



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGÓN**

**“PROPUESTA DE UNA LINEA DE PRODUCCIÓN DE
RIELES EN MÉXICO.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

(ÁREA MECÁNICA)

PRESENTA:

JESÚS AUGUSTO PÉREZ HERNÁNDEZ

ASESOR: ING. ALFREDO ALDAZ BENÍTEZ

MÉXICO 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A DIOS

Por darme la oportunidad de
vivir, crear, reír y llorar, en
fin de disfrutar la vida
misma.

A MIS PADRES Y HERMANOS

Gracias por su amor, lealtad,
rigidez y sobre todo por
tratar de hacerme un hombre
de provecho, sin escatimar
ningún esfuerzo, gracias por
enseñarme que:

“Que una gota de agua no
perfora la piedra por su
fuerza, sino por su
constancia”.

Anónimo.

A MI NOVIA

Gracias por estar conmigo
cuando te necesite, por
brindarme el aliento cuando
claudicaba, pero sobre todo
por ayudarme a encontrarle a
la vida un sentido, porque:

“Todo hombre debe luchar
por las cosas que le dan un
sentido a su vida y que si las
descuidara, no le serviría de
nada tener un porvenir
asegurado”

La Biblia.

A MIS AMIGOS

Gracias por su apoyo, lealtad y todas esas emociones que engloban la palabra "amistad", la cual han cumplido cabalmente. Solo los exhorto a que luchan por lo que deseen obtener de la vida.

A MIS PROFESORES

Quienes a través de la docencia supieron compartir el conocimiento, resultado de años de experiencia, ya que más que mentores fueron amigos.

A LA UNAM

Mi querida UNAM, que me albergo durante tanto tiempo, y que no solo me brindo conocimiento, sino también me dio las más grandes lecciones de vida durante mi estancia en esta gran casa de estudios.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento por el apoyo brindado durante esta investigación a los siguientes personajes:

Ing. Manuel Pérez Jiménez.

Ing. Lucio Martínez.

Así como a mis padres y hermanos:

Augusto Pérez Espinosa y Josefina Hernández Cruz;

Alba Nidia, Jonathán y Guadalupe Natalia.

Además de mi novia y amigos:

Ivalú Domínguez Hidalgo.

Edgar Villanueva Mendoza.

Omar Martínez Trejo.

Jorge García Ortiz.

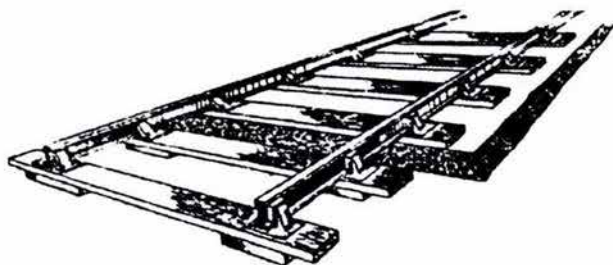
Jessica Becerril.

Pablo Cesar Arrollo

Mirielle Arianna González.

Víctor Plata.

“PROPUESTA DE UNA LINEA DE PRODUCCIÓN DE
RIELES EN MÉXICO.”



TEMARIO

I. INTRODUCCIÓN

I.1. JUSTIFICACIÓN

I.2. HISTORIA

I.3. ANTECEDENTES

II. DESARROLLO

II.1. ¿QUÉ ES EL ACERO?

II.2. PROCESOS DE OBTENCIÓN DEL ACERO

II.3. LAMINADO

II.4. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE UN RIEL

II.5. TIPOS DE RIEL

II.6. CARACTERÍSTICAS DE UN RIEL

II.7. PRINCIPALES DEFECTOS EN LA FABRICACIÓN DE UN RIEL

**II.8. IMPLANTACIÓN NECESARIA PARA UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN
DE RIEL**

II.9. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL RIEL

II.10. RIEL Y SUS ELEMENTOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA VÍA

III. PROPUESTAS.

III.1. LOGÍSTICA DE PRODUCCIÓN DE RIEL.

III.2. EL RIEL Y SUS APLICACIONES.

IV. CONCLUSIONES

I. INTRODUCCION

II. JUSTIFICACIÓN.

Uno de los transportes más importantes en el ámbito mundial es el ferroviario, el cual no a sido ampliamente explotado en México, pero en el terreno mundial a tomado una gran importancia debido principalmente a su bajo costo en la transportación tanto humana como material.

Nuestro tema se centra en recurrir a los avances tecnológicos de uno de los elementos que constituyen la via, por la cual corre el tren, tranvía, metro, tren bala, etc. **EL RIEL.**

El porque del tema es hacer una minuciosa investigación a cerca de la manufactura de este producto, y ver si es posible producir este elemento en México debido a que ningún pais de América produce dicho elemento. Este componente es pedido por los distintos paises de América a Francia. Lo cual nos indica que tiene un gran mercado por explotar, un ejemplo muy interesante del uso de este producto, seria la construcción de una vía ferroviaria de Acapulco a Veracruz, lo cual traeria ventajas arancelarias a México, ya que los Barcos ya no llegarían a el canal de Panamá, sino que México seria una estación de transito para sus productos

Esta tesis no es solo una investigacion sino que tratar de dar una propuesta sobre una linea de producción asi como recomendaciones para una logistica a seguir.

I.2. HISTORIA.

Los primeros rieles de que se tiene noticia fueron de piedra y bronce (siglo V a. J. C.). Mucho después (siglo XV) aparecen los rieles de madera en las minas; finalmente (siglo XVIII) se emplea el hierro, y, por último (siglo XIX), el acero se incorpora como material de los rieles.

Los primeros rieles metálicos modernos eran de corta longitud y estaban contruidos en hierro fundido, material que, debido a su fragilidad, pronto se mostró inadecuado para resistir la acción de las ruedas sobre él. Vino a continuación una larga etapa de utilización de rieles de hierro laminado, con una tenacidad mucho más alta y que, además, podían ser fabricados en longitudes mayores que los fundidos, sin embargo, el incesante aumento de las cargas por eje y de las velocidades de circulación hicieron precisa su continua sustitución a causa de su incapacidad para resistir el desgaste. Con la llegada del acero se produjo, no obstante, un cambio radical, pues ya de los primeros rieles de acero se dijo que tuvieron duraciones de dieciséis años en lugares donde, era preciso reemplazar los de hierro cada tres meses.

Tanto la rueda provista de pestaña como el riel fueron desarrollados en la primera mitad del siglo XIX y continúan unidos para constituir la base del medio de transporte terrestre socialmente mas rentable. El desarrollo en gran escala de estos dos elementos ferroviarios se caracteriza por el aumento de las cargas por eje desde 3 a más de 30 Ton y por las velocidades comerciales superiores a 200 km/h. El incremento de solicitudes producido ha podido soportarse debido a un amplio estudio del perfil del riel, teniendo en

cuenta, especialmente, la resistencia del mismo lo que dio lugar al desarrollo, ya durante el siglo pasado, del riel de patin plano. Con el transcurso del tiempo, los métodos de fabricación del acero se han modificado a partir del procedimiento del acero pudelado, pasando por los sistemas Bessemer, Thomas y Martin, para llegar a los procesos del acero eléctrico y del acero al oxígeno.

I.3. ANTECEDENTES

De acuerdo con la revista Ferrocarriles de 1967, en su artículo "Breve historia sobre la fabricación de rieles en México", hemos decidido anexar parte de este artículo, para una mayor exactitud en los registros y ver la importancia que conllevó la producción de rieles en nuestro país.

"Uno de los primeros productos que elaboró la Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, S. A., al inicio de sus operaciones, por el año de 1903, fueron los rieles. Fue así México el primer país iberoamericano en producir rieles y el único que pudo abastecerse por sí mismo de estos materiales tan necesarios y de tan difícil fabricación durante las dos Guerras Mundiales. No fue sino hasta 1945 cuando en Brasil comenzó a fabricar rieles la Compañía Siderúrgica Nacional de Volta Redonda. Aún hoy, no existen más que tres molinos de rieles en América Latina: los dos ya mencionados y el que tiene la Sociedad Mixta Siderurgia Argentina en San Nicolás.

Desde 1903, la Fundidora ha producido 985,000 Ton. de rieles y accesorios, muchos de los cuales todavía se hallan en servicio en distintas líneas ferroviarias, no sólo del país, sino también del extranjero.

En 1903 produjo la Fundidora 1,154 Ton. de rieles y accesorios, pero no fue sino a partir de 1909 cuando tomó un fuerte incremento esa fabricación, habiendo alcanzado un máximo "notable para la época" de 37,000 Ton. en 1911. Es importante señalar el destacado papel promotor del desarrollo siderúrgico de nuestro país que ya en aquellas

épocas tenían los Ferrocarriles. Más del 50% de la producción siderúrgica del país entre 1909 y 1912 se destinó a la fabricación de rieles y accesorios y, en 1911, más del 60%, lo cual equivale a decir que, de no ser los rieles, las instalaciones de la Fundidora hubieran quedado prácticamente en total inactividad por falta de pedidos en aquellos años tan difíciles.

Es por tanto consecuencia natural y obligada que a través de 63 años, haya adquirido la Fundidora una valiosa experiencia en esta difícil y delicada manufactura, que implica serias responsabilidades, particularmente en el aspecto alusivo a la elaboración del acero, que más que una ciencia, constituye un arte, puesto que muchas de las fases de esta elaboración dependen la pericia y conocimientos de los hombres. Ya en 1938 pudimos exportar 6,000 toneladas de rieles y accesorios a Colombia, sujetos a la minuciosa y exigente inspección de la Casa Robert W. Hunt de Chicago. (Foto Núm. 1.)

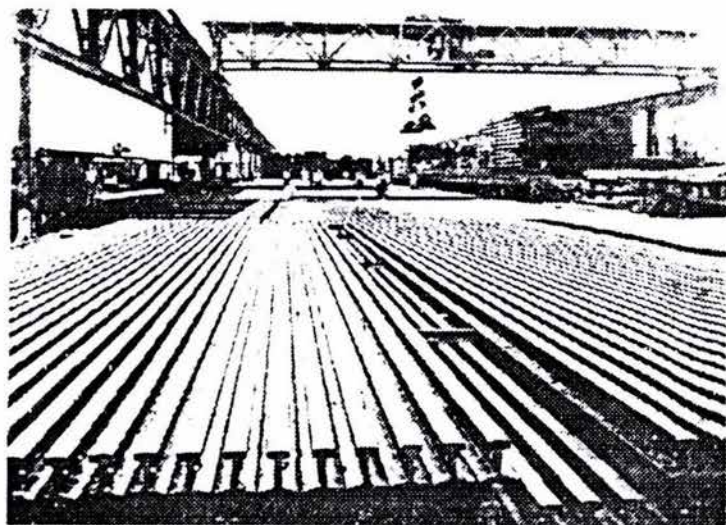


Foto No 1 Exportación de rieles a Colombia

Puesto que la Fundidora ha sido renovada durante los últimos siete años con inversiones que, por ahora montan a 1,800 millones de pesos, y puede por énde llamársele una industria *joven* y moderna, pero con la experiencia de 63 años de trabajo. (Fotos Núms. 2 y 3.)

Por último, y este factor es de primordial importancia, porque todo nuestro, acero es elaborado partiendo de hierro de " primera fusión, sin los nocivos elementos residuales tales como cobre, cromo, níquel, estaño, antimonio, etc., contenidos en la chatarra. (esto ultimo nos permitiría reutilizar dicho elemento)

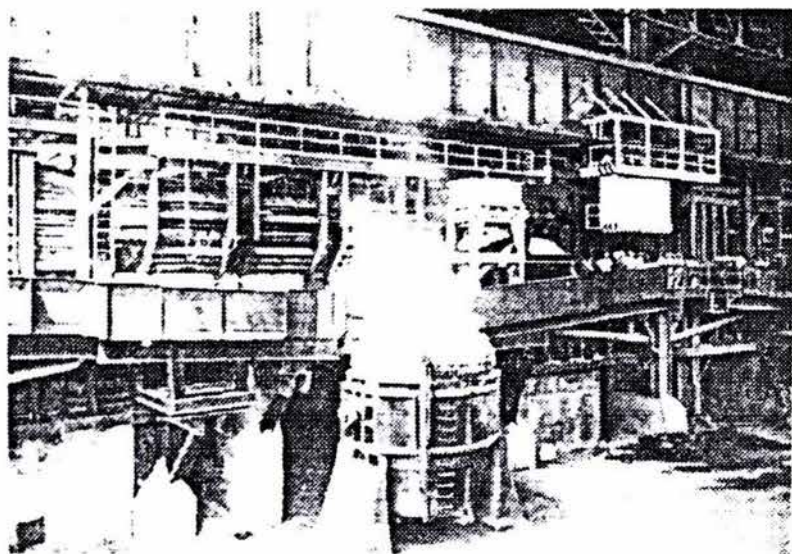


Foto No 2 Vaciado de 275 Ton de acero para rieles en el departamento No.2 de Aceración, instalado recientemente.

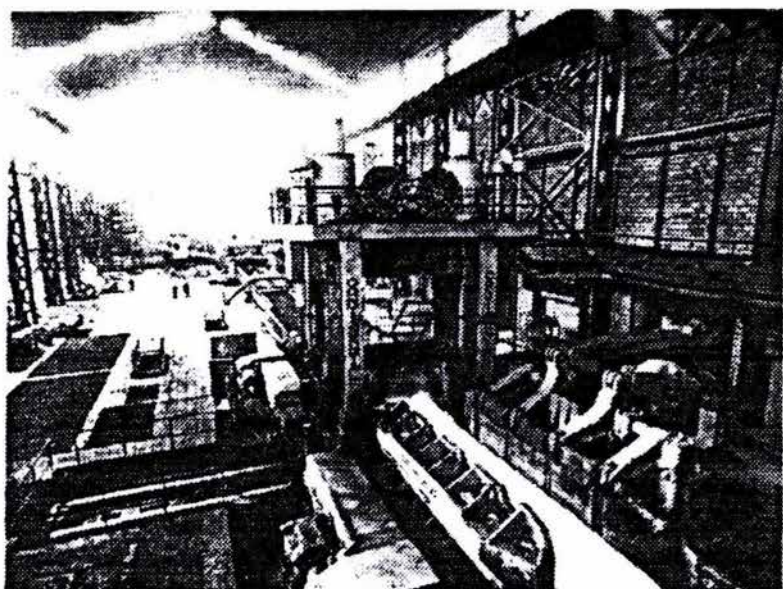


Foto Núm 3 En este molino desbastador de 46 "el mayor y más moderno de América Latina" se laminan las lupias destinadas a la fabricación de rieles

ESPECIFICACIONES

La producción de rieles en la Fundidora de Monterrey está sujeta a las especificaciones de la *American Railway Engineering Association (AREA)* que son las normas que rigen en Estados Unidos

A través de los años, estas especificaciones han sido objeto de múltiples cambios y modificaciones, haciéndose cada vez mas severas, con el propósito de garantizar el buen rendimiento de los rieles en su servicio en las vías.

Es interesante observar que las especificaciones de rieles de la *American Railway Engineering Association* difieren notablemente de las que rigen en Europa. Mientras que

los rieles que se usan en América son de alto contenido de carbón y bajos en fósforo y azufre, los rieles europeos son de contenido medio de carbón, y altos en fósforo (este último elemento les da dureza al desgaste). Esta diferencia fundamental procede, a no dudar, del tipo de minerales disponibles en Europa, muy altos en fósforo, procede además, de la aplicación del Bessemer Básico para la elaboración del acero, adecuado para los altos contenidos de fósforo en el mineral, sistema que está siendo abandonado paulatinamente.

No es nuestra intención ni es el objeto de esta corta historia sobre fabricación de rieles en México, hacer una comparación completa de las Especificaciones Americanas y Europeas, y nos concretamos, por tanto, a dar enseguida la comparación de los análisis químicos y pruebas de golpe a que está sujeta la fabricación de unos y otros rieles.

ESPECIFICACIONES QUIMICAS PARA RIEL DE 55.6 Kg. m. (112 lbs).

PAIS	NORMA	CARBON	MAGNESO	FOSFORO MAXIMO	AZUFRE MAXIMO	SILICIO
Estados Unidos	AREA	0.67 / 0.80	0.70 / 1.00	0.40		0.10 / 0.23
Francia	SNCF	0.37 / 0.55	0.70 / 1.20	0.80	0.06	0.07 / 0.35
Alemania	UIC	0.40 / 0.55	0.70 / 1.20	0.80	0.06	0.07 / 0.35

PRUEBAS DEL GOLPE. RIELES DE 55.6 Kg. m. (112 lbs.)

CONCEPTO	AMERICANA	FRANCESA	ALEMANA
Norma	AREA	SNCF	UIC
Peso del mazo	900 Kgs	300 Kgs	1 000 Kgs
Altura de caída	8.096 Mts	5.013 Mts	Estipular en pedido
Distribución entre apoyos	1.219 Mts	0.500 Mts	Estipular en pedido
Posición del riel	Cabeza arriba	Cabeza abajo	Cabeza arriba
Muestra con o sin muesca	Sin muesca	Con muesca	Sin muesca

Otro detalle interesante: en Europa se hace el enderezado de los rieles usando máquinas de rodillos que planchan el material y eliminan todo defecto de superficie, cosa que es factible debido al bajo contenido de carbono del acero; Mientras que en América, estamos obligados a hacer este enderezado a mano con prensas de golpe, debido al alto contenido de carbono del acero”.

Esto en cuanto a nuestros antecedentes según la revista Ferronal de 1967. Otros antecedentes importantes que debemos considerar, son en cuanto al aspecto social y económico, por lo cual en los siguientes puntos enunciaremos unos de ellos:

- Fundidora Monterrey inició operaciones el 5 de Mayo de 1900, con un capital de 10 millones de pesos
- Fundidora Monterrey contaba con un terreno de 226 hectáreas
- Fundidora Monterrey inició operaciones con 1500 obreros.
- AHMSA(alto hornos de Mexico S. A.) tiene un valor aproximado de 20mil millones de dólares(compañía similar a Fundidora Monterrey).
- Fundidora Monterrey en el momento de su cierre contaba con 10000 trabajadores.
- Fundidora Monterrey fue declarada en quiebra en el año de 1986.
- Pasco(empresa sur coreana de aceros), competidor directo y fundado en el mismo año es el primer productor a nivel mundial con una producción de 20 millones de toneladas por año, mientras que hoy en día Fundidora Monterrey ya no existe.

En la actualidad según la ALAF(Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles), fundada en 1964, dicha entidad reconocida por la Organización de las Naciones Unidas(La ALAF cuenta con socios en todo Latinoamérica, incluyendo también a Estados Unidos dentro de sus filas).

Esta asociación considera que el promedio anual de los últimos años y de los próximos es de 52 000 toneladas, demanda de rieles para conservación y no incluyendo obras nuevas.(Fuente ALAF, Arq. R. Valinoti)

Tampoco incluimos los rieles que puedan utilizarse en el metro de las distintas ciudades de América, ni los diferentes usos que se les pueda dar, ya sea como grúas, minas, etc. Lo cual nos habla de un gran mercado.

En cuanto al precio del mercado del acero durante Febrero del 2004, los valores oscilaron entre 210 dolares por tonelada de chatarra, mientras que a la venta oscilo entre 350 y 370 dólares por cada tonelada de acero

II. DESARROLLO

II.1. ¿QUÉ ES EL ACERO?

HISTORIA DEL ACERO:

No se conoce con exactitud la fecha en que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir un metal susceptible de ser utilizado. Los primeros utensilios de hierro descubiertos por los arqueólogos en Egipto datan del año 3000 a.C., y se sabe que antes de esa época se empleaban adornos de hierro. Los griegos ya conocían hacia el 1000 a.C. la técnica, de cierta complejidad, para endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico.

Las aleaciones producidas por los primeros artesanos de hierro (y, de hecho, todas las aleaciones fabricadas hasta el siglo XIV d.C.) se clasificarían en la actualidad como hierro forjado. Para producir esas aleaciones se calentaba una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno o forja con tiro forzado. Ese tratamiento reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para expulsar la escoria y para soldar y consolidar el hierro. En ocasiones esta técnica de fabricación producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierro forjado. Los artesanos de hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero auténtico.

Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos utilizados para la fundición y se incremento el tiro para forzar el paso de los gases de combustión por la carga o mezcla de materias primas. En estos hornos de mayor tamaño el mineral de hierro de la parte superior del horno se reducía a hierro metálico y a continuación absorbía más carbono como resultado de los gases que lo atravesaban. El producto de estos hornos era llamado arrabio, una aleación que funde a una temperatura menor que el acero o el hierro forjado. El acero se refinaba después para producir acero.

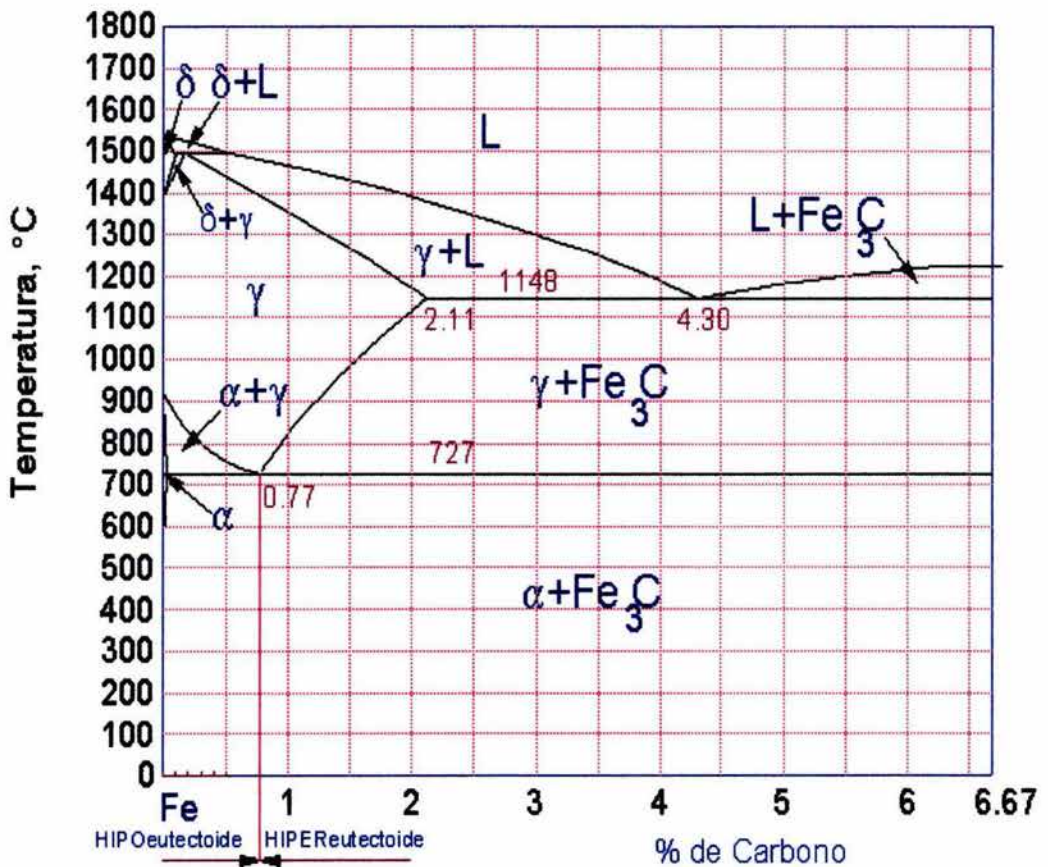
La producción moderna del acero emplea altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente. El proceso de refinado del arrabio mediante chorros de aire se debe al inventor británico Henry Bessemer, que en 1855 desarrolló el horno o convertidor que lleva su nombre. Desde la década de 1960 funcionan varios minihornos que emplean electricidad para producir acero a partir de material de chatarra. Sin embargo, las grandes instalaciones de altos hornos continúan siendo esenciales para producir acero a partir de mineral de hierro

EL ACERO

Metal fundamental, se puede obtener en grandes cantidades ya sea colado o forjado. Su plasticidad, ya sea a temperatura ambiente o a altas temperaturas permite trabajarlo en frío o en caliente. La combinación de su resistencia mecánica con su plasticidad le hacen el metal mas importante para la construcción de grandes estructuras variando el contenido de carbono y con tratamiento termicos apropiados pueden variar sus propiedades. Desde muy

blando a acero mecanizable del tipo empleado en piezas de metal prensado, alambre y materiales similares, a duro, acero resistente, apropiado para maquinas y herramientas en que se requiera gran resistencia mecánica y dureza.

DIAGRAMA Fe-C



Nomenclatura de signos.

α = Ferrita.
 δ = Austenita.

γ = Ledeburita.
 Fe_3C = Perlita.

L = líquido.

Los aceros son productos ferrosos cuyo tanto porcentaje de carbono esta comprendido entre 0,03 y 2%(ver diagrama Fe-C). El acero funde entre los 1400 y 1500°C, y se puede moldear con mas facilidad que el hierro.

La proporción de carbono influye sobre las características del metal. Pero se le pueden añadir otros materiales para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades Se distinguen dos grandes familias de acero: los aceros aleados y los no aleados. Existe una aleación cuando los elementos quimicos distintos al carbono se adicionan al hierro según una dosificación minima variable para cada uno de ellos.

Por ejemplo el 0.5% para el silicio, el 0.08% para el molibdeno, el 10.5% para el cromo De esta manera una aleación del 17% de cromo mas 8% niquel constituye un acero inoxidable Y por eso no hay un acero sino múltiples aceros.

ESTRUCTURA DEL ACERO:

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono(ver diagrama Fe-C) y de su distribución. Antes del tratamiento termico, la mayoría de los aceros son una mezcla de tres sustancias, ferrita, perlita, cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita es un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura características, sus propiedades físicas con intermedias entre las de sus dos componentes.

La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente depende de las proporciones de estos tres ingredientes. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está por compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono aún mayor es una mezcla de perlita y cementita.

CARACTERÍSTICAS DEL ACERO PARA RIEL

Dado el papel desempeñado por el riel, elemento clave en la estructura de la vía, se comprende que haya sido objeto de numerosos estudios teóricos y trabajos experimentales, con el fin de establecer las características fundamentales que debe cumplir. Dichas características, que son de indole tanto técnica como económica, presentan, en ocasiones, exigencias contradictorias, como veremos a continuación, por lo cual es preciso renunciar total o parcialmente a algunas de las propiedades que serían deseables. En efecto, en primer lugar, resulta necesario, como consecuencia del carácter de calzada del riel, que la superficie de rodadura sea lo más lisa posible, así como que la deformación bajo carga de esta sea de tal naturaleza que sus características geométricas se encuentren dentro del intervalo que delimita una calzada de buena calidad. En este sentido es del mayor interés que los rieles tengan una elevada rigidez. Sin embargo, para evitar su rotura sería adecuado un material capaz de absorber energía en forma de deformación elástica.

Por otro lado, si bien desde un punto de vista técnico la robustez del riel y, por tanto, su peso son deseables, con objeto de garantizar la seguridad de los trenes con grandes cargas por eje y elevadas velocidades, desde el prisma económico sería preferible un riel de

poco peso, pues, su repercusión en el coste del kilómetro de vía es importante. Por lo que se refiere al aspecto de la adherencia rueda-riel, se comprende el favorable efecto de disponer de una superficie rugosa, mientras que una pérdida mínima de energía durante la marcha de los vehículos exige una superficie lisa.

Dado que es inevitable la existencia de acciones dinámicas entre el vehículo y la vía, y que éstas tienen lugar a través de los rieles, interesa que éstos sean elásticos, lo que resulta difícil de conseguir de un modo general, como consecuencia de las elevadas presiones que tienen lugar en la reducida zona de contacto rueda-riel, y que pueden originar deformaciones plásticas en éste. Finalmente, con el fin de no desperdiciar material, lo ideal sería disponer del mayor número de perfiles de riel distintos. Se comprende, no obstante, que la estandarización de los elementos de la vía obligue a reducir el número de perfiles diferentes.

ALEACIONES

Debido a que las aleaciones han venido ganando un gran campo de acción en la Ingeniería, podemos conocer las propiedades que caracterizan a cada tipo de aleación. La resistencia no es la única característica que nos permite decidir si el elemento tendrá un desempeño óptimo. Un desempeño satisfactorio depende también de la densidad, la resistencia a la corrosión y los efectos de la temperatura, así como también de las propiedades eléctricas y magnéticas. Como ejemplo consideremos algunas partes para las cuales son especialmente apropiadas ciertas aleaciones.

Aleaciones de aluminio: partes de aviones (alta resistencia en la relación con su peso)

Aleaciones de magnesio: fundiciones para aviones (compite con el aluminio)

Aleaciones de cobre: alambres eléctricos (alta conductividad)

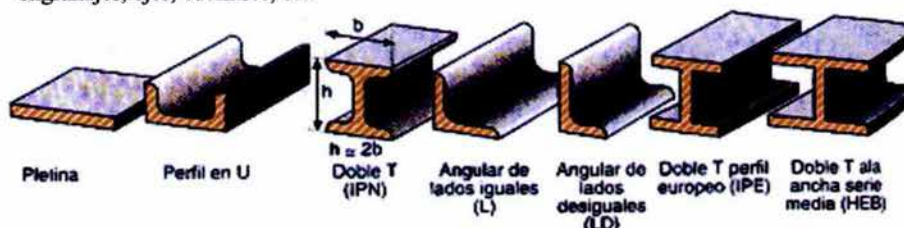
Aleaciones de níquel: partes para turbinas de gas (alta resistencia a temperaturas elevadas).

CLASIFICACIÓN DEL ACERO

Los aceros se clasifican en cinco grupos principales: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistentes, aceros inoxidables y aceros de herramientas.

ACEROS AL CARBONO: El 90% de los aceros son aceros al carbono. Estos aceros contienen una cantidad diversa de carbono, menos de un 1,65% de manganeso, un 0,6% de silicio y un 0,6% de cobre. Con este tipo de acero se fabrican maquinas, carrocerías de automóvil, estructuras de construcción, pasadores de pelo, etc.

ACEROS ALEADOS: Estos aceros están compuestos por una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos; además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Estos aceros se emplean para fabricar engranajes, ejes, cuchillos, etc.



ACEROS DE BAJA ALEACIÓN ULTRA RESISTENTES: Es la familia de aceros mas reciente de las cinco. Estos aceros son más baratos que los aceros convencionales debido a que contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación. Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. Este material se emplea para la fabricación de vagones porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor. Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso. También se emplea para la fabricación de estructuras de edificios.

ACEROS INOXIDABLES: Estos aceros contienen cromo, níquel, y otros elementos de aleación que los mantiene brillantes y resistentes a la oxidación. Algunos aceros inoxidable son muy duros y otros muy resistentes, manteniendo esa resistencia durante mucho tiempo a temperaturas extremas. Debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos. También se emplean mucho para tuberías, depósitos de petróleo y productos químicos por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos porque resiste a la acción de los fluidos corporales. Además se usa para la fabricación de útiles de cocina, como pucheros, gracias a que no oscurece alimentos y es fácil de limpiar.

ACEROS DE HERRAMIENTAS: Estos aceros se emplean para fabricar herramientas y cabezales de corte y modelado de máquinas. Contiene wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que le proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad.

TRATAMIENTO TERMICO DEL ACERO:

El proceso básico para endurecer el acero mediante tratamiento térmico consiste en calentar el metal hasta una temperatura a la que se forma austenita, generalmente entre los 750 y 850 °C, y después enfriarlo con rapidez sumergiéndolo en agua, aceite u otro medio. Estos tratamientos de endurecimiento, que forman martensita, crean grandes tensiones internas en el metal, que se eliminan mediante el temple o el recocido, que consiste en volver a calentar el acero hasta una temperatura menor. El temple reduce la dureza y resistencia y aumenta la ductilidad y la tenacidad.

El objetivo fundamental del proceso de tratamiento térmico es controlar la cantidad, tamaño, forma y distribución de las partículas de cementita contenidas en la ferrita, que a su vez determinan las propiedades físicas del acero.

Hay muchas variaciones del proceso básico. Los ingenieros metalúrgicos han descubierto que el cambio de austenita a martensita se produce en la última fase del enfriamiento, y que la transformación va acompañada de un cambio de volumen que puede agrietar el metal si el enfriamiento es demasiado rápido. Se han desarrollado tres procesos relativamente nuevos para evitar el agrietamiento. En el temple prolongado, el acero se retira del baño de enfriamiento cuando ha alcanzado la temperatura en que empieza a formarse la martensita, y a continuación se enfria despacio en el aire. En el martempleado, el acero se retira del baño en el mismo momento que el temple prolongado y se coloca en un baño de temperatura constante hasta que alcanza una temperatura uniforme en toda su

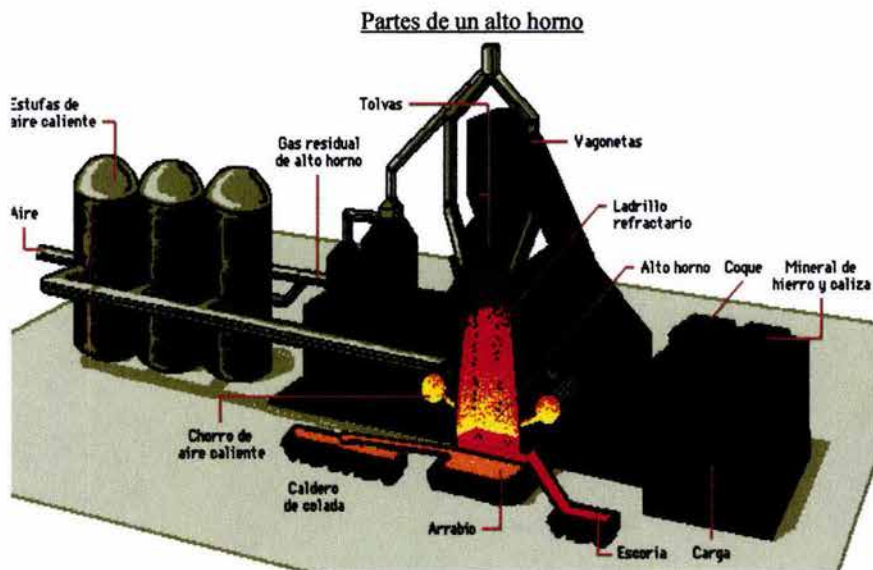
sección transversal. Después se deja enfriar el acero en aire a lo largo del rango de temperaturas de formación de la martensita, que en la mayoría de los aceros va desde unos 300 °C hasta la temperatura ambiente. En el austemplado, el acero se enfria en un baño de metal o sal mantenido de forma constante la temperatura en que se produce el cambio estructural deseado, y se conserva en ese baño hasta que el cambio es completo, antes de pasar al enfriado final.

Hay también otros métodos de tratamiento térmico para endurecer el acero. En la cementación, las superficies de las piezas de acero terminadas se endurecen al calentarlas con compuestos de carbono o nitrógeno. Estos compuestos reaccionan con el acero y aumentan su contenido de carbono o forman nitruros en su capa superficial. En la carburización la pieza se calienta cuando se mantiene rodeada de carbón vegetal, coque o de gases de carbono como metano o monóxido de carbono. La cianurización consiste en endurecer el metal en un baño de sales de cianuro fundidas para formar carburos y nitruros. La nitrurización se emplea para endurecer aceros de composición especial mediante su calentamiento en amoníaco gaseoso para formar nitruros de aleación.

II.2. PROCESOS DE PRODUCCIÓN Y OBTENCIÓN DE ACERO PARA RIELES

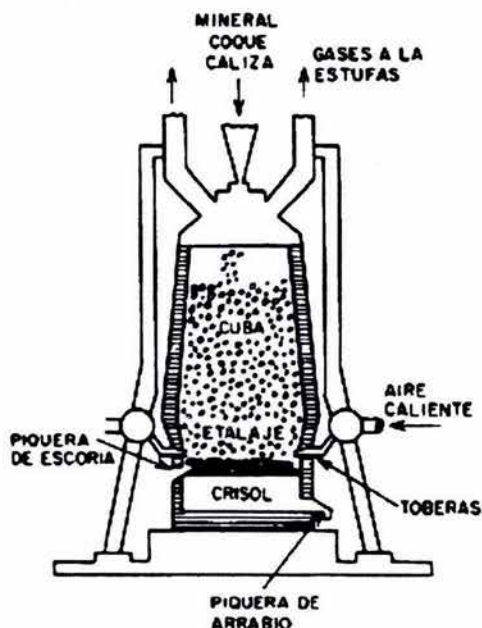
El acero para rieles se fabrica por uno cualquiera de los siguientes procedimientos: Thomas, Bessemer, Martin-Siemens básico, eléctrico o Linz- Donawitz. Como se sabe, estos procedimientos son los que caracterizan el proceso de conversión de arrabio obtenido en el alto horno en acero de unas características químicas definidas. Los procedimientos Thomas y Bessemer han sido reemplazados en algunos países por otros más modernos, que permiten una mayor rapidez de conversión del arrabio y un mejor control de las características químicas del producto final. Los procesos más modernos son: el eléctrico y el Linz-Donawitz o de soplado con oxígeno, que, junto con el procedimiento Siemens-Martin, son los únicos empleados en la producción del acero para rieles resistentes al desgaste. De manera general el alto horno trabaja de la siguiente manera.

ALTO HORNO:

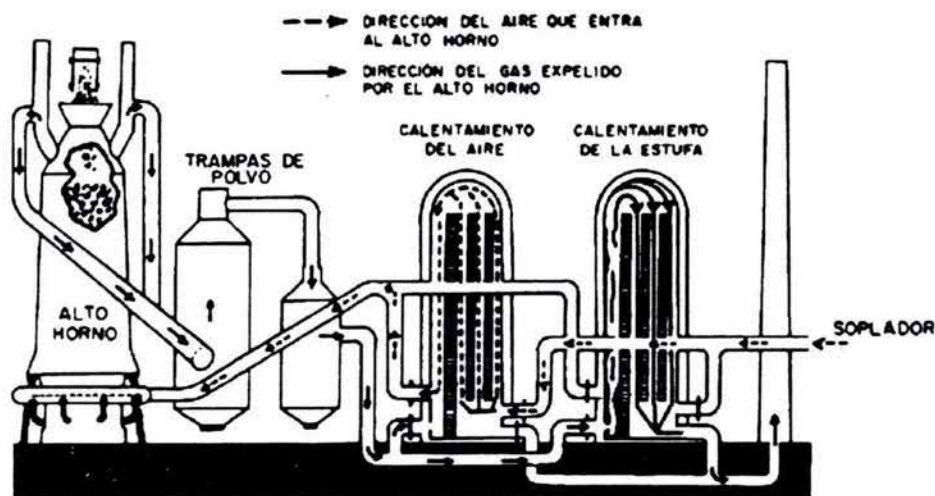


Para transformar mineral de hierro en arrabio útil hay que eliminar sus impurezas. Esto se logra en un alto horno forzando el paso de aire extremadamente caliente a través de una mezcla de mineral, coque y caliza, la llamada carga. Unas vagonetas vuelcan la carga en unas tolvas situadas en la parte superior del horno. Una vez en el horno, la carga es sometida a chorros de aire de hasta 870 °C (el horno debe estar forrado con una capa de ladrillo refractario para resistir esas temperaturas).

El metal fundido se acumula en la parte inferior. Los residuos (la escoria) flotan por encima del arrabio fundido. Ambas sustancias se extraen periódicamente para ser procesadas.



En el alto horno, el mineral de hierro, el coque y la caliza se cargan por la parte superior. Por las otras toberas se inyecta el aire caliente que enciende el coque y libera el monóxido de carbono necesario para reducir al óxido de hierro. El arrabio, producto final del alto horno, se colecta por una piqueta en la parte inferior.



Los gases ricos en monóxido de carbono que salen del alto horno son aprovechados para calentar las estufas al completar su combustión. Mientras una de las estufas está en el proceso de combustión, la otra, previamente calentada, sirve para elevar la temperatura del aire por encima de los $1\,000^{\circ}\text{C}$.

El hierro tal como sale del horno tiene de 3 a 4% de carbono y cantidades variable de silicio, azufre, fósforo y manganeso. Las cantidades de silicio y azufre se regulan entre ciertos límites con la conducción del horno pero el contenido de fósforo depende exclusivamente de las materias empleadas. El azufre y fósforo son dos de las impurezas más perjudiciales, y como quiera que la eliminación del azufre resulta difícil, excepto si se emplean tratamientos eléctricos especiales, es importante producir hierro con bajo porcentaje de azufre.

A continuación daremos una breve explicación de los principales procesos de obtención del acero que se utilizan para la producción de rieles.

FABRICACIÓN DEL ACERO POR EL PROCEDIMIENTO BESSEMER:

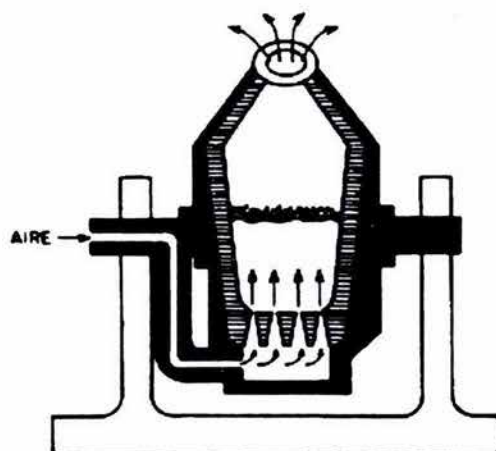
Bessemer logró convencer a los grandes señores del hierro de la época victoriana para que aplicaran industrialmente los procedimientos que él había desarrollado a escala de laboratorio. Se invirtieron enormes recursos en el proyecto, cuyo resultado fue un escandaloso fracaso. Bessemer fue obligado a reponer el dinero a los industriales y se hundió en el mayor descrédito. Pero Bessemer no se dio por vencido. Le costó mucho darse cuenta de que el arrabio que él había empleado en sus experimentos de laboratorio era distinto al que explotaban industrialmente los fundidores ingleses. Por alguna razón, Bessemer había empleado un arrabio de bajo contenido de fósforo que contrastaba con el arrabio obtenido de muchos minerales nativos de Inglaterra y Europa que eran muy ricos en este elemento.

La pared del convertidor de Bessemer estaba recubierta con ladrillos refractarios ricos en óxido de silicio: sílice. En la jerga de los refractarios a éstos se les llama "ácidos" para distinguirlos de los óxidos metálicos, que se denominan "básicos". La triste experiencia del primer intento de Bessemer sirvió para demostrar que los refractarios ácidos entorpecen la eliminación del fósforo del arrabio. Más tarde Thomas y Gilchrist, también ingleses, probaron que el convertidor de Bessemer transformaba exitosamente el arrabio en acero si la pared del horno se recubría con refractarios "básicos", de óxido de magnesio por ejemplo. Para quitar el fósforo y el sílice del arrabio, añadieron trozos de piedra caliza que reacciona con ambos para producir compuestos que flotan en la escoria.

Esto no se podía hacer en el convertidor "ácido" de Bessemer porque la piedra caliza podría reaccionar con los ladrillos de sílica de sus paredes.

Bessemer instaló su propia aceria en Sheffield, pagó sus deudas, pronto logró una producción de un millón de toneladas por año y amasó una gran fortuna. Lo que nunca pudo recuperar fue la confianza de los industriales ingleses. De muy mala manera fue rechazado su proyecto para sustituir los rieles de ferrocarril de "hierro" forjado de esa época por los de acero que ahora todo el mundo utiliza.

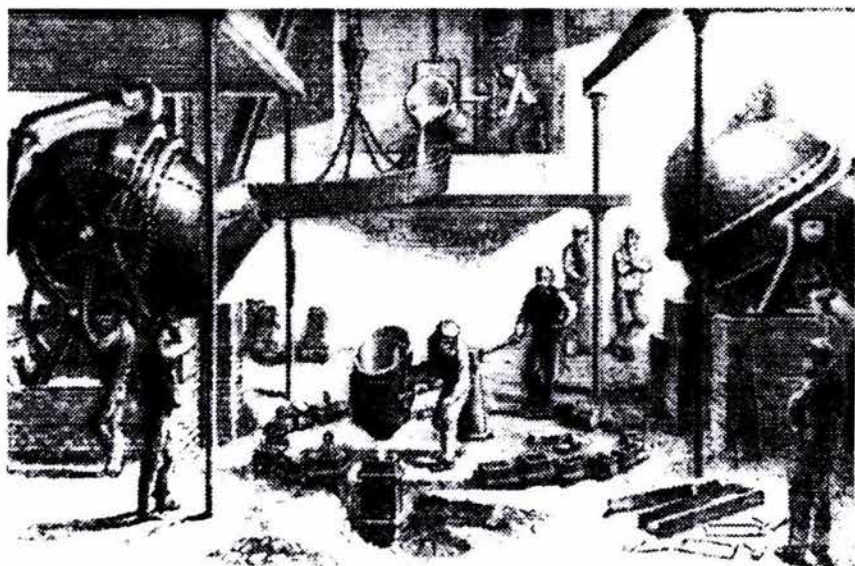
Para fabricar acero Bessemer se vierte hierro directamente del alto horno en el convertidor o recipiente. En el fondo del convertidor existe un cierto número de orificios a través de los cuales se inyecta aire. El aire oxida primero el silicio y manganeso, y estos óxidos, junto con algo de óxido de hierro suben a la parte alta y forman una escoria. Luego empieza a arder el carbono y la inyección del aire se prolonga hasta que no queda más que 0,05% de carbono aproximadamente. En la marcha de la oxidación puede seguirse observando el color de las llamas que salen del convertidor. La oxidación de las impurezas hace subir la temperatura del metal hasta el punto que puede colarse convenientemente cuando se ha terminado la inyección de aire, se agrega al metal fundido la cantidad de carbono necesaria para conseguir el porcentaje de carbono especificado, junto con el manganeso preciso para compensar la influencia del azufre y el silicio requerido para la desgasificación. Después el acero acabado se vierte en una cuchara haciendo vascular el convertidor, y de la cuchara se vierte en las lingoteras para laminarlo o forjarlo subsiguientemente.



Convertidor de arrabio en acero inventado por Henry Bessemer. Un flujo de aire se inyecta por la parte inferior del horno para que elimine gran parte del carbono y otras impurezas del arrabio por oxidación. Este diseño fracasó inicialmente porque el refractario que cubría las paredes del horno era de tipo "ácido".

El acero Bessemer tiene propensión a estar oxidado e impuro y si bien normalmente se considera inferior al acero producido por otros métodos, puede competir con dichos aceros en trabajos que requieran acero con bajo contenido de carbono y con prescripciones no muy severas a la resistencia mecánica, ductibilidad y tenacidad. El procedimiento ácido no elimina el azufre y fósforo, con lo cual estos elementos quedan en cantidad excesiva para que el acero resulte de buena calidad. Debido a que en el procedimiento Bessemer no se utiliza ningún combustible y el tratamiento de 15 a 25 toneladas de hierro puede hacerse en 10 a 15 minutos, el costo del proceso es bajo. Sin embargo, dicho proceso va perdiendo auge y crecen sus costos de fabricación debido a que se van acabando los minerales de hierro pobres en fósforo.

PRODUCCIÓN DE ACERO BESSEMER



Para convertir arrabio en acero con un convertidor Bessemer, hay que hacer pasar aire por el arrabio para quemar las impurezas. Este grabado muestra el proceso desarrollado por Henry Bessemer en 1855 y empleado hasta la década de 1950.

PRODUCCIÓN DE ACERO THOMAS

Por otra parte, el primitivo convertidor Bessemer sólo podía utilizarse un reducido número de veces, pues la fundición líquida y a elevada temperatura atacaba las paredes de hierro del aparato. Estos inconvenientes fueron subsanados por el oficinista británico Thomas, quien logró afinar el hierro colado revistiendo las paredes internas del convertidor Bessemer con una mezcla de greda y dolomita pulverizada (carbonato de calcio y magnesio), y al mismo tiempo agregaba a la fundición un poco de cal viva, insuflando aire comprimido caliente por el fondo del aparato. El silicio y gran parte del manganeso contenidos en la fundición se queman con rapidez y el óxido de manganeso que se forma se

combina con el silicio; el silicato manganeso funde con dificultad y flota sobre la masa incandescente líquida en forma de escoria, el carbonato arde a su vez y el fósforo se combina con la cal del revestimiento del convertidor y se forma fosfato cálcico básico, el cual flota también en forma de escoria (escories Thomas) sobre la masa líquida, y de la cual se separa con las escorias restantes.

PRODUCCIÓN DE ACERO HORNOS MARTÍN-SIEMENS.

Este tipo de hornos de reverbero se emplean principalmente para la fusión y afinado del acero destinado a la fabricación de lingotes, y representaron la forma de fabricación de acero más extendida en Gran Bretaña y Estados Unidos. Su capacidad puede variar entre 25 y 500 toneladas. Hace años se empleaban hornos más pequeños, de 15 a 30 toneladas, pero estos han sido sustituidos casi completamente por los hornos eléctricos. Sin embargo existen todavía en funcionamiento algunos hornos para fabricar piezas coladas grandes, con pesos de 50 toneladas o más. Por lo que daremos la descripción de dichos hornos

El horno Martin-Siemens es calentado con aceite, gas de coquería, gas de gasógenos o una mezcla de gas de alto horno y de coquería, si se dispone de ella. Cuando se emplea un gas de poco poder calorífico, como el gas de gasógeno o la mezcla citada, es fundamental precalentar el gas en un regenerador. El aire se recalienta siempre para conseguir la máxima economía térmica y lograr una elevada temperatura de llama. El horno es un recipiente rectangular con puertas para combustible y gases en ambos extremos. Estas puertas pueden responder a diversos diseños, pero en todo caso deben

dirigir los gases hacia abajo, hacia la carga o baño del metal. La llama y los gases calientes pasan por encima del baño y salen por el extremo opuesto del horno. Los gases de la combustión atraviesan uno o dos regeneradores antes de perderse en la chimenea; frecuentemente se colocan calderas después de los regeneradores para recuperar el calor perdido y conseguir la mejor recuperación posible de los productos de la combustión mediante válvulas refrigeradas con agua y entonces al horno se le calienta desde el extremo opuesto. Si se emplea combustibles de alto poder calorífico, como los aceites o alquitranes de cerosota y aún el gas de coquería, no suele precalentarse el combustible y solo hay que precalentar el aire en cada uno de los extremos del horno.

En los últimos años se ha empleado oxígeno para aumentar la temperatura de la llama en los periodos iniciales de la fusión. También se utiliza un chorro o lanza de oxígeno para ayudar a la eliminación del carbono en el periodo de afino del arrabio para convertirlo en acero

Los hornos Martin-Siemens pueden ser fijos o basculables, prefiriéndose los últimos para el afino de arrabios altos en fósforo. Para fabricar aceros de calidad se emplean generalmente los hornos Martin-Siemens con revestimiento básico, aunque aún se utilizan en algunos lugares los con revestimiento ácido para obtener aceros de muy buena calidad partiendo de materias primas muy selectas

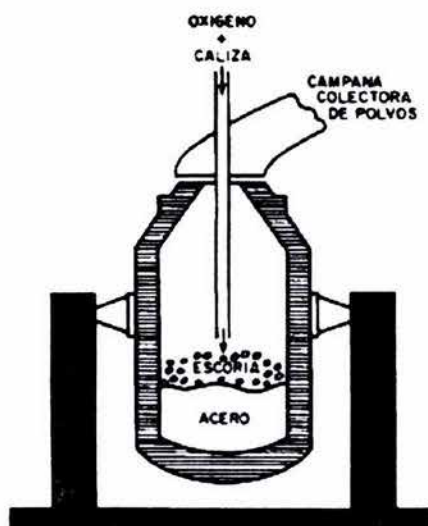
Posteriormente mejoraron el procedimiento de afinación del acero Martin, francés, y Siemens, alemán, que introdujeron en la siderurgia los hornos de sus respectivos nombres. En estos hornos, calentaba la fundición o hierro fundido en una atmósfera de

gases de gasógeno y se le mezcla chatarra de acero viejo o de hierro dulce.

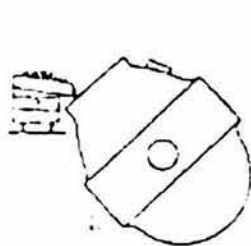
HORNO DE OXIGENO BÁSICO:

Los convertidores de arrabio en acero ya no son como los de Bessemer y sus contemporáneos. Conocidos generalmente por sus iniciales en inglés, los convertidores BOF (*basic oxygen furnace* (hornos de oxígeno básico)) logran la refinación del arrabio empleando la misma idea de Bessemer para eliminar las impurezas y el exceso de carbono por oxidación, además de aprovechar el calor de la oxidación como fuente de energía para la fusión. En lugar del soplo de aire que utilizaba Bessemer, en los BOF la oxidación se hace directamente con oxígeno. Esta idea también la tuvo Bessemer porque el aire contiene solamente un 21%, de oxígeno contra un 78% de nitrógeno. Lo que pasó fue que en los tiempos de Bessemer el oxígeno puro era muy caro, de modo que no era accesible ni para hacer experimentos en el laboratorio. Cien años después la situación era otra porque se desarrollaron métodos baratos para producir oxígeno y en la escala necesaria para abastecer a las grandes siderúrgicas.

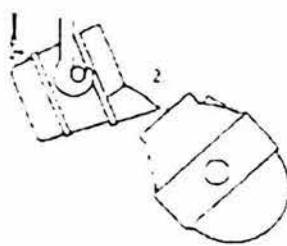
Un esquema del convertidor BOF se presenta en la figura siguiente. Consiste en una olla de acero recubierta en su interior con material refractario del tipo básico, óxido de magnesio o algo así. A diferencia del convertidor de Bessemer donde se soplaba el aire por la parte inferior, en el BOF se inyecta el oxígeno por una lanza que entra por la parte superior. La lanza se enfría con serpentines de agua, interiores para evitar que se funda. La carga y la descarga de la olla se hacen también por la parte superior y por eso la olla está montada en chumaceras que le permiten girar.



Mediante un chorro de oxígeno con polvo de piedra caliza el arrabio es convertido en acero en un BOF. El oxígeno reacciona con el carbono del arrabio y lo elimina en forma de bióxido (o monóxido) de carbono. La caliza sirve para eliminar impurezas, entre las que destaca el fósforo.



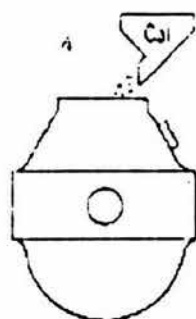
1. Cargando chatarra



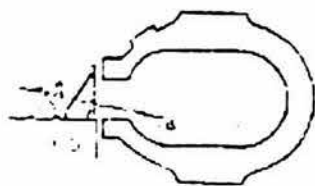
2. Cargando metal caliente



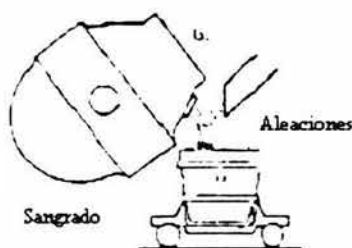
3. Soplado de oxígeno



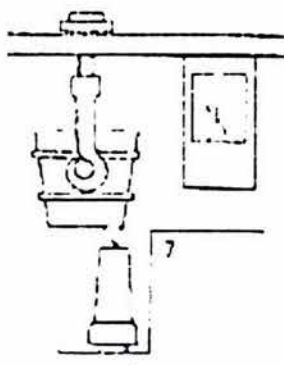
4. Cargando fundentes



5. Prueba



6. Mezcla



7. Acero vaciado

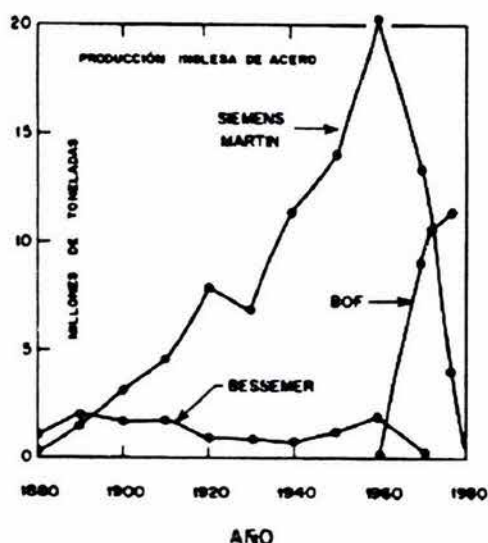
Posiciones del caldero en la producción de acero por el proceso de horno de oxígeno básico

Originalmente el proceso *BOF* fue desarrollado en Austria para convertir arrabio con bajo contenido de fósforo (alrededor del 0.3%), y en ese tiempo se bautizó con las iniciales LD, de *Linz Dusenverfahren* (lanza de Linz). Luego la técnica se extendió, para arrabios de alto fósforo mediante la adición al chorro de oxígeno de polvo de piedra caliza. Entonces se logró la producción de acero con arrabio de contenidos de fósforo tan altos que llegaban incluso al 2%

Una de las grandes ventajas que desde un principio se observó en los convertidores BOF fue su capacidad para aceptar hasta un 20% de chatarra junto con la carga de arrabio líquido.

La diferencia de precios entre la chatarra fría y el arrabio líquido ha motivado la búsqueda de tecnologías para incrementar lo más posible la carga de chatarra. Algunos éxitos en esta dirección se han obtenido al adicionar al oxígeno que entra por la lanza combustóleo y carburos de silicio y calcio.

La entrada de los convertidores BOF al mercado mundial fue muy acelerada. En la figura 21 se muestra cómo los BOF marcaron el fin de los ya obsoletos convertidores de Bessemer y de los Siemens-Martin que habían dominado por décadas



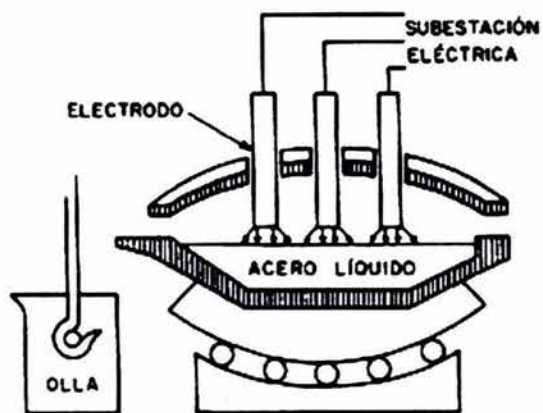
Producción de acero en Inglaterra Los convertidores de Bessemer, "ácidos" o "básicos", dominaron inicialmente El sistema Siemens-Martin fue el más utilizado en las primeras siete décadas del presente siglo Los convertidores BOF cobraron importancia en los últimos treinta años.

ACERO AL HORNO ELÉCTRICO:

Los hornos eléctricos para la fusión y afino del acero tuvieron su origen en el descubrimiento del arco de carbón por Sir Humprey Davy, en 1800, pero no fue sino hasta 1878 en que la aplicación directa de este método se hizo industrial, que fue cuando Sir William Siemens patentó, construyó e hizo funcionar hornos basados en los principios del arco directo e indirecto. Siemens tenía un horno formado por un pequeño crisol en el cual introduciría la carga y se llevaba a cabo la fusión por la acción de dos electrodos de carbón.

El horno eléctrico ha resultado ser una unidad ideal en la industria del acero para fundir y refinar. Entre sus ventajas merecen citarse: la atmósfera no oxidante del arco de carbón, el cual da calor puro, hace posible construir hornos completamente cerrados y permite mantener atmósferas reductoras; la temperatura alcanzable está sólo limitada por la naturaleza del refractario del revestimiento del horno; puede conseguirse una regulación entre límites muy estrechos, el rendimiento de la unidad es extraordinariamente elevado; el afino y aleación se efectúan con rapidez y control.

En la mayoría de los hornos eléctricos el calor es producido por medio del arco eléctrico, ya sea sobre el baño, como el horno Stassano, o por medio de arcos entre la escoria y los electrodos suspendidos sobre el baño; éste último procedimiento es el más satisfactorio y corriente. Al preparar una carga de acero, la mayor parte de la carga se prepara con chatarra de acero seleccionada cuidadosamente.



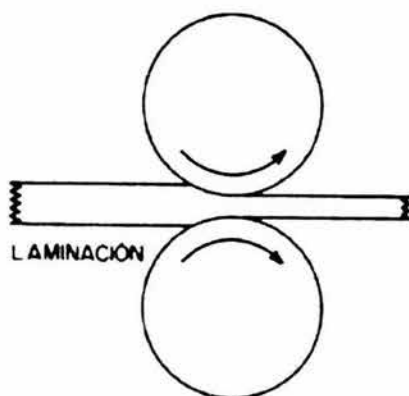
HORNO DE ARCO ELÉCTRICO

El horno de arco consta de una vasija recubierta con refractarios donde se coloca chatarra y/o hierro esponja, que se funden con el paso de una corriente eléctrica introducida con electrodos de grafito.

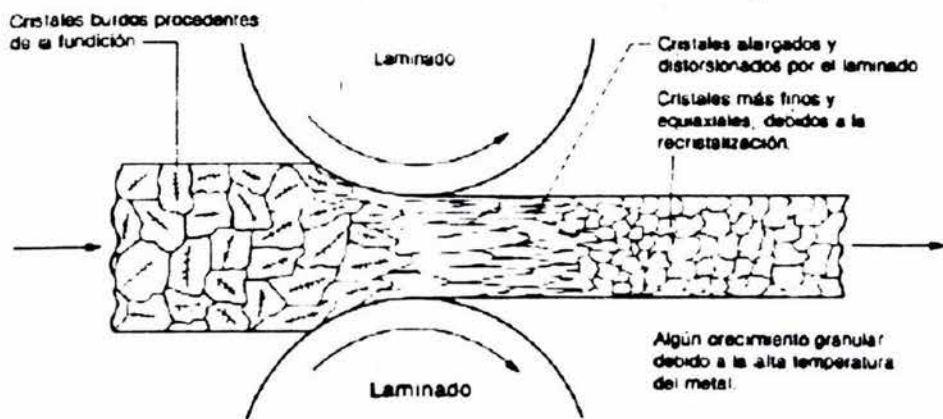
II.3. LAMINACIÓN

PROCESOS DE LAMINACIÓN

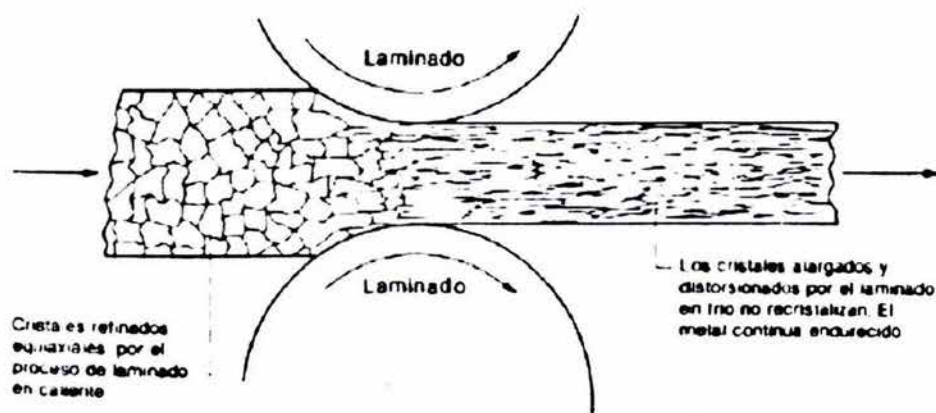
La maquinaria básica para el conformado de piezas estructurales se desarrolló mucho antes que la aparición en escala masiva del acero. En Massachussets, desde 1648, operaban molinos de laminación para producir alambρόn y barras de hierro forjado. La laminación consiste en hacer pasar un trozo de metal maleable a través de un sistema de dos rodillos, como se indica en la figura siguiente. Al girar los rodillos aplanan al metal. A veces los rodillos tienen acanalados que sirven para conformar barras; o arreglos más caprichosos para producir perfiles en forma de T o I, o alguna otra configuración.



El laminado puede llevarse a cabo a temperatura superior a la de recristalización (laminado en caliente) o por debajo de la temperatura de recristalización (laminado en frío), produciendo distintos resultados en el producto granular del material después del paso por los rodillos, como lo muestra la siguiente figura



(a) Laminado en caliente



(b) Laminado en frío

Figuras. Efecto del laminado sobre la estructura cristalina

El laminado en caliente se utiliza siempre para el laminado inicial de los lingotes de fundición. No solamente resulta más fácil dar el tamaño adecuado al lingote. Cuando este se encuentra caliente y plástico, sino que el proceso de laminado en caliente cierra cualquier discontinuidad de fundición, y suelda a forja sus superficies entre sí. Esto evita la presencia de fallas, que podrían dar lugar a que la pieza fuera sometida, con dichas fallas presentes, a posteriores operaciones de laminado.

Los procesos de laminado y, en particular, el laminado en frío da a las tiras y láminas de metal una clara orientación granular en dirección de la operación de laminado. Para evitar grietas y roturas, las posteriores operaciones de doblado deberán llevarse a cabo en ángulo recto con dirección del laminado, es decir perpendicular a la dirección del grano.

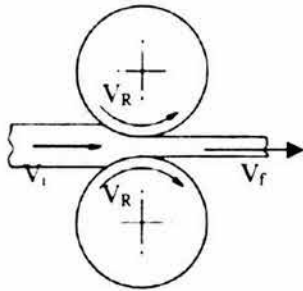
Para no extendernos mucho debido a la abundante información sobre el tema mencionaremos a continuación las principales ventajas y limitaciones del laminado en caliente y en frío comparadas en la tabla siguiente.

Ventajas y limitaciones del laminado en caliente y en frío

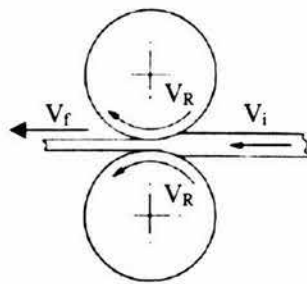
LAMINADO EN CALIENTE		LAMINADO EN FRÍO	
Ventajas	Limitaciones	Ventajas	Limitaciones
Las discontinuidades del lingote quedan soldadas a presión, resultando un material homogéneo	Precisión en las Dimensiones relativamente	Elevada precisión en las dimensiones	Sólo son posibles pequeñas reducciones, por ser muy elevadas las fuerzas de laminado
Con cada paso entre los rodillos se logran grandes reducciones en tamaño, por ser relativamente plástico el metal caliente	Precisión geométrica Relativamente baja	Elevada precisión geométrica	Los rodillos deben ser rectificadas con frecuencia, para mantener el acabado
	Ausencia de "derechura"	Buen acabado superficial	Procesos de acabado Únicamente
	Mal acabado (muy escamoso)	Buenas cualidades para el Mecanizado y fuerza en aumento debido al grano fino	Más costoso en planta y en energía que el laminado en caliente
	Burda estructura granular, debida al enfriamiento lento a partir de temperaturas elevadas	El "temple" puede controlarse mediante el grado de endurecimiento de la pieza, las fuerzas de laminado	

TIPOS DE LAMINADORAS

Existen diferentes tipos de laminadoras, sobre las cuales pasa el material, ya que no solo puede pasar una sola vez sino varias veces esto se debe a que tiene limitantes el paso del material en el rodillo.

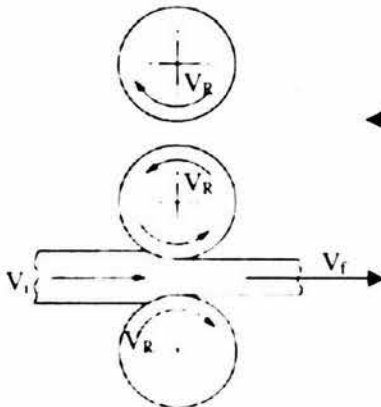


(1) Primer paso hacia adelante

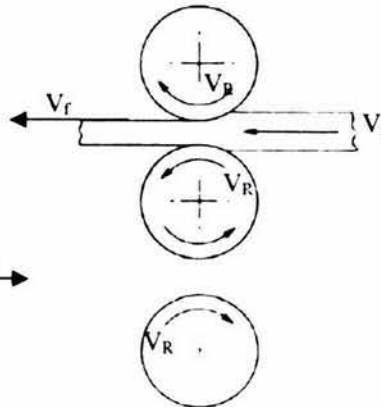


(2) Se bajan los rodillos y se invierte su dirección de giro. El metal vuelve a pasar entre ellos

(a) Laminador Duo reversible



(1) El primer paso tiene lugar entre los rodillos bajos

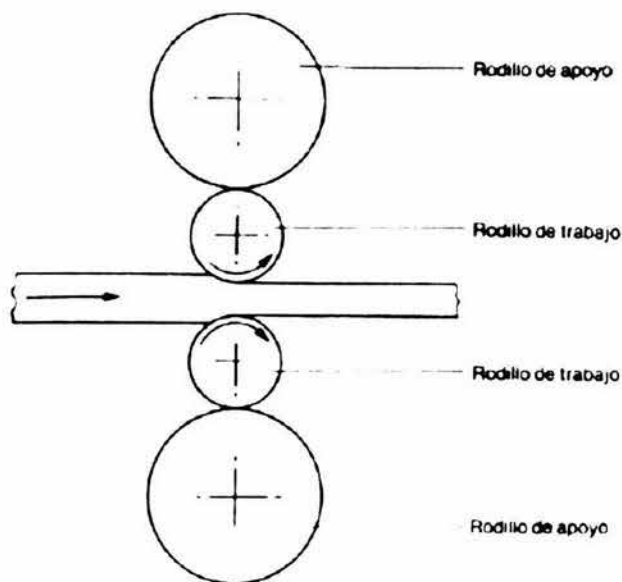


(2) El segundo pase (retorno) tiene lugar entre los rodillos altos

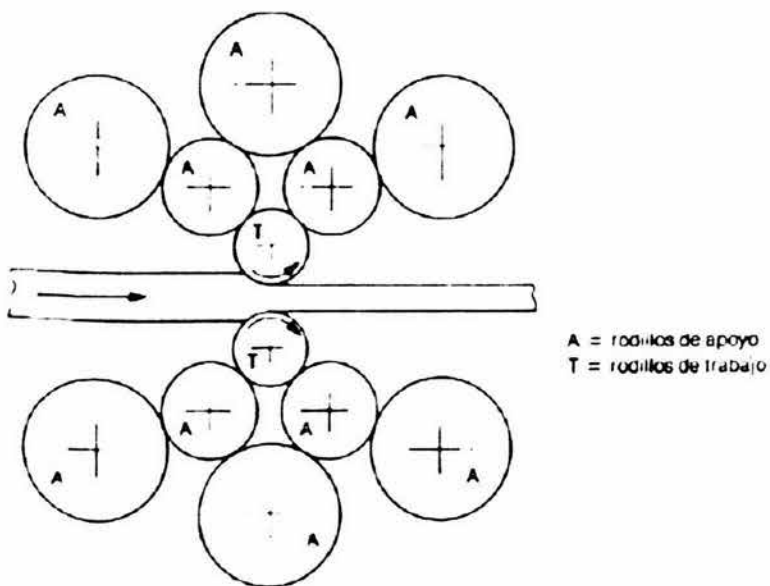
(b) Los rodillos de un laminador trio giran siempre en la misma dirección

Fig. Clasificación de las laminadoras

El dispositivo más sencillo es el denominado *duo, reversible*. Se asemeja en cierta forma a un torno secador doméstico provisto de rodillos de acero muy pulimentados. El metal pasa entre ellos, desde un lado hacia el otro; se reduce el espacio entre los rodillos y se invierte su dirección de giro, y de nuevo pasa el metal entre los rodillos en movimiento. Se repite este ciclo hasta que el metal haya adquirido el grueso requerido.



(c) Laminadora en cuarto



(d) Laminador con cilindros de apoyo

Fig. Clasificación de las laminadoras

En el *laminador trio* los rodillos giran continuamente en la dirección indicada. Las bancadas suben y bajan para hacer pasar al metal en primer lugar entre los dos rodillos bajos, y a continuación entre los dos rollos altos. El ciclo se repite hasta que el metal haya adquirido el grueso requerido

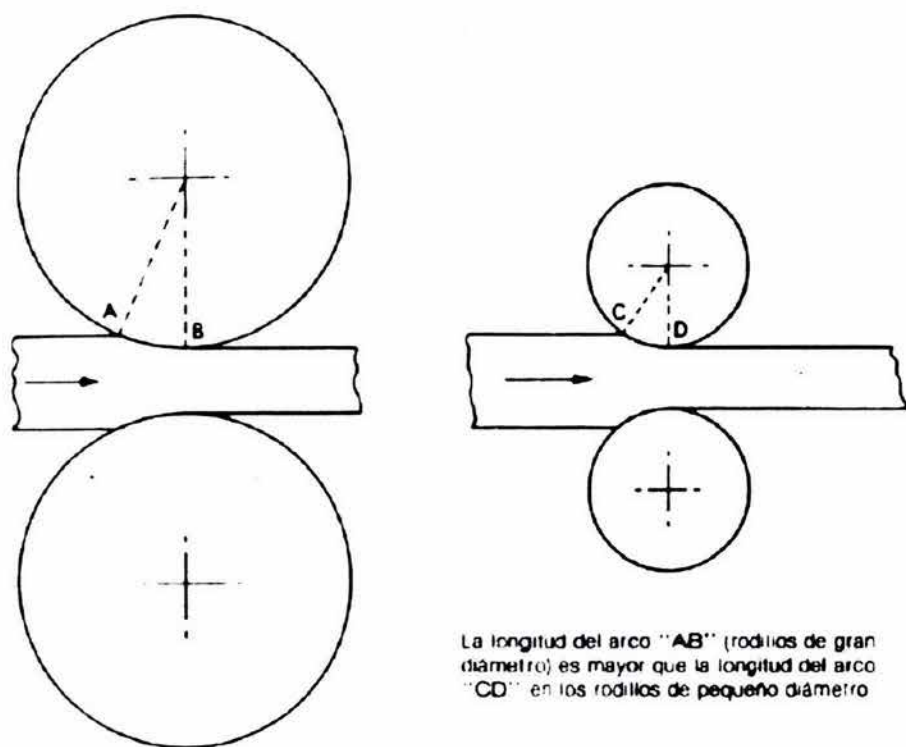


Fig. Arco de contacto

Uno de los problemas del laminado se debe al hecho de que a medida de que los rodillos se hacen mayores en diámetro, hará que aumenten su fuerza y su rigidez, el arco de contacto entre ellos y el metal que está siendo laminado aumenta igualmente, como se observa en la figura anterior. Como cualquier aumento en el arco de contacto aumenta también la carga en los rodillos, el aumento en el tamaño de éstos no constituye una solución al problema orientado a aumentar la rigidez. Mediante el empleo de rodillos de respaldo como se ve en los laminadores cuarto y en los del sistema "Sendzimir" se mejora la rigidez y la fuerza sin aumentar el arco de contacto de los rodillos de trabajo. Algunos procesos comunes de laminado son los siguientes:

1. *Planchado*

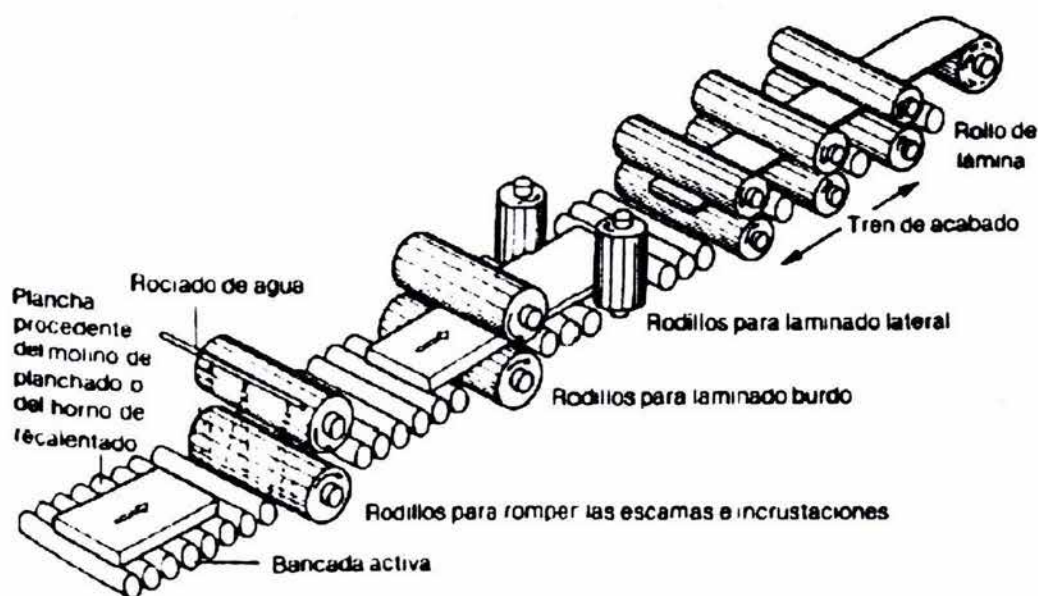
Este es el proceso que consiste en convertir el lingote en "*planchas*", listas para ser laminadas en tiras, láminas, y placas. Este proceso se realiza a una temperatura de 1300°C, forjándose las discontinuidades que existan en el lingote y dando homogeneidad a la plancha.

2. *Forjado en lingotes*

Este proceso es semejante al de planchado, salvo que el lingote se lamina en "*tochos*", listos para su laminado como barras y secciones. Para el laminado, tanto en planchas como en tochos, se utilizan laminadores reversibles dúo y cuarto.

3. *Relaminado* (laminado en tiras continuas)

El relaminado de planchas, para su conversión en tiras, se lleva a cabo habitualmente en un laminador continuo de tiras, tal como el que se ve en la figura siguiente. La plancha se vuelve a calentar hasta 1300°C, y se pasa a través de la rociadora de agua y de los rodillos para eliminar las incrustaciones que quedan en la superficie de la plancha después del procesado previo. A continuación se le lamina en bruto, para hacerla pasar finalmente al sistema Sendzimir para su acabado. Cada juego completo de rodillos en el sistema se denomina *bastidor*, pudiendo observarse tres de estos en la figura siguiente. La tira es a continuación arrollada antes de someterla a posteriores procesos.



Laminadora continua

4. Relaminado (secciones y barras)

El relaminado de secciones y barras se lleva a cabo habitualmente en una laminadora dúo reversible provista de rodillos ranurados. Algunas plantas modernas que manejan grandes cantidades de vigas y juntas de sección estándar están frecuentemente dispuestas de manera que se logre un tren continuo.

ACABADOS EN EL LAMINADO

El acabado que queda en la tira, lámina, o barra después del proceso de laminado puede decir mucho al usuario acerca del proceso a que se ha sometido al material y del tipo de características que probablemente poseera.

1. Laminado en caliente

La superficie del metal aparecerá burda y cubierta con escamas cuyo color irá desde azul-gris al negro. Este es el más barato de los acabados, pero las incrustaciones pueden desprenderse durante el procesado posterior, dañando las herramientas que se utilicen, por ser dichas escamas muy abrasivas. El metal que ha sido laminado en caliente se encuentra virtualmente en situación de recocido, y será muy dúctil, con escasa orientación granular. Tiende a romperse durante el maquinado y deja un mal acabado.

2. Laminado en caliente, baño ácido y aceitado

El metal habrá sido procesado mediante laminado en caliente, y tendrá las características del punto (1) anterior. Sin embargo las escamas habrán sido eliminadas mediante un baño de ácido, y el metal habrá sido lavado a continuación para eliminar cualquier ácido residual. A continuación se le aceita, para evitar su oxidación. En este caso presentará una superficie de color pardo, y podrá ser utilizado con toda seguridad en herramientas de compresión sin que éstas sufran daño, o podrá ser laminado de nuevo para obtener tiras brillantes.

3. Laminado en frío, recocido ligero

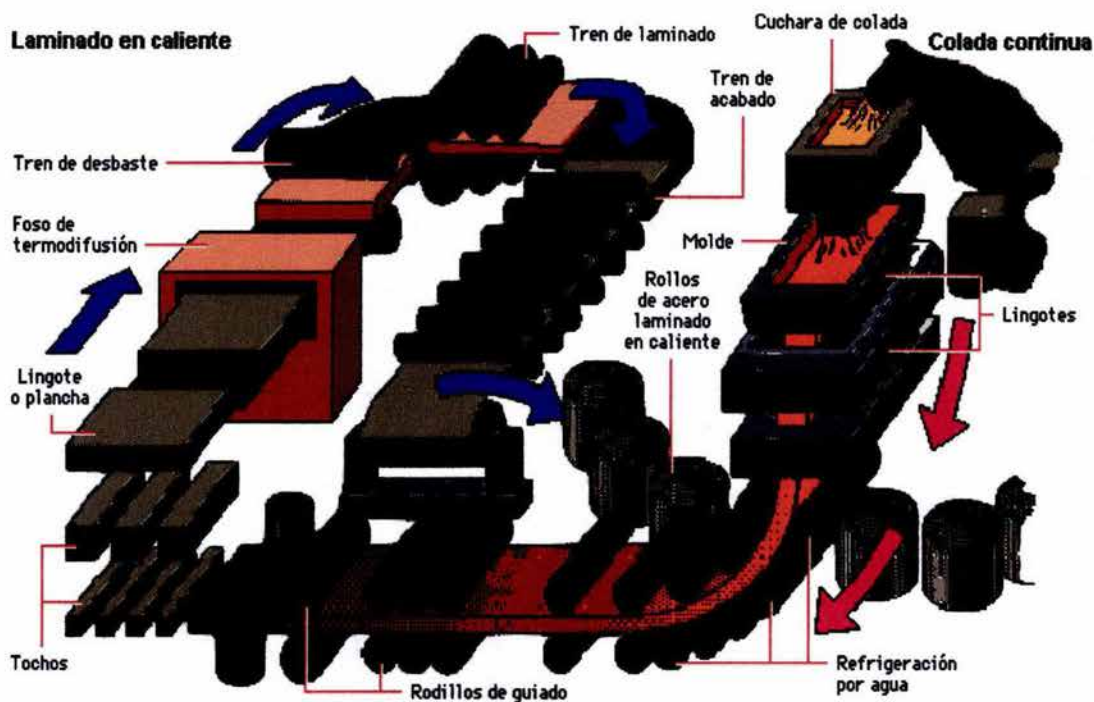
La placa laminada en caliente, después de pasar por el baño ácido y de ser aceitada, se vuelve a laminar para formar laminas y tiras en frío, utilizando rodillos muy pulimentados. Esto mejora en gran medida la precisión, la calidad de acabado, y las

propiedades mecánicas del metal, pero también aumenta el costo. El metal en este estado tiene una orientación granular muy pronunciada, y puede resultar inadecuado para ciertos trabajos en prensa y para aplicaciones en que se utilice el metal como lámina. Para recocer el metal se le introduce en el horno en paquetes, de forma que únicamente se oxiden las capas exteriores. Las capas interiores del paquete se recuecen, con únicamente una ligera reducción en la calidad de su acabado superficial.

4. Laminado en frío, recocido brillante

En lugar del recocido en paquetes se recuece el metal laminado en un horno con atmósfera controlada, para que no haya pérdida de brillantez en la superficie del metal ya laminado. El laminado en frío endurece el metal mediante endurecimiento en el trabajo y el "temple" o elasticidad y dureza del metal pueden ajustarse después del recocido brillante, pasando ligeramente al metal entre rodillos pulimentados, para obtener acabados a cuartos de dureza, media dureza, tres cuartos de dureza, o dureza total (templado elástico).

COLADA CONTINUA



La colada continua (*derecha, flechas rojas*) es un método de trabajar el acero que transforma el metal fundido en tochos, lingotes o planchas. El metal al rojo blanco se vierte en moldes abiertos y va pasando a través de rodillos refrigerados por agua. Una serie de rodillos de guiado va dando la forma deseada al acero. Sin embargo, el laminado en caliente (*izquierda, flechas azules*) sigue siendo el principal método de trabajar el acero. El proceso comienza a partir de planchas de acero que se recalientan en un foso de termodifusión. El acero pasa por una serie de rodillos o trenes (de desbaste, de laminado y de acabado) que lo van aplastando progresivamente. Por último, el acero se enrolla en bobinas y se transporta a otros lugares para su procesado.

II.4. PROCESOS DE OBTENCIÓN DE UN RIEL.

Antes de introducirlo en el tema de la fabricación de rieles, abriremos un subtema a cerca de la función de este elemento, con la intención de conocer la aplicación que cumple en la vía y como hay que utilizar dicho material.

FUNCIÓN DE UN RIEL

El riel constituye el elemento fundamental de la estructura de la vía y actúa como un dispositivo de guiado y elemento conductor de la corriente eléctrica. Ha de cumplir, por tanto, los siguientes cometidos

- Resistir directamente las tensiones que recibe del material rodante y transmitir las, a su vez, a los otros elementos que componen la estructura de la vía
- Realizar el guiado, de las ruedas en su movimiento
- Servir de conductor de la corriente eléctrica precisa para la señalización y la tracción en las líneas electrificadas

La característica técnica más importante del ferrocarril es el contacto de la rueda provista de pestaña y el riel. Hasta la incorporación de la traviesa monobloc a la estructura ferroviaria y la aparición de las vías sobre placa era la partida de rieles el elemento más caro de la vía, y aun hoy, su coste es un sumando de singular importancia en el presupuesto final del kilómetro de vía

FABRICACIÓN

En el proceso de fabricación completo podemos distinguir tres fases principales:

- 1) La fabricación del acero. De ahí la primera parte temas II.1 y II.2
- 2) La operación de conformar el riel dotando al acero de unas características geométricas y formas definidas.
- 3) Y la operación de acabado, que incluye el corte a la longitud estándar, enderezado y refrentado de los extremos

También se puede considerar como operación propia de la fabricación, aunque no lo es realmente por no ser ejecutada a todos los rieles, la aplicación de tratamientos térmicos para obtener piezas de características mejoradas sobre la calidad normal.

FABRICACIÓN DEL ACERO

El acero para rieles se fabrica por uno cualquiera de los siguientes procedimientos:

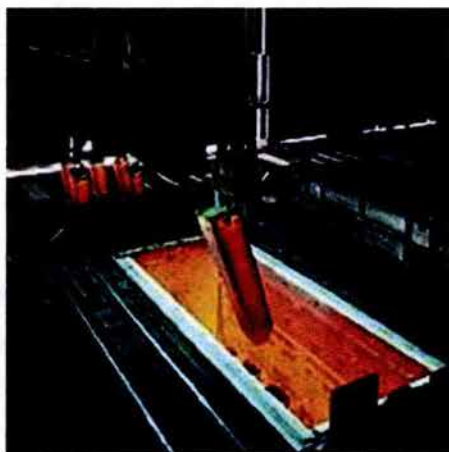
- 1 Thomas
- 2 Bessemer
- 3 Martin-Siemens básico
- 4 Eléctrico o Linz-Donawitz

Si se quiere ampliar detalladamente estos procesos ver el capítulo II.2, de procesos de obtención del acero

LAMINACIÓN

Para obtener la pieza final es preciso partir de ciertas porciones de acero y por medio de su paso entre rodillos, dispuestos adecuadamente y con la forma conveniente, obtener la sección del carril buscada. Para el proceso de laminación se puede partir, bien de lingotes que han sido colados a partir del producto obtenido en el convertidor, o bien de *blooms* obtenidos por el procedimiento de la colada continua.

El primer procedimiento de utilización del acero en la fabricación de lingotes, es normalmente empleado en todo el mundo para la obtención de rieles, y, en esencia, consiste en verter el acero producido en el convertidor en unos cazos con capacidad del orden de 30 a 50 Ton, que, a su vez, lo vierten sobre unos moldes troncocónicos de unas 8 a 10 Ton de capacidad. Después de un breve periodo de enfriamiento, y cuando toda la masa del lingote se ha solidificado, se separan los moldes de los lingotes y éstos se colocan en unos hornos verticales o pozos, en los que se mantienen al rojo vivo, hasta que la temperatura de toda la masa del lingote es homogénea, con valores comprendidos entre 850 y 1100 C.



Este lingote, al rojo vivo y maleable por la elevada temperatura del foso de termo difusión, es extraído del mismo para ser procesado. Al ser trabajado y recalentado, el acero se hace más resistente.

El procedimiento de la colada continua da lugar a la producción de unas piezas de acero de sección próxima a los 20 x 20 cm, de longitud indefinida, que son cortadas una vez solidificadas, pero aún al rojo, a longitudes adecuadas por medio de sopletes automáticos.

En este procedimiento no existen moldes; el acero fundido procedente del convertidor es vertido en un cazo, que, a su vez, lo descarga sobre un elemento poco profundo, llamado artesa, dotado de orificios en su base a los que se adaptan unos dispositivos especiales para impedir el derrame del acero fundido y que están refrigerados, de tal manera que a la salida de dichos dispositivos el material está ya solidificado y actúa como «tapón» para el resto del acero líquido que hay encima. Este sistema tiene, frente al de la producción de lingotes, varias ventajas, de las que las principales son: evitar pasos intermedios como la colada de los lingotes; Su enfriamiento y posterior calentamiento; el

paso por el tren *blooming*, conformador de *blooms* o devastador para su paso al laminado, evitar el descabezado, insoslayable en el caso de los lingotes, para prevenir segregaciones y otros defectos.

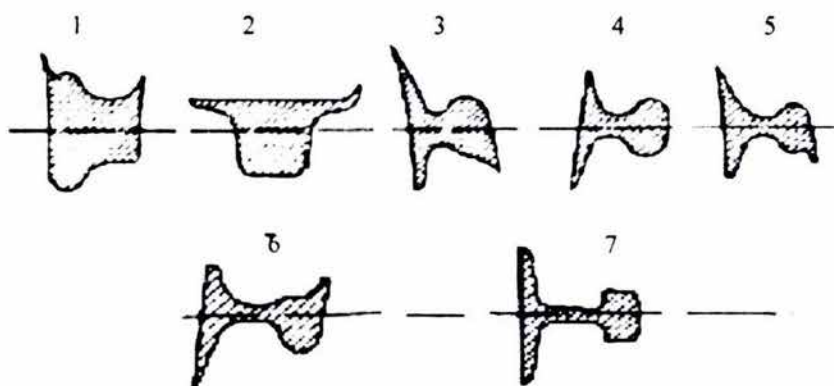
Una vez obtenido. El acero en forma sólida, por uno u otro de los procedimientos indicados, se pasa a la conformación del perfil del riel. En el caso de los lingotes, una vez calentados a la temperatura adecuada, son introducidos en el citado tren de laminación llamado *blooming* que los transforma en unas barras de acero de longitud considerable y cuya sección se reduce desde unas 20 veces la del riel a laminar, que era la inicial del lingote, hasta unos 20 x 20 cm. Esta pieza se suele cortar con cizalla en tres trozos, denominados *blooms*, que son los introducidos después en el tren de laminación propiamente dicho. En el caso de la colada continua, este paso previo, como ya se ha indicado, se ahorra, ya que se pasa directamente al tren de laminación.

Cada uno de estos *blooms* dará lugar después a la producción de unos 60 m de riel. A continuación, los *blooms* pasan por los sucesivos trenes de laminación, adelgazadores, perfiladores y acabadores.

El *bloom* sufre, en primer lugar, una pasada por una prensa que posee L, conformador en forma de bisel, después se gira 90° cada vez, y así sucesivamente tres pasadas de bisel antes de introducirse en los dos trenes adelgazadores, Preparatorio y definitivo. Después de la quinta pasada, el lingote sufre de nuevo una rotación de 90°, y se introduce en el primer tren perfilador. Este realiza un preformado de la cabeza y del alma.

En las cuatro pasadas de formado siguientes, el riel se introduce en el tren acabador, en el que se consigue la terminación de su laminado.

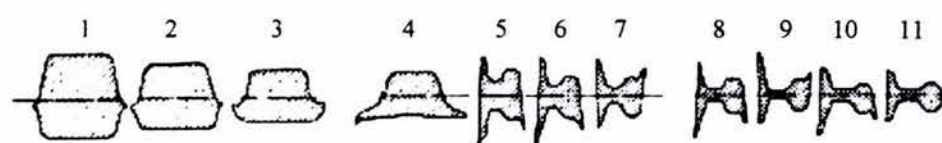
El laminado se debe realizar de tal forma que se produzca una deformación profunda y regular en el tren desbastador para transformar la estructura basáltica, de grano grueso, a la temperatura prescrita para esta operación. El conformado en caliente, en lo que se denomina las acanaladuras perfiladas del tren acabador, reviste una importancia particular. El trazado de las acanaladuras de los cilindros debe estar realizado de tal manera que se obtengan las relaciones de alargamiento lo más equilibradas posibles en todas las partes del perfil, que se evite un alargamiento libre, y que se realice un trabajo importante del acero en el sentido de la presión ejercida por los rodillos. En la figura siguiente se muestra el trazado de las acanaladuras del tipo empleado en las factorías americanas.



Acanaladuras de laminadores americanos

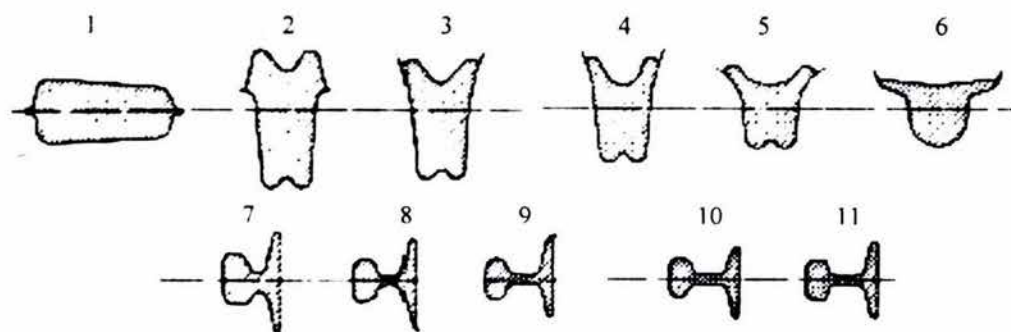
Todos estos trazados de acanaladuras tienen en común el inconveniente de que permiten utilizar nada más que secciones de *bloom* relativamente pequeñas, por tanto, sólo

se pueden emplear con lingotes pequeños, lo que hace que la deformación total sea menos importante que con los lingotes pesados actuales y con los trazados de acanaladuras habituales.



Acanaladuras de laminadores británicos

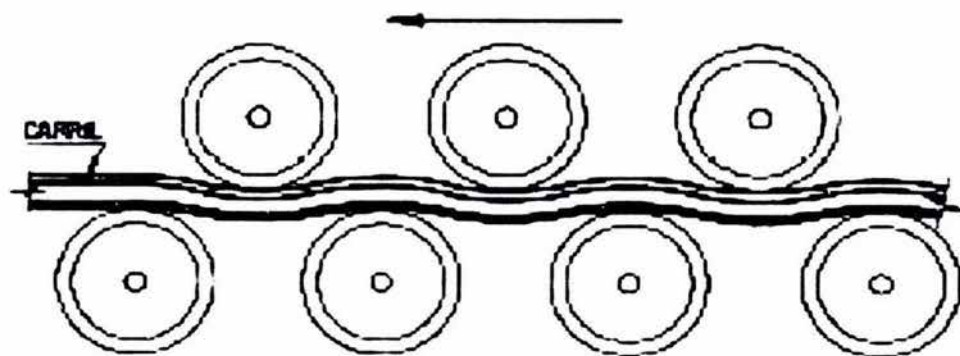
Ya en 1920 Dehez puso a punto el primer trazado especial de acanaladuras, y a finales de dicha década Bartsh introdujo otro trazado especial de acanaladuras, que constituye un progreso esencial en el laminado de los rieles; este trazado se denomina también de Thyssen. Se trata, gracias a una repartición total de los cristales y a la transferencia de una zona central exenta de fisuras hacia el borde exterior del patín del riel, de alcanzar una disminución en el peligro de fisuración de éste (fig. Siguiente).



Acabado de Thyssen

ACABADO

Después del proceso de laminación propiamente dicho, el riel se despunta y se corta, según la longitud de producción, por medio de una sierra circular; a continuación, se transporta a la zona de enfriamiento donde se somete, si es preciso a enfriamiento controlado. Después, pasa a una máquina enderezadora de rodillos de eje horizontal (fig. sig) Y de aquí a un examen por ultrasonidos. Seguidamente, se pasa al enderezado de los extremos en prensas de enderezar, a un control visual para detectar los defectos de superficie y al control final de tolerancias geométricas. Por último, los rieles se fresan en sus extremos para darles la longitud exacta y, en su caso, se taladran para que puedan ser embridados



Enderezadora de rieles

II.5. TIPOS DE RIEL.

Riel es una barra de acero laminado que, colocado uno a continuación de otro, en 2 líneas paralelas sobre durmientes u otros soportes adecuados, constituyen el camino de rodadura de los vehículos ferroviarios.

Al riel se le denomina de diferentes maneras según la función que estarían cumpliendo, como por ejemplo

Riel de zapata plana (Vignole). Riel con superficie de apoyo plana.

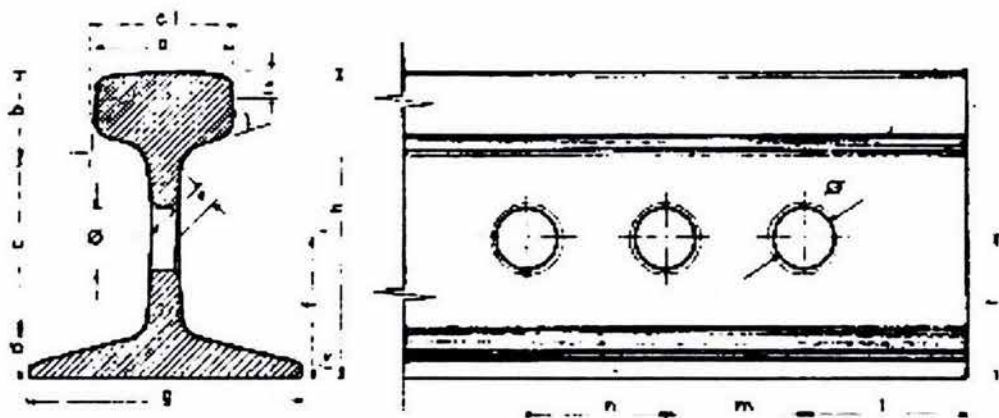
Riel de reempleo Riel retirado de la vía que puede ser reutilizado como riel de rodado o en determinadas obras complementarias de la vía, sin o con reacondicionamiento previo.

Riel excluido Riel retirado de la vía y que no puede ser reutilizado como riel de rodado bajo ninguna circunstancia

Para definir cual es el tipo de riel que debe emplearse en una vía férrea determinada se debe conocer cual será el peso de los ejes que circularán sobre los rieles durante toda su vida útil. A través del tiempo y de la experiencia que se ha tenido se ha hecho más común el llamado 'riel de patín plano' o 'riel tipo Vignole', que es el que se utiliza en México.

Además, los tipos de rieles se caracterizan por su peso expresado en libras/pie o kg./m y sus medidas de altura y ancho en pulg. o en mm.. El uso que se le va a dar al riel según el peso que éste tenga va a depender de la carga que llevará cada rueda.

Hay variados tipos de rieles, los cuales tienen sus dimensiones ya definidas para cada tipo, de ancho de la cabeza del riel, de altura de la cabeza, de altura del alma, de altura del patín, de ancho del alma, de ancho del patín, de altura total del riel, etc.



En donde podemos definir:

Altura del riel (h) Distancia entre los puntos de intersección de la superficie de rodado y de apoyo del riel con su eje vertical.

Altura de la cabeza del riel (b) Distancia entre los puntos de intersección de la superficie de rodado y de la prolongación de la porción plana de la superficie de eclisaje superior del riel con su eje vertical

Altura de la zapata del riel (d): Distancia entre los puntos de intersección de la superficie de apoyo y de la prolongación de la porción plana de la superficie de eclisaje inferior del riel con su eje vertical.

Ancho de la cabeza del riel (a1): Distancia transversal entre las líneas de intersección de las superficies laterales de la cabeza del riel con un plano paralelo a la superficie de apoyo del riel y ubicado a 16 mm. Debajo de la superficie de rodado, profundidad medida en el eje vertical del riel

Ancho de la zapata del riel (g): Distancia entre las superficies laterales de la zapata del riel.

Espesor del alma del riel (e) Menor distancia transversal del alma del riel.

Superficie de eclisaje superior del riel (j): Superficie inclinada inferior de la cabeza del riel que sirve de apoyo a las eclisas

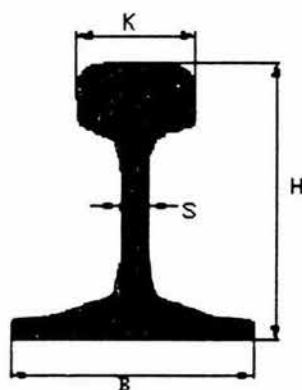
Superficie de eclisaje inferior del riel (k): Superficie inclinada superior de la zapata del riel que sirve de apoyo a las eclisas

Superficie de rodado del riel (a): Superficie curva de la cabeza del riel que sirve de pista de rodadura a las ruedas de los vehículos ferroviarios

A continuación debido a la gran diversidad de rieles consideraremos los más importantes en el ámbito comercial así como de manera general manejaremos algunas tablas estandarizadas de dichos elementos la cual contiene las características más importantes de su diseño, esto nos dará una idea ya que este tema solo lo abordaremos superficialmente debido a lo extenso que sería, debido a que tendríamos que introducirnos a el diseño de cada riel, a análisis de materiales, etc.

CARRILES VIGNOLE

Los carriles "Vignole" se emplean en un gran número de redes ferroviarias.



Para responder a las diferentes exigencias de explotación existen:

- Una gama diversificada de calidades de acero, cuyas características más usuales figuran en la tabla 1.
- Los valores en elementos residuales figuran en la tabla 2.

Tabla I: Características químicas y mecánicas de los carriles "Vignole"

Clase de acero	Composición química (%)							
	C	Mn	P	S	Si	Cr	V	Al
UIC 700	0,40-0,60	0,80-1,25	<0,035	<0,030	0,05-0,35	residual	residual	<0,004
UIC 900 A	0,60-0,80	0,80-1,30	<0,035	<0,030	0,10-0,50	residual	residual	<0,004
UIC 900 B	0,55-0,75	1,30-1,70	<0,035	<0,030	0,10-0,50	residual	residual	<0,004
AREA 285 HB	0,72-0,82	0,90-1,25	<0,025	<0,025	0,10-0,50	<0,25	residual	<0,004
USA 300 HB	0,72-0,82	0,80-1,10	<0,025	<0,025	0,20-0,40	0,25-0,40	0,08-0,12	<0,004

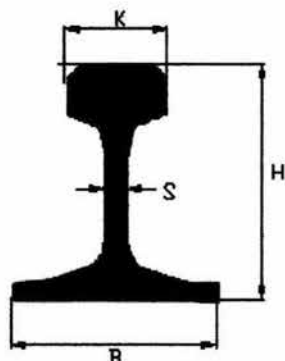
Clase de acero	Características mecánicas		
	Resistencia a tracción MPa	Alargamiento mínimo %	Dureza mínima HB
UIC 700	680-830	14	
UIC 900 A	880-1030	10	
UIC 900 B	880-1030	10	
AREA 285 B			285
USA 300 HB			300

Nota : existe la posibilidad de adaptar estas características a las necesidades específicas de cada cliente

Tabla 2: Contenidos en elementos residuales de los aceros SOGERAIL (en %)

	Cr	Mo	Ni	Cu	Sn	Sb	Nb	V
Media	0,028	0,004	0,036	0,026	0,011	trazas	trazas	trazas
Desv. típ.	0,010	0,002	0,005	0,010	0,007			

CARRILES PARA TRENES DE ALTA VELOCIDAD



Las velocidades de los trenes de alta velocidad son cada vez mayores:

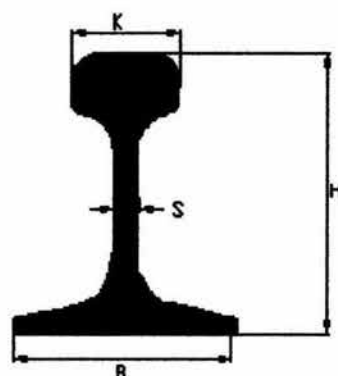
- 270 km/h en la primera línea comercial inaugurada en 1981,
- 300 km/h en las líneas del oeste y norte de Francia,
- 513 km/h, récord del mundo establecido por la SNCF, el 18 de mayo de 1990.

Para estas vías de alta velocidad, la geometría de los carriles es una característica primordial.

Tabla 4: Especificaciones de rectitud de los carriles para trenes de alta velocidad y trenes estándares

Posición	Amplitud	TAV	UIC
Rectitud en toda la barra	Amplitud máxi de las ondulaciones en la banda de rodamiento	0,3 mm/3 m et 0,2 mm/1 m	Derecho según control visual
	Amplitud máxi de las ondulaciones laterales	0,45 mm/1,5 m et 0,4 mm/1 m	Derecho según control visual
Extremos de la barra	Amplitud máxi de las ondulaciones verticales	0,4 mm/2 m et 0,3 mm/1 m	0,7 mm/1,5 m
	Amplitud máxi de las ondulaciones horizontales	0,5 mm/2 m et 0,4 mm/1 m	0,7 mm/1,5 m
Curvatura general de la barra		Radio míni=1000 m	Radio míni=1000 m

CARRILES PARA VÍAS DE TRÁFICO PESADO



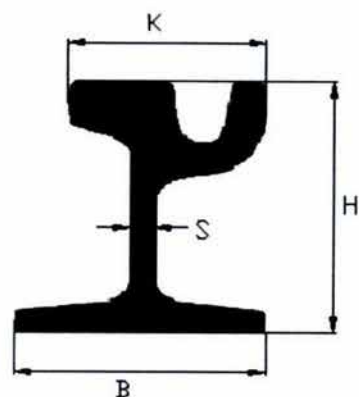
Ciertas redes en el mundo soportan importantes cargas, que superan en ocasiones las 35Ton por eje. Para resistir el desgaste y a las deformaciones plásticas que pueden derivarse de estas condiciones extremas, por eso en estos últimos tiempos las empresas han desarrollado aleaciones especiales, y en particular las que reciben tratamiento térmico (tabla 5). Por otra parte, la gran pureza en inclusiones de sus aceros confiere a estos carriles una gran resistencia a la fatiga.

Tabla 5: Características químicas y mecánicas de los carriles

Clase de acero	Características mecánicas				Composición química (%)				
	Resistencia a tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento mín. %	Dureza mín. HB					
UIC 1100	1080	-	9	-	C	Mn	P	S	Si
TT 320	1080	690	12	320	Cr	V	Al		
TT 350	1170	760	10	350					
TT 370	1300	850	11	370					

CARRILES DE GARGANTA

Los tranvías están equipados en parte o en totalidad de carriles de garganta descritos en la tabla 6



Tablas 6: de garganta.

	Peso	Altura	Ancho	Cabeza	Garg.	Patín	Alma	Y_u Eje	Momento	Módulo	Rend.	Coef.	Índice
	kg/m	H	mm	K	mm	B	S	neutro	inercia	inercia	cm ³	Rigid.	estab.
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ⁴	kg/m	kg/m	
BS 3C	52,58	165,10	104,00	50,00	33,40	177,80	11,10	83,40	2550,00	312,12	5,94	48,49	1,08
						12,70							
NP 3	56,48	160,00	103,00	56,00	31,00	180,00	12,00	81,80	2484,00	317,65	5,62	43,98	1,13
NP 3A	59,76	160,00	116,00	56,00	34,00	180,00	12,00	84,30	2568,00	339,23	5,68	42,97	1,13
NP 4	57,90	180,00	103,00	56,00	31,00	180,00	12,00	93,40	3202,00	369,75	6,39	55,30	1,00
NP 4A	61,70	180,00	116,00	56,00	34,00	180,00	12,00	97,40	3410,00	412,83	6,69	55,27	1,00
NP 4AM	62,37	180,00	116,00	54,50	34,50	180,00	12,00	96,70	3517,00	422,21	6,77	56,39	1,00
RI 59	58,96	180,00	113,00	56,00	42,00	180,00	12,00	92,58	3257,00	372,57	6,32	55,24	1,00
RI 60	60,48	180,00	113,00	56,00	36,00	180,00	12,00	94,36	3355,00	391,76	6,48	55,47	1,00
RI 60N	59,74	180,00	113,00	56,00	36,00	180,00	12,00	93,35	3298,60	380,68	6,37	55,22	1,00
GGR 118	58,30	168,28	116,00	56,00	39,00	139,70	12,00	93,20	2640,30	351,66	6,03	45,29	0,83
SEI 35G	55,29	152,50	112,40	56,20	36,01	141,50	13,00	79,64	2056,00	282,18	5,10	37,19	0,93
SEI 60G	45,64	150,00	125,00	33,00	60,00	140,00	11,00	78,10	1580,40	219,81	4,82	34,63	0,93
SEI 70G	68,29	200,00	146,00	58,00	70,00	180,00	13,00	106,72	4447,37	476,78	6,98	65,12	0,90

CARRILES CONDUCTORES

Los carriles conductores que figuran en la tabla 9, se fabrican según especificaciones de cada red. Para hacer frente a las exigencias especiales de resistividad, existen composiciones químicas especiales

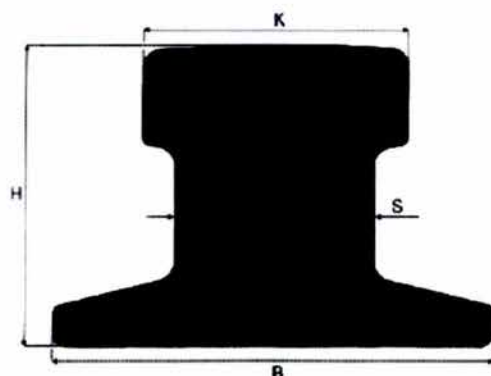


Tabla 9: Carriles conductores

Tipo de riel	Peso kg/m	Altura H mm	Cabeza K mm	Patín B mm	Alma S mm	Y_H Eje neutro mm	Momento inercia cm ⁴	Módulo inercia cm ³	Rend. cm ³ kg/m	Coef. Rigidez cm ⁴ /kg/m	Índice estab.
STR 40	40,00	105,00	80,00	80,00	18,00	46,40	597,00	101,88	2,55	14,93	0,76
STR 60	60,80	105,00	100,00	115,00	40,00	52,70	922,70	175,10	2,88	15,17	1,09
150 NMC	73,99	103,19	104,78	123,83	69,85	50,40	958,00	181,47	2,45	12,95	1,20
150 PSC	75,06	103,19	92,07	152,40	69,85	47,22	980,20	175,13	2,33	13,06	1,48

En seguida veremos un pequeño muestrario de los diferentes tipos de rieles que podemos encontrar en el mercado, ya que a diferentes características de terreno y diferentes condiciones de trabajo nos indica un diseño diferente por lo cual existe una gran diversidad de rieles.

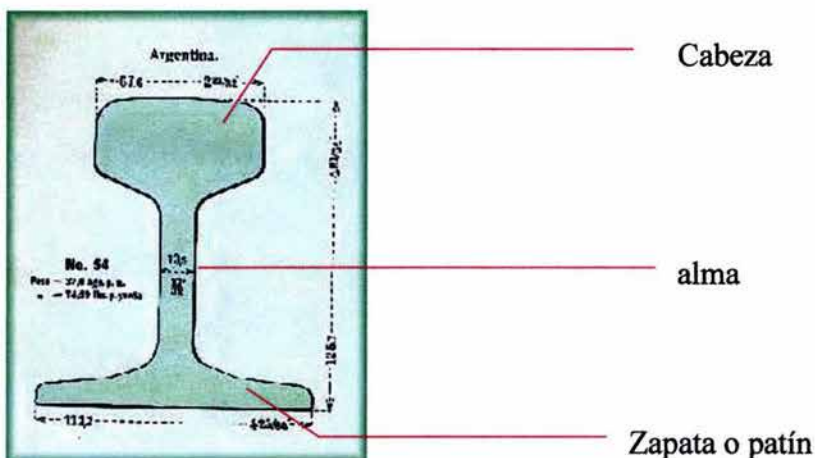
81,9 kg 136 RE-A	74,2 kg U 74	71,2 kg 115 RE-A
65,3 kg UIC 54 A	64,9 kg U 59	61,1 kg UIC 61 A
56,2 kg 46-A	51,3 kg 40-A	47,2 kg 36-A
73 kg UIC 60 B	68,9 kg UIC 54 B	62,2 kg ZU 2-49
68,3 kg 70 G	45,6 kg 60 G	41,9 kg GCRD 42
55,3 kg 35 G	60,5 kg Ri 60	30,3 kg U 69
Rails aiguilles <i>Switch rails</i>	Rails tramway <i>Tramway rails</i>	
Rails large ornière <i>Wide-grooved rails</i>	Contre rails <i>Check rails</i>	

II.6. CARACTERÍSTICAS DE UN RIEL.

COMPONENTES DEL RIEL

Un riel está compuesto por:

- ✓ Cabeza.
- ✓ Alma.
- ✓ Zapata o patín.



Cabeza del Riel: Porción superior del riel sobre la cual apoyan las ruedas de los vehículos ferroviarios.

Alma del riel: Porción intermedia del riel que une su cabeza con su zapata.

Zapata del riel: Porción inferior del riel mediante la cual éste se apoya en los durmientes directa o indirectamente.

PROPIEDADES FÍSICAS

Existen varias características físicas de los aceros que son de interés en el caso de los carriles, pero sin duda la más importante, por representar en cierto modo a todas las demás, es la resistencia a la tracción, la cual en muchos casos caracteriza a los carriles.

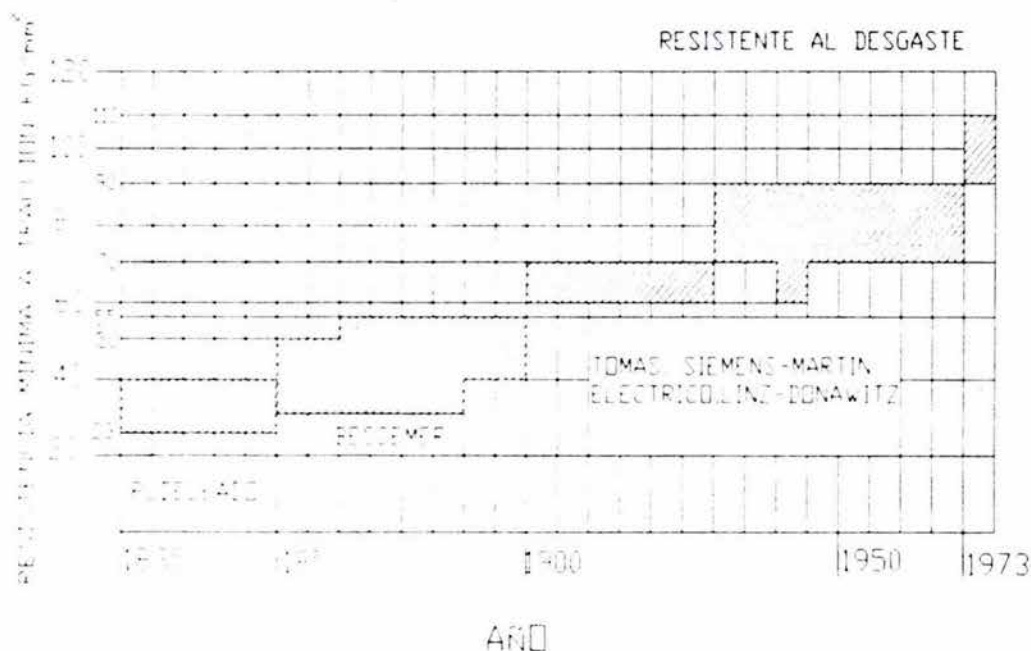
Dada la importancia de esta característica, es lógico que su evolución haya sido la que ha marcado el desarrollo de los aceros para riel o viceversa. En efecto: los primeros rieles, de hierro pudelado (1829 a 1860), presentaban una resistencia a la tracción de 30 a 40 kg/mm². La adopción de nuevos procedimientos de fabricación y la introducción del acero permitieron aumentar la resistencia, que pasó a valores de 50 a 60 kg/mm², empleándose hasta casi el año 1900 el acero de rieles de esta calidad. Para adaptarse al aumento de las demandas del material fue preciso proceder a incrementar la resistencia mínima de los rieles, que se fijó en 60 kg/mm² alrededor de 1930. Finalmente, se adoptó para ésta la calidad normalizada de 70 kg/mm², siendo este valor el que emplean actualmente la mayoría de las Administraciones europeas, entre ellas RENFE.

En el 40 se comenzó a emplear en algunos países como Alemania, rieles resistentes al desgaste, en una proporción próxima al 10 %. Este tipo de riel fue desarrollado a causa de su mejor comportamiento frente al desgaste en servicio y, en principio, se montó en curvas de radio reducido.

Con posterioridad a 1962 aumentó paulatinamente el porcentaje de rieles resistentes al desgaste empleados, cuya resistencia a tracción oscilaba alrededor de los 90 kg/mm².

Finalmente, desde 1970, se ha generalizado relativamente, al menos entre las Administraciones europeas, el empleo de rieles resistentes al desgaste, cuya resistencia a la tracción es de 110 kg/mm^2 .

Una representación esquemática de la evolución de las resistencias a tracción de los rieles entre 1835 y 1973 se muestra en la figura siguiente, en la cual se indica también el procedimiento de fabricación más empleado en cada periodo. Aunque esta figura está realizada a partir de datos de Alemania, no cabe duda que es representativa de la evolución en el mundo de los aceros de riel, en cuanto a resistencia a tracción y procedimiento de fabricación se refiere.



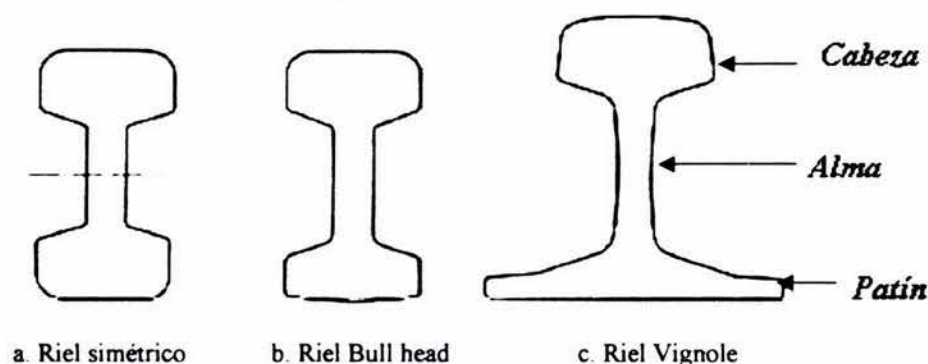
Evolución de la resistencia a tracción del material de los rieles en Alemania.
(Adaptado de Birmann, 1974.)

El resto de propiedades físicas de interés del acero de riel son: peso específico, cuyo valor medio suele tomarse igual a $7,83 \text{ Tn/m}^3$; coeficiente de dilatación lineal, que se fija en $1,05 \times 10^{-5} \text{ c' E}$; módulo de elasticidad, que se puede tomar como $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$; resiliencia, que aun dependiendo del tipo de acero, oscila alrededor de los 2 kgm/cm^2 ; Dureza, con valores de 210 a 250 Ud. Brinell para los aceros normales, puede llegar a alcanzar hasta 375 Ud. Brinell en la superficie de rieles de aceros especiales o sometidos a tratamientos adecuados. Finalmente, el alargamiento en rotura, medido sobre probeta de longitud igual o superior a cinco diámetros, oscila entre el 9 y el 14 %, dependiendo, por supuesto, del tipo de acero de que esté formado el riel.

FORMA

Los primitivos rieles metálicos fueron dotados de un reborde lateral, que luego fue sustituido por la pestaña de las ruedas; posteriormente, se utilizaron rieles simétricos o de dos cabezas (fig. a), con la intención de que su duración fuera doble, puesto que cuando una cabeza se hubiera desgastado en servicio, el riel podría invertirse y volverse a emplear. Esto no puede lograrse, en la práctica, a causa de que el sistema de sujeción deteriora la cabeza inferior, que estaba «en reserva», dejándola inservible para su función de camino de rodadura. Ello condujo al desarrollo del riel bull-head, de forma similar al anterior, el cual permitía aprovechar el sistema de sujeción concebido (que será descrito mas adelante), pero reduciendo el material de la cabeza inferior, de cuya utilización como camino de rodadura se desistió (fig. b)

Con la aparición en 1836 del riel de patín plano, diseñado por Charles Vignole, se abandonó rápidamente el empleo de los rieles bull-head, excepto en Gran Bretaña, donde todavía hoy se fabrican rieles de este tipo. El riel Vignole (Fig. c) es el adoptado generalmente en todo el mundo y está constituido por: una gruesa cabeza redondeada que se utiliza como superficie de rodadura y que soporta el desgaste; un alma de pequeño espesor que une la cabeza con el patín, el cual constituye la base del riel y cuya superficie inferior es plana, lo que le permite descansar directamente sobre las traviesas, sin necesidad de dispositivos auxiliares que aseguren su estabilidad.



Evolución de la forma de los rieles

Existen también otros tipos de rieles destinados a usos especiales, como en el caso de las vías para tranvías, colocadas a lo largo de calzadas ordinarias, en las que se utiliza el riel de garganta o Phoenix (fig. a). En algunos elementos, como placas y puentes giratorios, se utiliza el riel Brunel, en el que se suprime el alma (fig. b).

Perfil

El perfil debe cumplir a resumidas cuentas con las siguientes características.

La cabeza del riel debe tener una anchura y una altura suficientes desde el punto de vista de las cargas soportadas y de la altura de pestaña. La transmisión del esfuerzo no debe, en particular, tener lugar bajo la forma de un contacto puntual. La forma de la superficie de rodadura debe garantizar una buena repartición de los esfuerzos aplicados y parecerse a un perfil de desgaste. La inclinación de las caras laterales de la cabeza es un compromiso entre las necesidades de circulación en recta, donde no se produce normalmente ningún contacto lateral, y la circulación en curva, donde la presión unitaria de la pestaña sobre el riel debe ser lo más reducida posible

Las condiciones anteriores respecto a la cabeza están orientadas a obtener una robustez adecuada frente a las cargas transmitidas por la rueda, así como a la existencia de una armonía de dimensiones entre los dos elementos de guía del sistema rueda-riel: la pestaña de la rueda y la cabeza del riel.



Riel Phoenix



Riel brunel

Perfiles de rieles especiales.

Textura

Es ésta la característica del material que nos da indicaciones sobre la estructura del acero, la cual puede variar considerablemente en función de la composición química, del proceso de fabricación, de la evolución de las temperaturas y de la aplicación o no de tratamientos térmicos al riel ya fabricado.

La textura hace referencia a dos conceptos: la macroestructura y la microestructura. La primera está relacionada con la perfección en la fabricación y manipulación del acero para construir el riel y la segunda se refiere a las características propias del acero en sí.

La calidad de un riel viene determinada, en gran medida, por su macroestructura, que deberá ser de grano homogéneo, fino, uniforme, sin coqueras ni fisuras y sin presentar ningún tipo de segregación. El control de la macroestructura se efectúa estudiando una impresión o macrografía Baumann



La macrografía Baumann se obtiene por aplicación sobre las caras extremas de los rieles, que se alisan por fresado y pulido, de un papel al gelatino-bromuro o al citrato de plata, previamente embebido en una solución de ácido sulfúrico de 3° Baumé.

Por medio del análisis de la microestructura del riel, realizado bajo microscopio de 100 a 200 aumentos (fig.), se observa que los componentes del acero de riel ordinario son: La ferrita (hierro puro) y la perlita, que es eutectoide, cuya composición en carbono es del 0,9% y que está formada por láminas de ferrita, interpuestas entre láminas de cementita (Fe_3C).



Metalografía de acero de riel. Los cristales grandes son de Perlita, el resto es Ferrita

El estudio de la microestructura del acero de riel muestra, sin embargo, que la estructura sorbitica asegura una considerable resistencia al desgaste y una plasticidad adecuada del material, así como que una estructura martensítica presenta elevada dureza y resistencia al desgaste, pero aporta una fragilidad. El procedimiento sorbitico, que tiene por objeto aumentar la resistencia a la tracción y al choque conservando el límite elástico y la ductilidad

Con el fin de adecuar en lo posible la microestructura de los rieles a la función que éstos deben desempeñar, se recurre a modificar su primitiva microestructura mediante tratamientos térmicos.

PESO

Es esta la característica esencial que proporciona una idea general sobre el tipo y potencialidad del riel. El peso de los rieles se expresa en kilos por metro lineal en todo el mundo, a excepción de Gran Bretaña, Estados Unidos y países del área de influencia británica, en los que se caracterizaba a los rieles por su peso en libras por yarda. Puesto que el peso del riel está estrechamente ligado, sobre todo, a la carga por eje, velocidad de circulación y densidad de tráfico de las líneas, su evolución desde los primeros años del ferrocarril ha sido constante y, en cierto modo, paralela a la de estos parámetros. De todas formas, la más fuerte dependencia parece haber sido, en líneas generales, con la carga por eje de los vehículos, como se puede deducir si se tiene en cuenta que, después de ciento cincuenta años de la creación de los ferrocarriles, las cargas por eje han aumentado diez veces.

Al hecho de que un riel pesado distribuye las acciones verticales y horizontales de los vehículos sobre la vía entre un mayor número de traviesas. Disminuyendo el efecto de la onda elástica retardando la degradación de la traviesa y reduciendo simultáneamente la presión dinámica sobre el balasto. Por otra parte. El desgaste de los propios rieles tarda más

en producirse retrasando también la aparición de roturas por fatiga o debidas a falta de robustez de la sección del riel.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

La influencia de los elementos químicos sobre las características físicas del acero de riel son las siguientes:

- El carbono aumenta la dureza y resistencia al desgaste, aunque un exceso de este elemento es causa de fragilidad en el acero.
- El silicio mejora la calidad del acero gracias a que, debido a su afinidad por el oxígeno, colabora a la eliminación de gases durante la elaboración del mismo y facilita la laminación del riel. Además, aumenta la dureza y la resistencia al desgaste.
- El azufre confiere fragilidad al acero en frío, pero es imposible su eliminación completa.
- El fósforo da lugar a aceros frágiles al rojo, pero igual que en el caso del azufre no es posible su eliminación completa desde un punto de vista económico.
- El manganeso aumenta la dureza, la resistencia al desgaste y la tenacidad, proporcionando una adecuada viscosidad al acero durante la fabricación, pero dificulta la soldabilidad.
- El cromo confiere al acero dureza, resistencia al desgaste y tenacidad.
- El arsénico aumenta la dureza y la resistencia al desgaste, pero disminuye la resistencia a partir de un cierto porcentaje.

	Fabricados en Europa	Fabricados en America
% de Carbono	0,4 - 0,57	mayor a 0,57
% de Manganeso	0,8 - 1,2	menor a 0,8
% de Silicio	0,1 - 0,25	0,1 - 0,25
% de Fosforo	maximo admisible 0,06	maximo admisible 0,06
% de Azufre	maximo admisible 0,06	maximo admisible 0,06

Tabla. Composición química del acero para rieles

II.7. PRINCIPALES DEFECTOS EN LA FABRICACIÓN DE UN RIEL

La constante mejora en la calidad de los rieles y la sustitución de los viejos rieles por los nuevos, de mejor calidad, nos ha retribuido en la reducción del número de defectos de fisura por fatiga. Y por el contrario el aumento de las cargas por eje con respecto al pasado, ha tenido como consecuencia un cierto incremento en las averías por patinaje y por efecto “shelling”.

Los tipos de defectos que aparecen en los rieles han evolucionado con el tiempo. Las roturas bruscas que se producían hace 50 años, se han transformado en fisuras por fatiga y posteriormente, al irse utilizando aceros cada vez más duros, disminuyeron también los problemas de fatiga pero aparecen dificultades por problemas de fragilidad.

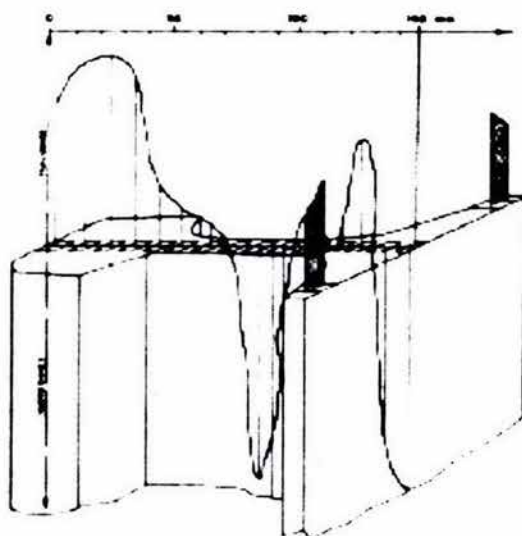
Denominamos defectos a aquellas anomalías que aparecen en los rieles como consecuencia de su fabricación. La importancia de los defectos es muy grande, no sólo desde el punto de vista económico, sino desde el de la seguridad de la circulación, puesto que la presencia de defectos en los rieles da lugar, bajo las cargas de servicio, a la aparición de averías o roturas en los mismos. Los defectos más importantes que aparecen en los rieles como consecuencia de su fabricación son los siguientes:

Rechupe: Puede ser primario, por mal despunte del lingote, que produce una fisura vertical en el extremo del riel, y secundario, que se produce por realizar con excesiva rapidez la colada y el desmoldeo, formándose cavidades o grietas bajo la bolsa de rechupe que no suelen aflorar en los rieles nuevos.

Segregación central: Procede de un despunte insuficiente o falta de cuidado en la colada, que dejan en el riel impurezas de fósforo y azufre. Se produce en el alma, pero puede extenderse a la cabeza y al patín.

Segregación inversa: Se produce a causa de un laminado prematuro, comenzando antes de la solidificación completa del lingote o también por una licuación de carbono producida durante la citada solidificación. Se caracteriza por la formación de una zona central descarburada con poco fósforo y azufre, rodeada de una zona muy impura y carburada. Puede dar lugar a fisuras longitudinales.

Inclusiones sólidas: Tienen el mismo origen que la segregación inversa y están constituidas por partículas de escorias o productos formados durante la desoxidación.



Tensiones internas en un riel S49 después del enderezado horizontal.
Riel enfriado normalmente(según Meier)

Inclusiones gaseosas: Son burbujas de gas que quedan en el interior del lingote, tomando forma alargada en la Laminación y pueden, posteriormente, dar origen a grietas.

Fisuras transversales: Su origen no está claramente determinado, aunque se sospecha que se deben a las tensiones creadas durante el enfriamiento del riel. Reciben también el nombre de manchas ovales o plateadas por su aspecto, aproximadamente circular, de color brillante.

Defectos de laminación: Se aprecian a simple vista al final de esta operación e influyen directamente en la seguridad. Los más corrientes son:

- Ondulaciones del borde del patin por falta de material.
- Rebabas del patin por exceso de material.
- Pliegues debidos a un exceso de material aplastado sobre el perfil normal.

En la fabricación de aceros resistentes al desgaste es preciso prestar especial atención a la influencia del hidrógeno. En efecto, este gas puede provocar una formación' flocular sobre la cabeza del riel, que dará lugar a una rotura por fatiga en forma de mancha oval bajo las cargas de servicio. Para evitar este defecto, los rieles resistentes al desgaste deben estar fabricados a partir de fundiciones pobres en hidrógeno o sufrir una desgasificación en el vacío antes de la colada. Otra solución es proceder a un enfriamiento muy lento de los rieles, después de la laminación, para obtener una liberación suficiente del hidrogeno.

A continuación mostramos algunos ejemplos de los defectos que se producen en campo actualmente.



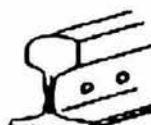
a)



b)



c)



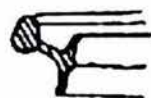
d)



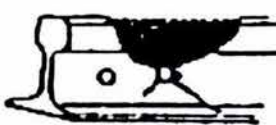
e)



f)



g)



h)



i)

a) Mancha oval

b) Fisuración horizontal en el extremo de la cabeza

c) Fisuración vertical en el extremo de la cabeza

d) Fisuración vertical en el alma

e) Defecto local producido por el patinaje

f) Huella debida al patinaje.

g) Hendidura longitudinal del patin

h) Fisuraciones residuales alrededor de los orificios de las bridas

i) Descascarillado de la superficie de la rodadura (shelling)

Ejemplos de los defectos en los rieles.

II.8. IMPLANTACIÓN NECESARIA PARA UNA LINEA DE FABRICACIÓN DEL RIEL.

Como recordaremos SOGERAIL es una de las compañías fabricante de rieles más importantes en el ámbito mundial, esta empresa cuenta con un proceso ya definido para la producción de rieles, por lo cual mencionaremos los puntos más importantes los cuales fueron seleccionados de un folleto de dicha compañía.

a) Disposiciones generales

Todos los blooms se fabrican por colada continua Cada acería está totalmente computerizada y automatizada (instrucciones de explotación), se realiza un riguroso mantenimiento mecánico y eléctrico, y dispone de:

- dos convertidores de oxígeno,
- dos estaciones de afinado (metalurgia en cuchara),
- una estación de desgasificación,
- una colada continua

b) Elaboración

Los convertidores, alimentados con hematites, afinan el acero en 30 a 40 minutos en continuo en coladas de 220 a 240 toneladas

c) Metalurgia en cuchara

Constituida fundamentalmente por un horno de tres electrodos equipados para el mezclado electromagnético, y por tolvas de pesado, la estación de afinado nos permite controlar:

- 1) La Precisión y la homogeneidad de la composición química que garantiza, de una colada a otra, un comportamiento constante del riel
- 2) El tamaño de las inclusiones notablemente favorecido por una buena decantación de las inclusiones previa a cualquier posible reoxidación, gracias a la protección de colada entre la cuchara y el repartidor y entre el repartidor y la lingotera. Un control particular del estado de reposo del acero impide por su parte, la formación de aluminatos, especialmente nocivos para la resistencia a la fatiga del riel.
- 3) La temperatura de sobrecalentamiento para obtener una estructura dendrítica fina y equiaxial en la casi totalidad de la sección del bloom, así como una segregación fina y repartida. Con ello se consiguen propiedades mecánicas homogéneas y un comportamiento constante y fiable del riel.

d) Desgasificación

El tratamiento bajo vacío creado por un sistema de aspiración de aire, permite una reducción eficaz del contenido en hidrógeno, eliminando así los posibles riesgos de formación de defectos internos en los rieles. Los efectos de esta desgasificación se conservan luego, durante la colada, por protección del acero de la atmósfera, mediante boquillas inmersas y polvos de protección.

e) Colada continua

Cada línea independiente de gran radio de curvatura está alimentada por un repartidor de una capacidad de 32 a 40 toneladas. Consta esencialmente de:

- El mando y el control del nivel del acero líquido en la lingotera para garantizar la calidad superficial de los blooms que resulta esencial para la fiabilidad y la vida útil de los rieles,
- El enfriamiento controlado por pulverización de agua, controlado por robot, adaptado a la velocidad de la colada y a su análisis, para controlar la segregación,
- Un soplete oxhídrico de funcionamiento autónomo,
- Los sistemas de marcado y de evacuación

Los blooms pasan de la acería a los laminadores. El calentamiento de los blooms se realiza en hornos de largueros móviles, que funcionan con gas natural, de potencia

controlada. Su manejo está automatizado para lograr una temperatura homogénea de los productos.

A la salida de los hornos, los blooms se decalaminan con chorro de agua a alta presión para mejorar la calidad superficial de los productos.

f) Los trenes de laminación.

SOGERAIL(Empresa fabricante de rieles) dispone de dos trenes de laminación que le permiten, tanto por su capacidad de producción como por su flexibilidad, garantizar la fabricación de rieles con una estructura interna de óptima calidad.

La importante reducción de los últimos pasos de laminación modifica de forma más acentuada la estructura dendrítica primaria y permite obtener una mejor isotropía del metal en sentido transversal

- Tren de Rodange.

Antes de la laminación del riel, los blooms pasan por una lingotera cuya forma permite adaptar la sección de entrada al laminador. La laminación se realiza en acanaladuras convencionales

Los rieles se laminan en un tren dúo reversible de tres cajas, con cilindros de 920mm, empleándose sólo dos cajas para la mayor parte de los rieles. En la caja devastador

el forjado del patin se obtiene en seis pasadas, lo que permite modificar la estructura cristalina de colada del bloom y por consiguiente, mejorar la resistencia del patin.

La forma definitiva del riel se obtiene en cinco pasadas en las cajas acabadoras.

- Tren universal de Hayange

El proceso de laminación universal, puesto a punto en esta fábrica, se conoce por la calidad del producto final. Los fabricantes más importantes de todo el mundo han adquirido esta patente. Con este proceso se consigue una simetría de las dos caras opuestas laminadas en dos cajas dúo desbastadoras.

El perfil sufre una serie de pasadas de laminación por la caja universal y a continuación se lamina entre dos de eje horizontal y a dos rodillos de eje vertical.

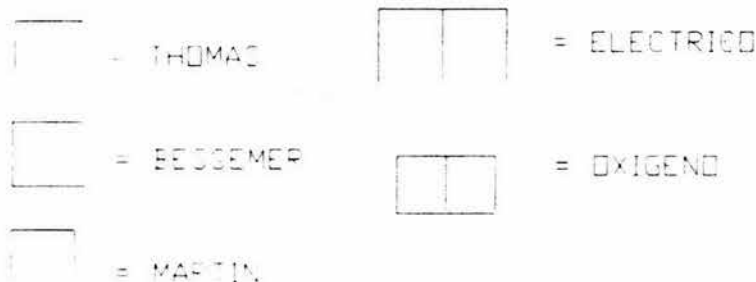
En las primeras etapas se realizan alargamientos importantes del orden del 30 por ciento, que llevan a un excelente forjado del metal. Cada una de las tres pasadas en la caja universal está seguida por una pasada hacia atrás para controlar el alargamiento de la cabeza (pista de rodadura) y de la base (patin)

La última pasada de laminación está destinada a proporcionar a la cabeza sus medidas exactas y definitivas. Se realiza en una caja de acabado semi-universal.

g) Marcado.

Se realiza el marcado tras la última pasada de acabado, en relieve en el alma del riel.

Una máquina imprime en vacío, a intervalos regulares, las marcas de identificación de cada riel.



h) Corte en caliente

Se cortan las barras madres de 54 a 81 metros con sierras en caliente, a longitudes entre 12 y 36 metros para reducir las ondulaciones, los rieles pasan a las parrillas de enfriamiento natural por aire.

En caso de tratamiento térmico, los rieles pasan directamente de las sierras en caliente a la instalación de tratamiento térmico. Tras dicho tratamiento siguen el mismo circuito que los rieles sin tratar.

i) Enderezado

La primera enderezadora actúa según el momento de inercia principal del riel para reducir las ondulaciones en el plano vertical. Está equipada de rodillos de gran diámetro, montados sobre soportes cónicos para evitar excentricidades.

La segunda enderezadora actúa sobre el momento de inercia secundario del riel para reducir las ondulaciones en el plano horizontal.

En cada línea, un robot se encarga de sincronizar el trabajo de las dos enderezadoras. De este modo las instalaciones producen rieles para vías de alta velocidad, caracterizados por una ondulación periódica acorde con la normativa en vigor.

j) Tratamiento térmico.

Existen dos tipos de tratamiento térmico

- 1 En toda la barra
- 2 En extremos

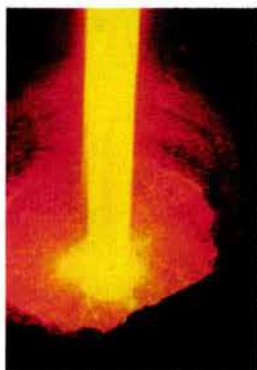
Su objetivo es mejorar su estructura, pero este tipo de rieles son para vías especiales, el primero utiliza un sistema de aspersión de agua, mientras que el segundo tiene como medio de enfriamiento el aire comprimido. Dichos tratamiento buscan una mejora en sus propiedades mecánicas

k) Acabado.

El acabado incluye el enderezado de los extremos en prensas de gato hidráulico. Durante esta operación se verifica rectitud cuidadosamente. Cuando las exigencias de rectitud son más severas, se utiliza una instalación de medición por láser con plantillas de extremos que sirven de guía para los operarios.

Los rieles se cortan, y si es necesario, se taladran en un conjunto de máquinas automáticas, garantizando el estricto respeto del patrón del taladro y un acabado cuidadoso de los extremos. Tras el corte en frío se puede realizar por encargo, un despunte o un ligero achaflanado, estos son algunos de los aspectos que se realizan en el acabado.

Ahora para esquematizar mejor el proceso de producción de rieles daremos una reseña fotográfica de cómo se va realizando el riel desde el acero hasta el producto final. Dicho muestrario fotográfico fue localizado en un folleto de una empresa proveedora de riel, llamada SOGERAIL, cuya ubicación se localiza en Francia.



Elaboración de Arrabio



Elaboración del acero
al oxígeno



Estación de Afinado en cuchara



Chorro de Colada continua



Colada continua



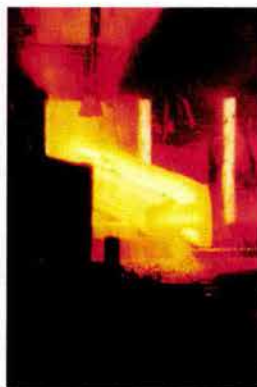
Desgasificación en vacío



Marcado del bloom



Recalentamiento de blooms



Laminado en caliente



Cerrando en caliente



Enderezado primer plano



Enderezado segundo planos



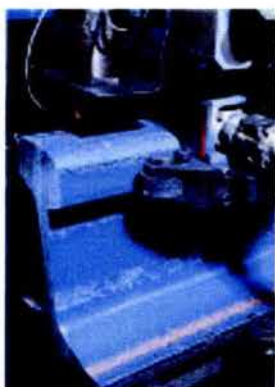
Enderezado en los extremos



Tratamiento térmico



Controles no destructivos



Prueba de ultrasonido



Acabados especiales

II.9. COMPORTAMIENTO MECANICO DEL RIEL.

Solo consideraremos el Peso que debe soportar el riel, porque debido a que todo esta estandarizado, el peso nos da la referencia sobre que tipo de riel debemos seleccionar para nuestra estructura de via, ya que una vez definido cual será el peso del riel Q que se necesitará, consultaremos la tabla de diseño de rieles, en donde están definidas todos los tipos de rieles y sus dimensiones necesarias para soportar la carga determinada.

Por eso es lógico no basar su elección en la consideración de su capacidad resistente, establecida por medio del cálculo del riel como viga sometida a la acción de determinadas cargas. Es evidente que varios factores han de intervenir en la elección del riel. Además de la carga por eje, por ello se ha recurrido al establecimiento de ciertas fórmulas empiricas con la intención de determinar de forma racional qué riel debe elegirse para tender en una linea dada.

a) *El Cairo.*

Una primera expresion muy simple propuesta en el Congreso Ferroviario de El Cairo. Que liga el peso métrico del riel Q en Kg. con la carga estática por eje. P , en Ton del vehiculo más pesado es la siguiente

$$Q = 2,5 P$$

Ejemplo

Peso por eje 25 toneladas

Resultado PESO DEL RIEL 62 50 kgs /mm

b) Según fórmula profesor Yershov

Un avance incompleto. Dado en este campo, está representado *por* la expresión siguiente:

$$Q = \frac{V_{\max}}{2.2}$$

donde:

$V_{\max}$ es la velocidad máxima de la línea en km/h. Esta expresión fue propuesta por el profesor Yershov y aunque tiene un cierto carácter dinámico al hacer intervenir la velocidad, adolece de no introducir en forma explícita la carga por eje. Esta fórmula sólo se debe utilizar con valores de $V_{\max} \leq 160 \text{ km/h}$.

Ejemplo :

Velocidad máxima: 40 km./hora

Resultado PESO DEL RIEL: 18.18 kgs /mm

c) Según fórmula del Profesor Shulga.

Introduce como factor de dimensionamiento del riel la intensidad de tráfico (T), pues es la causante del deterioro normal de los rieles por desgaste. No considera directamente la influencia de la velocidad y la carga por eje

En la que T es el tráfico anual en millones de toneladas brutas.

$$Q = 31.046 * T^{0.203}$$

Por ejemplo,

Para un tráfico anual (T) = 2 millones toneladas brutas.

Se obtiene, PESO DEL RIEL = 35.7 kgs./mm

d) Según fórmula del profesor Shajunianz.

Considera peso por eje (P), tráfico anual (T), velocidad máxima (V), además agrega un factor (a) dependiente del tipo de vehículo, el cual vale 1.2 para vagones y 1.13 para locomotoras. A pesar de la ventaja anterior, los resultados indican valores demasiado bajos de acuerdo a la experiencia, lo cual parece indicar que la fórmula resulta apropiada para vías de alta velocidad, intensidad de tráfico y peso por eje.

$$Q = a(1 + T^{1/4})(1 + 0.012 V)^{2/3} P^{2/3}$$

Ejemplo :

variables	datos	unidades
peso por eje	25	toneladas
tráfico anual	2	millones ton. brutas
velocidad max.	40	km./hora
a	1,2	-

Resultado PESO DEL RIEL: 29.2 kgs./mm

El campo de aplicación de esta fórmula abarca hasta valores de $V \leq 160$ km/h.

Vamos a establecer, una analogía entre los resultados proporcionados por las cuatro expresiones expuestas para algunos casos concretos. Esta comparación se establece en la siguiente tabla

Comparación de resultados obtenidos mediante las formulas anteriores, para efecto de cálculo de peso métrico del riel

DATOS				FÓRMULAS			
a	T	V	F	El Cairo $Q = 2,5 P$	Yershov $Q = \frac{V_{max}}{2.2}$	Shulga $Q = 31.046 \cdot T^{0.203}$	Shajunianz $Q = a(1 + T^4) \cdot (1 + 0.012 \cdot V)^{2.3} p^{2.3}$
1.13	15	160	18	45	72.7	53.8	47.0
1.13	12	140	22	55	63.6	51.4	50.3
1.13	10	120	22	55	54.5	49.5	44.7
1.20	20	100	25	62.5	45.4	57.0	53.9
1.20	80	80	30	75	36.3	75.5	72.2

IL.10. RIEL Y SUS ELEMENTOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE UNA VIA.

Quizás, puede pensarse que sobre los rieles de la vía férrea no hay mucho que se pueda decir. Puede pensarse que tal vez hay sólo un tipo de rieles, de una dimensión determinada e incluso una sola distancia normada de separación entre ellos en forma paralela. Pero, como se analizará más adelante, podremos darnos cuenta que estas hipótesis están totalmente erróneas, puesto que los rieles también tienen características particulares que los diferencian unos de otros, como por ejemplo, las alturas totales, los anchos (superior e inferior), inclinación del patio, radio de curvatura.

Podemos comenzar diciendo que no hay sólo una separación interior típica entre los rieles de la vía, lo que se denomina '**Ancho de Trocha**', en el norte se dispone de manera más frecuente la separación de 1m. entre rieles, y en el sur se dispone de un ancho mayor de 1,676 m. de separación entre ellos.

La trocha es medida entre las cabezas de los rieles, en ángulo recto al riel, en un plano ubicado a 16 mm. Desde la parte superior de la cabeza del riel.



trocha

Dentro de las funciones que cumplen los rieles, podemos mencionar que éstos son los que soportan todo el material rodante y sirven de guía para el trayecto a seguir.

Capas de asiento.

Las capas de asiento incluyen la capa de balasto, la sub-base y la plataforma.

Las funciones de la capa de balasto son:

- ✓ Permitir, merced a su granulometría, el drenaje y la evacuación rápida de las aguas cenitales.
- ✓ Amortiguar las vibraciones transmitidas por los durmientes, gracias a sus propiedades reológicas. La energía de vibración se disipa por el rozamiento de los arados que forma el balasto.

- ✓ Hacer posible, a través del bateado mecanizado, una rectificación rápida de la nivelación o del trazado.

El balasto esta formado por materiales granulares de tamaño de particula comprendido en un grueso de 25/50mm provenientes del machaqueo de rocas duras como el granito, la diorita, la cuarcita, ofita, el gneis. Etc.

La sub-base, mono o multicapa, esta formada por materiales granulares(arenas o gravas) apoyadas en ocasiones sobre laminas estancas de materiales plásticos(geomembranas), y en otras, sobre una capa filtro anticontaminante(geotextil).

Las funciones de la sub-base son varias.

- ✓ Proteger la parte superior de la plataforma de la erosión que ocasionan tanto la penetración de los elementos del balasto como la aceleración de las aguas cenitales.
- ✓ Proteger la plataforma contra los efectos del hielo.
- ✓ Mejorar el reparto de las cargas transmitidas, de forma que las solicitaciones que llegan a la parte superior de las plataformas estén limitadas a valores admisibles en función de la capacidad portante del suelo.

Mientras que la plataforma no es otra cosa mas que la parte superior la cual es compactada, también esta rematada con una pendiente en su capa superior.

Durmientes.

Los durmientes son apoyos transversales de la vía a los que se sujetan los rieles, mediante accesorios y que se colocan a una determinada distancia, de la cual depende la carga que actuara sobre ellos; pueden ser de madera dura, blanda, creosotada o de concreto pretensado, si como bloques de concreto en los extremos, unidos con un acero estructural y articulación con pretensado.

Los durmientes(traviesas) cumplen una triple función:

- ✓ Transmiten las cargas del riel al balasto, cumpliendo una función de reparto de dichas cargas.
- ✓ Mantienen el ancho de las vías al quedar fijos los rieles en los alojamientos dispuestos en los durmientes a una distancia constante.
- ✓ Proporcionan en la zona de apoyo del riel la inclinación 1/20 hacia el interior de la vía. Esta inclinación mejora la estabilidad y facilita la rodadura y el guiado de las ruedas de material móvil, sobre la superficie de la cabeza del riel.

La sección de los tipo de durmientes de madera es de 18cm x 20cm x 2.40m; aunque en Europa son de 15 x 25 x 12.60.



Dimensiones del durmiente de madera

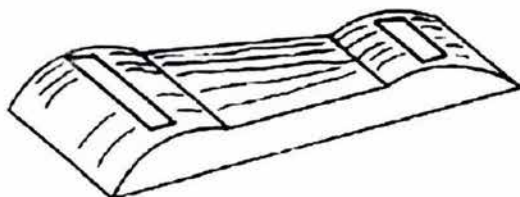
Los durmientes de madera presentan una serie de ventajas entre las que podemos destacar:

- ✓ Buenas características de flexibilidad y resistencia a la flexión, proporcionan a la vía unas condiciones favorables de elasticidad y disminuyen las cargas transmitidas a la plataforma.
- ✓ Un coeficiente de aislamiento eléctrico muy elevado, lo que evita la necesidad de utilizar dispositivos de aislamiento en las sujeciones.
- ✓ Posibilidad de efectuar el cajado de apoyo del riel y el elevado de las sujeciones en distintas posiciones, lo que facilita mucho su empleo en aparatos de vía en los que las posiciones relativas de los rieles son variables.
- ✓ Buen comportamiento frente a los descarrilamientos, ya que el impacto de una rueda astilla los durmientes pero no provoca su rotura.

Sin embargo también existen una serie de inconvenientes que limitan su uso, entre ellos se destacan:

- ✓ Una vida inferior a los durmientes de hormigón (20 años para las especies utilizadas en España frente a 40 o 50 del hormigón).
- ✓ Un menor peso propio que disminuye la estabilidad de la vía y limita su uso a velocidades inferiores a 200Km/Hr.
- ✓ La adaptación de sujeciones elásticas a los durmientes de madera, que son necesarios para la instalación del riel continuo soldado.

Otro tipo de durmiente es el de acero, denominado concha; este es hueco y requiere la colocación cuidadosa para introducirlo y calzarlo en el balasto, este durmiente proporciona un excelente anclaje útil en las zonas sinuosas o donde hay riel soldado; tiene una vida útil de 60 años, se daña en forma mínima por descarrilamiento, puede rehabilitarse por medio de soldadura y posee un alto valor de recuperación.



Durmiente de acero tipo concha.

Los durmientes de concreto(hormigón) pueden ser de una sola pieza o de dos piezas de concreto, unidas por una barra de acero también pretensada. Si no hay percances estos durmientes duran como los de acero; pero en el caso de un descarrilamiento, los durmientes de concreto de una sola pieza se destruyen con mayor facilidad que los de barra de acero la cual puede ser rehabilitada con soldadura, si se daña.



Durmiente de concreto pretensado de una sola pieza.

Pernos Rieleros

Los rieles y las eclisas van unidos mediante pernos rieleros, hay de diferentes tipos, algunos son:

➤ **Tirafondo Rielero:**

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea.

Este debe ir recubierto con aceite.



➤ **Clavo Rielero Ferrorieles:**

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea.

Este debe ir recubierto con aceite.



➤ **Clavo Rielero Tipo Americano:**

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea.

Este debe ir recubierto con aceite.



➤ Perno Rielero Cuello Ovalado:

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea.

Este debe ir recubierto con aceite.



➤ Tuercas Bulldog:

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea.

Este debe ir recubierto con aceite. Una de las características de estas tuercas es que se ensamblan con torque predeterminado impidiendo que se suelte del perno por las vibraciones.



➤ Perno KZ:

El cual se usa para la fijación de los rieles y otros elementos de la vía férrea.

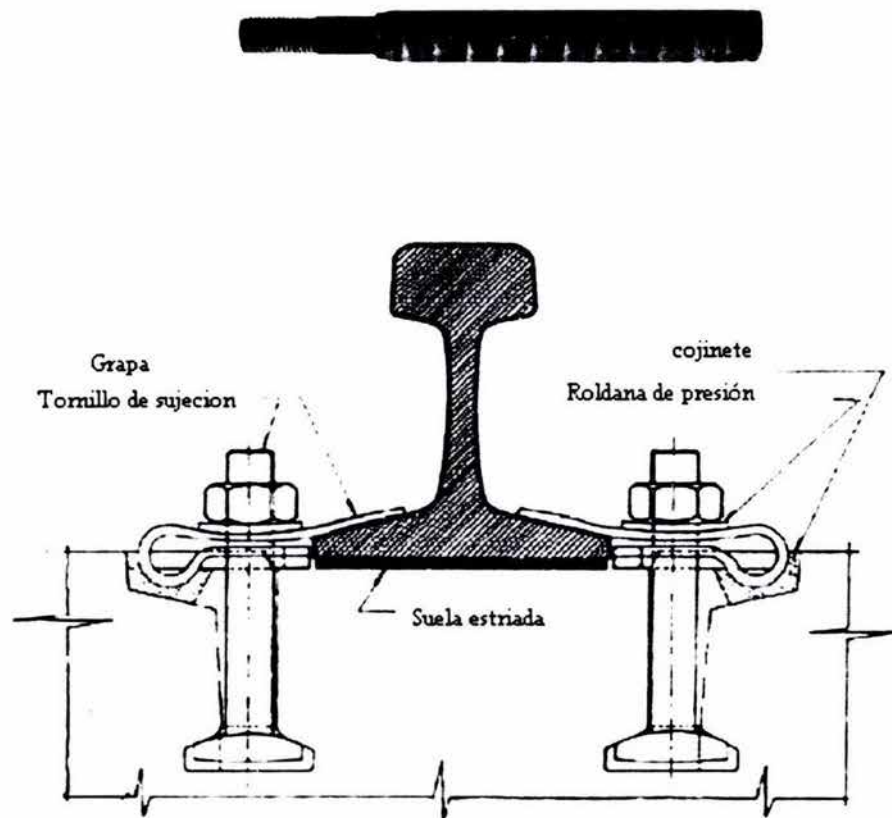
Este debe ir recubierto con aceite.



➤ Vástago de Anclaje:

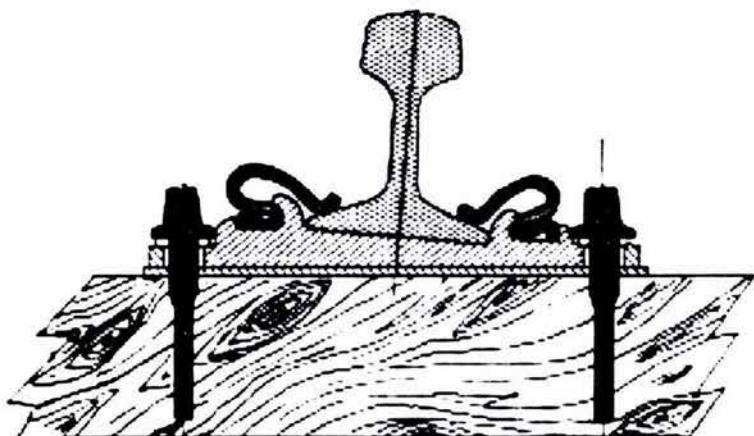
El cual se usa de anclaje de fijación del riel.

(En la línea 1 del metro se usaron aproximadamente 1.500.000 de piezas).

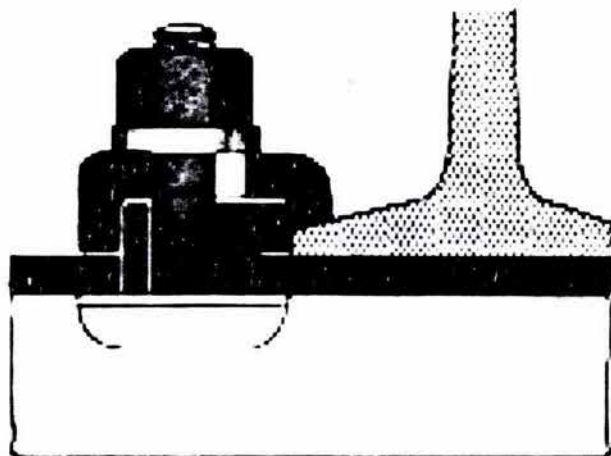


Sección transversal de un riel para vía de ferrocarril con los aditamentos de sujeción.

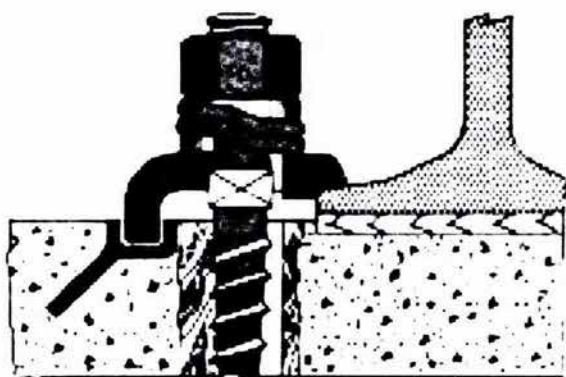
TIPOS DE SUJECIONES MÁS COMUNES.



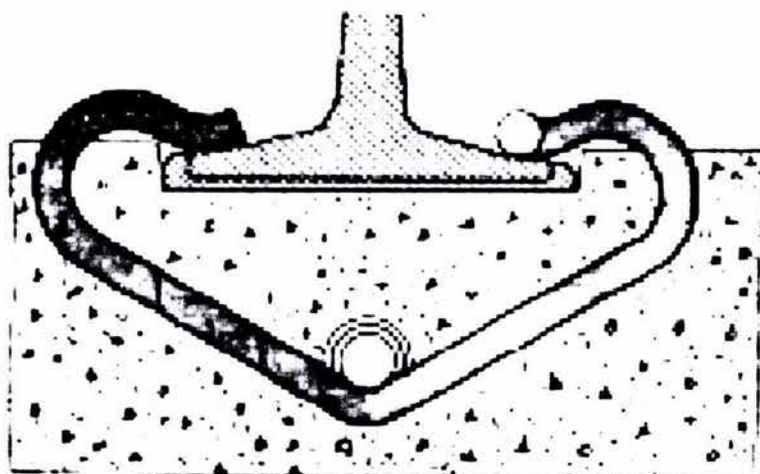
Sujeción para riel de 54Kg/m sobre durmiente de madera con placa de asiento sujeta con tirafondos.



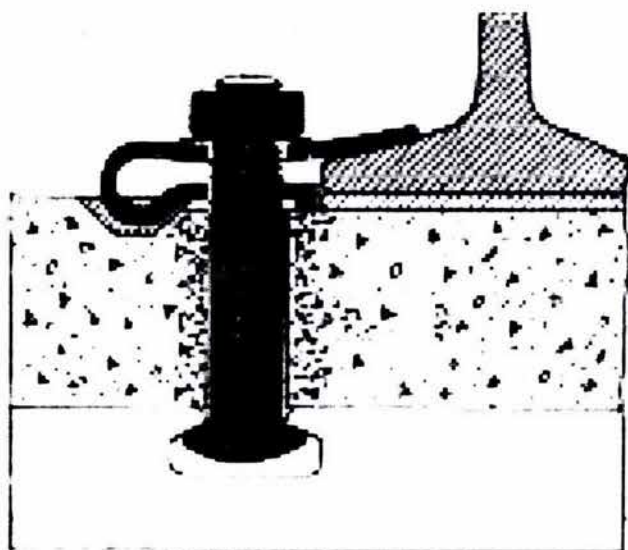
Grapas y cuña ajustable para escantillón(Alemania)



Sujeción-b (Alemania)



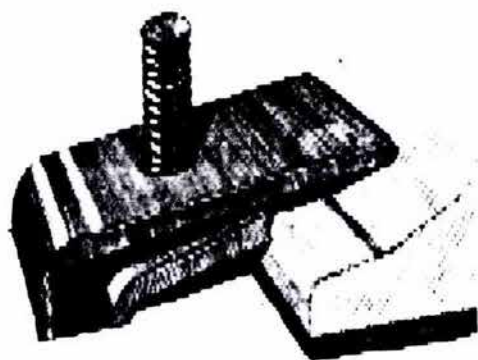
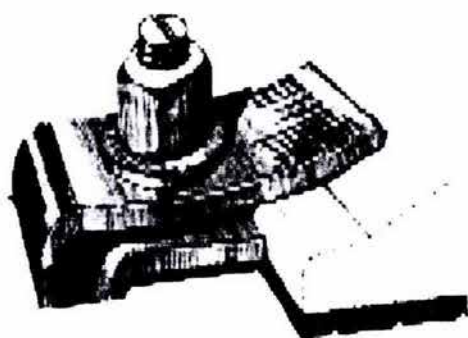
Estribo elástico (Suecia)



Grapa elástica (Francia)



Fijación elástica (Holanda)



Grapa elástica Francesa para durmiente de concreto mostrando los dos "puntos" de contacto con el riel.

III. PROPUESTAS.

III.1. LOGÍSTICA DE PRODUCCIÓN DE RIEL.

Al haber concluido con todo el temario, se pretende que no solo esta tesis quede como un antecedente de investigación, sino que también sea prepositiva, por lo cual a continuación, se tratará de llegar a encontrar que lugar contaría con todas las condiciones de operación y la mejor ubicación de dicha planta de este tipo así como los pasos a seguir para la producción y distribución de dicho material.

Pasos a seguir para la producción y distribución del riel.

1. Localización de los yacimientos de Fe.
2. Localización de los yacimientos de C.
3. Transportación de los yacimientos de carbono, a la planta de producción de rieles.
4. Transportación de los yacimientos de hierro, a la planta de producción de rieles.
5. Localización de chatarra.
6. Transporte de chatarra a la planta de producción de rieles.
7. Elaboración de Arrabio
8. Elaboración del acero al oxígeno
9. Elaboración del acero (horno eléctrico)
10. Afinado
11. Colada continua
12. Desgasificación en vacío
13. Marcado de blooms

14. Recalentamiento de blooms.
15. Laminado en caliente.
16. Marcado en el alma del riel.
17. Cerrando en caliente.
18. Enderezado primer plano.
19. Enderezado segundo planos.
20. Enderezado en los extremos.
21. Tratamiento térmico.
22. Controles no destructivos.
23. Prueba de ultrasonido.
24. Acabados especiales.
25. Almacenamiento.
26. Distribución.

Este proceso puede ser sometido a un estudio mas detallado posteriormente. Este diagrama organiza los pasos con los cuales inicia el proceso hasta llegar a una total culminación, este proceso consta de 26 pasos, aunque no contempla el almacenaje de la materia prima y las ventas, son puntos clave que se deben considerar para una mejor eficacia en el proceso

Descripción del proceso:



DIAGRAMA DE OPERACIONES
DE LA ELABORACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE RIELES
(PARTE 1).



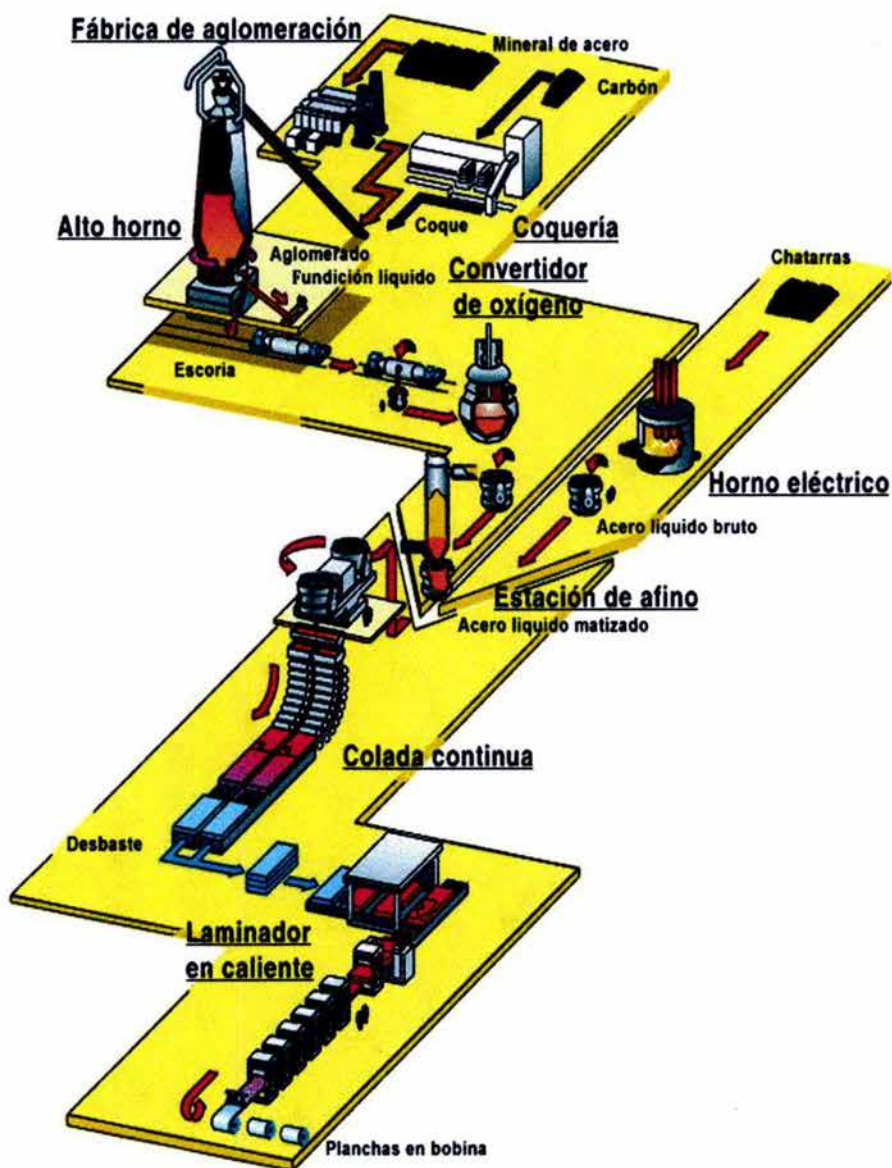
DIAGRAMA DE OPERACIONES
DE LA ELABORACION Y
DISTRIBUCION DE RIELES
(PARTE 2)

Los pasos 1 hasta el número 9 los podemos realizar de manera simultanea ya que ninguno depende del otro, pero llevan un orden que no podemos cambiar ya que seria imposible realizar una actividad sin realizar una que le preceda. Los puntos 5, 6 y 9, llevan un orden ascendente, ya que pertenecen al mismo subconjunto a (chatarra) debido a que primero debemos localizar la chatarra, después transportarla y más tarde introducida en el horno para obtener un material liquido, para llegar a unirse con el subconjunto b y c para llegar al punto 10 a un afinado y terminar siendo continuo el proceso.

En el conjunto b (Hierro) se llevan a cabo los puntos 1 y 4, para después unirse con los elementos del subconjunto b en el paso número 8. En el subconjunto c (Carbono)se consideran los pasos 2, 3 y 7, en ese orden, debido a que es necesario cumplir con cada paso en su orden establecido, uniéndose con el subconjunto b(Hierro) en el paso número 8. Al asociarse estos elementos b y c, llegarán a confabularse a, b y c en el paso número 10(afinado), debido a que el proceso se vuelve continuo en este punto culminara hasta el punto número 26.

En cuanto a su ubicación, está dependerá de que tan lejos se encuentren las minas de Hierro y carbón, debido a que son los elementos necesarios para la producción de riel; Según datos obtenido México tiene minas de este tipo. Por ejemplo el mineral de hierro se explota en Durango y en Colima. Se extrae carbón mineral en los campos de sabinas en Monterrey y en los de Coahuila, una ciudad en la que podría ubicarse sería en Torreón, Durango, ya que es una ciudad que se encuentra entre los bordes de Coahuila y Durango, aunque tambien seria necesario estudiar las condiciones ambientales, pero en lo que se refiere a comunicacion via terrestre es de lo mejor.

En este diagrama se esquematiza, la posible distribución de la planta, así como, se ilustra el proceso desde el principio del proceso hasta la obtención de un producto ya determinado.



III.2. EL RIEL Y SUS APLICACIONES.

Dentro de las aplicaciones de los rieles, debemos recordar que este tipo de elementos funciona en conjunto con varios elementos, los cuales llegan a conformar una vía, la cual nos da una dirección ya establecida la cual nos transportara de un lado a otro mediante un vehículo, dentro de la gran diversidad de aplicaciones se encuentran los ferrocarriles y sus diferentes modalidades como el mismo ferrocarril, el tranvía en los centros urbanos, el monorriel, aunque con un solo riel como medio de guiado pero con un interesante modo motor de movimiento (el magnetismo), el metro que se ha constituido últimamente como uno de los medios de transporte en el ámbito mundial por su bajo costo y seguridad, el tren bala o el AVE, con velocidades superiores a 300Km/Hr. Medios de importancia como el tren que une a Gran Bretaña con Francia, el cual últimamente se ha pensado en vaciar el túnel de aire para que dicho transporte viaje al triple de la velocidad.

En cuanto a otras aplicaciones se pueden utilizar en parques de diversiones, como la montaña rusa, o los juegos que ya tengan una dirección ya establecida, aunque también se pueden utilizar como parte del transporte en recorridos dentro de los centros de diversión de gran extensión.

También pueden seguir como tradicionalmente surgieron, en las minas de distintos elementos, como medio de transporte de material. Entre otros usos se encuentran las grúas en los puertos, en transporte de materiales para las empresas, garruchas, en líneas de producción, en fin en diversas maneras, las cuales requieran un sistema de guiado con un costo reducido y de acuerdo a su aplicación, una mayor eficiencia.

IV. CONCLUSIONES

Durante nuestra investigación a cerca de la manufactura del riel en México, nos encontramos con sorpresas, como darnos cuenta que nuestro país fue el primer manufacturero de Ibero América, capaz de suministrarse por si mismo de dicho elemento, hasta poder darse el lujo de exportar este tipo de elemento a otros países, pero al paso de el tiempo se perdió este privilegio, por malas administraciones, huelgas, mala calidad, entre otras cosas. La investigación fue un poco difícil ya que en lo que se refiere a información sobre la manufactura de rieles la bibliografía era algo escasa, gracias a folletos, muy descriptivos de productores de este elemento, nos pudimos dar una idea de cómo se procesa dicho elemento. En cuanto a nuestra propuesta de una planta manufacturera, sería muy interesante desarrollarla nuevamente en nuestro país, contamos con todo lo que se necesita para la producción de rieles.

En épocas en las que la demanda sea menor podrían producirse elementos como viguetas para construcción en la misma planta, solo ajustando el tipo de rodillos.

Tal vez una de las mejores ubicaciones para esta planta sería Torreón por su cercanía con las minas de hierro y de Carbón, la primera se encuentra en Coahuila y Monterrey, mientras que las minas del segundo elemento se localizan en Durango y Colima, aunque pondríamos un pero hasta no hacer un estudio de suelo.

Si realmente se desea podriamos hacer del tren un importante medio de transporte en México, como lo a llegado a ser en otros paises, tomariamos en cuenta estudios como los efectuados por la Junta de Recursos del Aire (California - CARB), en junio de 1990, los cuales revelaron que los ferrocarriles producen menos del uno por ciento de toda la contaminación del aire. Aspecto a considerar, especialmente en las ciudades de Monterrey, Guadalajara y D.F.

Las mejoras en la tecnología de las locomotoras, cambios en la operación ferroviaria y significativas mejoras de eficiencia en el consumo de combustible. Nos conllevarán a tres ventajas importantisimas como son:

"Mas trafico en los ferrocarriles, menos contaminación en el aire".

"Mayor capacidad de transporte sin utilizar más suelo".

"Menos combustible por tonelada / kilómetro de carga transportada"

Revivir este medio es difícil por la decadencia que sufrió desde 1917, pero si existen inversionistas que desean integrarse, este medio crecerá nuestro país tanto económicamente, como cultural y socialmente, el tren reduce distancias, como lo a hecho desde su inicio y además a un bajo costo.

VOCABULARIO.

Acero. Aleación de hierro con un poco de carbono.

ALAF. Asociación Latinoamericana de Ferrocarriles.

Arrabio. Aleación de hierro con más de 2% de carbono y otras impurezas que sale del alto horno.

AREA. *American Railway Engineering Association*(Asociación Americana de ingeniería de ferrocarriles)

AREMA. American Railway Engineering and Maintenance of way Asociación (Asociación americana de ingeniería y mantenimiento de ferrocarriles).

Carril. Forma de denominación del Riel en otras bibliografías.

Cementita. La cementita es un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza.

Coque. Residuo duro y poroso que resulta después de la destilación destructiva del carbón. El coque se emplea como agente reductor para la fundición de hierro y como combustible; tiene un color gris negruzco y un brillo metálico. Contiene fundamentalmente carbono, alrededor del 92%, casi el 8% restante es ceniza. El poder calorífico del coque es muy elevado.

Ductilidad. Capacidad de un material para ser deformado plásticamente sin presentar fractura. Usualmente se expresa como el porcentaje máximo de elongación que alcanza una barra del material al ser estirado.

Dureza. Capacidad de un material para resistir a las rajaduras o a las muescas. La dureza de un material se mide haciendo incidir sobre su superficie una punta de diamante y es proporcional a la carga sobre el diamante e inversamente proporcional al tamaño de la huella que resulta en la superficie.

Ferrita. La ferrita, blanda y dúctil. Componente del acero que contiene más del 99.95% de hierro y muy poco carbono y otros elementos en disolución. Su red cristalina es cúbica centrada en el cuerpo.

Forja. Conformado de los metales con golpes de martillo.

Frontera de grano. Intercala entre dos granos donde la red cristalina está desordenada.

Fundiciones. Aleaciones de hierro con más del 2% de carbono, conocidas también como hierros colados.

Granos. Cristales con que se estructuran internamente los metales y los cerámicos. En cada grano los átomos están arreglados con la red cristalina en una sola orientación.

Hematites. Mineral de hierro oxidado, rojo y a veces pardo que por su dureza sirve para bruñir metales.

Hierro esponja. Hierro casi completamente puro con estructura sumamente porosa.

Hierro forjado. Hierro forjado a partir de hierro esponja.

Martensita. Red cristalina del acero templado, donde el contenido de carbono es alto y los átomos de carbono, ocupan posiciones que producen una distorsión elástica.

Perlita. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura características (laminillas), sus propiedades físicas con intermedias entre las de sus dos componentes.

RENFE. Red Nacional de Ferrocarriles Españoles.

Resistencia. Capacidad de los materiales para soportar esfuerzo. Se determina cuantificando la fuerza máxima por unidad de área de sección que resiste un material antes de romperse.

SNCF. Compañía de Ferrocarriles Franceses.

Temple. Endurecimiento del acero que normalmente se obtiene calentándolo al rojo vivo (alrededor de 800°C) y después enfriándolo súbitamente por inmersión en un líquido.

Tenacidad. Capacidad de un acero para absorber energía de golpes o deformación. Generalmente se mide cuantificando el trabajo necesario para deformarlo hasta provocar su fractura y dividiéndolo entre el volumen del material deformado.

UIC. International Union of Railways (Union Internacional de Ferrocarriles).

UNE. Norma Única Española

BIBLIOGRAFIA.

- ❑ López Pita Andres y Olivares Rives Fernando."Tratado de ferrocarriles, Vías I", Editorial Rueda, Madrid España, 1977, 69-99 pp.
- ❑ Francisco M. Togno, "Ferrocarriles", Editorial. Representaciones y servicios de ingeniería S.A. de C.V., 2ª Edición 1982, Mex. D.F., 315-334 pp.
- ❑ Myron L. Begerman y B.H. Amstead, "Procesos de Fabricación", Compañía editorial continental S.A. de C.V. 1976, 191-196 pp.
- ❑ R. L. Timings, "Tecnología de la fabricación", Editorial Alfaomega, 1era adición, 1992, México D. F., 138-148 pp.
- ❑ W. J. Ellis "Ingeniería de materiales", Representaciones y servicios de ingeniería S.A. de México, 2ª Edición, 1968, 5-10, 21-35 pp.
- ❑ Mikell P. Groover, Fundamentos de manufactura", Editorial Prentice Hall, 1997, 450-458 pp.

- ❑ A. Molishev, G. Nikolaiev y Shuvalov, "Tecnología de los metales, Editorial Mir, 1987, 258 pp.
- ❑ Jean Alias, "La vía del Ferrocarril, Librería editorial Bellisco, Madrid, España, 1era Edición 1992, 125-138, 144-148, 158-161 y 171-175 pp.
- ❑ Enciclopedia Encarta " Siderurgia ", Enciclopedia Microsoft Encarta 98.
- ❑ Lawrence E. Doyle y Morse B. Singer, "Materiales y procesos de manufactura para ingenieros", Editorial Prentice Hall, 1998, 8-20, 111, 271-284pp.

Material Hemerográfico.

- ❑ Ferrocarriles, revista técnica, "Breve historia sobre la fabricación de rieles en México", Rodolfo Barragán, Año 2, No 4, segundo trimestre, 1967, 53-58 pp.

Páginas consultadas.

- ❑ "Procesos de obtención del acero", Historia del acero y procesos de obtención del acero, 03 de septiembre del 2002, <http://www.rincondelvago.com> 18 de febrero del 2003 1-7 pp
- ❑ "Riel", Trabajo escrito sobre el riel y elementos que interactúan con él, 09 de Diciembre de 2001, <http://www.rincondelvago.com>, 04 de Agosto de 2003, 1-8, 18, 19pp

- ❑ “Vías férreas”, elementos y características de las vías, 04 de Septiembre de 2003,
<http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/26/2.htm>, 30 de Enero de 2004,
1pp.
- ❑ “Obtención del acero”, Obtención del hierro y el acero, 03 de Septiembre de 2002,
<http://www.rincondelvago.com>, 18 de Febrero de 2003, 8pp.
- ❑ “Acero”, Propiedades, historia y procesos de obtención del acero, 17 de Junio de
2002, <http://www.rincondelvago.com>, 20 de Mayo de 2003, 14pp.
- ❑ “Acero”, Procesos de obtención del acero, 03 de Septiembre de 2002,
<http://www.rincondelvago.com>, 29 de Enero de 2003, 11-20pp.
- ❑ “Horno eléctrico”, Obtención del acero en horno eléctrico, 03 de Septiembre de
2002, <http://www.rincondelvago.com>, 12 de Febrero de 2003, 3pp.
- ❑ “Laminado”, Explicación del proceso de laminado de metales, 25 de Junio de 2003,
http://personales.com/mexico/mexico/Documentaciones_Cs/laminado.html, 25 de
Junio de 2003, 1pp
- ❑ “Acero”, Historia y Procesos de obtención del acero, 20 de Mayo de 2003,
<http://www.google.com.mx/>, 24 de Junio de 2003, 1-35pp.

- ❑ "Página de la Asociación latinoamericana de ferrocarriles", Consulta de dato sobre la requisición de rieles en América latina, www.alaf.int.ar, 18 de Junio de 2003.

Material de apoyo

- ❑ "Folleto sobre la fabricación de los rieles", Compañía francesa fabricante de rieles "SOGERAIL" 1999, 32pp.
- ❑ "Folleto sobre la laminación de rieles", Le matériel, 1991, 3pp