

DISEÑO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE PALANQUILLAS EN LAS SECCIONES DE CARGA Y RECALENTAMIENTO DEL PROCESO DE LAMINACIÓN DE BARRAS DE SIDOR

Avilez, Eduardo¹

Zambrano, Alejandro¹

(Recibido Enero 2014 Aceptado Marzo 2014)

¹Departamento de Electrónica UNEXPO, Ciudad Guayana, Bolívar 8050 Venezuela.

Resumen: Se muestra el diseño de un sistema de seguimiento en las secciones de carga y recalentamiento de palanquillas del proceso de laminación de barras en la Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro”. Para el diseño del sistema fue necesario recopilar información sobre los sensores, actuadores y operación del proceso, además de verificar sus condiciones y estado de funcionamiento. El sistema de seguimiento consiste en el traslado de la información de cada una de las palanquillas en función de los eventos que ocurran dentro del proceso, definiendo una estructura de datos de tipo cola para las palanquillas dentro del horno y un modelo de lógica combinacional para las vías de rodillos en la zona de carga. El sistema de seguimiento fue desarrollado utilizando el software Schneider Electric Concept® y se realizaron simulaciones de las señales y eventos generados en la etapa de carga, recalentamiento y descarga de palanquillas del horno para validar el desempeño de la aplicación propuesta. Como resultado se diseñó de forma exitosa el sistema de seguimiento, incluyéndose además una propuesta de instalación de sensores para obtener la posición horizontal del extractor de palanquillas.

Palabras Clave: Seguimiento de piezas/ Sistema de control/ Controlador lógico programable/ Laminación de barras/ Horno de vigas galopantes/ Palanquillas.

DESIGN OF A BILLET TRACKING SYSTEM IN THE LOAD AND REHEATING SECTIONS OF THE BAR LAMINATION MILL AT SIDOR

Abstract: A design of a billet tracking system in the load and reheating sections of the bar lamination mill at Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro” is shown. The system design not only required gathering information about the sensors, actuators and the operation of the process, but it also required verifying its conditions and current functions. The tracking system involves the transfer of information from each billet according to the events occurring within the process, through a data structure representing the billets inside the furnace and a combinational logic model for the roller conveyors in the loading area. The tracking system was developed using the Schneider Electric Concept® software and simulations of the signals and events generated in the loading phase, reheating and the unloading of the billets to validate the performance of the proposed application were performed. As a result, the tracking system was successfully designed, including a proposal for a new sensors installation to get the horizontal position of the billet extractor.

Keywords: Tracking pieces, control system, programmable logic controller, bar lamination, walking beam furnace, billets.

I. INTRODUCCIÓN

La empresa Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro” (SIDOR), ubicada en la zona Matanzas del estado Bolívar en Venezuela, está encargada de la fabricación de productos semi elaborados (planchones, palanquillas y lingotes) y productos terminados tales como bandas en caliente, bandas en frío, laminas recubiertas, barras y alambrón [1].

Cada producto se encuentra relacionado a un proceso industrial que debe ser monitoreado y ejecutado a su máxima eficiencia a fin de obtener la mayor producción por unidad de tiempo, sin afectar los equipos. Sin embargo, existen procesos en los cuales se obvian o presumen ciertos detalles que pudiesen repercutir estadísticamente en los resultados finales de producción. Uno de los procesos afectados es el de laminación de barras, cuyo propósito es el de reducir la sección transversal de la palanquilla proveniente de la colada continua, para transformarla en barras de acero con resalte para el sector construcción.

El tren de laminación de barras de SIDOR, cuenta con un horno del tipo “Walking-Beam” u horno de vigas galopantes [2] y una zona de carga, que es el área donde se preparan las palanquillas para el ingreso al horno de recalentamiento. Una vez cargadas las palanquillas dentro del horno, las vigas galopantes trasladan las piezas desde la zona de carga del horno hasta la zona de descarga, específicamente sobre la zona de extracción. Una vez que la palanquilla ha cumplido su tiempo de tránsito es extraída del horno mediante el extractor de palanquillas y un sistema de rodillos que se ubica a la salida del horno. Actualmente el ritmo de laminación se asigna de manera manual a través de una de las pantallas de operación; por lo general, este proceso lo realizan con parejas de palanquillas, lo que representa un conflicto ya que actualmente no existe una forma de distinguir de manera física cuál es la palanquilla que se está cargando en el horno gracias a la naturaleza y condiciones del proceso como el control de temperaturas por el orden de los 1200 °C, el uso de maquinaria pesada con los riesgos inherentes y el tiempo de ejecución para trasladar, recalentar y laminar una pieza, que debe ser lo más bajo posible.

De acuerdo a las razones mencionadas anteriormente, que el análisis de eficiencia y la automatización de los equipos de procesos para lograr una mayor efectividad ha sido difícil de abordar en esta planta, por lo que se utilizan medidas estándar para representar valores de variables reales o condiciones tales como:

- Dimensiones de las palanquillas ingresando al horno (Estandarizado).
- Cantidad de palanquillas ingresando al horno (No controlado).
- Orden de entrada y salida de las palanquillas (No controlado).
- El tiempo de permanencia de las palanquillas en el horno (presumido).
- El tiempo de laminación (presumido).

Como consecuencia, se obtienen cálculos de productividad alejados de la realidad que alteran el resultado final en términos de calidad del producto y creando pérdidas para la planta como baja productividad, consumo adicional de energía eléctrica en los motores usados en los bastidores y gas natural en el horno de calentamiento por su tiempo ocioso. Siendo estos resultados inexactos, se ha realizado una variedad de estudios que demuestran que dicha aproximación no es la más adecuada [3], por lo tanto, es necesario realizar un análisis más profundos del proceso.

Esta situación genera un inconveniente que a gran escala representa pérdidas en productividad, pérdidas de materia prima por óxido y aumento en costos de mantenimiento. La solución es plantear un proyecto con el fin de evitar estimaciones poco precisas en el proceso de producción de barras, mejorando la adquisición de datos en el mismo, permitiendo un monitoreo y diagnóstico de la condición actual. En otras palabras, otorgar la capacidad de observación en forma virtual de lo ocurrido físicamente en el proceso, específicamente el traslado de palanquillas dentro de los grupos de la vía de rodillos y la entrada, estadia y salida de palanquillas del horno.

El “tracking” o seguimiento de piezas en un proceso industrial es una herramienta vital que le da al operador la ventaja de conocer el estado y

datos actuales de un material a través del proceso, pudiendo determinar en mejor forma características productivas del mismo. SIDOR ha implementado sistemas de seguimiento de piezas en la mayoría de las plantas que posee. Sin embargo, el “tracking” en hornos de vigas galopantes se ha aplicado sólo en el proceso de laminación en caliente [4]. En ese caso, el sistema de seguimiento se realiza de manera sectorizada: Hornos, Laminador IV Reversible, Laminador Tren Continuo, Sistema Laminar y Enrolladores.

El Laminador es un ambiente unidimensional, que permite modelar la posición exacta, en función de la conservación másica o dimensional, siendo la dimensión con mayor importancia (para el “tracking”) la longitud del material, pudiendo determinar cuándo va a llegar la punta y la cola del material en las distintas áreas que conforman el laminador. Esta posición será confirmada con ayuda de las señales de campo para determinar los porcentajes de reducción y cambios de espesor, señales de fotocélulas, detectores de metal caliente, pirómetros, velocidad de vía de rodillos, sentido de giro (avance / atrás), entre otros.

En la literatura se pueden encontrar referencias a diseños de sistemas automatizados para el seguimiento y optimización de las operaciones de carga y recalentamiento de palanquillas en trenes de laminación de barras. En [5], se trata la creciente demanda de aceros especiales, lo que ha impulsado una serie de proyectos que permitan eliminar los cuellos de botella de la productividad de laminadores de barras y alambrón. Uno de los puntos focales trata la automatización, y en este sentido los autores mejoraron la productividad en la planta JFE Steel. De todas las mejoras introducidas, parte de ese porcentaje de aumento en la productividad se debe a la incorporación de identificación y seguimiento, o tracking, en el patio de almacenamiento de palanquillas. En las referencias [6] y [7], se describen a detalle los principios y la implementación a nivel de ingeniería de sistemas de tracking de material, control de mínima tensión, control de lazo y control de velocidad en cascada para laminadores de barras y alambrón. El sistema de tracking en

este caso provee información precisa de la posición actual de la punta de la palanquilla y de la cola a lo largo del laminador, siendo el requisito básico para una secuencia automática precisa para los accionamientos principales y auxiliares, tales como cizallas y control de velocidad en cascada. En la literatura [8], se trata la importancia de la calidad de las palanquillas de acero como uno de los factores más determinantes que afectan la calidad final de las barras y el alambrón. En ese sentido, Nippon Steel presenta una serie de mejoras a nivel de automatización en varias de sus plantas, incluidas Muroran Works, Kamaishi Works y Kimitsu Works. En esta última planta, se muestra el diseño de un sistema de tracking de palanquillas, que esencialmente trata la incorporación de nuevas mediciones y equipos a la infraestructura del lugar, tales como marcaje automático con calcomanías y lectores automáticos de números, un sistema de control de almacenamiento en patio de palanquillas utilizando cámaras y un sistema de inspección de defectos de palanquillas. En todos estos casos se manifiesta una incorporación de nueva maquinaria y equipos a la plataforma de automatización existente, aumentando el costo de una implementación de este tipo. A diferencia de los trabajos citados, en SIDOR se propone un nuevo sistema de tracking de palanquillas que permita aprovechar al máximo los sistemas de control ya instalados en la planta de laminación de barras, y proponer la menor cantidad de equipos adicionales, con el objetivo de minimizar costos de implementación.

II. DESARROLLO

1. Etapa de diagnóstico

Esta primera etapa consiste en el análisis de la operación del proceso de laminación de productos largos de SIDOR. También, contempla detallar la arquitectura de trabajo, respuesta y funcionamiento de los equipos, sensores y actuadores presentes en el proceso para posteriormente proceder a diseñar un diagrama esquemático indicando la ubicación de los equipos, sensores y actuadores en las etapas de carga, recalentamiento y descarga de palanquillas.

SIDOR cuenta con un total de dos (2) laminadores de palanquillas: laminación de alambrcn y laminación de barras. Ambas plantas presentan similitud en la zona de entrada, calentamiento y salida de palanquillas. Sin embargo, este proyecto

de inversi3n est1 dirigido a la planta de laminaci3n de barras.

Como resultado del diagn3stico realizado a la planta, se obtuvo el siguiente diagrama del proceso mostrado en la Figura 1:

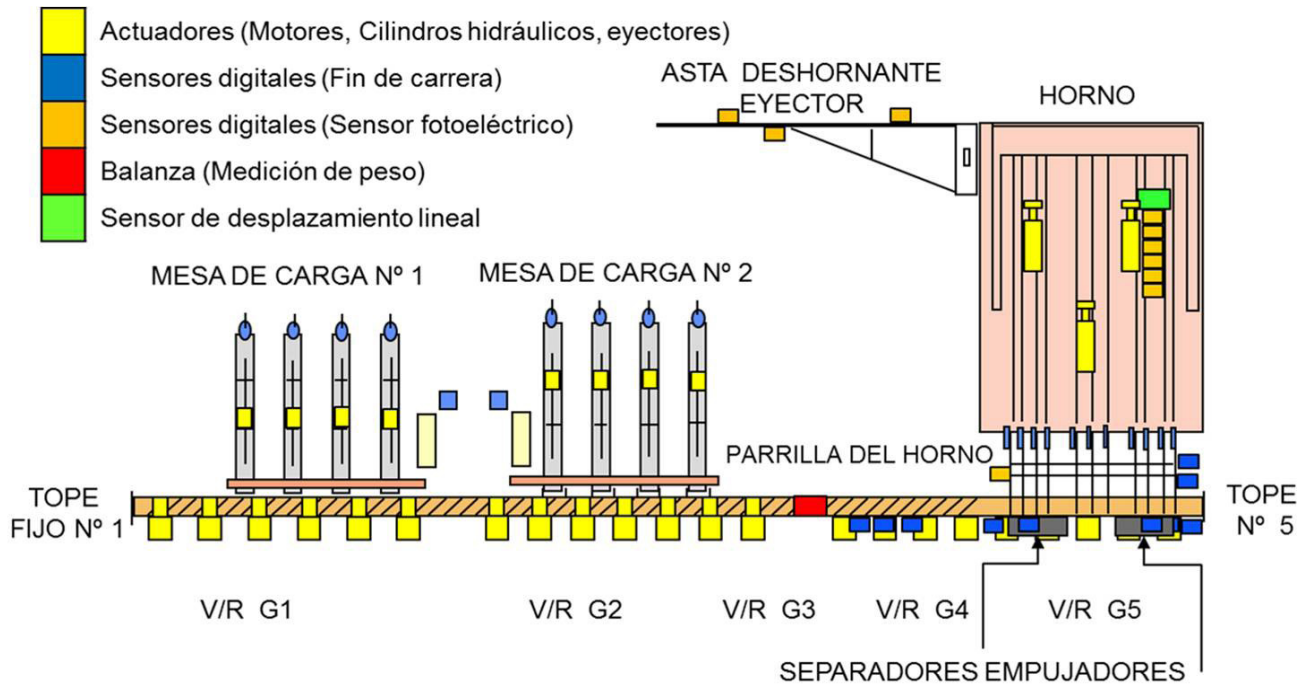


Figura 1. Diagrama esquemático de etapa del proceso a estudiar

El estudio se enfoc3 en la zona del problema, es decir, la entrada, calentamiento y salida de palanquillas del horno.

p3lpito de horno emite la orden de ingreso y las palanquillas entrar1n al horno iniciando su tiempo de calentamiento [9].

Las palanquillas son agrupadas en las mesas de carga 1 y 2 y se trasladan hacia la v1a de rodillos mediante brazos eyectores. La v1a de rodillos est1 dividida por dos tope fijos en los extremos y tres tope m3viles en cinco grupos, los grupos 1 y 2 est1n ubicados frente a las mesas de carga; los grupo 3 y 4 entre las mesas de carga y el horno y finalmente el grupo 5 frente al horno. El traslado de las palanquillas se realiza con rodillos accionados por motores de corriente continua y funcionamiento ON/OFF.

El movimiento del horno se realiza mediante dos estructuras empujadas por cilindros hidr1ulicos que permiten el movimiento hacia arriba o abajo y hacia adelante o atr1s [10].

Una vez recorrida la longitud del horno, las palanquillas llegan a una a la zona de descarga. Es all1 donde se acumulan tres palanquillas como m1ximo y el operador selecciona cu1l de las tres debe ser extra1da primero. Para la extracci3n se usa el eyector de palanquillas.

Al llegar al grupo 5, se activan los empujadores/separadores, los cuales trasladan las palanquillas hacia la entrada del horno. Luego, el operador del

En esta etapa del proceso existen sensores para verificar que sean cumplidas todas las acciones de operaci3n. Existe la presencia de los siguientes sensores: sensor digital de fin de carrera, modelo

3SE5122-0CH50; sensor digital fotoeléctrico con supresión de fondo modelo WT24, sensor analógico para medida del desplazamiento lineal modelo PT5MA, balanza electrónica y actuadores para traslado, tales como cilindros hidráulicos, neumáticos y motores de corriente continua.

2. Etapa de diseño

En esta segunda etapa se procede a identificar las variables obtenidas o eventos informados con los equipos disponibles en el proceso. Luego, a indicar las variables adicionales necesarias para realizar el seguimiento de las palanquillas y seleccionar

los sensores que serán usados para obtener tales variables adicionales. También se plantea el acondicionamiento para los nuevos sensores seleccionados en los casos que sea necesario y el desarrollo de la lógica usada por los controladores lógicos programables para la recepción, tratamiento de señales y envío de datos.

Se listaron las variables o acciones disponibles en los púlpitos de operación encargados de la zona de calentamiento con el fin de verificar si es posible realizar el sistema de seguimiento sin necesidad de implementar una nueva medida. Las variables son mostradas en la Tabla I [11].

Tabla I Variables obtenidas de los púlpitos 1 y 2

Etapa del proceso	Señal/Acción	Púlpito
Mesa de carga 1 y 2	Mover adelante/atrás (Carros ripeadores).	P1
	Indicación de falla.	
	Ambas mesas de carga bloqueadas.	
	Bloqueo individual de mesas.	
Vías de rodillos	Mover hacia adelante/atrás (Grupo 1, Grupo 2, Grupo 3, Grupo 4 o Grupo 5). De forma individual o grupal.	
	Subir/Bajar topes (Tope móvil 1, Tope móvil 2 y Tope móvil 3).	
Balanza	Medida del peso de palanquillas.	
Empujadores	Posiciones: arriba, Abajo, adelante y atrás.	
Conteo de palanquillas	Sensor B12	
	Sensor B21: Llegada a Grupo 4.	
	Sensor B22: Palanquilla larga 1.	
	Sensor B31: 950mm de la entrada del horno.	
	Sensor B32: Palanquilla delante de tope fijo/Frente a zona de descarga.	
	Sensor B41: Palanquilla lugar #1.	
Sensor B42: Palanquilla lugar #2.		
Horno	Indicación de carga/falla al horno	P2
Horno	Conteo de palanquillas a la salida del horno	
	Indicación de temperatura de material de salida (No hay palanquillas)	
Vigas móviles	Indicación de movimiento: Traslación: adelante y atrás. Elevación: arriba y abajo.	
Extractor de palanquillas	Movimiento adelante/atrás	

Una vez determinadas las variables existentes, se continúa con la determinación de variables adicionales necesarias para llevar a cabo el diseño del sistema de seguimiento. Existen dos zonas donde se complica la obtención de información debido a la falta de sensores. Estas son:

- En los grupos 1 y 2 de las vías de rodillos, ya que no se dispone de la cantidad de sensores suficientes para estimar la presencia de palanquillas. Sin embargo, es posible continuar el proyecto ya que estos dos grupos cumplen funciones de traslado principalmente.
- Extractor de palanquillas: al momento de extraer las palanquillas, el operador mediante un mando tipo palanca es capaz de seleccionar cualquiera de las tres palanquillas que se encuentran en la zona de descarga en ese momento, interviniendo directamente al sistema de seguimiento ya que se pueden intercambiar las identificaciones entre cualquiera de las palanquillas. Esto puede ser observado en la Figura 2.

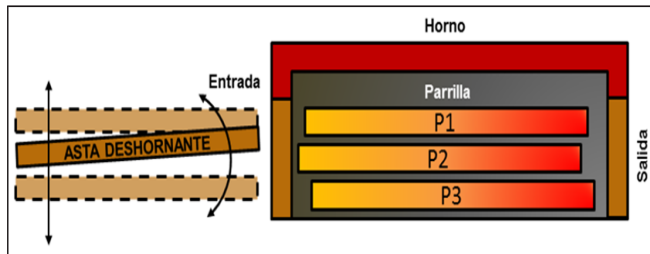


Figura. Posible posición del extractor de palanquillas para extraer palanquillas en la zona de descarga

2.1. Determinación de la posición utilizando sensor de desplazamiento lineal

Este método usa el sensor de desplazamiento lineal CELESCO PT5MA, conectándolo al actuador que permite el movimiento del extractor de palanquillas de izquierda a derecha. De esta forma se tendría una señal analógica de la posición del extractor de palanquillas de forma indirecta. En la Figura 3 se puede observar un diagrama de la propuesta.

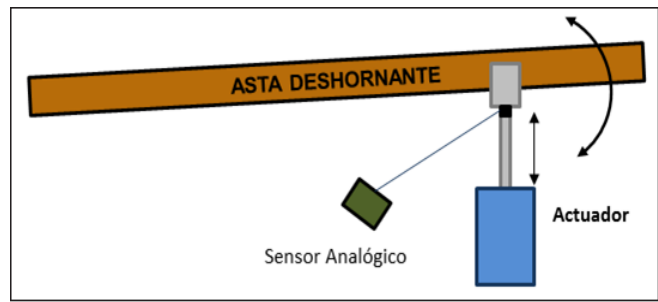


Figura 3. Propuesta de sensor analógico para el extractor de palanquillas

Su conexión será de 3 hilos: tensión de alimentación, en el hilo 1, salida de 4-20mA en el hilo 3 y tierra en el hilo 2 [12]. Y por último se propone realizar la conexión con el extremo del pistón actuador del extractor de palanquillas y luego, hacia alguna entrada analógica de alguno de los PLC disponibles.

Una vez instalado el sensor se debe tener el desplazamiento máximo. Esto se realiza tomando los valores del sensor estando el extractor de palanquillas en reposo, indicado en la Figura 4 como L_{min} , y luego tomando el valor del extremo, L_{max} .

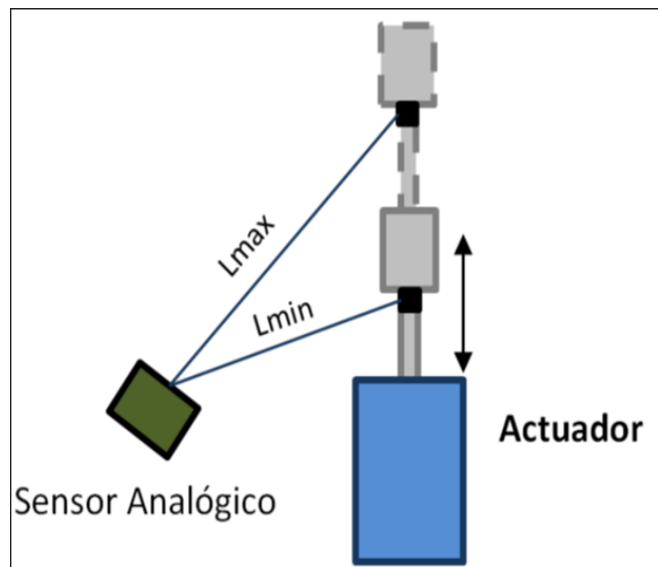


Figura 4. Longitudes necesarias para obtener desplazamiento del extractor de palanquillas

Después, se divide este rango en partes iguales. Obteniendo finalmente la siguiente identificación por zona:

Tabla II Rangos para identificación de palanquilla extraída de zona de descarga

Cantidad de palanquillas en zona de descarga	Palanquilla seleccionada	Rango
1	Palanquilla 1	Única palanquilla por extraer
2	Palanquilla 1	$[L_{min}; \frac{L_{max} - L_{min}}{3})$
	Palanquilla 2	$[\frac{L_{max} - L_{min}}{3}; L_{max} - L_{min}]$
3	Palanquilla 1	$[L_{min}; \frac{L_{max} - L_{min}}{3})$
	Palanquilla 2	$[\frac{L_{max} - L_{min}}{3}; 2 * \frac{L_{max} - L_{min}}{3})$
	Palanquilla 3	$[2 * \frac{L_{max} - L_{min}}{3}; L_{max} - L_{min})$

De esta forma, se obtendrá la palanquilla que está siendo extraída, con la ayuda de otras señales se ajustará el rango que debe tener el sistema.

Se asignará el valor 1, 2 ó 3 a la palanquilla que se extrajo en función de la condición que fue activada. También fueron evaluados algunos límites de seguridad para verificar el funcionamiento del sistema. Si existe una sola palanquilla al momento de activar el extractor de palanquillas, sólo se mandará la única ID (Identificación) disponible, pero si existen 2 o 3 se debe evaluar en el rango establecido en la tabla II.

Una vez obtenida la cantidad de señales necesarias para recopilar información de lo que ocurre dentro del proceso, se inicia el diseño del sistema de seguimiento. El “tracking” en barras se ideó inicialmente de forma secuencial, sin embargo, luego de evaluar las posibilidades que pueden ocurrir en cada evento en el laminador de barras, se optó por la programación combinacional.

Se estableció un sistema basado en identificaciones locales para cada palanquilla, o ID, las cuales

almacenarán los datos tomados en tiempo real dentro del proceso. Estos datos son: longitud, peso y sección transversal.

Los ID para las palanquillas serán creados a partir del grupo 3 de la vía de rodillos, ya que allí se encuentra ubicada la balanza electrónica que tomará la primera variable de interés, el peso. El sistema se encargará de intercambiar los ID entre cada grupo en función de las señales de transferencias. El nombre de las variables será IDGXN, con “IDG” para identificación de grupo, X el número del grupo de la vía de rodillos y N el número de palanquilla dentro del grupo. En tal caso se tendrán 12 variables en total para la vía de rodillos. Se trabajará el mismo tipo de variable usado en la planta de laminación en caliente, de tipo real.

2.2 Tracking en vía de rodillos

Para las secciones se debe indicar el momento en que se hace una transferencia de ID de un grupo a otro. En caso de la vía de rodillos se establecieron las siguientes transferencias:

2.2.1. Tracking de Grupo 3 a Grupo 4 de la vía de rodillos

Existen tres sensores disponibles en el grupo 3 de la vía de rodillos. Actualmente son usados para medir longitud. Este sistema no se encuentra terminado ya que serán instalados tres sensores adicionales al otro lado de la vía para realizar la medida del resto de las palanquillas.

Esta lógica funciona de la siguiente manera: Al pasar una palanquilla por el sensor SLong3 se inicia un pulso de 3 segundos y al mismo tiempo un bloque de conteo de tiempo. Se enciende el resto de los sensores, tomando el tiempo en que se activó cada uno de ellos (SLong1 y SLong2) y posteriormente se comparan las medidas.

Las condiciones para la habilitación de esta transición son las siguientes:

- El tiempo en que se activó Slong1 debe ser mayor que el tiempo de activación de Slong2.
- Se han mantenido los grupos 3 y 4 en adelante por un período de tiempo (VR4_ADok y VR3_ADok).
- Se ha activado el sensor B12 (Grupo 4, activo en bajo).

Sólo así se creará un pulso de 500 milisegundos que permitirá el cambio de contenido entre las variables IDG3 e IDG4.

2.2.2. “Tracking” de Grupo 4 a Grupo 5 de la vía de rodillos

Una vez estando en el grupo 4, se continúa con el recorrido hacia el grupo 5. Aquí se dispone de varios sensores. Se aplica el mismo principio del apartado 2.2.1. Cabe destacar que estos sensores son activados en nivel lógico bajo. Para el caso de retroceso, se activarían las transiciones G5aG4 y G4aG3 además de G3aG21. Las transiciones cumplen el mismo funcionamiento que las de avance, pero en este caso se cambia el orden y estado lógico de activación.

El “tracking” de Grupo 3 a Grupos 2 y 1 de la vía de rodillos sólo se toma en cuenta cuando la palanquilla realiza un recorrido en sentido inverso.

Es posible que se devuelva la palanquilla para ser extraída en el grupo 2. La transición funciona de forma inversa a la transición G3 a G4, en este caso se espera el apagado de los sensores encargados de la medida de longitud.

2.3. “Tracking” de zona de entrada

Para realizar el “tracking” en la zona de entrada, fue necesario obtener el largo de la misma con el fin de determinar la cantidad de palanquillas que caben en esa zona. Además del número de ciclos necesarios para que entre un nuevo grupo de palanquillas al horno.

Posteriormente se realizó la medida junto a operadores de la gerencia de barras, obteniendo un largo total de 300 centímetros y una cantidad de 12 palanquillas agrupadas en pares. Se evaluó el caso de grupos con 3 palanquillas como máxima capacidad, totalizando una cantidad de 20 palanquillas.

También es posible obtener la cantidad de ciclos necesarios para que cada grupo de palanquillas entre al horno y así generar la señal Palanquilla IN. En total, son necesarios 6 ciclos desde que el grupo de palanquillas ingresa a la zona de entrada para que entren al horno, esto es por recorrer 50 centímetros por ciclo de las vigas móviles.

Una vez revisado el comportamiento de la zona de entrada, se concluye que el sistema para representar la residencia en esta etapa del proceso es una estructura de datos denominada cola o FIFO (First In First Out), ya que el ingreso se realiza con la transición del Grupo 5 a la zona de entrada. Y la salida cada 6 ciclos de las vigas móviles.

En cuanto a la lógica usada dentro de la aplicación para el PLC, se generaron las señales que serán usadas en nivel dos:

- Ciclo avance: la cual es activada al momento de moverse las vigas galopantes desde atrás hacia adelante y luego bajar.
- Ciclo retro: esta lógica indicará cuando se devuelvan las vigas galopantes.

2.4. “Tracking” del horno

Dentro del horno, se ejecuta igualmente una cola actualizada en cada paso hacia adelante o atrás, pero su capacidad será de 77 registros ya que los últimas 3 son para la zona de descarga y como se puede extraer cualquiera de las tres palanquillas se mantiene de forma independiente.

En este punto interviene el Nivel 2 de automatización de la planta. Se establece de esta forma debido a que el PLC ahora se convierte en una herramienta usada para tomar los datos de los ID, registrar los eventos y notificar al mapa lógico del horno, es decir, las variables (ID) serán almacenadas en bases de datos en estructuras de Nivel 2.

Considerando estas condiciones, se decide declarar una cola que totalice las posiciones de la zona de entrada y el horno; almacenando todas las variables y cada vez que el PLC envíe la señal palanquilla IN (Que ocurrirá cada 6 ciclos hacia el horno) el grupo en la 6ta posición entra al horno.

Se establecieron 3 señales de notificaciones para este sistema:

- Actualiza cola (Nueva_palanQ): Esta señal será generada cuando se ingresen nuevas palanquillas a la zona de entrada y también cuando se avance un ciclo. Lo cual ocurre en el momento cuando los actuadores empujadores están hacia adelante después de confirmar existencia de palanquillas en el grupo G5 de la vía de rodillos.
- Palanquilla dentro del horno (PalanQIN): Indicará el momento en que un grupo de palanquillas ha entrado al horno, luego de ocurrir los 6 ciclos hacia delante de las vigas galopantes.
- Palanquilla fuera del horno (PalanQOUT): Con Esta señal se actualizará la cola del horno, las variables de la zona de descarga y el tiempo de calentamiento.

2.5. Transferencia de ID

En la aplicación existen dos formas de transferir los ID dependiendo de la zona; una transferencia se realiza en Nivel 1 (Vía de rodillos) y el resto se realiza en Nivel 2 con señales que enviará el PLC. Cada una de ellas será explicada:

2.5.1. Vía de rodillos y zona de entrada

Para realizar el cambio de la identificación de palanquillas se usa el bloque SELEC4, creado como estándar de SIDOR. Para cada grupo se asignó el posible valor que debe tener en función de la señal que sea activada.

Este bloque funciona como un selector de 4 entradas, pero no posee función de memoria; la misma tuvo que implementarse con el bloque SELECT a la salida de esta etapa. Además, se diseñó la lógica de activación; para cada variable se implementó un sumador de los posibles cambios que podrían presentarse. Por ejemplo, en el grupo 3, los cambios pueden ser: hacia G4 o hacia G2.

El sumador se agregó para indicarle al selector de memoria que envíe la nueva entrada mientras esté activa. Después que almacene su salida hasta cambiar nuevamente. Este cambio se retardó y amplió por 10 ms para hacer la selección del nuevo valor.

Adicionalmente se declararon variables auxiliares por cada una de las identificaciones. Debido al error de asignación que se puede presentar al momento de ocurrir una transición antes que otra, se asigna a estos auxiliares el valor del ID y las transiciones se realizan entre ellas.

Finalmente, la transferencia de ID en la vía de rodillos y a la zona de entrada se hace de la siguiente forma:

En este caso, se tienen 4 acciones posibles:

- Devolución de palanquilla al Grupo 2 y 1: se pierde la identificación.

- Avance de palanquilla: Se borra la identificación, se vacía Grupo 3.
- Devolución de palanquilla de Grupo 4, se asigna la ID anterior del Grupo 4.
- Error en transición: Se mantiene la identificación. De la misma forma se realiza la transferencia a cada ID de los grupos restantes.

2.5.2. Zona de entrada y Horno

Para este caso, el intercambio de ID ocurre en Nivel 2, así que se propondrá un diagrama de flujo para la activación de cualquiera de las señales asumiendo que se trabajarán en forma de interrupciones y que los ID con valor cero indican que no hay palanquilla.

Se definen las funciones para cada una de las tres interrupciones propuestas. El software que se diseñará en Nivel 2 corresponde al código del mapa lógico del horno. Las mismas no afectarán otras rutinas dentro del cuerpo del programa.

Para estas operaciones, se trabajaran con grupos fijos de 3 palanquillas. En el mapa lógico del horno, se presentará un tercer espacio sólo cuando exista una palanquilla adicional, sin embargo cuando no haya palanquilla en el primer o segundo espacio, este debe reflejarse en el sistema. Es por esto que se creará una función mostrar. Estos casos se muestran en la Figura 5.

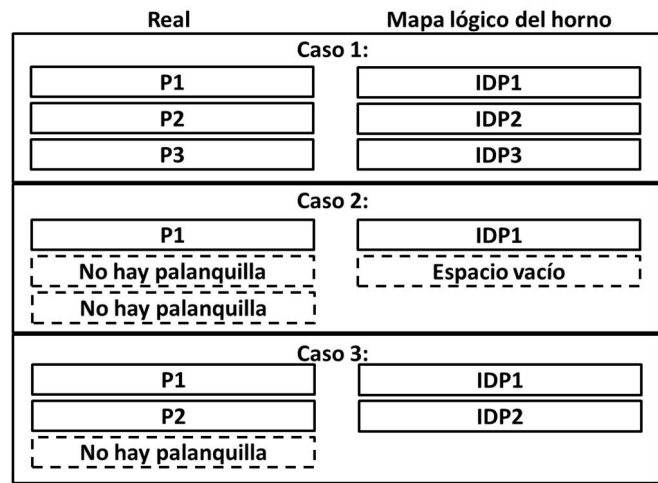


Figura 5. Representación de espacios vacíos en el mapa lógico del horno

Como se observa, en el caso 1, existen tres palanquillas, por lo tanto se cargan los 3 ID correspondientes. En el caso 2, se cargó 1 palanquilla, sin embargo, sólo se refleja un espacio vacío en el mapa lógico. Y finalmente, en el caso 3, se muestran dos palanquillas cargadas y sus respectivos ID, sin mostrar espacio vacío en la tercera. Con esto se quiere representar que la condición normal de operación es con dos palanquillas, así que no es necesario mostrar espacio vacío si falta la tercera.

La función que enviará los ID para el mapa lógico deberá trabajar de la forma indicada en la Figura 6.

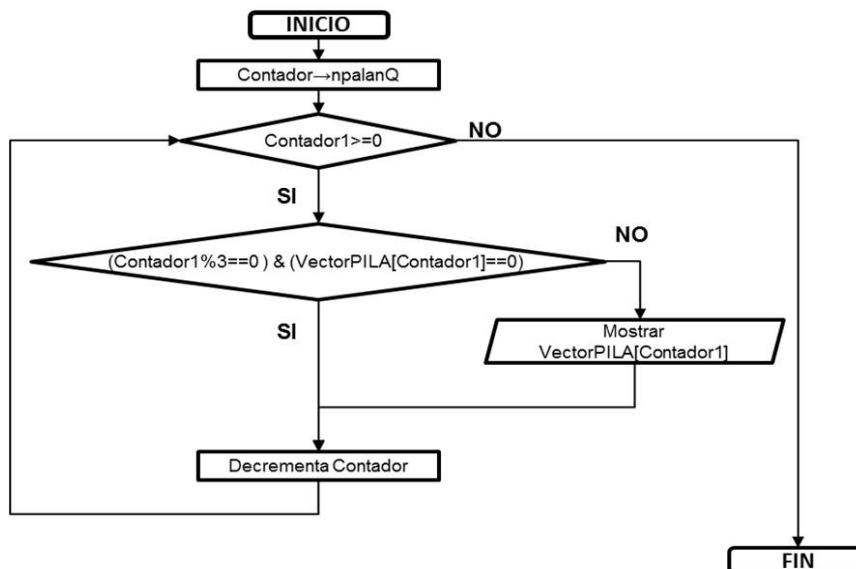


Figura 6. Diagrama de flujo para mostrar ID en Mapa lógico de horno

Con la variable npalanQ, la cual indicará el número de palanquillas cargadas a la zona de entrada con la ayuda de la transición de G5 a Zona de entrada desde el momento en que se inicia la aplicación.

Señal Nueva_PalanQ:

Al activarse la señal Nueva_PalanQ, ingresan los nuevos ID recibidos desde el grupo G5. Se trabajan en grupos de 3 ID por transferencia. Sin embargo, estos no son los ID mostrados en el mapa lógico del horno. También se actualiza el resto de la cola junto a las variables en la zona de descarga al momento de ocurrir un ciclo de avance de las vigas móviles.

En caso de reversa se debe aplicar esta función y debe retornar al PLC los últimas 3 ID cargados al momento de devolverse a la posición inicial en la zona de entrada.

En el PLC la señal Nueva_PalanQ se debe activar con la señal G5aParr. En este caso se comparan los tiempos de activación de las posiciones en los empujadores. EmpARAD (Empujadores arriba y adelante) y EmpARAT (Empujadores arriba y atrás). De esta forma se sabrá si se están regresando a su posición original. Adicionalmente se verifica que no exista palanquilla en el grupo G5 con los sensores (B21, B32, B22 y B31).

Señal PalanQIN:

Si es necesario saber cuál es el grupo que ingresó al horno, se tendría que leer los ID en la posición 18, 19 y 20. Por ser el grupo que pasa a la séptima posición cuando se complete el ciclo de avance.

Señal PalanQOUT:

Adicionalmente, el PLC debe recibir la cantidad de palanquillas que hay en la zona de descarga. Y luego indicar en la variable NPalanQOUT el número de la palanquilla extraída (1, 2 ó 3). Aquí,

la rutina para la señal PalanQOUT, es la más simple, ya que recibe el número de palanquilla que se ha extraído y la elimina de las variables de la zona de descarga.

II. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados tras simular fuera de línea el funcionamiento de los programas diseñados y sensores seleccionados. Se desarrolló una sección para representar las señales que debería enviar el proceso y de esta manera realizar pruebas con la finalidad de verificar el funcionamiento del “tracking”.

El PLC para la simulación se configuró de forma básica, con una estación, módulos de entrada y módulos de salidas, tanto analógica como digital. La simulación de la planta de barras se agregó en una sección denominada SIMULACION_BARRAS, dentro de todo el proyecto, tal como se muestra en la Figura 7.

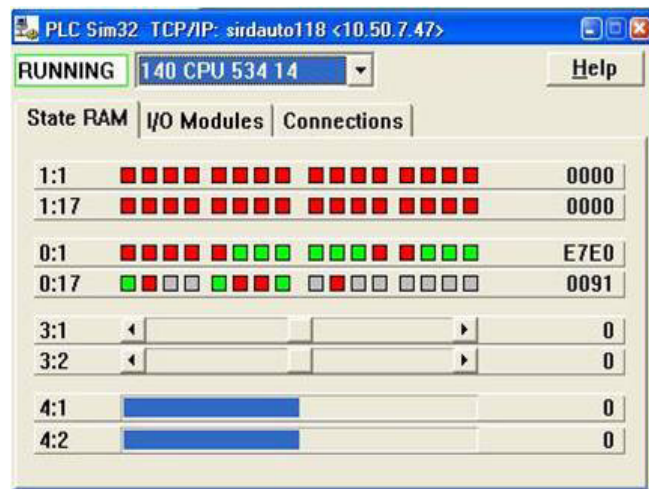


Figura 7. Configuración de CPU y funcionamiento de simulador de 32bits

Se observa que la simulación posee tres partes principales, la primera es BARRAS_SIM_SALIDAS. Donde se trabaja la lógica para cada una de las salidas que se quieren simular. Luego

está un secuenciador denominado BARRAS_SIM_VIGAS donde se lleva a cabo la simulación de las señales del horno de calentamiento. Y finalmente, está la sección BARRAS_SIM_VIGAS_FBD, el cual está compuesto por las combinaciones lógicas que permiten habilitar las señales en el secuenciador de las vigas. Es importante aclarar que esta simulación posee tiempos de activación más largos que aquellos esperados para la operación manual de algunas partes del proceso.

Con este software se logró simular el “tracking” en la vía de rodillos. El cual inicialmente presentó problemas de transferencia de ID debido a los tiempos en los que ocurrían las activaciones. Este problema se solucionó agregando las variables auxiliares. Finalmente, el “tracking” dio el comportamiento esperado, realizando las asignaciones y transferencias de ID entre cada grupo en la vía de rodillos. Adicionalmente se generan las señales esperadas para actualizar el mapa lógico en nivel dos. Cada señal de transición se genera en forma de pulso de ancho variable.

Para ejecutar las simulaciones se usó el programa Simulador de 32 bits de Schneider Electric Concept. En las Figuras 8 y 9 se muestra la configuración y una indicación de las señales de entrada y salida en el simulador.

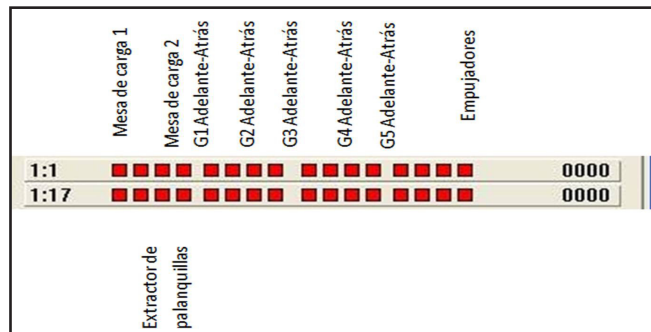


Figura 8. Indicación de señales de entrada en simulador

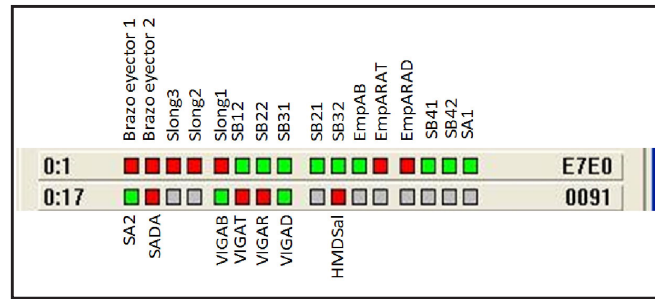


Figura 9. Indicación de señales de salidas en simulador

1. Adaptación de “tracking” a las señales del PLC 2AC1 en la planta de laminación de barras

Una vez diseñado el “tracking” con las señales del simulador, se realiza la adaptación final hacia el programa de PLC donde se agregará con la finalidad de verificar y corregir repuestas no deseadas.

En la topología de redes de la planta de barras se le asignan funciones únicas a cada PLC. En éste proyecto se trabajará con el Controlador 2AC1, por ser el encargado del control de la vía de rodillos junto al horno.

La adaptación del software consistió en las siguientes etapas:

- TRACKING_SOLERA: Posición de extractor de palanquillas.
- TRACKING_COM_N2: Señales enviadas a nivel dos.
- TRACKING_ACOND: Señales originales que fueron modificadas.
- TRACKING_PARRILLA: Entrada de palanquillas a la zona de entrada.
- TRACKING_VR: Transferencias y transiciones en Vía de rodillos.

Tabla III Variables adaptadas al programa del PLC 2AC1

Variable original	Tipo	Nueva variable
BEyector1 y BEyector2	Salidas	Activación de Brazos eyectores en mesa de carga.
EmpAB, EmpARAD y EmpARAT.	Salidas	Posiciones de los empujadores Arriba (AR), Abajo (AB), Adelante (AD) y Atrás (AT).
HMDSal	Salida	Detector de metal en salida del horno.
Lmin y Lmax	Entradas	Distancia mínima y máxima de movimiento del extractor de palanquillas.
ASTAEx	Entrada	Posición del extractor de palanquillas.
I_PLC_15_DI_ASTA_POS_atras,	Salida	Sensor 1 del extractor de palanquillas.
I_PLC_15_DI_ASTA_POS_delantera	Salida	Sensor 2 del extractor de palanquillas.
N1_N2_ASTA_DESH_ADEL	Salida	Sensor del extractor de palanquillas (Adentro/Afuera).
SB12, SB21, SB22, SB31 y SB32	Salidas	Sensores (activos en bajo) del grupo G5.
DI_BARRERA_MEDICION_S3...S2 y S1	Salidas	Medida de longitud.
I_UN_CICLO_LIBRE_HORNO, I_VIGA_OSCIL_ABAJO_ATRAS YI_VIGAS_OSCIL_ADELANTE_EL- EVADA	Salidas	Posición de vigas galopantes. Arriba, abajo, adelante y atrás.
N2_0_LAMP_AVANCE_GX_VR_ADH (X: 1, 2, 3, 4 y 5)	Entradas	Grupos de vía de rodillos hacia adelante.
N2_0_LAMP_REVERSO_GX_VR_ADH (X: 1, 2, 3, 4 y 5)	Entradas	Grupos de vía de rodillos hacia atrás.

En la Tabla III se observa el reemplazo de algunas variables del simulador por las variables usadas en el programa del PLC, sin embargo, existieron señales que se pudieron obtener sin ser alteradas, como la posición de los empujadores o la señal del sensor HMD (Hot Metal Detector) en la salida del horno. Además se reforzaron estados del proceso con el uso de las nuevas variables, mostradas en la Tabla IV. Una de las mejoras es la introducción de la posición de los topes móviles en la detección de avance de un grupo de rodillos. Aquí se habilita o no la señal de VRX_AD en función de la posición de los topes móviles 1, 2 o 3.

Para realizar las pruebas de este software modificado se usó simulación manual, posteriormente se implementarán estos bloques para seguir realizando verificaciones, en la Figura 10 se puede apreciar la pantalla con la simulación de las variables mencionadas y bloques de programa.

Para realizar la simulación de las transferencias entre los grupos de la vía de rodillos es necesario activar o desactivar las señales correspondientes cumpliendo con el sentido en que se deberían presentar.

Tabla IV Nuevas variables agregadas al “tracking”

Variable original	Función
DI_TEMP_PALANQ_SALIDA_HORNO	Indicación de salida de palanquilla.
GE_PALANQUILLAS_CON_PESO	Se midió peso con éxito.
GE_PALANQUILLA_SIN_PESO	No se ha medido peso.
N2_O_LAMP_ABAJO_TOPE_N_VR_ADH N2_O_LAMP_REVERSO_TOPE_N_VR_ADH N2_O_LAMP_DESHABILITACION_TOPE_N	Control te topes móviles 1, 2 y 3.
N2_O_LAMP_OFF_GN_VR_ADH N=1, 2, 3, 4 o 5.	Motores de vía de rodillos apagados.
P1, P2 Y P3	Peso individual de palanquilla.
Long1, Long2 y Long3	Longitud de palanquilla.
SecT1, SecT2 y SecT3	Área de la sección transversal de la palanquilla.

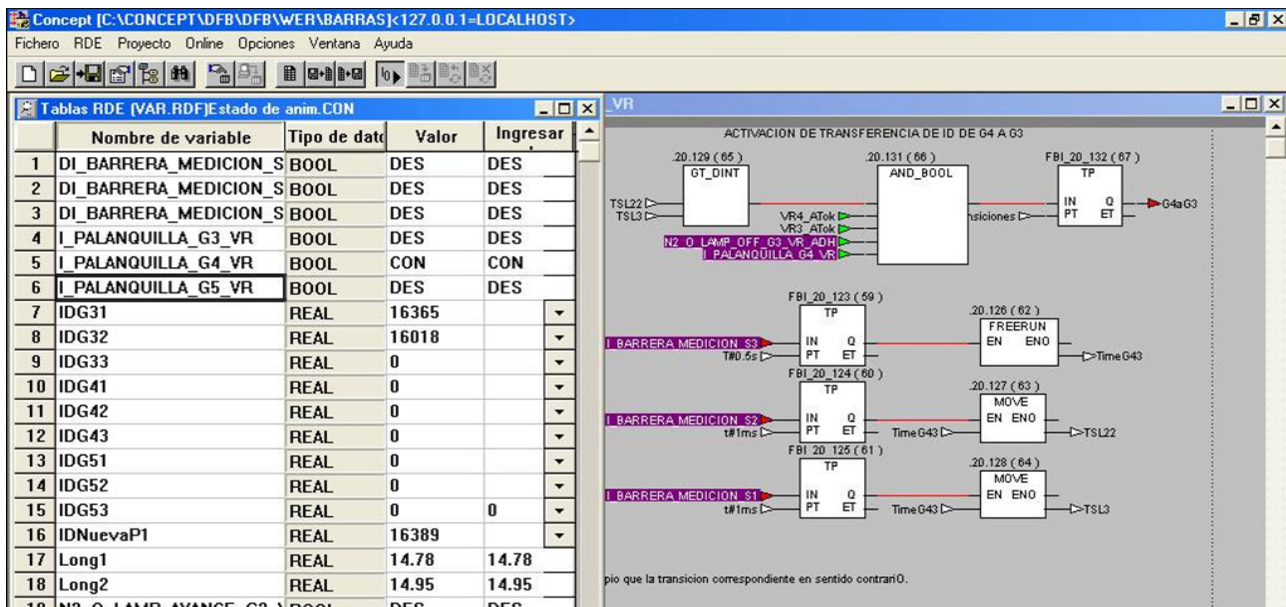


Figura 10. Pantalla de prueba de “tracking” en Vía de rodillos

IV. CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar de manera exitosa el sistema de seguimiento de palanquillas en las secciones de carga y recalentamiento del proceso de laminación de barras, corroborando varias pruebas realizadas fuera de línea, verificando la existencia y funcionamiento de sensores y realizando propuestas para concretarlo.

2. Este sistema de seguimiento se compuso de 3 secciones, las cuales son: “tracking” en vía de rodillos, en horno y zona de entrada y finalmente, en la zona de descarga. El “tracking” en la vía de rodillos se compone del seguimiento en el traslado de las palanquillas hacia el horno, realizado en Nivel 1 de la plataforma de automatización y creando su respectivo ID con datos adquiridos en la misma vía, a partir del grupo 3.

3. Para implementar en línea este proyecto es necesario conocer la posición del extractor de palanquillas, ya que sin ella se desconoce la palanquilla que está siendo extraída y de esta forma no se completaría el seguimiento en la salida del horno.

V. REFERENCIAS

1. SIDOR. Transformar. Ciudad Guayana, Bolívar, Venezuela. 1999.

2. Martini I. "Walking Beam Furnace for Heating Metallurgic Materials with Different Inlet Temperatures". United States Patent 4,420,145. Estados Unidos de América, Diciembre 1983.

3. Lara J., Prado O. "Modelo de Cadencia del Tren de Barras". Informe de Inversión J8038. Ciudad Guayana, Bolívar, Venezuela. 2011.

4. Zapata, C., Molina, P. "Tracking de Laminación en Caliente". Ciudad Guayana, Bolívar, Venezuela. 2007.

5. JFE Steel. "Increase of Billet and Bar Finishing Line Capacity". JFE Technical Report No. 15. Steel Bar and Wire Business Planning Dept. Japón, Mayo 2010.

6. Sun Xin, Sun Han-feng. "Speed cascade control system for bar and wire rod mills". ABB Value Paper, ABB China Ltd. Noviembre 2013.

7. Janson J., Dalke L., Fazlollahi K., Korsounski L. "A Model for Detail Production Scheduling & Control of a Steel Rolling Mill". Quad Infotech Inc. 2001.

8. Manjohme M., Yoshimura K., Ono T., Mikami H. "Improvements of Billet Conditioning Processes. Nippon Steel" Technical Report No. 96. Japón, Julio 2007.

9. Alcalá, A. "Layout del tren de barras". SIDOR, Dpto. Ingeniería, proyectos e inversiones. (IPI), Guayana, Bolívar, Venezuela. 1999.

10. Hernández, H. "Ajuste y Calibración Electro-Hidráulica del Horno". Manual Técnico, Gerencia de Barras y Alambrón SIDOR, Guayana, Bolívar, Venezuela. 1997.

11. Mata, H. "Manual de Operación PPC Púlpito 1 - Tren de barras". Guayana, Bolívar, Venezuela. 2007.

12. CELESCO. Datasheet - Cable-Extension Position Transducer. 2012.