



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN

MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**SISTEMA DE INSPECCIÓN DE CARRILES: CONFIGURACIÓN Y
CÁLCULO DIMENSIONAL**



PEDRO MANSO BERNAL

JULIO 2014



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN

MÁSTER EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**SISTEMA DE INSPECCIÓN DE CARRILES: CONFIGURACIÓN Y
CÁLCULO DIMENSIONAL**

DOCUMENTO I

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS



PEDRO MANSO BERNAL

JULIO 2014

**ÁREA DE ARQUITECTURA Y
TECNOLOGÍA DE COMPUTADORES**

**TUTOR: DANIEL F. GARCÍA
MARTÍNEZ**

Contenido

1. Introducción	6
2. Proceso industrial.....	9
2.1. Modelos de carril	9
2.2. Medición de la calidad	9
2.2.1. Legislación y normas	9
2.2.2. Tecnologías disponibles	11
2.3. Triangulación óptica	14
3. Sistema de medición de carriles.....	16
3.1. Objetivo	16
3.2. Sistema anterior	16
3.3. Nuevo sistema	17
3.4. Requisitos globales del sistema.....	18
4. Trabajo	19
4.1. Objetivos	19
4.2. Documentos incluidos.....	19

1. Introducción

La comprobación de la calidad de los productos es una parte esencial del funcionamiento de una fábrica. En las últimas décadas, el mercado ha ido volviéndose cada vez más exigente en lo que a este tema se refiere, con la aparición de normas reguladoras de la calidad y su gestión, en general y en determinados sectores, lo que ha provocado que las empresas que no aseguran un nivel de calidad de acuerdo a estas exigencias no puedan llegar a prosperar.

La calidad es una de las condiciones necesarias para mantener la competitividad de una empresa frente al resto de empresas del mismo sector, por lo que las políticas de calidad de las empresas van dirigidas esencialmente a dos aspectos fundamentales, relacionados entre sí:

- La satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente por parte de la empresa suministradora, ofreciendo la calidad deseada en los productos y servicios, y además manteniendo este nivel de calidad de forma constante.
- La satisfacción de las necesidades e intereses internos de la propia organización, haciendo que la calidad tenga un coste óptimo, mediante el uso eficiente de los recursos necesarios.

El cumplimiento de la calidad es una de las mayores fuentes de gasto para las empresas actuales, pero todavía más costoso es el no cumplimiento de la calidad, ya que esto haría de la empresa en cuestión una empresa no competitiva.

Por lo tanto, mediante un sistema que asegure la calidad de un producto o una línea de productos, la empresa puede optimizar los costes, invirtiendo en la evaluación de la calidad, para poder reducir al máximo los costes de la “no calidad”.

El presente proyecto aborda la necesidad de la empresa siderúrgica ArcelorMittal de disponer de un sistema que mida y asegure la calidad de uno de los productos que esta empresa fabrica: los carriles de tren.

Un carril de tren, también llamado raíl o riel, es cada una de las “barras” metálicas sobre las que se desplazan los trenes, grúas, tranvías, etc. Los carriles son las partes fundamentales de todas las vías férreas, actuando como soporte, guía e incluso elemento conductor de la corriente eléctrica. La Figura 1 muestra un carril de ferrocarril.

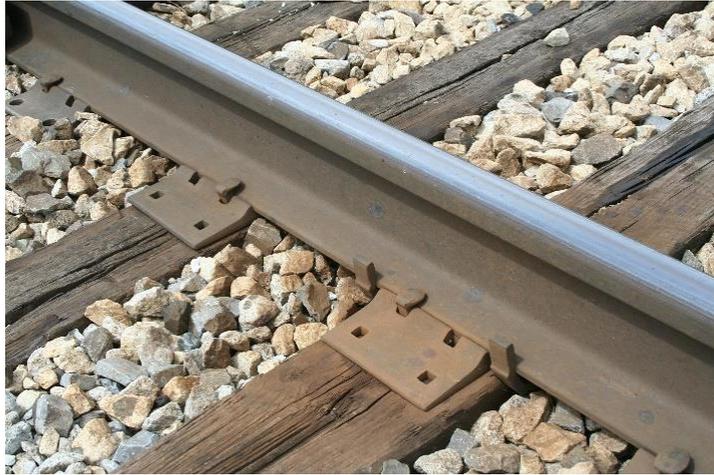


Figura 1: Carril de ferrocarril

Las cualidades principales de todos los carriles son su material, su forma y su peso. La forma del carril viene definida por su perfil. Dependiendo de qué tipo de carril sea, tendrá una u otra forma.

Un perfil de carril es la vista de la sección transversal del mismo, como se puede observar en la Figura 2. Por lo tanto, en un carril se tienen infinitos perfiles de carril, dependiendo de en qué longitud del mismo se practique la sección transversal.

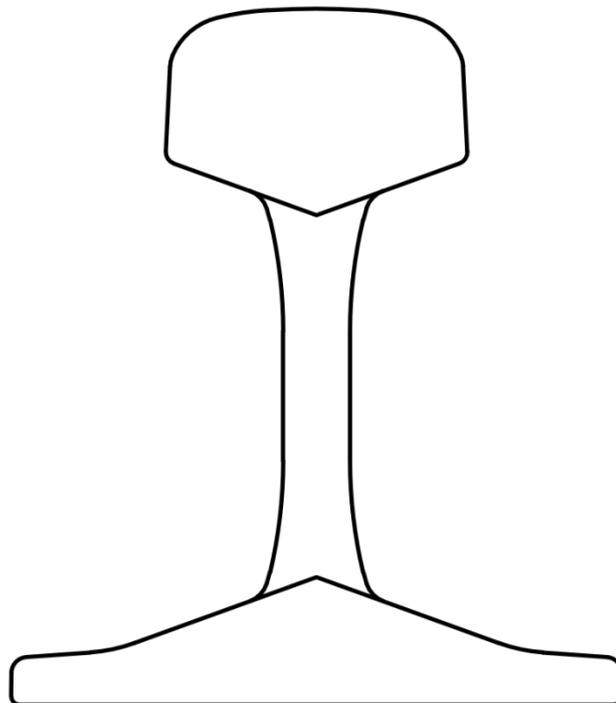


Figura 2: Perfil de un carril de ferrocarril

El sistema que se desarrolla en este proyecto tiene la finalidad de comprobar la calidad de la forma del carril mediante la medición de los valores de determinadas dimensiones. Esto debe hacerse en múltiples secciones a lo largo del carril, para conocer la evolución de estos valores.

La comprobación de la forma del carril determina su calidad. Esta comprobación se puede llevar a cabo mediante diversas técnicas, y se debe elegir entre una u otra dependiendo el nivel de automatización que se desee obtener. Este proyecto aborda la comprobación de la calidad del carril mediante técnicas de visión por computador.

2. Proceso industrial

2.1. Modelos de carril

Para poder realizar mediciones sobre los carriles que se fabrican, se debe tener un modelo de carril con el que comparar el resultado obtenido mediante el proceso industrial. Este modelo es el que se ha seguido durante todo el proceso de fabricación del carril y es el objetivo deseado. Es decir: cuanto más se parezca el producto final obtenido al modelo, mayor será su calidad.

Existen múltiples modelos de carril que se fabrican en la actualidad, dependiendo de su finalidad, bien sean para ferrocarriles, grúas, u otros usos. Estos modelos deberán ser pasados al sistema que se ha creado mediante un modelo que pueda ser entendido por el mismo. Para ello debe tener un formato que sea capaz de ser interpretado tanto por el usuario que lo crea como por el sistema que lo utiliza.

2.2. Medición de la calidad

2.2.1. Legislación y normas

Las normas relativas a las aplicaciones ferroviarias son las que recogen aspectos generales sobre la fabricación y diseño de los carriles, ya sean para tren, para grúa o para cualquier otra aplicación.

Los aspectos especificados en estas normas son muy extensos y abarcan desde la fabricación del propio carril, su identificación, su marcado y los materiales de los que deben estar compuestos, hasta las comprobaciones de seguridad que se han de realizar para asegurar su integridad y su calidad.

En la actualidad existen multitud de normas dependiendo del país o continente destinatario del carril, o bien dependiendo del uso que se le vaya a dar al carril. Algunas de las normas más comunes en la actualidad son:

- **EN.** Creadas por el *CEN*, o *Comité Europeo de Normalización*, como una norma de ámbito europeo. La norma es *EN-13674*.
- **UNE.** Estas normas han sido creadas por AENOR para ámbito español, como es la norma *UNE-EN-13674*, la cual es una traducción de la norma *EN-13674*.
- **AREMA** (*American Railway Engineering and Maintenance of way Association*), una asociación estadounidense. En este caso la norma a utilizar es la *Arema Rails*.

En lo que respecta al control de calidad, estas normas contienen principalmente dos grandes apartados, que se tienen en cuenta para la comprobación de la integridad y calidad del producto fabricado:

- **Ensayos de calificación**, que recogen todos los requisitos de prestaciones, es decir, toda la serie de ensayos a los que el carril deberá ser sometido, como por ejemplo, ensayos de fatiga, ensayos de resistencia a la fatiga y alargamiento, etc. No se realizan sobre todos los carriles fabricados (de hecho, incluyen pruebas destructivas), sino que su objetivo es controlar la calidad del proceso de fabricación en general.

- **Ensayos de aceptación**, cuyo objetivo es verificar aquellas características de los carriles, como su dureza, sus dimensiones, el tratamiento térmico del acero, etc. Se realizan sobre todos los carriles que se fabrican.

El sistema que es objeto de este proyecto es responsable de la comprobación de las dimensiones de los carriles, dentro de los ensayos de aceptación.

2.2.1.1. Tolerancias dimensionales

En estos apartados de las normas de calidad se describe la diferencia máxima que puede existir entre el perfil del carril fabricado y el perfil normalizado. Si esta diferencia es menor que la tolerancia, entonces ese perfil cumple la norma de calidad; en caso contrario se dice que no la cumple.

Estas tolerancias se deberán verificar para una serie de dimensiones que deberán haber sido establecidas previamente, de acuerdo a la norma aplicable.

A su vez, estas dimensiones deberán haber sido extraídas de las normas. En el caso de la norma *UNE-EN-13674*, las dimensiones a tener en cuenta son las mostradas en la Figura 3.

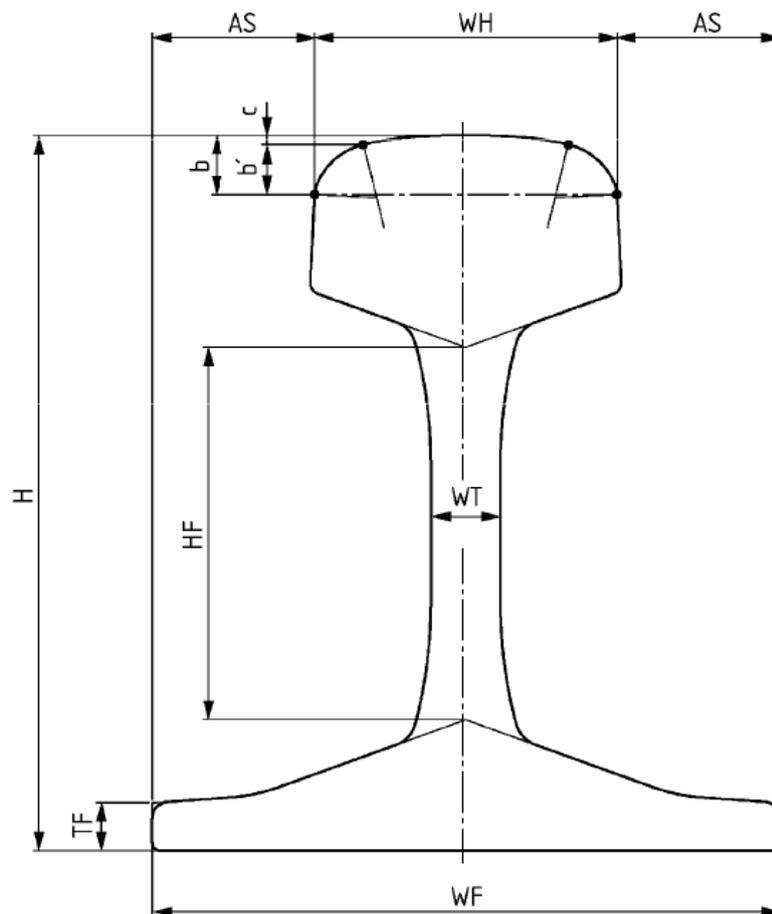


Figura 3: Dimensiones principales del carril según la norma “UNE-EN-13674”

La Figura 4 muestra la tabla de la norma *UNE-EN-13674*, donde se recogen todas las tolerancias para las dimensiones a medir (que se pueden ver en la Figura 3) en los perfiles de los carriles.

* Puntos de referencia (véase la figura E.1)		Clase de perfil (dimensiones en mm)		Plantillas, número de las figuras (véase el anexo E)	
Ubicación/propiedad	Símbolo	X	Y		
Altura de carril ^a	< 165 mm	*H	± 0,5	+ 0,5 - 1,0	E.3
	≥ 165 mm		± 0,6	+ 0,6 - 1,1	
Perfil de la cabeza de carril				E.4	
- Enderezado clase A		+ 0,6 - 0,3	+ 0,6 - 0,3		
- Enderezado clase B		± 0,6	± 0,6		
Anchura de la cabeza de carril		*WH	± 0,5	+ 0,6 - 0,5	E.5
Asimetría de carril		*As	± 1,2	± 1,2	E.6, E.7
Altura de la zona de embrijaje	< 165 mm	*HF	± 0,5	± 0,5	E.8
	≥ 165 mm		± 0,6	± 0,6	
Espesor del alma		*WT	+ 1,0 - 0,5	+ 1,0 - 0,5	E.9
Anchura del patín del carril		*WF	± 1,0	+ 1,5 - 1,0	E.10
Espesor del ala del patín		*TF	+ 0,75 - 0,5	+ 0,75 - 0,5	E.11
Concavidad de la base del patín			0,3 máx.	0,3 máx.	

^a La variación total de altura a lo largo de cualquier carril no debe ser mayor de 1 mm para carriles < 165 mm, y de 1,2 mm para carriles ≥ 165 mm.

Figura 4: Tolerancias dimensionales en la norma *UNE-EN-13674*

2.2.2. Tecnologías disponibles

Existen diversas tecnologías para llevar a cabo la comprobación de las tolerancias dimensionales mencionadas en el epígrafe anterior. Se deberá elegir entre una u otra dependiendo del nivel de precisión y automatización que se busque.

2.2.2.1. Medición convencional

Esta medición es la más sencilla y por lo tanto no tiene ningún tipo de automatización. Consiste en medir las dimensiones directamente sobre el carril fabricado de forma manual, utilizando cualquier tipo de instrumento de medición, como por ejemplo un metro o un calibre.

Este tipo de medición tiene una serie de problemas que hacen que sea inviable:

- Aumenta significativamente el tiempo de comprobación.
- Está sujeta a una mayor cantidad de errores humanos.
- Debido al problema anterior, se obtendrá una menor precisión de medición.
- En caso de que las medidas que se deseen medir no sean triviales, este método resultará muy complejo de aplicar correctamente.

2.2.2.2. Plantillas mecánicas

Este método surge como una forma de normalizar la medición que se realizaba en el caso anterior, haciendo que la forma de tomar las medidas de las dimensiones sea mucho más sencilla y más rápida que de la forma convencional.

Este método se realiza mediante la medición de unas plantillas mecánicas, que se construyen expresamente para cada tipo de carril que se desee medir, y también para cada dimensión.

Estas plantillas están sacadas directamente del prototipo que se propone en la norma para la medición de las dimensiones del carril. La Figura 5 muestra la plantilla mecánica para la medición de la altura del carril.

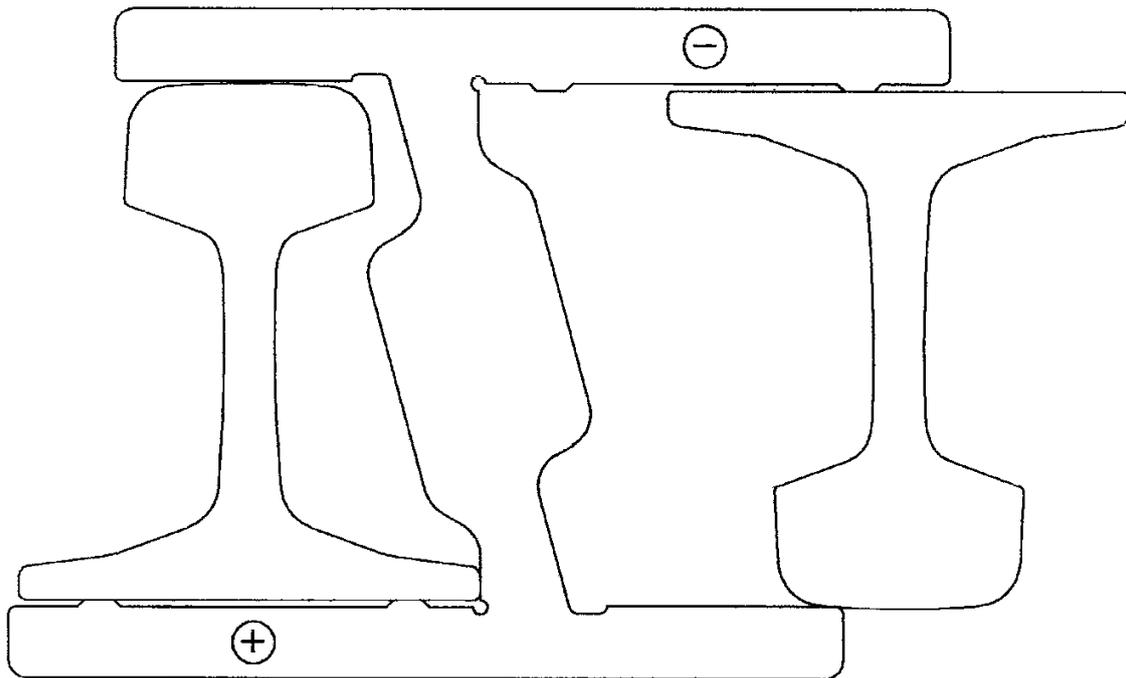


Figura 5: Plantilla mecánica para la medición de la altura del carril

Esta forma de medir las dimensiones de los perfiles del carril fabricado es mucho más precisa, y es la recomendada en las normas sobre fabricación de carriles. Sin embargo, también presenta una serie de problemas:

- Se necesita una plantilla de calibración específica para cada tipo de carril, ya que las dimensiones pueden variar entre diferentes tipos.
- Se necesita también una plantilla de calibración específica para cada norma, ya que las tolerancias admitidas en cada una de las normas varían.
- Es más sencilla que la medición convencional, pero aun así implica un tiempo de comprobación considerable.

2.2.2.3. Visión artificial

Esta tecnología surge como una automatización de las plantillas mecánicas vista en el epígrafe anterior y gracias a ella se consigue que la medición de los valores dimensionales de los carriles sean medidos de forma totalmente automática, sin necesidad de que el operario intervenga.

2.3. Triangulación óptica

La triangulación óptica es una técnica de visión artificial en la que, mediante un emisor de luz (típicamente un láser), se proyecta luz sobre la superficie que se desea inspeccionar, y una cámara situada en otra posición diferente a la del láser (típicamente a 45° de la recta perpendicular que pasa por el láser) captura la luz láser reflejada por la superficie, visualizando así el contorno de la superficie u objeto a analizar, tal y como se puede observar en la Figura 6.

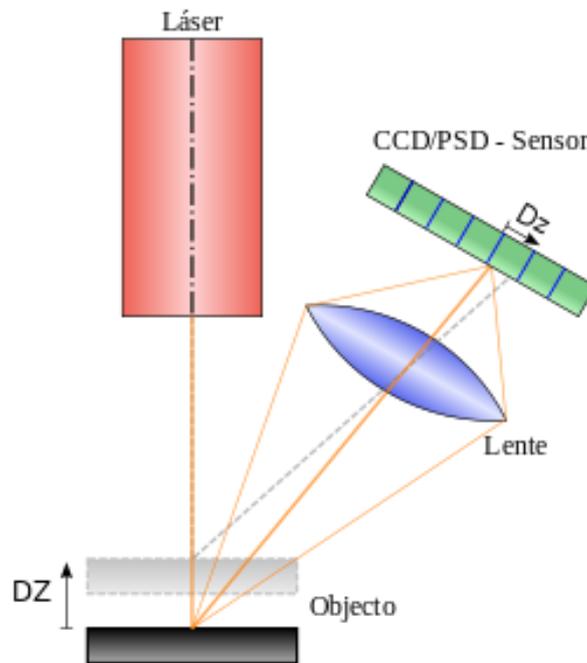


Figura 6: Esquema de la triangulación óptica

Esta medición estará condicionada totalmente a la óptica que reciba la cámara de la línea dibujada por el láser. Es decir: si hay mucha luz ambiente en la escena, la línea del láser aparecerá más desdibujada que si, por el contrario, no hubiese luz.

Por otra parte, ya que sólo interesa captar una franja muy específica de todo el espectro de luz (la que coincida con la longitud nominal del emisor láser), se podrá usar un filtro óptico que deje pasar tan sólo el color de la luz de láser, haciendo más sencillo así el trabajo de analizar la imagen recogida.

A esta técnica se le denomina triangulación ya que cada uno de los puntos de la línea dibujada por el láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo. Como la longitud del lado del triángulo definido por la cámara y el emisor del láser es conocida, al igual que el ángulo del vértice del emisor de láser y el ángulo del vértice de la cámara puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara. Estos tres valores permiten determinar de forma matemática el resto de las dimensiones del triángulo y, por tanto, la posición de cada punto en el espacio.

Al conocer todos los puntos de la superficie de un objeto se pueden calcular medidas reales del objeto, e incluso reconstruir su forma en tres dimensiones.

Este sistema permite medir con gran precisión todos los puntos de una superficie u objeto, al nivel de milésimas de milímetro, por lo que es muy útil para todo tipo de procesos industriales en la actualidad. Un ejemplo de esto se puede observar en la Figura 7.

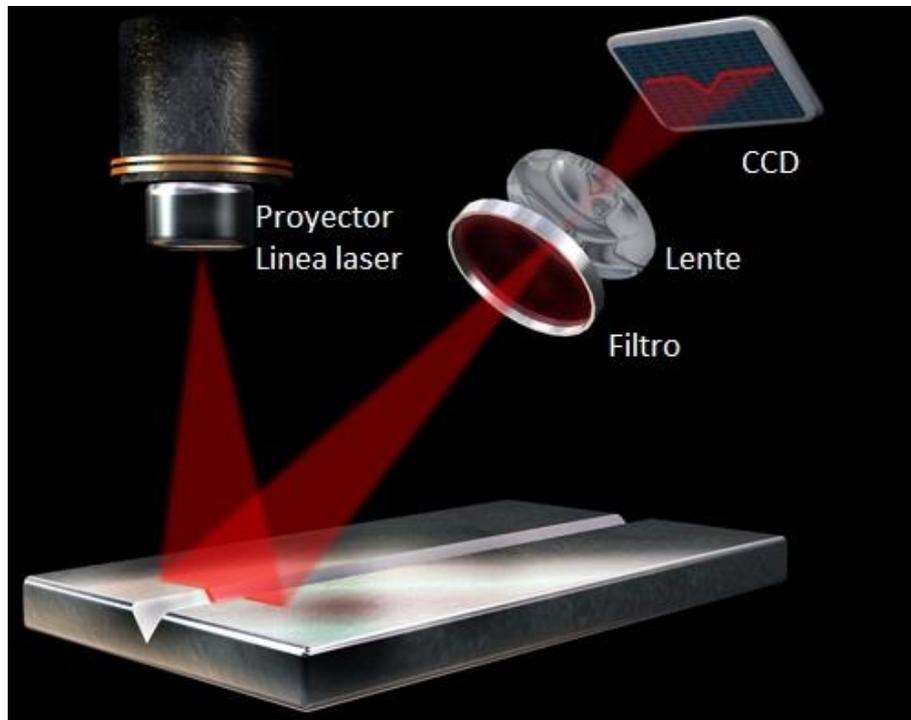


Figura 7: Triangulación óptica para la inspección de objetos

3. Sistema de medición de carriles

3.1. Objetivo

La automatización de la medición permite agilizar el proceso, que de otro modo sería un cuello de botella en la fabricación de carriles, reducir el potencial de errores humanos, almacenar fácilmente la información obtenida para fines estadísticos y presentarla de forma atractiva al cliente, llegado el caso, entre otras ventajas.

3.2. Sistema anterior

Este proyecto busca reemplazar el sistema empleado anteriormente por ArcelorMittal para la medición con el objetivo de reducir costes, modernizar los equipos empleados y obtener funcionalidades adicionales.

Este sistema antiguo es la Galga de Medición de Perfil (PMG) del instituto de investigación Joanneum Research, que emplea también tecnología de visión artificial, con cuatro cámaras y cuatro láseres que cubren todo el contorno del carril, empleando el sistema descrito en la sección 2.3. En la Figura 8 pueden verse una de las ventanas del software de la PMG, mientras que en la Figura 9 se muestra la estructura empleada para la medición.

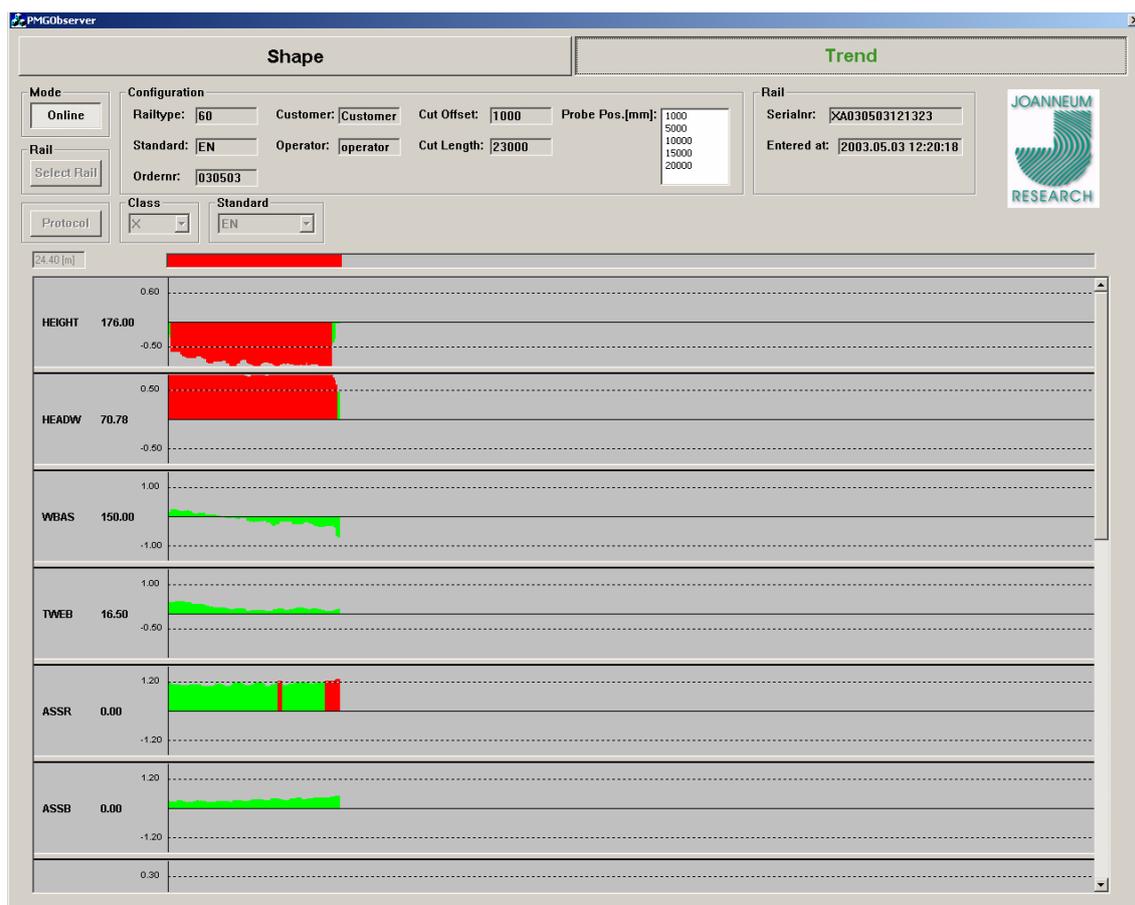


Figura 8: Interfaz gráfica del programa visualizador incluido en la PMG

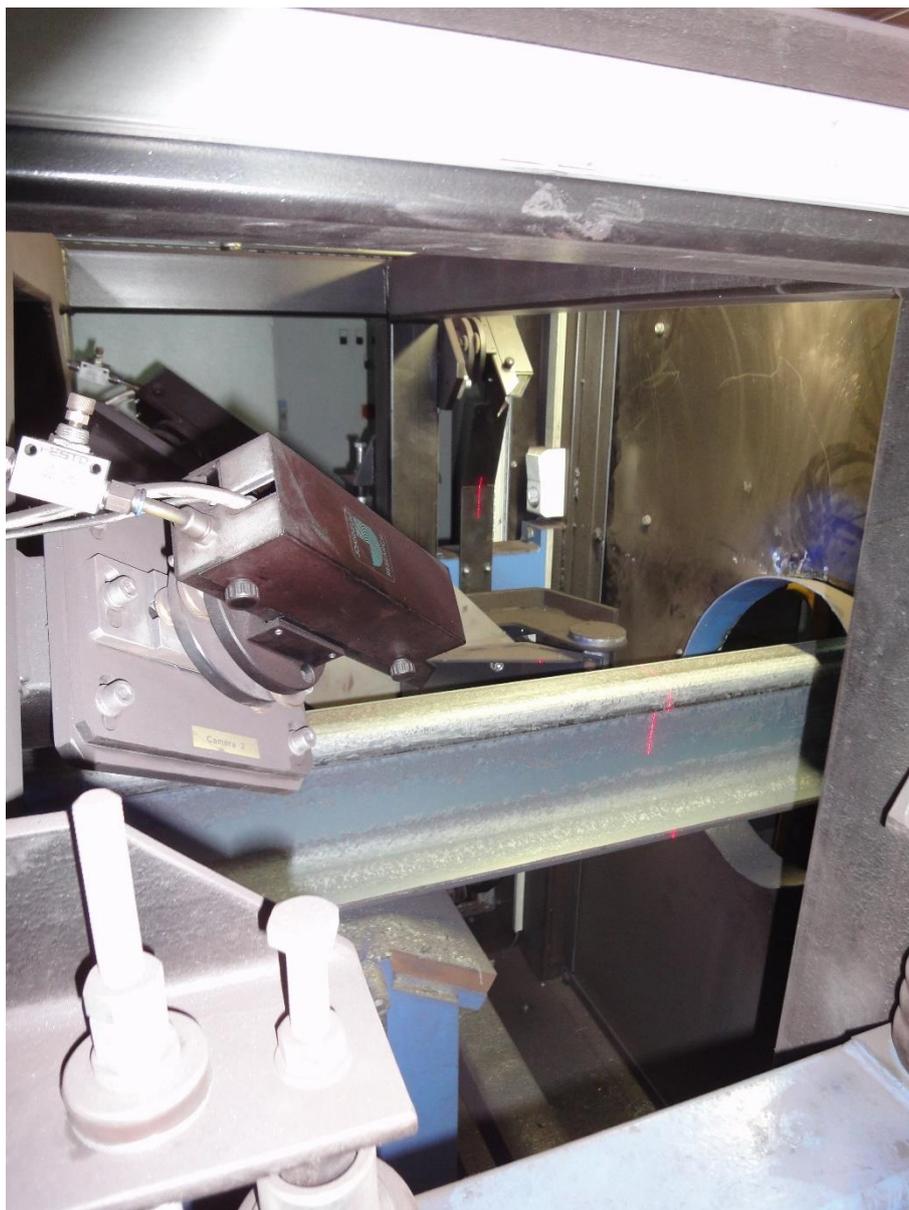


Figura 9: Vista de la PMG, incluyendo una de las cámaras

3.3. Nuevo sistema

Este proyecto trata el desarrollo de un sistema de visión artificial capaz de sustituir a la PMG. Este nuevo sistema emplea también la tecnología de visión artificial comentada en la sección 2.2.2.3, con cuatro cámaras para poder captar todo el contorno del carril.

3.4. Requisitos globales del sistema

Los requisitos generales del nuevo sistema son los siguientes:

1. Medición
 - 1.1. Se medirán sin necesidad de intervención humana los valores de las dimensiones¹ de los carriles según se fabriquen.
 - 1.2. De cada carril medido se almacenarán determinados datos:
 - 1.2.1. El identificador del carril.
 - 1.2.2. El tipo o modelo de carril.
 - 1.2.3. La norma seguida.
 - 1.2.4. La fecha y la hora de la medición.
 - 1.2.5. El valor de cada dimensión medida.
 - 1.3. Los datos almacenados se comunicarán al ordenador de proceso.
 - 1.4. Los operadores podrán conocer en tiempo real los resultados parciales y finales de la medición y los errores que se produzcan en ella.
 - 1.5. Se calibrarán los componentes ópticos del sistema cuando los operadores lo soliciten.
2. Configuración
 - 2.1. Podrán gestionarse los modelos o tipos de carril reconocidos por el sistema.
 - 2.2. Podrán gestionarse las normas reconocidas por el sistema.
3. Visualización
 - 3.1. Los operadores podrán acceder desde equipos distintos de la red local a los resultados de la medición según se vayan obteniendo.
 - 3.2. Los operadores podrán acceder a los resultados de mediciones anteriores.
 - 3.3. Los operadores podrán controlar qué dimensiones se muestran.
4. No funcionales
 - 4.1. El sistema de medición podrá procesar las secciones de carril a una velocidad no inferior a la velocidad a la que deban captarse las imágenes.
 - 4.2. El sistema de medición seguirá los protocolos definidos para la comunicación con el ordenador de proceso y el PLC que controlan la producción.

¹ La relación de dimensiones medidas se describe en el documento V - Cálculo dimensional.

4. Trabajo

4.1. Objetivos

En relación con los requisitos globales del proyecto, este Trabajo Fin de Máster trata particularmente:

- La estructura general en la que se integran las partes que conforman el proyecto.
- La configuración para generar la información necesaria sobre normas y carriles para el uso en el sistema
- El diseño e implementación del software para llevar a cabo la metrología de los carriles.
- La implantación del sistema en la línea de producción de carriles.

4.2. Documentos incluidos

La memoria de este Trabajo Fin de Máster está compuesta por múltiples documentos principales y anexos. Los documentos principales son:

1. **Introducción y objetivos:** Este documento introduce el problema al que hace frente el proyecto, define algunos conceptos relacionados, explica brevemente la tecnología existente y establece el alcance del trabajo.
2. **Diseño general:** Detalla los componentes de que consta el proyecto y la forma en que se relacionan entre sí.
3. **Medidor:** Especifica el diseño del programa medidor, su funcionamiento y el modo en que se relaciona con otros elementos.
4. **Comunicaciones:** Explica el programa que gestiona las comunicaciones del medidor.
5. **Cálculo dimensional:** Detalla los algoritmos empleados para el cálculo dimensional de las dimensiones del carril.
6. **Configurador:** Especifica el diseño e implementación del programa configurador así como la realización de la importación de normas y perfiles para generar el fichero de configuración.
7. **Planificación y presupuesto:** Detalla la planificación seguida en el desarrollo del proyecto y del presente Trabajo Fin de Máster, y también el presupuesto del proyecto.

Los anexos incluidos son:

- A. **Elección del sistema de visión:** Detalla el proceso seguido para determinar la geometría de la estructura empleada para la medición.
- B. **Manual de ejecución de las comunicaciones:** Explica el modo de ejecutar el programa de comunicaciones y los simuladores que lo acompañan.
- C. **Comunicación con el PLC:** Especifica el protocolo de comunicaciones entre el sistema y el PLC que gestiona el movimiento de los carriles.
- D. **Comunicación con el PA:** Especifica el protocolo de comunicaciones entre el sistema y el ordenador de proceso.
- E. **Formato del fichero de resultados:** Especifica el formato en el que se almacenan y comunican los resultados de la medición.
- F. **Tests globales del medidor:** Detalla los resultados de las pruebas de medición practicadas con carriles reales.