

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**REDISEÑO DE UNA PLANTA DE SINTERIZACIÓN PARA
INCREMENTAR SU PRODUCCIÓN DE 320 A 800
TONELADAS/DÍA.**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO**

JOE FERNANDO GARCÍA PENAS

PROMOCIÓN 1998-II

LIMA-PERU

2011

A mi esposa Rocio,

A mis hijos y

A mis padres.

INDICE

	Pág.
PROLOGO	1
CAPITULO I:	
INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Alcances.....	4
1.4 Limitaciones.....	4
CAPITULO II:	
PROCESO DE SINTERIZADO DE MINERAL DE HIERRO.	
2.1 Breve descripción del Proceso Siderúrgico.....	5
2.1.1 Mineral de Hierro.....	5
2.1.2 Carbón de coque.....	6
2.1.3 Alto Horno.....	7
2.1.4 Convertidor.....	9
2.1.5 Colada continua.....	9
2.1.6 Laminador de acero en caliente.....	10
2.1.7 Laminador de acero en frio.....	10
2.2 Descripción del Proceso de Sinterización.....	11
2.3 Definición de los parámetros del proceso de sinterización.....	14
2.3.1 Productividad	14
2.3.2 Tiempo de sinterizado.....	14
2.3.3 Rendimiento.....	14

2.3.4	Permeabilidad.....	15
2.4	Características de las Maquinas Sinterizadoras Dwight Lloyd.....	15
2.5	Aspectos que permiten aumentar la producción en la máquina de sinterización.....	18
2.6	Incremento de la capacidad volumétrica de la máquina de sinterización.....	19

CAPITULO III:

EVALUACION DE LOS EQUIPOS E IDENTIFICACION DE SUS LIMITACIONES.

3.1	Ubicación geográfica y características de la Planta de Sinterización.....	23
3.1.1	Sistema de alimentación.....	25
3.1.2	Manquina de sinterización.....	25
3.1.3	Sistema de los ventiladores de succión.....	26
3.1.4	Sistema de clasificación.....	28
3.2	Capacidad actual de las máquina de sinterización.....	28
3.3	Características requeridas de la máquina de sinterización para incrementar su producción a 800 t/día.....	33

CAPITULO IV:

PLANTEAMIENTO DE LOS CAMBIOS E IMPLEMENTACION DE LAS MEJORAS.

4.1	Planteamiento de las alternativas de cambios.....	40
4.1.1	Incremento de velocidad de 40 a 60 cm/min.....	40
4.1.2	Incremento de la altura de la carga de 160 a 267 mm.....	40

4.2	Evaluación de factibilidad de los cambios requeridos.....	41
4.2.1	Terminología.....	41
4.2.2	Carro de sinterización.....	42
4.2.3	Ruedas de los carros de sinterización.....	47
4.2.4	Engranaje de la transmisión.....	54
4.2.5	Ejes de transmisión.....	61

CAPITULO V:

COSTOS DE LA IMPLEMENTACION

5.1	Determinación de los costos.....	63
5.2	Calculo del retorno de la inversión.....	62

CONCLUSIONES.....	65
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	66
-----------------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA.....	67
--------------------------	-----------

PLANO

ANEXOS

PROLOGO

Toda empresa siempre está en busca de mejoras que le permitan ser competitivas en el mercado nacional e internacional. En la economía mundial, caracterizada cada vez por mayores niveles de competencia, es indispensable buscar siempre incrementar los valores de productividad, que no es otra cosa que producir más con menos recursos. En una empresa u organización existen varios frentes o factores que puede ayudar a incrementar la productividad. Un factor importante es la sinergia entre operación y mantenimiento, que traería como resultado una mayor utilización de la capacidad instalada y una mayor eficiencia en los procesos compartidos. En muchas empresas sin embargo se asumen conductas y concentración de conocimientos aislados entre operación y mantenimiento que impide que el conocimiento fluya en ambas direcciones y perdemos una gran oportunidad de mejoras en la productividad. SIDERPERU por ser una empresa siderúrgica, está inmersa en la globalización y busca mantenerse competitiva en cada una de sus áreas productivas. La Planta de Sinterización cumple su papel, buscando siempre realizar mejoras que involucre a la operación y mantenimiento porque sus trabajadores están convencidos que este es el mejor camino para obtener los mejores beneficios. También son conscientes que los recursos disponibles son escasos y las alternativas más viables son las que requieren una menor inversión.

Este trabajo plantea propuestas de mejoras, que permitirán incrementar la capacidad de producción de 320 a 800 t/día, desarrollada en cinco capítulos. A continuación se presenta un resumen del contenido de cada capítulo:

En el CAPITULO I, se muestra el antecedente, el objetivo, el alcance y las limitaciones del proyecto. Da una idea clara sobre la importancia del proyecto.

En el CAPITULO II, se describe brevemente el proceso siderúrgico y el rol del sinter dentro del proceso. Se describe el proceso de sinterización y los principales parámetros del proceso. También se muestra el principio de funcionamiento de la máquina sinterizadora Dwight Lloyd y los aspectos que debemos tomar en cuenta para incrementar la producción.

En el CAPITULO III, se muestra las características principales de la Planta de Sinterización de SIDERPERU. Es analizada la capacidad actual de la máquina de sinterización y se determina cuales son los cambios necesarios para lograr la producción de 800 t/día.

En el CAPITULO IV, se plantean las alternativas de cambio más viables para la realidad de SIDERPERU. Se evalúa la factibilidad de los cambios mediante la determinación de los nuevos esfuerzos sobre los principales elementos de la máquina y los cálculos para determinar las nuevas dimensiones o propiedades físicas requeridas, que formaran nuestra propuesta de cambios o mejoras que permitan garantizar la sostenibilidad del proceso para la nueva capacidad de producción.

En el CAPITULO V, se muestra el costo necesario para ejecutar los cambios y el tiempo de retorno de la inversión.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedente:

Para mantenerse competitivo en el mercado local e internacional, la empresa busca disminuir sus costos de fabricación de arrabio con el incremento del uso de Sinter en reemplazo del pellets, en el Alto Horno.

En el Alto Horno la carga metálica es 15% de Sinter y 85% de pellets. La empresa ha establecido como meta para los próximos años, aumentar a 30% el uso de Sinter, lo cual requiere que la Planta de Sinterización produzca 800 t/día.

Como la Planta de Sinterización cuenta con dos máquinas sinterizadoras similares de la marca Dwight Lloyd, es necesario que cada máquina produzca 400 t/día.

En los intentos por incrementar la producción fue determinado que era imprescindible realizar cambios en algunos equipos de la Planta de Sinterización.

1.2 Objetivo:

Realizar los cambios necesarios en las máquinas sinterizadoras de la Planta de Sinterización de SIDERPERU para incrementar su capacidad productiva de 320 a 800 t/día, que permitirá incrementar el uso del Sinter en el Alto Horno y disminuir sus costos de producción, debido a que el Sinter es 40% más barato que el Pellets.

1.3 Alcance:

Lograr que la capacidad de producción de las 02 máquinas de Sinterización llegue a 400 t/día x máquina.

1.4 Limitaciones:

Por política de la empresa hay documentación que no será posible mostrar en el presente informe.

CAPITULO II

PROCESO DE SINTERIZADO DE MINERAL DE HIERRO

2.1 Breve descripción del Proceso Siderúrgico.

Proceso Siderúrgico se denomina a la serie de pasos consecutivos que nos llevarán desde una materia prima como el mineral de hierro y el carbón de coque, hasta un producto final como el acero. El acero es una aleación en donde intervienen dos componentes fundamentales: hierro (Fe) y carbono (C).

2.1.1. Mineral de Hierro.

Es un mineral con contenido de hierro, principalmente en forma de óxido, en proporción suficiente como para ser una fuente comercialmente viable de dicho elemento para su uso en procesos siderúrgicos. La mayor parte de los minerales de hierro son óxidos, anhídridos y carbonatos. Bajo el punto de vista industrial, solo los óxidos son aptos para la metalurgia.

En el proceso metalúrgico para fabricación de acero se utiliza principalmente en dos formas el mineral de hierro: El pellets y el sinter.

El PELLETS, mostrado en la figura 2.1, son aglomerados esféricos de partículas finas de mineral de hierro mezclado con diversos aglomerantes y aditivos (caliza, dolomita, combustibles sólidos, otros),

los cuales son consolidados a altas temperaturas. Se puede utilizar en la alimentación de altos hornos y hornos de reducción directa.



Figura 2.1 Forma del pellets.

El SINTER, mostrado en la figura 2.2, se utiliza como portador de hierro en la carga del Alto Horno, es en parte un material reciclado. Es un aglomerado en caliente de finos (partículas que no cumplen con la granulometría adecuada para el proceso en el cual se requieren).

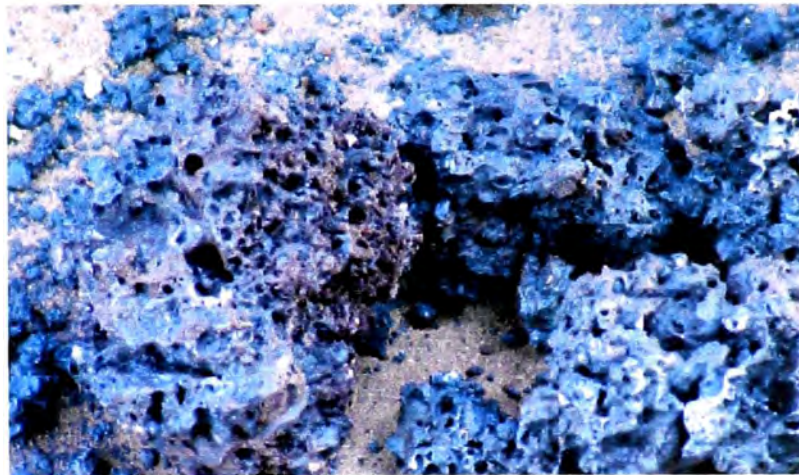


Figura 2.2 Forma del sinter

2.1.2. Carbón de Coque.

El Coque metalúrgico es obtenido en las plantas de coquización, con recuperación de subproductos, a partir de una cuidadosa selección de carbones para cumplir con las estrictas propiedades químicas y granulométricas que exige su uso en la industria de la fundición. El

proceso de generación de coque no es más que la introducción de carbón en un horno de la batería y dejarlo coquizando (calentando / quemando) durante un tiempo entre 10-24 horas (dependiendo del tamaño del horno).

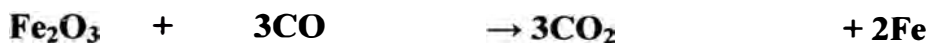
2.1.3. Alto Horno.



Figura 2.3 Diseño típico de los Altos Hornos

La función del alto horno es reducir los minerales de hierro, es decir, liberar al hierro del oxígeno con el que se encuentra combinado. El producto obtenido en el Alto Horno es el hierro fundido y se le conoce como arrabio. Los materiales básicos empleados para fabricar arrabio son mineral de hierro (pellet y/o sinter), coque y caliza. El coque se quema como combustible para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono, que se combina con los óxidos de hierro del

mineral y los reduce a hierro metálico. La ecuación de la reacción química fundamental de un alto horno es:



Hematita + monóxido de carbono → dióxido de carbono + Hierro

La caliza de la carga en el horno se emplea como fuente adicional de monóxido de carbono y como sustancia fundente. Este material se combina con la sílice presente en el mineral (que no se funde a las temperaturas del horno) para formar silicato de calcio, de menor punto de fusión. Sin la caliza se formaría silicato de hierro, con lo que se perdería hierro metálico. El silicato de calcio y otras impurezas forman una escoria que flota sobre el metal fundido en la parte inferior del horno. El arrabio producido en los altos hornos tiene la siguiente composición: un 92% de hierro, un 3 o 4% de carbono, entre 0,5 y 3% de silicio, del 0,25% al 2,5% de manganeso, del 0,04 al 2% de fósforo y algunas partículas de azufre. El arrabio obtenido en el alto horno, es por tanto un material duro y frágil que no puede extenderse en hilos ni en láminas, de ahí su escasa aplicación industrial. Para convertir este arrabio en acero (material duro, elástico, capaz de absorber impactos y que se puede extender en hilos y láminas) es necesario reducir su contenido en C. Esta transformación se lleva a cabo en la acería, en un recipiente llamado **convertidor**.

2.1.4. Convertidor.

El convertidor utiliza el oxígeno para oxidar los constituyentes del arrabio no deseados en el acero, como son el Carbono, el Silicio, el fósforo, etc.; mientras que para eliminar el azufre, se generan escorias metalúrgicamente activas mediante la adición de fundentes (presencia de óxidos de calcio y magnesio). Esas oxidaciones son reacciones químicas que elevan la temperatura del baño líquido. Para regular ese calor que se libera en el baño, se carga alrededor de un 20% de chatarra sólida, que se funde en el baño líquido. En el convertidor el nivel de carbono baja desde el 4 - 4,6% hasta valores inferiores al 1%.

2.1.5. Colada continua.

Es la solidificación del acero con sección constante. El acero se trasvasa desde la cuchara a una artesa que actúa como regulador; de esta se pasa a un molde refrigerador, de manera que la parte superficial exterior se solidifica, y es capaz de soportar la presión interior del líquido. Una vez fuera del molde, se continúa la refrigeración inyectando chorros de agua al acero, de esta forma el espesor solidificado aumenta hasta la obtención de un producto sólido. De las máquinas de colada continua se obtienen distintos productos que dependen de la forma del molde:

- **Desbastes planos:** destinados a la fabricación de chapas.
- **Desbastes de sección cuadrada:** destinados a la fabricación de perfiles y carriles.

- **Palanquillas de sección cuadrada:** más pequeños que los desbastes de sección cuadrada destinados a la sección de redondos.

2.1.6. Laminador del acero en caliente.

Luego los desbastes de acero, obtenidos en la colada continua, se pasan a los trenes de laminación y se somete a un proceso de laminación para darle la forma y características mecánicas adecuadas. Mediante este proceso se puede obtener principalmente: Alambrón, barras de construcción, perfiles, chapa gruesa y bobinas de bandas laminadas en caliente.

2.1.7. Laminación del acero en frío.

Tiene lugar a temperatura ambiente, se emplea cuando el espesor de la chapa requerido es muy pequeño y se precisa un buen acabado superficial. Las bobinas laminadas en caliente salen con una capa superficial de óxido, cascarilla, que hay que eliminar antes de la laminación en frío para evitar defectos superficiales importantes. Para ello, se hace pasar la chapa por unos rodillos que agrietan la cascarilla facilitando la acción limpiadora de un ácido. Luego se lava con agua, se seca y se recubre con una capa de aceite protectora.

La laminación en frío provoca cambios importantes en la estructura interna del acero de modo que disminuye su capacidad de deformación. Para recuperar la estructura interna, se le somete a un proceso de recocido consistente en calentar el material, mantenerlo a

esta temperatura durante un tiempo y enfriarlo luego de forma controlada.

2.2 Descripción del proceso Sinterización.

Sinterización puede ser definido como un proceso de transformación de finas partículas a trozos de aglomerados. De los procesos para la aglomeración de minerales de hierro, la sinterización es una operación metalúrgica simple, que se origina de una semi-fusión producida por el calor generado de la combustión de un combustible sólido agregado a la mezcla de finos de mineral, dando lugar a una masa porosa llamada "sinter"; que por sus características de: tamaño, análisis químico, dureza y reducibilidad es utilizado en los Altos Hornos.

Antes de la sinterización, primero el mineral de hierro es mezclado generalmente con cal (fundente), coque (combustible) y otros subproductos de recirculación de otras plantas con aporte metálico (por ejemplo: escamas y lodos). Estos materiales se homogenizan, humedecen y aglomeran en un tambor mezclador, hasta obtener una mezcla de micronódulos permeables. La permeabilidad permitirá posteriormente el flujo de aire a través de la carga.

La mezcla se deposita en las "máquinas de sinterización", que podrían considerarse como transportadores metálicos que constan de un gran número de carros (Bandejas con ruedas).

Encima del transportador hay una campana recubierta internamente con refractario y provista de quemadores para calentar la superficie del material

entre 1100-1200 ° C. Esto hace que el combustible de la capa superior de la mezcla se encienda (ver figura 2.4).

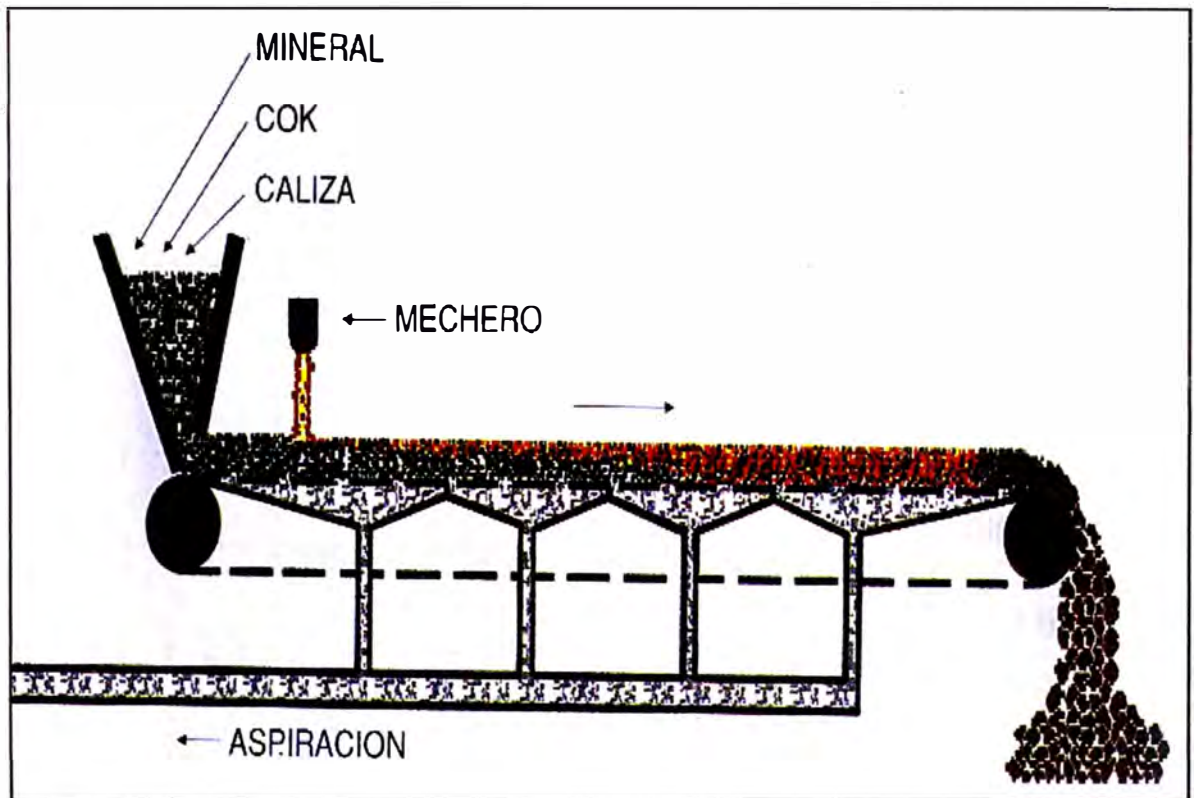


Figura 2.4 Esquema del proceso de sinterizado

Luego la combustión se propaga de la parte superior hacia la inferior, por el flujo de aire que pasa a través de la cama originado por la depresión que hay debajo de carga. La depresión debajo de la carga a su vez es originada por la succión de ventiladores de gran potencia. El proceso de sinterización se concluye una vez que el frente de llama ha pasado a través de toda la mezcla y todo el combustible ha sido quemado. Cuando la combustión del coque alcanza la parte inferior de la parrilla la operación se considera finalizada.

Luego el aglomerado pasa por un proceso de molienda y clasificación (mediante el zarandeo) donde se separa el “sinter producto” que posteriormente será enviado al Alto Horno y el material restante vuelve al proceso como “sinter retorno”. Para que el sinter sea adecuado para el Alto

Mineral de Fierro Iron Ore	Hematita (Fe₂O₃) Hematite
	Magnetita (Fe₃O₄) Magnetite
	Otros Others

Composición del Sinter
Composition of sintered Ore

T.Fe	65-68%
SiO₂	4.5-6.0%
Al₂O₃	<2.0%
CaO / SiO₂	1.5-2.3

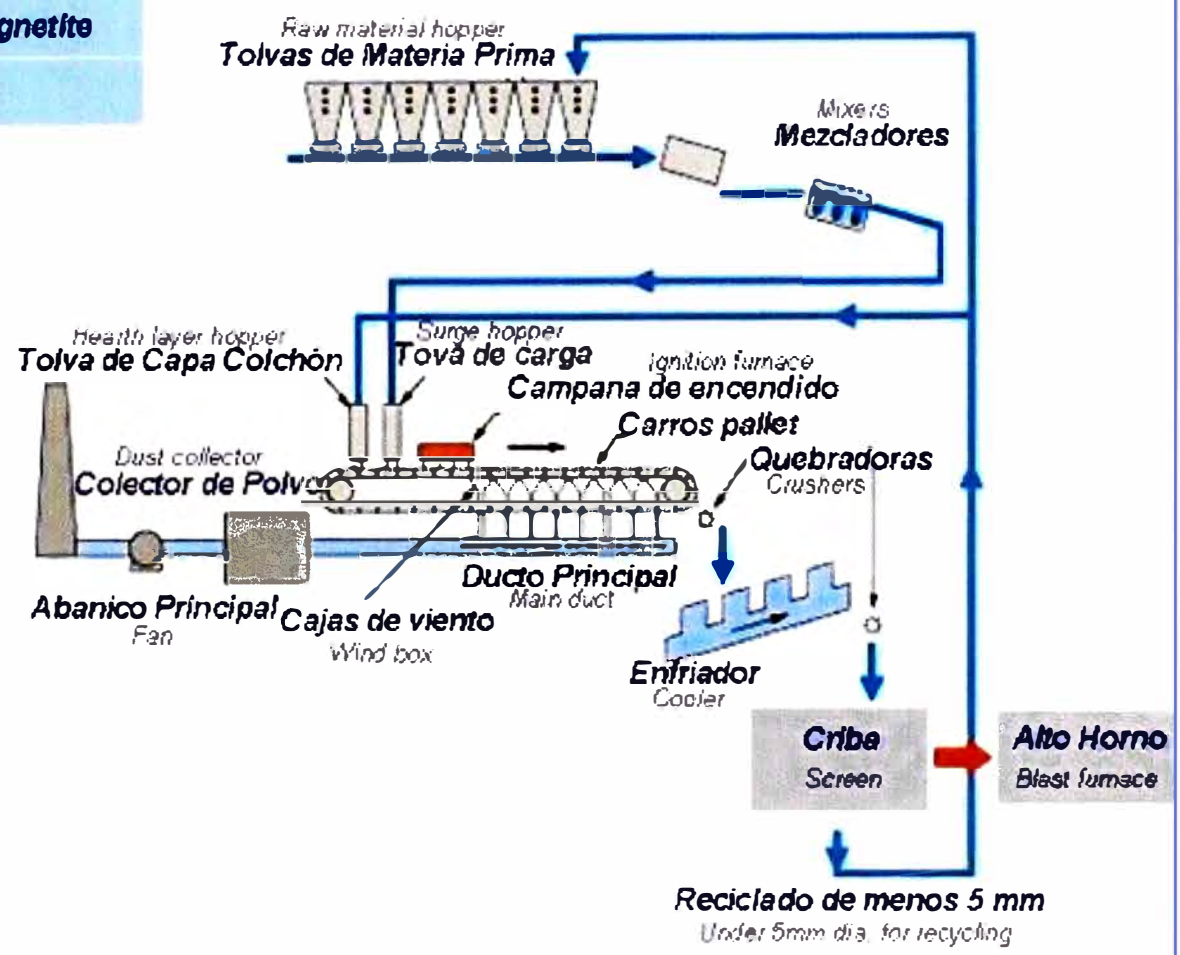


Figura 2.5 Flujo de proceso de sinterización

Horno, debe tener una granulometría uniforme y una menor degradación durante el transporte hacia el lugar de consumo.

2.3 Definición de los parámetros del proceso de sinterización.

Para el propósito de este estudio tomaremos como referencia los parámetros de: productividad, tiempo de sinterizado y rendimiento [8].

2.3.1 Productividad.

La productividad o ratio de producción es un parámetro muy importante mediante el cual la capacidad de las Plantas de Sinterización son comparadas. Es expresado como el peso del sinter producido en toneladas (t) con tamaño +5 mm por metro cuadrado del hogar por día ($t/m^2/d$).

2.3.2 Tiempo de sinterizado:

Es definido como el tiempo desde el inicio de la ignición de la carga hasta el tiempo donde la temperatura del gas es máxima. Esto es expresado en minutos.

2.3.3 Rendimiento:

Es el ratio en peso del sinter producido entre el total de la materia prima alimentada al proceso, expresada en porcentaje.

2.3.4 Permeabilidad:

El termino permeabilidad es ampliamente usado en ingeniería y denota la facilidad de flujo del fluido a través de la cama de partículas. La permeabilidad de la cama de sinter juega un rol importante en la productividad.

De acuerdo a la definición de permeabilidad, podemos definir el caudal o flujo de aire necesario, que debe pasar a través de la carga, para lograr la sinterización como:

$$Q = W \times A \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

Q : Caudal de aire que para a través de la carga (Nm³/s)

W : Permeabilidad de la carga.

A : Área de la zona de sinterizado (m²).

2.4 Características de las Maquinas sinterizadoras Dwight Lloyd.

El proceso de sinterización fue el resultado de una serie de experimentos llevado a cabo por Dwight and Lloyd en la planta de Cananea Consolidated Copper Co. aproximadamente en los años de 1900. El prototipo de la máquina que actualmente conocemos fue originalmente llamado Tipo E y ahora es conocido ampliamente como la máquina de sinterización Dwight-

Lloyd. Las dos primera instalaciones de las maquinas de sinterización Dwight-Lloyds fueron en Cerro de Pasco Mining Co. in Perú y en American Smelting & Refining Co. at Maurer, N. J., ambas máquinas fueron instaladas en 1907 para minerales de sulfuro [7]. La máquina consistían en una tolva de alimentación, un horno de encendido, una o varias cajas de succión, un tren de bandejas que conforman el transportador metálico (Figura 2.6). Las bandejas son cajas sobre ruedas con dos bordes a los costados y el fondo en forma de emparrillado. Las bandejas avanzan por carriles (Figura 2.7). El movimiento del transportador se logra mediante una rueda dentada (sprocket) que engancha con los dientes las bandejas por abajo, la empujan hacia arriba y la siguen empujando hasta que los dientes de las ruedas quedan engranados con los rodillos de la bandeja. Cada bandeja precedente arrastra la posterior. El movimiento de las ruedas dentadas crea cierta presión de una bandeja sobre la otra, lo que impide la formación de holguras entre las bandejas. En la parte de descarga las bandejas pasan al carril inferior y el carro rueda hacia las ruedas dentadas bajo la acción de su propio peso. Debajo el carril superior de la instalación están dispuestas las cajas de succión comunicadas al o a los ventiladores. La velocidad lineal del transportador puede ajustarse de acuerdo a las necesidades, variando normalmente de 7 a 30 pulg./min [7].

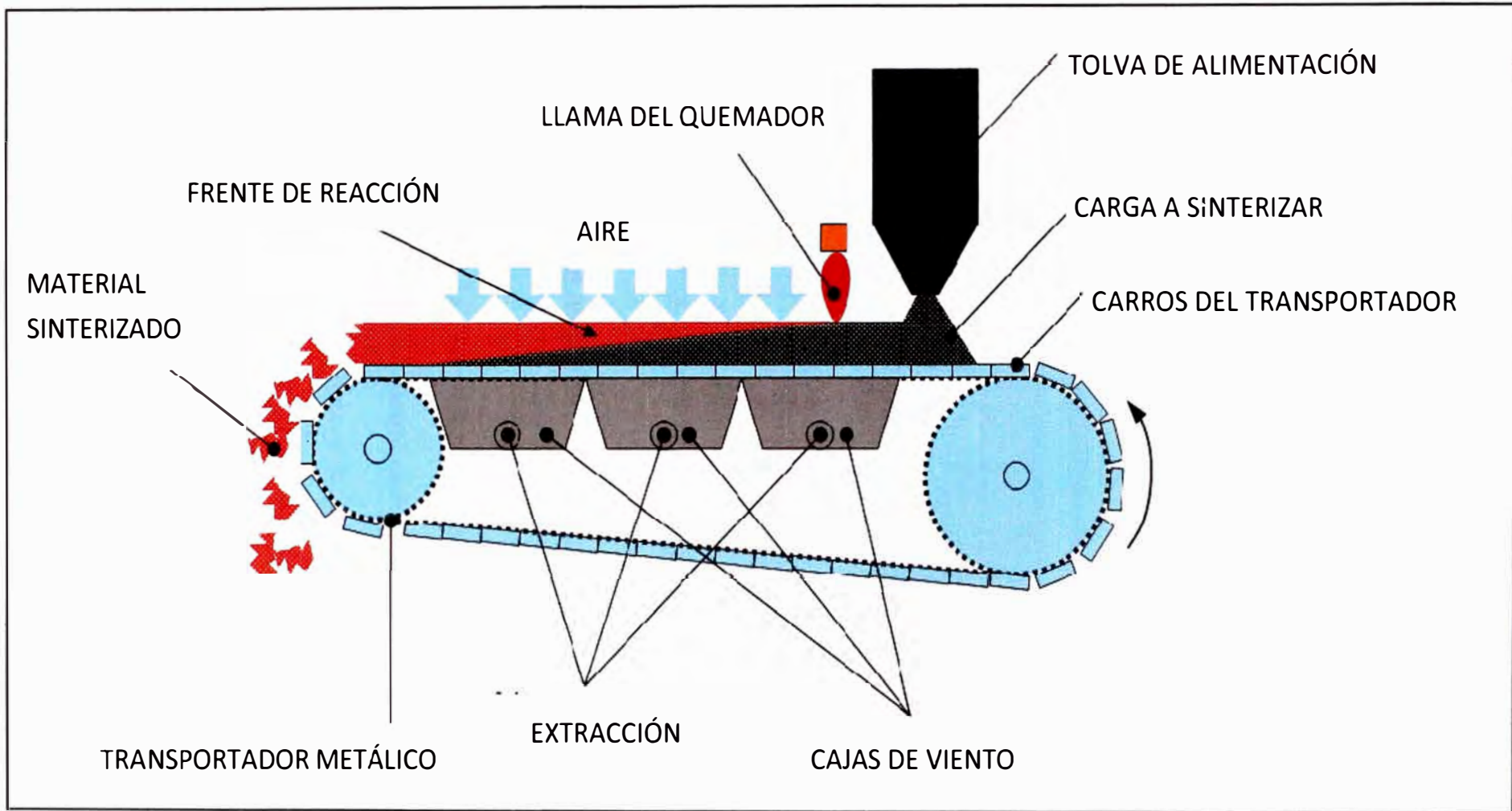


Figura 2.6 Representación típica de la máquina de sinterización

La altura de la carga a sinterizar puede llegar hasta 600 mm de altura y la presión de succión puede llegar a 2000 mmH₂O [8].

Debajo de la carga a sinterizar de altura (h) se coloca una capa o cama de sinter granulado para protección de aprox. 25 mm de altura (h_i); y debajo de la capa de protección hay paletas o barras de acero. Las paletas son resistente a la temperatura y deben ubicarse espaciadas para permitir el flujo de aire a travez de la carga (Figura 2.7).

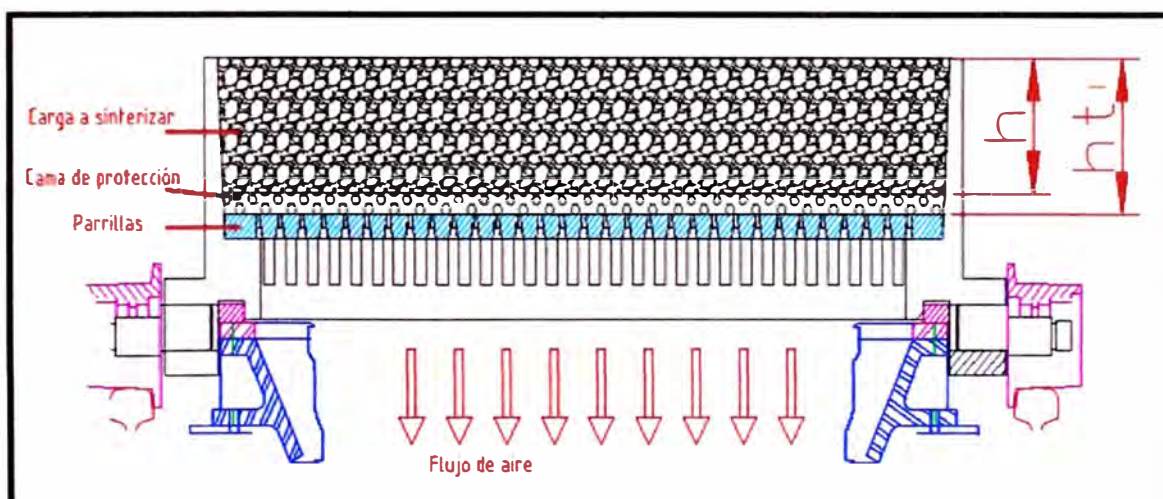


Figura 2.7 Representación de la carga a sinterizar

2.5 Aspectos que permiten aumentar la producción en la máquina de sinterización.

El incremento de la producción en la planta de sinterización se puede lograr:

- a) **Mejorando la efectividad global de la máquina:** Es posible mejorando la disponibilidad, la eficiencia y la calidad; es decir disminuyendo o eliminando los tiempos perdidos, la pérdida de velocidad de los equipos y los defectos respectivamente. Este aspecto está relacionado con la gestión en el mantenimiento y la operación.

- b) **Incrementando el área de sinterización:** Es posible incrementando el ancho y/o el largo útil de la máquina. Este aspecto está relacionado con la reingeniería de la máquina.
- c) **Incrementando la capacidad volumétrica de la máquina:** Es posible modificando o rediseñando el transportador metálico que forma parte de la máquina, sin embargo tiene restricciones mecánicas y de operación que se debe tomar en cuenta. La modificación puede consistir en el aumento de la velocidad del transportador y/o aumentando el tamaño de la bandeja. También está relacionada con la reingeniería de la máquina.
- d) **Mejorando la permeabilidad de la materia prima:** La productividad y la calidad del sinter son dependientes fuertemente de la permeabilidad de la carga cruda (antes de sinterizar). Esto se puede conseguir mejorando la materia prima, lo que no está dentro del alcance de este estudio.

Para el presente estudio sólo consideraremos los puntos b) y c) que están relacionados con el incremento de la capacidad de producción de la máquina de sinterización. Los otros puntos están relacionados con el rendimiento.

2.6 Incremento de la capacidad volumétrica de la máquina de sinterización.

Como habíamos descritos anteriormente la máquina sinterizadora es un transportador metálico, entonces su capacidad de producción depende de la velocidad del transporte (v), de la altura de la carga (h), del ancho útil del transportador (w_u) y de la densidad del material (ρ), y puede determinarse de la siguiente manera:

$$P_b = v \times h \times w_u \times \rho$$

Considerando que cualquier cambio que propongamos no variará las características de la carga ($\rho = \text{cte.}$) y el ancho útil del transportador ($w_u = \text{cte.}$), entonces podríamos decir:

$$\frac{P_b}{v \times h} = \text{cte} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Donde:

P_b : Producción bruta (t).

v : Velocidad lineal del transportador (cm/min).

h : Altura útil de la carga (mm).

Como también habíamos mencionado antes, las variaciones de la velocidad y la altura de la carga tiene restricciones.

Restricciones para la velocidad:

Michael O. Holowaty (1955) indica que las primeras máquinas sinterizadoras Dwight-Lloyd podían ajustar su velocidad lineal de acuerdo a la necesidad desde 7 a 30 in por minuto (aproximadamente de 17,8 a 76,2 cm/min).

Restricciones para la altura de la carga:

Begman, E.F. (1974) muestra la relación entre la presión de succión, la altura de la carga y la permeabilidad y está dada por la formula:

$$\Delta P = R \times h \times W^n \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

ΔP : Diferencia de presión entre encima y debajo de la carga a sinterizar (mmH₂O).

h : Altura útil de carga en el carro de sinterización (mm).

W : Permeabilidad del compuesto a sinterizar ($m^3/m^2 \times h$).

R, n : Constantes que dependen de la granulometría de la composición.

La permeabilidad de la carga a sinterizar es función de la humedad y de la granulometría de sus componentes y si estos parámetros no cambian, la altura de la carga (h) y la presión de succión (ΔP) varían proporcionalmente.

Begman, E.F. (1974) muestra la relación entre la productividad ($t/m^2 \times h$) y la presión succión (mmH_2O). Ver figura 2.8.

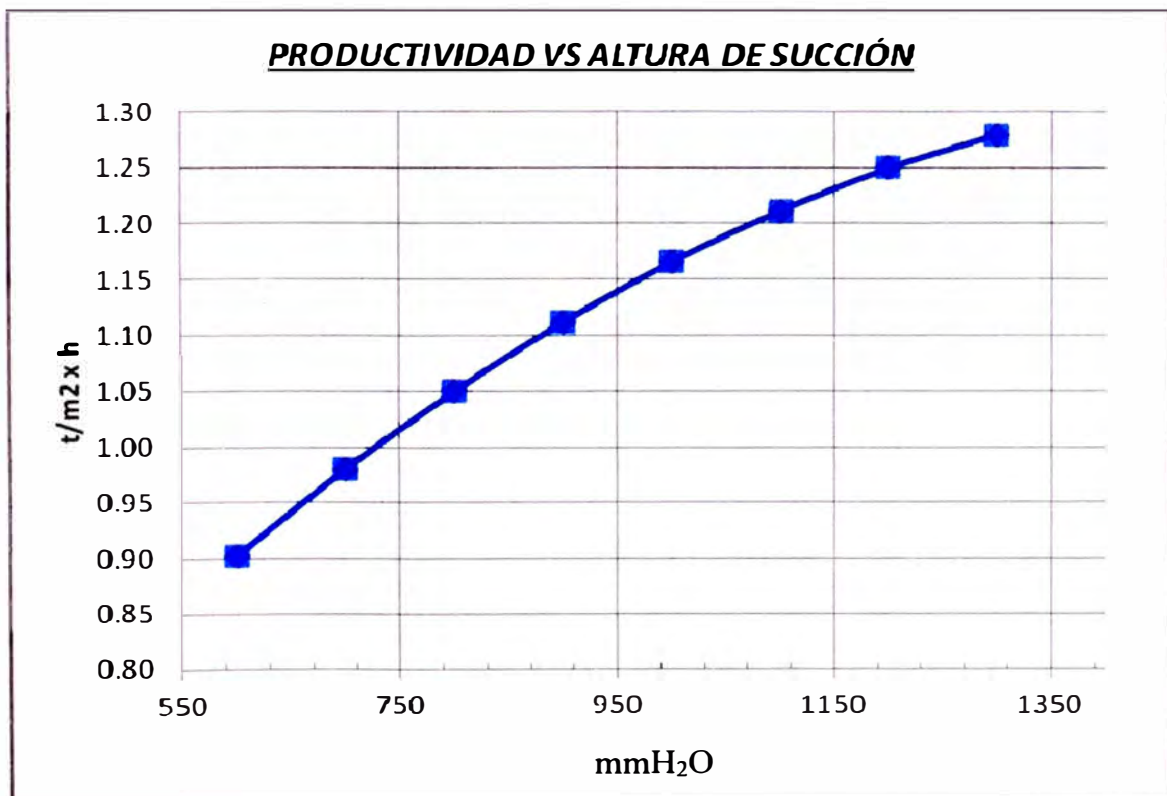


Figura 2.8 Gráfico de beggman que representa la relación entre productividad y la succión en las maquinas de sinter.

La productividad se define como:

(Ec. 2.4)

Donde:

M : Productividad ($t/m^2 \times hr$).

P : Producción de + 5mm por día (t).

A : Área de la zona de sinterizado (m^2).

T : Horas de producción por día (hr).

De la gráfica se deduce que si se incrementa la presión de succión la productividad aumenta, es decir que para la misma área y las mismas horas de operación se puede lograr mayor producción. En conclusión podemos incrementar la productividad incrementando la altura de la carga (h). Como habíamos mencionado anteriormente la altura puede llegar a 600 mm.

CAPITULO III

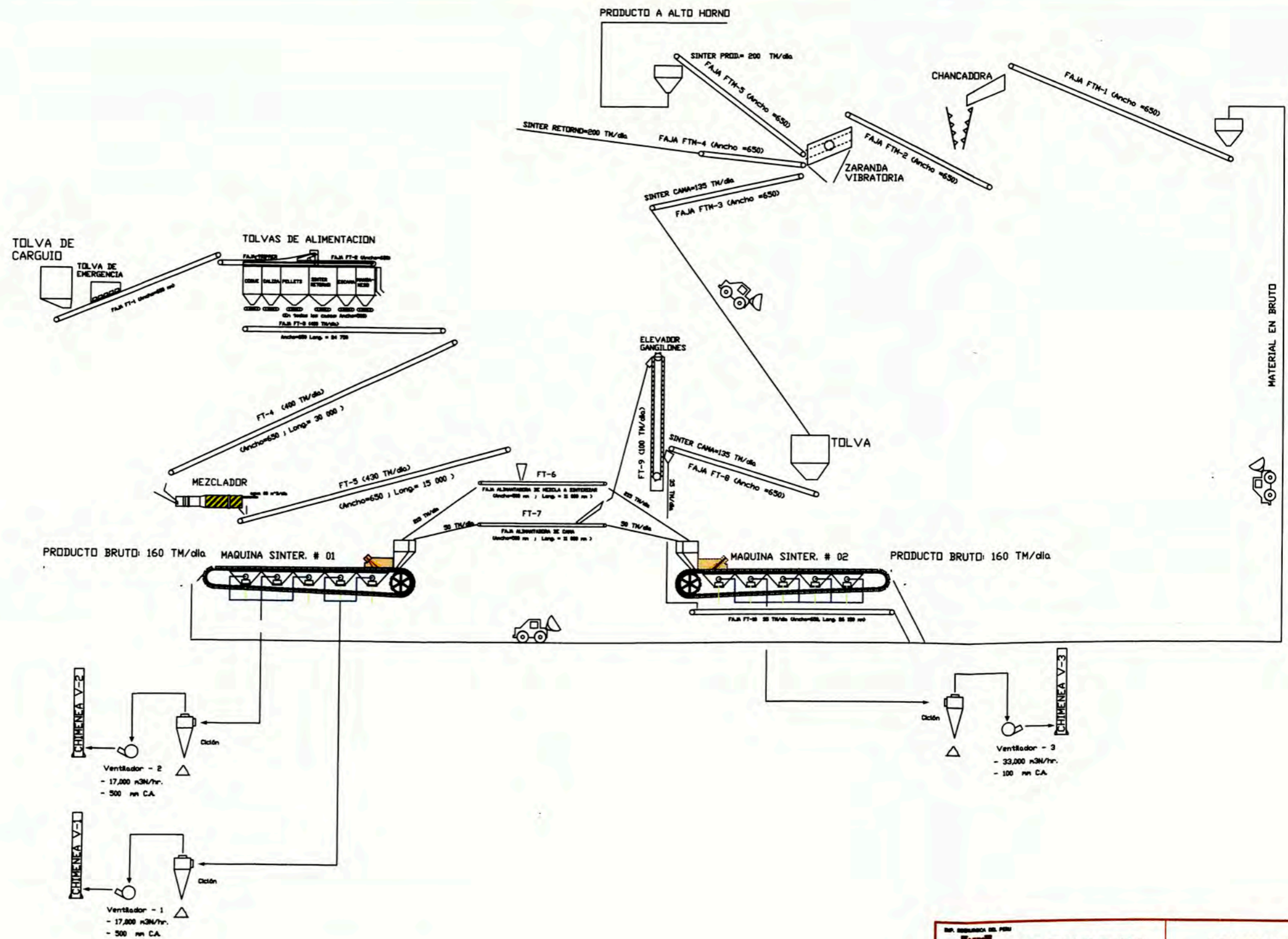
EVALUACION DE LOS EQUIPOS E IDENTIFICACION DE SUS LIMITACIONES

3.1 Ubicación geográfica y características de la Planta de Sinterización.

SIDERPERU, está ubicada en la ciudad de Chimbote a 420 Km al norte de Lima y es el complejo siderúrgico más grande del país. Inició su operación en 1958, produce planchas y bobinas de acero para la industria metal-mecánica (productos planos) y barras de acero para la minera y la construcción (productos largos).

En SIDERPERU hay 05 áreas productivas que son: Hierro, Acería, No planos y Planos. La empresa siempre busca realizar mejoras en todas sus unidades con la finalidad de conseguir productos con calidad y precios competitivos para el mercado local e internacional.

La Planta de Sinterización está ubicada dentro del Área de Hierro, su producto es una de las materias primas utilizadas en la fabricación de arrabio en el Alto Horno. En el Alto Horno se utilizan como carga metálica el pellets y el sinter. El pellets es comprado a empresas locales y extranjeras, transportados vía marítima y desembarcados en el Muelle que es de propiedad de la empresa, mientras que el sinter es producido en la Planta de Sinterización de Siderperu, que tiene una capacidad de producción bruta de 320 t/día y la meta es llegar a 800 t/día.




 SIDERPERU		PROYECTOS	
UNIDAD: PLANTA DE SINTERIZACION			
TITULO: DIAGRAMA DE FLUJO			
DIBUJO: J. GARCIA	REVI: J. GARCIA	FORMATO: A3	REV.
DISEÑO: J. GARCIA	APROB: J. GARCIA	N° M-000001	
ESCALA: SIN ESCALA	FECHA: Noviembre-2000		

Figura 3.1 Diagrama de flujo de la Planta de sinter en SIDERPERU

La Planta de Sinterización de SIDERPERU fue comprado a la empresa Cerro de Pasco Mining Co. y su diseño original fue para producir sinter de plomo.

La planta de sinterización de SIDERPERU consta de equipos diversos que contribuyen al proceso, tal como se muestra en la figura 3.1.

La Planta puede dividirse de la siguiente manera:

- Sistema de alimentación.
- Máquinas de sinterización.
- Sistema de los ventiladores de succión.
- Sistema de clasificación.

3.1.1 Sistema de alimentación.

Está conformado por todos los equipos que permiten el abastecimiento de la materia prima, en proporciones adecuadas y aglomeradas, a las máquinas de sinterización. Consta de: tolvas, fajas transportadoras, fajas de dosificación de carga (velocidad regulada), un elevador de cangilones y un tambor mezclador.

3.1.2 Máquinas de sinterización.

Es donde se realiza el proceso de transformación de la materia prima para obtener el sinter. Consta de 02 máquinas sinterizadoras similares; cada máquina contiene 75 carros transportadores (ver figura 3.2). Debajo de cada máquina sinterizadora hay 05 cajas de succión idénticas que permiten el pase de aire por la carga a sinterizar y permiten la combustión del coque, según se muestra en la figura 3.3.

La máquina de sinterización es la parte principal de la planta y requiere especial atención para lograr las nuevas metas de producción.

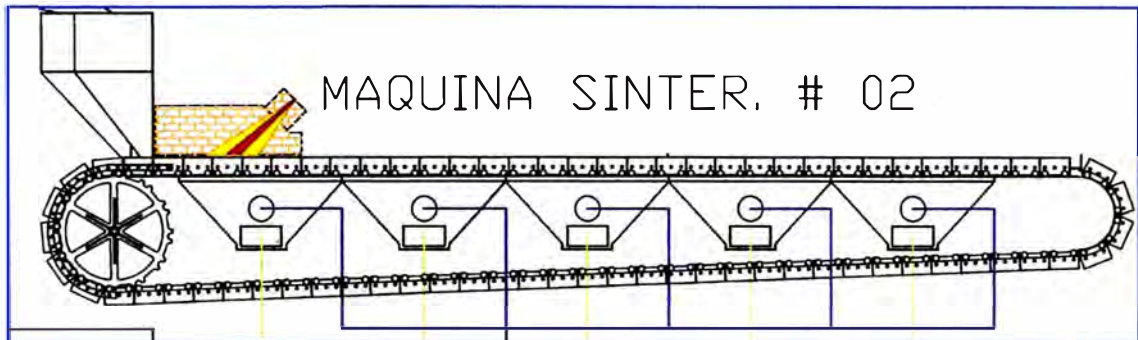


Figura 3.2 Esquema de la máquina de sinterización de SIDERPERU

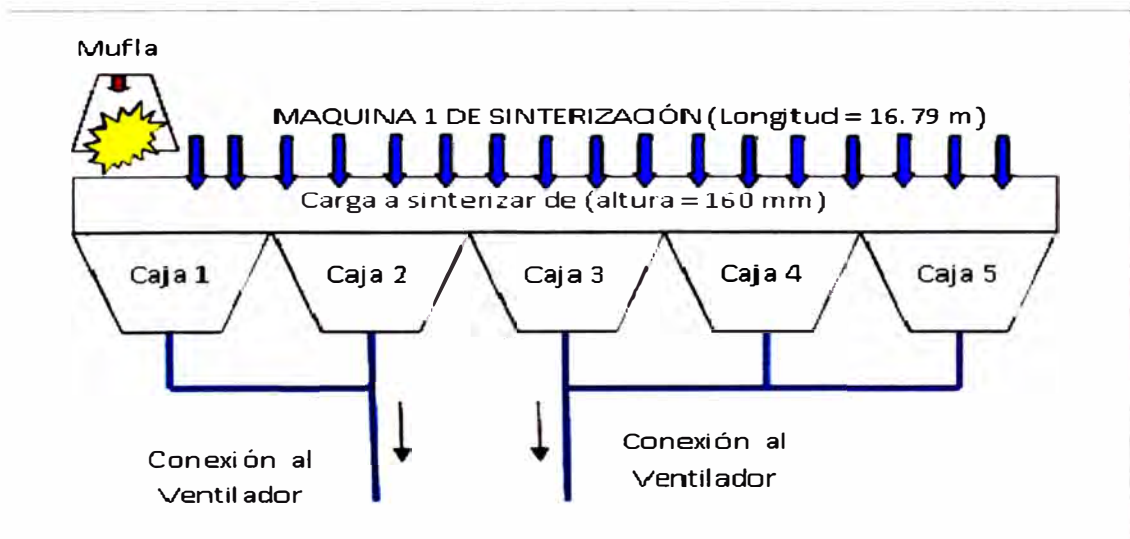


Figura 3.3 Representación del pase de aire a través de la carga a sinterizar

3.1.3 Sistema de los ventiladores de succión.

Consta de 03 ventiladores de succión de grandes caudales. Dos de ellos están conectados a la máquina de sinterización N°1 y el restante a la máquina de sinterización N°2 (ver figura 3.4). Los ventiladores deben ser capaces de lograr el pase de aire, en cantidades suficientes, a través de la carga para que haya combustión del coque que dará la energía al proceso para la transformación metalúrgica.

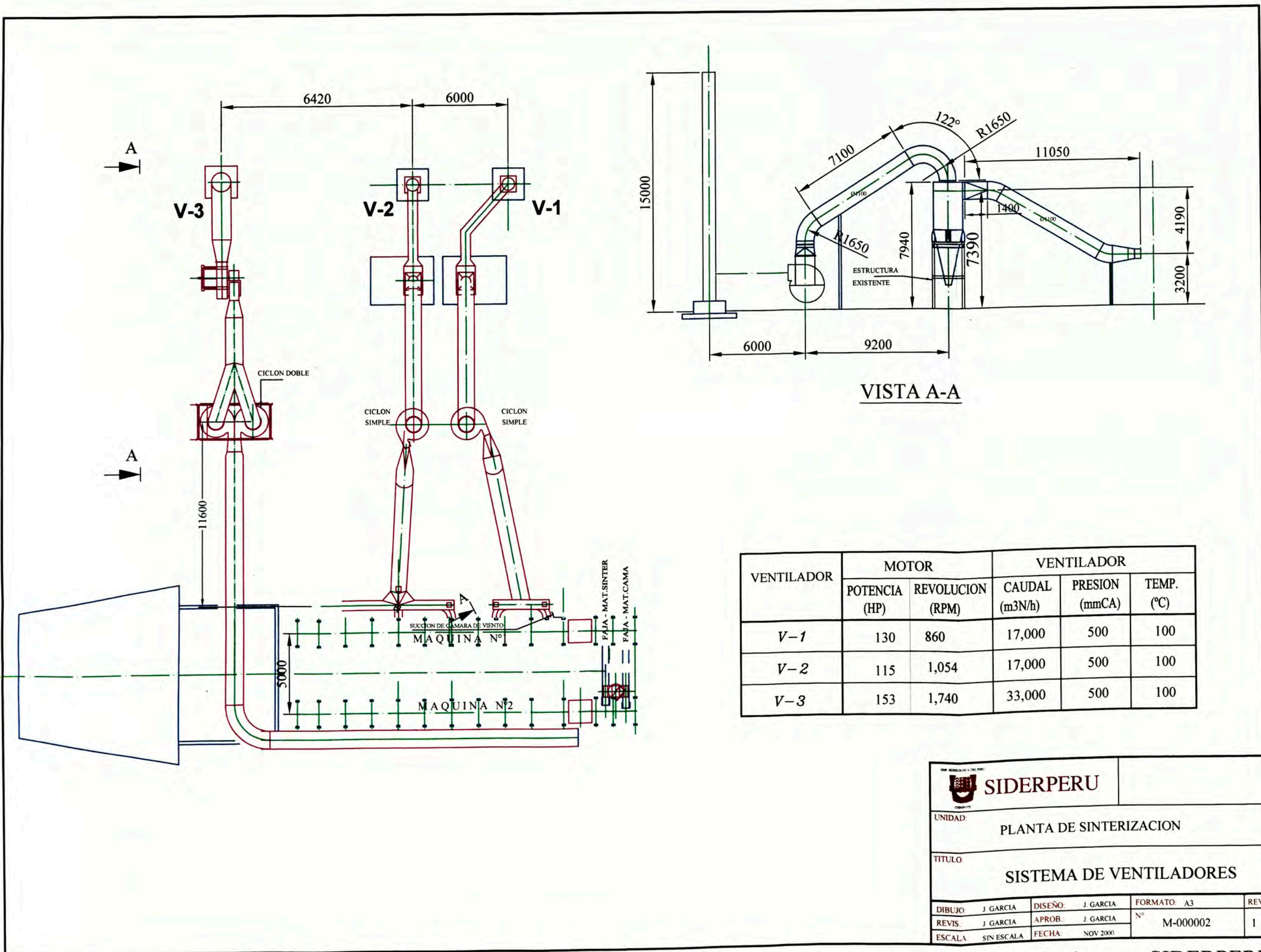


Figura 3.4 Esquema del sistema de los ventiladores de succión de la Planta de sinter en SIDERPERU

3.1.4 Sistema de clasificación.

Lo conforman los equipos que permiten clasificar todo el material producido (carga bruta) y obtener mediante trituración y zarandeo el material que será enviado al Alto Horno (producción neta). Consta de tolvas, fajas transportadoras, una chancadora y una zaranda.

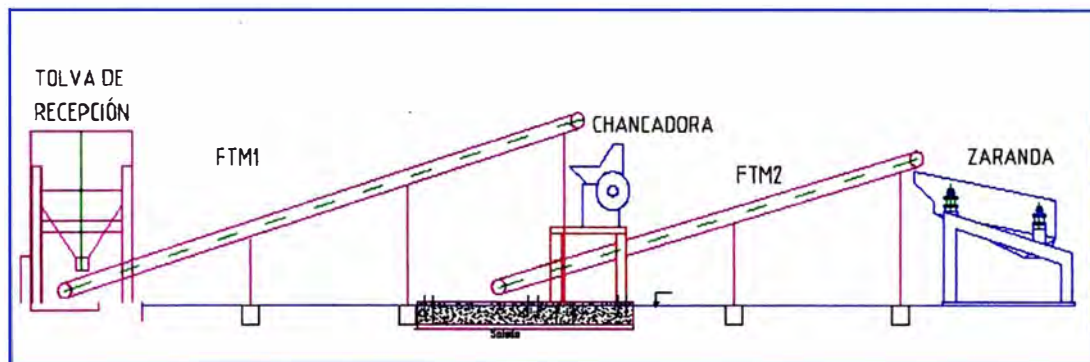


Figura 3.5 Esquema del sistema de clasificación

3.2 Capacidad actual de la máquinas de sinterización.

Como indicamos al inicio la necesidad de la empresa es incrementar la producción de la Planta de Sinterización, para ello es importante analizar primero las máquinas de sinterización, pues es el corazón del proceso, porque si no es posible el incremento en ellas, no tiene sentido continuar el análisis en los otros equipo. Es por eso que nuestro proyecto abarca este aspecto.

Como las dos máquinas sinterizadoras son similares, se analizará una sólo y el resultado es aplicable a la siguiente. Cada máquina de sinterización tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Marca	: Dwight Lloyd.
Velocidad (v)	: 40 cm/min.
Producción bruta (P _b)	: 160 t/d x máquina.
Producción neta (P = 0.6 x P _b)	: 96 t
Tiempo de operación (T)	: 24 h/d.
Altura de la carga a sinterizar (h)	: 160 mm.
Longitud útil de la máquina (L _u)	: 16.75 m.
Ancho útil de la máquina (w _u)	: 1.06 m.
Área útil disponible (A _{ud})	: 17,76 m ²
Presión de succión (ΔP)	: 250 mmH ₂ O
Caudal de los ventiladores (Q _v)	: 10.42 m ³ N/s (*)
Caudal de succión (Q = 0.9Q _v)	: 9.38 m ³ N/s (+)

(*) Caudal generado por dos ventiladores en la máquina 1.

(+) El factor 0.9 se debe a las fugas de sistema.

En la actualidad tan sólo se trabaja con 3 de 5 cajas de sinterización (60%); es decir las cajas 4 y 5 está con las compuertas cerradas, de lo contrario se genera sobrecarga en el motor de los ventiladores.

Entonces el área de trabajo “A” es:

$$A = \left(\frac{3}{5}\right) x A_{ud} = \left(\frac{3}{5}\right) x 17.76$$

$$A = 10.66 \text{ m}^2$$

Ahora necesitamos conocer la permeabilidad de la carga de sinterizado en nuestra condición actual. Reemplazando los valores de caudal y el área en la Ec. 2.1.

$$Q = W \times A$$

$$9.38 = W \times 10.66$$

Despejando:

$$W = 0.88 \text{ m}^3 \text{ N} / \text{m}^2 \times \text{s}$$

Para determinar el comportamiento específico de la máquina, definiremos las constantes de la ec. 2.:

El valor de “n” toma el valor de 1.77 considerando que la granulometría del material es menor a 5 mm (valor obtenido del libro de E.F. BEGMAN [1]).

El valor de “R” la obtendremos de la ecuación 2.3:

$$\Delta P = R \times h \times W^n$$

$$250 = R \times 160 \times 0.88^{1.77}$$

$$R = 1.96$$

Siendo la fórmula a utilizar en la máquina de sinterización de SIDERPERÚ:

$$\Delta P = 1.56 \times h$$

Ec. 3.1

Con la **ec. 2.4** calcularemos también el valor de la productividad de la máquina de sinterización de SIDERPERÚ:

$$M_{\text{Sider}(250)} = \frac{P}{A \times T}$$

$$M_{\text{Sider}(250)} = \frac{96}{10.66 \times 24}$$

$$M_{\text{Sider}(250)} = 0.38$$

Ahora determinaremos cual es la máxima capacidad que puede desarrollar la máquina de sinterización de SIDERPERU de acuerdo a los estándares internacionales.

Para los cálculos posteriores utilizaremos gráficos y formulas del libro "TEORIA Y TECNOLOGÍA DE LA SINTERIZACIÓN" del autor E.F. BEGMAN [1].

De la figura 3.6 podremos obtener la productividad de la curva de Begman. Como en la planta de sinter el valor ΔP es de 250 mm, menor al valor mínimo de la gráfica, es necesario extrapolar, obteniéndose $M_{\text{Begman}(250)}$ de la máquina de sinterización para $\Delta P = 250$ mm:

$$M_{\text{Begman}(250)} = 0.57$$

Observamos que la planta de sinterización de SIDERPERÚ tiene productividad menor a la productividad obtenida por la gráfica de Begman.

Los valores de productividad de Begman sólo lo utilizaremos como referencia del límite máximo y tendencia, por ser estándares internacionales. Para llegar a estos estándares es mejorando el proceso metalúrgico y en este estudio no entraremos en ese análisis.

Consideraremos un factor de corrección para la Planta de Sinterización de SIDERPERÚ en relación a la curva de productividad de Begman.

$$F_{\text{corecc}} = M_{\text{Sider}} / M_{\text{máxBegman}}$$

$$F_{\text{corecc}} = 0.38 / 0.57 = 0.67$$

En base a este factor elaboraremos la curva de productividad de SIDERPERU en función de la presión de succión ΔP (ver figura 3.6).

Del análisis anterior podemos resumir:

- Tenemos un 40% de área disponible que podemos utilizar e incrementar la producción. Sin embargo utilizarla requerirá incremento en el volumen de aire de los ventiladores.
- Hay una relación directamente proporcional entre la presión de succión y la altura de la carga; es decir si aumenta la altura de carga será necesario mayor presión de succión en los ventiladores.

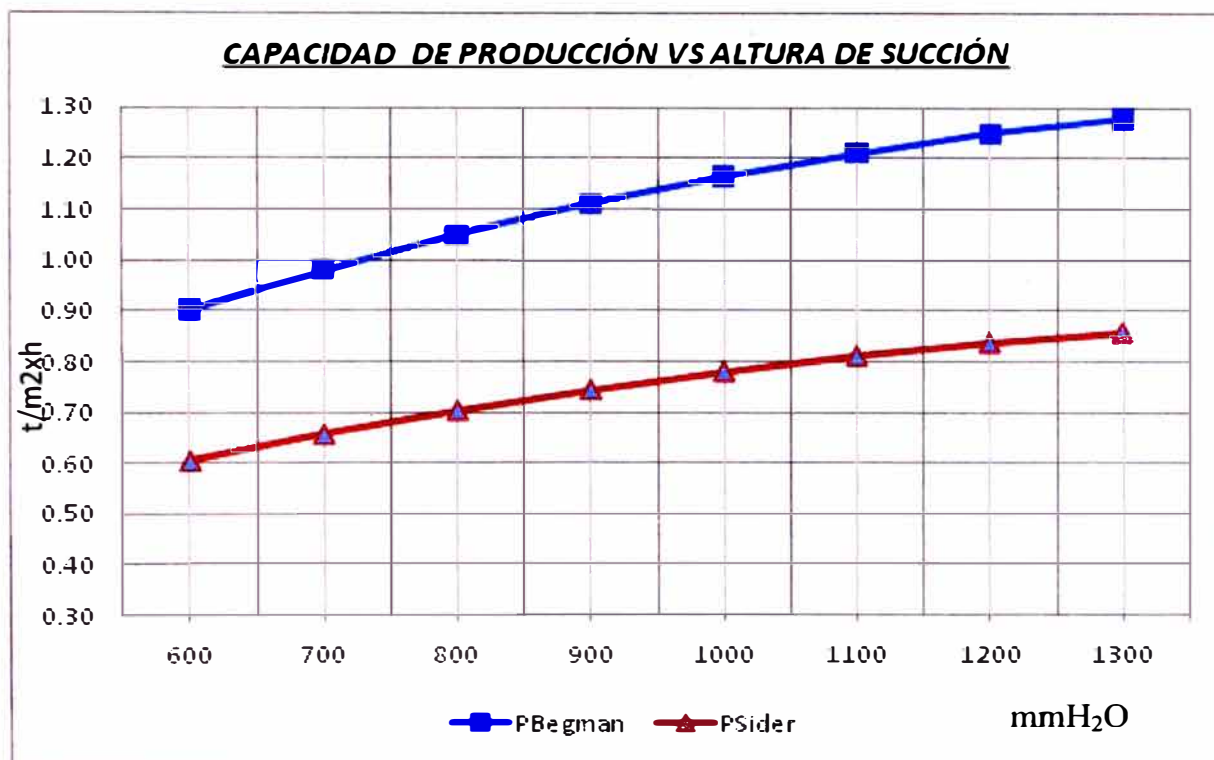


Figura 3.6 Gráfica de Begman corregida para la Planta de sinterización de Siderperú.

3.3 Características requeridas de las máquinas de sinterización para incrementar la producción 800t:

Igual que el punto anterior sólo se realizará el análisis para la máquina de sinterización N°1. Tomaremos como valores o características de la máquina que no es posible cambiar a:

Producción bruta (P)	: 400 t/d / máquina
Producción neta (P = 0.6 x P_b)	: 240 t
Tiempo de operación (T)	: 24 h/d.
Longitud útil de la máquina (L _u)	: 16.79 m.
Ancho útil de la máquina (w _u)	: 1.06 m.
Área útil disponible (A _{ud})	: 17,76 m ²

Los nuevos valores de ΔP , A , M , que calcularemos para la nueva producción requerida se les colocara un apostrofe para diferenciarlos de los anteriores. Los valores de productividad serán obtenidas de la curva de Begman corregida para SIDERPERÚ.

La jefatura ha solicitado que tan sólo las 03 primeras cajas de succión se utilicen como zona de sinterizado y las 02 últimas cajas se utilicen para enfriamiento, por lo tanto nuestro valor de A' será mantenido en 60% del A_{ud} . Entonces, la nueva área de sinterizado será:

$$A' = 0.6 \times A_{ud} = 0.6 \times 17.76$$

$$A' = 10.66 \text{ m}^2$$

Ahora calcularemos la nueva producción específica:

$$M' = \frac{240}{10.66 \times 24}$$

$$M' = 0.93.$$

De la figura 3.6 obtenemos vemos que el valor está fuera de rango para la curva ajustada para SIDERPERÚ.

Probaremos ahora si las 04 primeras cajas de succión se utilizan como zona de sinterizado y la última caja se utiliza para enfriamiento, por lo tanto nuestro valor de A' será de 80% de A_{ud} . entonces, la nueva área de sinterizado será:

$$A' = 0.8 \times A_u = 0.8 \times 17.76$$

$$A' = 14.21 \text{ m}^2$$

Ahora calcularemos la nueva productividad:

$$M' = \frac{240}{14.24 \times 24}$$

$$M' = 0.70$$

De la figura 3.6 obtenemos que para este valor le corresponde un $\Delta P' = 800$ mm. Este valor es alto y exigiría muchos cambios en el sistema actual tanto mecánicamente y eléctricamente.

La mejor opción es utilizar el 100% del A_{ud} , entonces, la nueva área de sinterizado será:

$$A' = A_{ud} = 17.76 \text{ m}^2$$

Ahora calcularemos la nueva productividad:

$$M' = \frac{240}{17.76 \times 24}$$

$$M' = 0,56$$

De la figura 3.6 obtenemos que para este valor le corresponde un $\Delta P' = 550$ mmH₂O.

De la ec. 5 podemos obtener la altura de la carga necesaria para obtener la productividad deseada:

$$\Delta P' = 1.56 \times h'$$

$$550 = 1.56 \times h'$$

$$h' = 352 \text{ mm}$$

Esta es la altura que deberíamos tener para obtener un $\Delta P = 550 \text{ mmH}_2\text{O}$. Esto implicaría que aumentaríamos en 120% la altura de carga, lo que consideramos muy alto, ya que sobrecargaría excesivamente los elementos mecánicos que conforman el transportador, por lo que trataremos de buscar un valor más bajo.

Ahora de la ec. 2 obtenemos:

$$\frac{P'}{v' \times h'} = \frac{P}{v \times h}$$

$$\frac{240}{v' \times h'} = \frac{96}{40 \times 160}$$

Entonces:

$$v' \times h' = 16,000 \text{ (cm/min) } \times \text{ (mm)}$$

Veamos ahora que pasaría si incrementamos la velocidad en 50%, obteniéndose:

$$v' = 1.5 * v$$

$$v' = 60 \text{ cm/min}$$

Entonces:

$$h' = 267 \text{ mm}$$

De la ec. 3.1 podemos obtenemos la presión de succión que generará esta altura:

$$\Delta P' = 1.56 \times h'$$

$$\Delta P' = 1.56 \times 267$$

$$\Delta P = 417 \text{ mmH}_2\text{O}$$

De la gráfica-2 obtenemos que para un ΔP de 417 mm, corresponde una productividad de 0.49. menor a 0.56 (correspondiente a 550 mmH₂O).

Aplicando nuevamente la ec. 4, obtenemos:

$$M' = \frac{P'}{A \times T}$$

$$0.49 = \frac{P'}{17.76 \times 24}$$

Entonces:

$$P' = 209 \text{ t}$$

Ahora determinaremos el caudal requerido por la máquina sinterizadora, considerando que la permeabilidad no varía porque depende de las características de la materia prima y estas no se han modificado.

Como:

$$W = 0.88 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \times \text{s}$$

Para determinar el caudal requerido por la máquina, utilizaremos la Ec. 2.1:

$$Q = W \times A$$

$$Q' = 0.88 \times 17.76$$

$$Q' = 15.62 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Tomando en cuenta nuevamente que por el diseño de la máquina siempre hay fugas que se estiman en 10% y si aplicamos un 20% como factor de seguridad del diseño de reactores continuos se obtendría:

$$Qv' = (15.62 / 0.9) \times 1.2 = 20.83 \text{ m}^3\text{N} / \text{s}$$

$$Qv' = 74,976 \text{ m}^3 \text{ N} / \text{h}$$

Considerando una distribución uniforme en las 05 cajas de succión en cada caja se debería tener $14,995 \text{ m}^3\text{N} / \text{h}$.

Los datos de la máquina de sinterización modificada será:

Velocidad (v)	: 60 cm/min.
Producción bruta (P_b)	: 400 t/d x máquina.
Producción neta ($P \approx 0.5 \times P_b$)	: 209 t
Tiempo de operación (T)	: 24 h/d.
Altura de la carga a sinterizar (h)	: 267 mm.
Longitud útil de la máquina (L_u)	: 16.75 m.
Ancho útil de la máquina (w_u)	: 1.06 m.
Área útil disponible (A_{ud})	: 17,76 m ²
Presión de succión (ΔP)	: 417 mmH ₂ O
Caudal de los ventiladores (Q_v)	: 20.83 m ³ N/s
Caudal de succión ($Q = 0.9Q_v$)	: 18.75 m ³ N/s (+)

Nota: Para calcular el caudal de succión aplicamos un factor de 0.9 al caudal de los ventiladores, para considerar la fugas en el sistema. La unidades de caudal se representan en este informe en metros cúbicos normales por segundo (m³N/s).

Como nuestro enfoque es la máquina de sinterización, posteriormente analizaremos las implicancias de modificar la velocidad y la altura de la carga.

Debemos tomar en cuenta que de los cálculos realizados demuestra que, la mayor productividad se consigue con mayor altura de la carga.

CAPITULO IV PLANTEAMIENTO DE LOS CAMBIOS E IMPLEMENTACIÓN DE LAS MEJORAS

4.1 Planteamiento de las alternativas de cambios.

De lo analizado anteriorme tenemos:

4.1.1 Incremento de velocidad de 40 a 60 cm/min.

Aquí no habría muchos inconvenientes puesto que el motor actual de la máquina, cuya potencia es de 9 HP, trabaja sólo al 50% de su capacidad nominal. Si incrementamos la velocidad a 60 cm/min su carga de trabajo pasaría a ser del 75% de su nominal.

Sin embargo debemos tomar en cuenta que el incremento de velocidad exigirá un menor tiempo en el cambio de los elementos de desgaste que conforman la máquina como son: bandejas o carros, sus barras de protección resistentes a altas temperaturas, las guías de desgaste, las bocinas y los engranajes de la transmisión abierta.

4.1.2 Incremento de la altura de carga de 160 a 267 mm.

Esta variación requerirá un análisis completo de los elementos de la máquina de sinterización que están sujetos a grandes esfuerzos como son:

- El carro de sinterización.
- Las ruedas de los carros de sinterización.
- Los engranajes de la transmisión.

- Los ejes de la transmisión.

4.2 **Evaluación de factibilidad de los cambios requeridos.**

Ahora determinaremos si los elementos de la máquina de sinterización son capaces de soportar estos cambios.

4.2.1 **Terminología.**

- b : Semianchura del área de presión de rodadura (mm).
- D_1 : Diámetro menor de los cuerpos rodantes (mm).
- D_2 : Diámetro mayor de los cuerpos rodantes (mm).
- D_{equiv} : Diámetro equivalente de los cuerpos rodantes (mm).
- E : Módulo de elasticidad (2.1×10^4 Kgf/mm² para el acero).
- f.s. : Factor de servicio.
- F_t : Fuerza tangencial (Kgf)
- F_d : Fuerza de diseño (Kgf)
- K : Presion de rodadura de Stribeck.
- l_{eff} : Longitud efectiva de rodadura del rodillo (mm).
- $M_{m\acute{a}x}$: Momento flector máximo (Kgf x mm).
- p_m : Presión media (Kgf/mm²).
- p_H : Presión herciana (Kgf/mm²).
- P : Potencia (watts).
- q : Carga por unidad de longitud (Kgf/mm).
- Q : Carga de un cuerpo rodante.
- S : Momento resistente a la flexión (mm³).
- V_t : Velocidad tangencial (m/s)

σ_t : Esfuerzo a la tracción (Kgf/mm²).

σ_y : Esfuerzo de fluencia (Kgf/mm²).

$\sigma_{m\acute{a}x}$: Esfuerzo máximo (Kgf/mm²).

μ : Coeficiente de fricción.

4.2.2 Carro de sinterización.

Con la necesidad de ampliar la capacidad de los carros habrá cambios en la carga que soportar y debemos determinar si será capaz de soportar.

Los carros de sinterización están conformados por la bandeja que es de acero colado, 04 ruedas y accesorios, 32 barras desmontables que resisten alta temperatura que conforman la parrilla, ubicadas sobre el fondo de la bandeja. El fondo de la bandeja está conformado por 04 barras de sección rectangular (25 x 95 mm) que une las placas laterales de la bandeja y sirve de apoyo de la parrilla.

Para calcular los esfuerzos que soporta cada carro de sinterización consideraremos los siguientes datos:

Ancho útil del carro : 1060 mm. (es igual al ancho útil de la máquina)

Altura bruta de la carga : 292 mm. (debido a que la cama de protección tiene una altura de 25 mm.)

Largo útil del carro : 610 mm.

Temperatura de trabajo : 400 a 500C

Densidad aparente de la carga : 2.7×10^3 Kg/m³.

Peso del carro	:	300 Kgf.
Peso de carga	:	510 Kgf.
Peso de 32 parrillas	:	120 Kgf.
Material del carro	:	DIN GS-45 ($\sigma_t = 45 \text{ Kgf/mm}^2$ a temperatura ambiente)
Barras transversal de carro	:	Largo (l) = 1030 mm, Altura (h) = 95 mm, Espesor (e) = 25 mm.

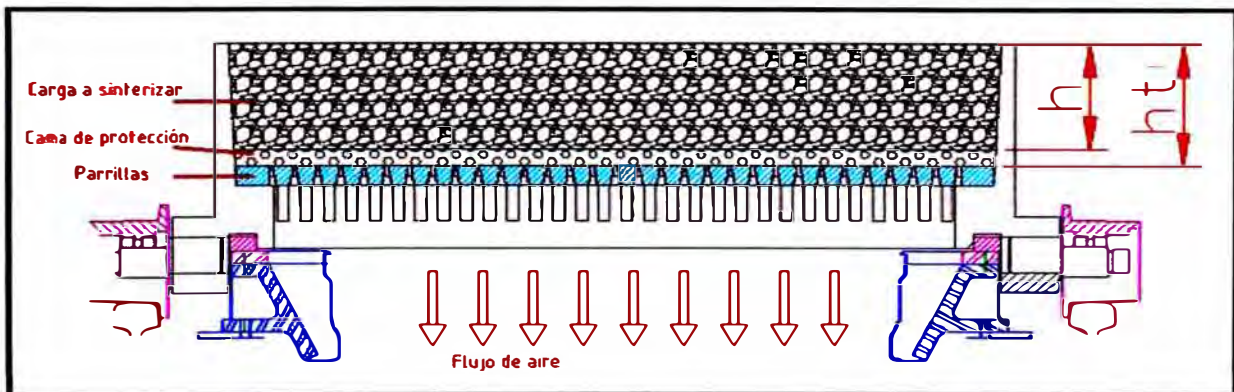


Figura 4.1 Esquema de la carga sobre el carro.

Cálculo:

También debemos considerar la presión negativa:

==

Entonces el peso total sobre el carro es:

$$\text{Peso Total sobre el carro} = 510 + 120 + 270$$

$$\text{Peso Total sobre el carro} = 900 \text{ Kg}$$

Aplicando el factor de servicio de 2 (es posible la variación considerable de la presión de succión y además con el trabajo los espesores de las barras disminuyen por el desgaste por oxidación a alta temperatura).

$$\text{Peso Total diseño} = \text{Peso Total sobre el carro} \times f.s.$$

$$\text{Peso Total diseño} = 900 \times 2$$

$$\text{Peso Total diseño} = 1800 \text{ Kg}$$

Realizaremos el diagrama de cuerpo libre:

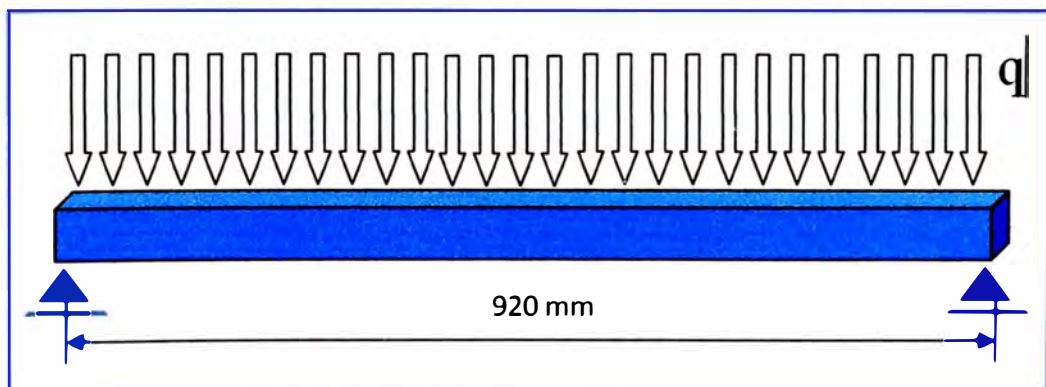


Figura 4.2 Distribución de la carga sobre la barra transversal del carro.

Calculando el peso total sobre la barra:

Por la forma de trabajo el peso sobre el carro descansa en las barras laterales del cuerpo del carro.

$$q = \frac{\text{Peso Total diseño}/2}{\text{Longitud de la barra}}$$

$$q = \frac{1800/2}{1030}$$

$$q = 0.87 \text{ Kg/mm}$$

Calculo del esfuerzo máximo en la barra:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{ql^2}{8}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{0.98 \times 1030^2}{8}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 115373 \text{ Kg} \times \text{mm}$$

$$S = \frac{e \times h^2}{6}$$

$$S = \frac{25 \times 95^2}{6}$$

$$S = 37604 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{S}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{115373}{37604}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = 3.07 \text{ Kg/mm}^2$$

De la Fig. 3/19 del libro de Niemann [2] se obtiene para el acero estructural a una temperatura de trabajo 500°C y tiempo de operación 10⁵ horas, $\sigma_y = 2.1 \text{ Kg/mm}^2$. Este valor es menor al esfuerzo requerido. De la misma figura se observa que para el acero al CrMo, a las mismas condiciones de temperatura y tiempo de trabajo $\sigma_y = 10 \text{ Kg/mm}^2$.

De la Norma DIN 17245 hoja 10, Tabla 2 [3] se seleccionó el acero **GS-17CrMoV 5 11** cuya composición química es 0.15-0.20 %C, 0.30-0.50%Si, 0.50-0.80 %Mn, 1.20-1.50 %Cr, 0.90-1.10 %Mo, 0.20-0.30%V. Para la elección de este tipo de acero también se consideró el bajo contenido de carbono para permitir la reparación por soldadura y el contenido de vanadio para el afinamiento de grano.

Ahora tenemos dos alternativas: La primera consistiría en el cambio total de los carros con la nueva aleación o tan sólo cambiar los elementos que están sujetos a mayores esfuerzos. Para analizar la situación nos ayudaremos de la siguiente tabla.

Tabla 4.1 Comparación de precios entre carros nuevos y carros reparados.

IT	Descripción	Cant.	P.U. (USD)	Total (USD)
1	Cambio de todos los carros con la nueva aleación	75	2560	192000
2	Reemplazo de las 02 barras que soportan mayor esfuerzo.	75	400	30000

Luego de comparar los costos de las dos alternativas, se eligió la alternativa 2.

4.2.3 Ruedas de los Carro de sinterización

Otro elemento crítico de la máquina de sinterización son las ruedas de los carros, ya que a través de ellos se transmite el empuje hacia los carros. Como el peso de estos y su carga se ha incrementado, también se ha incrementado el esfuerzo que soportan las ruedas.

Primeramente debemos determinar la fuerza de empuje máxima en cada rueda. Tenemos que considerar que el accionamiento tiene dos sprockets que empujan las 02 ruedas traseras del primer carro de la parte superior (ver figura 4.3) y este a su vez empuja a 30 carros en la parte posterior completamente llenos de carga. Los carros de la parte superior se trasladan por rozamiento entre guías. Para nuestro cálculo utilizaremos el coeficiente de fricción estática, sin lubricación entre acero acero, porque está sería la condición más extrema durante el arranque de la máquina.

Condición con nueva carga:

Coefficiente de fricción (μ) 0.35

Carga por carro = $W_{\text{carro}} + W_{\text{parrillas}} + W_{\text{carga}} + W_{\text{succión}}$

Carga por carro = $300 + 120 + 510 + 270$

Carga por carro = 1200 Kgf.

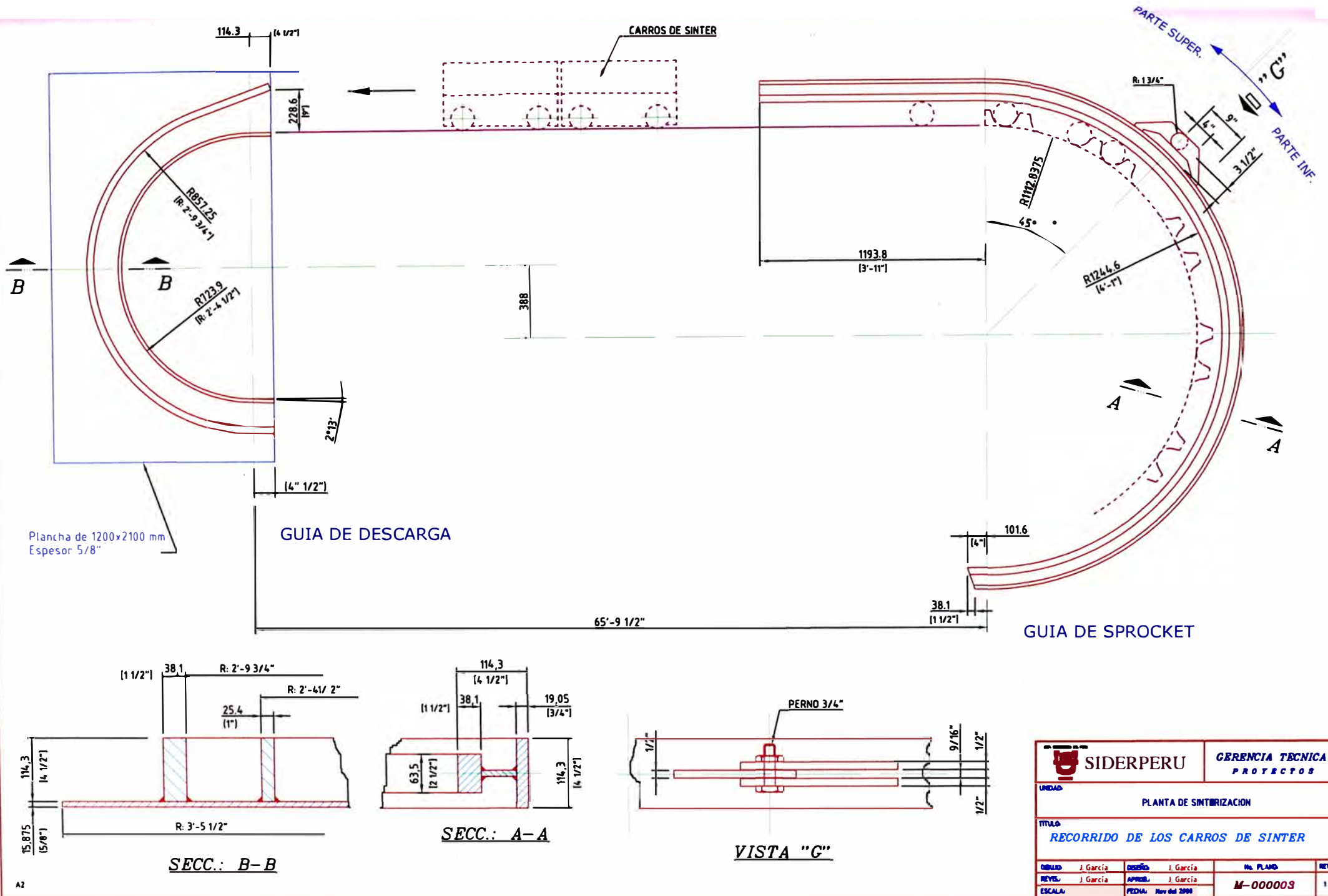


Figura 4.3 Esquema del recorrido de los carros de sinterización

		GERENCIA TECNICA PROYECTOS	
UNIDAD: PLANTA DE SINTERIZACION			
TITULO: RECORRIDO DE LOS CARROS DE SINTER			
DIBUJO: J. Garcia REVIS: J. Garcia ESCALA:	DISEÑO: J. Garcia APROB: J. Garcia FECHA: Nov del 2009	No. PLANO: M-000003	REV: 1

Como son 30 carros:

$$\text{Total de la carga} = 30 \times 1200.$$

$$\text{Total de la carga} = 36000 \text{ Kg.}$$

Fuerza de rozamiento (FR):

$$\text{Fuerza de rozamiento} = 36000 \times 0.35$$

$$\text{Fuerza de rozamiento} = 12600 \text{ Kg.}$$

Fuerza de empuje requerida para mover la carga (FE):

$$FE = FR$$

$$FE = 12600 \text{ Kg.}$$

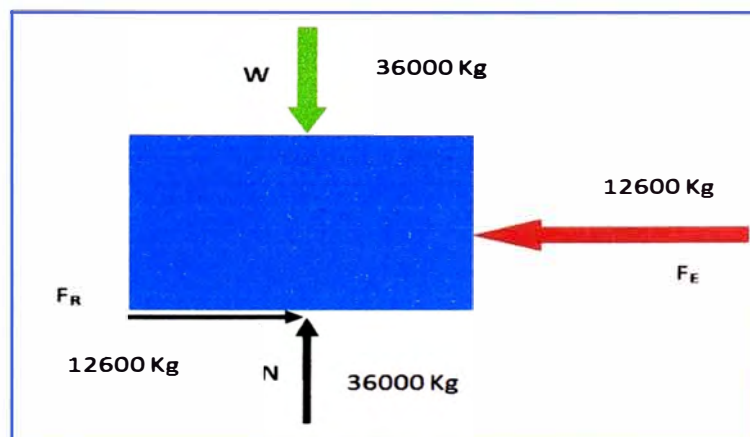


Figura 4.4 Fuerzas actuantes durante el movimiento de los carros.

Entonces:

$$\text{Fuerza sobre la rueda} = 12600 \text{ Kgf} / 2$$

$$\text{Fuerza sobre la rueda} = 6300 \text{ Kgf}$$

Para el cálculo utilizaremos el factor de servicio 1.25.

$$\text{Fuerza de diseño } (F_d) = \text{f.s.} \times \text{Fuerza sobre la rueda.}$$

$$F_d = 1.25 \times 6300 = 7875 \text{ Kg.}$$

Del diagrama de cuerpo libre obtendremos las fuerza actuantes sobre la rueda.

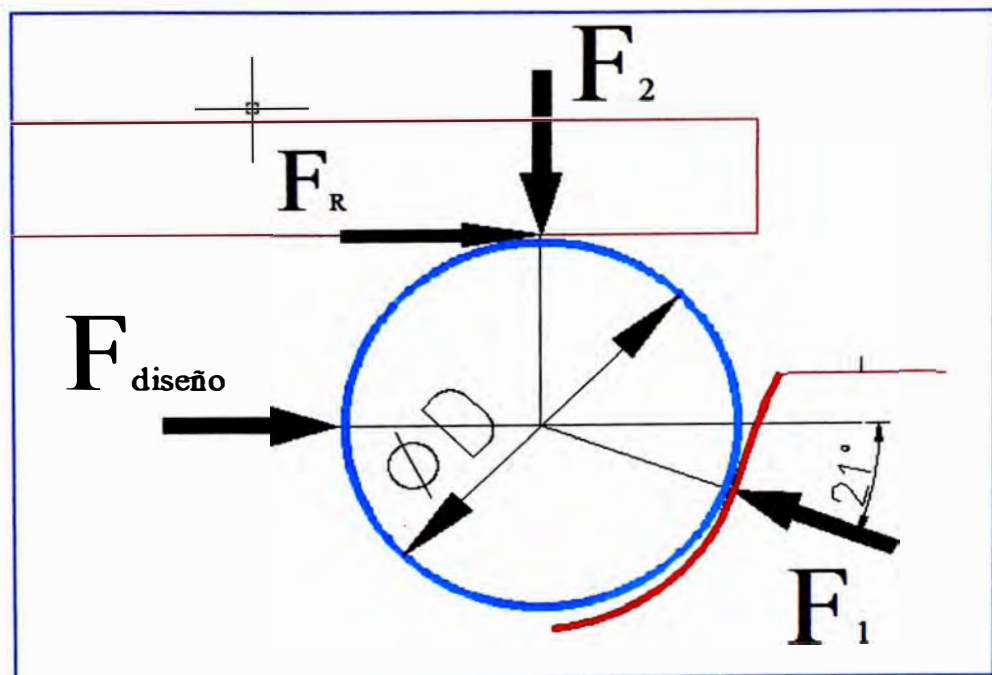


Figura 4.5 Fuerzas actuantes sobre las ruedas de los carros.

Cálculo de F1:

$$F_1 = \frac{F_{\text{diseño}}}{(\text{Cos}\alpha - \mu \times \text{Sen}\alpha)}$$

$$F_1 = \frac{7875 \text{ Kgf}}{\text{Cos } 21^\circ - 0.35 \times \text{sen } 21^\circ}$$

$$F_1 = 9744 \text{ Kgf}$$

Cálculo de F2:

$$F_2 = F_1 \times \text{Sen } \alpha$$

$$F_2 = 9744 \times \text{Sen } 21^\circ$$

$$F_2 = 3492 \text{ Kgf}$$

Aplicaremos la teoría de sistema de rodadura donde:

Tipo de contacto : Contacto lineal entre rodillo y superficie plana.

$$D_1 = 127 \text{ mm.}$$

$$D_2 = \text{Infinito (*)}$$

$$D_{\text{equiv}} = (D_1 \times D_2) / (D_1 + D_2)$$

$$E = 2.1 \times 10^4 \text{ Kgf/mm}^2 \text{ (para acero sobre acero)}$$

$$l_{\text{eff}} = 38 \text{ mm.}$$

$$Q = 9744 \text{ Kgf.}$$

(*) Para este nuestro caso, D_2 es infinito porque en esta zona el

contacto es rueda sobre plano, por lo tanto $D_{\text{equiv}} = D_1$

Presión de rodadura de Stribeck (K)

$$K = \frac{Q}{D_{\text{equiv}} \times l_{\text{eff}}}$$

$$K = \frac{9744}{127 \times 38}$$

$$K = 2.02 \text{ Kg/mm}^2$$

Semianchura del área de presión (b)

$$b = 1.075 \times D_1 \times (K/E)^{0.5}$$

$$b = 1.075 \times 127 \times (2.02/2.1 \times 10^4)^{0.5}$$

$$b = 1.34 \text{ mm}$$

Presión media (p_m):

$$p_m = \frac{Q}{2 \times b \times l_{\text{eff}}}$$

$$p_m = \frac{9744}{2 \times 1.34 \times 38}$$

$$p_m = 95.7 \text{ Kg/mm}^2$$

Presión Herciana (p_H):

$$p_H = 1.27 \times p_m$$

$$p_H = 1.27 \times 95.7$$

$$p_H = 121.5 \text{ Kgf/mm}^2$$

Otro dato importante a considerar son los números de pasadas o número de veces a los cuales las ruedas están expuestas a este esfuerzo. Como cada carro demora 1.2 horas aproximadamente para ubicarse en la posición de empuje y si asumimos que el tiempo de vida de las ruedas es de 5 años y la operación es continua, entonces los números de pasadas que tendrá cada rueda durante todo su tiempo de vida es de 36500 veces.

De la fig. 13/6 del libro de Niemann [2] para el valor de “K” requerido de 2.02 Kgf/mm^2 (19.8 N/mm^2) y número de pasadas menor a 10^6 veces, el material recomendado es acero al CrMo con dureza superficial mínima 347HB.

El material que actualmente se está utilizando es Fierro Fundido GG-20, cuya dureza superficial es de 220 HB, entonces este material no satisfecerá la nueva necesidad.

De la Norma DIN, correspondiente a aceros resistentes al desgaste encontramos: **42CrMo4** y **50CrMo4**. Para nuestro caso se seleccionó el acero **GS-42CrMo4** (Equivalencia en SAE 4140), que tiene

aproximadamente dureza de 300 HB sin tratamiento térmico. Para la selección de este material se consultó con el especialista en la empresa en piezas de fundición.

4.2.4 **Engranajes de la transmisión:**

Primeramente determinaremos la potencia que es necesaria para mover los carros de sinterización:

$$P = 9.81 \times F_t \times V_t \quad \text{Ec. 4.1}$$

(F_t es la Fuerza tangencial aplicada en las 2 ruedas).

De la figura 4.5 obtenemos que:

$$F_t = 2 \times F_1 \times \cos 21^\circ$$

Como:

$$F_1 = 9744 \text{ kgf} \quad (\text{Fuerza aplicada en una ruedas})$$

$$V_t = 0.01 \text{ m/s} = 60 \text{ cm/min} \quad (\text{Nueva velocidad requerida})$$

Entonces:

$$P = 2 \times F_1 \times \cos 21^\circ \times V_t$$

$$P = 2 \times 9.81 \times 9744 \times \cos 21^\circ \times 0.01$$

$$P = 1785 \text{ watts} \approx 1.78 \text{ Kw}$$

Partiendo de la potencia necesaria para mover los carros en el punto de empuje de las ruedas (1.78 Kw) y considerando por cada par de engranajes una eficiencia de 92% y en cada soporte de apoyo de los ejes una eficiencia de 97%, se ha calculado la potencia transmitida en cada tren. Para determinar estos valores se ha considerado el ambiente de trabajo con alta polución y lubricación deficiente. La distribución de los engranajes pueden verse en el plano HIER-M-1309.

En la tabla 4.2 se muestran los datos característicos de los engranajes, que conforma el sistema de transmisión, necesarios para los cálculos posteriores.

Tabla 4.2 Datos característicos de los engranajes de la transmisión de la máquina de sinterización

Potencia requerida en el diente del Sprocket que empuja las ruedas = 1.78 Kw														
Tren	Nº	Plano	Cant	Z	RPM	F (mm)	PD	m	m _g	D _p (mm)	C (mm)	V (m/s)	η	Pot (Kw)
1º	1	XSINT-118	2	82	0.086	105	1.05	24.3	6.8	1989	1140	0.00894	0.80	2.24
	2	XSINT-105	2	12	0.586					291				
2º	3	HIER-M-1335	1	48	0.586	169	1.57	16.2	4.0	776	485	0.02382	0.87	2.58
	4	HIER-M-1336	1	12	2.345					194				
3º	5	HIER-M-1333	1	104	2.345	90	2.51	10.1	5.8	1051	617	0.12908	0.84	3.07
	6	XSINT-175	1	18	13.550					182				
4º	7	XSINT-139	1	140	13.550	78	3.18	8.0	6.1	1118	651	0.79337	0.87	3.55
	8	XSINT-171 ⁽¹⁾	1	23	82.479					184				

⁽¹⁾ El número de dientes original fue modificado de Z = 15 a Z=23, para conseguir la nueva velocidad requerida

Valores para el cálculo de la fatiga superficial:

- Factor de sobrecarga: de la tabla N°9 $C_o = 1.25$, para motor eléctrico y cargas con choques moderados.
- Factor dinámico: de la figura N°1 $C_v = K_v = 0.9$, para engranajes de hornos y velocidad de paso de 0 a 4 m/s.
- Factor de tamaño: $C_S = 1.0$, para aplicaciones en general.
- Factor de distribución de carga: de la tabla N°12 $C_m = 1.7$, para montaje menos rígido, contacto en todo lo ancho y ancho del diente 150 mm.
- Factor de condición superficial: $C_f = 1.00$ para engranajes con buen acabado superficial.
- Factor geométrico: de la figura N°23, $I = 0.10$.
- Coeficiente elástico del material: $C_P = 58$, para piñón de acero y rueda dentada de acero maleable.
- Factor de vida: de la tabla N°18 se obtienen los valores interpolando.
- Factor de relación de dureza: $C_H = 1.00$, para engranajes de dientes rectos.
- Factor de temperatura: $C_T = 1.00$, para temperatura ambiente de 30°C.
- Factor de seguridad: de la tabla N°16 $C_R = 1.00$, para una confiabilidad de 99%.
- Dureza de los dientes. En todas las parejas de engrane se tiene:
Piñón: Acero laminado 34CrMoNi6, 400 HB, $S_{ac} = 112 \text{ Kg/mm}^2$.
Engranaje: Acero colado GS-42CrMo4, 300 HB, $S_{ac} = 92 \text{ Kg/mm}^2$.

Tabla 4.3 Datos comunes para el cálculo por fatiga superficial

	C_O	C_V	C_S	C_m	C_f	I	C_P	C_H	C_T	C_R	Material	Dureza	S_{ac} (Kgf/mm ²)
Piñon	1.25	0.90	1.00	1.70	1.00	0.10	58	1.00	1.00	1.00	Nitraloy 135M (*)	55 HRc	132
Engranaje	1.25	0.90	1.00	1.70	1.00	0.10	58	1.00	1.00	1.00	GS-42CrMo4	300 HB	92
(*) nitrurado													

Tabla 4.4 Resultados del cálculo por fatiga superficial.

Tren	Nº	Plano	Cant	Z	RPM	F (mm)	PD	m	m _g	D _p (mm)	C _L	Potencia (Kw)		T de vida	
												Requerida	Calculado	ciclos x 10 ⁵	meses
1º	1	XSINT-118	2	82	0.09	105	1.05	24.3	6.8	1989	1.45	2.24	2.43	5.0	135
	2	XSINT-105	2	12	0.59					291					20
2º	3	HIER-M-1335	1	48	0.59	169	1.57	16.2	4.0	776	1.35	2.58	3.02	7.0	28
	4	HIER-M-1336	1	12	2.35					194					7
3º	5	HIER-M-1333	1	104	2.35	90	2.51	10.1	5.8	1051	0.95	3.07	4.04	250.0	247
	6	XSINT-175	1	18	13.55					182					43
4º	7	XSINT-139	1	140	13.55	78	3.18	8.0	6.1	1118	0.80	3.55	15.43	1000.0	171
	8	XSINT-171 ⁽¹⁾	1	23	82.48					184					28

Valores para el cálculo por resistencia a la fatiga:

- Factor de sobrecarga: de la tabla N°9 $K_o = 1.25$, para motor eléctrico y cargas con choques moderados.
- Factor dinámico: de la figura N°1 $K_v = 0.9$, para engranajes de hornos y velocidad de paso de 0 a 4 m/s.
- Factor de tamaño: $K_S = 1.0$, para aplicaciones en general.
- Factor de distribución de carga: de la tabla N°12 $K_m = 1.7$, para montaje menos rígido y contacto en todo lo ancho.
- Factor de espesor de corona: $K_B = 1.00$ para engranajes sólidos.
- Factor geométrico: de la figura N°4 se obtienen los valores de acuerdo al número de dientes.
- Factor de vida: de la tabla N°15 se obtienen los valores interpolando.
- Factor de temperatura: $K_T = 1.00$, para temperatura ambiente de 30°C.
- Factor de seguridad: de la tabla N°16 $K_R = 1.00$, para una confiabilidad de 99%.
- Dureza de los dientes. En todas las parejas de engrane se tiene:
Piñon: Acero laminado 34CrMoNi6, 400 HB, Sat = 29 Kg/mm².
Engranaje: Acero colado GS-42CrMo4, 300 HB, Sat = 29 Kg/mm².

Tabla 4.5 Datos comunes por resistencia a la fatiga

	K_O	K_V	K_S	K_m	K_B	K_L	K_T	K_R	Material	Dureza	S_{at} (Kgf/mm ²)
Piñon	1.25	0.90	1.00	1.70	1.00	1.20	1.00	1.00	Nitraloy 135M (*)	55 HRc	42
Engranaje	1.25	0.90	1.00	1.70	1.00	1.00	1.00	1.00	GS-42CrMo4	300 HB	29
(*) nitrurado											

Tabla 4.6 Resultados del cálculo por resistencia a la fatiga

Tren	Nº	Plano	Cant	Z	RPM	F (mm)	PD	m	m_g	D_p (mm)	K_L	J	Potencia (Kw)		T de vida	
													Requerida	Calculado	ciclos x 10 ⁵	meses
1º	1	XSINT-118	2	82	0.09	105	1.05	24.3	6.8	1989	1.45	0.41	2.24	3.21	5.0	135
	2	XSINT-105	2	12	0.59					291				0.21		2.38
2º	3	HIER-M-1335	1	48	0.59	169	1.57	16.2	4.0	776	1.30	0.38	2.58	3.82	8.0	32
	4	HIER-M-1336	1	12	2.35					194				0.21		3.06
3º	5	HIER-M-1333	1	104	2.35	90	2.51	10.1	5.8	1051	0.80	0.43	3.07	4.79	1000.0	987
	6	XSINT-175	1	18	13.55					182				0.33		5.33
4º	7	XSINT-139	1	140	13.55	78	3.18	8.0	6.1	1118	0.80	0.45	3.55	21.12	1000.0	171
	8	XSINT-171 ⁽¹⁾	1	23	82.48					184				0.36		24.47

4.2.5 Ejes de transmisión.

Verificaremos si los diámetros de los ejes actuales son suficientes para la nueva carga.

Para todos los casos tendremos:

- $d_i/d_o = 0$; Eje maciso (eje sin hueco)
- $K_m = 1.5$; La carga aplicada es constante.
- $K_t = 1.0$; La carga aplicada es constante.
- Material: Acero SAE-4340.

Figura 4.7 Valores iniciales de los ejes

Eje N°	RPM	Material	σ_c	ϕ (mm)
1	0.0858	SAE 4340	19 Kg/mm²	114
2	0.5863			80
3	0.5863			80
4	2.3452			38
5	2.3452			38

En la tabla se muestran los valores necesarios para realizar el cálculo de los ejes. Para determinar las cargas aplicadas en el eje será necesario consultar la tabla 4.2.

Luego de realizar los cálculos correspondientes obtenes los resultados indicados en la tabla 4.8. Los detalles de los cálculos pueden verse en el anexo A.

Tabla 4.8 Tabla de resultados

Eje N°	RPM	Plano	Material	Diámetros (mm)			Breve justificación del cambio del diámetro seleccionado
				Actual	Requerido	Seleccionado	
1	0.0858	XSINT-160	SAE 4340	114	114	114	No requiere modificación.
2	0.5863	XSINT-153		80	110	95	Se busco alternativas para el cambio del diámetro a 110, pero hay limitaciones por parte del soporte. Lo mejor es aumentar a sólo 95mm.
3	0.5863	XSINT-153		80	71	95	Se modificó para mantener intercambiables los diferentes accesorios de los apoyos
4	2.3452	HIER-M-1323		38	47	55	Se pasó a 55 para utilizar soportes y accesorios de uso común en la planta. Los soportes son con bocinas. Se hará el cambio a soportes para rodamientos.
5	2.3452	XSINT-171		38	23	55	Se pasó a 55 para utilizar soportes y accesorios de uso común en la planta. Los soportes son con bocinas. Se hará el cambio a soportes para rodamientos.

CAPITULO V COSTOS DE LA IMPLEMENTACION

5.1 Determinación de los costos.

Para determinar el costo se utiliza la tabla 5.1

Tabla 5.1 Costo necesario para incrementar la capacidad de una máquina de sinterización.

IT	Descripción de la actividad	Cant	P.U. \$	Sub total
1	Reforzamiento de los carros de sinterización	75	400	30000
2	Cambio de ruedas con la nueva aleación	300	80	24000
3	Juego de piñones	1	5000	5000
4	Cambio total de los ejes y accesorios	1	6000	6000
5	Adaptacion de los carros a la nueva altura de carga	75	400	30000
6	Servicio para ejecutar los cambios	1	15000	15000
TOTAL (\$)				110000

Entonces la inversión para incrementar la capacidad de producción en ambas máquina sería:

$$\text{Costos} = 2 \times 110000 = 220000 \text{ dólares.}$$

Las entidades bancarias aplican de un interés (i) de 2% mensual, para estas situaciones.

5.2 Cálculo del retorno de la inversión.

La ganancia obtenida por cada tonelada de sinter producido para el Alto Horno es de 20 dólares americanos (USD).

El incremento de producción bruta sería de 320 a 800 toneladas y como la producción neta es 50% de la producción bruta. entonces:

$$\text{Incremento de producción neta} = (800 - 320) \times 0.5$$

$$\text{Incremento de producción neta} = 240 \text{ toneladas.}$$

Ahora podemos calcular la ganancia por mes:

$$\text{Ganancia/mes} = 240 \text{ (t/día)} \times 20 \text{ (USD/t)} \times 30 \text{ días/mes}$$

$$\text{Ganancia/mes} = 144000 \text{ USD/mes}$$

Flujo de caja:

CONCEPTO		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
Inversión (10^3 USD)	-220	0	0	0	0
Ganancias (10^3 USD)	0	0	144	144	144

En el primer “Mes 1” no hay ganancias, porque en este mes hay parada de la planta para realizar las modificaciones.

Con estos valores calculamos el Valor Presente Neto (VPN) para los tres primeros meses.

$$\text{VPN} = [-220 + 144 / 1.02^2 + 144/1.02^3] \times 10^3$$

$$\text{VPN} = 54103 \text{ USD.}$$

Entonces el tiempo de retorno es de aproximadamente 03 meses.

Esto quiere decir que la inversión esta justificadas porque el tiempo de retorno es corto.

CONCLUSIONES

- a) La reingeniería aplicada a los equipos de la planta de Sinterización, permitió realizar los cambios necesarios, con lo cual se logró incrementar la capacidad de la planta de sinterizado de 320 a 800 t/día con las 2 máquinas (para referencia ver pág. 39).
- b) El incremento de la producción de sinterizado, contribuyó a aumentar el uso de Sinter en el alto horno y redujo los costos de su operación, debido a que el Sinter es 40% más barato que el pellets.
- c) Fue importante que los responsables del Área de mantenimiento, tengan conocimientos del proceso productivo, pues permitió plantear propuestas de cambios viables y sostenibles.
- d) Para aumentar la capacidad de producción de la planta de sinterizado, fue necesario evaluar la capacidad máxima de los equipos, plantear y realizar los cambios en materiales de fabricación de los carros, las ruedas, el redimensionamiento de los ejes de transmisión, para que el equipo sea capaz de soportar los nuevos esfuerzos aplicados.
- e) Debido al alto potencial de crecimiento de la demanda de acero en el Perú, fue importante este proyecto para ofrecer productos de buena calidad y a precios competitivos.

RECOMENDACIONES

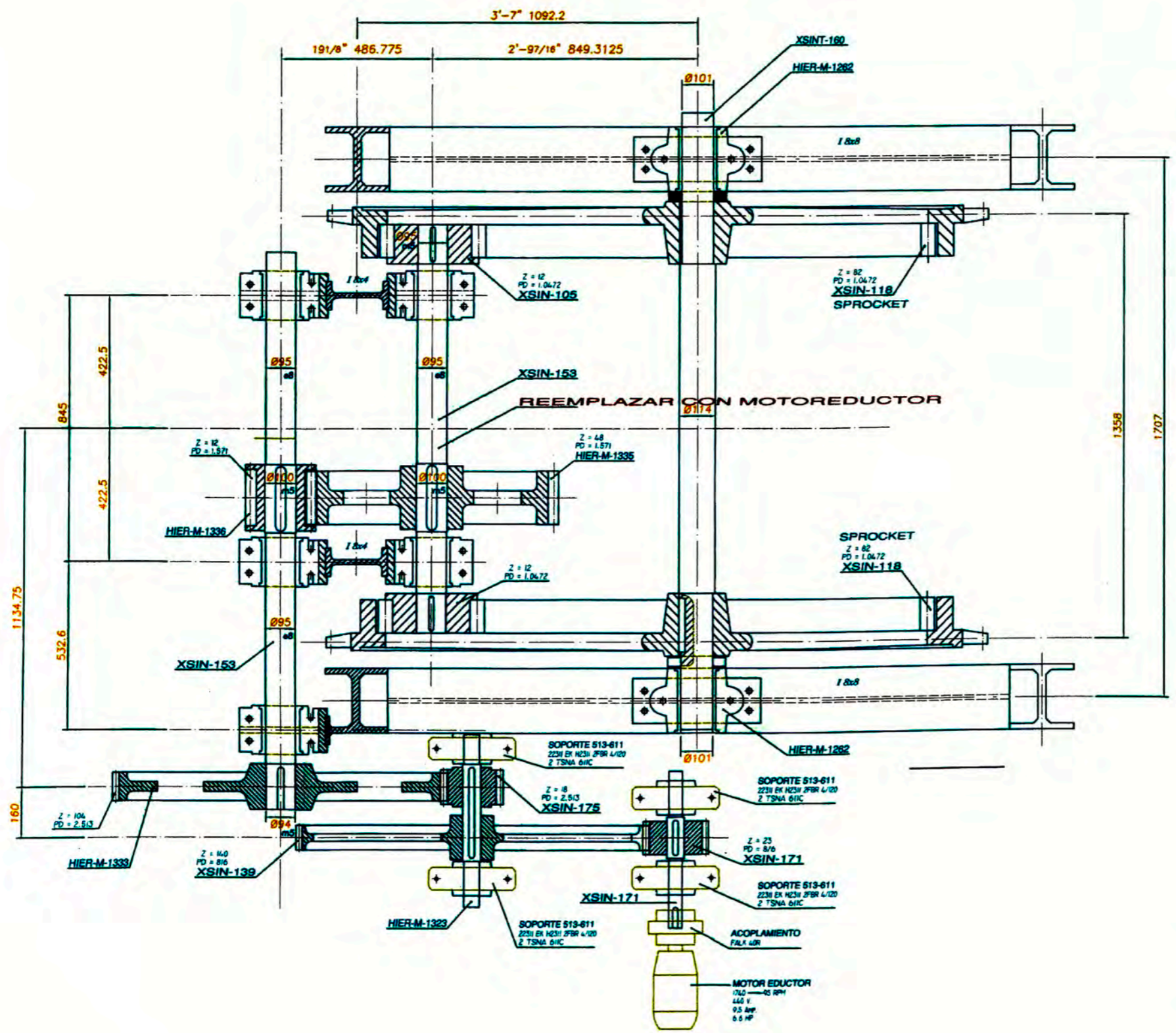
- a) El análisis realizado en la máquina de sinterización, también debe ser realizado en los otros sistemas que dan soporte al proceso, de lo contrario podríamos tener inconvenientes a futuro.
- b) Sería conveniente analizar la posibilidad de adquirir una nueva planta que permita incrementar la altura de la carga a sinterizar, ya que esto permitiría incrementar la eficiencia del proceso; es decir para una misma producción bruta se alcanzaría mayor porcentaje de producción neta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Begman, E. F. (1974). Teoría y tecnología de sinterización. Moscú, Metalurgia.
2. G. Niemann. Elementos de máquinas. Volumen I. Proyecto y cálculo de uniones, cojinetes y arboles. (2da. Ed, Munich: Editorial Labor S.A., 1981).
3. Manual DIN 4 Parte A. Normas de materiales y perfiles, hierro y acero. (3ra. Ed, Editorial Balzola – Bilbao, 1965).
4. Fortunato Alva Davila. Diseño de elementos de máquinas II. (1ra ed., Lima – Perú, 2004).
5. B. G. Bolgov, P. P. Koval', R. S. Bershtein and V. G. Shibko. CAST IRON. Improving the performance of the sinter plant at “Zaporozhstal”. (1979). Volume 23, Numbre 3, 189 – 191. Revista científica.
6. Yamana Shinichiro. History and Prospect of Philippine Sinter Corporation. (May 2009). JFE Technical report N°13.
7. Michael O. Holowaty. History Of Iron Sintering Recalls Variety of Experimentation. (Enero 1955). Journal of Metals. <http://www.aimhq.org/library/books/Journal%20of%20Metals%201955/Journal%20of%20Metals%201955%20-%20005.pdf>

8. Elie Lwamba. OPTIMISATION OF THE GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF THE RAW MATERIAL MIXTURE IN THE PRODUCTION OF IRON SINTER. (Agosto 2007). Literature review.
<http://upetd.up.ac.za/thesis/available/etd-09042008-164757/unrestricted/dissertation.pdf>

PLANO



TÍTULO: TRANSMISION MAQUINA 2 SINTERIZACION		LEV. FÍSICO CAMPOS	
DISEÑADO REVISADO APROBADO		PLANTA SINTERIZACION	
ESCALA: 1:7.5		N° PLANO: HIER-M-1309	
FECHA: MARZO-2004		FORMATO: 1	
MODIFICACION	FECHA	FIRMA	

ANEXOS

ANEXO A: CALCULO DE EJES

CALCULO DEL PRIMER EJE

Plano: XSINT-160 **Dimensiones:** $\varnothing = 114 \text{ mm}$ Long. = 1707 mm

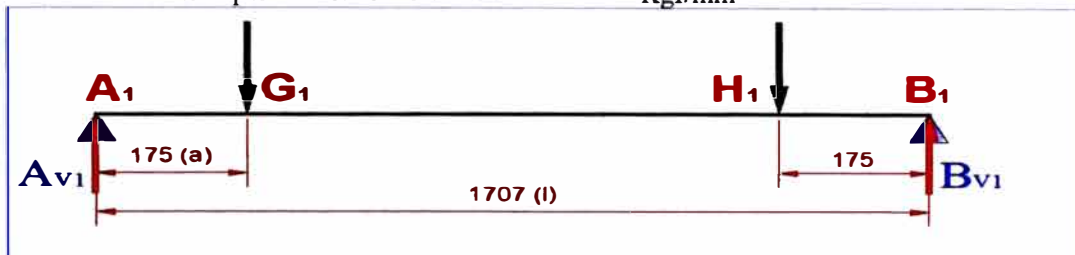
Material: Acero SAE 4340 (DIN 34CrNiMo6)

Forma: Eje sólido sin canal chavetero

Esfuerzo de fluencia = 104 Kgf/mm²

Esfuerzo de rotura = 143 Kgf/mm²

Esfuerzo permisible al corte = 25 Kgf/mm²



Valores: $G_1 = G_1 = 3492 \text{ Kgf}$

$A_{v1} = B_{v1} = 3492 \text{ Kgf}$

Torque = 0

Momento máximo:

$M_1 = M_2 = 611100 \text{ Kgf} \times \text{mm}$

d (mm)	a (mm)	l (mm)	d _i /d _o	α	K _m	K _t	I (mm ⁴)	E (Kgf/mm ²)
114	175	1707	0	1	1.5	1.0	8290683	21000

Diámetro mínimo requerido

$d_{\min} = 55 \text{ mm} < 114 \text{ mm}$ OK.

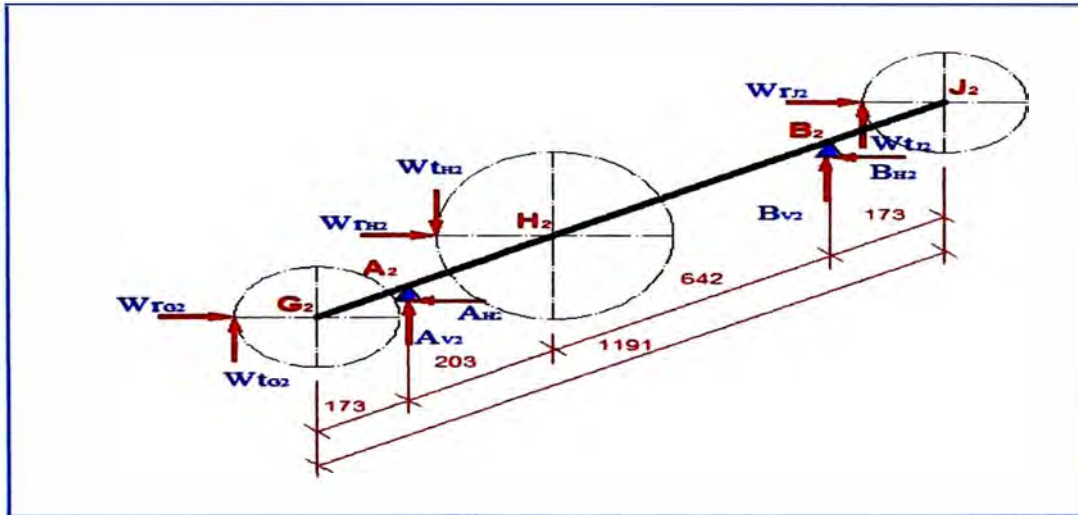
Deflexión en los puntos de apoyo del sprocket

$y_G = 0.453$ OK

El valor de la deflexión no es muy importante en este caso porque el eje es loco

CALCULO DEL SEGUNDO EJE

Plano: XSINT-153 **Dimensiones:** $\phi = 80$ mm Long. = 1191 mm
Potencia: 2.24 Kw N = 0.586 rpm = 0.0614 rad/s
Material: Acero SAE 4340 (DIN 34CrNiMo6)
Forma: Eje sólido con canal chavetero
 Esfuerzo de fluencia = 104 Kgf/mm²
 Esfuerzo de rotura = 143 Kgf/mm²



Valores: $D_{G2} = D_{J2} = 291$ mm
 $D_{H2} = 776$ mm

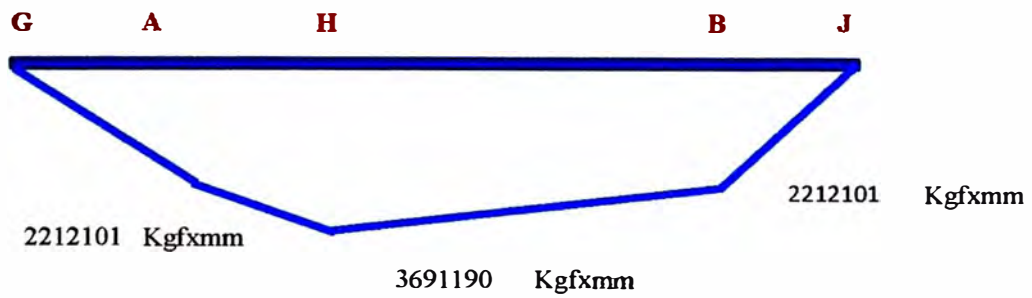
Cálculo de torques:

$T_{G2} = T_{J2} = 1860466$ Kgf x mm
 $T_{H2} = 2 \times T_{G2} = 3720932$ Kgf x mm

Cálculo de fuerzas:

$W_{tG2} = W_{tJ2} = 12787$ Kgf
 $W_{tH2} = 9590$ Kgf
 $W_{rG2} = W_{rJ2} = W_{tG2} \times \tan 20^\circ = 4654$ Kgf
 $W_{rH2} = W_{tH2} \times \tan 20^\circ = 3490$ Kgf
 $A_{v2} = -5501$ Kgf (quiere decir que la fuerza va en sentido contrario)
 $B_{v2} = -10483$ Kgf (quiere decir que la fuerza va en sentido contrario)
 $A_{H2} = 7306$ Kgf
 $B_{H2} = 5493$ Kgf

Plano vertical



Plano horizontal

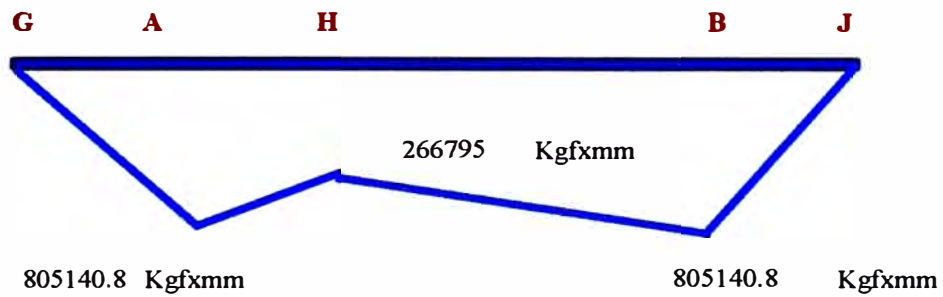
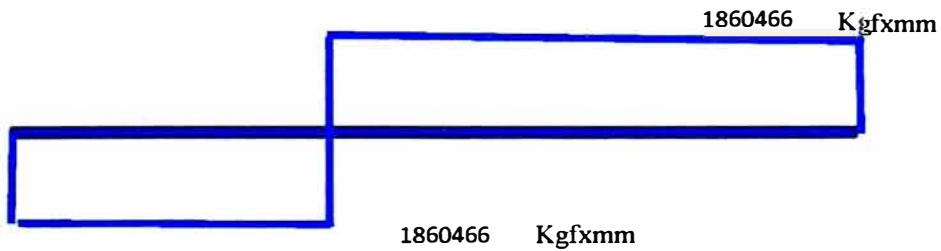


Diagrama de torque



d_i/d_o	α	K_m	K_t	E (Kgf/mm ²)
0	1	1.5	1.0	21000

Punto A y B $M_{RA} = 2354069$ Kgfxmm $T = 1860466$ Kgfxmm

Diámetro mínimo requerido

$$d_{\min} = 97 \text{ mm} > 80 \text{ mm} \quad (\text{Modificar el diámetro})$$

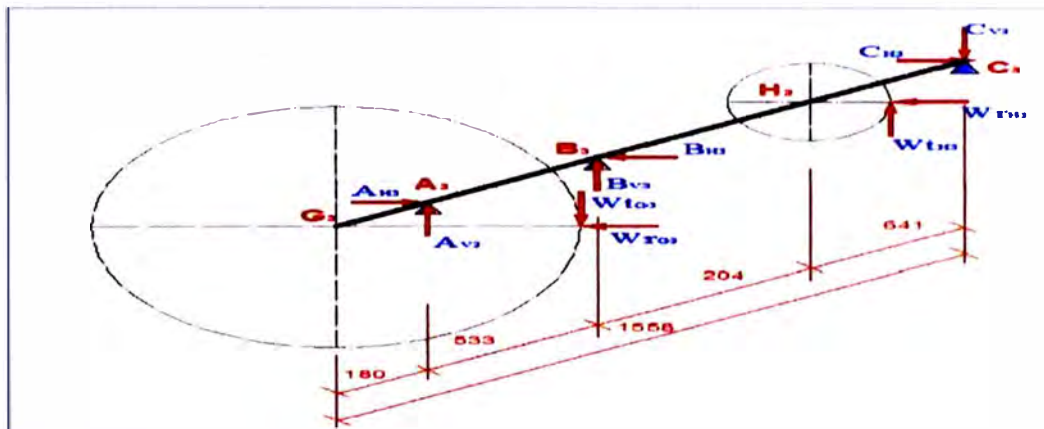
Punto H $M_{RH} = 3700819$ Kgfxmm $T = 1860466$ Kgfxmm

Diámetro mínimo requerido

$$d_{\min} = 110 \text{ mm} > 80 \text{ mm} \quad (\text{Modificar el diámetro})$$

CALCULO DEL TERCER EJE

Plano: XSINT-153 **Dimensiones:** $\varnothing = 80 \text{ mm}$ Long. = 1558 mm
Potencia: 2.58 Kw N = 2.345 rpm = 0.2456 rad/s
Material: Acero SAE 4340 (DIN 34CrNiMo6)
Forma: Eje sólido con canal chavetero
 Esfuerzo de fluencia = 104 Kgf/mm²
 Esfuerzo de rotura = 143 Kgf/mm²
 Esfuerzo permisible al corte = 19 Kgf/mm²



Valores: $D_{G3} = 1051 \text{ mm}$
 $D_{H3} = 194 \text{ mm}$

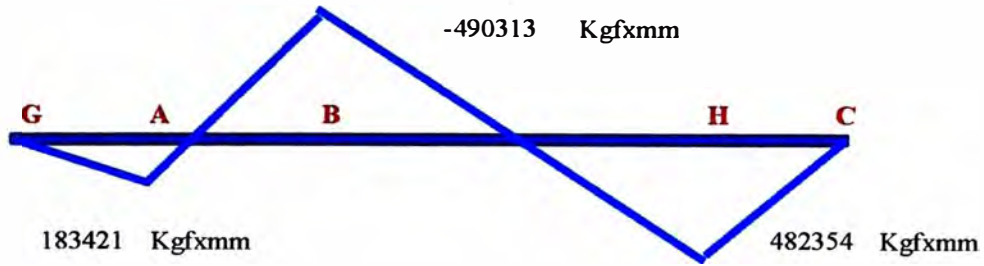
Cálculo de torques:

$T_{G3} = T_{H3} = 1070972 \text{ Kgf} \times \text{mm}$

Cálculo de fuerzas:

$W_{tG3} = 1019 \text{ Kgf}$
 $W_{tH3} = 5520 \text{ Kgf}$
 $W_{rG3} = W_{tG2} \times \tan 20^\circ = 371 \text{ Kgf}$
 $W_{rH3} = W_{tH2} \times \tan 20^\circ = 2009 \text{ Kgf}$
 $M_{BV} = 490313 \text{ Kgf} \times \text{mm}$ (Momento en soporte redundante)
 $B_{V3} = -5986 \text{ Kgf}$ (quiere decir que la fuerza va en sentido contrario)
 $C_{V3} = 753 \text{ Kgf}$
 $A_{V3} = 2237 \text{ Kgf}$
 $M_{BH} = 152052 \text{ Kgf} \times \text{mm}$ (Momento en soporte redundante)
 $B_{H3} = -1858 \text{ Kgf}$
 $C_{H3} = 305 \text{ Kgf}$
 $A_{H3} = 217 \text{ Kgf}$

Plano vertical



Plano horizontal

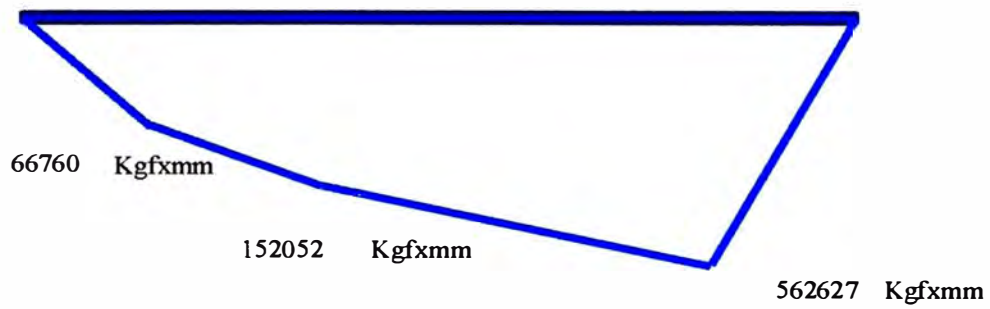
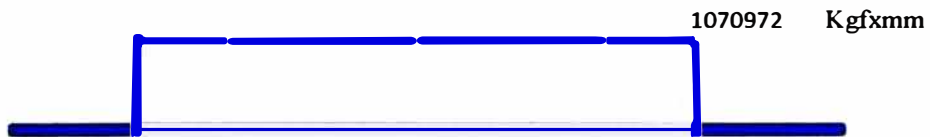


Diagrama de torque



d_i/d_o	α	K_m	K_t	E (Kgf/mm^2)
0	1	1.5	1.0	21000

Punto A y B $M_{RA} = 513348 \text{ Kgf}\cdot\text{xmm}$ $T = 1070972 \text{ Kgf}\cdot\text{xmm}$

Diámetro mínimo requerido

$d_{min} = 67.41 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$ OK

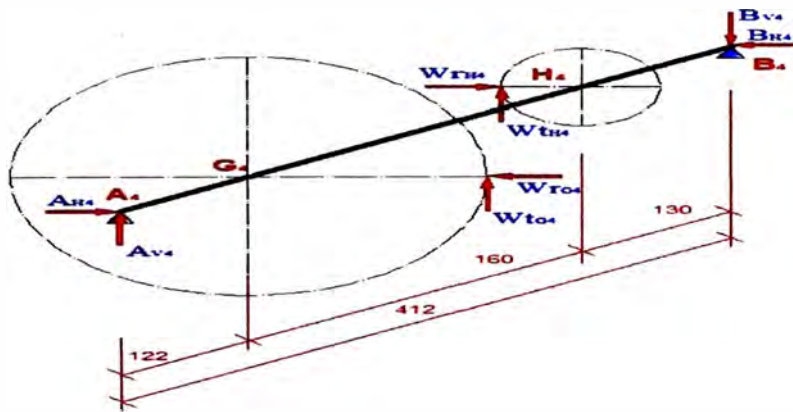
Punto H $M_{RH} = 741090 \text{ Kgf}\cdot\text{xmm}$ $T = 1070972 \text{ Kgf}\cdot\text{xmm}$

Diámetro mínimo requerido

$d_{min} = 71.00 \text{ mm} > 80 \text{ mm}$ OK

CALCULO DEL CUARTO EJE

Plano: XSINT-153 **Dimensiones:** $\varnothing = 38 \text{ mm}$ Long. = 1558 mm
 Potencia: 3.07 Kw N = 13.55 rpm = 1.4190 rad/s
 Material: Acero SAE 4340 (DIN 34CrNiMo6)
 Forma: Eje sólido con canal chavetero
 Esfuerzo de fluencia = 104 Kgf/mm²
 Esfuerzo de rotura = 143 Kgf/mm²
 Esfuerzo permisible al corte = 19 Kgf/mm²



Valores: $D_{G4} = 1118 \text{ mm}$
 $D_{H4} = 182 \text{ mm}$

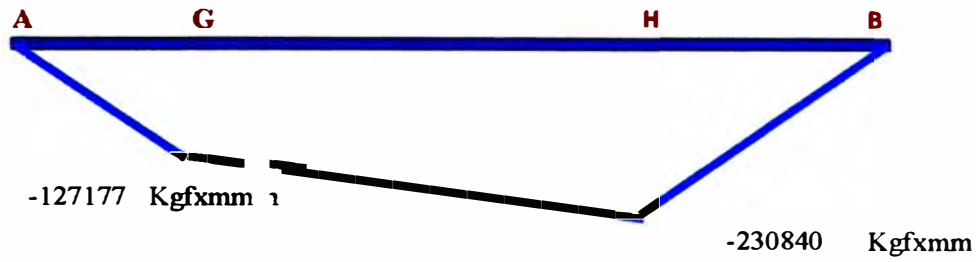
Cálculo de torques:

$$T_{G4} = T_{G4} = 220547 \text{ Kgf x mm}$$

Cálculo de fuerzas:

$$\begin{aligned}
 W_{tG4} &= 395 \text{ Kgf} \\
 W_{tH4} &= 2424 \text{ Kgf} \\
 W_{rG4} &= W_{tG2} \times \tan 20^\circ = 144 \text{ Kgf} \\
 W_{rH4} &= W_{tH2} \times \tan 20^\circ = 882 \text{ Kgf} \\
 A_{v4} &= -1042 \text{ Kgf} \quad (\text{quiere decir que la fuerza va en sentido contrario}) \\
 B_{v4} &= 1776 \text{ Kgf} \\
 A_{h4} &= 379 \text{ Kgf} \\
 B_{h4} &= 1118 \text{ Kgf}
 \end{aligned}$$

Plano vertical



Plano horizontal

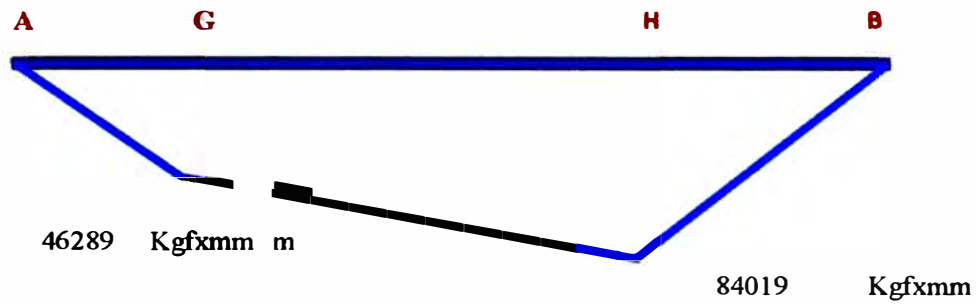
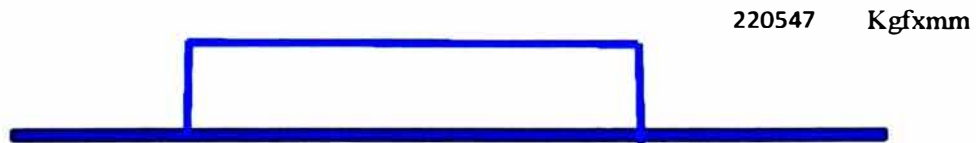


Diagrama de torque



d_i/d_o	α	K_m	K_t	E (Kgf/mm^2)
0	1	1.5	1.0	21000

Punto G $M_{RG} = 135339 \text{ Kgf}\cdot\text{mm}$ $T = 220547 \text{ Kgf}\cdot\text{mm}$

Diámetro mínimo requerido

$$d_{\min} = 41 \text{ mm} > 38 \text{ mm} \text{ (Modificar el diámetro)}$$

Punto H $M_{RH} = 245655 \text{ Kgf}\cdot\text{mm}$ $T = 220547 \text{ Kgf}\cdot\text{mm}$

Diámetro mínimo requerido

$$d_{\min} = 47 \text{ mm} > 38 \text{ mm} \text{ (Modificar el diámetro)}$$

CALCULO DEL QUINTO EJE

Plano: XSINT-153 **Dimensiones:** $\varnothing = 38$ mm Long. = 1558 mm

Potencia: 3.55 Kw N = 82.479 rpm = 8.6372 rad/s

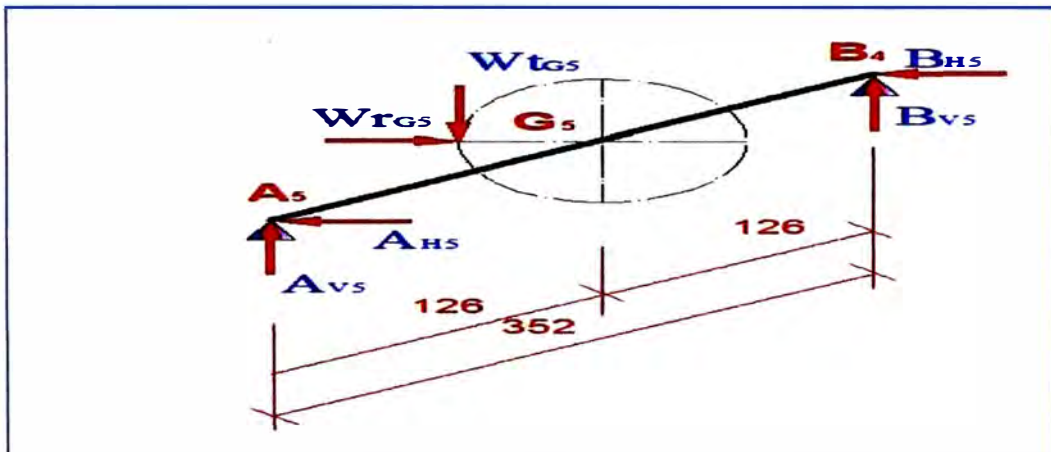
Material: Acero SAE 4340 (DIN 34CrNiMo6)

Forma: Eje sólido con canal chavetero

Esfuerzo de fluencia = 104 Kgf/mm²

Esfuerzo de rotura = 143 Kgf/mm²

Esfuerzo permisible al corte = 19 Kgf/mm²



Valores: $D_{G4} = 184$ mm

Cálculo de torques:

$$T_{G4} = 41897 \text{ Kgf} \times \text{mm}$$

Cálculo de fuerzas:

$$W_{tG4} = 455 \text{ Kgf}$$

$$W_{rG4} = W_{tG4} \times \tan 20^\circ = 166 \text{ Kgf}$$

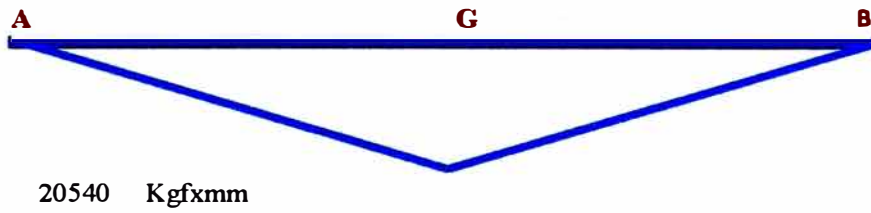
$$A_{vs} = 163 \text{ Kgf}$$

$$B_{vs} = 292 \text{ Kgf}$$

$$A_{hs} = 59 \text{ Kgf}$$

$$B_{hs} = 106 \text{ Kgf}$$

Plano vertical



Plano horizontal

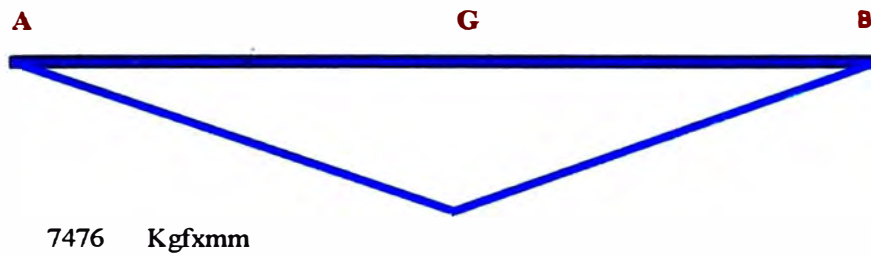
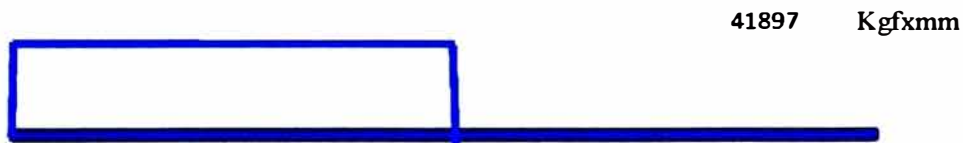


Diagrama de torque



d_i/d_o	α	K_m	K_t	E (Kgf/mm ²)
0	1	1.5	1.0	21000

Punto G $M_{RG} = 21858$ Kgfxmm $T = 41897$ Kgfxmm

Diámetro mínimo requerido

$d_{min} = 23$ mm < 38 mm OK

**ANEXO B:
FIGURAS Y TABLAS DEL LIBRO DE ALVA**

**TABLA N° 1
PROPORCIONES DE LOS DIENTES DE ENGRANAJES
CILINDRICOS RECTOS, HELICOIDALES Y BI-HELICOIDALES**

ITEMS	SIM- BOLO	SISTEMA DE DIENTES		
		"OBSOLETO" 14,5°, 20°	RECORTADO 20° SD	ACTUAL 20°, 25°
Adendum	a	m	0,8 m	m
Dedendum	b	1,57 m	m	1,25 m
Altura de diente	h_t	2,157 m	1,8 m	2,25 m
Altura de trabajo	h_k	2 m	1,6 m	2 m

m = Módulo del diente en mm/diente

**TABLA N° 2
MODULOS Y PASOS DIAMETRALES NORMALIZADOS**

MODULO NORMALIZADO	EQUIVALENCIA EN PASO DIAMETRAL	PASO DIAMETRAL NORMALIZADO	EQUIVALENCIA EN MODULO
1	25,4	1	25,4
1,125	22,57778	1 1/4	20,32
1,25	20,32	1 1/2	16,9333
1,375	18,47273	1 3/4	14,51429
1,5	16,93333	2	12,7
1,75	14,51429	2 1/4	11,28889
2	12,7	2 1/2	10,16
2,25	11,28889	3	8,46667
2,5	10,16	4	6,35
2,75	9,23636	5	5,08
3	8,46667	6	4,23333
3,5	7,25714	7	3,62857
4	6,35	8	3,175
4,5	5,64444	9	2,82222
5	5,08	10	2,54
5,5	4,61818	11	2,30909
6	4,23333	12	2,11667
7	3,62857	14	1,81429
8	3,175	16	1,5875
9	2,82222	18	1,41111
10	2,54	20	1,27
11	2,30909	22	1,15455
12	2,11667	24	1,05833
14	1,81429		
16	1,5875		
18	1,41111		
20	1,27		
22	1,15455		
25	1,016		

NOTA: De preferencia usar los módulos y pasos diametrales impresos en caracteres más gruesos.

TABLA N° 3
NUMERO MINIMO DE DIENTES DE PIÑONES DE
ENGRANAJES CILINDRICOS PARA EVITAR EL
RECORTADO DE LOS DIENTES

ANGULO HELICE (ψ)	ANGULO DE PRESION NORMAL (ϕ_n)			
	14,5°	20°	20°SD	25°
0	32	17	14	12
15	29	16	13	11
16	29	16	13	11
17	28	16	12	10
18	28	15	12	10
19	28	15	12	10
20	27	15	12	10
21	27	15	12	10
22	26	14	12	10
23	26	14	11	9
24	25	14	11	9
25	24	13	11	9
30	22	12	10	8
31	21	12	9	8
32	20	11	9	8
33	20	11	9	8
34	19	11	9	7
35	18	10	8	7
36	18	10	8	7
37	17	10	8	7
38	17	9	8	7
39	16	9	7	6
40	15	9	7	6
41	15	8	7	6
42	14	8	7	6
43	14	8	6	5
44	13	7	6	5
45	12	7	6	5

TABLA N° 4
NUMERO MINIMO DE DIENTES DEL PIÑON Y
ENGRANAJE CONICOS PARA UN ANGULO DE
PRESION DE 20°

RECTOS		ESPIRALES		ZEROL	
PIÑON	ENGR.	PIÑON	ENGR.	PIÑON	ENGR.
16	16	17	17	17	17
15	17	16	18	16	20
14	20	15	19	15	25
13	30	14	20		
		13	22		
		12	26		

TABLA 5
PROPORCIONES DE LOS DIENTES DE ENGRANAJES CONICOS

ITEMS	SIM-BOLO	RECTOS	ESPIRALES	ZEROL
ANGULO DE PRESION	ϕ	20° STD	20° STD	20° BASICO
ALTURA DE TABAJO	h_k	2 m	1.7 m	2m
ALTURA DE DIENTE	h_t	2.188+0.05	1.888 m	2.188 m + 0.05
ADENDUM DEL ENGRANAJE	a_g	$(0.54 \cdot \frac{0.46 \cos \gamma_g}{m_g \cos \gamma_p}) m$	$(0.46 \cdot \frac{0.390 \cos \gamma_g}{m_g^2}) m$	$(0.54 \cdot \frac{0.46 \cos \gamma_g}{m_g \cos \gamma_p}) m$
ADENDUN DEL PIÑON	a_p	$h_k - a_g$	$h_k - a_g$	$h_k - a_g$
RANGO DE MODULO USADO	m	----	2	8
ANCHO DE FLANCO	F	$\leq A_p / 3 \text{ ó } \leq 10 \text{ m}$	$\leq 0.3 A_p \text{ ó } \leq 10 \text{ m}$	$\leq 0.25 A_p \text{ ó } \leq 10 \text{ m}$
ANGULO DE ESPIRAL		----	35°	0°
MINIMO NUMERO DE DIENTES POSIBLES	z_p	13	12	13

TABLA N° 6
COMBINACIONES TÍPICAS DE
DUREZA PARA PIÑONES Y
ENGRANAJES

BHN PIÑÓN	BHN ENGRANAJE
210	180
245	210
265	225
285	245
300	255
315	270
335	285
350	300

TABLA N° 7
NÚMERO MÍNIMO DE DIENTES DEL PIÑÓN POR
EFFECTO DE INTERFERENCIA

RELACION DE TRANSMISION	ANGULO DE PRESION, EN GRADOS			
	14,5°FD	20°FD	20°SD	25°FD
1,000 - 1,062	23	13	10	9
1,063 - 1,136	23	13	11	9
1,137 - 1,265	24	13	11	9
1,266 - 1,350	24	14	11	9
1,351 - 1,481	25	14	11	9
1,482 - 1,626	25	14	11	10
1,627 - 1,682	26	14	11	10
1,683 - 1,866	26	14	12	10
1,867 - 1,994	26	15	12	10
1,995 - 2,512	27	15	12	10
2,513 - 3,033	28	15	12	10
3,034 - 3,239	28	16	13	10
3,240 - 3,295	28	16	13	11
3,296 - 4,616	29	16	13	11
4,617 - 6,317	30	16	13	11
6,318 - 7,324	30	17	13	11
7,325 - 8,348	31	17	13	11
8,349 - 16,026	31	17	14	11
∞	32	18	14	12

TABLA N° 8
EJEMPLOS TÍPICOS DE LAS CARACTERÍSTICAS
LAS MÁQUINAS

FUENTE DE PODER:

Uniforme	Motor eléctrico, turbina.
Choques pequeños	motores de combustión interna multicilindros.
Choque medianos	Motor de combustión interna de un cilindro.

CARGAS EN LAS MÁQUINAS MOVIDAS:

Uniforme	Ventiladores centrífugos, agitadores de líquidos, transportadores de fajas con alimentación uniforme.
Choques moderados	Sopladores lobulares, agitador de líquido-sólido, transportador de faja con alimentación variable.
Choques fuertes	Chancadores de minerales, compresor de un solo cilindro, transportadores reciprocantes.

TABLA N° 9

FACTORES DE SOBRECARGA K_0 , C_0

FUENTE DE PODER	CARGA EN LA MÁQUINA MOVIDA		
	UNIFORME	CHOQUE MODERADO	CHOQUE FUERTE
Uniforme	1,00	1,25	≥1,75
Choques pequeños	1,25	1,50	≥2,00
Choques medianos	1,50	1,75	≥2,25

NOTA: Los valores de esta tabla son aplicables cuando exista reducción de la transmisión.
 Para transmisiones por engranajes rectos y cónicos que tienen incremento de velocidad, al valor de la tabla se deberá agregar (sumar):
 $0,01(z_g/z_p)^2$.

TABLA N° 10

**FACTORES DE SERVICIO DE MAQUINAS
ACCIONADOS CON MOTOR ELECTRICO**

APLICACION	10*HRS	24 HRS
Agitadores de:		
Líquidos puros.....	1,00	1,25
Líquidos y sólidos.....	1,25	1,50
Líquidos de densidad variable.....	1,25	1,50
Alimnetadores:		
De mandil ó faja.....	1,25	1,50
De discos.....	1,00	1,25
Reciprocantes.....	1,75	1,75
De tornillos.....	1,25	1,50
Bombas:		
Centrífugas.....	1,00	1,25
De dosaje.....	1,25	1,50
Reciprocantes:		
De efecto simple, 3 ó más cilindros.....	1,25	1,50
De doble efecto, 2 ó más cilindros.....	1,25	1,50
De efecto simple, 1 ó 2 cilindros.....	+	+
De doble efecto, un cilindro....	+	+
Compresoras:		
Centrífugas.....	1,00	1,25
De lóbulos.....	1,25	1,50
Reciprocantes:		
De un cilindro.....	1,75	1,75
Multicilíndricos.....	1,25	1,50
Chancadoras de:		
Minerales ó piedras.....	1,75	1,75
Azúcar.....	--	1,50
Elevadores:		
De canguilones cargados uniformemente.....	1,00	1,25
De canguilones fuertemente cargado	1,25	1,50
Continuos de canguilones.....	1,00	1,25
Con descarga centrífugo.....	1,00	1,25
Escaleras.....	1,00	1,25
Montacargas.....	1,25	1,50
Máquinas herramientas:		
Accionamientos auxiliares.....	1,00	1,25
Accionamiento principal.....	1,25	1,50
Prensas.....	1,75	1,75

APLICACION	10*HRS	24 HRS
Molino de bolas, secadores rotatorios, horno de cemento.....	--	1,50
Bornos rotatorios.....	1,25	1,50
Molinos de tambor.....	1,75	1,75
Sopladores:		
Centrífugos.....	1,00	1,25
De lóbulos.....	1,25	1,50
Turbosopladores.....	1,00	1,25
Transportadores uniformemente cargados o alimentados: de mandil, fajas, de cadenas, de tornillos.....	1,00	1,25
Transportadores pesados con alimentación variable de: mandil, faja, cadena, tornillo.....	1,25	1,50
Transportadores extrapesados:		
De rodillos.....	+	+
Reciprocantes ó sacudidores.....	1,75	1,75
Ventiladores:		
Centrífugo.....	1,00	1,25
Para torres de enfriamiento con tiro forzado ó inducido.....	+	+
Para tiro inducido.....	1,25	1,50
Grandes (minerías, etc.).....	1,25	1,50
Grandes para uso industrial.....	1,25	1,50
Pequeños (diámetro pequeño).....	1,00	1,25
Zarandas rotatorias para piedras ó piedras chancadas.....	1,00	1,25

Los factores de servicios nominales son: 0,80 , 1,00 , 1,25 , 1,50 , 1,75 , 2,00 .

* Para servicio intermitente (3 horas diarias), usar como factor de servicio el valor proximo inferior consignado en la tabla.

Para servicios esporádicos (0,5 horas diarias) se debe hacer un estudio particular según sea el caso.

+ Los valores de los factores de servicio no están establecidos. Hacer un estudio particular del caso.

NOTA: MAQUINAS MOTRICES. Para maquinas multicilíndricas, usar el valor proximo superior de lo que corresponde en la tabla. Para máquinas de un solo cilindro se requiere hacer un estudio particular y generalmente son mayores que para multicilíndricas, ya que, el sistema puede estar sometido a vibraciones torsionales críticas.

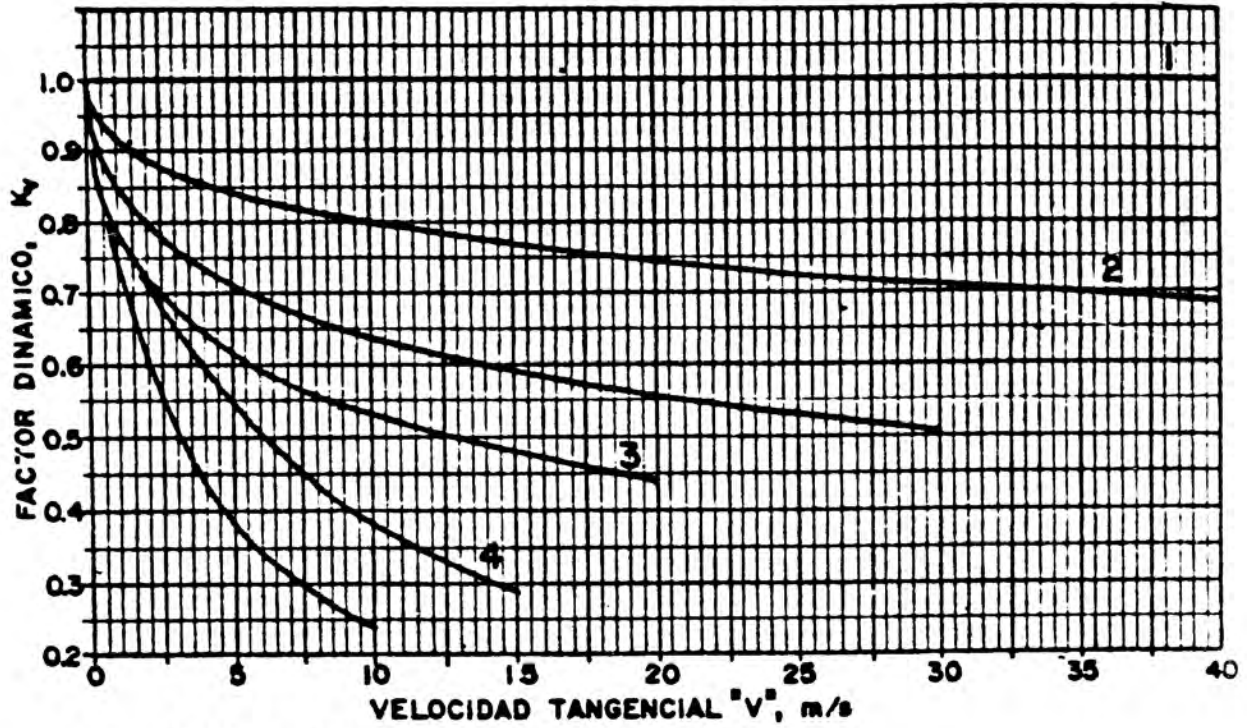


FIG. 1. FACTOR DINAMICO, K_v

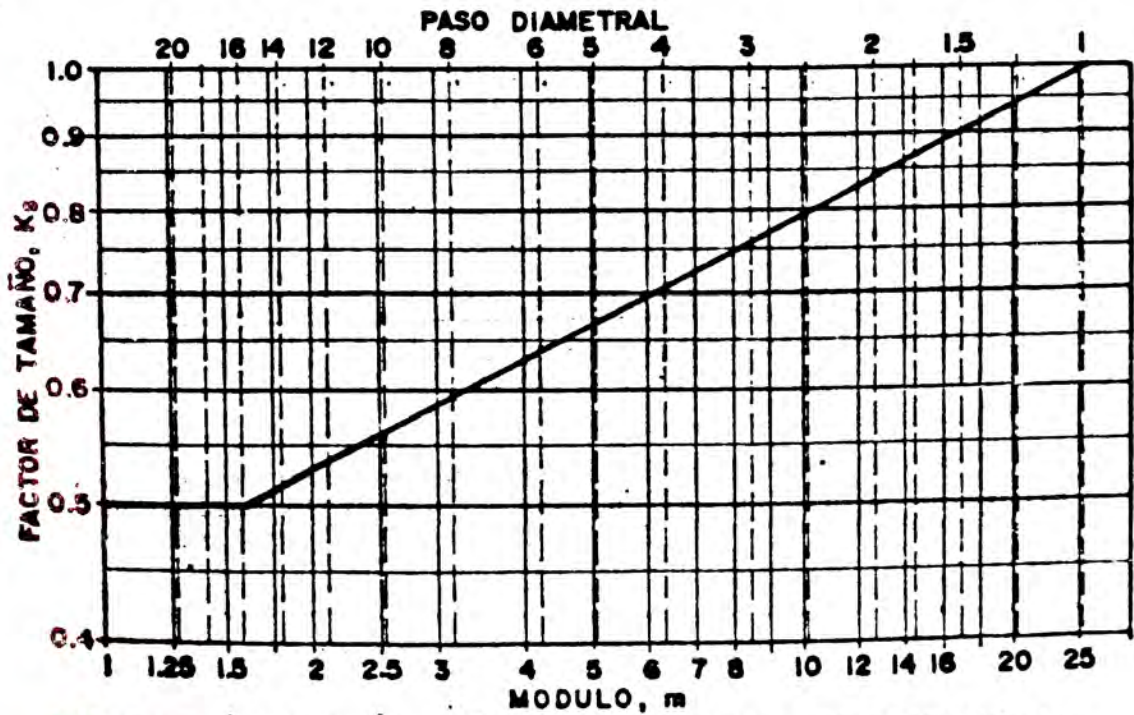


FIG 2: FACTOR DE TAMAÑO PARA ENGRANAJES CONICOS. K_b

TABLA N° 10 TABLA N° 11
FACTORES DE DISTRIBUCION DE CARGA PARA ENGRANAJES RECTOS,
HELICOIDALES Y BI-HELICOIDALES, K_n , C_n

F/D	CONTACTO	K_n , C_n
$\leq 1,0$	0,95F de contacto , 1/3 de torque	1,4
	0,95F de contacto , 100 % torque	1,1
	0,75F de contacto , 1/3 del torque	1,8
	0,95F de contacto , 100 % torque	1,3
	0,35F de contacto , 1/3 del torque	2,5
	0,95f de contacto , 100 % torque	1,9
Más de 1,0 pero menor que 2,0	0,20F de contacto , 1/3 del torque	4,0
	0,75F de contacto , 100 % torque	2,5
	Quando se realice el bombeado de los dientes: 0,35F de contacto , 1/3 del torque	2,5
	0,85F de contacto , 100 % torque	1,7
	Piñón calculado con carga combinada de flexión y torsión y con desplazamiento no mayor de 0.025mm del flanco del diente. Dureza del piñón no mayor de 250BHN 0,75F de contacto , 1/3 del torque	2,0 1,4
Más de 2,0	0,95F de contacto , 100 % torque	1,4
	Piñón calculado con carga combinada de flexión y torsión y con desplazamiento no mayor de 0.018mm del flanco del diente. Dureza del piñón no mayor de 350BHN 0,75F de contacto , 1/3 del torque	2,0 1,4
	0,95F de contacto , 100 % torque	1,4
Más de 3,0	0,30F de contacto , 1/3 del torque	4,0
	0,75F de contacto , 100 % torque	3,0
	Quando el desplazamiento por torsión y por flexión excede de 0,025mm del flanco del diente	*

Calcular los efectos de la deflexión y corregir en uno de ellos, el ángulo de hélice para compensar la deflexión, ó, incrementar el valor del factor a fin de compensar los errores por desalineamiento y por deflexión.

TABLA N° 12
FACTORES DE DISTRIBUCION DE CARGA K_n , C_n

CONDICION DEL SOPORTE	ANCHO DE DIENTES							
	≤50mm		150mm		230mm		≥400mm	
	REC	HEL	REC	HEL	REC	HEL	REC	HEL
Montaje cuidadoso, juego pequeño de cojinetes, deflexión elástica mínima, engranajes de precisión	1,3	1,2	1,4	1,3	1,5	1,4	1,8	1,7
Montaje menos rígido, engranajes precisos, 100% de contacto	1,6	1,5	1,7	1,6	1,8	1,7	2,0	2,0
Montaje y precisión tal que no produzca contacto completo con el diente	más de 2,0							

REC=Engranajes cilíndricos de dientes rectos

HEL=Engranajes cilíndricos de dientes helicoidales

TABLA N° 13
FACTOR DE DISTRIBUCION DE CARGA PARA ENGRANAJES CONICOS, K_n , C_n

APLICACION	LAS DOS RUEDAS MONTADAS ENTRE APOYOS	UNA DE LAS RUEDAS MONTADA ENTRE APOYO	NINGUNA DE LAS RUEDAS MONTADAS ENTRE APOYOS
Industrial, en general	1,00 - 1,10	1,10 - 1,25	1,25 - 1,40
Automotriz	1,00 - 1,10	1,10 - 1,25	1,25 - 1,50
Aviación	1,00 - 1,25	1,10 - 1,40	1,25 - 1,50

NOTA: Frecuentemente, las limitaciones de espacio son las que determinan el tipo de soporte que determinada instalación. Normalmente, una de las ruedas puede ser montada entre apoyos, pero no siempre es factible hacerlo para las dos ruedas. Las ruedas soportadas en voladizo puede ser una buena solución. En general, se requiere que los soportes sean lo suficientemente rígidos.

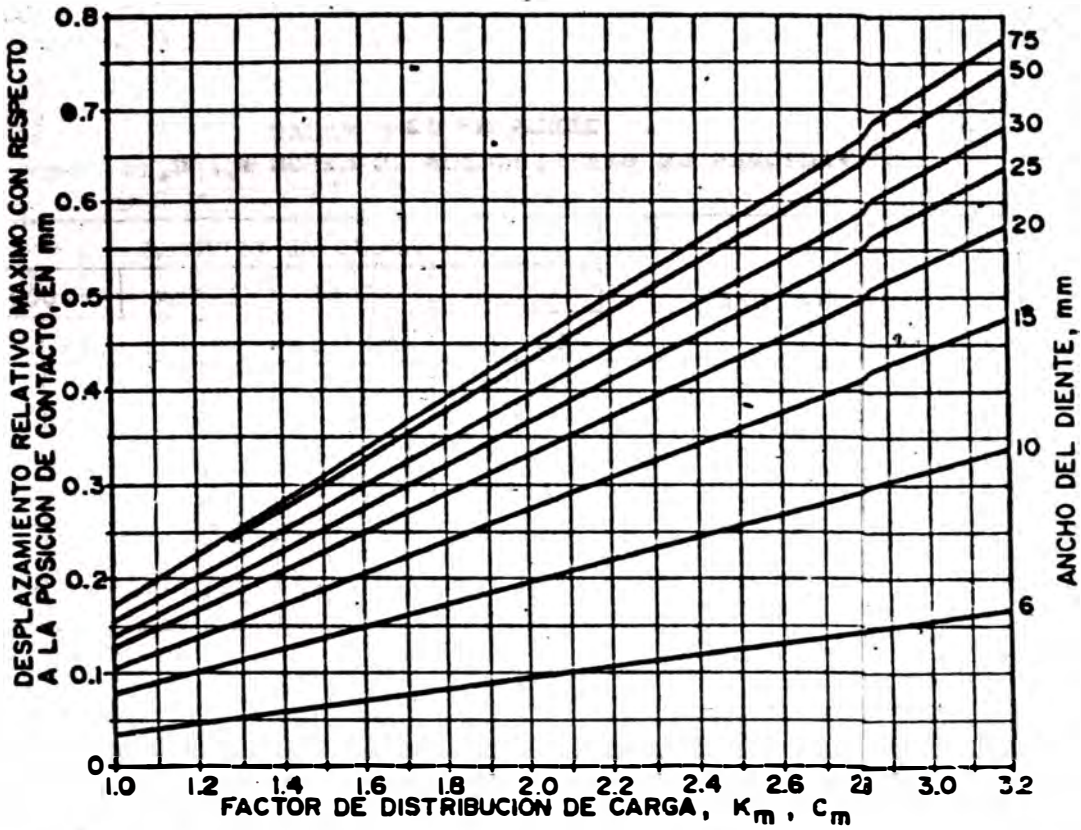


FIG.3: FACTOR DE DISTRIBUCION DE CARGA PARA ENGRANAJES CONICOS, K_m, C_m

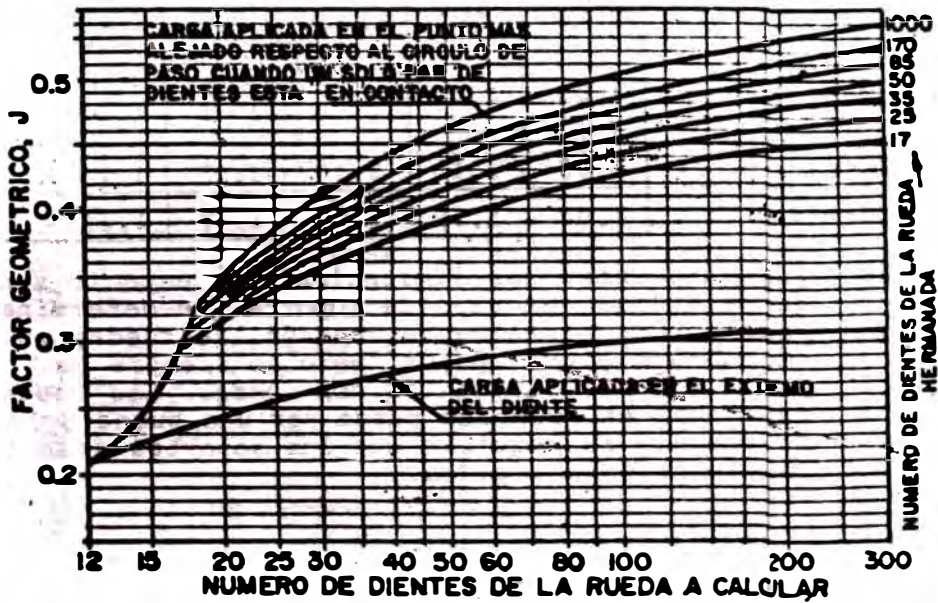


FIG.4: FACTORES GEOMETRICOS, J, PARA ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS, $\theta = 20^\circ$

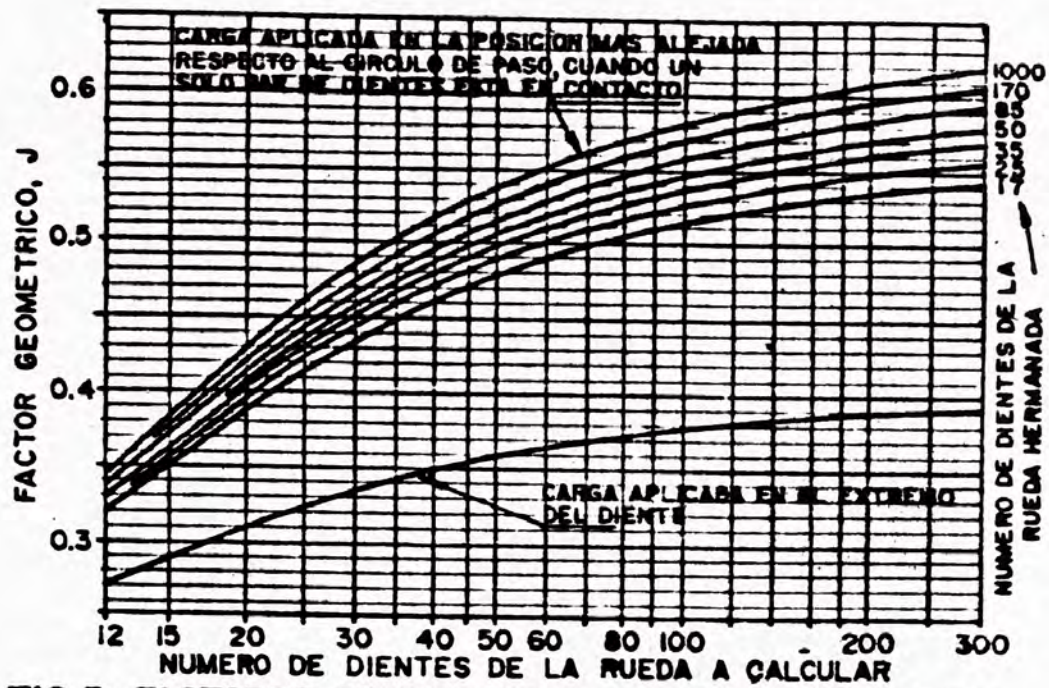


FIG. 5: FACTORES GEOMETRICOS, J, PARA ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS, $\phi = 25^\circ$

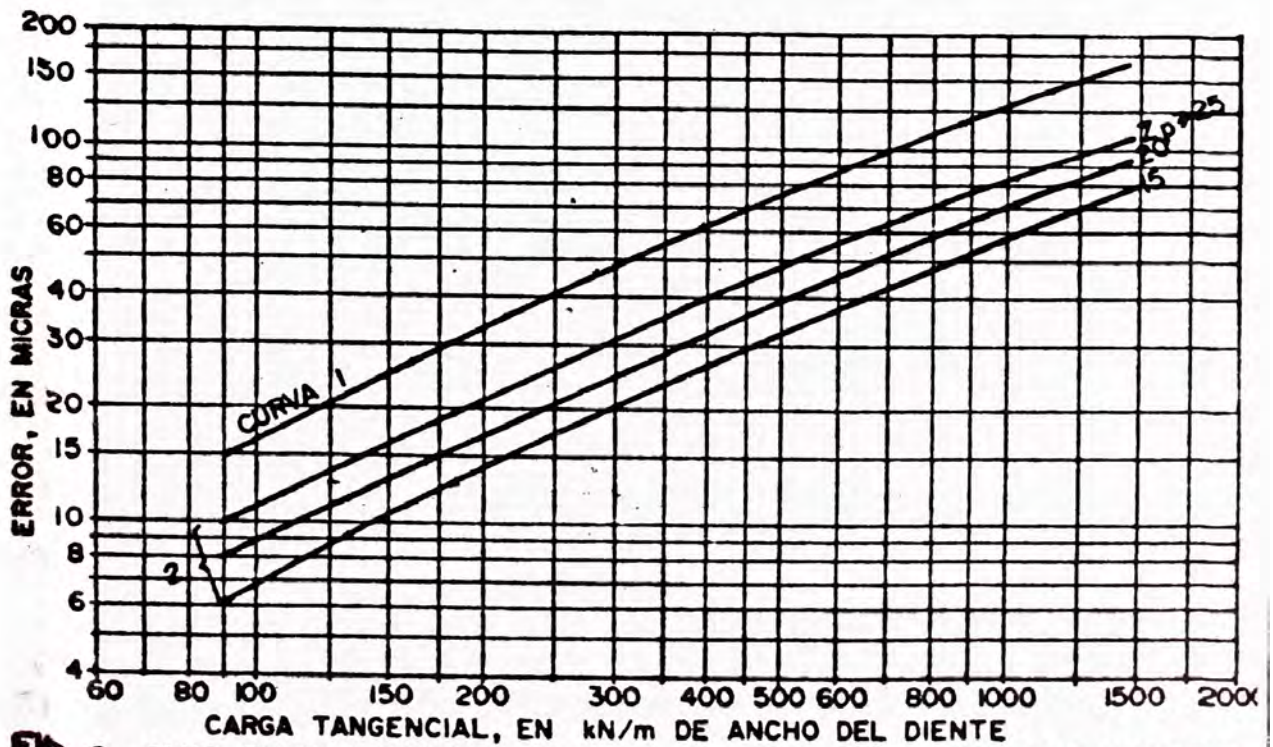


FIG. 6: GUIA PARA LIMITAR EL ERROR EN ACCION EN ENGRANAJES CILINDRICOS DE DIENTES RECTOS

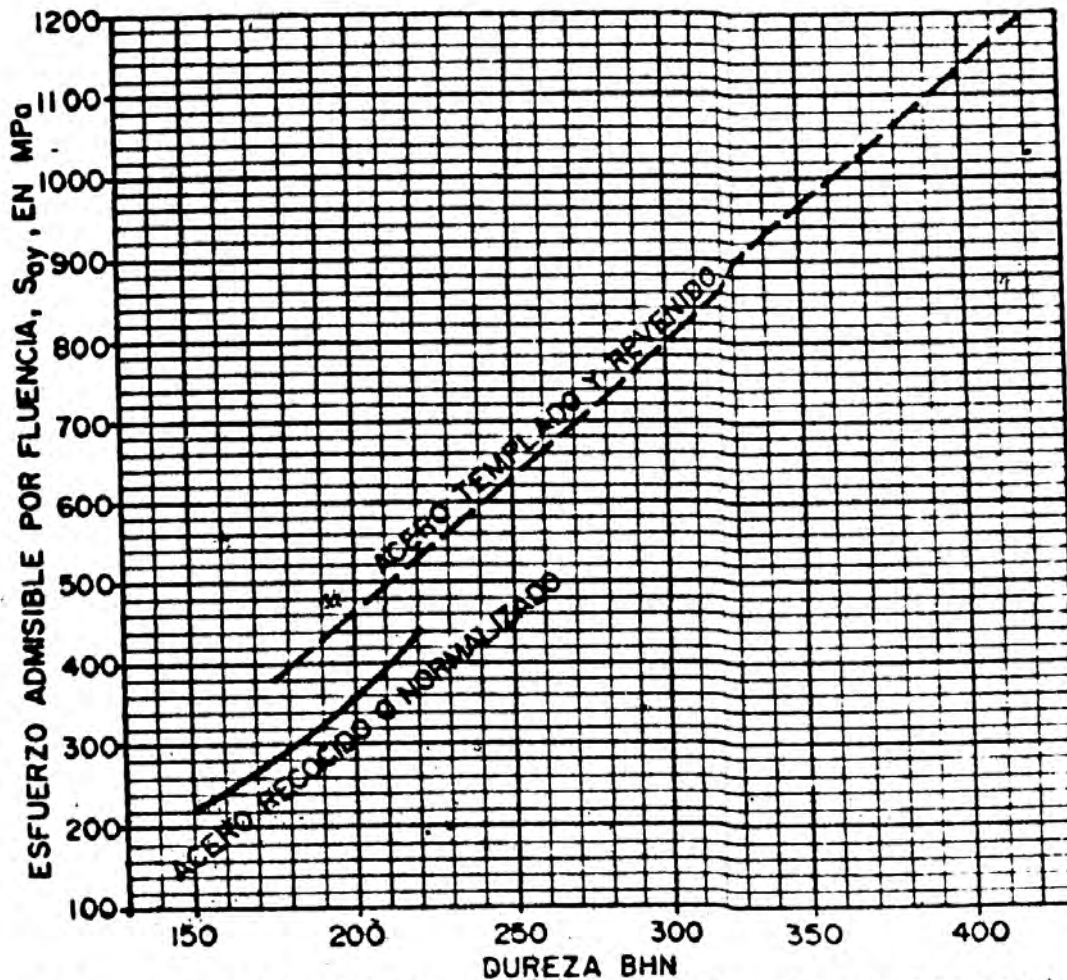


FIG. 17: ESFUERZOS ADMISIBLES, S_{0y} , PARA CALCULOS POR FLUENCIA.

TABLA 15
FACTOR DE VIDA, K_L

NUMERO DE CICLOS	ENGRANAJES RECTOS, HELICOIDALES Y BI-HELICOIDALES				ENGRANAJES CONICOS CAPA DURA, CARBURIZAD.*
	160 BHN	250 BHN	450 BHN	CAPA DURA CARBURIZAD.*	
10^3	1,6	2,4	3,4	2,7	4,6
10^4	1,4	1,9	2,4	2,0	3,1
10^5	1,2	1,4	1,7	1,5	2,1
10^6	1,1	1,1	1,2	1,1	1,4
10^7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10^8	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0-0,8	1,0

* DUREZA DE LA CAPA DURA: 55-63 R_c

TABLA N° 16
FACTOR DE SEGURIDAD RESPECTO A LA RESISTENCIA
A LA FATIGA, K_f

REQUERIMIENTO	K_f
Alta confiabilidad	$\geq 1,50$
De 100 falla uno	1,00
De 3 falla uno	0,70

TABLA N° 17
FACTOR DE SEGURIDAD RESPECTO AL
ESFUERZO DE FLUENCIA, K_f

REQUERIMIENTO	K_f
Alta confiabilidad	$\geq 3,00$
Diseño normal	1,33

TABLA N° 18
COEFICIENTE ELASTICO, C_p ; PARA ENGRANAJES RECTOS,
HELICOIDALES Y BI-HELICOIDALES

MATERIAL DEL PIÑON	MODULO DE ELASTICIDAD (KGS/MM ²)	MATERIAL DEL ENGRANAJE			
		ACERO	FD FDO	BRONCE ALUMINIO	BRONCE
Acero	$2,10 \times 10^4$	61	53	52	50
Fe Fdo.	$1,34 \times 10^4$	53	48	48	46
Bronce Aluminio	$1,23 \times 10^4$	52	48	46	45
Bronce	$1,14 \times 10^4$	50	46	45	44

* Para engranajes cónicos al valor obtenido de esta tabla, multiplicar por 1,225

TABLA N° 19
ESFUERZOS PERMISIBLES DE CONTACTO, Sac

MATERIAL	DUREZA SUPERFICIAL MINIMA	Sac Kgs/mm ²
Acero endurecido en toda la sección del diente:	180 BHN	60 - 67
	220 BHN	69 - 72
	260 BHN	78 - 87
	300 BHN	87 - 97
	350 BHN	99 - 110
	400 BHN	110 - 123
	450 BHN	122 - 136
Acero endurecido superficialmente por carburización:	55 Rc	127 - 141
	60 Rc	141 - 158
Acero endurecido superficialmente por inducción ó por llama	50 Rc	120 - 134
Fierro fundido: - AGMA grado 20 - AGMA grado 30 - AGMA grado 40		35 - 42
	175 BHN	46 - 53
	200 BHN	53 - 60
Fierro nodular: -Recocido -Normalizado -Templado en aceite y revenido	165 BHN	51 - 58
	210 BHN	60 - 67
	255 BHN	69 - 76
Bronce, AGMA 2c (10 - 12% Sn)	28,2 Kgs/mm ²	21
Bronce-Aluminio ASTM B 148-52 (aleación 9C-HT)	63,0 Kgs/mm ²	46

TABLA N° 20
FACTOR DE SEGURIDAD, C_s

REQUERIMIENTO	C_s
Alta confiabilidad	$\geq 1,25$
De 100 falla uno	1,00
De 3 falla uno	0,80

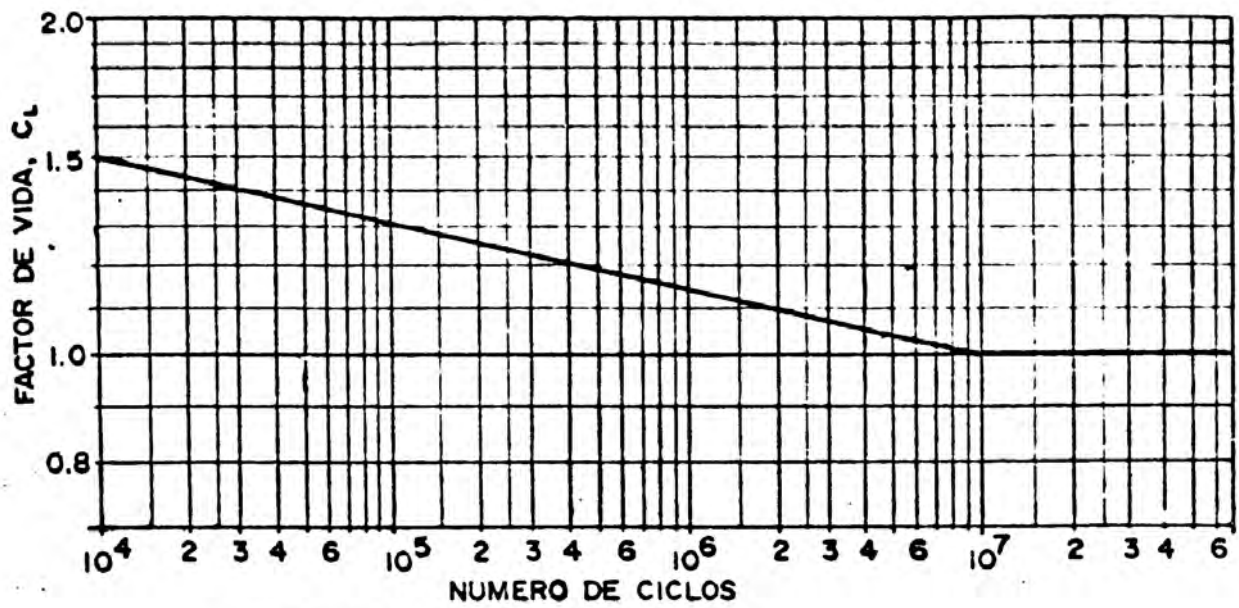


FIG. 32: FACTOR DE VIDA, C_L

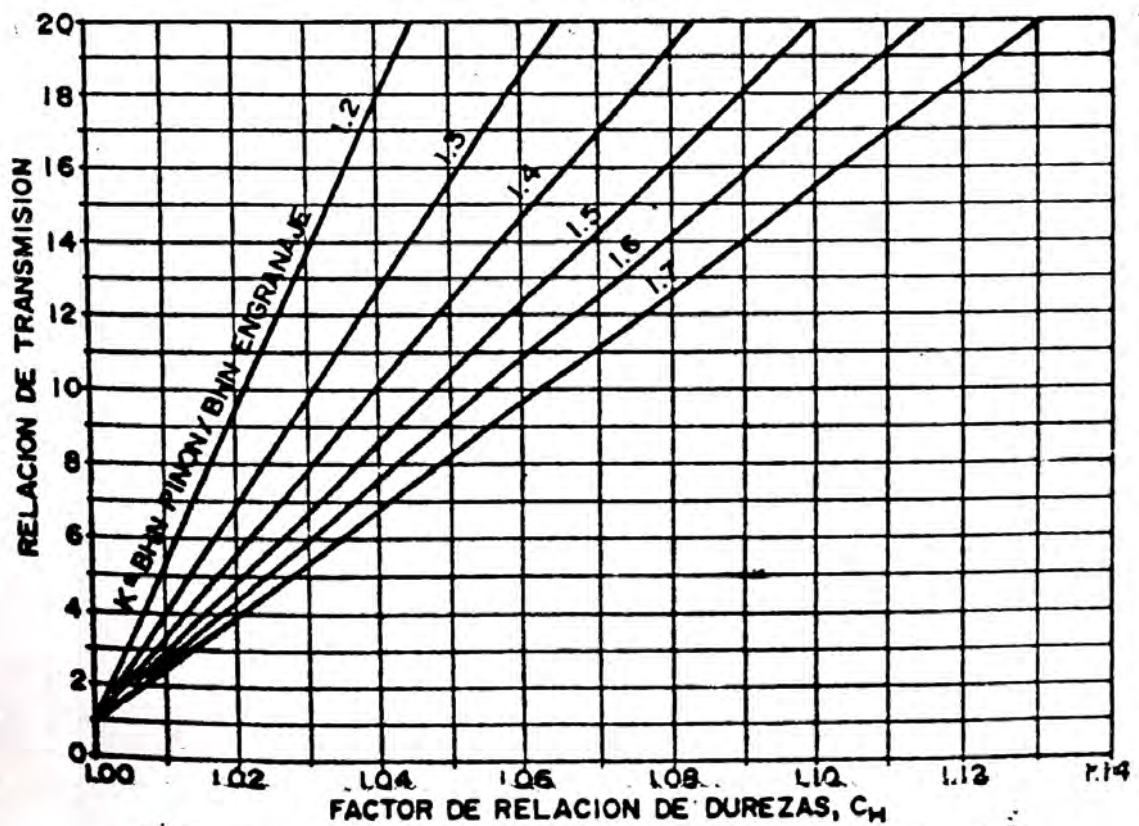


FIG. 33: FACTOR DE RELACION DE DUREZAS, C_H

ANEXO C: FIGURAS Y TABLAS DEL LIBRO DE NIEMANN

Tabla 5/2 Valores de resistencia de la fundición gris GG DIN 1693, hierro fundido con grafito nodular (fundición nodular) GGG DIN 1693 y hierro fundido austenítico (p. ej. GGL-NiMn13 7) DIN E 1694

Designación	Número del material	Resistencia a la tracción σ_n N/mm ² *	Dureza Rinell H B 30	Observaciones Módulo de elasticidad E en N/mm ² Resistencia a la flexión según DIN 50110* (luz 20d)
GG-10	0.6010	100	- 180	$E \approx 70\ 000 - 40\ 000$ N/mm ²
GG-10.9	0.6011	100	- 180	Inducción magnética $B_{15} \approx 6\ 000$ G
GG-15	0.6015	150	- 200	$E \approx 75\ 000 - 55\ 000$ Resistencia a la flexión ≈ 290
GG-20	0.6020	200	- 220	$E \approx 100\ 000 - 80\ 000$ Resistencia a la flexión = 350
GG-25	0.6025	250	- 240	$E \approx 130\ 000 - 100\ 000$ Resistencia a la flexión = 410
GG-30	0.6030	290	180 - 250	$E \approx 130\ 000$ Resistencia a la flexión = 470
GG-35	0.6035	340	190 - 270	$E \approx 130\ 000$ Resistencia a la flexión = 530
GG-40	0.6040	390	210 - 270	$E \approx 130\ 000$ Resistencia a la flexión = 590
GGG-38	0.7038	370	140 - 180	$E \approx$ Ferrita
GGG-42	0.7042	410	150 - 200	175 000. Ferrita
GGG-50	0.7050	490	170 - 240	Estructura: Ferrita-perlita
GGG-60	0.7060	590	210 - 200	Ferrita-perlita
GGG-70	0.7070	690	230 - 320	Perlita
GGL-MiMn13 7	0.6662	140	120 - 150	No magnetizable
GGL-NiCuCr15 6 3	170	170	150 - 250	Inalterable a la corrosión y a la erosión
GGG-NiMn13 7	0.7662	390	120 - 150	No magnetizable
GGG-NiMn23 4	0.7669	410	150 - 180	Inalterable a la corrosión tenaz

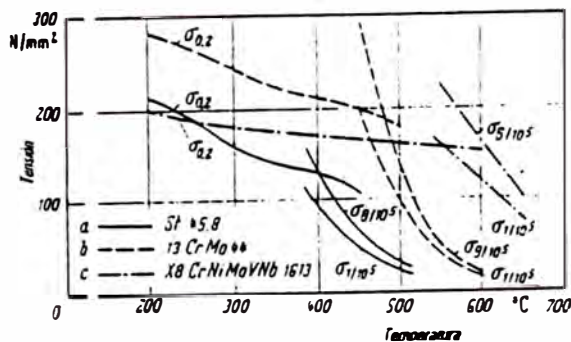


Fig. 3/19 Valores característicos del material para diferentes aceros a elevadas temperaturas según Wellinger/Dietmann. $\sigma_{0.2}$ a 20 °C: a 260, b 300 y c 260 N/mm²

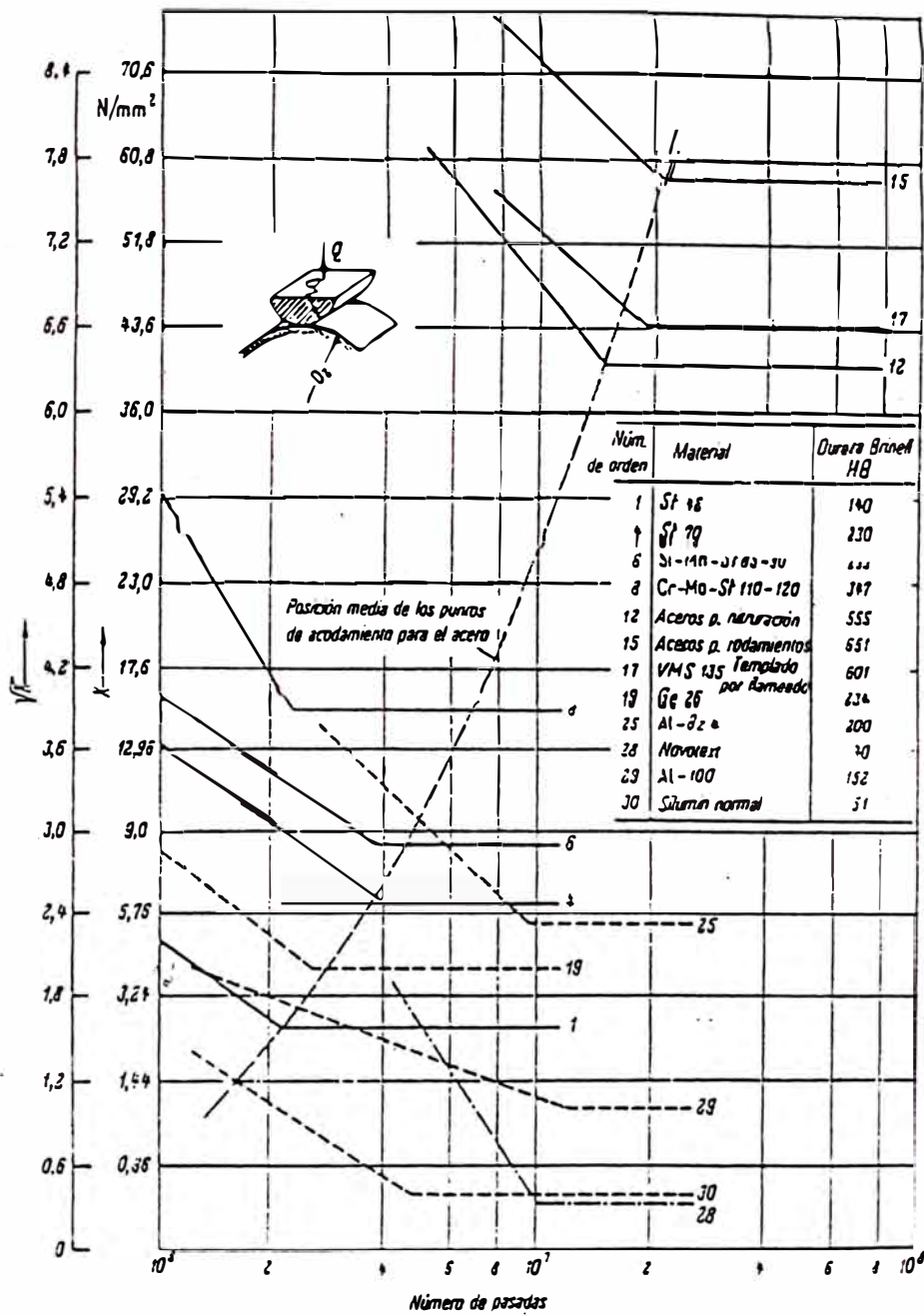


fig. 13/6 Resistencia del material a la rodadura $K = \frac{Q}{D_1 \cdot l_{acr}} = 2,86 \rho_H^2 / E$ en función del número de pasadas hasta que sobreviene la formación de hoyuelos, y para diferentes materiales, según Niemann [13/18] y Helbig [13/19]. Por debajo de las horizontales, esto es, de la resistencia a la fatiga por rodadura K_D , no se produce formación de hoyuelos. Circunstancias del ensayo: movimiento de rodadura sin deslizamiento. $D_1 = 40$ mm (probeta), $D_2 = 90$ mm odillo de presión de acero templado), $D_1 = 27,69$ mm, lubricación por gota de aceite de 85 cSt, superficies bien rectificadas

Tabla 2 Características de resistencia garantizadas

Marca	Ø (recocido blando) Dureza Brinell HB 30 kg/mm ² máxima	V (bonificado)															
		hasta 16 mm de diámetro				más de 16 a 40 mm de diámetro				más de 40 a 100 mm de diámetro				más de 100 a 250 mm de diámetro			
		Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Alarga- miento de rotura (L _o S _d) " " " " mínimo	Cons- tricción de rotura " " " " mínimo	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Alarga- miento de rotura (L _o S _d) " " " " mínimo	Cons- tricción de rotura " " " " mínimo	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Alarga- miento de rotura (L _o S _d) " " " " mínimo	Cons- tricción de rotura " " " " mínimo	Límite de fluencia	Resistencia a la tracción	Alarga- miento de rotura (L _o S _d) " " " " mínimo	Cons- tricción de rotura " " " " mínimo
C 22	155	36	55 a 65	20	40	30	50 a 60	22	45	—	—	—	—	—	—	—	—
C k 22	155	36	55 a 65	20	45	30	50 a 60	22	50	—	—	—	—	—	—	—	—
C 35	172	42	65 a 80	16	35	37	60 a 72	18	40	33	55 a 65	20	45	—	—	—	—
C k 35	172	42	65 a 80	16	40	37	60 a 72	18	45	33	55 a 65	20	50	—	—	—	—
C 45	206	48	75 a 90	14	30	40	65 a 80	16	35	36	60 a 72	18	40	—	—	—	—
C k 45	206	48	75 a 90	14	35	40	65 a 80	16	40	36	60 a 72	18	45	—	—	—	—
C 60	243	57	85 a 105	12	25	49	75 a 90	14	30	44	70 a 85	15	35	—	—	—	—
C k 60	243	57	85 a 105	12	30	49	75 a 90	14	35	44	70 a 85	15	40	—	—	—	—
40 Mn 4	217	65	90 a 105	12	40	55	80 a 95	14	45	45	70 a 85	15	50	—	—	—	—
30 Mn 5	217	—	—	—	—	55	80 a 95	14	45	45	70 a 85	15	50	42	65 a 80	16	55
25 Cr Mo 4	217	65	90 a 105	12	50	55	80 a 95	14	55	45	70 a 85	15	60	42	65 a 80	16	65
37 Mn Si 5	217	80	100 a 120	11	35	65	90 a 105	12	40	55	80 a 95	14	45	45	70 a 85	15	50
34 Cr 4	217	80	100 a 120	11	40	65	90 a 105	12	45	55	80 a 95	14	50	—	—	—	—
41 Cr 4	217	80	100 a 120	11	40	65	90 a 105	12	45	55	80 a 95	14	50	—	—	—	—
34 Cr Mo 4	217	80	100 a 120	11	45	65	90 a 105	12	50	55	80 a 95	14	55	45	70 a 85	15	60
42 Mn V 7	217	90	110 a 130	10	30	80	100 a 120	11	35	70	90 a 105	12	40	—	—	—	—
42 Cr Mo 4	217	90	110 a 130	10	40	80	100 a 120	11	45	70	90 a 105	12	50	55	75 a 90	14	55
36 Cr Ni Mo 4	217	90	110 a 130	10	45	80	100 a 120	11	50	70	90 a 105	12	55	55	75 a 90	14	60
50 Cr Mo 4	235	—	—	—	—	90	110 a 130	10	40	80	100 a 120	11	45	60	80 a 100	13	50
34 Cr Ni Mo 6	235	—	—	—	—	90	110 a 130	10	45	80	100 a 120	11	50	60	80 a 100	13	55
30 Cr Mo V 9	248	—	—	—	—	105	125 a 145	9	35	90	110 a 130	10	40	70	90 a 110	12	50
30 Cr Ni Mo 8	248	—	—	—	—	105	125 a 145	9	40	90	110 a 130	10	45	70	90 a 110	12	55

ANEXO D:
TABLAS DEL LIBRO DE LA NORMA DIN

Tabla 2. Datos para soldaduras de terminación en acero fundido resistente al calor

Calidad del acero fundido ¹⁾	Número del material según DIN 17 007	Materiales de adición de soldadura en cuestión ²⁾	Composición química ³⁾ en %, en peso			
			C	Si	Mn	Cr
GS-C 25	1.0619		0,18 a 0,25	0,30 a 0,50	0,50 a 0,80	≤ 0,30
		1.	0,07	0,30	0,75	0,10
		2.	0,07	0,70	1,00	
GS-22 Mo 4	1.5419		0,18 a 0,25	0,30 a 0,50	0,50 a 0,80	≤ 0,30
		1.	0,07	0,50	1,00	
		2.	0,07	0,30	0,75	0,10
GS-20 MoV 5.3	1.5404		0,16 a 0,23	0,30 a 0,50	0,70 a 0,90	≤ 0,30
		1.	0,07	0,50	1,00	
		2.	0,07	0,50	1,00	
		3.	0,06	0,35	0,9	0,95
GS-20 MoV 8.4	1.5406		0,16 a 0,23	0,30 a 0,50	0,50 a 0,80	≤ 0,30
		1.	0,07	0,50	1,00	
		2.	0,07	0,50	1,00	
		3.	0,09	0,30	0,6	2,1
GS-22 CrMo 5.4e	1.7354		0,18 a 0,25	0,30 a 0,50	0,50 a 0,80	0,80 a 1,10
		1.	0,10	0,30	0,60	1,25
		2.	0,07	0,50	1,00	
GS-17 CrMo 5.5 ¹⁾	1.7357		0,15 a 0,20	0,30 a 0,50	0,50 a 0,80	1,00 a 1,50
		1.	0,10	0,30	0,60	1,25
		2.	0,07	0,50	1,00	
GS-17 CrMoV 5.11 ¹⁾	1.7706		0,15 a 0,20	0,30 a 0,50	0,50 a 0,80	1,20 a 1,50
		1.	0,07	0,50	1,00	1,25
		2.	0,09	0,30	0,60	2,1
G-X 22 CrMoV 12.1 ¹⁾	1.4931		0,20 a 0,26	0,20 a 0,40	0,50 a 0,70	11,30 a 12,20
		1.7)	0,15	0,20	0,50	11,5

¹⁾ Se ha previsto incluir en la nueva edición que se encuentra en preparación las calidades de acero fundido GS-17 CrMo 5.5, GS-17 CrMoV 5.11, G-X 22 CrMoV 12.1 y G-X 22 CrMoWV 12.1, además de los datos de propiedades que aun faltan.

²⁾ Los materiales de adición de soldadura han de ser acordados expresamente entre cliente y suministrador; todos los datos sirven para material de soldadura fundido.

³⁾ Para las calidades de acero fundido se han indicado los límites de la composición química fijados y para los materiales de adición de soldadura se han citado sólo datos.

⁴⁾ La duración del revenido depende del espesor de pared.

Composición química ³⁾ en %, en peso				Temperatura de precalentamiento de soldadura °C	Temperatura de temple °C	Temperatura y duración de revenido ⁴⁾	Temperatura para recocido de eliminación de tensiones ⁵⁾ °C
Mo	V	W	Ni				
0,50				> 200	900 a 950	min. 2 h a 630 hasta 650 °C	620
0,35 a 0,45							
0,60	0,50			> 300	≤ 950	min. 2 h a 700 hasta 720 °C	650
0,50							
0,45 a 0,55	0,25 a 0,35						
1,10	0,50			> 300	≤ 980	min. 3 h a 720 hasta 740 °C	700
0,60	0,50						
0,55							
0,80 a 0,90	0,35 a 0,45			> 300	≤ 980	min. 3 h a 720 hasta 740 °C	700
1,40	0,50						
1,10	0,50						
1,0							
0,40 a 0,50				> 300	≤ 950	min. 2 h a 720 hasta 740 °C	700
0,50	0,05						
0,60	0,50						
0,45 a 0,55				> 300	≤ 950	min. 2 h a 720 hasta 740 °C	700
0,50	0,05						
0,60	0,50						
0,90 a 1,10	0,20 a 0,30			> 300	≤ 980	min. 2 h a 720 hasta 740 °C	700
1,35	0,50						
1,00							
1,00 a 1,20	0,25 a 0,35		0,70 a 1,00	> 400	≤ 980	< 1 00 °C ⁶⁾ ; min. 2 h a 700 hasta 730 °C	700
1,20	0,30	0,55	0,80				

⁵⁾ Para aceros conteniendo vanadio y para soldaduras con electrodos conteniendo vanadio, se elegirá la temperatura del recocido para eliminación de tensiones igual a la temperatura de revenido.

⁶⁾ Para espesores de pared mayores, puede emplearse una variedad de esta calidad de acero fundido con 0,40 a 0,60 % V, (G-X 22 CrMoWV 12.1, número del material: 1.4932).

⁷⁾ Estos datos sirven también para soldaduras en el acero G-X 22 CrMoWV 12.1.

⁸⁾ Al enfriamiento de la calda de lavado y revenido inmediatamente a continuación.