

CONTROL DE MAQUINARIA INDUSTRIAL POR MÉTODOS TOPOGRÁFICOS

Julio Roberto Roldán Rodríguez

Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional
jroldan@una.ac.cr

RESUMEN

La industria requiere en sus programas de mantenimiento industrial del control del funcionamiento de su maquinaria, especialmente aquella que está en operación las 24 horas del día, para poder determinar a tiempo posibles desplazamientos, torsiones, inclinaciones, hundimientos, desalineaciones y desajustes. Para cuantificar estos elementos, los métodos topográficos aplicados de una manera muy especial han demostrado ser muy eficientes. Esto se pudo experimentar en el control que se describe en este artículo, aplicado al sistema de transporte de piezas de cerámica para su cocimiento dentro de un horno de Incesa Standard S.A. El control se realizó con teodolito y cinta métrica de acero para mediciones horizontales y un nivel para las mediciones verticales. Los resultados permitieron a los ingenieros de mantenimiento industrial tomar las medidas correctivas de los defectos detectados en el sistema de transporte.

PALABRAS CLAVES: topografía, análisis de deformaciones, control industrial.

ABSTRACT

Under industrial maintenance programs, the industry requires the control of working machinery, especially machinery operating 24 hours a day. This is done to determine before hand possible displacements, torsions, tilts, settlements, misalignment and problems of adjustment. In order to quantify these elements, the surveying

methods, applied in a special manner, have shown to be efficient. This was experimented on the control described in this article. The control was applied to the transporting system of ceramic for heating into an Incesa Standard S.A. oven. The control was performed with theodolite and a metric steel-tape for horizontal measurements, and a level for vertical measurements. The results allowed the industrial engineers, to apply corrective actions to the problems detected on the transporting system.

KEYWORDS: surveying, deformation analysis, industrial control.

INTRODUCCIÓN

El horno sometido al estudio se esquematiza en la figura 1, está constituido por un recinto cerrado con puertas en los extremos norte y sur, y dos sistemas de carros de transporte de piezas de cerámica que ruedan sobre rieles como los del ferrocarril. Mientras un sistema de carros estaba dentro del horno en el proceso de cocimiento de las piezas, el otro se mantenía estacionado en uno de los dos sectores, norte o sur, para descarga de piezas horneadas y carga de piezas frescas. En el sitio se pudo observar que los carros no rodaban con libertad, en ciertos sectores se frenaban y sólo aplicándoles un empuje extraordinario podían ser llevados hasta su lugar. Además de esto, los carros aparentemente se giraban o salían de su movimiento rectilíneo por los golpes y destrozos observados en distintos puntos de los paneles o paredes del horno.

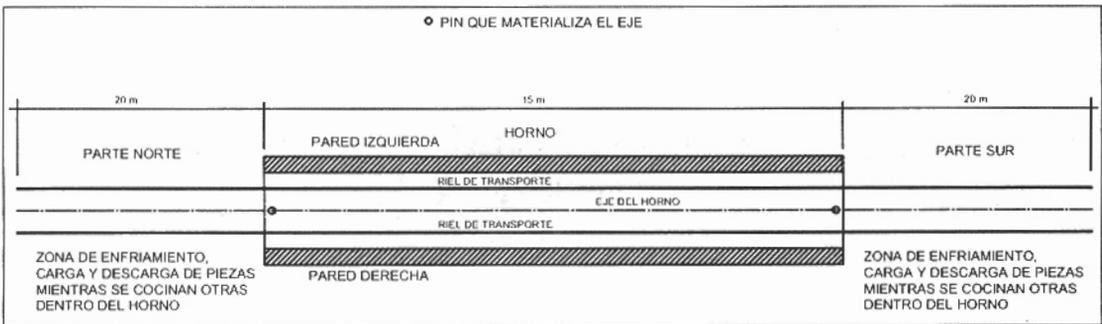


Figura 1. Esquema del horno.

Los problemas señalados se atribuyeron a giros e inclinaciones a los que eran sometidos los carros y se pensó que el origen estaba en una falta de paralelismo de los rieles y en una inclinación del piso o de los durmientes en algunos sectores y en una línea transversal a la dirección de los rieles.

Para localizar los sectores donde se daba una inclinación o un giro se implementó el control topográfico, para verificar si los rieles estaban paralelos y si estaban al mismo nivel en toda su extensión.

METODOLOGÍA

Análisis preliminar

Con base en la información de los planos constructivos y el análisis conjunto con los ingenieros de mantenimiento industrial se valoraron los siguientes aspectos, para planificar el control y definir responsabilidades y la forma de representación de los resultados para el análisis y las conclusiones:

1. El eje o línea central de los rieles estaba materializado en el suelo con dos pines empotrados en el piso, ambos en los extremos del horno, empotrados el día de su construcción.
2. La distancia desde la línea central al punto medio de la superficie de rodamiento de cada riel debería ser de 624 milímetros, por lo tanto, la distancia entre rieles debería ser de 1248 milímetros.

3. La distancia desde la línea central al borde externo de cada riel debería ser de 646 milímetros.
4. La distancia desde la línea central al borde interno de cada riel debería ser de 602 milímetros.
5. El ancho de los rieles debería ser de 44 milímetros.
6. La referencia para el control de niveles fue arbitraria, interesaba verificar que los niveles relativos fueran nulos.
7. Se elaboraron dos planos que representen la situación horizontal y vertical de los rieles, a escala adecuada, de modo que permitan apreciar datos métricos y plantear conclusiones y recomendaciones para una eventual medida correctiva.
8. La desviación estándar teórica de la medición horizontal y vertical se fijó en $\pm 1,0$ milímetro.
9. La decisión de corregir errores de paralelismo de los rieles fue responsabilidad de los ingenieros de mantenimiento industrial.

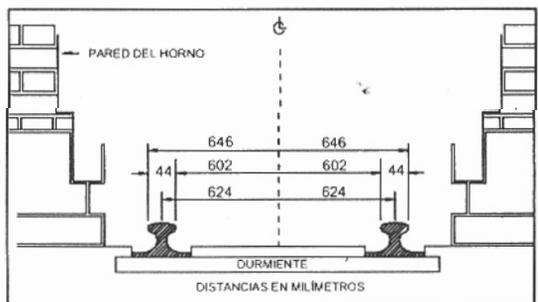


Figura 2. Distancias entre rieles.

10. Se decidió realizar el control de niveles a pesar de que se discutió que era poco probable que existiera un desnivel por las condiciones de estabilidad del piso y construcción de los rieles.
11. Un eventual desnivel y falta de paralelismo no necesariamente se dan en los sitios donde se nota el frenado de los carros o contactos con las paredes del horno. Puede ser que los carros roten o giren por el efecto del desnivel o falta de paralelismo en otros lugares.

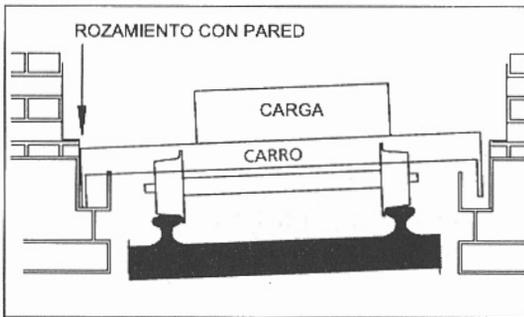


Figura 3. Desnivel entre los rieles.

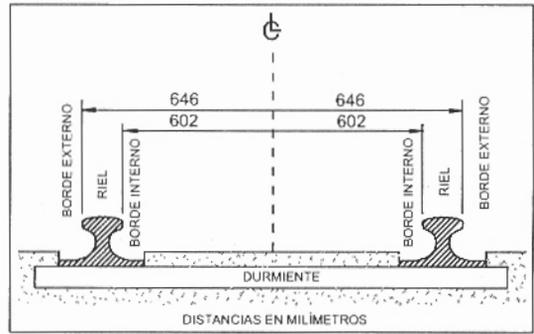


Figura 4. Distancias entre rieles a verificar.

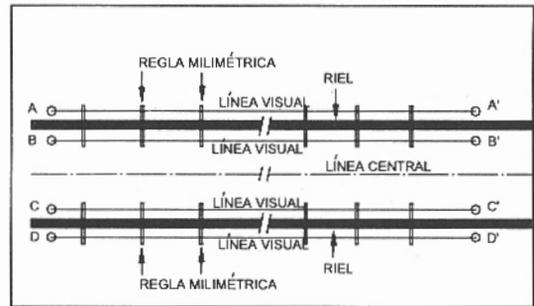


Figura 5. Lecturas a bordes de los rieles.

Ejecución del control

El paralelismo se verificó midiendo distancias con una exactitud de $\pm 1,0$ mm, lo cual se puede obtener con una cinta métrica de acero con divisiones cada milímetro.

Era mucho más fácil medir directamente con cinta la distancia entre ejes de rodamiento de los rieles para verificar que ésta fuera constante con un valor de 1248 mm, pero el rodamiento depende del acomodo de la rueda sobre el riel, por eso se decidió verificar el paralelismo de cuatro líneas, dos definidas por los bordes internos de los dos rieles y otras dos definidas por los bordes externos de los dos rieles.

Para dicho control se trazaron cuatro líneas paralelas trasladadas a una distancia cualquiera, desde la línea central, siempre que la distancia cayera en el surco del riel. En el surco se marcaron puntos sobre los que se estacionó el teodolito (puntos A y B de la figura 5), para hacer las

lecturas sobre una regla milimétrica apoyada sobre los bordes de los rieles.

Los puntos A, B, C y D se utilizan como estaciones del teodolito, los puntos A', B', C' y D' se utilizan como punterías. Con esa puntería se mantiene fijo el movimiento horizontal del teodolito y se hacen lecturas sobre la regla que se va colocando a lo largo del riel. Esta operación se realiza cuatro veces, una para cada alineación.

Las distancias desde la línea central a los bordes se obtienen con las lecturas de la regla milimétrica y la separación medida entre la línea central y las alineaciones AA' y BB'.

- Riel izquierdo:
 - E2-Ie: distancia al borde externo.
 - E1+II: distancia al borde interno.
- Riel derecho:
 - E4-DE: distancia al borde externo.
 - E3+DI: distancia al borde interno.

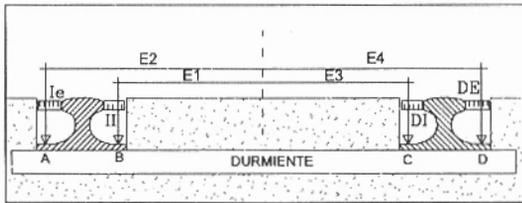


Figura 6. Deducción de las distancias entre rieles.

El control de los niveles de la superficie de rodamiento de los rieles se efectuó mediante una nivelación diferencial con un instrumento automático y una regla de acero de 1,5 m de longitud con divisiones milimétricas. Las distancias entre el instrumento y la regla se mantuvieron en menos que 10 m para facilitar lecturas con una precisión de medio milímetro, con lo cual se garantizaba la exactitud requerida de ± 1 mm. Como nivel de referencia o nivel nulo se utilizó un punto en la parte exterior sur del horno. La referencia es arbitraria y podía tomarse como origen cualquiera de los puntos nivelados sobre los rieles, lo que interesa son los niveles relativos. Se espera que si la referencia es un punto sobre uno de los rieles, el nivel de todos los puntos nivelados sobre los rieles debe dar cero. Cualquier valor que se aparte de cero, sea positivo o negativo, puede interpretarse como un desajuste. Sin embargo, deben tomarse en este sentido tolerancias, para aceptar una discrepancia como inofensiva para el adecuado rodamiento de los carros.

RESULTADOS

Los resultados de la medición de control y cálculos están en los anexos 1, 2 y 3, que muestran en forma tabular los datos numéricos de la medición y de los cálculos y en forma gráfica los resultados numéricos del control del paralelismo de los rieles y del control de niveles de la superficie de rodamiento.

Se aprecia que en promedio las distancias a los bordes izquierdo y derecho de los rieles fueron de 646 mm y 644 mm, respectivamente. En el lado izquierdo el valor coincide con el teórico, mientras que el del lado derecho es 2 mm menor.

Las distancias a los bordes interiores dieron ambas 601 mm, 1 mm menor que el valor teórico en ambos casos. Las diferencias tampoco pueden considerarse importantes.

Los niveles promedios son en el riel izquierdo -3,2 mm y en el derecho -3,3 mm. En el riel izquierdo se notan hundimientos relativos de 5 mm y de 6 mm en el riel derecho. Entre ambos rieles hay diferencias hasta de 6 mm, lo cual se considera mucho para el nivel teórico que debe tener un valor nulo con una exactitud de ± 1 mm.

DISCUSIÓN

A partir de los promedios de las distancias a los bordes internos y externos de los rieles podría decirse que los resultados no se apartan en forma significativa de los valores teóricos. La interpretación de los resultados y su correlación con los problemas de rodamiento no se pueden basar en estos promedios, ya que con ellos pueden compensarse deformaciones extremas, los resultados se deben analizar uno a uno, en forma puntual, tanto en la parte horizontal como en la vertical.

En el análisis puntual interesa saber cómo están los rieles en la parte interna del horno, que es donde los carros rozan las paredes y se atascan. Sin embargo, el estudio se amplió a las partes externas del horno, ya que una deformación de los rieles en esas partes puede producir desajustes y deformaciones en los carros, estado que podría dificultar el transporte dentro del horno.

Partiendo del sector norte, se puede observar que los rieles empiezan ligeramente abiertos, y es cuando se entra al horno que los rieles empiezan a juntarse, la mayor diferencia con respecto a la distancia que deben guardar es de 10 mm más estrecha en las distancias de 30,73 m y 32,56 m. En esta estrechez los carros podrían frenarse. En los demás puntos del riel derecho, las distancias tienden a mantenerse muy parecidas a la distancia teórica, mientras que en el riel izquierdo, la distancia siempre es menor que la teórica. Esto aparentemente tendería a empujar los carros hacia la derecha, acercándolos a la pared hasta rozarla.

En la parte sur, en el riel izquierdo la distancia al borde interno tiende siempre a ser menor, pero se compensa con la distancia al borde interno del riel derecho que siempre es mayor que la teórica.

Los niveles promedios son en el riel izquierdo -3,2 mm y en el derecho -3,3 mm. Esto demuestra que hay una tendencia a que los rieles se hundan y en una misma magnitud global. Un hundimiento es de esperarse tomando en cuenta la presión que ejercen los carros y piezas sobre los rieles y el piso. El análisis puntual permite notar un hundimiento significativo en la parte interna del horno. Esto es de esperarse, debido a que en ese sitio los carros permanecen mucho tiempo con carga y sometidos a temperaturas muy altas. En el riel izquierdo hay hundimientos relativos de 5 mm y de 6 mm en el riel derecho. Entre ambos rieles hay diferencias hasta de 6 mm, lo cual se considera significativo, tomando en cuenta que el nivel teórico es nulo con una exactitud de ± 1 mm. Al comparar los niveles relativos entre ambos rieles se nota que en algunos sectores se da una torsión de los carros, por tener en un sector un desnivel negativo y en otro próximo un desnivel positivo.

La confiabilidad de los resultados del control está reflejada en la exactitud del control horizontal que fue de ± 1 mm, lo mismo que para el control vertical. En la parte horizontal debieron realizarse operaciones previas para marcar los puntos para el alineamiento de los cuatro ejes paralelos a la línea central, de modo que se estima que la exactitud horizontal puede haberse reducido a ± 2 mm.

Los resultados muestran situaciones muy variadas, especialmente en la parte horizontal, que hizo difícil para Incesa Standard S.A. tomar una decisión de cómo corregir los desajustes. Lo más seguro para corregir sería remover los rieles y el piso actual y volver a construir, pero esta operación no es favorable por el alto precio de la reconstrucción y por la paralización de la producción. Por esta razón, la sección de mantenimiento industrial decidió aplicar un desgaste a los rieles con esmeril, para lograr un ajuste en la separación de las ruedas de los carros.

BIBLIOGRAFÍA

- Milev, G. 1985. *Geodätische methoden zur untersuchung von deformationen*. Konrad Wittwer. Stuttgart.
- Strauss, H. 1983. *Beweissicherungsmaßnahmen bei ingenieur-bauten en zeitschrift fuer vermessungswesen*. Konrad Wittwer. Stuttgart.
- Ingenieurvermessung 84. beitraege zum ix. internationalen kurs fuer ingenieurver-messung. band 3.
- Ingenieurvermessung 84. beitraege zum ix. internationalen kurs fuer ingenieurver-messung. band 2.

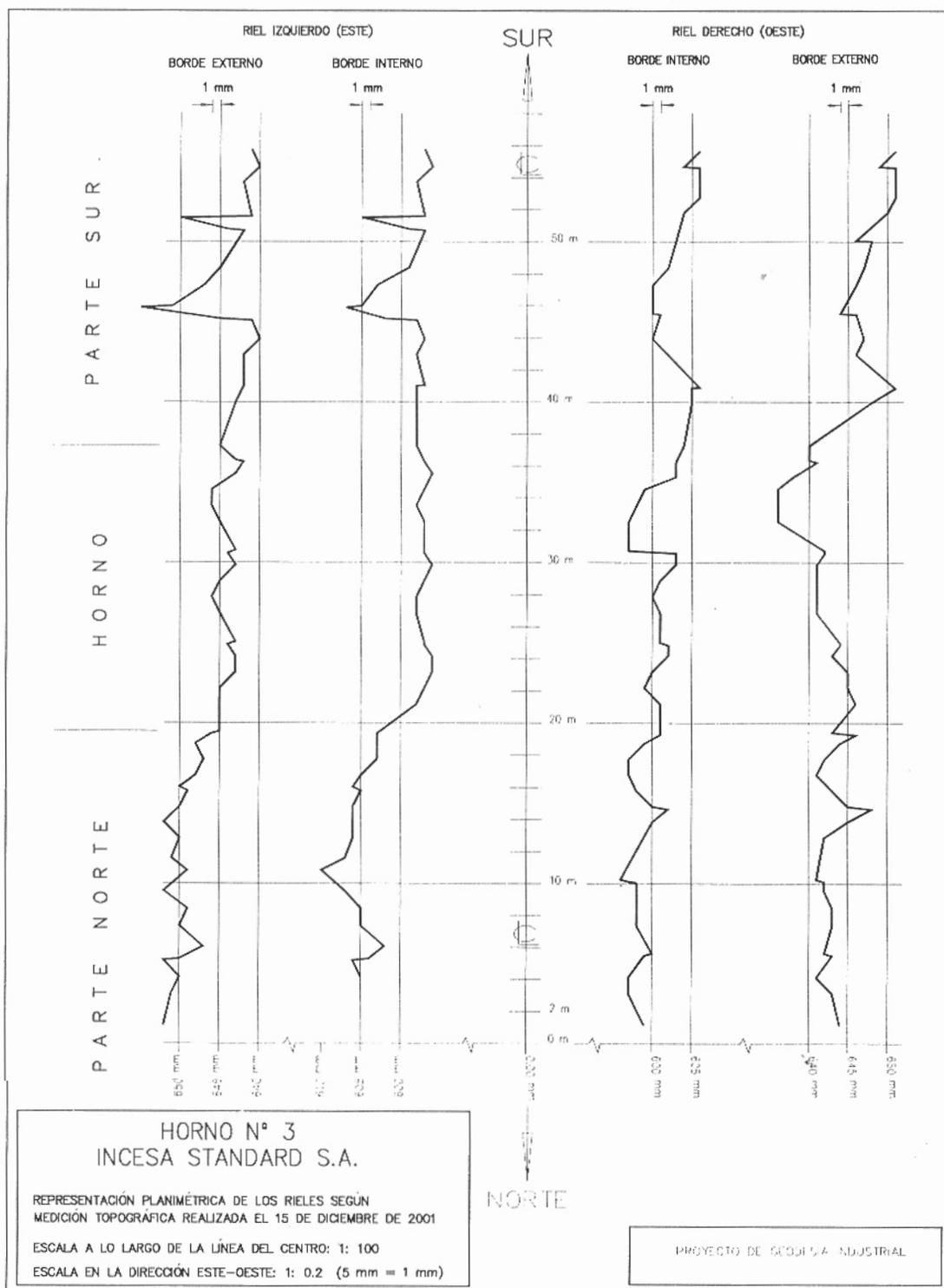
ANEXO 1. CUADRO CON RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE DISTANCIAS ENTRE RIELES.

RIEL IZQUIERDO				RIEL DERECHO				Distancias desde línea central			
Dist. m	LECTURAS		Nivel mm	Dist. m	LECTURAS		Nivel mm	Riel izquierdo		Riel derecho	
	Externo	Interno			Externo	Interno		Interno	Externo		
55.79	26	10	0	55.68	30	5	-1	641	597	606	651
54.69	27	9	-2	54.70	28	7	-1	640	596	604	649
53.77	25	11	-2	54.64	30	5	-1	642	598	606	651
51.60	26	10	-3					641	597		
51.52	17	18	-2					650	605		
50.81	23	12	-1	52.79	30	5	-2	644	599	606	651
50.72	25	10	-2	51.84	28	6	-2	642	597	604	650
48.40	22	12	-2	50.11	27	10	-3	645	599	603	646
47.33	20	16	-3	50.06	27	8	-3	647	603	603	648
46.01	16	18	-2	48.39	26	9	-2	651	605	602	647
45.92	12	20	-1	47.31	24	10	-2	655	607	600	646
45.21	22	15	-1	45.54	24	12	-2	645	602	600	644
45.12	26	11	-2	45.48	25	10	-2	641	598	601	646
43.94	27	10	-1	43.96	24	9	-1	640	597	600	647
42.96	25	11	-2	42.97	26	10	-1	642	598	602	646
41.04	25	10	-1	40.90	30	5	-1	642	597	606	651
41.00	25	11	0	40.87	29	5	0	642	598	605	651
40.02	24	11	0	39.97	29	8	1	643	598	605	648
37.27	22	11	0	37.27	28	16	0	645	598	604	640
36.40	24	10	-1	36.38	27	16	-2	643	597	603	640
36.28	25	10	-3	36.23	27	15	-4	642	597	603	641
35.55	24	9	-4	35.33	27	18	-4	643	596	603	638
34.54	21	10	-5	34.56	23	20	-6	646	597	599	636
33.54	21	11	-4	33.55	22	20	-5	646	598	598	636
32.54	22	10	-8	32.56	21	20	-4	645	597	597	636
30.78	24	10	-9	30.73	21	14	-8	643	597	597	642
30.58	23	10	-7	30.58	27	14	-8	644	597	603	642
29.87	24	9	-4	29.88	27	15	-10	643	596	603	641
28.86	22	10	-7	28.88	25	15	-10	645	597	601	641
27.87	21	11	-9	27.88	24	15	-8	646	598	600	641
26.87	22	11	-9	26.88	25	15	-9	645	598	601	641
25.09	24	10	-8	25.02	25	12	-7	643	597	601	641
24.92	23	10	-8	24.88	26	12	-7	644	597	602	644
24.20	24	9	-8	24.23	26	13	-5	643	596	602	643
23.20	24	9	-5	23.22	24	11	-4	643	596	600	645
22.18	22	10	-3	22.22	23	11	-4	645	597	599	645
21.18	22	11	-5	21.22	25	10	-5	645	598	601	646
19.50	22	no hay dato	-2	19.44	no hay dato	13	-1	645			643
19.36	21	16	-4	19.29	25	10	-1	646	603	601	646
18.75	19	16	-3	18.76	23	12	-1	648	603	599	644
17.77	20	16	-1	17.77	21	14	-2	647	603	597	642
16.78	19	18	-1	16.81	21	15	-2	648	605	597	641
16.04	17	19	-2					650	606		
15.80	18	18	-2	15.81	22	14	-2	649	605	598	643
14.82	18	19	-2	14.83	24	11	-3	650	606	600	645
				14.65	26	9	-3			602	648
13.84	15	19	-3	13.85	24	12	-4	652	606	600	645
12.86	18	19	-3	12.88	23	15	-4	650	606	599	642
11.66	17	20	-4					651	607		
11.59	16	20	-4					651	607		
10.82	19	23	-5					649	610		
				10.26	20	15	-5			596	641
				10.12	22	15	-4			598	642
9.54	15	20	-4	9.55	22	15	-6	652	607	598	642
8.44	18	18	-6	8.47	22	14	-5	649	605	598	643
7.36	18	18	-5	7.37	22	14	-2	650	605	598	643
6.07	20	15	-2					647	602		
				5.65	24	14	-1			600	642
				5.51	23	13	-3			599	643
5.29	17	17	-1					650	604		
5.20	15	19	-3					652	606		
4.16	17	18	-1	4.15	21	15	-1	650	605	597	641
3.14	16	18	0	3.15	21	13	0	651	605	597	643
1.14	15	18	1	1.15	23	12	1	652	605	599	644

PARTENO

El origen de las distancias es el extremo de los rieles en la parte norte, exterior del horno.
 La medición sobre los rieles empieza a 1.14 m del extremo. No hay medición en el origen.
 La medición sobre los rieles llega hasta el anclaje que está a un metro del extremo del riel en la parte sur.

ANEXO 2. FIGURA QUE REPRESENTA LOS RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DEL PARALELISMO ENTRE RIELES.



ANEXO 3. FIGURA QUE REPRESENTA LOS RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DEL NIVEL DE LOS RIELES.

