<b>27930.79</b>

El presupuesto final para conocimiento de la administración asciende a la cantidad de:  
**VEINTISIETE MIL NOVECIENTOS TREINTA EUROS CON SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.**

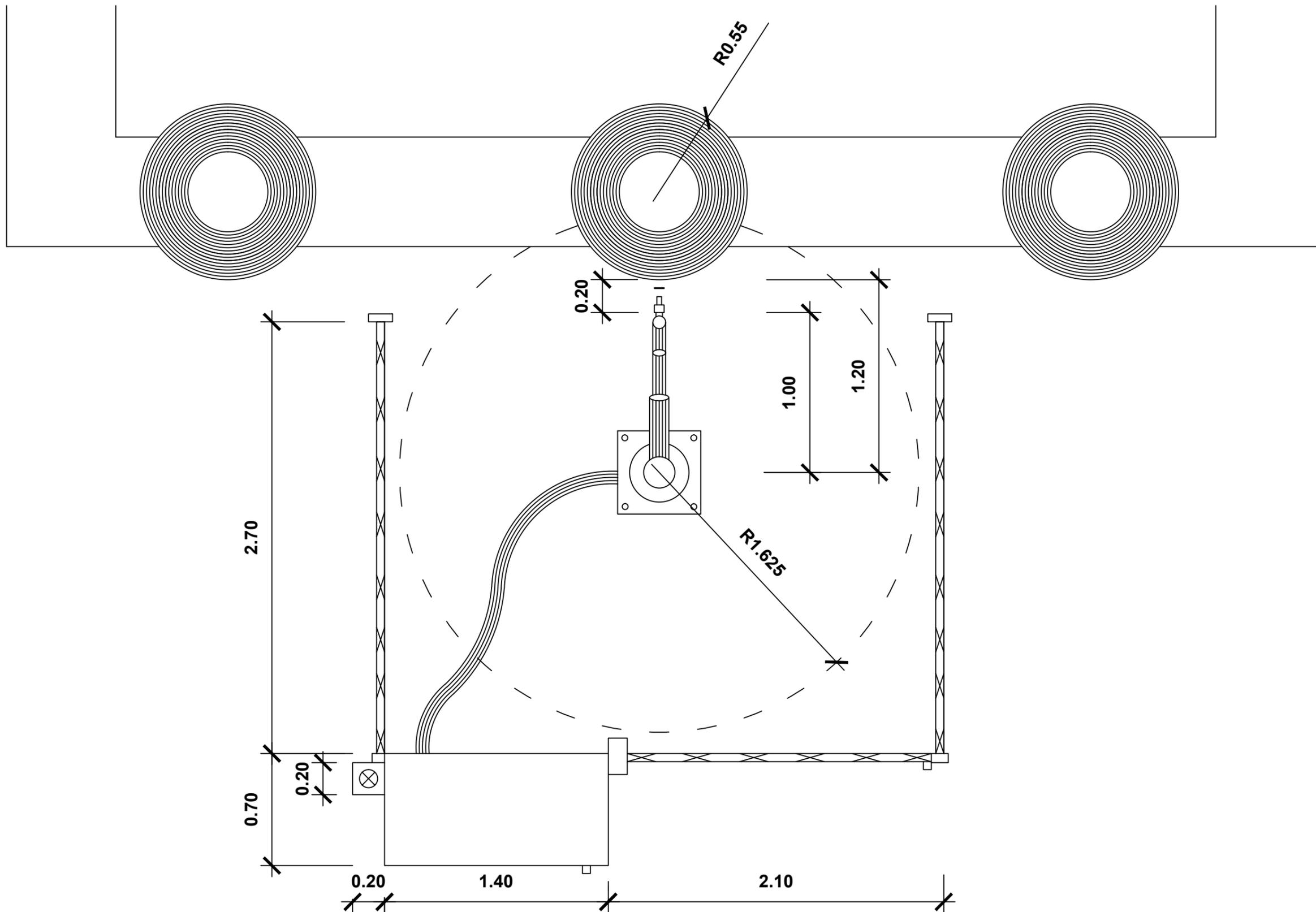
Santander, a 13/01/2016

El ingeniero

Javier Sánchez Díez

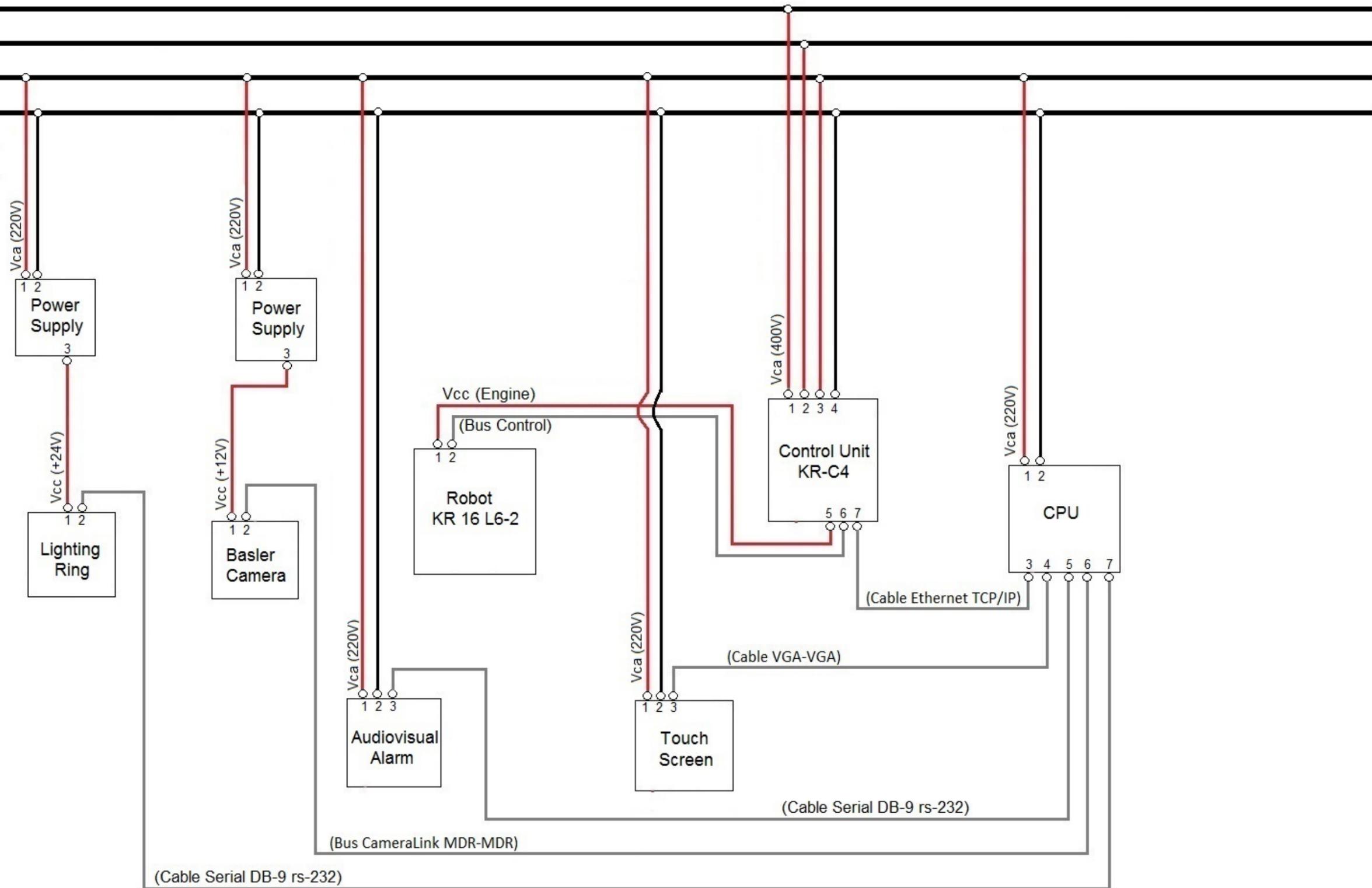


Departamento Responsable	Referencia Técnica	Tipo de Documento <b>Plano</b>		Estado del Documento			
Propietario Legal	Creado por <b>Javier Sánchez Diez</b>	Titulo Suplementario <b>Alzado de los Elementos del Sistema de Inspección y la Celda Robótica</b>	Titulo del Proyecto <b>Control Calidad Superficial Alambrón</b>				
	Aprobado por		Fecha de Edición <b>13/01/2016</b>	Idioma <b>En</b>	Escala <b>1:25</b>	Nº Plano <b>1/1</b>	



Departamento Responsable	Referencia Técnica	Tipo de Documento <b>Plano</b>		Estado del Documento			
Propietario Legal	Creado por <b>Javier Sánchez Diez</b>	Titulo Suplementario <b>Planta de los Elementos del Sistema de Inspección y la Celda Robótica</b>	Titulo del Proyecto <b>Control Calidad Superficial Alambión</b>				
	Aprobado por		Fecha de Edición <b>13/01/2016</b>	Idioma <b>En</b>	Escala <b>1:25</b>	Nº Plano <b>1/2</b>	

R  
S  
T  
N



Departamento Responsable	Referencia Técnica	Tipo de Documento <b>Esquema eléctrico</b>	Estado del Documento			
Propietario Legal	Creado por <b>Javier Sánchez Diez</b>	Título Suplementario <b>Conexionado general de los elementos que forman el sistema de inspección</b>	Título del Proyecto <b>Control Calidad Superficial Alambrón</b>			
	Aprobado por		Fecha de Edición <b>13/01/2016</b>	Idioma <b>En</b>	Escala <b>N/a</b>	Nº Plano <b>3/3</b>



# ALARMA AUDIOVISUAL MODELO SOS 1200S



COLOR DE MICAS



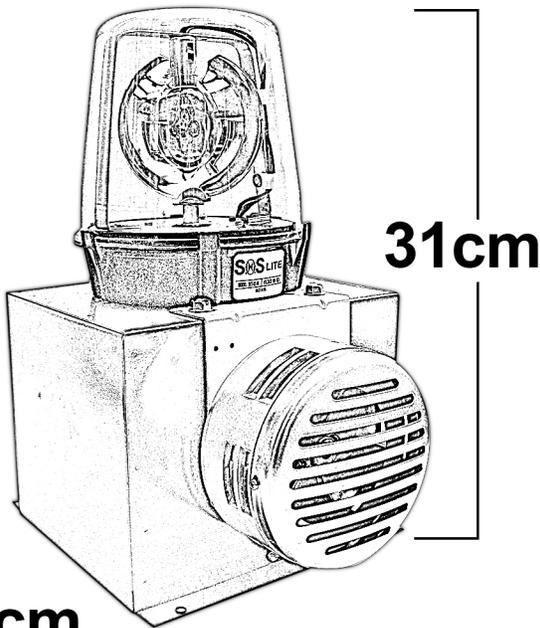
## ESPECIFICACIONES

VOLTAJE	110VCA
AMP	3
DB	101 A 3 M
RPM	90
FOCO BULBO	25W
SONIDO	INTERMITENTE
DURACION	5 MIN MAX

## NIVEL DE PROTECCION

IP (Ingress Protection):

Índice de protección a la intervención de materiales externos



## USOS



# NI Vision

## **NI PCIe-1433 User Manual and Specifications**

*Base, Medium, and Full Configuration Camera Link Frame Grabber*

## **Worldwide Technical Support and Product Information**

ni.com

### **National Instruments Corporate Headquarters**

11500 North Mopac Expressway Austin, Texas 78759-3504 USA Tel: 512 683 0100

### **Worldwide Offices**

Australia 1800 300 800, Austria 43 662 457990-0, Belgium 32 (0) 2 757 0020, Brazil 55 11 3262 3599,  
Canada 800 433 3488, China 86 21 5050 9800, Czech Republic 420 224 235 774, Denmark 45 45 76 26 00,  
Finland 358 (0) 9 725 72511, France 01 57 66 24 24, Germany 49 89 7413130, India 91 80 41190000,  
Israel 972 3 6393737, Italy 39 02 41309277, Japan 0120-527196, Korea 82 02 3451 3400,  
Lebanon 961 (0) 1 33 28 28, Malaysia 1800 887710, Mexico 01 800 010 0793, Netherlands 31 (0) 348 433 466,  
New Zealand 0800 553 322, Norway 47 (0) 66 90 76 60, Poland 48 22 328 90 10, Portugal 351 210 311 210,  
Russia 7 495 783 6851, Singapore 1800 226 5886, Slovenia 386 3 425 42 00, South Africa 27 0 11 805 8197,  
Spain 34 91 640 0085, Sweden 46 (0) 8 587 895 00, Switzerland 41 56 2005151, Taiwan 886 02 2377 2222,  
Thailand 662 278 6777, Turkey 90 212 279 3031, United Kingdom 44 (0) 1635 523545

For further support information, refer to the *Technical Support and Professional Services* appendix. To comment on National Instruments documentation, refer to the National Instruments Web site at [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter the Info Code `feedback`.

# Important Information

---

## Warranty

The NI PCIe-1433 is warranted against defects in materials and workmanship for a period of one year from the date of shipment, as evidenced by receipts or other documentation. National Instruments will, at its option, repair or replace equipment that proves to be defective during the warranty period. This warranty includes parts and labor.

The media on which you receive National Instruments software are warranted not to fail to execute programming instructions, due to defects in materials and workmanship, for a period of 90 days from date of shipment, as evidenced by receipts or other documentation. National Instruments will, at its option, repair or replace software media that do not execute programming instructions if National Instruments receives notice of such defects during the warranty period. National Instruments does not warrant that the operation of the software shall be uninterrupted or error free.

A Return Material Authorization (RMA) number must be obtained from the factory and clearly marked on the outside of the package before any equipment will be accepted for warranty work. National Instruments will pay the shipping costs of returning to the owner parts which are covered by warranty.

National Instruments believes that the information in this document is accurate. The document has been carefully reviewed for technical accuracy. In the event that technical or typographical errors exist, National Instruments reserves the right to make changes to subsequent editions of this document without prior notice to holders of this edition. The reader should consult National Instruments if errors are suspected. In no event shall National Instruments be liable for any damages arising out of or related to this document or the information contained in it.

EXCEPT AS SPECIFIED HEREIN, NATIONAL INSTRUMENTS MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, AND SPECIFICALLY DISCLAIMS ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. CUSTOMER'S RIGHT TO RECOVER DAMAGES CAUSED BY FAULT OR NEGLIGENCE ON THE PART OF NATIONAL INSTRUMENTS SHALL BE LIMITED TO THE AMOUNT THEREOF PAID BY THE CUSTOMER. NATIONAL INSTRUMENTS WILL NOT BE LIABLE FOR DAMAGES RESULTING FROM LOSS OF DATA, PROFITS, USE OF PRODUCTS, OR INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY THEREOF. This limitation of the liability of National Instruments will apply regardless of the form of action, whether in contract or tort, including negligence. Any action against National Instruments must be brought within one year after the cause of action accrues. National Instruments shall not be liable for any delay in performance due to causes beyond its reasonable control. The warranty provided herein does not cover damages, defects, malfunctions, or service failures caused by owner's failure to follow the National Instruments installation, operation, or maintenance instructions; owner's modification of the product; owner's abuse, misuse, or negligent acts; and power failure or surges, fire, flood, accident, actions of third parties, or other events outside reasonable control.

## Copyright

Under the copyright laws, this publication may not be reproduced or transmitted in any form, electronic or mechanical, including photocopying, recording, storing in an information retrieval system, or translating, in whole or in part, without the prior written consent of National Instruments Corporation.

National Instruments respects the intellectual property of others, and we ask our users to do the same. NI software is protected by copyright and other intellectual property laws. Where NI software may be used to reproduce software or other materials belonging to others, you may use NI software only to reproduce materials that you may reproduce in accordance with the terms of any applicable license or other legal restriction.

## Trademarks

CVI, LabVIEW, National Instruments, NI, ni.com, the National Instruments corporate logo, and the Eagle logo are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Trademark Information* at [ni.com/trademarks](http://ni.com/trademarks) for other National Instruments trademarks.

The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies.

Members of the National Instruments Alliance Partner Program are business entities independent from National Instruments and have no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

## Patents

For patents covering National Instruments products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *National Instruments Patent Notice* at [ni.com/patents](http://ni.com/patents).

## WARNING REGARDING USE OF NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS

(1) NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS ARE NOT DESIGNED WITH COMPONENTS AND TESTING FOR A LEVEL OF RELIABILITY SUITABLE FOR USE IN OR IN CONNECTION WITH SURGICAL IMPLANTS OR AS CRITICAL COMPONENTS IN ANY LIFE SUPPORT SYSTEMS WHOSE FAILURE TO PERFORM CAN REASONABLY BE EXPECTED TO CAUSE SIGNIFICANT INJURY TO A HUMAN.

(2) IN ANY APPLICATION, INCLUDING THE ABOVE, RELIABILITY OF OPERATION OF THE SOFTWARE PRODUCTS CAN BE IMPAIRED BY ADVERSE FACTORS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO FLUCTUATIONS IN ELECTRICAL POWER SUPPLY, COMPUTER HARDWARE MALFUNCTIONS, COMPUTER OPERATING SYSTEM SOFTWARE FITNESS, FITNESS OF COMPILERS AND DEVELOPMENT SOFTWARE USED TO DEVELOP AN APPLICATION, INSTALLATION ERRORS, SOFTWARE AND HARDWARE COMPATIBILITY PROBLEMS, MALFUNCTIONS OR FAILURES OF ELECTRONIC MONITORING OR CONTROL DEVICES, TRANSIENT FAILURES OF ELECTRONIC SYSTEMS (HARDWARE AND/OR SOFTWARE), UNANTICIPATED USES OR MISUSES, OR ERRORS ON THE PART OF THE USER OR APPLICATIONS DESIGNER (ADVERSE FACTORS SUCH AS THESE ARE HEREAFTER COLLECTIVELY TERMED "SYSTEM FAILURES"). ANY APPLICATION WHERE A SYSTEM FAILURE WOULD CREATE A RISK OF HARM TO PROPERTY OR PERSONS (INCLUDING THE RISK OF BODILY INJURY AND DEATH) SHOULD NOT BE RELIANT SOLELY UPON ONE FORM OF ELECTRONIC SYSTEM DUE TO THE RISK OF SYSTEM FAILURE. TO AVOID DAMAGE, INJURY, OR DEATH, THE USER OR APPLICATION DESIGNER MUST TAKE REASONABLY PRUDENT STEPS TO PROTECT AGAINST SYSTEM FAILURES, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO BACK-UP OR SHUT DOWN MECHANISMS. BECAUSE EACH END-USER SYSTEM IS CUSTOMIZED AND DIFFERS FROM NATIONAL INSTRUMENTS' TESTING PLATFORMS AND BECAUSE A USER OR APPLICATION DESIGNER MAY USE NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS IN COMBINATION WITH OTHER PRODUCTS IN A MANNER NOT EVALUATED OR CONTEMPLATED BY NATIONAL INSTRUMENTS, THE USER OR APPLICATION DESIGNER IS ULTIMATELY RESPONSIBLE FOR VERIFYING AND VALIDATING THE SUITABILITY OF NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS WHENEVER NATIONAL INSTRUMENTS PRODUCTS ARE INCORPORATED IN A SYSTEM OR APPLICATION, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, THE APPROPRIATE DESIGN, PROCESS AND SAFETY LEVEL OF SUCH SYSTEM OR APPLICATION.

# Compliance

---

## Electromagnetic Compatibility Information

This hardware has been tested and found to comply with the applicable regulatory requirements and limits for electromagnetic compatibility (EMC) as indicated in the hardware's Declaration of Conformity (DoC)<sup>1</sup>. These requirements and limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the hardware is operated in the intended electromagnetic environment. In special cases, for example when either highly sensitive or noisy hardware is being used in close proximity, additional mitigation measures may have to be employed to minimize the potential for electromagnetic interference.

While this hardware is compliant with the applicable regulatory EMC requirements, there is no guarantee that interference will not occur in a particular installation. To minimize the potential for the hardware to cause interference to radio and television reception or to experience unacceptable performance degradation, install and use this hardware in strict accordance with the instructions in the hardware documentation and the DoC<sup>1</sup>.

If this hardware does cause interference with licensed radio communications services or other nearby electronics, which can be determined by turning the hardware off and on, you are encouraged to try to correct the interference by one or more of the following measures:

- Reorient the antenna of the receiver (the device suffering interference).
- Relocate the transmitter (the device generating interference) with respect to the receiver.
- Plug the transmitter into a different outlet so that the transmitter and the receiver are on different branch circuits.

Some hardware may require the use of a metal, shielded enclosure (windowless version) to meet the EMC requirements for special EMC environments such as, for marine use or in heavy industrial areas. Refer to the hardware's user documentation and the DoC<sup>1</sup> for product installation requirements.

When the hardware is connected to a test object or to test leads, the system may become more sensitive to disturbances or may cause interference in the local electromagnetic environment.

Operation of this hardware in a residential area is likely to cause harmful interference. Users are required to correct the interference at their own expense or cease operation of the hardware.

Changes or modifications not expressly approved by National Instruments could void the user's right to operate the hardware under the local regulatory rules.

---

<sup>1</sup> The Declaration of Conformity (DoC) contains important EMC compliance information and instructions for the user or installer. To obtain the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

# Conventions

---

The following conventions are used in this manual:

<>

Angle brackets that contain numbers separated by an ellipsis represent a range of values associated with a bit or signal name—for example, AO <3..0>.

»

The » symbol leads you through nested menu items and dialog box options to a final action. The sequence **File»Page Setup»Options** directs you to pull down the **File** menu, select the **Page Setup** item, and select **Options** from the last dialog box.



This icon denotes a note, which alerts you to important information.

**bold**

Bold text denotes items that you must select or click in the software, such as menu items and dialog box options. Bold text also denotes parameter names.

*italic*

Italic text denotes variables, emphasis, a cross-reference, or an introduction to a key concept. Italic text also denotes text that is a placeholder for a word or value that you must supply.

monospace

Text in this font denotes text or characters that you should enter from the keyboard, sections of code, programming examples, and syntax examples. This font is also used for the proper names of disk drives, paths, directories, programs, subprograms, subroutines, device names, functions, operations, variables, filenames, and extensions.

# Contents

---

## Chapter 1

### Introduction

Camera Link .....	1-2
Overview .....	1-2
Power Over Camera Link .....	1-2
SafePower .....	1-3
Software Overview .....	1-3
NI-IMAQ Driver Software .....	1-3
National Instruments Application Software .....	1-4
Vision Builder for Automated Inspection .....	1-4
Vision Development Module .....	1-4
Integration with DAQ and Motion Control .....	1-5

## Chapter 2

### Hardware Overview

Functional Overview .....	2-1
Camera Link and the NI 1433 .....	2-2
Hardware Binarization .....	2-3
Multiple-Tap Data Formatter .....	2-4
Trigger Control and Mapping Circuitry .....	2-4
Noise Filtering .....	2-4
Quadrature Encoder Support .....	2-4
Noise Filtering .....	2-5
High-Speed Timing .....	2-5
Acquisition and Region of Interest (ROI) .....	2-5
Acquisition Window Control .....	2-5
DMA Controllers .....	2-6
PCIe Interface .....	2-6
Start Conditions .....	2-6
Serial Interface .....	2-7

## Chapter 3

### Signal Connections

Connectors .....	3-1
MDR Connectors .....	3-2
Cabling .....	3-4
SMB Connector .....	3-4

**Appendix A  
Specifications**

**Appendix B  
Technical Support and Professional Services**

**Glossary**

**Index**

---

# Introduction

The NI PCIe-1433 (NI 1433) is an image acquisition device that supports Base, Medium, Full, and Extended Full configuration Camera Link-compatible cameras. The NI 1433 acquires digital images in real time and transfers them directly to system memory. Featuring a high-speed data path, the NI 1433 is ideal for both industrial and scientific environments.

The NI 1433 is easy to install and configure. It ships with NI-IMAQ, the National Instruments driver software that is used to directly control the NI 1433 and other National Instruments image acquisition devices. With NI-IMAQ, you can start your applications without having to program the device at the register level. Refer to *Getting Started with the NI PCIe-1433* for information about installing the NI 1433.

Camera files configure the NI 1433 with information about the output format of your camera. Camera files validated by National Instruments are installed with the NI-IMAQ driver software. Additional camera files are available for download from the National Instruments Industrial Camera Advisor Web site at [ni.com/camera](http://ni.com/camera).

The 26-pin MDR connectors on the NI 1433 provide the connection to Camera Link-compatible cameras. For further configuration information, refer to the *Camera Link and the NI 1433* section of Chapter 2, *Hardware Overview*.

The NI 1433 has one I/O line on its front panel. Additional I/O lines for advanced triggering, pulse-train outputs, and isolated DIO are available with the NI Camera Link I/O Extension Board (PCIe). The I/O Extension Board also can be used for interfacing to a quadrature encoder. Refer to the *NI Camera Link I/O Extension Board (PCIe) User Guide* for information about the I/O Extension Board.

For more advanced digital or analog system triggering or digital I/O lines, you can use the NI 1433 and NI-IMAQ with the National Instruments Data Acquisition (DAQ) or Motion Control product lines.

Synchronizing several functions to a common trigger or timing event can be a challenge with image acquisition devices. The NI 1433 uses the Real-Time System Integration (RTSI) bus to synchronize multiple devices,

such as data acquisition and motion control devices. The RTSI bus uses the National Instrument RTSI bus interface and ribbon cable to route additional timing and trigger signals between the NI 1433 and up to four National Instruments DAQ, Motion Control, or Vision devices. The RTSI bus also can synchronize multiple image acquisition devices to perform simultaneous captures.

Refer to Appendix A, *Specifications* for detailed specifications of the NI 1433.

## Camera Link

---

This section provides a brief overview of the Camera Link standard. Refer to the *Specifications of the Camera Link Interface Standard for Digital Cameras and Frame Grabbers* manual for more detailed information about Camera Link specifications. This manual is available on several Web sites, including the Automated Imaging Association site at [www.machinevisiononline.org](http://www.machinevisiononline.org).

### Overview

Developed by a consortium of camera and image acquisition device manufacturers, Camera Link is a standard for interfacing digital cameras with image acquisition devices. Camera Link simplifies connectivity between the image acquisition device and the camera by defining a single standard connector for both. This standard ensures physical compatibility of devices bearing the Camera Link logo.

The basis for the Camera Link standard is the National Semiconductor Channel Link chipset, a data transmission method consisting of a general-purpose transmitter/receiver pair. The Channel Link driver takes 28 bits of parallel digital data and a clock and serializes the stream to four LVDS (EIA-644) data streams and an LVDS clock, providing high-speed data transmission across 10 wires and over distances of up to 10 m.

### Power Over Camera Link

The NI 1433 supports Power over Camera Link (PoCL). PoCL is an extension to the Camera Link standard that allows frame grabbers to power cameras through the Camera Link cable. PoCL uses standard Camera Link connectors and is backwards compatible with existing Camera Link equipment.



**Note** Because the power available through Camera Link cables is limited, PoCL is not sufficient for high-performance cameras.

## SafePower

The NI 1433 supports PoCL SafePower. SafePower is a protocol that prevents the frame grabber from attempting to supply power to a conventional (non-PoCL) camera or through a conventional cable.

## Software Overview

---

Programming the NI 1433 requires the NI-IMAQ driver software to control the hardware. National Instruments also offers the following application software packages for analyzing and processing your acquired images.

- **NI Vision Builder for Automated Inspection**—Allows you to configure solutions to common inspection tasks.
- **NI Vision Development Module**—Provides customized control over hardware and algorithms.

The following sections provide an overview of the driver and application software. For detailed information about individual software packages, refer to the documentation specific to each software package.

## NI-IMAQ Driver Software

The NI 1433 ships with NI Vision Acquisition Software, which includes the NI-IMAQ driver software. NI-IMAQ has an extensive library of functions—such as routines for video configuration, continuous and single shot image acquisition, memory buffer allocation, trigger control, and device configuration—you can call from the application development environment (ADE). NI-IMAQ handles many of the complex issues between the computer and the image acquisition device, such as programming interrupts and camera control.

NI-IMAQ performs all functions required for acquiring and saving images but does not perform image analysis. Refer to the [National Instruments Application Software](#) section for image analysis functionality.

NI-IMAQ also provides the interface between the NI 1433 and LabVIEW, LabWindows™/CVI™, or a text-based programming environment. The NI-IMAQ software kit includes a series of libraries for image acquisition for LabVIEW, LabWindows/CVI, and Measurement Studio, which contains libraries for .NET.

NI-IMAQ features both high-level and low-level functions. Examples of high-level functions include the sequences to acquire images in multi-buffer, single-shot, or continuous mode. An example of a low-level function is configuring an image sequence, since it requires advanced understanding of image acquisition.

## National Instruments Application Software

This section describes the National Instruments application software packages you can use to analyze and process the images you acquire with the NI 1433.

### Vision Builder for Automated Inspection

NI Vision Builder for Automated Inspection (Vision Builder AI) is configurable machine vision software that you can use to prototype, benchmark, and deploy applications. Vision Builder AI does not require programming, but is scalable to powerful programming environments.

Vision Builder AI allows you to easily configure and benchmark a sequence of visual inspection steps, as well as deploy the visual inspection system for automated inspection. With Vision Builder AI, you can perform powerful visual inspection tasks and make decisions based on the results of individual tasks. You also can migrate the configured inspection to LabVIEW, extending the capabilities of the applications if necessary.

### Vision Development Module

NI Vision Development Module, which consists of NI Vision and NI Vision Assistant, is an image acquisition, processing, and analysis library for the following common machine vision tasks:

- Pattern matching
- Particle analysis
- Gauging
- Taking measurements
- Grayscale, color, and binary image display

You can use the Vision Development Module functions individually or in combination. With the Vision Development Module, you can acquire, display, and store images, as well as perform image analysis and processing. Using the Vision Development Module, imaging novices and experts can program the most basic or complicated image applications without knowledge of particular algorithm implementations.

As a part of the Vision Development Module, NI Vision Assistant is an interactive prototyping tool for machine vision and scientific imaging developers. With Vision Assistant, you can prototype vision applications quickly and test how various image processing functions work.

Vision Assistant generates a Builder file, which is a text description containing a recipe of the machine vision and image processing functions. This Builder file provides a guide you can use for developing applications in any ADE, such as LabWindows/CVI or Visual Basic, using the Vision Assistant machine vision and image processing libraries. Using the LabVIEW VI creation wizard, Vision Assistant can create LabVIEW VIs that perform the prototype you created in Vision Assistant. You can then use LabVIEW to add functionality to the generated VI.

## Integration with DAQ and Motion Control

Platforms that support NI-IMAQ also support NI-DAQ and a variety of National Instruments data acquisition (DAQ) devices. This allows for integration between image acquisition and DAQ devices.

Use National Instruments high-performance stepper and servo motion control products with pattern matching software in inspection and guidance applications, such as locating alignment markers on semiconductor wafers, guiding robotic arms, inspecting the quality of manufactured parts, and locating cells.

# Hardware Overview

This chapter provides an overview of NI 1433 hardware functionality and explains the operations of the functional units on the device.

## Functional Overview

The NI 1433 features a flexible, high-speed data path optimized for receiving and formatting video data from Camera Link cameras.

The following block diagram illustrates the key functional components of the NI 1433.

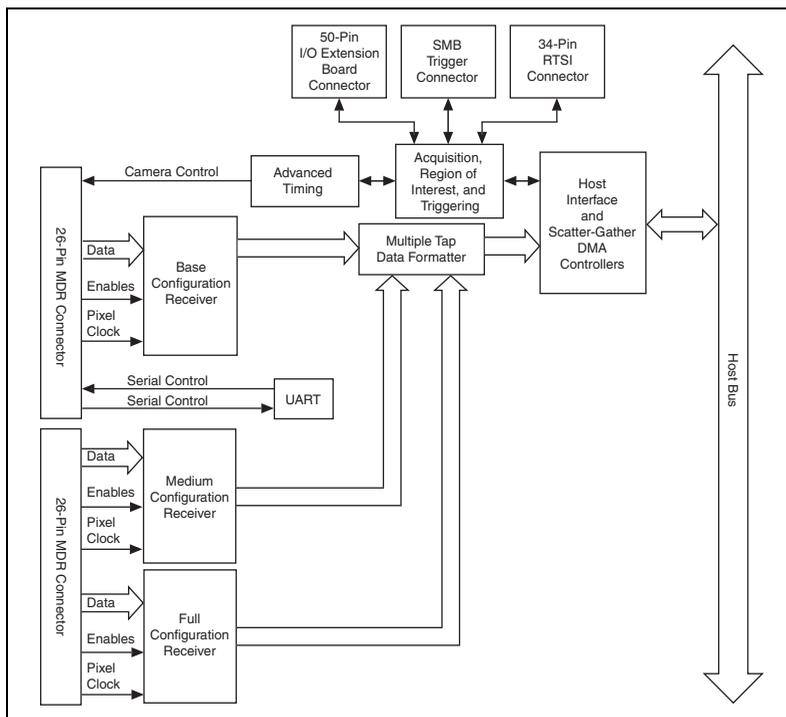


Figure 2-1. NI 1433 Block Diagram

## Camera Link and the NI 1433

The NI 1433 supports Camera Link Base, Medium, Full, and Extended Full configurations.

The Camera Link specifications include up to 64 data bits, enable signals, and asynchronous serial transmission, as well as four digital camera control lines for controlling exposure time, frame rates, and other camera control signals. The four control lines are configured in the camera file to generate precise timing signals for controlling digital camera acquisition.



**Note** Extended Full configurations support up to 80 bits of data.

The Camera Link standard defines physical connections between image acquisition devices and Camera Link cameras, and it allows for flexibility of image format and data transfer protocols. The camera manufacturer defines image parameters, such as image resolution and the number of bits per pixel, and camera control parameters, such as frame-on-demand and exposure control signals.

These variable parameters are defined on a per-camera basis in a camera file (`camera_model.icd`) supplied by National Instruments. NI-IMAQ uses the information in this camera file to program the NI 1433 to acquire images from a specific camera. Without this camera file, the driver does not have the information necessary to configure the NI 1433 to recognize the image format of the particular camera you are using.

The three Camera Link configurations have the following bit allocations and number of taps:

**Table 2-1.** Camera Link Bit Allocations and Taps

	<b>Base Configuration</b>	<b>Medium Configuration</b>	<b>Full Configuration</b>
<b>Bit Allocation and Taps</b>	8-bit × 1, 2, or 3 taps (pixels) 10-bit × 1 or 2 taps 12-bit × 1 or 2 taps 14-bit × 1 tap 16-bit × 1 tap 24-bit RGB	8-bit × 4 taps 10-bit × 3 or 4 taps 12-bit × 3 or 4 taps 30-bit RGB 36-bit RGB	8-bit × 8 taps

Medium, Full, and Extended Full configurations require using both connectors. These configurations allow for more data throughput by offering multiple synchronized data channels between the camera and the NI 1433.

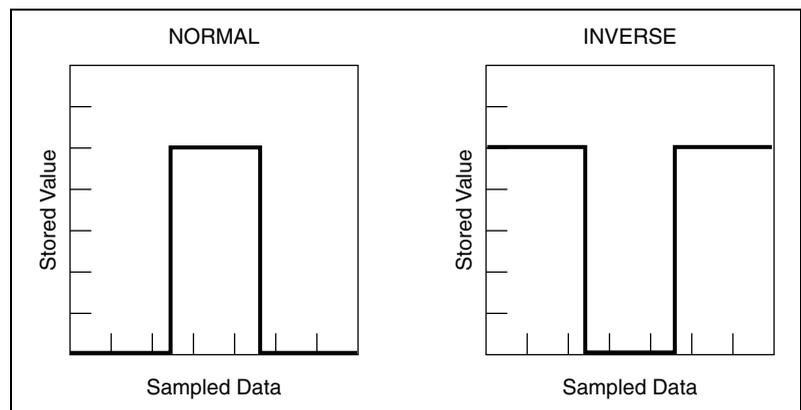
## Hardware Binarization

The NI 1433 supports binarization and inverse binarization. Binarization and inverse binarization segment an image into two regions: a particle region and a background region. Use binarization and inverse binarization to isolate objects of interest in an image.

To separate objects under consideration from the background, select a pixel value range. This pixel value range is known as the gray-level interval, or the threshold interval. Binarization works by setting all image pixels that fall within the threshold interval to the image white value and setting all other image pixels to 0. Pixels inside the threshold interval are considered part of the particle region. Pixels outside the threshold interval are considered part of the background region.

Inverse binarization flips the assigned bit numbers of the particle region and the background region. Thus, all pixels that belong in the threshold interval, or the particle region, are set to 0, and all pixels outside the threshold interval, or the background region, are set to the image white value.

The following figure illustrates binarization and inverse binarization.



**Figure 2-2.** Binarization and Inverse Binarization

## Multiple-Tap Data Formatter

Many digital cameras transfer multiple taps, or pixels, of data simultaneously to increase the frame rate of the camera. However, the data in each tap may not be transferred in the traditional top-left to bottom-right direction. Also, the taps may not transfer data in the same direction.

The multiple-tap data formatting circuitry on the NI 1433 can reorder the data from multiple taps. The data from each tap can be independently scanned either from left-to-right or right-to-left and top-to-bottom or bottom-to-top.



**Note** Data reformatting instructions for cameras have been preprogrammed into the camera files.

## Trigger Control and Mapping Circuitry

The trigger control and mapping circuitry routes, monitors, and drives the external and RTSI bus trigger lines. You can configure each trigger line to start an acquisition on a rising edge or a falling edge. You also can drive each line asserted or unasserted as a digital I/O line. You can map pulses from the high-speed timing circuitry or the NI 1433 status signals to these trigger lines. Seven RTSI bus triggers and one external trigger—all of which are programmable for polarity and direction—are available for simultaneous use. Additional I/O is available with the NI Camera Link I/O Extension Board (PCIe).

### Noise Filtering

Noise filtering is available for all TTL inputs and RTSI inputs. Refer to the *NI-IMAQ VI Reference Help* or the *NI-IMAQ Function Reference Help* for more information about noise filtering.

## Quadrature Encoder Support

The NI 1433 supports RS-422 and singled-ended phase signal decoding from a quadrature encoder. The Phase A and Phase B outputs from the quadrature encoder can be interfaced with the NI 1433 through the NI Camera Link I/O Extension Board (PCIe).

Refer to the *Connecting to a Quadrature Encoder* section of the *NI Camera Link I/O Extension Board (PCIe) User Guide* for more information on connecting to and using onboard quadrature counters.

The NI 1433 provides a 64-bit counter to maintain a precise record of an absolute position determined by the encoder inputs. To generate a pulse train that is based on positional ticks, you can set a unique divide down factor. This pulse train is commonly used as a trigger for a line scan camera when performing a web inspection. The NI 1433 also supports querying the absolute position counter value.

## Noise Filtering

Noise filtering is available for the Phase A and Phase B encoder inputs. Refer to the *NI-IMAQ VI Reference Help* or the *NI-IMAQ Function Reference Help* for more information about noise filtering.

## High-Speed Timing

Built from high-speed counters, the timing circuitry on the NI 1433 can generate precise real-time control signals for your camera. Map the output of this circuitry to a trigger line to provide accurate pulses and pulse trains. Use these control signals to control exposure time and frame rate.



**Note** The external control for cameras has been preprogrammed into the camera file. You can use Measurement & Automation Explorer (MAX) to specify the frequency and duration of these signals in easy-to-use units.

## Acquisition and Region of Interest (ROI)

The acquisition and ROI circuitry monitors incoming video signals and routes the active pixels to the multiple-tap data formatter. The NI 1433 can perform ROI acquisitions on all video lines and frames. In an ROI acquisition, select an area within the acquisition window to transfer across the host bus to system memory. If the area of the image you need is smaller than the camera output that appears in the acquisition window, selecting an ROI speeds up the transfer and processing times for the image.



**Note** You can use MAX to set the acquisition and ROI parameters.

## Acquisition Window Control

You can configure the following parameters on the NI 1433 to control the video acquisition window:

- **Acquisition window**—The NI 1433 allows you to specify a particular region of active pixels and active lines within the incoming video data. The active pixel region selects the starting pixel and number of pixels to be acquired relative to the assertion edge of the horizontal (or line)

enable signal from the camera. The active line region selects the starting line and number of lines to be acquired relative to the assertion edge of the vertical (or frame) enable signal.

- **Region of interest**—The NI 1433 uses a second level of active pixel and active line regions for selecting a region of interest. Using the region-of-interest circuitry, the device acquires only a selected subset of the acquisition window.

## DMA Controllers

The NI 1433 uses onboard direct memory access (DMA) controllers to transfer data between the device and host memory. Each of these controllers supports scatter-gather DMA, which allows the DMA controller to reconfigure at runtime. The NI 1433 can perform continuous image transfers directly to either contiguous or fragmented memory buffers. The NI-IMAQ driver software efficiently programs the DMA engines while providing an easy-to-use high-level interface.

## PCIe Interface

The NI 1433 is compliant with PCI Express 1.1 specifications. The NI 1433 is intended for a x4 PCIe slot. It does not fit properly into a x1 PCIe slot. However, the NI 1433 does fit into, and can be used in, a x8 or x16 PCIe slot. Using a smaller width device in a larger width slot is called up-plugging. When up-plugging, some motherboards only support plug-in devices at the x1 data rate. If you plan to use the NI 1433 in an up-plugging configuration, with a camera that produces data faster than 200 MB/s, verify with your computer manufacturer that your motherboard supports a x4 plug-in device at a x4 data rate in the PC expansion slot you plan to use.

## Start Conditions

The NI 1433 can start acquisitions in the following ways:

- **Software control**—The NI 1433 supports software control of acquisition start. You can configure the NI 1433 to capture a fixed number of frames. Use this configuration for capturing a single frame or a sequence of frames.
- **Trigger control**—You can start an acquisition by enabling external or RTSI bus trigger lines. Each of these inputs can start a video acquisition on a rising edge or a falling edge.

## Serial Interface

The NI 1433 provides serial communication to and from the camera through two LVDS pairs in the Camera Link cable. All Camera Link serial communication uses one start bit, one stop bit, no parity, and no hardware handshaking.

The NI 1433 supports all baud rates specified by the Camera Link specification. Refer to the [Serial Interface](#) section of Appendix A, [Specifications](#), for a list of baud rates the NI 1433 supports.

You can use the serial interface interactively with MAX, `clsercon.exe`, or a manufacturer supplied camera control utility, or programmatically with LabVIEW, C, or .NET.

Interactively:

- **MAX**—Use MAX with a camera file containing preprogrammed commands. When an acquisition is initiated, the commands are sent to the camera.
- `clsercon.exe`—Use the National Instruments terminal emulator for Camera Link, `clsercon.exe`, if a camera file with preprogrammed serial commands does not exist for your camera. With `clsercon.exe`, you can still communicate serially with your camera. Access `clsercon.exe` from the `<NI-IMAQ>\bin` directory, where `<NI-IMAQ>` is the location NI-IMAQ is installed.
- **Manufacturer Supplied Camera Control Utility**—Camera manufacturers who are compliant with the Camera Link 1.1 or later specification provide a camera control utility which sends the appropriate serial commands for configuring your camera through the NI 1433 serial port.

Programmatically:

- **LabVIEW**—Use the serial interface programmatically, through calls to the NI-IMAQ driver using the IMAQ Serial Write VI and IMAQ Serial Read VI.
- **C**—Use the serial interface programmatically, through calls to the NI-IMAQ driver using the `imgSessionSerialWrite` and `imgSessionSerialRead` functions.
- **.NET**—Use the serial interface programmatically, through calls to the NI-IMAQ driver using the `ImaqSerialConnection` class.



**Note** `clsercon.exe` and all programmatic connection methods provide direct manual access of the NI 1433 serial port, and are not required for most users.

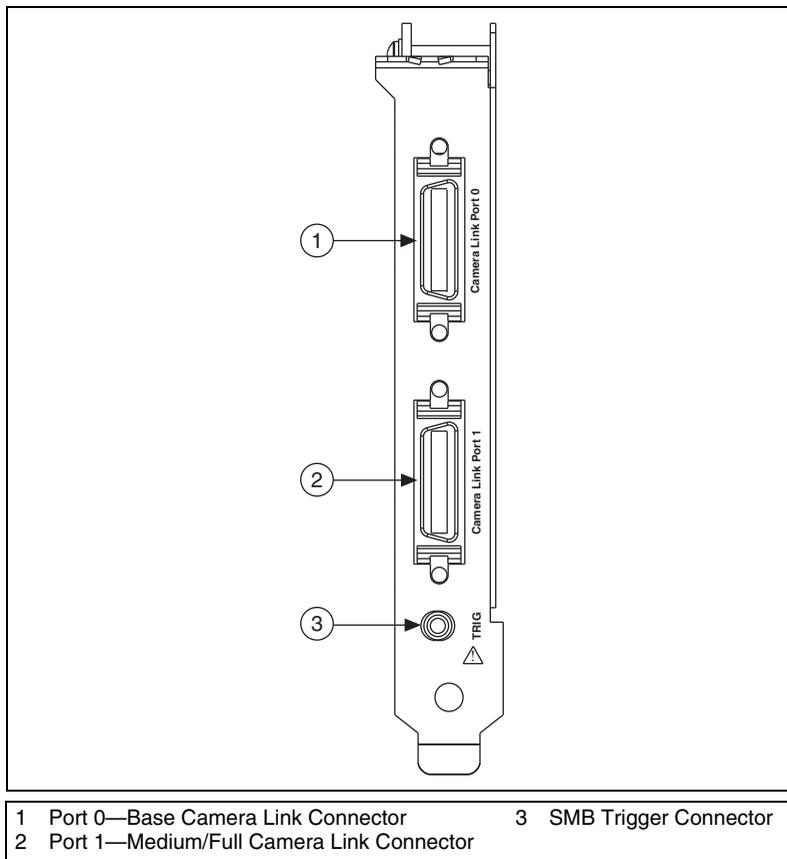
National Instruments also fully supports the recommended serial API described in the *Specifications of the Camera Link Interface Standard for Digital Cameras and Frame Grabbers* manual. This manual is available on several Web sites, including the Automated Imaging Association Web site at [www.machinevisiononline.org](http://www.machinevisiononline.org).

# Signal Connections

This chapter describes connecting signals to the connectors on the NI 1433 and describes considerations for using the NI 1433 with the NI Camera Link I/O Extension Board (PCIe).

## Connectors

The following figure shows the connectors on the NI 1433 device.



**Figure 3-1.** NI 1433 Connectors

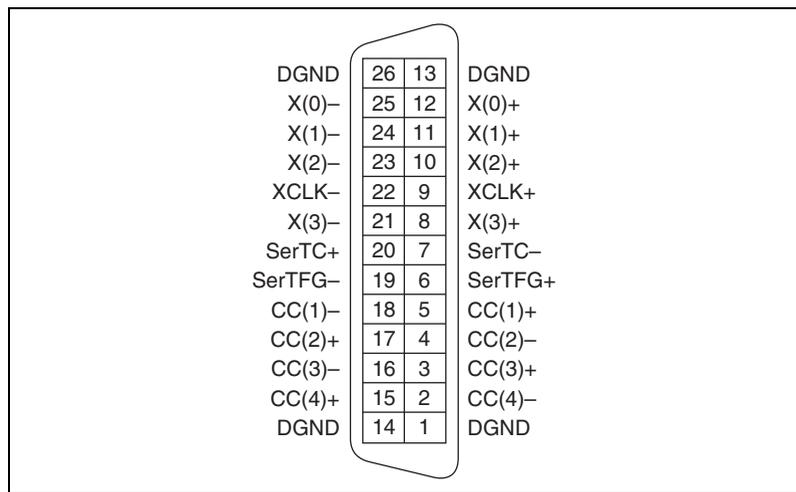
## MDR Connectors

Port 0 and Port 1 are 26-pin MDR connectors that provide reliable high-frequency transfer rates between the camera and the NI 1433.

- For Base configuration cameras, connect one 26-pin MDR Camera Link cable to Port 0 on the NI 1433.
- For Medium, Full, or Extended Full configuration cameras, connect one 26-pin MDR Camera Link cable to Port 0 and one 26-pin MDR cable to Port 1 on the NI 1433.

Refer to the [Cabling](#) section for additional information about Camera Link cables.

Figure 3-2 shows the Base configuration 26-pin MDR connector, which is labeled Port 0 on the NI 1433. Refer to Table 3-1 for a description of the signals.



**Figure 3-2.** NI 1433 Base Configuration MDR Connector Pin Assignments

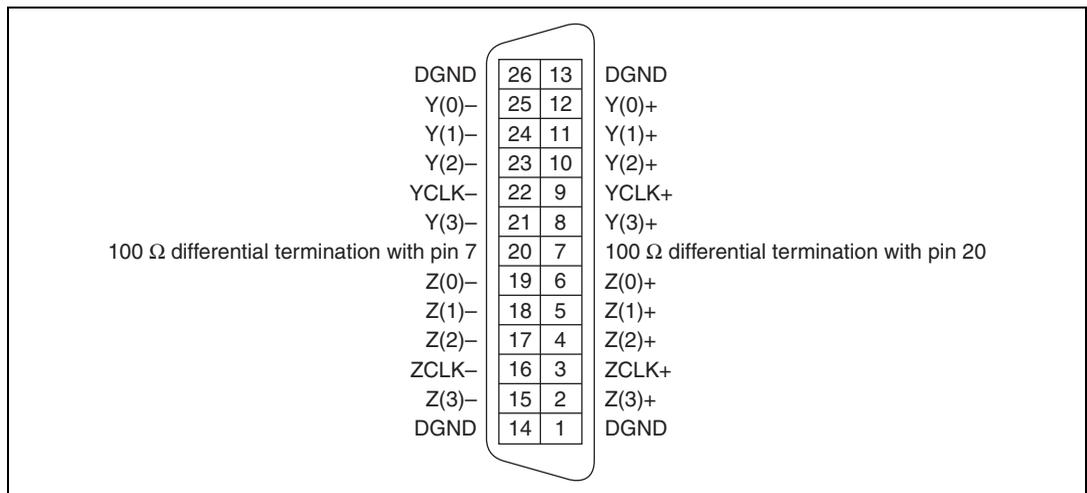
**Table 3-1.** NI 1433 Base Configuration MDR Signal Descriptions

Signal Name	Description
X<3..0>±	Base configuration data and enable signals from the camera to the NI 1433.
XCLK±	Transmission clock on the Base configuration chip for Camera Link communication between the NI 1433 and the camera.
SerTC±	Serial transmission to the camera from the NI 1433.

**Table 3-1.** NI 1433 Base Configuration MDR Signal Descriptions (Continued)

Signal Name	Description
SerTFG±	Serial transmission to the NI 1433 from the camera.
CC<4..1>±	Four LVDS pairs, defined as camera inputs and NI 1433 outputs, reserved for camera control. On some cameras, the camera controls allow the NI 1433 to control exposure time and frame rate.

Figure 3-3 shows the Medium/Full configuration 26-pin MDR connector, which is labeled Port 1 on the NI 1433. Refer to Table 3-2 for a description of the signals.

**Figure 3-3.** NI 1433 Medium/Full Configuration MDR Connector Pin Assignments**Table 3-2.** NI 1433 Medium/Full Configuration MDR Signal Descriptions

Signal Name	Description
Y<3..0>±	Medium configuration data and enable signals from the camera to the NI 1433.
YCLK±	Transmission clock on the Medium configuration chip for Camera Link communication between the NI 1433 and the camera.
Z<3..0>±	Full configuration data and enable signals from the camera to the NI 1433.
ZCLK±	Transmission clock on the Full configuration chip for Camera Link communication between the NI 1433 and the camera.

## Cabling

Use a standard Camera Link cable to connect your camera to the 26-pin MDR connector on the NI 1433 device. Camera Link cables consist of two MDR-26 male plugs linked with a twin-axial shielded cable and are available in two shell configurations.

National Instruments recommends that you use the following cables to connect your camera to the 26-pin MDR connectors on the NI 1433:

- MDR to MDR Camera Link cable (part number 199744A-05)
- MDR to SDR Camera Link cable (part number 199745A-05)



**Note** To ensure the high-speed signaling of the Camera Link interface, National Instruments recommends that you purchase a Camera Link cable rather than build a custom cable.

Refer to the *Specifications of the Camera Link Interface Standard for Digital Cameras and Frame Grabbers* manual for more information about Camera Link cables. This manual is available on several Web sites, including the Automated Imaging Association Web site at [www.machinevisiononline.org](http://www.machinevisiononline.org).

## SMB Connector

The SMB connector can be used for front panel trigger connectivity. It can be used as a 5 V input to trigger acquisitions or as a 5 V output to provide status information to your system. For further triggering and DIO needs, use the NI Camera Link I/O Extension Board (PCIe). The I/O Extension Board provides three differential isolated inputs, three isolated outputs, eight TTL inputs/outputs, and quadrature encoder inputs.

# Specifications

This lists specifications for the NI PCIe-1433. These specifications are typical at 25 °C, unless otherwise stated.

## Features

Supported camera standard .....	Camera Link 1.2
Supported configurations .....	Base, Medium, Full, Extended Full
Camera connectors .....	Two 26-pin MDR

## PCI Express Interface

PCI Express compliance .....	1.1
Native link width.....	x4
Up-plugging availability .....	x8, x16



**Note** Some system devices limit data transfer rates for plug-in devices in an up-plugging configuration. Refer to the documentation provided by the computer manufacturer to determine if your computer will support a x4 plug-in device at a x4 data rate in a larger slot.

## Trigger Characteristics

Number of external trigger I/O lines.....	1
Trigger input	
Voltage range .....	0 to 5 V (TTL)
Input high voltage .....	2.0 V
Input low voltage .....	0.8 V
Polarity .....	Programmable, active high or active low

Trigger output	
Voltage range.....	0 to 5 V (TTL)
Output high voltage.....	3.06 V at 3 mA source
Output low voltage.....	0.55 V at 3 mA sink
Polarity .....	Programmable, active high or active low
Maximum pulse rate .....	2 MHz

## Clocks

Pixel clock frequency range.....	20 MHz to 85 MHz <sup>1</sup>
----------------------------------	-------------------------------



**Note** The Camera Link specification requires cameras to transmit at a minimum of 20 MHz.

## Serial Interface

Baud rates supported .....	9.6, 19.2, 38.4, 57.6, 115.2, 230.4, 460.8, or 921.6 kbps
----------------------------	--

## Power Requirements

Voltage.....	+3.3 V (1.5 A) +12 V (1.25 A)
--------------	----------------------------------

## Power Over Camera Link (PoCL)

Voltage.....	12 V nominal
Average power output .....	4 W maximum
SafePower .....	Supported

## Physical Characteristics

Dimensions .....	10.7 cm × 17.5 cm (4.2 in. × 6.9 in.)
Weight .....	205 g (7.23 oz)

---

<sup>1</sup> This value corresponds to the serialized Camera Link cable transmission rate of 140 to 595 MHz.

## Environment

The NI 1433 is intended for indoor use only.

### Operating Environment

Operating temperature.....	0 °C to 50 °C Tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2.
Relative humidity range .....	10% to 90%, noncondensing Tested in accordance with IEC-60068-2-56.
Altitude.....	2,000 m at 25 °C ambient temperature
Pollution Degree .....	2

### Storage Environment

Ambient temperature range.....	-20 °C to 70 °C Tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2.
Relative humidity range .....	5% to 95%, noncondensing Tested in accordance with IEC-60068-2-56.



**Note** Clean the device with a soft, non-metallic brush. Make sure the device is completely dry and free from contaminants before returning it to service.

## Shock and Vibration

Operational shock .....	30 g peak, half-sine, 11 ms pulse Tested in accordance with IEC-60068-2-27. Test profile developed in accordance with MIL-PRF-28800F.
-------------------------	---

Random vibration

Operating .....	5 to 500 Hz, 0.3 grms
Nonoperating .....	5 to 500 Hz, 2.4 grms

Tested in accordance with IEC-60068-2-64. Nonoperating test profile exceeds the requirements of MIL-PRF-28800F, Class 3.

## Safety

This product meets the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

## Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Basic immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



**Note** For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the [Online Product Certification](#) section.



**Note** For EMC compliance, operate this device with shielded cables and according to the documentation.

## CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

## Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at [ni.com/environment](http://ni.com/environment). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

## Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



**EU Customers** At the end of the product life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste and Electronic Equipment, visit [ni.com/environment/weee](http://ni.com/environment/weee).

## 电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）



**中国客户** National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china)。(For information about China RoHS compliance, go to [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china).)

---

# Technical Support and Professional Services

Visit the following sections of the award-winning National Instruments Web site at [ni.com](http://ni.com) for technical support and professional services:

- **Support**—Technical support at [ni.com/support](http://ni.com/support) includes the following resources:
  - **Self-Help Technical Resources**—For answers and solutions, visit [ni.com/support](http://ni.com/support) for software drivers and updates, a searchable KnowledgeBase, product manuals, step-by-step troubleshooting wizards, thousands of example programs, tutorials, application notes, instrument drivers, and so on. Registered users also receive access to the NI Discussion Forums at [ni.com/forums](http://ni.com/forums). NI Applications Engineers make sure every question submitted online receives an answer.
  - **Standard Service Program Membership**—This program entitles members to direct access to NI Applications Engineers via phone and email for one-to-one technical support as well as exclusive access to on demand training modules via the Services Resource Center. NI offers complementary membership for a full year after purchase, after which you may renew to continue your benefits.

For information about other technical support options in your area, visit [ni.com/services](http://ni.com/services), or contact your local office at [ni.com/contact](http://ni.com/contact).

- **Training and Certification**—Visit [ni.com/training](http://ni.com/training) for self-paced training, eLearning virtual classrooms, interactive CDs, and Certification program information. You also can register for instructor-led, hands-on courses at locations around the world.
- **System Integration**—If you have time constraints, limited in-house technical resources, or other project challenges, National Instruments Alliance Partner members can help. To learn more, call your local NI office or visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).

- **Declaration of Conformity (DoC)**—A DoC is our claim of compliance with the Council of the European Communities using the manufacturer’s declaration of conformity. This system affords the user protection for electronic compatibility (EMC) and product safety. You can obtain the DoC for your product by visiting [ni.com/certification](http://ni.com/certification).
- **Calibration Certificate**—If your product supports calibration, you can obtain the calibration certificate for your product at [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

If you searched [ni.com](http://ni.com) and could not find the answers you need, contact your local office or NI corporate headquarters. Phone numbers for our worldwide offices are listed at the front of this manual. You also can visit the Worldwide Offices section of [ni.com/niglobal](http://ni.com/niglobal) to access the branch office Web sites, which provide up-to-date contact information, support phone numbers, email addresses, and current events.

# Glossary

---

## A

acquisition window	The image size specific to a video standard or camera resolution.
active line region	The region of lines actively being stored. Defined by a line start (relative to the vertical synchronization signal) and a line count.
active pixel region	The region of pixels actively being stored. Defined by a pixel start (relative to the horizontal synchronization signal) and a pixel count.
API	Application programming interface.
area	A rectangular portion of an acquisition window or frame that is controlled and defined by software.

## B

buffer	Temporary storage for acquired data.
bus	A group of conductors that interconnect individual circuitry in a computer, such as the PCI bus; typically the expansion vehicle to which I/O or other devices are connected.

## C

Camera Link	Interface standard for digital video data and camera control based on the Channel Link chipset.
Channel Link	National Semiconductor chipset for high-speed data serialization and deserialization for transmission across cables up to 10 m.

## **D**

**DAQ** Data acquisition. (1) Collecting and measuring electrical signals from sensors, transducers, and test probes or fixtures and inputting them to a computer for processing. (2) Collecting and measuring the same kinds of electrical signals with A/D or DIO boards plugged into a computer, and possibly generating control signals with D/A and/or DIO boards in the same computer.

**DMA** Direct memory access. A method by which data can be transferred to and from computer memory from and to a device or memory on the bus while the processor does something else; DMA is the fastest method of transferring data to/from computer memory.

## **F**

**frame grabber** A device that digitizes an image and stores it in a computer's memory.

## **H**

**handshaking** A type of protocol that makes it possible for two devices to synchronize operations.

## **L**

**LVDS** Low Voltage Differential Signaling (EIA-644).

## **N**

**NI-IMAQ** Driver software for National Instruments frame grabbers.

**NI Vision Acquisition Software** A collection of driver software and utilities that acquire, display, save, and monitor images from any NI image acquisition device.

**P**

parity	Method of error checking. Ensures that there is always either an even number or an odd number of asserted bits in a byte, character, or word, according to the logic of the system. If a bit should be lost in data transmission, its loss can be detected by checking the parity
PCI	Peripheral Component Interconnect. A high-performance expansion bus architecture originally developed by Intel to replace ISA and EISA. PCI offers a theoretical maximum transfer rate of 133 Mbytes/s.
PCIe	PCI express. A high-performance expansion bus architecture originally developed by Intel to replace PCI. PCIe offers a theoretical maximum transfer rate that is dependent upon lane width. A x1 link theoretically provides 250 MB/s in each direction to and from the device. Once overhead is accounted for, a x1 link can provide up to 200 MB/s of input capability and 200 MB/s of output capability. Increasing the number of lanes in a link increases maximum throughput by approximately the same factor.
pixel	Picture element. The smallest division that makes up the video scan line; for display on a computer monitor, a pixel's optimum dimension is square (aspect ratio of 1:1, or the width equal to the height).
pixel clock	Divides the incoming horizontal video line into pixels.
protocol	The exact sequence of bits, characters, and control codes used to transfer data between computers and peripherals through a communications channel.

**Q**

quadrature encoder	A device that converts angular rotation into two pulse trains, A and B. The phase difference between A and B transmits information about the direction of rotation and the number of transitions indicates the amount of rotation.
--------------------	--

**R**

real time	A property of an event or system in which data is processed as it is acquired instead of being accumulated and processed at a later time.
-----------	---

resolution	The smallest signal increment that can be detected by a measurement system. Resolution can be expressed in bits, in proportions, or in percent of full scale. For example, a system has 12-bit resolution, one part in 4,096 resolution, and 0.0244 percent of full scale.
RGB	Color encoding scheme using red, green, and blue (RGB) color information where each pixel in the color image is encoded using 32 bits: eight bits for red, eight bits for green, eight bits for blue, and eight bits for the alpha value (unused).
ROI	Region of interest. A hardware-programmable rectangular portion of the acquisition window.
RS-422	A robust, serial digital data interchange standard utilizing individual differential signal pairs for data transmission in each direction. Depending on data transmission rates, RS-422 can be used at distances to 4,000 ft (1,275 m).
RTSI bus	Real-Time System Integration Bus. The National Instruments timing bus that connects Vision and DAQ devices directly, by means of connectors on the devices, for precise synchronization of functions.

## S

scatter-gather DMA	A type of DMA that allows the DMA controller to reconfigure on-the-fly.
--------------------	---

## T

tap	A stream of pixels from a camera. Some cameras send multiple streams, or taps, of data over a cable simultaneously to increase transfer rate.
transfer rate	The rate, measured in bytes/s, at which data is moved from source to destination after software initialization and set up operations. The maximum rate at which the hardware can operate.
trigger	Any event that causes or starts some form of data capture.

trigger control and mapping circuitry      Circuitry that routes, monitors, and drives external and RTSI bus trigger lines. You can configure each of these lines to start or stop acquisition on a rising or falling edge.

TTL      Transistor-transistor logic.

## **V**

VI      Virtual Instrument. (1) A combination of hardware and/or software elements, typically used with a PC, that has the functionality of a classic stand-alone instrument. (2) A LabVIEW software module (VI), which consists of a front panel user interface and a block diagram program.

# Index

---

## A

acquisition and region of interest, 2-5  
acquisition window control, 2-5

## C

calibration certificate (NI resources), B-2  
Camera Link

- bit allocations (table), 2-2
- cabling, description, 3-4
- overview, 1-2

connectors, 3-1  
conventions used in the manual, v

## D

Declaration of Conformity (NI resources), B-2  
diagnostic tools (NI resources), B-1  
DMA controllers, 2-6  
documentation

- conventions used in the manual, v
- NI resources, B-1

drivers (NI resources), B-1

## E

examples (NI resources), B-1

## H

hardware

- binarization, 2-3
- overview, 2-1

help, technical support, B-1  
high-speed timing, 2-5

## I

instrument drivers (NI resources), B-1  
integration with DAQ and motion control, 1-5

## K

KnowledgeBase, B-1

## M

MDR 26-pin connector, 3-2  
multiple-tap data formatter, 2-4

## N

National Instruments support and services,  
B-1  
NI 1433

- acquisition and region of interest, 2-5
- acquisition window control, 2-5
- Camera Link, 1-2
- Camera Link configuration, 2-2
- connectors, 3-1
- DMA controllers, 2-6
- functional overview, 2-1
- hardware binarization, 2-3
- hardware overview, 2-1
- high-speed timing, 2-5
- MDR 26-pin connector, 3-2
- multiple-tap data formatter, 2-4
- PCI Express interface, 2-6
- quadrature encoder support, 2-4
- serial interface, 2-7
- signal connections, 3-1
- SMB connector, 3-4
- software overview, 1-3

- software programming choices, 1-4
  - integration with DAQ, 1-5
  - NI Vision Builder for Automated Inspection, 1-4
  - NI Vision Development Module, 1-4
  - NI-IMAQ driver software, 1-3
- start conditions, 2-6
- trigger control and mapping circuitry, 2-4
- NI support and services, B-1
- NI Vision Acquisition Software, 1-3
- NI-IMAQ driver software, 1-3

## **P**

- PCI Express interface, 2-6
- programming examples (NI resources), B-1

## **Q**

- quadrature encoder support, 2-4

## **S**

- serial interface, 2-7
- signal connections, 3-1
- SMB connector, 3-4

- software
  - NI resources, B-1
  - overview, 1-3
- software programming choices, 1-4
  - integration with DAQ, 1-5
  - NI Vision Builder for Automated Inspection, 1-4
  - NI Vision Development Module, 1-4
  - NI-IMAQ driver software, 1-3
- start conditions, 2-6
- support, technical, B-1

## **T**

- technical support, B-1
- training and certification (NI resources), B-1
- trigger control and mapping circuitry, 2-4
- troubleshooting (NI resources), B-1

## **W**

- Web resources, B-1