

RECUPERACIÓN DE LOS RODILLOS RADIALES DE TRANSPORTADORES JACOBI CON EL EMPLEO DE UN CASQUILLO

Profesor: Ms.C. Benigno Leyva De la cruz.

Profesora: Ms.C. Marjoris Utria Jiménez

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Email: bleyva@ismm.edu.cu

Email: mutria@ismm.edu.cu

Resumen

El objetivo del trabajo consistió en determinar el ajuste, material adecuado y la tecnología para la recuperación de rodillos radiales del transportador Jacobi con la utilización de casquillos. Se efectuó la caracterización del ajuste, simulación de la resistencia mecánica, realización de la tecnología de recuperación, verificación de los parámetros de control, y cálculo económico. Se obtuvo como resultados principales un ajuste móvil con juego según el sistema de eje único; se infiere que el casquillo elaborado de acero AISI 321 soporta los esfuerzos a los que está sometido; una temperatura de precalentamiento para el acero AISI 1045 de 195 °C; garantía sobre la idoneidad de los electrodos utilizados y propuesta del electrodo E 309 L-16 para practicar todos los cordones de soldadura necesarios; inferir que la macrodureza media de la superficie exterior del casquillo obtenido por medición difiere significativamente de la especificada en el plano, y la no existencia de diferencias significativas entre los valores de todos los diámetros medidos y los especificados, al nivel de confianza del 95 %; además que resulta más factible desde el punto de vista económico recuperar los rodillos desgastados que fabricarlos.

Palabras claves: Recuperación, rodillos, casquillos, transportadores, ajustes.

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la eficiencia de los equipos e instalaciones que constituyen las fábricas productoras del níquel es una prioridad de los dirigentes de dichas entidades y del estado cubano, debido entre otros factores, a que en los últimos años la industria del níquel ha tenido un rol importante en la economía del país, constituyendo uno de los renglones que más divisas aporta a la economía cubana.

La fábrica productora de concentrados de níquel “Comandante Ernesto Che Guevara” se encuentra ubicada al norte del yacimiento de mineral en Punta Gorda, provincia de Holguín entre los ríos Moa y Yagrumaje, a 4 km de la Ciudad de Moa y a 2 km del pueblo de Punta Gorda. En esta región se ubica una de las mayores reservas minerales de níquel del mundo, aspecto que ha funcionado como inductor de un gran desarrollo socioeconómico local y regional.

La Unidad Básica de Producción “Hornos de Reducción” tiene como función la reducción de los óxidos de níquel y cobalto y se considera entre las de mayor influencia en la finalidad del proceso, ya que la producción del sínter depende directamente de la magnitud del extractable logrado durante la reducción del mineral.

El objetivo del proceso que se realiza en la Unidad Básica Productiva “Hornos de Reducción” es reducir el óxido de níquel a níquel metálico, haciéndolo apto para la lixiviación amoniaca. Para ello se cuenta con la instalación de 24 hornos de reducción, 12 transportadores sinfín que, a su vez, para su funcionamiento, utilizan 12 rodillos radiales de apoyo cada uno. Estos rodillos, para mantener el rendimiento y la estabilidad en el trabajo, deben tener un acabado óptimo, sin grietas ni fisuras en toda la superficie de la pista de rodaje además de buena resistencia mecánica a la fricción y compresión (Oliveros, 2011).

Uno de los problemas medulares que afecta la productividad de la planta de hornos de reducción y a la empresa en general, es el deterioro frecuente de los rodillos. Según las estadísticas compiladas, el índice promedio de deterioro es de 52 rodillos al mes, lo que representa un promedio de 624 rodillos anualmente (Oliveros, 2011). Debido a la frecuente salida de servicio, por desgaste, se hace necesario sustituirlos de forma prematura, provocando pérdidas y afectaciones en la producción.

A partir de la problemática asociada a la salida de servicio de los rodillos radiales del transportador Jacobi se define como **objetivo de este trabajo**:

Determinar el ajuste, material adecuado y la propuesta de una tecnología para la recuperación de rodillos radiales del transportador sinfín, para materiales lateríticos, de la Unidad Básica Productiva “Hornos de Reducción”.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Características de los rodillos radiales del transportador sinfín

Los rodillos radiales, del transportador sinfín, en su conjunto (figura 2.1), son estructuras sólidas de 200,7 kg de peso; compuestos por un cuerpo llamado propiamente rodillo. Estos son fabricados de acero 55ГGOST o AISI 1045 de 40 – 46 HRC de dureza en la superficie según el proyecto. Van montados en dos rodamientos autoalineables N° 22315, según norma SKF, para girar sobre un eje fijo de material AISI 1045, que descansa sobre dos apoyos de hierro fundido de 240 MPa. A este eje en uno de sus extremos se le hace un agujero longitudinal de 8 mm de diámetro hasta la distancia media del mismo, agujero que se interseca con otro transversal, para mediante unas copillas lubricar la zona de los cojinetes. Tienen unas dimensiones generales de 480 mm entre los apoyos y el diámetro del cuerpo giratorio es de 305 mm.



Figura 2.1. Ubicación de los rodillos radiales del transportador sinfín.

Fuente: Prieto (2013).

Estos rodillos radiales sirven de apoyo a las llantas las cuales poseen las siguientes características: tienen una masa de 288,8 kg, se construyen de acero 55 Г (GOST) y con una dureza de 50 – 55 HRC, hasta una profundidad de 10 mm; las mismas trabajan en condiciones ambientales adversas y agresivas donde el polvo y el agua están siempre presentes.

2.2. Materiales utilizados

Material del rodillo: Los rodillos utilizados en la investigación se elaboran de acero AISI 1045.

Material del casquillo: Los casquillo se elaboran de acero AISI 321.

Electrodos: El proceso de soldadura se efectúa con electrodos revestidos E 347-16 y E 309L-16, para la unión de los extremos de la estructura que conformó el casquillo y el rodillo con el casquillo, respectivamente

2.3. Máquinas y útiles

Máquina para soldar: Para la selección de la máquina se tiene en cuenta, el tipo de proceso, los valores de intensidad, tensión eléctrica y el tipo de corriente así como la polaridad a utilizar; todos estos datos son necesarios y con los que se deben realizar las costuras. Teniendo en cuenta estos factores se selecciona la máquina ARC-253.

Torno universal 1M63: El torno utilizado en el proceso de recuperación del rodillo es el modelo 1M63.

Cuchilla para el maquinado: Las herramientas de corte empleadas para el maquinado de las piezas se eligieron en dependencia de la operación tecnológica de mecanizado, las cuales deben garantizar el buen acabado del material que se elabora. Las herramientas seleccionadas para la recuperación se hizo según los criterios de Sándwich Coromant (2007). Para la operación de desbaste se escogió la que posee soporte PTGNR - 2525M y plaquita TNMG 220 416GC - 4025, mientras que para el acabado la plaquita fue TNMG 220 408 GC - 4025 con igual soporte.

2.4. Instrumentos de medición utilizados

La realización del control de la calidad relativo a los parámetros que definen las características de los casquillos y del rodillo implicó la realización de mediciones con los instrumentos adecuados. Los instrumentos utilizados en la determinación del diámetro exterior e interior, así como la dureza son: el micrómetro de precisión 0,01 mm y rango de medición de 300 – 400 mm; el pie de rey o calibrador que posee la apreciación de 0,05 mm; y, el durómetro digital modelo TH170.

2.5. Determinación de los parámetros del ajuste

Los pasos que se llevaron a cabo para la determinación de los parámetros que caracterizan al ajuste móvil con juego entre la superficie definida por el diámetro exterior del rodillo (eje) y la interior del casquillo (agujero) se definen a continuación:

1. Selección del ajuste que satisface las exigencias técnico económicas que se le imponen a la unión del eje con el agujero. Esto se realizó con arreglo a las recomendaciones expuestas en Martínez *et al.*, (1985).
2. Determinación de las desviaciones del agujero y del eje. Se realizó conforme a las especificaciones establecidas en la norma cubana: NC 16-30: 1980.
3. Determinación de las dimensiones límites del agujero y el eje. El cálculo del diámetro máximo y el mínimo para las dimensiones de las superficies conjugadas se efectuó con arreglo a las expresiones que se muestran a continuación.

$$D_{\text{máx.}} = D + \Delta S \quad (2.1)$$

$$D_{\text{mín.}} = D + \Delta I \quad (2.2)$$

$$d_{\text{máx.}} = d + \Delta s \quad (2.3)$$

$$d_{\text{mín.}} = d + \Delta i \quad (2.4)$$

Donde:

$D_{\text{máx.}}$ y $D_{\text{mín.}}$ - Es el diámetro máximo y mínimo del agujero respectivamente, mm.

$d_{\text{máx.}}$ y $d_{\text{mín.}}$ - Es el diámetro máximo y mínimo del eje respectivamente, mm.

D y d .- Es el diámetro nominal del agujero y del eje respectivamente, mm.

ΔS y Δs .- Es la desviación superior del agujero y del eje respectivamente, mm.

ΔI y Δi .- Es la desviación inferior del agujero y del eje respectivamente, mm

4. Cálculo de los juegos y aprietos. La determinación de los juegos y aprietos del ajuste se efectuó a través de las siguientes fórmulas:

$$J_{\text{máx.}} = A_{\text{mín.}} = D_{\text{máx.}} - d_{\text{mín}} \quad (2.5)$$

$$J_{\text{mín.}} = A_{\text{máx.}} = D_{\text{mín.}} - d_{\text{máx.}} \quad (2.6)$$

Donde:

$J_{\text{máx.}}$.- Es el juego máximo, mm.

$A_{\text{mín.}}$.- Es el apriete mínimo, mm.

$J_{\text{mín.}}$.- Es el juego mínimo, mm.

$A_{\text{máx.}}$.- Es el apriete máximo, mm.

5. Determinación de la tolerancia. El cálculo de la tolerancia dimensional referida a la superficie del diámetro exterior del rodillo y la interior del casquillo se llevó a cabo utilizando la expresión que se refiere a continuación:

Agujero

$$T_a = |D_{\text{máx.}} - D_{\text{mín.}}| \quad (2.7)$$

Eje:

$$T_e = |d_{\text{máx.}} - d_{\text{mín.}}| \quad (2.8)$$

Donde:

T_a .- tolerancia del agujero, mm.

T_e .- tolerancia del eje, mm.

6. Determinación de la rugosidad del agujero y la del eje. La rugosidad que se admite en la superficie de las partes conjugadas se determinó a partir del valor de la tolerancia dimensional establecida y el siguiente modelo.

$$R_a = 14 \times 10^2 \cdot T \quad (2.9)$$

7. Determinación del error de forma para las superficies acopladas. La tolerancia de forma para las superficies acopladas en el ajuste se calculó utilizando las recomendaciones formuladas en Casanova (1986).

Recomendaciones: para superficies cilíndricas.

$$T_f = 30\%T \quad (2.10)$$

$$T_f = 20\%T \quad (2.11)$$

$$T_f = 12\%T \quad (2.12)$$

Las ecuaciones 2.10, 2.11 y 2.12 se emplean en función de la clase de precisión geométrica definida para la superficie, la A indica precisión geométrica normal, B precisión geométrica alta y C precisión geométrica elevada, respectivamente.

2.6. Simulación con el método de elementos finitos del conjunto casquillo-rodillo

Para poder llevar a cabo, de una manera organizada la obtención de los resultados de la simulación y su análisis, el proceso de simulación se desarrolló siguiendo los pasos lógicos del procedimiento que se refiere a continuación, en orden cronológico. La simulación fue realizada para el casquillo individualmente puesto que para esta condición es que existe la menor resistencia a los esfuerzos.

1. Se construyó un modelo geométrico para el casquillo. El modelo geométrico se elaboró en el propio software, a partir del conocimiento de las dimensiones tanto del casquillo como del rodillo y las condiciones de carga.
2. Se especificó las propiedades del material. Las propiedades del material se definieron a partir de la información que se encuentra disponible en la biblioteca de materiales del software, pues el material del casquillo está incluido en la referida data.
3. Se planteó las restricciones para los grados de movilidad. La restricción a los grados de libertad para el modelo se planteó considerando un empotramiento.
4. Se aplicó la carga que actúa sobre el elemento. La carga se consideró concentrada, pues el contacto entre llanta y rodillo se realiza aproximadamente sobre una línea.
5. Se definió el mallado del elemento. La tolerancia del mallado se fue ajustando hasta un valor mínimo, atendiendo a las posibilidades que ofreció el software y la importancia que se le concedió al análisis.
6. Se ejecutó el cálculo de la simulación según el modelo definido para la situación estudiada. El cálculo se realizó considerando el criterio de la máxima tensión de von Mises, y se evaluó el coeficiente de seguridad obtenido.
7. Análisis de los resultados obtenidos en la simulación. El análisis de los resultados se realiza a partir de la generación de un informe.

2.7. Procedimiento para la elaboración de la tecnología de recuperación

El proceso de recuperación del rodillo se desarrolló en el taller de maquinado de la Empresa Productora de Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara”, para lo cual se hizo necesario ajustarse a las condiciones de que se disponía, y a las especificaciones de calidad, definidas en los correspondiente planos.

La tecnología para la recuperación del rodillo implicó el desarrollo de las siguientes operaciones tecnológicas.

1. Corte del semiproducto.
2. Elaboración de los biseles en la chapa para el casquillo.
3. Conformación del casquillo.
4. Aplicación de los cordones de soldadura a la superficie biselada del casquillo.
5. Maquinado de la superficie desgastada del rodillo.
6. Elaboración de biseles en la superficie maquinada del rodillo.
7. Aplicación de los cordones de soldadura a la superficie biselada del rodillo para provocar la unión entre el rodillo y el casquillo.
8. Obtención del acabado superficial requerido para la superficie del rodillo.

Las fórmulas y gráficos utilizados en la determinación de los parámetros del proceso tecnológico de maquinado y soldadura, que implica la recuperación del rodillo con un casquillo, se pueden estudiar en la tesis de Garcia(2016).

2.8. Procedimiento para la elaboración del resultado de las mediciones

Para aumentar la representatividad y considerar la incertidumbre de los resultados en la determinación de los parámetros de control de los rodillos se efectuaron repeticiones de las mediciones, las cuales se analizan sobre la base de criterios estadísticos. Las expresiones matemáticas y procedimientos que se utilizaron en el análisis son las que se plantean a continuación.

2.8.1. Muestreo aleatorio simple

La cantidad de mediciones a realizar se determinaron sobre la base del sentido común y el modelo matemático propuesto por Miller *et al.* (2005). Comúnmente se efectúan tres mediciones de una cierta cantidad de magnitud para evaluar la medida de la tendencia central y, para determinar el tamaño de una muestra en un muestreo aleatorio simple se ha propuesto el siguiente modelo:

$$n = \left[Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{E} \right]^2 \quad (2.13)$$

Donde:

n.- tamaño de la muestra.

$Z_{\alpha/2}$.- Es el estadístico de la distribución probabilística de Gauss. Se determina en la tabla 3 de Miller *et al.* (2005).

Σ .- Es la desviación típica poblacional.

E.- Es el error máximo de estimación. Se determina despejando en la ecuación 2.13.

2.8.2. Aseguramiento de la normalidad

El análisis estadístico de la medida de la tendencia central se efectúa aplicando las expresiones matemáticas que se refieren a continuación, de acuerdo con Miller *et al.* (2005).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n} \quad (2.14)$$

$$LT_{Xm\acute{a}x} = \bar{X} + t_{\alpha/2} \cdot S \quad (2.15)$$

$$LT_{Xm\grave{i}n} = \bar{X} - t_{\alpha/2} \cdot S \quad (2.16)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (2.17)$$

Donde:

\bar{X} .- media aritmética de las mediciones realizadas del correspondiente parámetro, se expresa en la misma unidad de medida del parámetro.

$LT_{Xm\acute{a}x}$.- límite superior de tolerancia para el correspondiente parámetro, se expresa en la misma unidad de medida del parámetro.

$LT_{Xm\grave{i}n}$.- límite inferior de tolerancia para el correspondiente parámetro, se expresa en la misma unidad de medida del parámetro.

t .- estadístico de la distribución probabilística de “t-Student”.

S.- desviación típica muestral, se expresa en la misma unidad de medida del parámetro.

n.- total de observaciones.

En caso que existieron valores anormales, los mismos se eliminaron procediendo como se indica a continuación, de acuerdo con Hernández (1986): para el conjunto de valores obtenidos en la medición se calcularon \bar{X} y S (teniendo en cuenta en estos cálculos incluso aquellos valores considerados sospechosos); se estableció el intervalo dado por la ecuación 2.15 y 2.16, y se eliminaron por considerarse como anormales todos los valores que quedaron fuera del intervalo establecido, se realizaron nuevamente los cálculos necesarios para expresar el resultado elaborado o final, sin considerar como es lógico, los valores anormales.

2.8.3. Prueba de hipótesis estadística relativa a dos medias

Este procedimiento se aplicó con el objetivo de determinar si las variaciones mostradas entre los valores de los parámetros de control (dureza y diámetros) son significativas.

1. Definición de las hipótesis

Hipótesis nula (H_0): No existe diferencias significativas entre las medias.

Hipótesis alterna (H_1): Existe diferencias significativas entre las medias.

2. Nivel de significancia: α

3. Criterio de rechazo de la hipótesis nula: Se rechaza la hipótesis nula si $t < -t_{\alpha/2}$ o $t > t_{\alpha/2}$ con $v=n-1$ grados de libertad, donde $t_{\alpha/2}$ es el estadístico de la distribución de Student, n es la cantidad de observaciones consideradas en el cálculo y t se determina por la siguiente fórmula (Miller *et al.* 2005).

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{n}} \quad (2.18)$$

Donde:

μ .- media poblacional, los demás parámetros ya se definieron anteriormente.

4. Cálculo: El cálculo para la prueba se efectuó utilizando la herramienta de análisis de datos programa en el Tabulador Microsoft Excel.

5. Decisión: La decisión se toma sobre la base del criterio definido para el rechazo de la hipótesis nula.

2.9. Análisis económico

Para la estimación de los costos de recuperación del rodillo se parte de la metodología del cálculo del costo de fabricación conocida como “Ficha para costos, precios y su componente en pesos convertibles” que en formato de hoja de cálculo se utiliza como Norma empresarial para calcular las fichas de costo. Dicho documento fue elaborado conjuntamente por los Ministerios de Finanzas y de Economía y Planificación.

A fin de revelar las ventajas en el orden técnico-económico de la recuperación, se procederá a la comparación entre el costo de recuperación del rodillo, y el costo de la de fabricación de uno en la empresa mecánica del níquel. La valoración del estimado se hace sin considerar el costo por concepto de transportación.

3. RESULTADOS

3.1. Determinación de los parámetros del ajuste entre el casquillo y el rodillo

Para el ajuste entre la superficie interior del casquillo y la exterior del rodillo se selecciona un ajuste móvil con juego, sobre la base de que se aplica soldadura a los extremos de las superficies ajustadas para lograr la fijación. El empleo de este ajuste en lugar de uno prensado o indeterminado disminuye los costos del montaje ya que no se requiere de calentamiento, golpes o uso de dispositivos especiales para lograr el acople entre las superficies.

La tabla 3.1 muestra los parámetros del ajuste seleccionado, de acuerdo a las recomendaciones expuesta en el sistema de eje único y las indicaciones planteadas en el procedimiento. Se escoge un nivel de precisión geométrica normal (A), para el establecimiento del error de forma, atendiendo a que las superficies del ajuste no requieren de mucha precisión ya que no habrá movimiento relativo entre ellas.

Tabla 3.1. Parámetros del ajuste seleccionado: Ø 294 F9/h8.

Parámetros	Ecuación	Resultados	Unidad de medida
Desviaciones del agujero		+ 186 + 56	µm
Desviaciones del eje		0 -81	µm
Diámetros máximo y mínimo del agujero	2.1 y 2.2	294,186 y 295,056	mm
Diámetros máximo y mínimo del eje	2.3 y 2.4	294 y 293,919	mm
Juego máximo y apriete mínimo	2.5	0,267	mm
Juego mínimo y apriete máximo	2.6	0,056	mm
Tolerancias del agujero y del eje	2.7 y 2.8	0,130 y 0,081	mm
Rugosidad del agujero y del eje, Ra	2.9	20 y 10	µm
Tolerancia de forma del agujero y del eje, A	2.10	0,039 y 0,0243	mm

3.2. Análisis de la resistencia mecánica del casquillo

La figura 3.1 muestra el modelo físico construido para la simulación del proceso de explotación de los casquillos en la Planta de Horno de Reducción de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, junto a las llantas. Dicho modelo posee las propiedades volumétricas siguiente: masa 14,835 4 kg; volumen 0,001 854 43 m³; densidad 8 000 kg/m³; y peso 145,387 N. La sujeción del elemento se consideró fija.

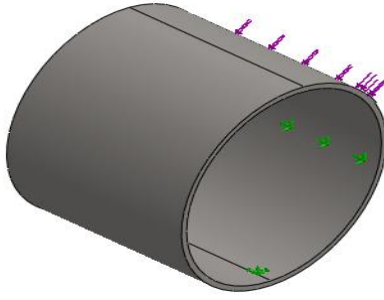


Figura 3.1. Modelo físico del casquillo en explotación.

Las propiedades del material que constituyen a los casquillos que se modelan se definió en la modelación con el empleo de la biblioteca de materiales disponible en el software SolidWorks. La tolerancia del mallado es de 0,708 857 mm, dicha información se definió evaluando las posibilidades que ofreció el software y la importancia otorgada al proceso que se simula; se consideró el hecho de que a menor tolerancia en el mallado se gana en la precisión de los resultados pero hace más lento y complejo el proceso de cálculo.

En la figura 3.2 se muestra el resultado del cálculo realizado en la simulación aplicando el criterio de la tensión de Von Mises. Se observa que la tensión que se genera en el modelo varía desde un mínimo de $6,028\ 53e-009\ \text{N/m}^2$ a un máximo de $4,032\ 25e+007\ \text{N/m}^2$ y que el límite elástico del material es de $234\ 421\ 748\ \text{N/m}^2$. A partir de la información indicada se infiere que el casquillo soporta los esfuerzos a los que está sometido puesto que el límite elástico del material es superior a la tensión máxima que se genera.

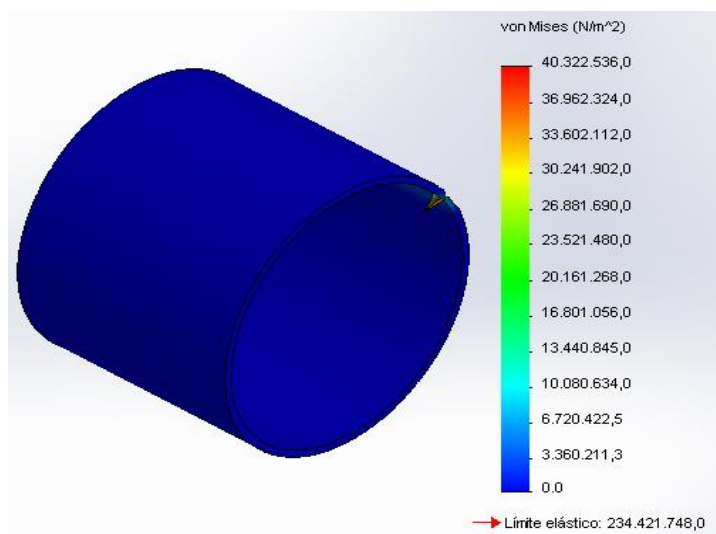


Figura 3.2. Modelo físico del casquillo en explotación.

3.2.1. Chequeo del diseño sobre la base del factor de seguridad

Se procedió a la evaluación del diseño sobre la base del factor de seguridad aplicando el criterio de von Mises. Se determina que el coeficiente de seguridad adquiere el valor de 5,8 para el criterio de von Mises máxima, de lo que se infiere que el casquillo ofrece una buena fiabilidad según el criterio examinado.

3.3. Determinación de los parámetros de la tecnología de recuperación del casquillo

A partir de la aplicación de la ecuación para el cálculo del carbono equivalente expuesta en Seferian (1962), se determina el valor del carbono equivalente real y la temperatura de precalentamiento para el acero AISI 1045. Se obtiene que el carbono equivalente real es de 0,56 %, lo que indica la necesidad de realizar precalentamiento. El cálculo de la temperatura de precalentamiento arrojó un valor de 195 °C, a partir de este resultado se especifica un rango de temperatura para el tratamiento de 150 – 200 °C.

Verificación de los electrodos utilizados

La figura 3.3 muestra la ubicación en el diagrama de Schaeffler de los puntos correspondiente al cromo y el níquel equivalente para las uniones que se practicaron en el proceso de recuperación de los rodillos radiales del transportador Jacobi.

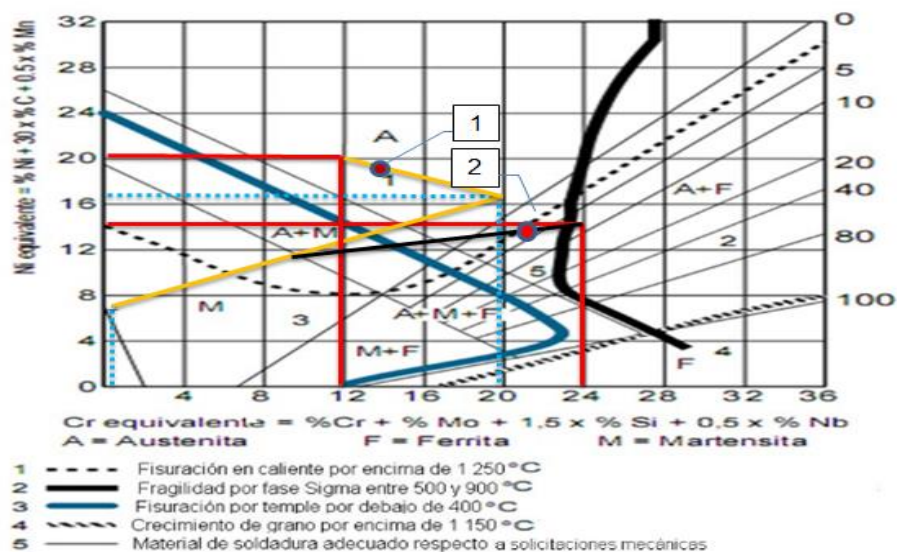


Figura 3.3. Determinación de la característica del cordón de soldadura.

De la figura 3.3 se infiere que el electrodo E347-16 es adecuado para la soldadura del casquillo puesto que este se puede trabajar a una temperatura muy inferior a 1 250 °C, y que el electrodo E309 L-16 asegura alta resistencia al agrietamiento. Para contribuir al aseguramiento de baja tendencia al agrietamiento se sugiere realizar la soldadura del casquillo con el empleo de un electrodo E 309 L-16 en lugar del utilizado, pues este deposita un cordón de soldadura con 5,5 % de ferrita, tal como se indica en la figura 3.4 (punto tres).

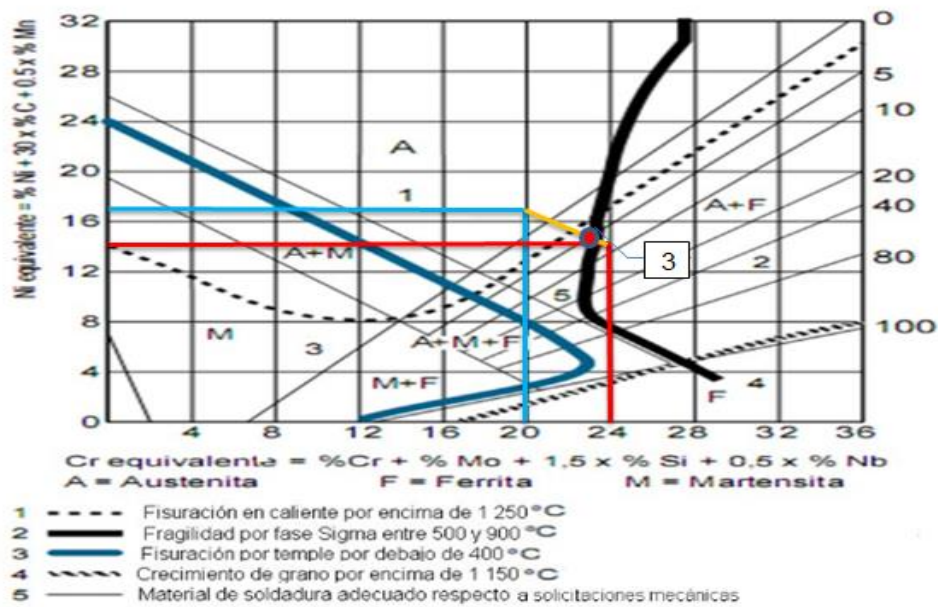


Figura 3.4: Característica del cordón de soldadura del acero AISI 321 con electrodo E309 L-16.

Tecnología de soldadura

En el trabajo de Garcia(2016) se muestra los parámetros del proceso de soldadura para la formación del casquillo y la unión de este con el rodillo, que constituyen un referente numérico importante para la elaboración de las cartas tecnológicas de soldadura. Además se indican las cartas tecnológicas de soldadura, las cuales constituyen la guía para la realización de la correspondiente soldadura.

Tecnología de maquinado

Los resultados de los parámetros determinados en el trabajo de Garcia(2016) para el proceso de maquinado del rodillo desgastado, el interior del casquillo y el conjunto ensamblado se tienen en cuenta en la confección de las correspondientes cartas tecnológicas y la elaboración de las fichas de costos.

En todos los análisis realizados se tiene en cuenta las características de los materiales, máquinas y útiles utilizados, para contribuir al aseguramiento de la racionalidad y objetividad en las especificaciones a establecer en la correspondiente carta tecnológica.

3.4. Evaluación de los parámetros de control del rodillo y del casquillo

La tabla 3.2 muestra los resultados de las mediciones y del cálculo realizado relativo a los parámetros de control del ajuste seleccionado para el casquillo y el rodillo y de la superficie exterior del casquillo. Se escoge un nivel de confianza del 95 % para el establecimiento del estadístico crítico ($t_{crit.}$). Se realizan tres repeticiones para determinar la tendencia en el comportamiento del parámetro, con arreglo a la ecuación 2.13; para esto último la tarea consistió en definir las especificaciones de precisión y exactitud tal que se asegure un tamaño de muestra igual a tres, para un nivel de confianza del 90 % y asumiendo una desviación típica igual al error máximo de estimación se obtiene que el tamaño de la muestra necesario es de tres unidades.

Tabla 3.2. Parámetros de control del rodillo y el casquillo.

Parámetros	Mediciones	\bar{x} y S	Rango de normalidad	Media μ	$t_{cal.}$	$t_{crit.}$
Diámetro exterior del casquillo, mm	304,41 - 305,04 - 304,44	304,63 0,36	306,16 – 303,10	304,84	-1,010	-4,303
Diámetro interior del casquillo, mm	295,2 – 294,4 – 295	294,87 0,42	296,66 – 293,08	294,62	1,031	4,303
Dureza, HB	108 – 140 - 158	135,33 25,32	244,30 - 26,36	404	-18,105	-4,303
Diámetro exterior del rodillo maquinado	295-295- 294,35	294,78 0,38	296,40- 293,17	293,96	3,738	4,303

A partir de los resultados mostrados en la tabla anterior y teniendo en cuenta el procedimiento relativo al desarrollo de la prueba de hipótesis estadística t se infieren las siguientes decisiones:

- El diámetro medio exterior del casquillo obtenido por medición no difiere significativamente del especificado en el plano, al nivel de confianza del 95 %, puesto que el valor de $t_{\text{calculado}}$ es mayor que el valor de $t_{\text{crítico}}$ (-1,010 es mayor que -4,303).
- El diámetro medio interior del casquillo obtenido por medición no difiere significativamente del especificado en el plano, al nivel de confianza del 95 %, puesto que el valor de $t_{\text{calculado}}$ no es mayor que el valor de $t_{\text{crítico}}$ (1,031 es menor que 4,303).
- La dureza media de la superficie exterior del casquillo obtenido por medición difiere significativamente de la especificada en el plano, al nivel de confianza del 95 %, puesto que el valor de $t_{\text{calculado}}$ es menor que el valor de $t_{\text{crítico}}$ (-18,105 es menor que -4,303).
- El diámetro medio exterior del rodillo maquinado obtenido por medición, luego de haber sido desgastado el rodillo, no difiere significativamente del especificado en el plano, al nivel de confianza del 95 %, puesto que el valor de $t_{\text{calculado}}$ no es mayor que el valor de $t_{\text{crítico}}$ (3,738 es menor que 4,303).

De lo planteado anteriormente se infiere que la hipótesis formulada se acepta para el caso de las dimensiones que se obtienen al aplicar la tecnología, pero para la macrodureza superficial se rechaza. En otras palabras con la recuperación realizada del rodillo desgastado se logra restituir las dimensiones pero no la macrodureza superficial requerida.

3.5. Valoración económica

En la tabla 3.3 se muestra los resultados del cálculo realizado para el análisis de las implicaciones económicas asociadas al proceso de recuperación de los rodillos radiales del transportador Jacobi con el empleo de un casquillo. Al observar la información contenida en la tabla anterior se infiere que resulta más factible desde el punto de vista económico recuperar los rodillos desgastados que fabricarlo, ya sea a partir de un semiproducto laminado o uno fundido.

Tabla 3.3. Costos de fabricación y recuperación de un rodillo.

Precios	Total	CUC	Fecha
Precio de un rodillo obtenido por fundición	7 188,46	3 455,01	6 – 06 -16
Precio de un rodillo obtenido por laminado	3 204,01	1 775,07	29 – 03 - 16
Precio de un rodillo recuperado con casquillo	505,74	244,57	7 – 06 -16

Las cifras referidas se obtuvieron a partir de las fichas de costos elaboradas en los correspondientes talleres de la empresa mecánica del níquel, teniendo en cuenta la información recogida en las respectivas cartas tecnológicas.

La tecnología elaborada para el proceso de recuperación de los rodillos fue ejecutada en el taller de construcciones mecánica existente en la Empresa Productora de Níquel “Comandante Ernesto Che Guevara”, lo que permitió obtener una muestra de rodillo recuperado. La figura 3.5 y 3.6 ilustran el ejemplar de casquillo y del ensamble rodillo-casquillo respectivamente.



Figura 3.5. Casquillo exterior.

Figura 3.6. Ensamble del rodillo y el casquillo.

El ensamble formado entre el rodillo y el casquillo constituye un recurso que se pone a disposición para la continuidad del proceso de investigación con vista al incremento de la longevidad del par cinemático llanta - rodillo. Dicho elemento se pretende poner en explotación para evaluar en el tiempo su resistencia al desgaste, a juzgar por su periodo de vida útil en comparación con los que tradicionalmente se colocan como apoyo a las llantas.

4.CONCLUSIONES

1. Se determina un ajuste móvil con juego para las superficies acopladas sobre la base del sistema de eje único; y se infiere que el casquillo soporta los esfuerzos a los que está sometido puesto que el límite elástico del material es

superior a la tensión máxima que se genera ($234\,421\,748\text{ N/m}^2$ es mayor que $40\,322\,500\text{ N/m}^2$) y el coeficiente de seguridad adquiere el valor de 5,8 para el criterio Von Mises máx.

2. El análisis del carbono equivalente permitió determinar una temperatura de precalentamiento para el acero AISI 1045 de $195\text{ }^{\circ}\text{C}$. El diagrama de Schaeffler posibilitó ofrecer una garantía sobre la idoneidad de los electrodos utilizados y proponer al E 309 L-16 para practicar todos los cordones de soldadura necesarios en la tecnología de recuperación.
3. Se efectúa una prueba de hipótesis estadística relativa a la media de la dureza, del diámetro medio exterior e interior del casquillo, así como del diámetro exterior del rodillo; lo que permitió inferir que la macrodureza media de la superficie exterior del casquillo obtenido por medición difiere significativamente de la especificada en el plano, al nivel de confianza del 95 % y que se puede asumir la no existencia de diferencias significativas entre los valores de todos los diámetros medidos y los especificados en el plano, al mismo nivel de confianza (95 %).
4. Se infiere que resulta más factible desde el punto de vista económico recuperar los rodillos desgastados que fabricarlo, puesto que la recuperación arroja un monto de efectivo igual a \$ 505,74 mientras que la fabricación las cifras de \$ 3 204,01 y \$ 7 188,46 para la obtención por laminado y fundición respectivamente.

5. REFERENCIAS

1. Casanova N.1986. Metrología e intercambiabilidad. Departamento de tecnología del maquinado Facultad de construcción de maquinaria. La Habana. 299 p.
2. Garcia, J. Tecnología de recuperación con el empleo de un casquillo y control de parámetros de los rodillos radiales. Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Mecánico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba. Facultad de Metalurgia y Electromecánica. 2016.
3. Hernández, S. 1986: Metrología dimensional. Editorial ISPJAE, La Habana.
4. Martínez, F., *et al.* 1985. Tecnología de los metales. Tomo II. Editorial MES. Ciudad Habana.1. 299 p.
5. Miller, R.; Freun, J. E. & Richar, J. 2005. Probabilidad y Estadística Para Ingeniero. Félix Varela, La Habana.

6. Oliveros, E. Desgaste de los rodillos radiales del transportador sinfín para minerales lateríticos. Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Mecánico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba. Facultad de Metalurgia y Electromecánica. 2011.
7. Prieto, R. Caracterización de las fallas de los rodillos radiales del transportador Jacobi. Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Mecánico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba. Facultad de Metalurgia y Electromecánica. 2013.
8. Sférian D. 1962. "Metalurgia de la soldadura". Editorial tecnos.