



Instituto Tecnológico  
de Buenos Aires

# **Análisis de factibilidad de tracking de cucharas de la acería de Siderca**

Departamento de Ingeniería Mecánica

Proyecto final de carrera

Alumna: *Tamara Rodoni*

Tutor ITBA: *Ing. Nicolás Andrés Oyarzábal*

Tutor Tenaris: *Ing. Diego González Atchabahian*

## Resumen

En el proceso de fabricación de acero en la planta de Siderca se utiliza un sistema de posicionamiento manual de las cucharas durante su trayectoria dentro de la misma. En este trabajo se analiza la factibilidad de implementar un método automatizado remoto aplicable a todas las cucharas. Los datos que se obtendrían con el sistema de posicionamiento servirán para complementar un modelo de predicción de la historia térmica de la cuchara, con el cual se podrá calcular las pérdidas de calor, ahorrar energía y combustibles en el calentamiento del acero. También se podrá determinar el estado del refractario y consumibles, para poder predecir la vida útil de la cuchara. Por otra parte, con los datos de la posición real de las cucharas se podrá complementar un proyecto de medición con láser de espesores del refractario para poder determinar la vida del mismo. Otro beneficio de un sistema automatizado es la mejora de planeamiento y logística de tránsito de grúas.

Se proponen criterios de selección para el sistema de posicionamiento, evaluando diferentes opciones, y realizando sendas verificaciones del sistema elegido, estudiándose su desempeño en una sección de la planta en Siderca.

# Índice

Abstract .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Nomenclatura .....	4
Glosario .....	5
1. Introducción .....	6
1.1 La empresa .....	6
1.2 El proceso de fabricación de acero.....	6
1.3 Objetivos y esperables .....	8
1.4 Cucharas .....	10
1.5 Trayectoria de las cucharas .....	11
2. Análisis de opciones .....	13
2.1 Reconocimiento de imágenes .....	13
2.1.1 Cámaras inteligentes – Microscan.....	13
2.1.2 Software de Mathworks .....	15
2.2 Identificación por Radio Frecuencia .....	17
2.2.1 Tags .....	17
2.2.2 Lectores y Antenas .....	18
2.2.3 Electronic Product Code (EPC).....	19
2.3 Evaluación de opciones .....	20
2.3.1 Criterios de evaluación:.....	20
2.3.2 Justificación de las calificaciones.....	21
3. Tecnología elegida: RFID .....	25
3.1 Diagramación de estaciones.....	25
4. Tags .....	29
4.1 Posición en cuchara en base a la temperatura.....	29
4.2 Posición de tag considerando accesibilidad y mantenimiento.....	31
4.3 Elección de Tag.....	31
4.3.1 Pruebas con Tag AD-222 .....	31
4.3.2 Tags resistentes a altas temperaturas.....	33
4.3.3 Protección para el tag.....	35
4.3.4 Montaje de Tag en cuchara .....	38
4.3.5 Pruebas operativas con tag Xerafy .....	39
5. Antenas y Lectores .....	40

5.1 Protección de antenas y lectores .....	40
5.2 Configuración Lectores.....	41
5.3 Diseño de posición de antenas y lectores .....	41
5.3.1 Puesto de Cromita .....	41
5.3.2 Precalentadores .....	42
5.3.3 Hornos y LF .....	45
5.3.4 Torres de colada continua .....	47
5.3.5 Trimming 4 .....	49
5.3.6 Resumen de Lectores y Antenas .....	50
6. Instalación y puesta a punto .....	51
6.2 Puesta a punto .....	51
7. Conclusiones.....	52
Bibliografía .....	53
Anexo .....	54
A1 Data Sheets .....	54
A1.1 Manta Térmica .....	54
A 1.2 Tags .....	55
A 1.2.1 Avery Dennison .....	55
A 1.3 Antenas .....	58
A 1.4 Lectores.....	60
A 1.5 Cables Coaxiales .....	62
A 2 Planos .....	63
A 2.1 Plano Housing Tag.....	63
A 2.2 Plano Housing Antenas .....	64
A 2.3 Plano Cuchara .....	66

## Nomenclatura

A	Área
CC	Continuos Casting (Colada Continua)
CINI	Centro de Investigaciones Industriales
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol (protocolo de configuración huésped dinámico)
$e$	Espesor
EAF	Electric Arc Furnace (Horno de arco eléctrico)
EPC	Electronic Product Code (Código electrónico de producto)
GPIO	General purpose input/output (entrada/salida de propósito general)
$h_c$	Coefficiente de convección [ $W/m^2K$ ]
IP	Internet Protocol
$k$	Conductividad [ $W/mK$ ]
LF	Ladle Furnace (Horno Cuchara)
MP	Mega Pixel
OCR	Optical Character Recognition (Reconocimiento óptico de caracteres)
OCV	Optical Character Verification (Verificación óptica de caracteres)
PLC	Programmable logic controller (Controlador lógico programable)
Pr H	Precalentador Horizontal
Pr V	Precalentador Vertical
QR	Quick Response Code (Código de Respuesta Rápida)
$R$	Resistencia térmica [ $K/W$ ]
REDI	Fábrica de reducción directa10:30
RFID	Radio Frequency identification (Identificación por Radio Frecuencia)
TAC	Tiempo de acero en cuchara
TR	Trimming
UHF	Ultra High Frequency (Frecuencia ultra alta)
USB	Universal serial bus

## Glosario

Buza	Orificio al fondo de la cuchara por el que circula el acero líquido cuando la misma se abre para vaciarse.
Ethernet	Un sistema para la conexión de un número de sistemas informáticos para formar una red de área local, con los protocolos para controlar el paso de la información y para evitar la transmisión simultánea por dos o más sistemas.
Phindows	Herramienta de conectividad que permite utilizar Microsoft Windows para conectarse e interactuar con aplicaciones gráficas que se ejecutan en un ordenador remoto.
Tag	Circuito de chip y antena integrados que se comunican con el lector de RFID para intercambiar información entre ellos.
Tundish	Amplio recipiente abierto o embudo grande con uno o más agujeros en la parte inferior, que se utiliza para distribuir el metal fundido en los moldes primarios en la colada continua.

## 1. Introducción

### 1.1 La empresa

Tenaris es una compañía del grupo Techint que se encarga de la fabricación de tubos de acero con o sin costura. Tiene una capacidad de producción anual de 6,4 millones de toneladas de tubos de acero y cuenta con plantas productivas en dieciséis países y cinco centros de investigación y desarrollo en todo el mundo. Los productos tubulares que provee son utilizados para la perforación, producción y terminación de pozos de petróleo y gas, transporte de petróleo y gas, plantas energéticas, de procesamiento, aplicaciones industriales y automotrices especializadas. Es la principal productora de tubos sin costura mundial y se caracteriza por sus productos Premium, de alta calidad.

Dado que el mayor cliente de la compañía es la industria del petróleo y gas y la misma se encuentra en una profunda crisis desde el año 2014, durante la cual el precio del barril bajó de manera estrepitosa, Tenaris se vio afectada de forma directa, bajando sus utilidades anuales y llegando a cerrar el ejercicio con saldo negativo en el año 2015. La situación llevó a una gran baja de personal y a una necesidad de recortar recursos, por lo que cada potencial gasto se analizó de forma muy detallada. Este contexto de crisis dio al presente proyecto un marco en el cual se buscó disminuir costos lo más posible en la etapa de pruebas y también de implementación. Sin embargo, al bajar la producción, llegando a operar a un 30% de capacidad, también se presentaron muchas oportunidades de realizar pruebas en el campo gracias a tener los hornos parados y menos cucharas en circulación, lo que resultó en una disminución del riesgo que implica exponerse en la acería cuando la misma está en pleno funcionamiento.

### 1.2 Contexto de realización del proyecto final

Este proyecto se realizó a pedido de la acería de Siderca, bajo un contrato de plazo determinado, desde enero de 2016 hasta noviembre del mismo año. Los entregables esperados por la empresa fueron un análisis de factibilidad del tracking, la elección de una tecnología para llevarlo a cabo, la búsqueda de proveedores y el diseño de la metodología para poder realizarlo. Este análisis fue finalizado en noviembre de 2016, y se dejó en poder de la empresa un cronograma a seguir para finalizar las operaciones que no pudieron ser terminadas durante el plazo del contrato, debido al tiempo limitado del mismo.

### 1.3 El proceso de fabricación de acero

Siderca, la planta de Tenaris ubicada en Campana, provincia de Buenos Aires, se encarga de la producción exclusiva de tubos sin costuras, realizados por el proceso Mannesmann. El proceso comienza en la acería, donde se fabrican por colada continua barras de acero que luego pasan al laminador donde se perforan por deformación entre dos rodillos cónicos y adquieren la forma tubular, para luego ser tratados térmicamente si el cliente lo requiere.

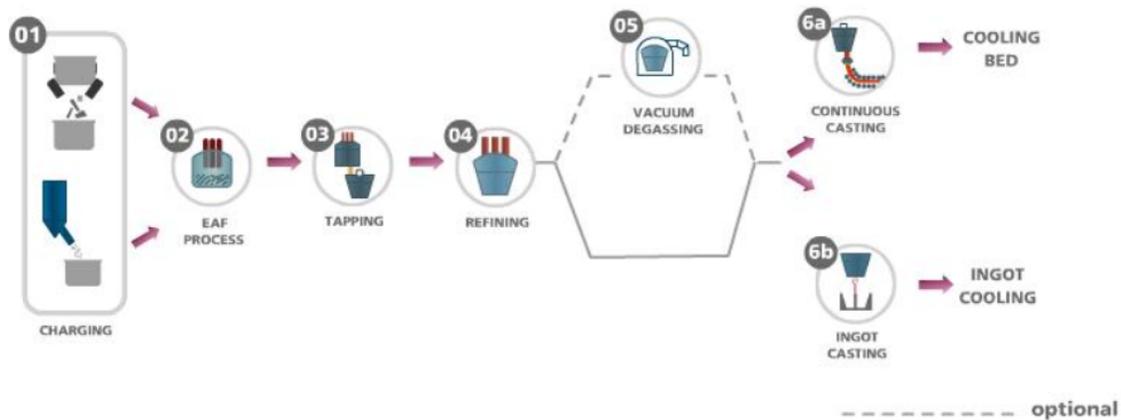


Figura 1: Proceso de fabricación de acero [ 6]

El proceso de fabricación de acero, ver Figura 1, comienza en la fábrica de reducción directa (REDI) en donde se reduce el mineral de hierro y se forma el llamado hierro esponja, que luego se utiliza como materia prima en el horno junto con la chatarra. Esta puede ser interna o externa, y la fracción de chatarra y hierro reducido que se usa depende de la etapa del año, de la cantidad almacenada de cada uno y del costo del mineral de hierro en ese momento particular. Además de hierro esponja y la chatarra se utiliza arrabio como materia prima, siendo el arrabio el subproducto que surge de la fabricación de acero por alto horno.

En el horno de arco eléctrico se carga la materia prima y se funde y calienta el acero hasta aproximadamente 1650 °C, en esta etapa se busca desfosforar y remover óxidos por medio de la escoria y bajar el contenido de carbono oxidándolo al inyectar oxígeno. Funciona con dos fuentes de energía: energía química (inyección de oxígeno y gas metano por medio de quemadores que oxidan el carbón y además aceleran el calentamiento) y energía eléctrica (arcos de corriente producidos por los electrodos de grafito).

Una vez lograda la composición y temperaturas adecuadas del acero en el horno se prosigue con el sangrado, donde se llena una cuchara con el acero líquido, teniendo cuidado de no arrastrar escoria del horno, y agregando materiales como cal para formar nueva escoria, aluminio para calmar (desoxidar) el acero y adiciones de ferroaleaciones para acercarse a la composición química final, aprovechando la energía cinética que tiene el chorro que logra un excelente mezclado.

El paso siguiente es llevar la cuchara con acero al horno cuchara, en donde se busca lograr la desulfuración del mismo, la composición química final y la temperatura adecuada para la colada, homogeneizar y lograr el nivel de limpieza requerido por el cliente (ausencia de inclusiones metálicas, etc.). Para lograrlo, se entrega energía al acero en forma de calor por unos electrodos de tamaño menor a los del horno, se burbujea el acero mediante la inyección de un gas inerte (Argón) y se agrega el resto de las aleaciones. Habiendo medido la temperatura y composición química y controlado la composición de la escoria se finaliza el proceso de afino y se pasa a la colada continua.

La colada continua consiste de un distribuidor (tundish) en donde se vierte el acero que luego se distribuye en cuatro moldes oscilatorios, denominados enfriamiento primario, que generan barras

con una cáscara sólida, pero corazón líquido que se terminan de solidificar en el enfriamiento secundario, rociadas por agua. Estas barras son luego cortadas por un oxicorte y se dejan enfriar para luego inspeccionar su calidad, y una vez aprobadas pueden pasar a almacenamiento o directo al laminador continuo. [6]

### 1.3 Objetivos y esperables

La fábrica de acero está conformada por dos hornos de arco eléctrico (EAF por sus siglas en inglés), dos hornos de afino, también llamados “Horno Cuchara” o LF por sus siglas en inglés, un horno de trimming donde se termina el proceso de afino del acero, y dos máquinas de colada continua (abreviadas a partir de este momento como CC). Las cucharas son recipientes de acero y refractario que contienen el acero líquido una vez que este sale del horno, y recorren el galpón de acería durante todo el proceso de producción, pasando por diferentes estados térmicos. Actualmente el método de seguimiento de dichas cucharas es una combinación de lógica y dependencia humana, es decir que cada operario carga al programa de operaciones la posición de la misma, independientemente de que esta esté posicionada allí verdaderamente, y una vez que la cuchara entra en el ciclo productivo el programa toma datos del EAF, LF y CC respectivamente para completar por lógica el recorrido de la cuchara. Sin embargo, esto es altamente susceptible a errores y fallas de información, dado que los operarios que no priorizan cargar los datos de posicionamiento y es usual que el registro no se condiga con el estado de la planta. Lo que se busca en este trabajo es proveer un sistema de rastreo instantáneo que sea autónomo, automático y que provea a la planta con información en tiempo real de la posición de cada cuchara en operación.

Los datos obtenidos con el sistema servirán para lograr 3 objetivos principales:

Mejorar el **planeamiento y logística de tránsito de grúas** al obtener datos confiables de llegada y salida de cucharas.

Utilizar los datos para implementar un **sistema de medición de espesores** de refractario con láser. El sistema, provisto por una empresa privada, mide el espesor de los ladrillos de refractario, los cuales se desgastan a lo largo de su vida útil, y que cuando llegan a un espesor crítico ponen en riesgo a la cuchara a perforarse. Lo que se ve en la Figura 2, es la imagen que devuelve el software, marcando las zonas de mayor desgaste con colores según la profundidad de las grietas.

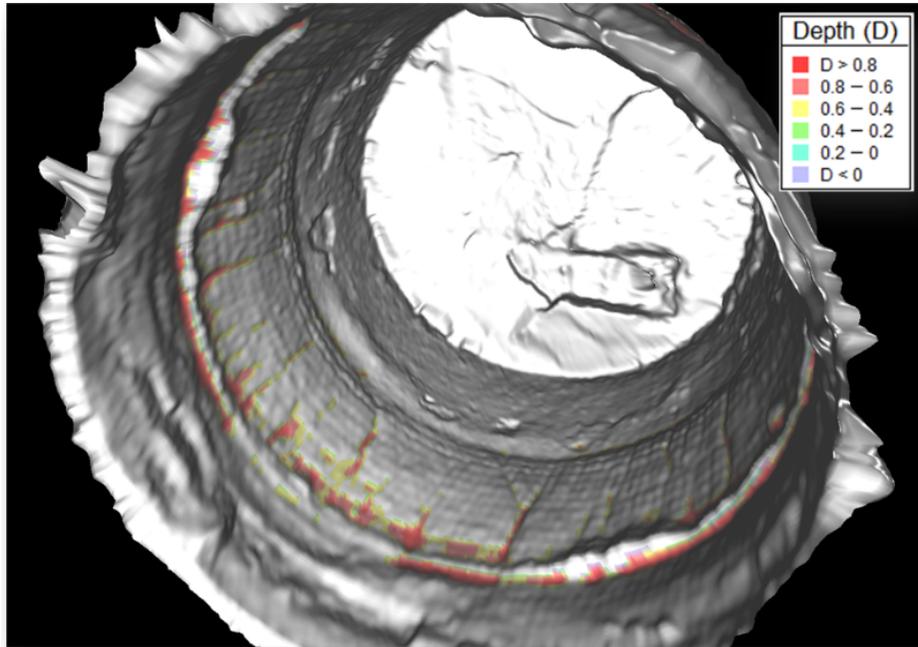


Figura 2: Medición de espesores de la cuchara realizado por el sistema que se quiere implementar

Complementar un **modelo de predicción de historia térmica** de la cuchara realizado por el Centro de Investigaciones Industriales, llamado CINI por sus siglas, para determinar el estado térmico de la cuchara a lo largo de una campaña y de esa manera calcular pérdidas de calor. Así se podrá ahorrar energía y combustible, al calentar correctamente el acero. Además, será posible determinar el tiempo de contacto de la cuchara con el acero para evaluar el estado de refractarios y consumibles y, consecuentemente, la vida de la cuchara.

El modelo de historia térmica de las cucharas está basado en la premisa de que las cucharas recorren un ciclo dentro de la planta y que en cada etapa del ciclo pueden pasar por diferentes estados térmicos (cuchara vacía con o sin tapa, cuchara llena con o sin tapa, entrega de energía con llama o con electrodo, transitorios de sangrado o colado). El ciclo de recorrido de la cuchara se puede dividir en estaciones, que a su vez corresponderán a uno o más estados térmicos. Sabiendo lo anterior, se puede asumir un modelo lineal unidimensional de transferencia de calor, a través del espesor del refractario. De este modo, se determina el perfil térmico en el refractario en cada momento y la evolución de la temperatura en la cara interna y externa de la cuchara a través del tiempo, como se puede observar en las Figuras 3 y 4. Sin embargo, para poder llevarlo a cabo se necesita saber exactamente el tiempo que cada cuchara pasó en cada estación para complementar el código en el cual está basado el modelo, ya que en este momento trabaja con estimaciones basadas en la práctica. Allí es donde el sistema de tracking entra en juego.

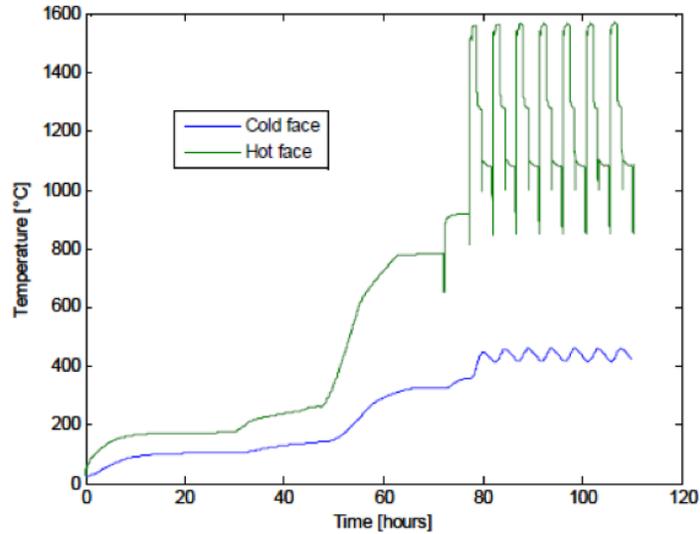


Figura 3: Evolución térmica de una cuchara en 2 caras [8]

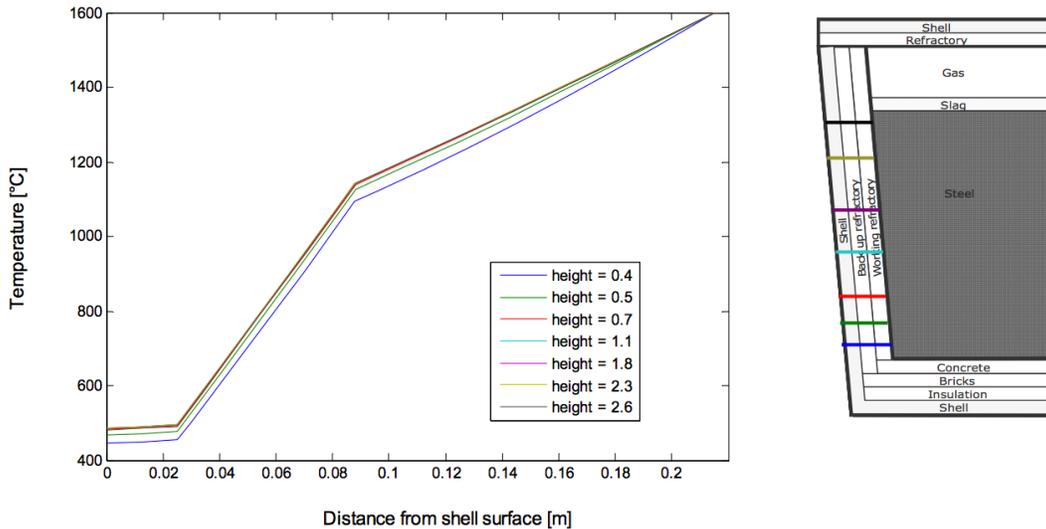


Figura 4: Perfil térmico 1D de una cuchara, para diferentes alturas desde el piso de la cuchara [8]

### 1.4 Cucharas

Las cucharas son recipientes con forma de cono truncado de aproximadamente 4 metros de alto y un diámetro promedio de 2,7 metros, para mayor detalle de su geometría ver Figura 6. Están formados por una carcasa de acero, una capa de ladrillos refractarios de seguridad y de trabajo, respectivamente. La capa de trabajo se cambia aproximadamente cada noventa coladas (una campaña) o en caso de necesidad, es decir si algún ladrillo se degrada demasiado y pone en riesgo de perforación a la carcasa. Hay dieciséis cucharas en existencia pero no todas están activas en el mismo momento. Cada cuchara está identificada con un número de acero, soldado sobre ambos brazos de la cuchara como se ve en la Figura 5.



Figura 5: Cuchara 37 en fumistería

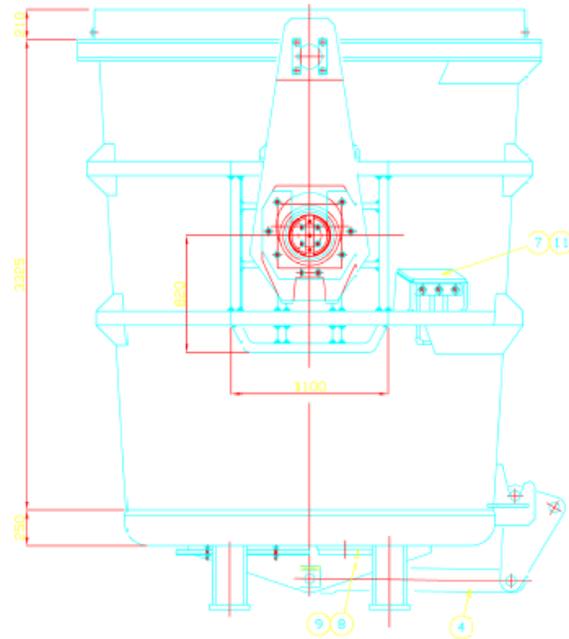


Figura 6: Plano de cuchara

El acero líquido está a una temperatura aproximada de 1600 °C, sin embargo gracias a las propiedades aislantes del refractario, la parte más caliente de la carcasa exterior no supera los 400 °C, en caso de refractario defectuoso o falta de algún ladrillo, esta temperatura puede elevarse, incluso en casos puntuales puede llegar a fundir el exterior de la carcasa, causando una perforación y consecuentemente la pérdida de acero líquido. Las altas temperaturas de trabajo son un limitante en la implementación del rastreo de las cucharas, al igual que el ambiente hostil de suciedad, polvo, poca iluminación y ruido que significa la acería.

### 1.5 Trayectoria de las cucharas

La trayectoria de las cucharas se puede explicar dividiendo el proceso en estaciones, ver esquema de la Figura 7. La cuchara, una vez armada y correctamente secada para eliminar de forma gradual el agua, va a los precalentadores, en donde se la lleva a régimen térmico calentándola con llama. La siguiente estación es el puesto de cromita, donde se sella la buza con arena refractaria. Este puesto es importante ya que sería el lugar donde se colocará el dispositivo de medición de espesores de refractario. Seguidamente pasa al horno de arco eléctrico, en donde la cuchara se llena con acero líquido y luego va al horno de afino, también llamado horno cuchara, ya que el proceso ocurre dentro de la misma cuchara, donde se le entrega energía por medio de electrodos, calentando el acero líquido. La siguiente estación es la Trimming, en donde se termina el proceso de afino, burbujeando y mezclando bien el acero, pero sin entregar energía. La cuchara no siempre va a la estación mencionada anteriormente, ya que existe porque el horno de afino es el cuello de botella, y en casos de alta producción se lo necesita liberar cuanto antes, por lo que se completa el proceso de afino en la estación de Trimming, pudiendo ingresar una nueva cuchara al horno cuchara. Sin embargo, si la producción es baja el proceso de afino se termina en el horno cuchara y no se utiliza la de Trimming. Por último, la cuchara pasa a la torre de colada continua, donde se abre y el acero pasa al tundish para generar las barras circulares que son el producto final de la

fábrica de acero. Una vez terminada la colada la cuchara va a un precalentador horizontal, donde se la limpia y prepara para la próxima colada, y una vez lista se la deja en espera en un precalentador vertical. Existen seis precalentadores, cuatro verticales y dos horizontales, dos hornos de arco eléctrico, dos hornos de afino, dos posiciones de trimming y dos torres de colada continua.

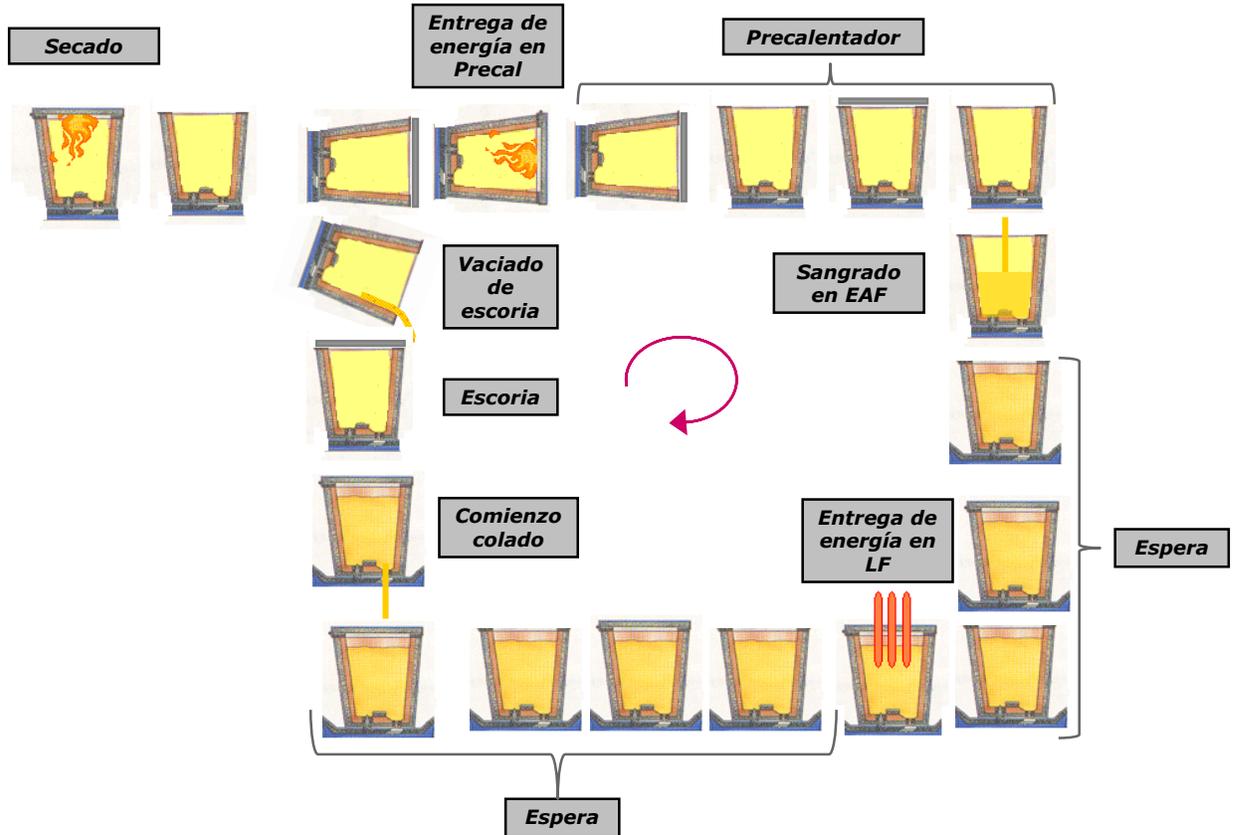


Figura 7: Esquema representativo de las estaciones y estados de la cuchara durante el ciclo productivo

Habiendo comprendido cómo funciona la trayectoria de las cucharas se puede ver claramente la necesidad de hacer un seguimiento, tanto por necesidad de planeamiento, como por los diferentes estados térmicos por los que pasa la misma, que generan necesidad de llevar un control de su refractario.

## 2. Análisis de opciones

Se propusieron dos tipos de rastreo en *real time*, que pueden ser llevados a cabo con diferentes tecnologías, las mismas se pueden observar en la Figura 8. Una de las opciones utiliza la tecnología de identificación por radio frecuencia, comúnmente conocida como RFID, que a su vez requiere un conjunto de sensores, antenas y lectores. La otra opción es la utilización de reconocimiento de imágenes, para lo que se evaluaron dos compañías proveedoras. Una, Microscan, provee cámaras inteligentes con un software de reconocimiento integrado en la misma cámara, y la otra, Mathworks, provee un conjunto de aplicaciones y programas informáticos que se pueden programar tal que utilizando las imágenes provistas por las cámaras IP (envían los datos por medio de un Protocolo de Internet) existentes en el galpón, se pueda realizar el reconocimiento del número de la cuchara y consecuentemente el rastreo.

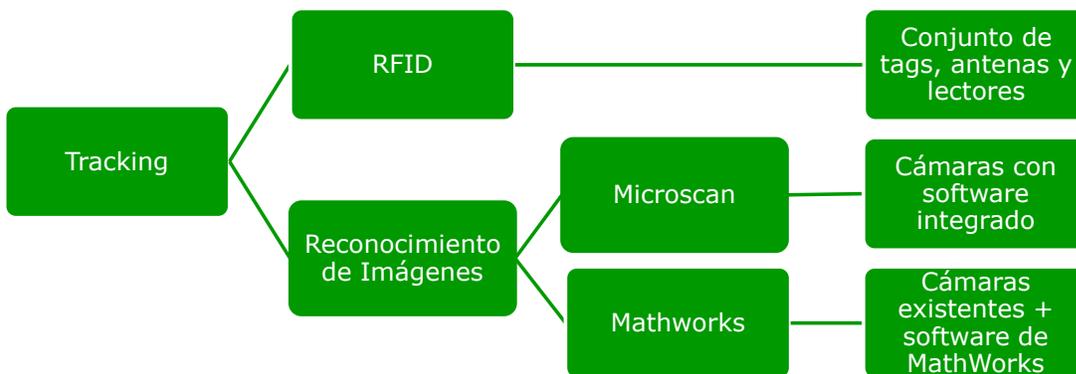


Figura 8: Opciones presentadas para el tracking

### 2.1 Reconocimiento de imágenes

#### 2.1.1 Cámaras inteligentes – Microscan

Los avances en la tecnología actual están permitiendo una nueva generación de “cámaras inteligentes” que a diferencia de las cámaras digitales ordinarias, que toman solamente imágenes, capturan descripciones de escenas de alto nivel y analizan lo que ven. Estos aparatos soportan una gran variedad de aplicaciones, incluyendo detección animal y humana, vigilancia, análisis de movimientos e identificación facial.

Microscan es una compañía enfocada en la adquisición de datos precisos y soluciones de control, que presta servicios de un amplio rango de automatización. Sus productos de adquisición precisa de datos permiten cumplir con objetivos de seguimiento, localización y control. Se ocupa tanto del rastreo como del control con auto identificación y visión artificial. Esta tecnología normalmente es utilizada para el seguimiento de partes mediante códigos 1D (de barra) o 2D (lineales), sin embargo también ofrece la posibilidad de ser usada para el control de calidad, por lo que las cámaras también detectan color, defectos, ausencia o presencia de componentes, ubicación y orientación de objetos y miden dimensiones, como se puede apreciar en la Figura 9. Los productos que ofrece Microscan son cámaras inteligentes con programas de reconocimiento de imágenes y lectura de datos integrados en las mismas. Estas plataformas embebidas corren datos a una velocidad de un orden de magnitud mayor que las técnicas que utilizan programas computacionales externos a la propia cámara.



Figura 9: Diferentes formas de utilizar la visión inteligente de las cámaras Microscan [1]

Se propuso adaptar las amplias posibilidades que brinda Microscan de visión artificial a la lectura de las cucharas. La idea fue utilizar los programas pensados para el control de calidad combinados con cámaras industriales aptas para el ambiente hostil de acería, para detectar la forma del número de las cucharas y luego poder reconocerlo en cada estación y de esta forma establecer un rastreo por reconocimiento de imágenes.

El modelo de cámara inteligente propuesto fue el **Vision HAWK** con lente C-mount. Esta cámara industrial tiene un procesamiento de alta velocidad y alta resolución (2.0 MP), y la configuración de ángulo recto de la lente permite una máxima flexibilidad en un entorno de automatización. Esta cámara es fabricada con los softwares de AutoVISION y VisionScape integrados. AutoVISION es un software básico, simple de usar, fácil de conectar a los sistemas de control industrial o a PLC y tiene aplicaciones de rango medio, es decir decodifica símbolos 1D y 2D, OCR y OCV. Además posee herramientas de medición, cuenta, detección y localización. VisionScape es más complejo y admite mayores posibilidades. Además de tener las mismas herramientas que AutoVISION, permite también la transformación y ajuste de imágenes, calibración de precisión y herramientas programables. VisionScape utiliza patrones geométricos más robustos que permiten localizar y reconocer patrones en imágenes con ruido.

En la Figura 10 se puede ver una de las herramientas de AutoVISION trabajando sobre una imagen de una cuchara tomada con una cámara de fotos tradicional. Para el análisis se utilizó una herramienta de formato, que intenta identificar el formato sin leerlo, es decir intenta identificar algún tipo de patrón sin base de comparación. Se observa que la herramienta filtra efectivamente la forma de número 37. Luego, es posible comprar la forma identificada con una base de datos.

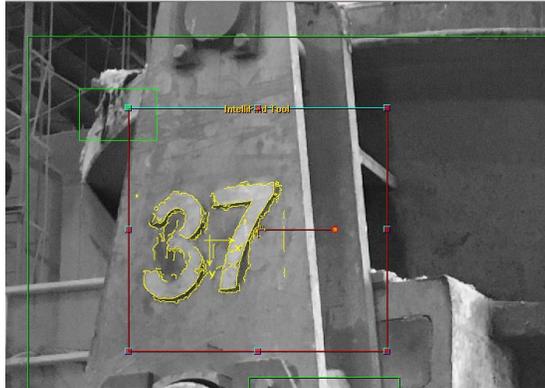


Figura 10: Análisis de imagen de una cuchara realizada con las herramientas de Microscan

Dado el nivel de iluminación pobre y el ambiente de extrema suciedad, las imágenes tomadas por las cámaras tendrán mucho ruido, independientemente de la calidad de la misma, por lo que se requeriría usar el software de VisionScape, el cual brinda mayores herramientas y aplicaciones. Al mismo tiempo se evalúa la opción de reemplazar los números de las cucharas por códigos 1D o 2D, o símbolos OCR estandarizados para facilitar la programación, y de la misma manera se analiza la posibilidad de pintarlos con pintura reflectiva para que se destaquen por contraste. También se requeriría elaborar un plan de limpieza recurrente, de forma preventiva para evitar que se ensucien de forma tal que sean irreconocibles por el programa.

Tomando los recaudos necesarios se puede implementar este sistema para realizar el rastreo de las cucharas, aunque para que este método funcionase de forma efectiva se deben colocar tantas cámaras como estaciones de detección se deseen, resultando en una inversión inicial considerable y un programa de mantenimiento muy demandante.

### 2.1.2 Software de Mathworks

La segunda opción de reconocimiento de imágenes sigue las mismas líneas que la anterior, con la principal diferencia que no se requieren cámaras especiales, ya que se pueden usar las ya existentes en el galpón de acería, agregando cámaras IP comunes en aquellas estaciones donde haga falta. La forma de llevar a cabo el rastreo en este caso sería utilizando una serie de aplicaciones de Matlab, un programa de la empresa Mathworks. Matlab es altamente flexible y provee una vasta cantidad de herramientas, algunas de ellas dedicadas exclusivamente a la identificación y detección de imágenes.

Para analizar mejor esta propuesta se gestionó una videoconferencia con el ingeniero Tim Jones, perteneciente a Mathworks, en donde se analizó un video de una cuchara en el carro del horno una vez finalizado el sangrado. En este *webinar* se presentaron las aplicaciones a utilizar, se explicó su funcionamiento y la forma de sacarles mayor provecho. Las aplicaciones ofrecidas y consecuentemente cotizadas fueron las siguientes:

- DSP system toolbox
- Image processing toolbox
- Signal processing toolbox

- Computer vision system toolbox

Con las aplicaciones anteriores se sigue una secuencia de pasos que culmina en el reconocimiento de imágenes. Primero es la detección del objeto de interés, luego es la identificación del mismo (qué cuchara es) seguido de la localización en el espacio (dónde está).

Para casos generales de uso de este programa, la detección de imagen se logra mediante el proceso de encontrar detalles de objetos cotidianos, como caras, edificios, etcétera en imágenes o videos. Existe una alta variedad de modelos para llevar a cabo lo mencionado anteriormente, pero el más usado es el llamado “feature extraction” que detecta un objeto de referencia en una escena desordenada y saturada de elementos, usando herramientas de reducción dimensional que representan eficientemente partes de interés en una imagen de forma de mapa vectorial y la comparan con una imagen de referencia.

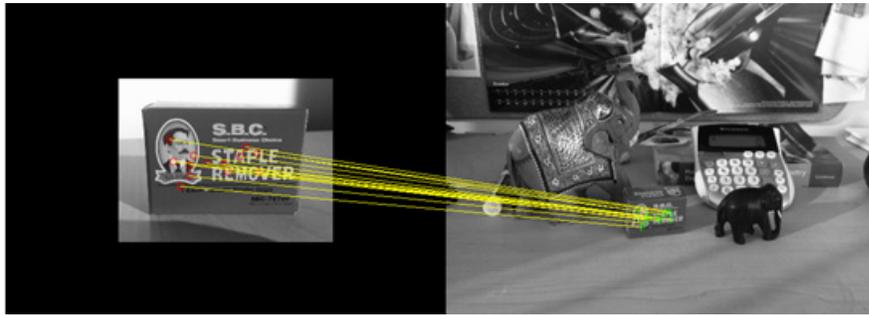


Figura 11: Ejemplo de detección de un objeto de referencia en una escena saturada de elementos usando “feature extraction” [3]

Para el caso particular del video de la cuchara enviado a Mathworks para su análisis, lo que utilizaron los ingenieros para detectar y reconocer el objeto fueron las herramientas de “Image Processing”, que usan una serie de algoritmos de referencia y funciones de visualización para las tareas de análisis. Para detectar el número de la cuchara la estrategia utilizada fue la de concentrarse en algo que caracterice a la imagen, y sea fácil de detectar para luego a partir de este punto característico diagramar las coordenadas de lo que realmente se quiere buscar. Por ejemplo, en la cuchara que está saliendo del horno, lo que primero llama la atención es la radiación del acero líquido en la boca de la misma, por las características visuales de color, contraste y brillo al programa le resulta fácil identificarlo y reconocerlo, y dado que el número de la cuchara se encuentra en un lugar fijo en relación al brillo de la radiación del acero, es sencillo programar las coordenadas del mismo (nótese que esto debe hacerse para cada estación, para cada ángulo, iluminación, etcétera). Una vez que el programa logra ubicar el número, puede aislar esa parte de la imagen para corregirle la luz, contraste, brillantez, etcétera y consecuentemente puede pasar a identificarlo, comparándolo con una base de datos para determinar cuál es el número. Además se puede usar el programa para identificar donde está la cuchara dentro del cuadro de la imagen, es decir, la misma cámara se puede usar abarcando más de una estación, ya que una vez que ubica el punto característico de la cuchara puede determinar sus coordenadas dentro de la imagen, y esas coordenadas pueden ser asignadas a una estación en particular.

El poder de cálculo necesario de la computadora a utilizar para realizar este análisis es alto ya que la información necesaria para poder reconocer el número significa un gran volumen de datos a

procesar. Sin embargo, afortunadamente, el movimiento de las cucharas es lento, por lo que no se necesita realizar el procesamiento de información con una frecuencia demasiado alta (aproximadamente cada 30 segundos), y por lo tanto con una sola PC debidamente armada y dedicada exclusivamente al proceso de reconocimiento de datos es suficiente para llevar a cabo el presente método.

## 2.2 Identificación por Radio Frecuencia

La identificación por radio frecuencia es una recolección de datos automatizada que permite la captura y movimiento de datos de forma inalámbrica utilizando ondas de radio. Un sistema típico consiste de “tags”, pequeños sensores con un identificador único del producto embebido, antenas que se encargan de recibir la señal enviada por el tag, y por último lectores los cuales están diseñados para decodificar la información en el tag y enviarlo a un servidor que procesa y maneja la información recolectada.

RFID ofrece visibilidad en tiempo real de cualquier producto, maquinaria e incluso personal humano al que se le quiera hacer un seguimiento, sin necesidad de cables ni contacto entre el sensor y el lector, con mínima intervención humana.

RFID funciona con éxito desde la década del cuarenta y ha demostrado que puede entregar una gran variedad de beneficios dependiendo de la aplicación específica. Durante la segunda guerra mundial la tecnología surgió como una manera de identificar aeronaves amigas o enemigas y en los sesenta era utilizada para identificar y monitorear materiales nucleares y riesgosos. En la década del ochenta la investigación de RFID se comenzó a inclinar hacia la reducción de costo y tamaño, además de la mejora en la performance. De esta forma comenzó el proceso para que la tecnología pasara a ser utilizada en una mayor cantidad de ámbitos, y no solo en lo militar.

Existen diferentes versiones de RFID que operan a distintas radio frecuencias, la elección de la frecuencia depende de los requerimientos de la aplicación que se le dará. Existen tres principales bandas de frecuencias: **Low Frequency** (baja frecuencia) entre 125 y 134 kHz, utilizada normalmente para control de acceso; **High Frequency** (alta frecuencia) 13,56 MHz, usada cuando los rangos de datos y lectura no son muy exigentes y **Ultra High Frequency** (ultra alta frecuencia) entre 850 y 950 MHz y entre 2.4 y 2.5 GHz, que ofrece los rangos de lectura más largos y las velocidades más altas.

### 2.2.1 Tags

Los tags RFID constan de dos elementos básicos: un chip y una antena. El chip y la antena montados forman un integrado como se ve en la Figura 12. Luego el integrado es embebido en otro material y forma el tag final.

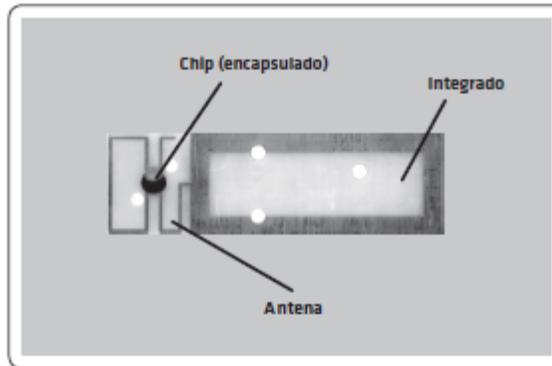


Figura 12: Componentes de tag RFID [10]

Los tags se pueden dividir en dos categorías: tags activos y tags pasivos. Los tags activos son energizados con baterías, emiten una señal hacia el lector y pueden transmitir a distancias por sobre los 30 metros. Son más costosos y se utilizan normalmente para rastrear bienes de alto valor como, por ejemplo, vehículos. Los tags pasivos en cambio no poseen batería, sino que absorben la energía que necesitan para funcionar desde el lector. Este, a través de la antena que convierte la corriente eléctrica en ondas electromagnéticas, trasmite una radio señal de baja potencia hacia el tag, que la recibe a través de su propia antena, la vuelve a convertir en corriente eléctrica y la utiliza para energizar el circuito integrado (chip) por corrientes parásitas. El tag se “conecta” brevemente con el lector para verificar e intercambiar datos, y como consecuencia estos tags pueden transmitir información en distancias más cortas, y tienen menor capacidad de memoria. Sin embargo, al no tener batería tienen mucha mayor durabilidad, menor mantenimiento y considerable menor costo.

Por otro lado, existen dos tipos de chips disponibles en los tags de RFID: Read-Only (sólo lectura) y Read-Write (lectura y escritura). La información en los primeros no puede ser cambiada y se mantendrá la misma configurada de fábrica por toda la vida del tag, en cambio con los de escritura el usuario puede agregar información al tag o reescribir la ya existente cuando el tag se encuentra dentro del rango de lectura del lector. Un tercer método a veces utilizado es el WORM (*write once read many*, es decir escriba una vez lea varias), este tipo de chip puede ser escrito una sola vez y luego se convierte en un read-only.

La tecnología disponible a día de hoy permitió el desarrollo de tags que se adapten a diversas necesidades y ambientes, por ejemplo tags resistentes a altas temperaturas y diseñados tal que puedan ser montados directamente sobre superficies metálicas, diseñando la protección del tag de manera tal que el montarlo sobre metal no interfiera con la señal.

### 2.2.2 Lectores y Antenas

Los lectores y las antenas RFID trabajan juntos para leer los tags. Las antenas convierten la energía eléctrica, que le entrega el lector por un cable coaxial, en ondas electromagnéticas que son irradiadas al espacio para ser recibidas por la antena del tag y vueltas a convertir en corriente eléctrica. Existen muchas variedades de antenas de lector y la elección de las mismas depende de la aplicación que se le piensa dar. Los dos tipos más comunes de antenas son las de polarización lineal y las de polarización circular. Aquellas que irradian campos eléctricos lineales tienen rangos largos y niveles altos de potencia, que permite que sus señales penetren diferentes materiales

para leer los tags. Sin embargo, son sensibles a la orientación del mismo, y dependiendo del ángulo y posición de montaje pueden llegar a tener problemas para leerlo. Por otra parte, las antenas de polarización circular son menos sensibles a la orientación del tag pero no tienen la capacidad de entregar tanta potencia.

Otra característica que determina la elección de la antena es el rango de lectura deseado, cercano o lejano. En campos cercanos, el rango es menor de 30 cm y la antena usa acoplamiento magnético tal que el lector y el tag puedan transferir potencia. En estos casos la lectura de los tags no se ve afectada por la presencia de elementos como agua o metal. En rangos lejanos estos elementos sí afectan el desempeño de los tags, dado que el agua absorbe parte de la energía transferida mientras que el metal la refleja y desvía del tag. En el campo lejano el rango entre el tag y el lector es mucho mayor a 30 cm pudiendo llegar a decenas de metros.

### 2.2.3 Electronic Product Code (EPC)

A la hora de identificar productos los tags de RFID utilizan un estándar de identificación llamado EPC. Este estándar busca expandir la información disponible para identificar como único a cada ítem que lleve un tag y permitir una lectura mucho más automática, que la tecnología predecesora: el código de barra. Se propuso crear estándares abiertos tanto para lectores como para tags con la intención de bajar los costos de la tecnología tal que se pueda utilizar en productos individuales y para esto se desarrolló una especificación para tags de RFID que no determina el tipo de tag a ser usado, sino que provee una serie de directrices de la estructura de los datos tal que puedan ser utilizados en cualquier plataforma. La especificación requiere que el chip contenga un EPC y deba cumplir unos mínimos requisitos tal que cualquier tag pueda ser leído por cualquier lector.

El EPC es un número conformado por un encabezamiento y tres conjuntos de datos, como muestra la Figura 13. El encabezamiento identifica el número de la versión de EPC, con sólo dos números en la actualidad, pero que deja abierta la posibilidad de diferentes largos o tipos de EPC más adelante. La segunda parte del número se refiere al manager del EPC, típicamente sería el fabricante del producto (en este caso el productor del tag). La tercera parte se llama clase de objeto (object class) e identifica el tipo de producto y por último la cuarta serie de números es el número de serie que es único para el producto, los últimos dos conjuntos de números los asigna el manager del EPC.



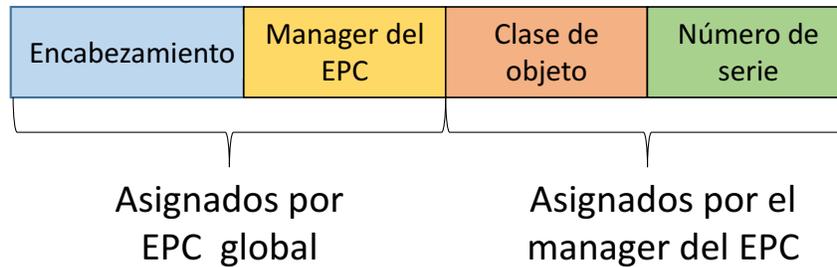


Figura 13: Ejemplo de EPC [5] y explicación gráfica de sus partes

En el ejemplo de la Figura 13 se ve un EPC de 96 bits. Permite capacidad suficiente para 268 millones de compañías. Cada productor podrá crear 16 millones de clases de objetos con 68 mil millones de números de serie para cada clase. De esta forma se mantiene cubierta la fabricación mundial de productos para identificación por muchos años.

## 2.3 Evaluación de opciones

### 2.3.1 Criterios de evaluación:

Para la evaluación y toma de decisión entre las opciones presentadas anteriormente se propusieron cuatro criterios de evaluación: inversión inicial, mantenimiento, implementación y robustez. A su vez cada criterio se ponderó en cuanto a nivel de importancia e impacto en la decisión final. Estos criterios fueron discutidos con quienes estarán a cargo del proyecto una vez implementado, el jefe de cucharas, personal del área de mejora continua quienes evalúan la factibilidad de los proyectos presentados, y personal de mantenimiento de la acería. La explicación de cada criterio y su ponderación se expone a continuación.

	Criterios de Evaluación	Peso (1 a 10)
1	Inversión inicial	10
2	Mantenimiento	7
3	Implementación	5
4	Robustez	8

Tabla 1: Criterios de evaluación

**Inversión:** Inversión inicial necesaria para la compra de hardware, (o licencias de software) y para la instalación de equipos. El análisis se basó en presupuestos enviados por las empresas proveedoras y en estimados de tiempo de trabajo para instalarlos. Debido a la situación actual de crisis, para la empresa la inversión es el criterio limitante y por eso se le puso un peso de 10. Criterio de calificación numérica: Inversión baja 1 – Inversión media 5 – Inversión Alta 10

**Mantenimiento:** Este criterio está basado en la facilidad de mantener el sistema a utilizar. Tiene en cuenta la accesibilidad a los equipos, el conocimiento técnico que debe tener el sector mantenimiento y la frecuencia con la que se debería realizar el mantenimiento, tanto preventivo como correctivo. Se le adjudicó un peso de 7 por ser importante para la vida a largo plazo del proyecto, ya que si el mantenimiento es complejo es probable que luego de un tiempo deje de mantenerse y por lo tanto puede terminar cayéndose. Criterio de calificación numérica: No requiere mantenimiento 1 – Mantenimiento de poca complejidad 5 – Sumamente difícil de mantener 10.

**Implementación:** Tiene en cuenta el tiempo que llevaría a cabo implementar el sistema, si se necesita contratar personal ajeno a la empresa para instalar tanto la parte hardware como de software. Se le adjudicó un peso de 5 porque es la razón menos importante ya que aunque se prefiere que la implementación sea lo más sencillo posible, la complejidad de implementación no es un limitante. Criterio de calificación numérica: Muy simple de implementar 1 – Implementación de dificultad media 5 – Difícil implementación 10.

**Robustez:** Tiene en cuenta la confiabilidad del sistema ante la posibilidad de fallar, si las fallas son difíciles de resolver o simples y si inhabilitarían todo el tracking o tan solo parte de ello. El peso que se le dio a la robustez es de 8 ya que es de suma importancia que el sistema elegido sea confiable, dado que limita el uso continuo del mismo. Criterio de calificación numérica: Alta robustez 1 – Robustez media 5 – Muy baja robustez 10. (Nótese que el criterio de robustez es a la inversa que el resto).

	Inversión		Mantenimiento		Implementación		Robustez		TOTAL
	Calif	Peso	Calif	Peso	Calif	Peso	Calif	Peso	
<b>RFID</b>	6	10	5	7	7	5	4	8	<b>164</b>
<b>Microscan</b>	10	10	7	7	5	5	3	8	<b>198</b>
<b>Recon. Im (Matlab)</b>	3	10	8	7	9	5	6	8	<b>181</b>

Tabla 2: Evaluación de opciones

### 2.3.2 Justificación de las calificaciones

#### 2.3.2.1 RFID

##### Inversión: 6

	Precio [USD]	Cantidad	Total
Antenna	350	16 <sup>1</sup>	5600
Reader	3000	8	24000
Tag	13	60	780
Housing	200	22	4400
Instalación	10000	1	10000
			<b>44780</b>

Tabla 3: Inversión necesaria para RFID

(NOTA: Se calificó la inversión mayor (Microscan) como 10 y las otras dos se calcularon en proporción a ella)

**Mantenimiento:** 5. No requiere mantenimiento preventivo para los tags, solo correctivo llegado el caso que un tag dejase de funcionar, y en ese caso sólo se debería reemplazar por otro previamente configurado con el número de la cuchara correspondiente. Con una correcta instalación, las antenas y el lector tampoco requieren mantenimiento preventivo. El conocimiento del sistema que debe tener el equipo de mantenimiento no es muy alto, pero se deben capacitar por si se llega a desconfigurar un lector o se deben cambiar, crea la necesidad de crear tutoriales para configuración de lectores y tags. Además es importante aclarar que dentro de la acería existen sistemas de RFID por lo que la tecnología no es ajena al personal de mantenimiento.

<sup>1</sup> Las antenas necesarias para la implementación son 17, y los readers son 9. Sin embargo, en el momento existe una antena y un lector en stock destinados a este proyecto.

**Implementación:** 7. La implementación se la calificó con 7 por la dificultad que presentan las condiciones adversas de la acería (temperatura, suciedad, presencia de acero líquido, interferencia de metal con las antenas). Una vez definido el lugar donde irían ubicados tanto los tags como las antenas (utilizando la menor cantidad de lectores posibles para minimizar la inversión inicial, ya que son los que mayor costo tienen), la instalación es relativamente simple ya que consiste en colocar los housings correspondientes a las antenas y los tags en los lugares predeterminados y de una puesta a punto para evitar interferencias entre tags en diferentes cucharas. Los datos provistos por este sistema son fáciles de interpretar y simples de incorporar al sistema utilizado por Tenaris para seguir las cucharas. Además existen equipos de RFID en otras partes de la planta, por lo que se cuenta con el *know how* en varios departamentos para poder hacer un seguimiento.

**Robustez:** 4. La robustez de este sistema es relativamente alta ya que una vez determinada la duración del tag mediante un ensayo y pruebas de campo, que son descritas en la Sección 4, y aislarlo si correspondiera, la vida útil del mismo se considera satisfactoria para esta aplicación, pudiendo fallar por situaciones inusuales de uso (golpes, salpicado de acero líquido, etcétera). Al igual que las antenas y el lector, que se propone que estén bien protegidos y no van a fallar a menos que se desconecten (si se toman los recaudos necesarios eso no debería suceder). Al mismo tiempo si un tag fallase sólo se perderá su cuchara de vista pero no el resto y es fácil de reemplazar.

#### 2.3.2.2 Reconocimiento de imágenes con Microscan

##### Inversión: 10

	Precio [USD]	Cantidad	Total
Cámaras	7266	10	72656

Tabla 4: Inversión en hardware de Microscan

**Mantenimiento:** 7. Dado que son cámaras muy especializadas y de tecnología avanzada que no está aplicada en ningún otro lado de la fábrica se definen como difíciles de mantener ya que se debería capacitar al personal en un tema totalmente nuevo. Las cámaras además vienen integradas con un software cada una, por lo que se hace difícil la reparación de una llegada a fallar, en ese caso debería ser reemplazada, con el tiempo y la inversión que eso conlleva. En cuanto al mantenimiento en sí, las cámaras requieren mucho mantenimiento preventivo por las condiciones de suciedad de la acería por lo que deben ser limpiadas con regularidad. Por otro lado, el uso de cámaras en planta ha demostrado generar muchos problemas, principalmente en la corta duración de las mismas ya que se han presentado varios casos de vandalismo por parte de los operarios, quienes las ven como una amenaza. Además para que el reconocimiento de imágenes sea efectivo, los números en las cucharas deben ser visibles siempre, por lo que se los debe mantener limpios, agregándole complejidad al mantenimiento. ¿No es muy elevado este número?

**Implementación:** 5. La implementación se la calificó como de dificultad media ya que la empresa provee de técnicos que harán la instalación (por un precio agregado que no se utilizó para calcular la inversión porque no fue cotizado).

**Robustez:** 3. La robustez de este sistema es alta ya que con un correcto mantenimiento no debería fallar, aunque llegado el caso de una falla, la reparación es compleja (eso se tuvo en cuenta en el mantenimiento, pero ambos están interrelacionados). Además al ser un sistema automatizado de

reconocimiento de imagen es difícil que este deje de detectar las cucharas. Un problema de confiabilidad es, sin embargo, que llegado el caso que una cámara fallase quedaría inhabilitada toda una estación.

### 2.3.2.3 Reconocimiento de imágenes con MathWorks

#### Inversión: 3

		Precio [USD]	Cantidad	Total
LICENCIAS	MATLAB	2650	1	2650
	DSP System toolbox	1700	1	1700
	Image proc. toolbox	1250	1	1250
	Signal proc. toolbox	1250	1	1250
	CVS toolbox	1700	1	1700
Cámaras	Bosch	918	4	3671
	Housing	200	4	800
Instalación		10000	1	10000
				23021

Tabla 5: Inversión inicial para reconocimiento de imágenes con Matlab

(NOTA: Sólo se muestra la compra de 4 cámaras ya que se podrían reutilizar muchas de las existentes hoy en día en la acería.)

**Mantenimiento:** 8. Al igual que para Microscan las cámaras requieren mucho mantenimiento preventivo por las condiciones de suciedad de la acería al igual que los números en las cucharas. Por otro lado el mantenimiento del software requeriría una capacitación del funcionamiento del programa para los técnicos que estarían a cargo del mismo. Dada la alta probabilidad de que las cámaras sean movidas por mantenimiento, o simplemente por la forma en la que operan los empleados de la planta, sería necesario tener un técnico que estuviese dedicado casi exclusivamente a la programación del código frente a cualquier imprevisto.

**Implementación:** 9. La implementación se la calificó como de dificultad alta ya que para cada posición requerida (dieciséis posiciones) se deberá programar la detección y reconocimiento de cada cuchara, para cada caso en particular, teniendo en cuenta las dificultades que eso conlleva, ya que cada caso en particular tendrá distinto ángulo de filmación, distinta iluminación, distinto contraste, distinta posición del número respecto a las referencias utilizadas para reconocerlo. Además que se reutilizarían cámaras ya existentes en la acería, que tienen baja resolución por lo que se debería tomar eso en consideración también.

**Robustez:** 6. La robustez de este sistema es media ya que dado que para la detección de la cuchara se utiliza un sistema de coordenadas y un conjunto de referencias, un cambio en la posición usual de la misma podría causar una no detección del número. Las cámaras pueden ser movidas por golpes o por desconocimiento del personal de acería, que puede moverla accidentalmente o para querer ver algo que no está en el cuadro de la imagen. Lo mismo sucedería con un mal mantenimiento, si hay suciedad tanto en la cámara o en el número, llevaría a una mala lectura, inhabilitando esa posición, es decir no solo no se detectará una cuchara (como en el caso de RFID) sino que no se detectaría ninguna cuchara en esa estación.

#### *2.3.2.4 Conclusión*

En base a los criterios anteriormente mencionados y la ponderación definida para cada uno, resulta que la tecnología que mejor se adapta a las necesidades del proyecto es la de RFID. En un principio, la aplicación del sistema de Mathworks parece el más indicado por su gran versatilidad, sin embargo para el ambiente industrial se requieren de tecnologías más robustas y accesibles. Por otro lado, el uso de cámaras está mal visto por la gente de la planta ya que genera la sensación de “vigilancia” entre los operarios, y además las cámaras ya existentes no trabajan de forma óptima, y aquellas personas encargadas de mantenerlas se encuentran reacias a la incorporación de más cámaras ya que las ven como un problema.

Para finalizar, cabe aclarar que se notó una buena disposición frente a la tecnologías RFID ya que es utilizada en otros sectores de la planta, y en general con resultados positivos.

### 3. Tecnología elegida: RFID

Una vez definida la tecnología a utilizar se profundizó en los diferentes desafíos que implican el uso de la misma. Para comenzar, la temperatura de las cucharas significa una limitación para el tipo de tag a utilizar, su posición en la cuchara y el diseño de su protección. Al mismo tiempo se debe determinar la cantidad de estaciones necesarias para el seguimiento, y la posición de las antenas en cada una de ellas, teniendo en cuenta las condiciones de suciedad, temperatura, cableado y movimiento de personal y equipos. Por último, se debe gestionar la programación de una aplicación que anexe los datos levantados por los lectores al programa de operación utilizado en la planta, para poder alimentar los diferentes modelos dependientes de esta información.

#### 3.1 Diagramación de estaciones

Para poder seguir la cuchara en tiempo real se debieron determinar todas las posiciones de la misma que fuesen relevantes tanto para el modelo térmico del CINI como para la logística de grúas y para futuros proyectos. La elección de las estaciones se basó en el sistema actual de tracking de cucharas, humano dependiente, que se encuentra en Phindows y el cuál se tiene la intención de automatizar. Los dos secadores que se ven en la esquina superior izquierda en la Figura 14 no fueron tomados como estación ya que no intervienen directamente en el modelo térmico de la cuchara, por lo que quedarán como un punto de mejora para futuras inversiones una vez que la automatización esté finalizada.



Figura 14: Captura de pantalla de la aplicación de Phindows usada actualmente para rastrear las cucharas

En la parte superior de la Figura 14 se ven los precalentadores (nótese que en la pantalla dice “precalentadores horizontales” pero en la realidad sólo los precalentadores 3 y 4 lo son, el resto son verticales). Estos son importantes para poder determinar si la cuchara se encuentra en régimen térmico, es decir si fue sometida a calentamiento por llama y por cuánto tiempo (así se puede saber si la temperatura del refractario es la adecuada tal que no absorba energía del acero). Con ese conocimiento se puede ajustar la energía a entregarle al acero líquido en el horno resultando en importantes ahorros. Las columnas de los precalentadores tienen termocuplas que miden la temperatura y determinan si el mismo está prendido o no. Junto con esa información y la que brinda el sistema RFID, se podrá saber qué cuchara se encuentra en cada estación y durante cuánto tiempo permaneció en la misma, a la vez de saber cuánto tiempo estuvo la llama prendida, y de esa manera determinar el estado térmico de cada cuchara que pase por esa estación. Dado que son seis precalentadores, califican como seis estaciones individuales y por lo tanto son necesarias seis antenas.

Luego se tiene la estación “horno” (tanto 4 como 5)- Lo que es necesario saber de esta estación es cuál cuchara fue la que entró a recibir el acero, ya que el tiempo de sangrado lo determina el horno. Esto facilita la implementación, ya que no haría falta tener una antena cerca de la zona de sangrado, una zona peligrosa por las altas temperaturas y las proyecciones de acero líquido, sino que con colocar una en lo que se llama “carro de horno” para identificar la cuchara entrante sería suficiente. Luego junto con la información que nos brinda el horno, por lógica, se podría programar el paso de la cuchara por esta estación, obteniendo los datos necesarios para el modelo térmico. Algo muy similar ocurre con los LF, en la pantalla de Phindows se ve que existen las posiciones tanto “Carro LF” como “LF”, pero en la que nos interesaría identificar la cuchara con RFID en este caso es la del carro para saber que cuchara entró a la estación, ya que los inputs de tiempo los brinda el propio horno cuchara.

La siguiente estación que se ve en la pantalla es la de CC (CC2 en el lado izquierdo y CC3 en el derecho), que es la posición en la que la cuchara está colando sobre el tundish y luego está la posición “torre de CC” que es la que permite que la colada sea continua como su nombre lo indica. Mientras una cuchara se encuentra colando (llegando casi a vaciarse) se posiciona una nueva cuchara llena en la torre de CC, para que ni bien se acabe el acero de la cuchara colando se gire la torre y empiece a colar la cuchara que se encuentra en ella. De esta manera se garantiza que el tundish se encuentre en todo momento con acero. Ambas estaciones son de alta importancia para el modelo, la de CC es un transitorio de vaciado, y la de la torre de CC es un estado de acero en cuchara y se debe poder saber cuánto tiempo permaneció en esa situación para calcular el TAC.

Por último, en la pantalla están las dos TR, estas dos posiciones son utilizadas para evitar un retraso en la producción ya que el cuello de botella es el LF, por lo que el afino del acero se termina en las trimming. Sin embargo, la TR4 es simplemente un soporte para la cuchara en dónde se la coloca y se la burbujea de forma manual, también es utilizado para realizar trasvases en casos de mal burbujeo o de perforación. Esta estación no tiene carro (aunque en la pantalla se vea carro TR4) sino que la cuchara se traslada a través de puente grúa hasta el soporte, por lo que esta consistiría de una sola antena, y serviría para identificar el tiempo total de TAC, aunque también debería existir un filtro para las veces que se realicen trasvases (se cargan de forma manual en el sistema). Por último, la TR5 es una posición de afino, pero a diferencia de la 4 no es manual, sino que se maneja a través de programas informáticos que entregan información al sistema, como el

horno o el LF, por lo que con tener una antena en el carro, que identifique el número de cuchara ingresante es suficiente para alimentar el modelo térmico. Para finalizar, tenemos el puesto de cromita, importante para la instalación del medidor de espesores mencionado en secciones anteriores.

Estaciones	Antenas	Lectores
Máquinas CC	2	2
Torres de CC	2	2
Carros LF	2	2
Carros Horno	2	-
Trimmings	2	-
Precalentadores	6	2
Cromita	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>9</b>

*Tabla 6: Cantidad de antenas y lectores necesarios*

Cabe destacar que cada lector alimenta a cuatro antenas, pero como son alimentados por cables coaxiales existe una limitación en la distancia entre lector y antena por la atenuación de la señal (proporcional al largo del cable).

A continuación se hará una breve explicación de la Tabla 6: Cada puesto de colada continua consiste de una máquina y una torre, y existen dos puestos de CC en la acería por lo que cada uno tendrá un lector y dos antenas. Los carros de LF y horno se encuentran juntos, y cerca de ellos están las TR por lo que compartirían lector (LF5 con horno 5 y TR5 e igual para el horno 4, TR4 y LF4). Por último, los precalentadores se encuentran agrupados de a tres, entonces los seis llevarían dos lectores. El puesto de cromita tiene su propio lector.

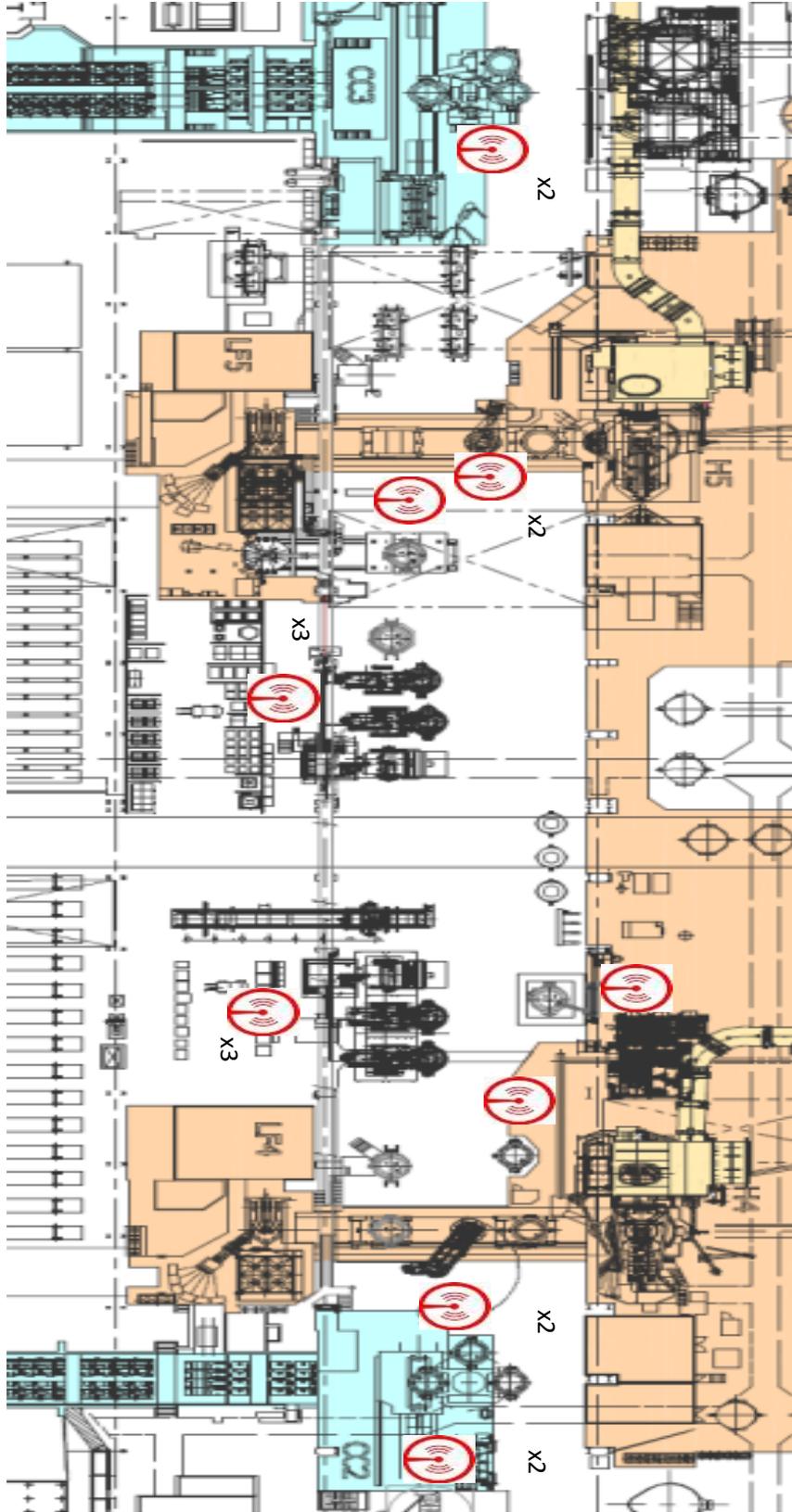


Figura 15: Layout de planta con diagramación de antenas (a modo ilustrativo)

## 4. Tags

### 4.1 Posición en cuchara en base a la temperatura

Para definir la posición del tag se realizaron mediciones con cámara termográfica y termocuplas en las diferentes zonas de la cuchara para determinar aquellas más frías, y consecuentemente las que menos problemas trajeran para la instalación y mantenimiento del tag. Las zonas más frías resultaron las **patas de la cuchara y los brazos**.

Las mediciones se realizaron en diversos estados térmicos de la cuchara, siempre resultando tanto la pata como el brazo las partes más frías (dentro de aquellas que podrían ser utilizadas para montar el tag). Sin embargo, para determinar la temperatura máxima a la que estaría expuesto el tag se midió la temperatura de la pata luego de estar la misma sobre el tundish, con la buza abierta y el acero colando por los 40 minutos aproximados que tarda en vaciarse la cuchara. En este estado la pata se encuentra expuesta a la radiación del acero líquido en el tundish y aquel saliendo por la buza. En este estado, luego del tiempo suficiente para poder considerar que la pata llegó a un punto máximo de temperatura, se midió una temperatura de 146 °C en el centro de la pata, que fue considerada la máxima a la que estaría expuesto el tag en los análisis que siguieron. Estas mediciones se pueden ver representadas en la Figura 18.

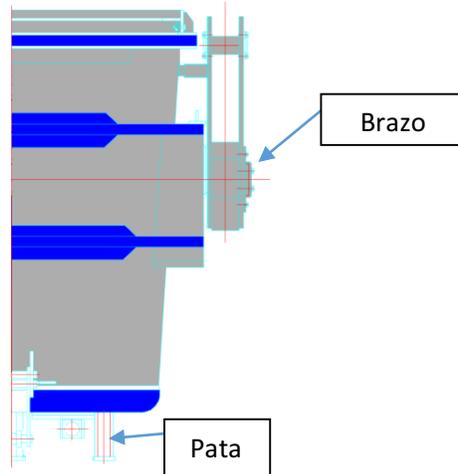


Figura 16: Representación gráfica de cuchara con nombre de partes relevantes identificados.

Por otro lado, se siguió una cuchara durante todo el proceso de fabricación de acero, desde el precalentador hasta luego de haber finalizado de colar, y se diagramó a modo representativo la variación promedio de temperatura de la pata a lo largo de un ciclo. Esto se muestra en la figura 17.

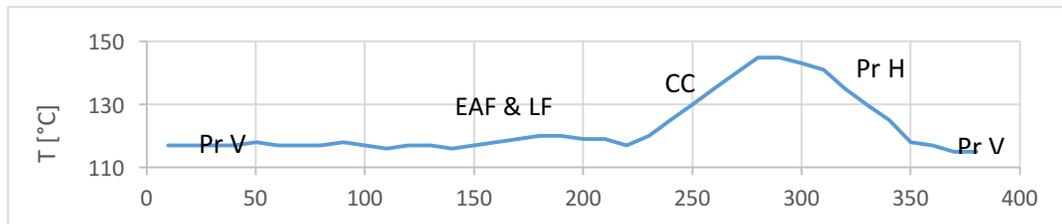


Figura 17: Variación de temperatura a lo largo de un ciclo promedio de una cuchara

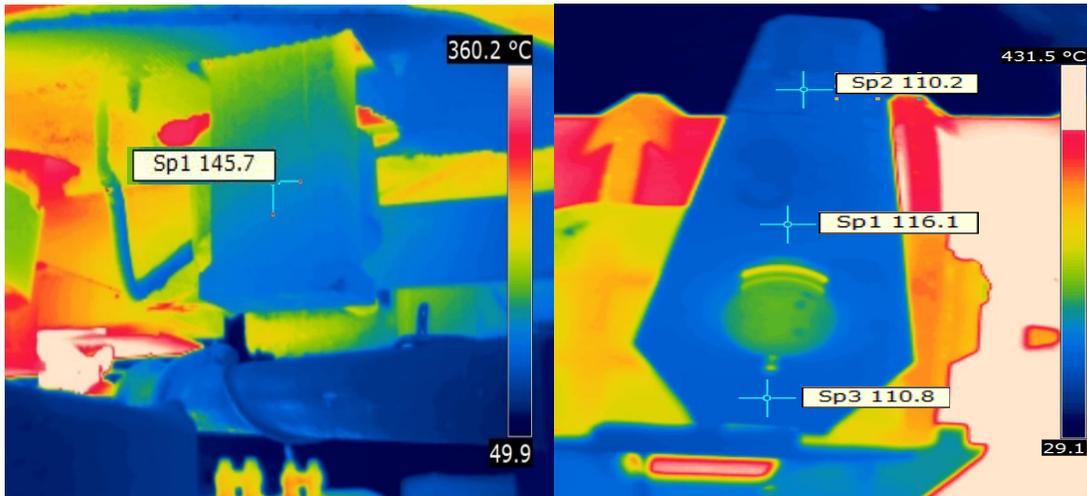


Figura 18: Termografías de pata (izquierda) y brazo (derecha) de la cuchara.

Cabe aclarar que la pata que se ve en la Figura 19 es la más fría de las tres que tiene cada cuchara. Es aquella que se encuentra más alejada de la buza, identificada con el círculo rojo en la Figura 19. Las otras dos patas registraron temperaturas máximas considerablemente superiores, 295 °C la pata delantera (aquella que se encuentra en el medio abajo en la Figura 19) y 160 °C la pata de la derecha arriba en la Figura 19.

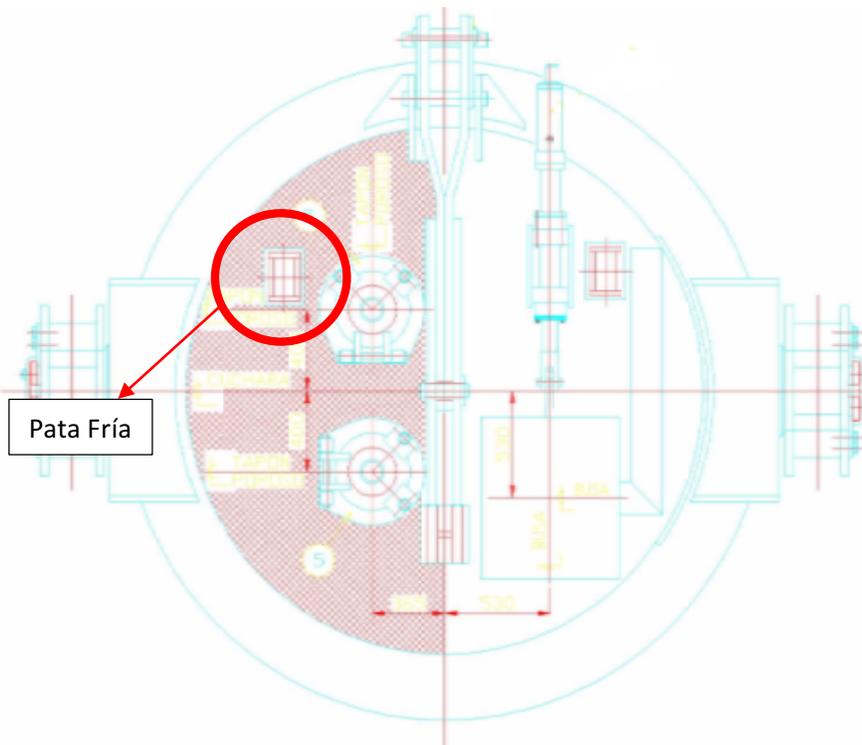


Figura 19: Identificación de la pata fría

Para el brazo la temperatura máxima se midió con la cuchara llena de acero líquido, estado térmico en el cuál la temperatura de la carcasa es máxima. El brazo de la cuchara se calienta por la propia radiación de la carcasa y dado que la temperatura de la misma no varía demasiado se mantiene relativamente constante durante los diferentes estados térmicos de la cuchara. Como se puede ver la temperatura del brazo es considerablemente más baja que en la pata (aproximadamente 30°C menos) llegando en su posición más caliente a los 116 °C.

## 4.2 Posición de tag considerando accesibilidad y mantenimiento

Una vez determinadas las posiciones más frías de la cuchara se debe analizar la facilidad de montaje de las antenas en las diversas estaciones, y la facilidad de poder tener visión directa entre antena y cuchara en todas ellas.

En un comienzo se pensó utilizar un solo tag en la pata de la cuchara, y que la señal del mismo fuera levantada por las antenas en todas las estaciones, sin embargo esto resultó en complicaciones para instalar las antenas ya que, en algunas posiciones, especialmente en los carros, la pata queda inaccesible. Por eso se decidió instalar un segundo tag en el brazo, para poder disminuir la complicación de instalación de la antena en todas las estaciones.

Otro factor importante que debió ser tomado en cuenta fue el de la frecuencia de mantenimiento. La cuchara debe ser inspeccionada rutinariamente y se le debe realizar una serie de ensayos no destructivos para asegurar su integridad estructural. Los brazos son especialmente inspeccionados ya que son el punto de izaje por medio del puente grúa y deben encontrarse siempre en óptimas condiciones, verificandose el estado de pernos, trabas y carpintería general. Esto se controla al final de cada campaña (noventa coladas aproximadamente) realizando los cambios de elementos necesarios- Los brazos se cambian con una frecuencia muy bajo, en caso de que el mismo sufra daños irreparables, por golpes muy fuertes o daños por filtración de acero. Algo similar sucede con las patas, sin embargo estas son menos críticas y por lo tanto se les da menos importancia a la hora de inspeccionar, sólo deben ser cambiadas frente a daños muy groseros, normalmente ocasionados por golpes o por uso inusual de la cuchara. Por lo tanto, dado que el cambio de las partes no es de frecuencia muy alta, se puede instruir al personal de mantenimiento en el cambio e instalación de tag, para llegado el caso de necesidad de cambio de alguna de las partes puedan instalar la nueva con un tag y el sistema de tracking no se interrumpa.

## 4.3 Elección de Tag

### 4.3.1 Pruebas con Tag AD-222

Al comienzo del proyecto se planteó utilizar tags pasivos UHF básicos, los mismos que se utilizaban en las tolvas de ferroaleaciones de la acería. Estos son modelo AD-222, no pueden ser montados sobre metal, sino que deben ser separados unos 2 mm, y tienen una temperatura máxima según datasheet de 65 °C. Las primeras pruebas realizadas con estos tags tuvieron como objetivo determinar la factibilidad de utilizar la tecnología RFID con altas temperaturas utilizando recursos existentes. Se utilizó un tag AD-222, tomado de una tolva, para realizar las primeras pruebas. El mismo se encontraba embebido en una capa polimérica para protegerlo, y se envolvió en una manta térmica de Kaowool ZR 1400, un aislante fabricado a partir de sílice y alúmina de alta pureza con una conductividad de aproximadamente 0,07 W/mK. El tag envuelto en la manta térmica fue colocado en la pata de una cuchara (la misma se encontraba hueca por pruebas anteriores que se la habían realizado) y empaquetado con más manta térmica Kaowool (Ver Figura

20). Cabe aclarar que la pata utilizada para las pruebas no fue la más fría, sino la que le sigue en temperatura (160 °C de temperatura máxima), esto fue así para aprovechar la pata que ya se encontraba ahuecada y así no tener que perforar una sana.



Figura 20: Tag dentro de empaquetamiento de manta térmica en pata de cuchara

Luego de catorce coladas se midió la señal del tag con la antena colocada a aproximadamente 50 cm de distancia del mismo, registrando actividad. En esas condiciones el tag se encontraba a aproximadamente 100 °C (medido con termocuplas) cuando la cuchara bajó de la torre de CC. Estos resultados indicaron que no solo la manta actuó correctamente como aislante, ya que le bajó la temperatura al tag unos 60 °C, sino que además la temperatura máxima de operación es superior a la indicada por el data sheet. Sin embargo, cuando se desarmó el conjunto, el tag se vio visiblemente deformado, lo que dio a entender que la vida del mismo bajo estas condiciones no sería demasiado extensa, ya que al deformarse la antena del tag la señal se vería comprometida.



Figura 21: Comparación tag nuevo con tag luego de 14 coladas

#### 4.3.2 Tags resistentes a altas temperaturas

En base a los resultados observados en las pruebas con los tags AD-222, se decidió utilizar tags RFID resistentes a altas temperaturas. Los que se compraron fueron tags marca Xerafy, modelo Micro<sup>x</sup> II. Los detalles más atractivos de estos tags son no sólo su comportamiento frente a altas temperaturas, con temperaturas máximas de operación de hasta 85 °C y hasta 250 °C de supervivencia, además de resistencia al ciclado térmico, sino también que se puede montar directamente sobre metal sin necesidad de separación. La diferencia entre temperatura de operación y de supervivencia es que la primera es la temperatura en la que el tag emite señal, mientras que la segunda es la temperatura a la cual el mismo no se quema, no emitirá señal mientras se encuentre a esa temperatura, pero cuando se enfríe hasta dentro del rango operacional volverá a emitir.

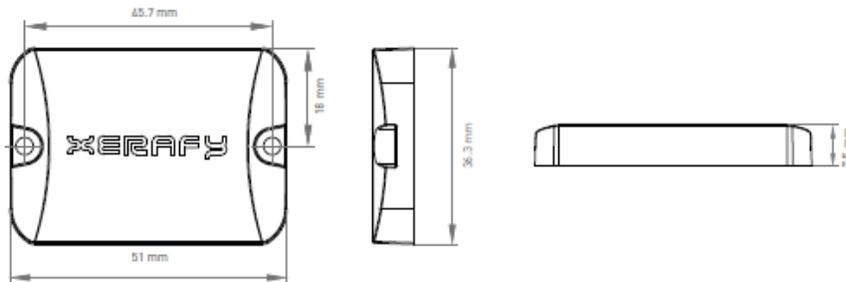


Figura 22: Tag Xerafy resistente a altas temperaturas - medidas

##### 4.3.2.1 Ensayos de temperatura de tag Xerafy

Se decidió ensayar el tag en un horno para tratamiento térmico y esmaltado de metales, para verificar la temperatura operacional máxima, la resistencia del mismo a estar expuesto a altas temperaturas por períodos largos de tiempo y su tiempo de respuesta una vez superada la temperatura máxima operacional y dejado a temperatura ambiente para enfriarse. Para esto se colocó el tag en el horno, junto con un set de termocuplas para registrar su temperatura y se pasó a calentarlo en diferentes etapas. Lo primera prueba consistió en calentarlo en etapas, manteniendo constante la temperatura en un intervalo de tiempo. En cada etapa se abre el horno para que la antena capta la señal del tag y así comprobar si el tag está operando. De esta manera se fue subiendo gradualmente la temperatura hasta el punto en el que abriendo el horno el tag dejaba de emitir señal, esto sucedió a los 150 °C, punto marcado en la Figura 23.

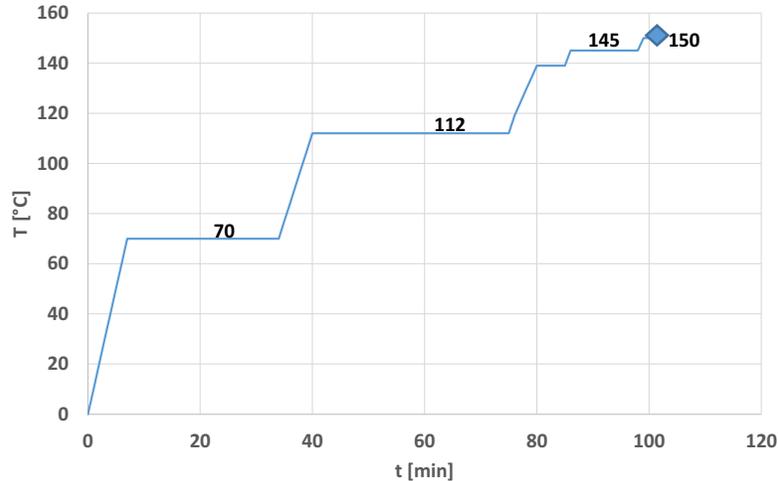


Figura 23: Gráfico representativo del ensayo de temperatura del tag

Los resultados de este ensayo demostraron que las temperaturas máximas de operación dadas por el data sheet resultaron muy conservadoras en plazos cortos, ya que el mismo siguió operando hasta los 150 °C. Se realizó una segunda prueba en la que se lo dejó a 140 °C por un período de 70 minutos y al retirarlo se encontró con que no estaba emitiendo señal, por lo que se concluye que expuesto a tan altas temperaturas por tiempos prolongados el mismo no seguirá operando hasta que disminuya nuevamente su temperatura. Por último, se colocó el tag en el horno a **100 °C por 4080 minutos** (68 horas) y al abrir el horno se encontró que seguía emitiendo señal, demostrando que el data sheet tiene un factor de seguridad en temperatura de al menos 1,2 para plazos prolongados. Otra conclusión que se pudo sacar de estos ensayos fue una estimación del tiempo de recuperación de señal una vez enfriado el tag. Cuando se lo calentó a 150 grados bastó con retirarlo del horno para que la temperatura del mismo bajara rápidamente unos 5°C e inmediatamente volviera a emitir señal.

Estos resultados resultaron muy positivos para el desarrollo del proyecto ya que las temperaturas a las que estará expuesto al tag son superiores a las indicadas por proveedor, en la pata la máxima es 145 °C, pero los tiempos de exposición son cortos. En colada continua, expuesta a la radiación del acero en tundish, la pata se encuentra aproximadamente 60 minutos. Pero incrementa su temperatura gradualmente, ya que al ingresar a la máquina de CC la temperatura del tag es de aproximadamente 115°C. Por esta razón se concluye que no haría falta aislarla demasiado para que la misma opere de forma correcta. Por otro lado los 250 °C de supervivencia indican que aunque el tag tomase la temperatura de la pata en su momento más caliente, el mismo dejaría de funcionar pero sólo momentáneamente. Ni bien su temperatura disminuya, debido al intercambio por convección con el ambiente, volvería a operar sin daño permanente.

Cabe aclarar que no se realizaron más ensayos de ciclado ya que no se contó con el permiso desde planta para retirar los equipos por más tiempo. Los resultados analizados previamente fueron considerados suficientes por el jefe de cucharas para pasar luego a pruebas de campo en el galpón.

### 4.3.3 Protección para el tag

Aunque los resultados mencionados en la sección anterior resultaron muy positivos en cuanto a la poca necesidad de aislación del tag, para mantener un margen de seguridad adecuado, se diseñó una protección que lo mantuviese separado de la pata mediante un aislante para evitar conducción metal-metal, con protecciones que absorbieran la radiación (tanto del acero líquido en el tundish, como del fondo de la cuchara en las situaciones en la que la misma se encuentra llena).

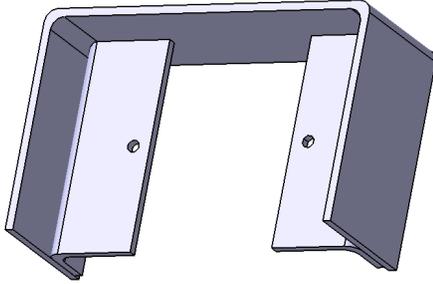


Figura 24: Armadura para tag

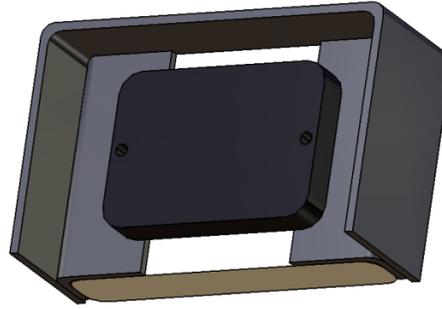


Figura 25: Conjunto Armadura + Tag + Aislante

El aislante utilizado es la misma manta térmica Kaowool anteriormente presentada, y la misma, junto con un par de arandelas aislantes de Nylon separan al tag del metal, lo protegen de la conducción directa del calor, mientras que las protecciones por encima y los costados absorben parte de la radiación proveniente del fondo de la cuchara y del acero líquido en el tundish cuando la cuchara se encuentra en esa posición, haciéndole sombra al tag.

Un cálculo simple nos puede indicar la temperatura aproximada a la que se encontrará el tag con ese espesor de aislante. Se realizó un modelo unidimensional de resistencias térmicas, sólo considerando conducción y convección. Se asume una fuente infinita de calor en la pata de la cuchara, y un flujo de calor que se puede ver representado por las flechas color naranja en la Figura 26. El calor conducido ( $Q_k$ ) circulará por 3 zonas paralelas: por las dos alas de acero, luego en serie por las arandelas, y por el aislante. Luego el calor se conducirá a través del tag, para luego ser convectado ( $Q_c$ ) hacia el ambiente. A su vez se asume que el modelo se encuentra en equilibrio térmico, por lo que todo el calor que ingresa es igual al que sale, es decir que el modelo responde a la ecuación  $\Delta Q = 0$ , o que  $Q_{1-\infty} = Q_{1-2}$ .

Por último, se analiza el punto medio del conjunto por lo que se desprecian fugas de calor por las zonas de aislante no cubiertas por el tag, y se desprecia la convección que pueda refrigerar las alas de la protección, tomando refrigeración sólo en el tag en sí, procurando ser conservadores. Se decidió no analizar la radiación que absorbe el tag desde las alas protectoras porque excede el objetivo de este análisis. En la Figura 27 se pueden apreciar un esquema del modelo y en la Figura 28 el circuito térmico.

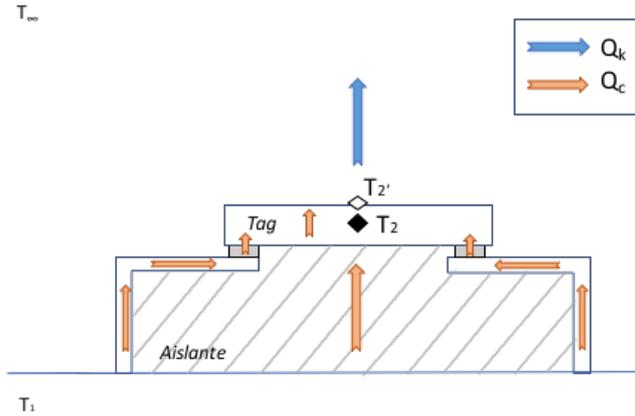


Figura 26: Flujo de calor en el modelo

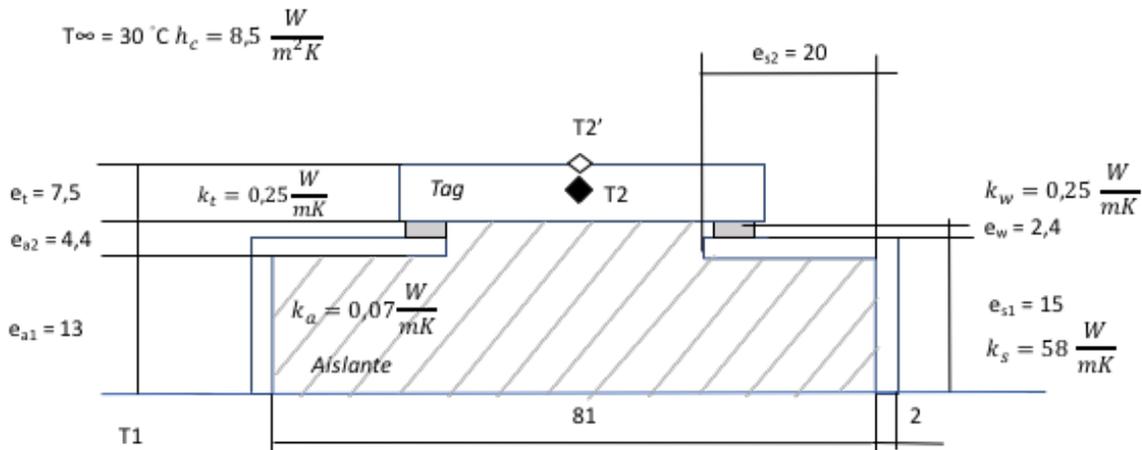


Figura 27: Esquema de modelo térmico con medidas

Se asume que la temperatura ambiente es de 30°C, (existen numerosos ventiladores en funcionamiento en la acería en verano que refrigeran el ambiente) y que el coeficiente de convección es de  $8,5 \frac{W}{m^2K}$ , valor tomado de la literatura [13]. Los coeficientes de conducción fueron tomados de la hoja de características del aislante y del tag. La temperatura que interesa calcular es la del chip que se encuentra en el medio del tag ( $T_2$ ), sin embargo, también se calculó la temperatura de la superficie ( $T_2'$ ) que es lo que se puede medir en la práctica. Para la fuente de calor  $T_1$  se tomaron 3 distintas temperaturas: 145°C, 123°C y por último 115°C. Esto se hizo porque la temperatura de la pata varía con la operación de la misma, como se explicó anteriormente. El valor de 145°C es el valor máximo que se midió y se considera que será la mayor temperatura a la que estará expuesto el tag (valor al que llega luego de estar expuesto a toda una colada en la máquina de CC). El segundo valor tomado, de 123°C, es la temperatura de la pata cuando se encuentra en el horno, y la temperatura promedio a la que está expuesta durante el transitorio de calentamiento en la CC. Por último, el valor máximo medido en el brazo fue 115°C, que a su vez coincide con la temperatura de la pata en el resto de la operación.

El conjunto de ecuaciones fue el siguiente:

$$A_{s1} = \text{Área transversal del ala correspondiente a } e_{s1} = 2 \times 51^* \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = \text{Área transversal del ala correspondiente a } e_{s2} = 2 \times 20 \text{ mm}^2$$

$$A_t = A_c = \text{Área transversal del tag} = 51^* \times 36,3 \text{ mm}^2$$

$$A_{a1} = \text{Área transversal del aislante (espacio a llenar entre las alas, espesor } e_{a1}) = 81 \times 51^* \text{ mm}^2$$

$$A_{a2} = \text{Área transversal del aislante correspondiente al espesor } e_{a2} = 37 \times 51^* \text{ mm}^2$$

$$A_w = \text{Área del washer} = \pi \frac{(6^2 - 3^2)}{4}$$

(\*51 es la longitud transversal del conjunto, ver anexo 9).

$$R_s = \text{Resistencia del acero (steel)} = \sum R_{si} \quad R_t = \text{Resistencia del tag}$$

$$R_{si} = \frac{e_{si}}{A_{si} k_s} \quad i = 1,2$$

$$R_t = \frac{e_t}{2 A_t k_t}$$

$$R_w = \text{Resistencia de la arendela (washer)}$$

$$R_a = \text{Resistencia del aislante} = \sum R_{ai}$$

$$R_w = \frac{e_w}{A_w k_w}$$

$$R_{ai} = \frac{e_{ai}}{A_{ai} k_a} \quad i = 1,2$$

$$R_c = \text{Resistencia por convección}$$

$$R_c = \frac{1}{A_c k_h}$$

$$R_{Tot} = \frac{1}{\frac{2}{R_s + R_w} + \frac{1}{R_a}} + 2R_{t/2} + R_c$$

$$R_1 = \frac{1}{\frac{2}{R_s + R_w} + \frac{1}{R_a}} + R_{t/2} \quad ; \quad R_{1'} = \frac{1}{\frac{2}{R_s + R_w} + \frac{1}{R_a}} + 2R_{t/2}$$

$$Q_{1-\infty} = \frac{\Delta T_{1-\infty}}{R_{Tot}} \quad Q_{1-2} = \frac{\Delta T_{1-2}}{R_1}$$

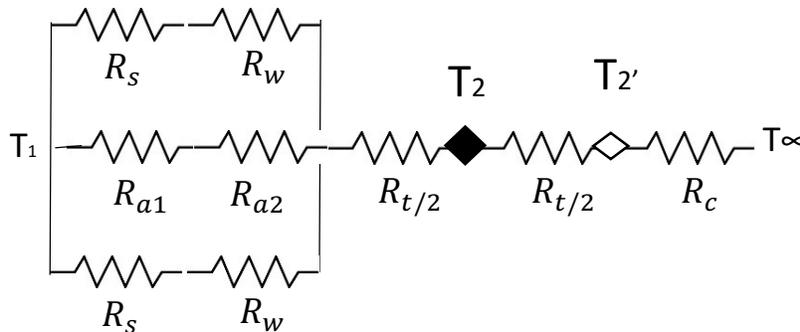


Figura 28: Circuito térmico

### Temperatura del chip

$$T_2 = T_1 - \frac{(T_1 - T_\infty) R_1}{R_{Tot}}$$

$$T_1 = 145 \text{ }^\circ\text{C} \text{ Temperatura máxima de } \mathbf{pata} \rightarrow T_2 = 81 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 123 \text{ }^\circ\text{C} \text{ Temperatura promedio de } \mathbf{pata} \rightarrow T_2 = 72 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 115 \text{ }^\circ\text{C} \text{ Temperatura de } \mathbf{brazo} \rightarrow T_2 = 68 \text{ }^\circ\text{C}$$

**Temperatura de la superficie**

$$T_{2'} = T_1 - \frac{(T_1 - T_{\infty})R_{1'}}{R_{Tot}}$$

$$T_1 = 145 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ Temperatura máxima de } \mathbf{pata} \rightarrow T_{2'} = 76 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 123 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ Temperatura promedio de } \mathbf{pata} \rightarrow T_{2'} = 67 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 115 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ Temperatura de } \mathbf{brazo} \rightarrow T_{2'} = 64 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Comparando estos resultados teóricos con los obtenidos en los ensayos descritos en la sección 4.3.2.1 se puede notar que la protección funcionará correctamente, manteniendo la temperatura del tag por debajo de la temperatura operativa en todo momento. El único caso en el cuál el resultado genera incertidumbre es aquel de 81°C, en el momento de temperatura máxima. Aunque el valor del modelo para el chip en ese caso es muy cercano al valor máximo permitido, esto no generaría un problema para la operación del sistema de rastreo llegado el caso que el valor real superase al teórico y exeda los 85°C máximos permitidos. Cuando la cuchara ingresa a la CC la temperatura de la pata es de 123°C, ya que la misma viene del LF, y en ese momento es cuando la antena capta el tag, (el cual, según el modelo, se encuentra a 72°C). Luego al retirarse de la estación, la cuchara es rotada para ser reemplazada por la próxima entrante (esto se explicará con mayor detalle en la Sección 5). Una vez allí, se la deja reposando un tiempo en la torre, antes de retirarla, por lo que la temperatura de la pata tuvo tiempo para descender, reduciendo la temperatura del tag a valores dentro del rango de emisión de señal,. Es decir, el momento en el que el tag llega a los 81°C no es un momento crítico para el sistema de rastreo, y no generaría inconvenientes que la antena dejase de captar señal durante el tiempo que permanezca a esa temperatura.

Una forma de validar el modelo anterior fue calcular la temperatura superficial del tag en las condiciones vistas en la Figura 31, que aunque no son iguales a las del modelo utilizado para estos cálculos, se asemejan bastante. Tomando como temperatura inicial 104 grados, la temperatura de la superficie del tag resulta en 60 °C, igual al valor medido en la Figura 31.

Además de proteger el tag contra la temperatura el housing debe protegerlo de golpes y proyecciones. Dado que cubrir el tag con metal no es posible porque bloquearía la señal, se barajó la posibilidad de cubrirlo con algún plástico resistente a la temperatura, sin embargo se decidió dejarlo expuesto al ambiente para asegurar una refrigeración por convección. Pero al tener protecciones por arriba y por los costados, queda protegido de golpes, ya que el housing será quien golpee primero protegiendo al tag, y aunque no se lo protege de frente, se lo protege desde arriba y desde los costados.

**4.3.4 Montaje de Tag en cuchara**

El conjunto de protección, aislante y tag se coloca en la pata y en el brazo. La protección va soldada, el aislante a presión entre la protección y la pata/brazo y el tag atornillado a la protección separado por arandelas plásticas aislantes. La orientación del conjunto tanto en pata como en brazo se ve en las figuras 29 y 30 respectivamente:



Figura 29: Montaje de conjunto en pata

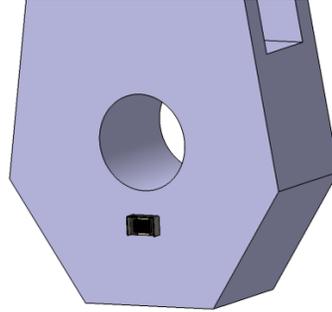


Figura 30: Montaje de Conjunto en brazo

En la pata el conjunto se coloca de la forma visible en la Figura 29 para dejar dos caras del tag libres, de esta forma dejando dos planos en los que se puede colocar la antena que levantará la señal. La misma puede tomarla de frente o de costado (izquierda). A su vez al colocarlo de esta manera, el mismo tiene una protección a la radiación del acero líquido en el tundish cuando la cuchara se encuentra colando y de la radiación del fondo de la misma.

En el brazo el tag se coloca según la Figura 30 para poder colocar la antena de frente a la altura del brazo o en el suelo, levemente inclinada tomando la señal desde la cara inferior del tag, en las estaciones en que la pata resulte inaccesible y se deba utilizar el tag del brazo.

#### 4.3.5 Pruebas operativas con tag Xerafy

Se instaló un tag de forma provisoria para evaluar su comportamiento. Dado que las protecciones de los tags no habían sido fabricadas a la hora de realizar las pruebas se decidió instalar uno de la manera explicada a continuación.

El tag, colocado en la cuchara 34, fue instalado sin protección alguna, pero se lo aisló del contacto directo con el metal mediante manta térmica y tela aislante de kevlar aluminizado. Se soldaron dos alas a la pata, a las cuales se le realizó un agujero para poder atornillar el tag. El conjunto se puede ver en la Figura 31. A pesar de no tener housing, y de tener un aislamiento pobre, la temperatura del mismo se mantuvo en un rango aceptable de valores, nunca superando los 80°C, y más importantemente, el tag sobrevivió a todos los ciclos de calentamiento, funcionando sin fallas durante dos campañas completas (90 coladas cada una). Cabe aclarar que el tag no falló luego de la segunda colada, pero la cuchara en la que estaba instalado tuvo que retirarse de circulación por necesidad de mantenimiento, por lo que no se pudo seguir probandolo.

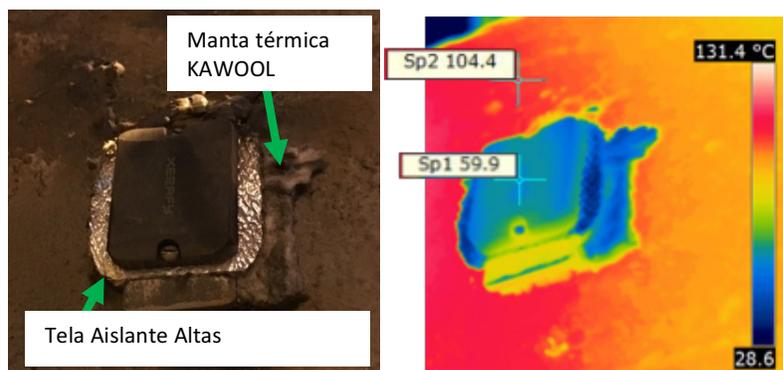


Figura 31: Conjunto de tag provisoria montado en cuchara 34 y termografía del mismo

## 5. Antenas y Lectores

Para el desarrollo del proyecto se utilizaron tanto antenas y lectores existentes en la planta como modelos nuevos que se compraron (durante la duración del contrato solo se compraron algunas antenas y lectores, pero se dejó proyectado comprar el resto antes de febrero de 2017, al momento de ser desvinculada de la empresa en Noviembre de 2016) específicamente para este propósito. Ambos modelos de lectores tienen la posibilidad de conectar cuatro antenas por lector, lo que disminuye la inversión ya que el lector es el equipo de mayor valor de todo el conjunto. Sin embargo son de proveedores diferentes lo que significa diferente configuración y distintos drivers para el procesamiento de la información. Los lectores nuevos son de marca Impinj modelo Speedway R420 y el antiguo es marca Symbol modelo XR400. El último fue instalado en el puesto de cromita junto con una antena Symbol High-Performance Area. Para el resto de las estaciones se utilizarán modelos nuevos tanto de lectores como de antenas (el modelo comprado de antenas es Laird circular polarity panel).

La conexión entre lector y antenas se hace mediante cables coaxiales, y la alimentación de los lectores es 220 V. A su vez los últimos deben estar conectados a la red mediante un cable UTP o de red y un switch correspondiente a la red global de la empresa, en el nivel correspondiente a la comunicación de equipos externos (nivel 2). El cableado es un limitante ya que tanto los coaxiales como el cable de red tienen un largo máximo permitido por norma, pasado ese valor la atenuación de la señal podría causar una lectura incorrecta. Esto se puede salvar utilizando cables de mayor calidad cuando mayores distancias son sumamente necesarias, pero se busca limitar esos casos, por lo que la elección del lugar donde posicionar las antenas y lectores es crítica.

### 5.1 Protección de antenas y lectores

Tanto las antenas como los lectores deben ser protegidos del ambiente, contra golpes, proyecciones, polvo, humedad, temperatura etcétera. Los lectores serán protegidos con gabinetes eléctricos estándar, cajas metálicas con apertura para pasar cables, los mismos deben ser montados tal que los puertos de Ethernet, USB, Console y GPIO estén mirando hacia abajo para evitar ingreso de polvo, como se puede ver en la Figura 32.

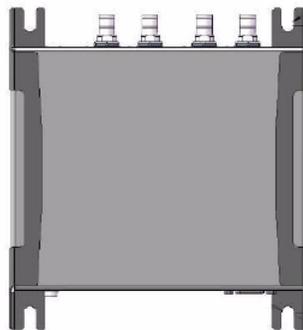


Figura 32: Sentido de montaje del lector. [14]

Las antenas por otro lado necesitan una protección especial ya que no pueden estar tapadas por metal porque interfiere con la señal. Además, están expuestas a mayores temperaturas que los lectores, los cuales pueden montarse más alejados de las cucharas calientes, y por lo tanto podrían llegar a necesitar refrigeración. Para esto se diseñó una caja metálica con una tapa de un material

refractario llamado Pyrotek, que se encuentra en stock en Siderca. Este material no interfiere con la señal, y a la vez lo protege de la temperatura. Para estar todavía más seguros de que la temperatura de la antena no supere los 70 °C que puede soportar, se diseñaron conexiones para refrigerarla desde la línea de aire comprimido en los casos que sea necesario. Todas las protecciones de las antenas los tendrán, aunque no todas estén conectadas a la línea, se hace por facilidad de fabricación y por futuras necesidades de refrigeración llegado el caso que se deban mover de lugar o que la situación de operación de la planta se modifique.



Figura 33: Conjunto antena + protección

## 5.2 Configuración Lectores

Para conectar los lectores a la red existen dos opciones, DHCP o IP estática. Los lectores vienen por default con DHCP, pero como la red de Tenaris no lo acepta se le debe asignar una dirección de IP estática a cada lector, que no le pertenezca a ningún otro equipo de la empresa. Para eso es necesario que se separen una cantidad de IPs igual a los lectores a instalar para evitar que algún otro equipo las ocupe. Para esto se debe conectar con un cable serie RS-232 directamente a la PC y a través de un programa de emulación de terminal asignarle al lector la IP correspondiente, junto con demás configuraciones que indican los manuales. El procedimiento es el mismo para ambos modelos, salvo que el modelo más nuevo no posee puerto serie, por lo que se necesita un cable especial RJ45 – pinout al puerto consola del lector.

## 5.3 Diseño de posición de antenas y lectores

### 5.3.1 Puesto de Cromita

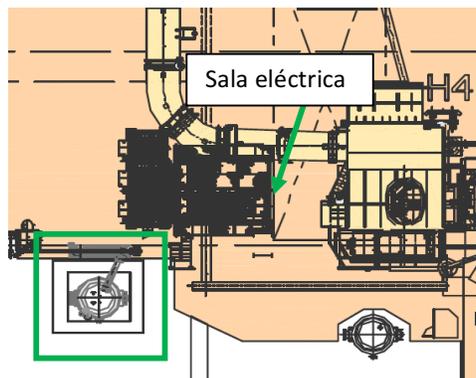


Figura 34: Ubicación de puesto de cromita en planta

En el puesto de cromita se instaló una antena y un lector que existían en la planta previo al comienzo del proyecto, pero que cayeron en desuso. Para la instalación se utilizó un gabinete eléctrico al cuál se le reemplazó una de las caras de metal por una de policarbonato, que no interfiere con las señales de radio frecuencia. Se instaló de modo tal que la antena quede a corta distancia de la pata de la cuchara y tome la señal desde ese tag, desde el lateral que queda expuesto (ver Figura 35). El lector se posicionó temporalmente, por facilidad, dentro del mismo gabinete que la antena, pero idealmente el mismo debería tener su propio gabinete, posicionado detrás de los soportes amarillos que se ven en la Figura 35. La tensión se toma desde el plancher del horno 4 que se encuentra en el nivel superior de la nave, inmediatamente por encima del puesto de cromita (en la Figura 34 se ve de color naranja). La red también se toma desde el nivel superior, en la sala eléctrica del horno, indicada en la Figura 34. El largo del cable de red es de aproximadamente 80 m, lo que se encuentra dentro de la norma EIA/TIA 568A.

Este puesto fue utilizado para poder realizarle un seguimiento a los tags instalados para las pruebas operativas, controlando el funcionamiento de los mismos a través de las señales levantadas por esta antena mediante una aplicación programada en Phindows.

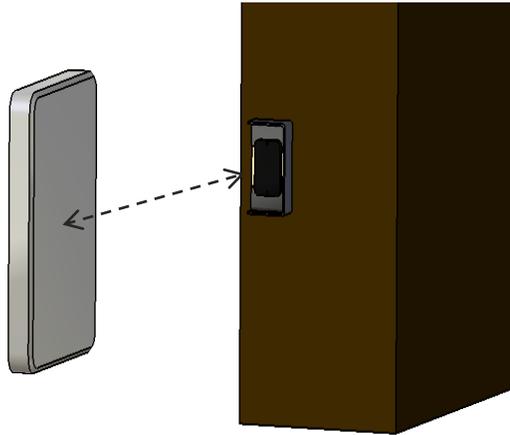


Figura 35: Configuración Antena + tag



Figura 36: Puesto de cromita

Es importante comentar la importancia de este puesto, ya que será en el cual se instalará en un futuro un medidor de espesores. Por esto, fue el primer lugar que se eligió para instalar la antena, ya que incluso teniendo solo esta antena instalada significa un potencial avance tecnológico para la acería.

### 5.3.2 Precalentadores

Los precalentadores son seis, divididos en dos grupos de tres, uno horizontal y dos verticales en cada grupo. Los grupos se encuentran separados por el camino que toma el *pot carrier* (el vehículo que transporta los recipientes con la escoria que se vacía de las cucharas cuando bajan de colar). Cada grupo estará alimentado por un lector que a su vez alimentará 3 antenas, una en cada precalentador. La disposición de las mismas se podrá ver en la siguiente sección.

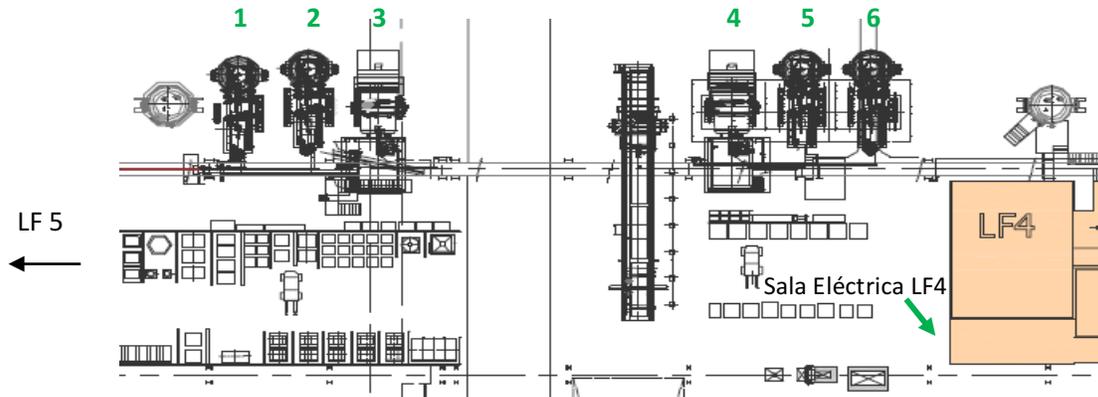


Figura 37: Numeración de precalentadores

### 5.3.2.1 Precalentadores verticales (1,2, 5 y 6)

Las cucharas se apoyan sobre dos soportes verticales similares a los del puesto de cromita, vistos en la Figura 38. Las cucharas se calientan a través del precalentador en sí, una columna con un brazo mecánico que tapa las cucharas y enciende una llama en la tapa para entregarles calor. La columna se encuentra a 2,5 m de la cuchara cuando la misma se encuentra en los soportes, protegida por una chapa, sobre la cual se montará la antena, como se ve en la Figura 38. La antena toma la señal desde el tag en la pata, que se encuentra delante directamente de la antena.



Figura 38: Disposición de antena en estación de precalentadores verticales

### 5.3.2.2 Precalentador horizontal 3

Como su nombre lo indica, en estos precalentadores la cuchara se coloca de forma horizontal, para la limpieza de la buza post colado. Para los horizontales no existe columna como en el caso de la sección anterior, sin embargo, la antena se colocará sobre la protección lateral de la columna 2, tomando la señal del tag colocado en la pata de la cuchara, que queda posicionada en frente de la antena cuando la misma se encuentra horizontal apoyada en los soportes.



Figura 39: Disposición de antena en estación de precalentador horizontal 3

#### 5.3.2.3 Precalentador horizontal 4

En el precalentador horizontal 4 la disposición es similar a la anterior, con la principal diferencia de que la protección lateral de la columna se encuentra del otro lado de la cuchara, por lo que no puede tomar la señal de la pata. Entonces lo hará desde el tag colocado en el brazo.



Figura 40: Disposición de antena en estación de precalentador horizontal 4

#### 5.3.2.4 Lectores en precalentadores

Los lectores se ubicarán por detrás de la chapa protectora de las columnas 2 y 5 respectivamente, dentro de un gabinete eléctrico. Se conectarán a las antenas montadas sobre la misma columna, a través del cable *pigtail* coaxial de la antena. A la antena en la otra columna (1 y 6) se conectará a través de un alargue coaxial que se pasará de forma subterránea desde el lector hacia la antena. La tensión la tomarán desde tableros eléctricos posicionados en cada columna, y la red desde la cabina eléctrica del LF 4, indicada en la Figura 37, para el grupo que se encuentra de su lado, y de la cabina eléctrica del LF 5 para el otro, esta se puede ver marcada en la Figura 43. Los cables de red también serán pasados subterráneamente, por racks eléctricos bajo tierra. Todas las tareas necesarias de instalación eléctrica son realizadas por el personal de mantenimiento de Siderca, mientras que las tareas de colocación de gabinetes se espera que sean realizadas por el personal de Ingeniería de Techint Ingeniería y construcciones presente en Siderca. Por último las tareas de red las realiza el personal de sistemas.

### 5.3.3 Hornos y LF

#### 5.3.3.1 Carros de Horno y LF 4

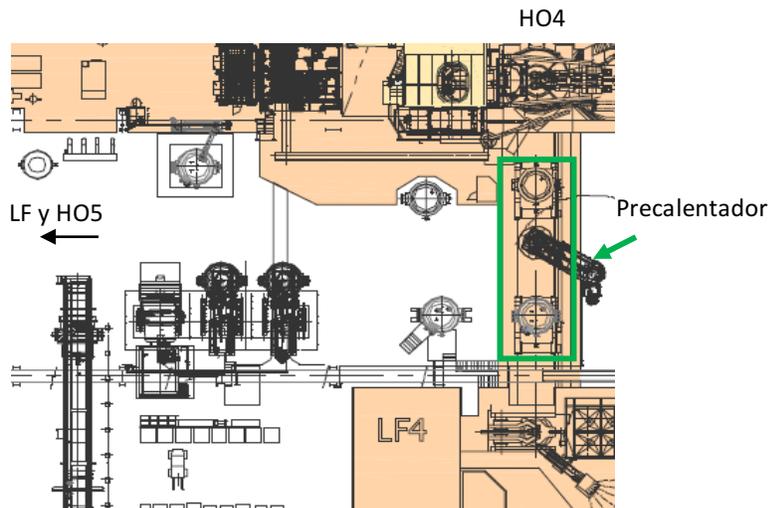


Figura 41: ubicación del carro de Horno y LF 4

Los carros del horno y LF son dos soportes colocados sobre una vía, en los cuales se coloca la cuchara, y se trasladan hacia abajo del horno para el sangrado o hacia adentro del LF para el afino respectivamente. El precalentador que se indica en la Figura 41 se utiliza para mantener la cuchara caliente durante los períodos de espera en el carro. La columna del precalentador se encuentra protegida por una chapa, de forma similar a lo que se vio en los precalentadores, y detrás de la misma se colocará el lector, que se conectará a las antenas. La del carro del horno montada sobre un brazo empotrado en la chapa protectora, y la del carro del LF instalada sobre una plataforma que se encuentra al lado de la columna precalentadora. Ambas antenas tomarán la señal desde el tag montado en el brazo derecho de la cuchara. Esta disposición se puede ver en la Figura 42.

EL lector tomará tanto la tensión como la red, desde la sala eléctrica del LF 4, que se puede ver indicada en la Figura 37. El cableado se hará de forma subterránea, de igual manera que para los precalentadores. El lector se conectará a las antenas a través de alargues coaxiales compatibles, ya que el largo de cable incorporado que traen las mismas es insuficiente.

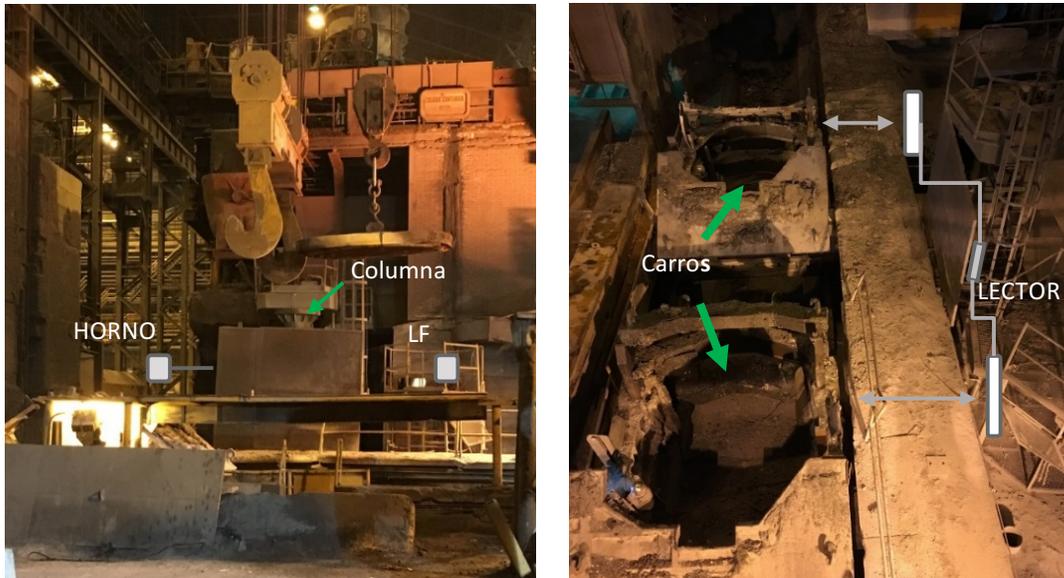


Figura 42: Disposición de antenas en los carros de horno y LF

### 5.3.3.2 Carros de horno y LF 5 y TR5

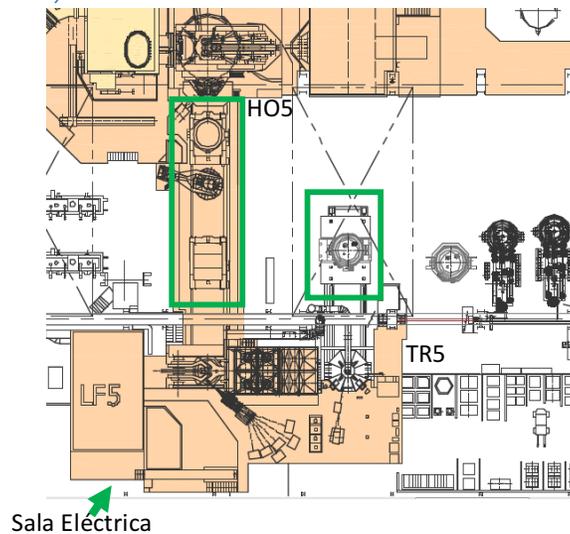


Figura 43: Ubicación del carro de Horno y LF5 y TR5

El carro del horno y LF 5 es el equivalente a lo visto en la sección anterior, pero del otro lado de la nave. La TR5 se ve indicada en la Figura 43, pero la antena irá en el carro de la misma, como se explicó en la sección 3.1, indicado por el rectángulo verde de la derecha en la imagen anterior. En este caso el precalentador con su protección se encuentra del otro lado de la cuchara, por lo que no sirve para ser la base de las antenas, ya que el tag está del lado opuesto. Por lo tanto, las antenas se colocarán montadas sobre columnas empotradas en la tierra, quedando a la altura del tag, tanto para el carro del horno como el del LF. Para la trimming se colocará la antena sobre una estructura que se encuentra a la derecha del carro, y que tomará la señal de la cuchara cuando la misma esté entrando/saliendo de la TR5.

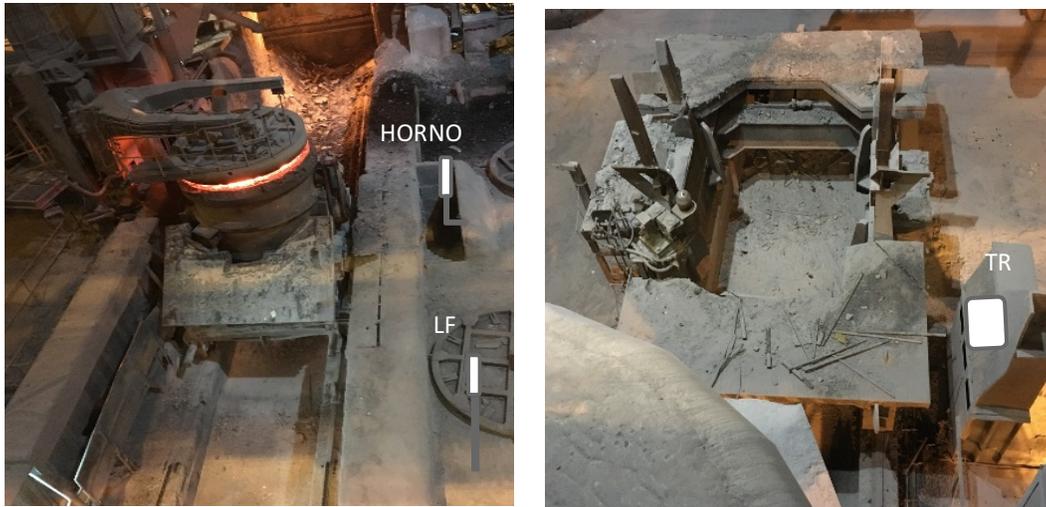


Figura 44: Disposición antenas en carro de horno y LF 5 y en trimming 5

El lector irá colocado dentro de una caja eléctrica posicionada donde finalizan los rieles del carro de la TR, de esta forma los cables coaxiales irán, por debajo de la tierra, desde el mismo hacia las tres antenas que alimenta. A su vez, también subterráneamente, tomará tensión y red de la sala eléctrica del LF5 indicada en la Figura 43.

#### 5.3.4 Torres de colada continua

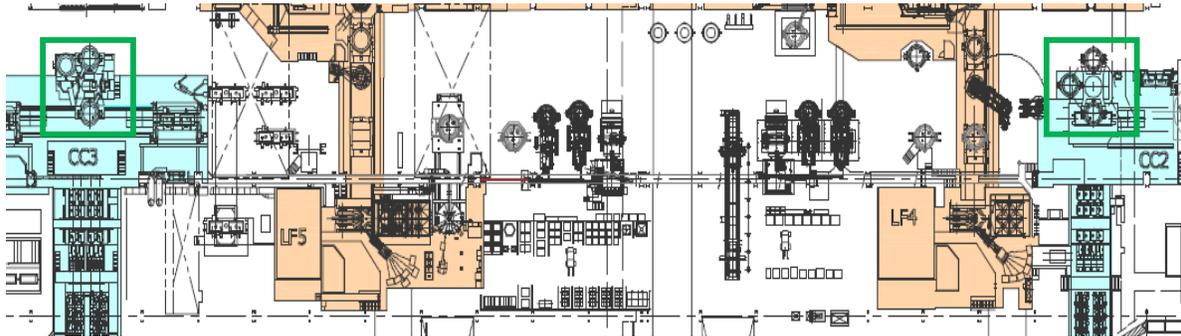


Figura 45: Ubicación de torres de colada continua

Ambas torres se encuentran en un nivel superior y consisten de dos soportes unidos a una columna que rota sin un sentido de giro definido, por lo que puede girar siempre para el mismo lado y dar tantas vueltas como haga falta. Como se ha mencionado anteriormente, la función de la torre giratoria es mantener al tundish constantemente con acero. Cuando una cuchara se está por vaciar, se coloca una llena de acero en el otro soporte, cuando la cuchara que está colando se vacía, la torre gira y se posiciona la nueva sobre el tundish y se la abre, de esta manera se garantiza una colada continua, efectivamente. El problema que presenta la rotación de la torre es que los equipos que se quieran colocar cerca de las cucharas están limitados por el radio de giro, es decir que deben estar tan lejos del centro de la torre como el radio de giro lo indique. Por lo tanto, se presentan dos opciones viables:

- Colocar las antenas en la pared de la cabina para la cuchara que se encuentra colando y a través de la nave, sobre el plancher de los hornos para las cucharas en espera. Esta

solución implicaría comprar 2 lectores adicionales, ya que no se podría cruzar el cable coaxial desde la máquina de colada continua hasta el plancher. Con esta opción el presupuesto aumentaría unos 6000 dólares.

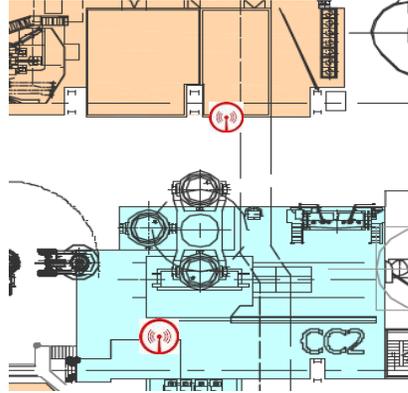


Figura 46: Disposición de las antenas en máquina CC – Opción 1

- La segunda opción es colocar las antenas sobre la torre giratoria y conectar la tensión en la unión rotante eléctrica que se encuentra en la misma. Las antenas deberán ser refrigeradas con aire pero el conjunto de protección lo permite, por lo que no sería un inconveniente. El modelo de unión rotante eléctrica existente es: Slipring type SK/GSK 80, que se puede ver en la Figura 47, la misma provee 3 posibles tensiones máximas, 125V, 380V y 500V, dado que el modelo comprado en Siderca es de 380 V, se necesitará comprar una fuente transformadora adecuada para el lector. En cuanto a la red, los lectores Impinij tienen la opción de ser conectados a un modem WiFi, así que la conexión se puede hacer a través de ese medio. Al usar esta opción se pueden usar el mismo lector para ambas antenas de la torre, pero sin embargo se debe agregar a la programación la lógica de que antena está colando y cual está esperando, ya que las antenas giran con la torre, por lo que ambas medirán en algunos casos cucharas en espera y cucharas colando. Dado que hay mucha información que se alimenta al sistema cuando la cuchara está colando de la mano de sensores, se puede programar una lógica que combine los datos provistos por el RFID y por los sensores de la torre para discernir que cuchara espera y cual se encuentra colando.



Figura 47: Unión Rotante eléctrica Slipring type SK/GSK 80

La decisión del uso de una u otra opción depende del presupuesto disponible a la hora de instalar esta posición, y queda como trabajo futuro por parte de la organización. Sin embargo, se recomienda elegir la primera opción, de antenas por fuera de la torre rotante, que aunque aumente el presupuesto de inversión se considera mucho más factible, más fácil de mantener y no necesitaría refrigerar las antenas ya que se encuentran a una distancia considerable de la cuchara por lo que estarían a temperatura ambiente.

#### 5.3.5 Trimming 4

Esta estación presenta una serie de problemas que dificulta la instalación de un sistema RFID. En primer lugar, al ser la estación de trasvases todos sus alrededores quedan expuestos a proyecciones de acero líquido en gran cantidad, haciendo que la protección de las antenas deba ser mucho más resistente que las diseñadas para el resto del proyecto, teniendo en cuenta que debe soportar temperaturas superiores a los 1500 °C en el caso de que el acero líquido llegue a hacer contacto con la misma. Por otro lado, colocar una antena en la estación se dificulta por las dimensiones de la misma, ya que la cuchara entra muy ajustada, como se puede ver en la Figura 48, y para colocar antenas que utilicen la señal emitida por los tags colocados en las posiciones definidas en la sección 4 las mismas quedarían expuestas a ser golpeadas por la misma cuchara en repetidas ocasiones, ya que el gruista suele golpear las paredes de esta estación de forma usual.

Esta estación no es priorizada por la organización para formar parte del sistema de tracking, ya que como ya se ha mencionado, se utiliza en casos extraordinarios, por lo que en el análisis de factibilidad en principio no se la contempló. Se dejan a continuación sugerencias de como solucionar el rastreo de esta estación si se decidiera incluirla en un futuro. Se puede colocar una antena en el medio de la nave 4, lo suficientemente alejada de las proyecciones de acero durante el trasvase, pero obstruiría el paso tanto peatonal como vehicular. Otra posible opción es colocarla en la nave 4, cerca de la cuchara de forma que no obstruya el paso, en el suelo, para evitar ser golpeada por la cuchara y con una protección acorde a los riesgos a los que esté expuesta.



Figura 48: Estación de Trimming 4

De todas maneras, queda como trabajo a futuro por parte de la organización decidir cómo proceder con esta estación.

### 5.3.6 Resumen de Lectores y Antenas

A continuación se muestran tablas que resumen lo explicado en las secciones anteriores. La Tabla 7 resume las posiciones de los lectores y antenas con sus respectivas tomas de corriente y tensión de las posiciones donde ya fue tomada una decisión de como proceder, y la Tabla 8 muestra un resumen de las dos opciones posibles para las estaciones de colada continua.

ID Lector	Estación	Posición Física	Toma de tensión	Toma de red	Cantidad de Antenas
1	Puesto Cromita	Soportes porta cucharas	Plancher HO4	Sala Eléctrica HO4	1
2	Precalentadores 1, 2 y 3	Columna precal. 2	Sala Eléctrica LF5	Sala Eléctrica LF5	3
3	Precalentadores 4, 5 y 6	Columna Precal. 5	Sala Eléctrica LF4	Sala Eléctrica LF4	3
4	HO y LF 4	Columna Precal. Horno	Sala Eléctrica LF4	Sala Eléctrica LF4	2
5	HO, TR y LF 5	Nave 4 cerca de TR	Sala Eléctrica LF5	Sala Eléctrica LF5	3

Tabla 7: Resumen estaciones definidas

Opción	ID Lector	Estación	Posición Física	Toma de tensión	Toma de red	Cantidad de Antenas
1	6	CC2 - Carro de espera	Plancher HO4	Plancher HO4	Sala Eléctrica HO4	1
	7	CC2 - Cuchara colando	Pared de CC2	Sala Eléctrica CC2	Sala Eléctrica CC2	1
	8	CC3 - Carro de espera	Plancher HO5	Plancher HO5	Sala Eléctrica HO5	1
	9	CC3 - Cuchara colando	Pared de CC3	Sala Eléctrica CC3	Sala Eléctrica CC3	1
2	6	CC2	Torre CC2	Unión rotante eléctrica	WIFI	2
	7	CC3	Torre CC3	Unión rotante eléctrica	WIFI	2

Tabla 8: Resumen de opciones para estación Colada Continua

## 6. Instalación y puesta a punto

Toda la instalación de este sistema (con excepción del puesto de cromita que se encuentra instalado y funcionando) queda como responsabilidad de la organización Tenaris ya que debido a falta de presupuesto y tiempo no se llegó a realizar durante la duración del contrato de trabajo dentro del cual se realizó este proyecto. A continuación se presenta un diagrama de Gantt estimativo del trabajo que hace falta realizar al día 1 de Noviembre de 2016, fecha en la cual finalizó la práctica educativa en Siderca.

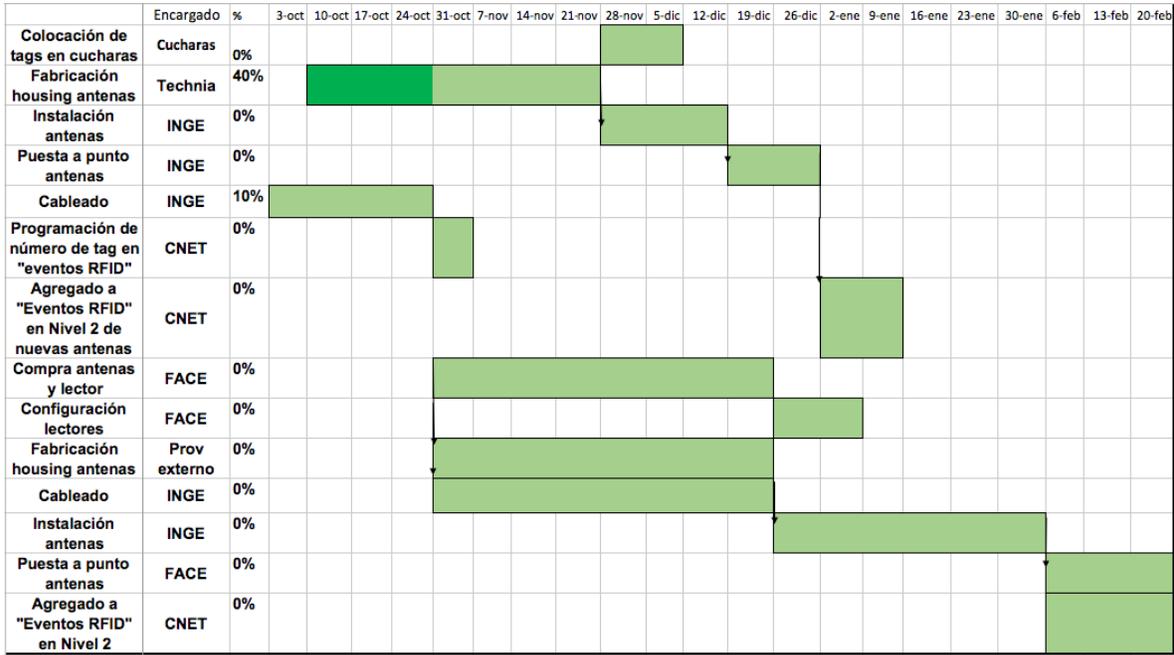


Figura 49: Diagrama de Gantt trabajo faltante

### 6.2 Puesta a punto

Una vez instaladas las antenas en las posiciones diagramadas en las secciones anteriores es imperativo realizar una puesta a punto, es decir ubicar las antenas y orientarlas de forma tal que las mismas capten el tag que les corresponde captar para esa estación. Es un trabajo que debe realizarse dentro de la planta, en situación normal de trabajo, una vez que las antenas estén instaladas tanto a la tensión como a la red.

## 7. Conclusiones

Frente a un problema específico de la acería de Siderca, -falta de información confiable sobre la posición en tiempo real de las cucharas- se plantearon posibles soluciones eligiendo aquella que mejor se adaptó a los requerimientos de la planta. A la hora de tomar la decisión, se consultó a los siguientes agentes involucrados: el jefe de cucharas, quien estará a cargo del seguimiento de este proyecto en el futuro, personal de mantenimiento, cuya opinión es muy valiosa dado que sin mantenimiento el sistema puede fallar y perder por completo su utilidad, y por último a personal del sector de mejora continua, quienes son aquellos encargados de conseguir el presupuesto y evaluar los proyectos en base a los beneficios que estos entregan. Se encontró luego de discutir con las personas mencionadas anteriormente, una renuencia hacia la utilización de cámaras, por los problemas que presentan en la actualidad, y la dificultad de mantenerlas. A su vez, se vio una buena disposición hacia las tecnologías RFID ya que es una tecnología usada en otros sectores de la planta con buenos resultados.

Se diseñó un sistema de rastreo utilizando la tecnología RFID, planteando tanto el lugar idóneo para la instalación de tags en el cuerpo de la cuchara, como la posición de las 16 antenas y los lectores correspondientes necesarios a lo largo de la fábrica, teniendo en cuenta las protecciones necesarias para los equipos frente a las condiciones de temperatura y suciedad de la acería. Al momento de comenzar el proyecto, se había planteado desde la gerencia, la preferencia de utilizar equipo existente en planta para otro sistema en el sector de materia prima. Por esto, se ensayaron tags que no estaban específicamente diseñados para altas temperaturas, y se concluyó que frente a la existencia de tecnología más moderna en la actualidad, era conveniente comprar tags que sísoportaran temperaturas mayores. Como parte de esta propuesta de cambiar de tag, se encontró una empresa (Telectronica) que pudiera proveer de ellos, y además de las antenas y lectores que se necesitarían. Se hicieron pruebas de campo y ensayos con los nuevos tags y se concluyó que los mismos eran adecuados para la aplicación que se les buscaba dar. Esta conclusión fue apoyada por los proveedores, los agentes involucrados desde planta y los ensayos de campo. Además de la elección del tag, se debió analizar la posición de antenas y lectores, y la forma de conexión de los mismos. Se dejó indicado en este documento la forma que se considera más optima para ubicarlos dentro de planta.

Teniendo en cuenta la crisis actual en la que se encuentra la empresa, se utilizaron la menor cantidad de recursos posibles para realizar pruebas operativas que demostraron la factibilidad del proyecto. Cabe aclarar que por la forma de operar normalmente en la acería de Tenaris, se priorizan pruebas en campo antes de ensayos de laboratorio, especialmente bajo una duración de contrato de tan solo 9 meses, donde el tiempo no fue suficiente para hacer todo lo que se hubiese deseado en un principio.

Para completar este proyecto queda como trabajo a futuro la decisión entre las opciones presentadas para las estaciones tanto de colada continua como de Trimming 4, y a su vez la instalación y puesta a punto de las antenas compradas, y de aquellas que hace falta comprar. Al momento de desvinculación con la empresa, se preveía tener el proyecto finalizado para la reparación extraordinaria siguiente, en el mes de Febrero de 2017.

## Bibliografía

- [1] *"Visión Artificial y Auto Identificación"*, Microscan System inc, Renton WA USA, 2014
- [2] W. Wolf, B. Ozer, T. LV, *"Smart Cameras as embedded systems"*, Princeton University, Sep 2002
- [3], A. Nehemiah, *"Computer vision made easy Webinar"*, Mathworks, USA, Mar 2014
- [4] *"Understanding the issues in Radio Frequency Identification (RFID)"*, Motorola, USA, 2007
- [5] *"RFID basics"*, White paper, Paxar, UK.
- [6] A. I. Romero, *"Steel Manufacturing"* TUIIC, Tenaris University, Campana BA, May 2016
- [7] *"RFID Technology primer"* [Online] Impinij website - <http://www.impinij.com/resources/about-rfid/> - Accedido en Sep 2016
- [8] *"On-line ladle and tundish thermal tracking"* - Steelmaking R&D Workshop, REDE-AR, Tenaris, Campana BA, Oct 2010
- [9] *"RFID Tag Fixation Guide"* White paper, HID global, Mar 2015
- [10] *"Conceptos Básicos de RFID: Conocimiento y uso de la identificación por radiofrecuencia WP"*, Intermec Arg, Feb 2007
- [11] *"Procedimiento para la reparación de cucharas-Principal Rev D"* – Acería Siderca, Tenaris, Campana BA, Ene 2012
- [12] M. Roberti *"About that problem with Metal and Water"*, RFID Journal, Aug 2007
- [13] F. Kreith, R. M. Manglik, M. S. Bohn, *"Principios de Transferencia de Calor"*, 7ma edición, 2012
- [14] *"Installation and Operations guide Speedway revolution"*, Impinij, Apr 11
- [15] *"Spirling column Alfo "*, catálogo, Cavotec, Oct 2007
- [16] EIA/TIA 568A, 2001

## Anexo

### A1 Data Sheets

#### A1.1 Manta Térmica



**Producto : MANTA KAOWOOL ZR 1400** **INFORMACION TECNICA**

**DESCRIPCION**

- Disponibles, para entrega inmediata, en diferentes combinaciones de medidas y densidades.
- Baja conductividad térmica y energía térmica almacenada.
- Elevada resistencia a choques térmicos y ataques químicos.
- Buenas características acústicas y de protección contra-fuego.
- Alta flexibilidad, facilitando cortes e instalación.
- Alta refractoriedad.



La manta Kaowool 1400 es producida a partir de sílice y alúmina de alta pureza. Resultando fibras refractarias totalmente inorgánicas, densificadas y entrelazadas de forma de garantizar buena resistencia mecánica durante el manipuleo e instalación.

**PROPIEDADES FISICAS**

Color .....	Blanco
Densidad(kg/m <sup>3</sup> ).....	96-160
Espesor .....	6-51
Temperatura Máxima de Uso (°C).....	1300
Uso Límite .....	1400
Punto de Fusión (°C) .....	1816
Diámetro de las Fibras (μ,medio) .....	2,8
Largo de Fibras (cm,medio).....	10-25

**COMPOSICION QUIMICA TIPICA**

(% peso, después de quemado)

Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) .....	35
Sílice (SiO <sub>2</sub> ) .....	50
Zircon (ZrO <sub>2</sub> ) .....	15
Otros.....	trazos

Anexo 1: Data Sheet -Manta Térmica Kawool

A 1.2 Tags

A 1.2.1 Avery Dennison

## AD-222 RFID Inlays

RF Performance Features		Dry Inlay Specifications	
Optimized operating frequency	866-954 MHz (Global)	Antenna dimensions [mm]	3.74 in [94.9] x .310 in [7.9]
Mode of operation	Passive (battery free)	Standard pitch [mm]	0.625 in [15.9]
RF performance	Superior performance on RF-friendly case contents	Standard web widths [mm]	4.75 in [120] 3.875 in [96.4]
Protocol and Memory		Inlay substrate material and thickness [microns]	Heat-treated PET, 2 mils [51]
Protocol	Designed to comply with ISO/IEC 18000-6C and EPC Class 1 Gen 2. Option to utilize additional 32 bits of memory if lock & kill commands are not needed.	Total thickness over chip (typical) [microns]	11.5 mils [279]
EPC memory allocation	96 bits	Shelf life	2 years
		Quality assurance	100% read tested with out-of-tolerance inlay marked
Inlay Roll Format/Finishing		Pressure-Sensitive Inlay Specifications	
Un-wind direction		Die cut dimensions [mm]	3.89 in [96.8] x .44 in [11.2]
Core size [mm] with adaptor insert	6 in [152.4]	Standard pitch [mm]	0.625 in [15.9]
Maximum roll outer diameter (not to exceed) [mm]	16 in [406]	Standard web width [mm]	4.125 in [104.8]
Average number of units per roll	20,000	Inlay to liner adhesive	S490 (Fasson®)
		Liner material	40# SCK (Fasson®)
		Total thickness over chip (typical) [microns]	14 mils [356]
		Shelf life	1 year
		Quality assurance	100% edit and replace
Environmental Specifications		<b>Real-World™ RFID</b>	
Operating temperature	-40° F to +149° F -40° C to +65° C	<p>What does Real-World RFID mean to you? RF performance? Ease of adoption? Tag availability and affordability? Global functionality? At Avery Dennison RFID, we realize that in the real world, RFID means different things to different people. That's why we design, test and produce the broadest portfolio of EPC Gen 2 inlays in the industry... why we've invested heavily in applications engineering and testing at our Atlanta Technical Center... why we've developed the industry's fastest, most scalable inlay manufacturing process... and why we partner with the smartest suppliers, converters, systems integrators and end users in the business... all to make RFID real in your world.</p>	
Storage temperature	-40° F to +185° F -40° C to +85° C		
Humidity (recommended)	40% to 80% RH		

Anexo 2: Data Sheet Tag Avery Dennison

## A 1.2.2 Xerafy

Micro<sup>X</sup> II**Functional Specifications**

RF air protocol	EPC Class 1 Gen 2; ISO18000-6C
Operating frequency	UHF 902-928 MHz (US); 866-868 MHz (EU)
IC type	Alien Higgs-3
Memory configuration	96-bit EPC ; 512-bit user memory; 64-bit TID
Functionality	Read / write (user programmed)
Memory – expected read / write cycles	100,000 cycles at 77°F (25°C)
Data retention	Up to 50 years <sup>1</sup>
Read rate	400 tags per second for 96-EPC bit number
Warranty (limited)	1 year

**Performance Characteristics**

Read range on metal (2W ERP) <sup>2</sup>	Up to 33 ft (10 m)
Polarization	Linear

**Physical Specifications**

Material	Engineering-grade nylon polymer
Mounting system	Rivet hole, ø 0.12 in (3.2 mm); adhesive (optional)
Color	Charcoal

**Environmental and Industry Compliance**

RoHS	EU Directive 2011/65/EU
ATEX	ATEX Compliant

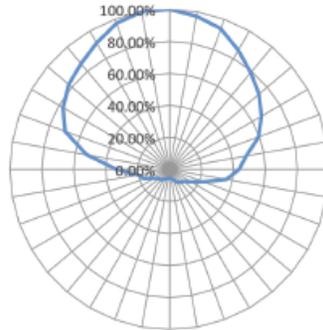


<sup>1</sup> The chip data retention is based on chip operating under general environment conditions.

<sup>2</sup> Actual read range may vary based upon use case and antenna power.

## XERAFY®

### Radiation Pattern

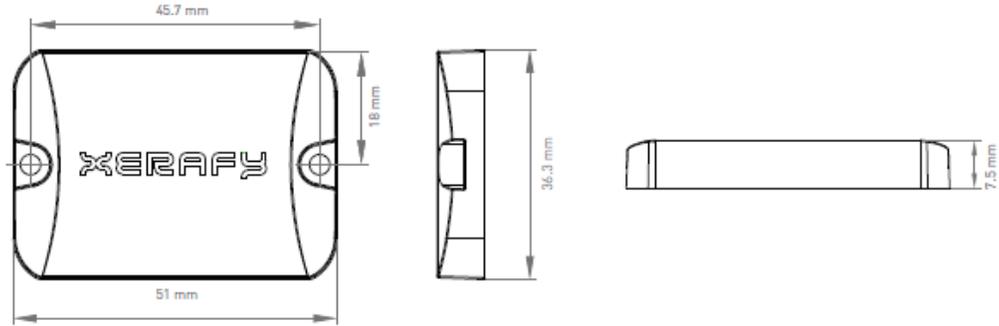


### Operational and Environmental Specifications

<b>Operational temperature</b>	
Cold	-40°F (-40°C)
Dry heat (Long term, days/weeks/years)	+185°F (+85°C)
Thermal shock	-40°F to +185°F (-40°C to +85°C); cycled
<b>Application temperature</b>	
Cold	-40°F (-40°C)
Dry heat (Short term, minutes/hours)	+482°F (+250°C)
<b>Humidity</b>	
Operational humidity	5%-95% non-condensing
Storage humidity	5%-95% non-condensing
<b>Chemical resistance</b>	
Isopropyl alcohol	48 hours
Industrial cleaner	48 hours
Epoxy resin coolant	48 hours
Industrial rust lubricant	48 hours
Acetone	48 hours
Salt water (15% salinity)	168 hours
Sodium Hydroxide (10% pH 13)	168 hours
Sulfuric acid (10%, pH 2)	168 hours
Engine oil	168 hours
Gasoline	48 hours
Diesel fuel	48 hours
Soap solution (30%)	48 hours
Carboxylic acids	Testing recommended
Shock (drop)	3 ft (1 m) to concrete/granite up to 200 cycles
Vibration	MIL-STD-810F
Compression strength	181 psi (1250 kPa)
IP classification	IP68



**Product Dimensions and Weight**



Dimensions (mm)	51 x 36.3 x 7.5
tolerance	+/- 0.5 mm
Dimensions (in)	2.01 x 1.43 x 0.30
tolerance	+/- 0.02 in
Rivet hole diameter	0.126 in +/-0.008 (3.2 mm +/- 0.2)
Weight	0.92 oz (26 g)

**Order information**

X1130-US100-H3	Micro XII US
X1130-EU100-H3	Micro XII EU

*Anexo 3: Data sheet tag Xerapy*

**A 1.3 Antenas**

*A 1.3.1 Antenas Symbol*

**RFID Antennas Specification Highlights**

**High-Performance Area Antenna**

**Physical Characteristics**

Dimensions:	28.3 in. L x 12.5 in. W x 1.5 in. D /71.7 cm L x 31.7 cm W x 3.8 cm D
Weight:	~8 pounds (~3.6 Kg)
Casing:	Aluminum with PVC plastic cover
Polarization:	Two circular polarized patch array

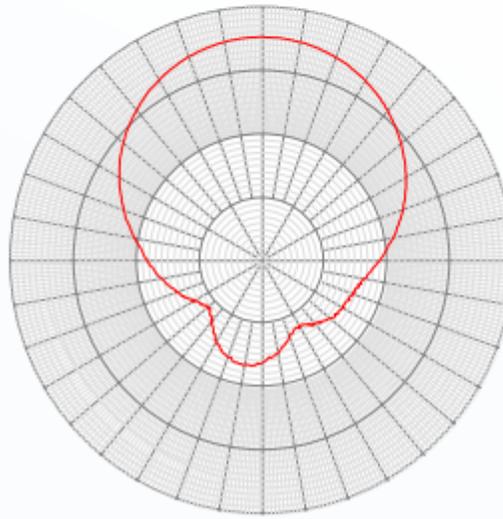
**User Environment**

Operating Temperature:	+32° to +122° F/0° to +50° C
Storage Temperature:	-4° to +158° F/-20° to +70° C
Connectors:	2 type "N" female connectors
Voltage Standing Wave Ratio (VSWR):	1.25
Isolation -db:	-37
3db Beam Width:	60°
Gain in dbd/Linear:	6.75

*Anexo 4: Data Sheet Antena Symbol*

A 1.3.2 Antenas Laird

SPECIFICATIONS	
Antenna Part Number	S9028PLC / S9028PCR
Frequency Range	902 - 928 MHz
Gain	9 dBic
Maxium VSWR	1.3:1
3 dB Beamwidth - Azimuth	70°
Front to Back Ratio	20 dB
Polarization	Circular Right or Left
Maxium Input Power	10 Watts
Input Impedence	50 Ohms
Axial Ratio	1dB Typical
Weight (Kg)	2.3 lbs (1.04)
Mechanical Size	10.2" x 10.2" x 1.32"
Antenna Connection	Coax Pigtail, Rev TNC Male (others available)
Radome	High Strength PC
Mount Style	Threaded Stud
Temperature Operational	-25°C to +70°C
Lightning Protection	DC Grounded
Environmental Rating	IP 54



915 MHz

Anexo 5: Data Sheet Antena Laird

## A 1.4 Lectores

## A 1.4.1 Lectores Symbol

**Specification Highlights****XR400****Physical Characteristics**

Dimensions:	8.75 in. L x 11.75 in. W x 2.0 in. H (approx. 22 cm x 30 cm x 5 cm)	
Weight:	4.85 lbs. (2.2 kilograms)	
Base Material:	Die-cast aluminum	
Visual Status Indicators:	LEDs for power (green), activity (yellow) and error (red)	

**Connectivity**

Network:	10/100 BaseT Ethernet	RJ45
External Interfaces:	Control I/O Port (12) USB Host Hardware RS232 Serial Console	DB15 USB DB9
RF Connectors:	Reverse TNC	
Read Points:	4 Read Points (4 transmit points, 4 receive points)	
Power Supply:	+24v DC @ 1.2 amps	

**Environmental**

Temperature:	IEC 60068-2-1/2/14 Operational: -4° to +122° F / -20° to +50° C @ 95% RH Storage: -4° to +158° F / -40° to +70° C @ 85% RH	
Humidity:	IEC 60068-30/56 5-95% non-condensing	
Vibration:	IEC 60068-2-6	

**Compliance**

Safety:	EM/RF Emissions	
Regulatory:	FCC Part 15C IC RSS210	

**Hardware/OS & F/W Mgmt.**

Memory:	Flash 64 MB; DRAM 64 MB	
Operating system:	WinCE (Version 4.2.0)	
Firmware upgrade:	Web-based and remote firmware upgrade capabilities	
Management Protocols:	SNMP support and future support for MSP	
Frequency:	UHF band, 902-928 MHz US	
Method:	Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)	
Power output:	4W EIRP	
Tag Protocol:	EPC Gen 1 (Class 0 Read-only, Class 0 Read/Write, Class 1) and EPC Gen 2	
Synchronization:	Network Time Protocol	
IP addressing:	Static and dynamic	
Host Interface Protocols:	XML and Byte Stream	

Warranty	The XR400 is warranted against defects in workmanship and materials for a period of one year (12 months) from date of shipment, provided the product remains unmodified and is operated under normal and proper conditions.	
----------	---	--

Anexo 6: Data Sheet lectores Symbol

## A 1.4.2 Lectores Speedway

Product Details	Speedway R420	Speedway R220																
Air Interface Protocol	GS1/EPCglobal UHF Gen2 (ISO 18000-6C) or RAIN RFID																	
Antenna Ports	4 expandable to 32 antennas with Speedway Antenna Hub optimized for Impinj reader antennas (RP TNC connector)	2 monostatic antenna ports optimized for Impinj reader antennas (RP TNC connector)																
Performance	Optimized for high volume, high concentration scenarios; supports high throughput modes including Max Throughput FMO, Hybrid (m=2), and Max Miller (m=4)	Covers a smaller, more specific area to save on deployment costs																
Supported Regions or Geographies	Go to <a href="http://www.impinj.com/supported_regions">www.impinj.com/supported_regions</a> for regions and geographies by model																	
Transmit Power	<ul style="list-style-type: none"> <li>+10.0 to +31.5 dBm (PoE) (EU1 limited to +30 dBm)</li> <li>+10.0 to +32.5 dBm (Listed/Certified power supply) (EU1 limited to +31.5 dBm, JP2 limited to 30 dBm)</li> </ul>																	
Max Receive Sensitivity	-84 dBm																	
Min Return Loss	10 dB																	
Application Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low Level Reader Protocol (LLRP): C, C++, Java, and C# libraries</li> <li>OctaneSDK: Java or C#</li> <li>On-reader Applications via Octane ETK: C, C++</li> </ul>																	
Network Connectivity	<ul style="list-style-type: none"> <li>10/100BASE-T auto-negotiate (full/half) with auto-sensing MDI/MDX for auto-crossover (RJ-45)</li> <li>802.1x with PEAP/TLS and MD5 support</li> <li>WPA for Wifi and Ethernet</li> <li>Speedway Connect (not included in Speedway purchase): HID (keyboard) emulation,</li> <li>TCP Socket, Serial/RS-232, HTTP POST</li> </ul>																	
IP Address Configuration	DHCP, Static, or Link Local Addressing (LLA) with Multicast DNS (mDNS)																	
Time Synchronization	Network Time Protocol (NTP)																	
Management Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impinj Web Management UI</li> <li>Impinj RShell Management Console using serial management console port, telnet, or SSH</li> <li>SNMP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FTP</li> <li>EPCglobal Reader Management v1.0.1</li> <li>Syslog</li> </ul>																
Reliable Firmware Upgrade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dual image partitions enable smooth transition to new firmware while the reader is still operating</li> <li>Scalable upgrade mechanism enables simultaneous scheduled upgrades of multiple readers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>USB Flash Drive</li> <li>Impinj Web Management UI</li> <li>SSH File Transfer Protocol (SFTP) support</li> </ul>																
Management Console	RS-232 using a standard Cisco-style management cable (DB-9 to RJ-45)																	
USB	<ul style="list-style-type: none"> <li>USB Device (Type B) and Host (Type A) ports</li> <li>USB Virtual COM Serial Port and USB drive support for embedded applications</li> </ul>																	
GPIO	4 inputs, optically isolated 3-30V; 4 outputs, optically isolated, 0-30V, non-isolated 5V, 100mA supply (DB-15)																	
Power Sources	<ul style="list-style-type: none"> <li>Power over Ethernet (PoE) IEEE 802.3af</li> <li>Listed/Certified power supply, marked LPS or Class 2, with 24Vdc output, rated minimum 2.5A</li> </ul>																	
Power Consumption	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Idle</th> <th>Typical</th> <th>LDC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PoE at +30 dBm</td> <td>3W</td> <td>11.5W</td> <td>6W</td> </tr> <tr> <td>Power Supply at +30 dBm</td> <td>3W</td> <td>13.5W</td> <td>6W</td> </tr> <tr> <td>Power Supply at +32.5 dBm*</td> <td>3W</td> <td>15W</td> <td>6W</td> </tr> </tbody> </table>		Idle	Typical	LDC	PoE at +30 dBm	3W	11.5W	6W	Power Supply at +30 dBm	3W	13.5W	6W	Power Supply at +32.5 dBm*	3W	15W	6W	*Maximum is 31.5 dBm for EU1 readers and 30dBm JP2 readers
	Idle	Typical	LDC															
PoE at +30 dBm	3W	11.5W	6W															
Power Supply at +30 dBm	3W	13.5W	6W															
Power Supply at +32.5 dBm*	3W	15W	6W															
Environmental Sealing	IEC IP52																	
Shock and Vibration	Mil-Std-810G Certified																	
Electrical Safety	UL Listed (US and Canada), EN 60950-1:2006 / A11:2009 / A1:2010 / A12:2011																	
Operating Temperature	-20 °C to +50 °C																	
Humidity	5% to 95%, non-condensing																	
Dimensions & Weight	7.5 in H x 6.9 in W x 1.2 in D (19 x 17.5 x 3 cm); 1.5 lbs (24.5 oz)																	
RoHS	Compliant to European Union directive 2011/65/EU																	
Warranty and Maintenance Options	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 year limited warranty with purchase, option to extend</li> <li>3 year Enhanced Maintenance upgrade available</li> </ul>																	

## Anexo 7: Data sheet lectores Speedway Revolution

A 1.5 Cables Coaxiales



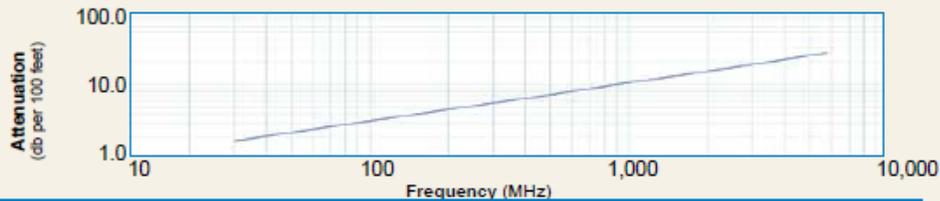
LMR-195

Mechanical Specifications			
Performance Property	Units	US	(metric)
Bend Radius: installation	in. (mm)	0.5	(12.7)
Bend Radius: repeated	in. (mm)	2.0	(50.8)
Bending Moment	ft-lb (N-m)	0.2	(0.27)
Weight	lb/ft (kg/m)	0.021	(0.03)
Tensile Strength	lb (kg)	40	(18.2)
Flat Plate Crush	lb/in. (kg/mm)	15	(0.27)

Electrical Specifications			
Performance Property	Units	US	(metric)
Velocity of Propagation	%	80	
Dielectric Constant	NA	1.58	
Time Delay	nS/ft (nS/m)	1.27	(4.17)
Impedance	ohms	50	
Capacitance	pF/ft (pF/m)	25.4	(83.3)
Inductance	uH/ft (uH/m)	0.064	(0.21)
Shielding Effectiveness	dB	>90	
DC Resistance			
Inner Conductor	ohms/1000ft (/km)	7.6	(24.9)
Outer Conductor	ohms/1000ft (/km)	4.9	(16.1)
Voltage Withstand	Volts DC	1000	
Jacket Spark	Volts RMS	3000	
Peak Power	kW	2.5	

Environmental Specifications		
Performance Property	°F	°C
Installation Temperature Range	-40/+185	-40/+85
Storage Temperature Range	-94/+185	-70/+85
Operating Temperature Range	-40/+185	-40/+85

Attenuation vs. Frequency (typical)



Frequency (MHz)	30	50	150	220	450	900	1500	1800	2000	2500	5800
Attenuation dB/100 ft	2.0	2.5	4.4	5.4	7.8	11.1	14.5	16.0	16.9	19.0	29.9
Attenuation dB/100 m	6.5	8.4	14.6	17.7	25.5	36.5	47.7	52.5	55.4	62.4	98.1
Avg. Power kW	0.89	0.68	0.39	0.32	0.22	0.16	0.12	0.11	0.10	0.09	0.06

Calculate Attenuation = (0.356859) \* FMHz + (0.000470) \* FMHz (Interactive calculator available at [http://www.timesmicrowave.com/cable\\_calculators](http://www.timesmicrowave.com/cable_calculators))  
 Attenuation: VSWR=1.0; Ambient = +25°C (77°F) Power: VSWR=1.0; Ambient = +40°C; Inner Conductor = 100°C (212°F);  
 Sea Level; dry air; atmospheric pressure; no solar loading

Connectors

Interface	Description	Part Number	Stock Code	VSWR**	Coupling Freq. (GHz)	Nut	Inner Contact Attach	Outer Contact Attach	Finish* Body /Pin	Length in (mm)	Width in (mm)	Weight lb (g)
1. N male	Straight Plug	TC-195-NMH-X	3190-2880	<1.25:1	(2.5)	Knurl	Solder	Crimp	S/G	1.5 (38.1)	0.75 (19.1)	0.073 (33.1)
2. N male	Right Angle	TC-195-NMH-RA-D	3190-2425	<1.35:1	(6)	Hex/Knurl	Solder	Crimp	A/G	1.3 (32.1)	1.19 (30.1)	0.083 (37.5)
3. SMA male	Straight Plug	TC-195-SM-SS-X	3190-2878	<1.25:1	(2.5)	Hex	Solder	Crimp	SS/G	1.0 (25.4)	0.32 (8.1)	0.015 (6.8)
4. TNC male	Straight Plug	TC-195-TM-X	3190-2879	<1.25:1	(2.5)	Knurl	Solder	Crimp	S/G	1.4 (35.6)	0.59 (15.0)	0.045 (20.4)

\* Finish metals: N=Nickel, S=Silver, G=Gold, SS=Stainless Steel, A=Alloy \*\*VSWR spec based on 3 foot cable with a connector pair



Install Tools

Type	Part Number	Stock Code	Description
Crimp Tool	CT-240/200/195/100	3190-667	Crimp tool for LMR-100, 195, 200 and 240 connectors
Cutting Tool	CCT-01	3190-1544	Cable end flush cut tool
Deburr Tool	DBT-U	3192-001	Removes center conductor rough edges
Strip Tool	CST-195/200	3192-102	Prep tool for LMR-195/200
Replacement Blade Kit	RB-CST	3192-086	Replacement blade kit for all CST cutting tools



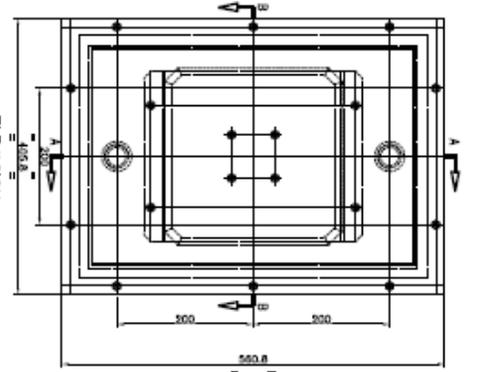
(800) TMS-COAX • www.timesmicrowave.com

11

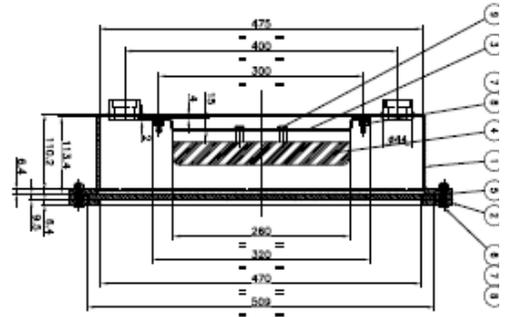
Anexo 8: Data Sheet Cable coaxial utilizado como alargue en la conexión de antena con lector.



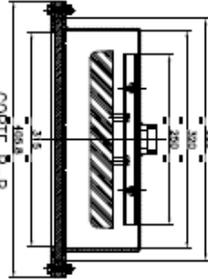
lano Housing Antenas



ELEVACION  
ESC: 1:4

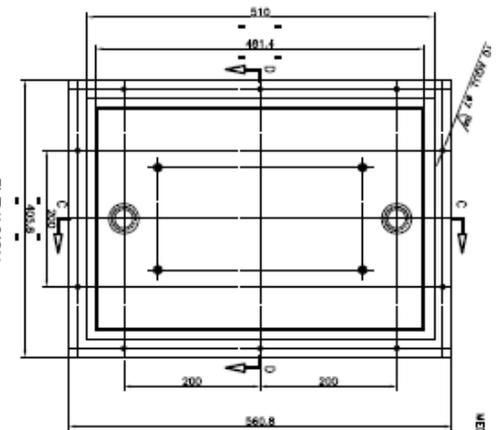


CORTE A-A  
ESC: 1:4

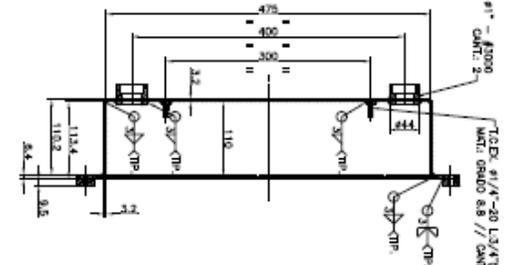


CORTE B-B  
ESC: 1:4

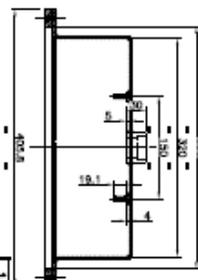
NO.	DESCRIPCION	CANT	MATERIAL	FECH	CONSTRUCCION
1	VAR. HERR. ANTEN. REQUERIDAS	1	VAR. HERR.	200	-



ELEVACION  
ESC: 1:4

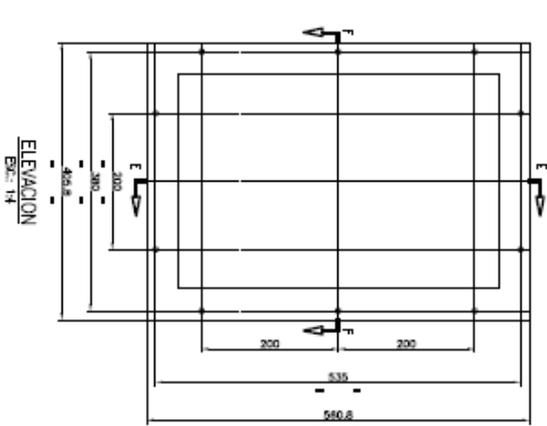


CORTE C-C  
ESC: 1:4

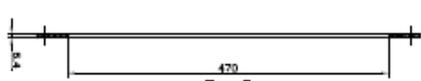


CORTE D-D  
ESC: 1:4

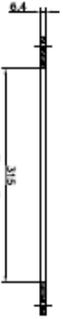
NO.	DESCRIPCION	CANT	MATERIAL	FECH	CONSTRUCCION
1	VAR. HERR. ANTEN. REQUERIDAS	1	VAR. HERR.	20	-



ELEVACION  
ESC: 1:4

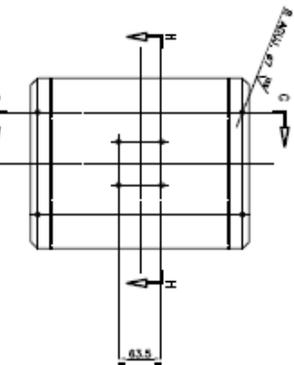


CORTE E-E  
ESC: 1:4

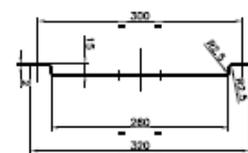


CORTE F-F  
ESC: 1:4

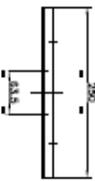
NO.	DESCRIPCION	CANT	MATERIAL	FECH	CONSTRUCCION
2	VAR. HERR. ANTEN. REQUERIDAS	1	VAR. HERR.	10	-



ELEVACION  
ESC: 1:4



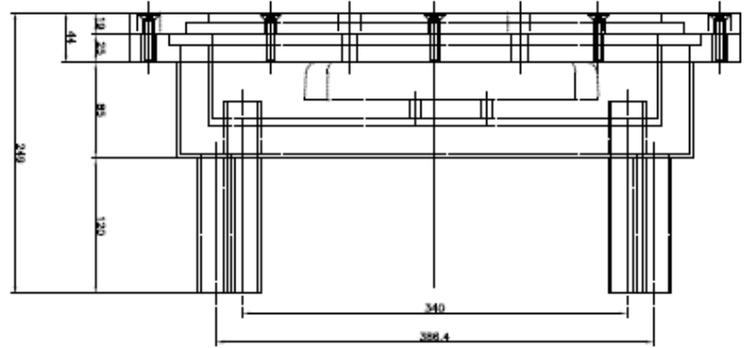
CORTE G-G  
ESC: 1:4



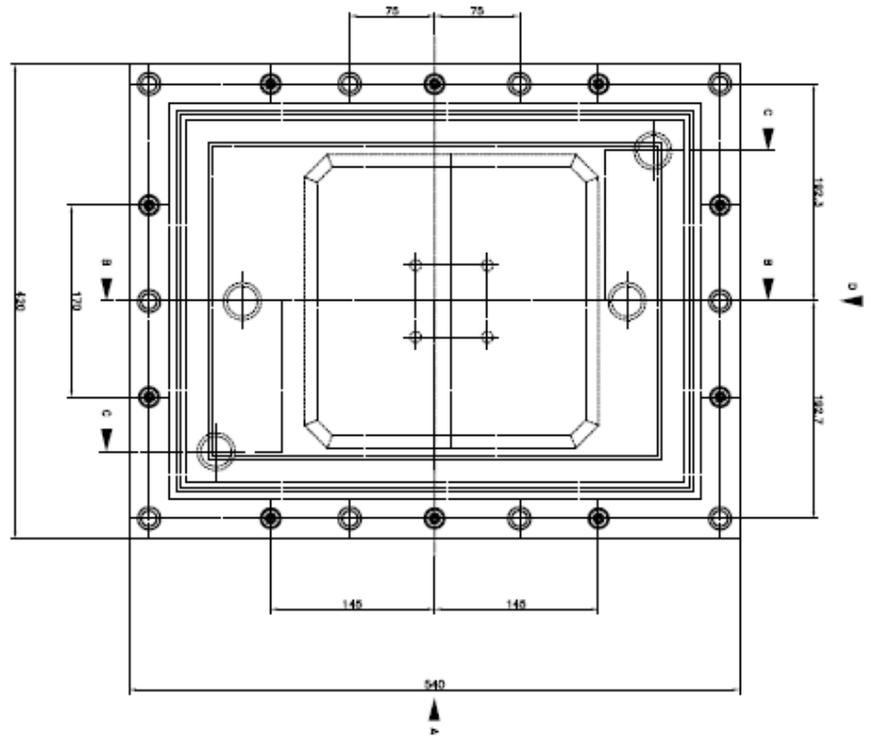
CORTE H-H  
ESC: 1:4

NO.	DESCRIPCION	CANT	MATERIAL	FECH	CONSTRUCCION
3	VAR. HERR. ANTEN. REQUERIDAS	1	VAR. HERR.	2	-

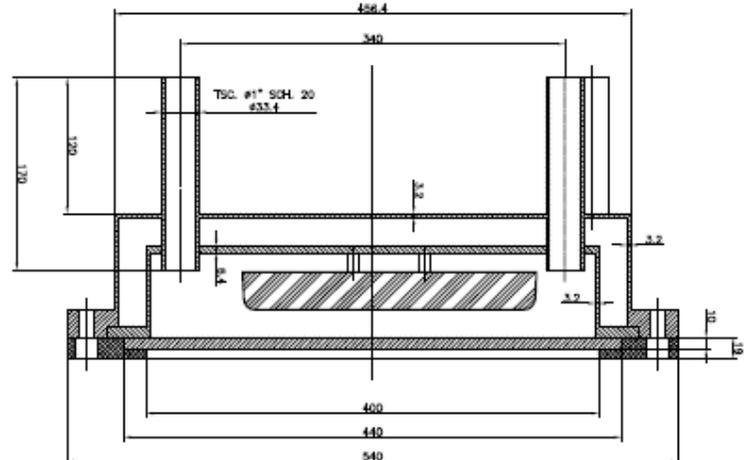
NO.	DESCRIPCION	CANT	MATERIAL	FECH	CONSTRUCCION
1	VAR. HERR. ANTEN. REQUERIDAS	1	VAR. HERR.	20	-



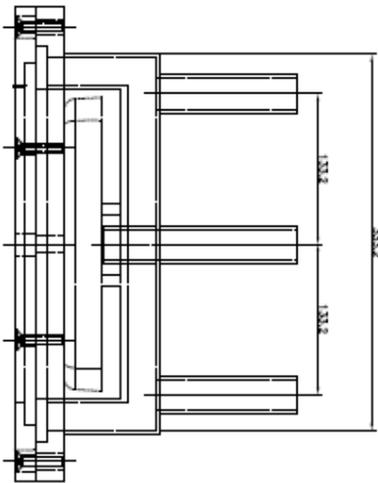
VISTA DESDE A



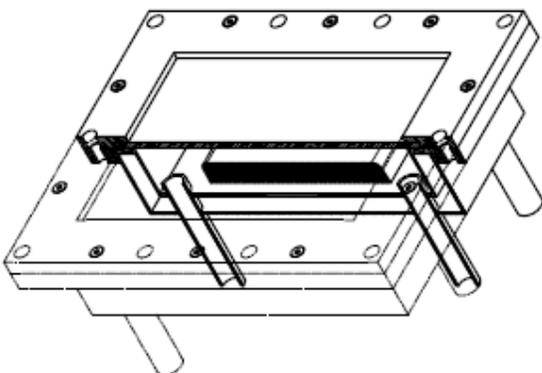
ELEVACION



CORTE B-B



VISTA DESDE D



AXONOMETRIA

2.3 Plano Cuchara

