



Treball Final de Grau

**Selection of copper alloys by creating of a database of
properties**

**Selección de aleaciones de cobre mediante la creación de una
base de datos de propiedades**

Alejandro Domínguez Buesa

June 2014

Aquesta obra esta subjecta a la llicència de:
Reconeixement–NoComercial–SenseObraDerivada



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/>

La angustia del que escribe, termina cuando el lector manifiesta satisfacción.

Anónimo

Mi más sincero agradecimiento a la Dra. Mercè Segarra Rubí y a la Dra. Mònica Martínez López porque sin su ayuda no habría sido posible la consecución de este proyecto. Muchísimas gracias a mi familia, a mi pareja y a mis amigos cuyo apoyo ha sido mi sustento durante todo el proceso.

REPORT

CONTENTS

SUMMARY	3
RESUMEN	5
1. INTRODUCTION	7
1.1. Electrical conductivity	7
1.1.1. Influence of purity in electrical conductivity	8
1.2. Material selection and Ashby's charts	10
1.3. CES-Constructor and CES-Selector 2012	13
1.4. Catenary	13
1.4.1. Definition	13
1.4.2. Parts	14
2. OBJECTIVES	16
3. CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS	17
3.1. Hilo de contacto de una catenaria	17
3.1.1. Sección	17
3.1.2. Restricciones	19
3.1.3. Nomenclatura	19
3.2. Aleaciones de cobre	20
3.2.1. Aleaciones comerciales	20
3.2.1.1. Cobre ETP y cobre plata	21
3.2.1.2. Cobre magnesio y cobre estaño	22
3.2.2. Aleaciones propuestas	23
3.2.2.1. Aplicaciones	24

4. SELECCIÓN DE LA ALEACIÓN	27
4.1. Índice de material	27
4.2. Discusión	28
4.2.1. Diagrama de Ashby genérico	30
4.2.2. Diagrama de Ashby caso I	33
4.2.3. Diagrama de Ashby caso II	34
5. CONCLUSIONS	37
6. REFERENCES AND NOTES	39
7. ACRONYMS	41
APPENDICES	43
APPENDIX 1: NORMATIVA ADIF CATENARIAS	45
APPENDIX 2: TABLAS PROPIEDADES ALEACIONES	59

SUMMARY

The project is based on the design and selection criteria of materials to choose the best copper alloy according to its application. The assignment consists on creating a database including mechanical and electrical properties of different alloys in order to compare them through Ashby's charts.

It has been established as a requirement to work with copper alloys whose purity is 99% or over due to the fact that these materials have higher electrical conductivity than other alloys with less copper percentage. Bibliographic reports show that working with alloys of less than 10000 ppm (1%) of alloying component permits changing the mechanical properties without modifying excessively the electrical properties.

The elaboration of a database is carried out through CES-Constructor program. This application enables to correlate materials with their own properties in order to work with CES-Selector. This program allows the comparison between different materials depending on their properties through the Ashby's charts.

Finally, an application has been proposed in order to select the best alloy using the previous created database: Contact wires in a train catenary. This construction must have a high electrical conductivity and be able to withstand the forces it is submitted to. Therefore, it is possible to establish a relation between electrical and mechanical properties (material index) which allow selecting the material with best performance.

Concluding, optimal alloys have been selected for the application above described through the representation of Ashby's charts created from the material index found.

RESUMEN

El proyecto se basa en los criterios de diseño y selección de materiales para escoger la mejor aleación de cobre según su aplicación. Para ello se ha creado una base de datos que incluye las propiedades mecánicas y eléctricas de diferentes aleaciones con el objetivo de poderlas comparar entre ellas mediante los diagramas Ashby.

Siempre se trabaja con aleaciones de cobre de una pureza 99% o superior debido a que tienen mayor conductividad eléctrica que otras aleaciones con menor composición de cobre. Lo que se consigue trabajando con aleaciones de menos de 10000 ppm (1%) de elemento aleante es alterar las propiedades mecánicas sin variar demasiado las propiedades eléctricas.

La creación de la base de datos se lleva a cabo mediante la utilización del programa CES-Constructor. Esta aplicación permite relacionar los distintos materiales con sus respectivas propiedades para poder trabajar posteriormente con el CES-Selector. CES Selector permite comparar los distintos materiales en función de sus propiedades mediante la generación de diagramas de Ashby.

Finalmente, se plantea un caso práctico para poder hacer la selección de la mejor aleación utilizando la base de datos. La aplicación escogida ha sido hilo de contacto de una catenaria de tren. Esta construcción, además de tener una elevada conductividad eléctrica debe poder soportar las fuerzas a la que es sometida sin deformarse ni romperse. La selección ha sido posible gracias a la determinación de una relación entre las propiedades mecánicas y eléctricas (índice de material) que permite elegir la mejor aleación.

Por último se han encontrado las aleaciones óptimas para la aplicación descrita en el párrafo anterior mediante la representación de los diagramas de Ashby creados a partir del índice de material hallado.

1. INTRODUCTION

The project is based on the design and selection criteria of materials to choose the best copper alloy according to its application. The assignment consist on creating a database of the properties of different alloys including mechanical and electrical properties of non-commercial ones, in order to work, depending on the sought application, with the corresponding Ashby's charts. The properties of different alloys with different compositions have been entered in a database to compare them and select the most efficient material for the chosen application. This database has been created using the CES-Constructor program and then, CES-Selector allows correlating the properties of alloys by generating properties charts (Ashby's charts).

Finally, an application has been proposed in order to select the best alloy using the previous created database: Contact wires in a catenary of train. The contact wire design is based on a resistant electrical conductor. This construction must have a high electrical conductivity and be able to withstand the forces it is submitted to.

Bibliographic reports show that working with alloys of less than 10000 ppm (1%) permits changing the mechanical properties without modifying excessively the electrical properties. Consequently, it has been established as a requirement to work with copper alloys whose purity is 99%, or over, due to the fact that these materials have the highest electrical conductivity.

1.1. ELECTRICAL CONDUCTIVITY

The conduction of electricity is carried out by transporting electrical charges in the presence of an electric field, which generates different points regarded as potential space. Electrical conductivity is defined as the measure of a material's ability to accommodate the transport of an electric charge. Electrical resistivity (also known as resistivity, specific electrical resistance,

or volume resistivity) quantifies how strongly a given material opposes the flow of electric current. A low resistivity indicates a material that readily allows the movement of electric charge.

1.1.1. Influence of purity in electrical conductivity

Temperature, physical state, vacancies, interstitial atoms, dislocations are examples, among several others factors, which influence on the electrical conductivity of a material. This project evaluates the influence of the purity, one of the most important ones.

Impurities disturb the regularity of the lattice and increase the defect density for differences in size and electronic structure of the solvent metal. The greater difference of atom sizes, the greater loss of conductivity. However, it is not so accentuated when the impurity effect size is constant.

Figure 1 indicates the degree of influence that have the nature and concentration of alloying on resistivity.

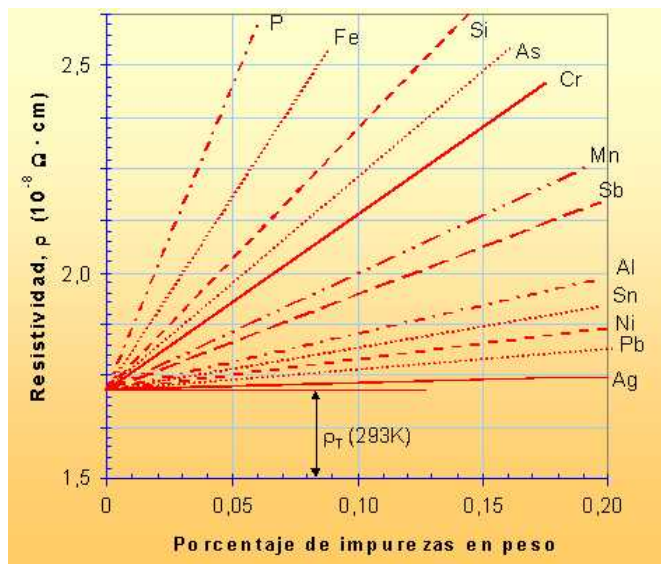


Figure 1. Effect of impurities in the copper resistivity.

(04/03/14 www.catlab.com/ar)

As shown in the picture above, if the percentage of impurity increases, the same applies to the loss of conductivity. This effect increases if the difference of atom sizes is bigger.

Nevertheless, in some cases is necessary to alloy metals because of the improvement of some of their properties, for example, improvement of mechanical properties or corrosion resistance. It is important here to remark that, by mixing metals, other properties can be modified. In the figure 2 is shown the tensile strength and electrical conductivity in front of %Zn for Cu-Zn alloys, commercially called brasses.

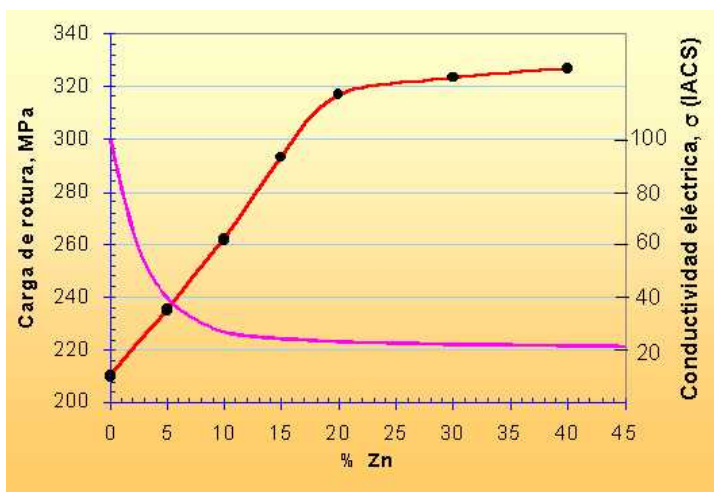


Figure 2. Evolution of mechanical and electrical function of Zn content features.
(05/03/14 www.catlab.com/ar)

The purple line indicates the conductivity while the red one indicates the tensile strength. As shown in the picture above, if increases the %Zn, increases the tensile strength but also decreases the conductivity. The increased strength characteristics by alloying effect involve a decrease of electrical conductivity.

1.2. MATERIAL SELECTION AND ASHBY'S CHARTS

Material selection is one step in the process of designing any physical object. In the context of product design, the main goal of material selection is to minimize cost while meeting product performance goals. But sometimes, to improve other properties is more important than the cost. Systematic selection of the best material for a given application begins with finding the property mostly required.

An Ashby diagram, named for Michael Ashby of Cambridge University, is a graphic which displays two or more properties of many materials or classes of materials. The figure 3 presents the Ashby diagram which corresponded to the giving example.

For example, which material should be chosen for the design of a lightness and rigid structure of a bicycle?

1. First of all the function, restrictions, objective and free variables are found.

a. Function:

- Beam

b. Restrictions:

- Stiffness

- Specific dimensions: Specific length and square section (square section is chosen because it is easier for giving an example but if circle section was chosen the result would be the same).

c. Objective

- Minimum mass

d. Free variable

- Section dimension

- Material selection

2. Secondly, find the objective equation and restriction.

• Objective equation is $m = A \cdot L \cdot \rho$ (1)

• Restriction: The restriction equation for a square section rigid beam is:

$$S = \frac{C_1 \cdot E \cdot I}{L^3} \quad (2)$$

Where I is a tabulated equation which depends on the section of the beam. For a square section the I equation is:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{b^4}{12} = \frac{A^2}{12} \quad (3)$$

Substituting (3) in (2) and isolating A . Then substituting A in (1):

$$m = \left(\frac{12S}{C_1} \right)^{1/2} \cdot L^{5/2} \cdot \frac{\rho}{E^{1/2}} \quad (4)$$

The objective is to maximize m .

$$m \geq \left(\frac{12S}{C_1} \right)^{1/2} \cdot L^{5/2} \cdot \frac{\rho}{E^{1/2}} \quad (5)$$

The values of S , C_1 , and L are fixed so the only way to maximize (5) is maximizing:

$$M = \frac{E^{1/2}}{\rho} \quad (6)$$

Equation (6) is the material index.

Material index: is the combination of material properties that characterize the best performance of the material in an application.

Finally, it is necessary chose the best materials through the Ashby's charts and material index. The material index shows the gradient that must be represented on the Ashby's charts. The best option is the material which appears on the gradient.

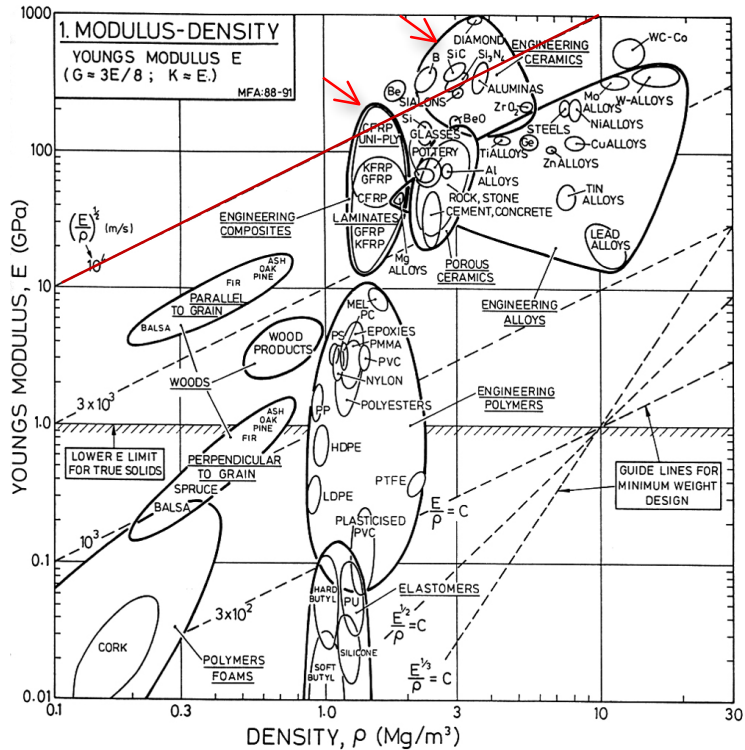


Figure 3. Ashby chart (Young modulus in front of density).

(8/03/14 Materials for engineering)

The graphic shows that the best options are engineering ceramics and CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). At this point, the new criteria method is the tenacity. Technical ceramics are fragile than CFRP so the best option is the last one. The reality is that the best bicycles are made of CFRP.

1.3. CES-CONSTRUCTOR AND CES-SELECTOR 2012

CES constructor is a PC software which enables to create a data base. This program makes possible to link all the properties found of each material in order to work with it with CES Selector.

CES Selector is a PC application that enables materials experts and product development teams to find, explore, and apply materials property data. This program make possible that users make better decisions in early-stage design, re-design, or material replacement. Also check for potential issues and build confidence in the materials choices.

These applications are the instruments used to create de data base of alloys and select the material for the case study.

1.4. CATENARY

The proposed practical case is the election of the best material for the elaboration of an overhead line. Before anything else, it is important to define it and its parts.

1.4.1. Definition

In the physical and geometrical field, a catenary is defined as a curve that an idealized hanging chain or cable assumes under its own weight when supported only at its ends. But when referring to the feeding lines of trains it is called overhead line. Overhead line is designed on the principle of one or more overhead wires situated over rail tracks, raised to a high electrical potential by connection to feeder stations at regular intervals. The feeder stations are usually fed from a high-voltage electrical grid.

1.4.2. Parts

The following picture provides a scheme where all parts listed above are included:

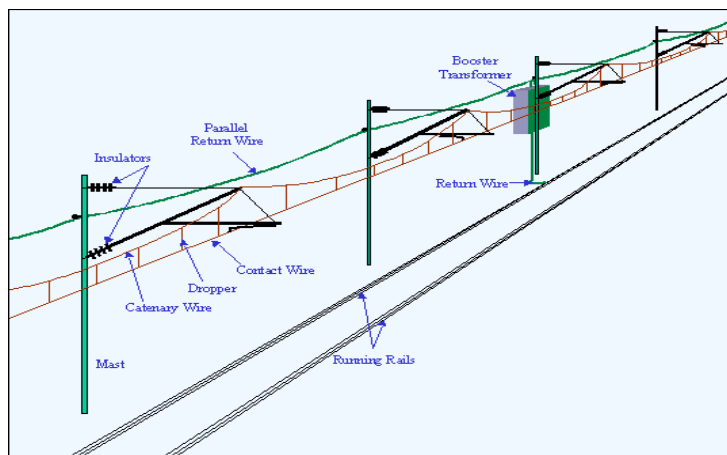


Figure 4. Feeding line scheme
(10/03/14 railway-technical.com)

Mast: It is the support that sustains the whole structure of the feeding line.

Insulators: An electrical insulator is a material whose internal electric charges do not flow freely. Insulators are used in electrical equipment to support and separate electrical conductors without allowing current through themselves. The term insulator is also used more specifically to refer to insulating supports used to attach electric power distribution or transmission lines to utility poles and transmission towers. They support the weight of the suspended wires without allowing the current to flow through the tower to ground. Examples include rubber-like polymers and most plastics. Such materials can serve as practical and safe insulators for low to moderate voltages (hundreds, or even thousands, of volts).

Catenary wire: is the support of the contact wire and its ends are fixed to the masts.

Dropper: are the cables that hold the contact wire to the catenary wire and distribute its weight along the line the TGV. They also limit the possible buckling of contact wire.

Contact wire: is the cable that provides electrical power to the train. Therefore should be an excellent electrical conductor while maintaining the stiffness. It is the part of the catenary which material is going to be chosen.

The instrument that allows arriving electric power to the train is the pantograph. A pantograph is a device mounted on the roof of an electric train or tram to collect power through contact with an overhead catenary wire.

Running rails: pair of parallel bars laid on a prepared track that serves as a guide and running surface for the wheels of a train.

Return wires and booster transformer: the booster transformer is used in electric railway AC catenary feeders to collect the return current from the rails and the earth to the return wires.

In railways, the electric current is taken from the catenary conductor to the locomotive, where the energy is used by electric motors, and fed to the earth connected rails, which are part of the return circuit. From the rails, however, the return current may deviate around to unintended or harmful places like metallic pipelines, bridges, communication cables, etc. The stray currents bring about interference in communication systems and other electronic devices due to passing trains. Booster transformers are used to eliminate the stray currents and the disturbances, obliging the return current to flow to the return conductor.

2. OBJECTIVES

This project has two main objectives which are the followings:

1. Creation of a database of the properties of different Cu alloys in order to choose the best material for a giving application in a more efficient way.

The properties of different alloys with different compositions are introduced in a database in order to allow comparing them and select the most efficient material for the chosen application. The data base is created with CES-Constructor.

2. Find the best alloy for a given application using the previous created data base

The chosen application is contact wires in a catenary of a train. This construction must have a high electrical conductivity and be able to withstand the forces it is submitted to. For the selection of the best alloy are used the Ashby's charts created from the database. The selection is carried out with CES-Selector.

3. CREACIÓN DE LA BASE DE DATOS

En este apartado se exponen las diferentes aleaciones que incluye la base de datos. En primer lugar, se encuentran las 5 aleaciones comerciales utilizadas en la fabricación de hilos de contacto de catenarias de trenes las cuales cumplen la legislación vigente de ADIF (Anexo 1). En segundo lugar aparecen las aleaciones que se han propuesto como alternativa a las comerciales. Por tanto, el total de las aleaciones presentes en la base de datos será la suma de las comerciales y las propuestas.

Pero antes de empezar a mostrar los diferentes materiales se han de conocer algunos aspectos del hilo de contacto.

3.1. Hilo de contacto de una catenaria

Los principales aspectos a conocer de un hilo de contacto son:

- Sección
- Restricciones
- Nomenclatura

3.1.1 Sección

La forma de la sección del hilo de contacto es debida a la sujeción de éste. Las dos oberturas equidistantes al centro será donde encaje la pinza de la ménsula. A continuación se puede apreciar un esquema de la sección de este conductor.

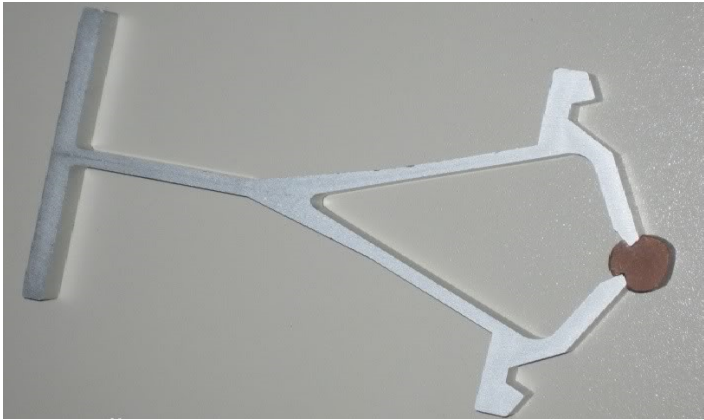


Figura 5. Esquema de la sujeción del hilo de contacto de una catenaria.

(07/04/14 <http://www.railway-technical.com>)

Para distinguir los materiales empleados en la fabricación del hilo de contacto se emplean diferentes tipos de minúsculas ranuras las cuales se observan en la parte superior de la sección.

- Cobre: sin ranura
- Cobre-Plata: dos ranuras
- Cobre-Estaño: una ranura
- Cobre-Magnesio: tres ranuras

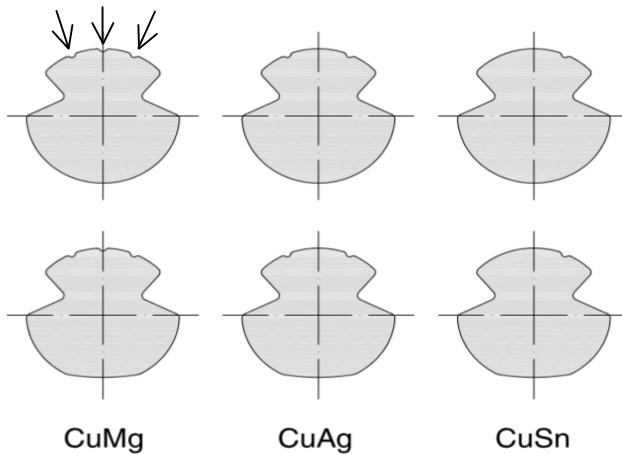


Figura 6. Tipos de secciones de hilo de contacto.

(07/04/14 www.lafarga.es/es/)

Estas pequeñas ranuras no afectan a la estructura del hilo de contacto ni tienen ninguna otra función más allá de la de permitir la diferenciación de los diferentes conductores formados por aleaciones comerciales distintas.

3.1.2 Restricciones

Las restricciones para un hilo de contacto para una catenaria son:

- Resistividad eléctrica baja: la aleación de cobre debe ser muy conductora ya que su función principal es transportar gran cantidad de energía eléctrica minimizando las pérdidas por el efecto Joule.
- Resistencia mecánica alta: no debe fracturarse ni deformarse ante fuerzas externas. El cable estará colgando en el aire tensado por 2 puntos, por tanto, debe ser capaz de aguantar su propio peso y la tensión a la que se le somete sin deformarse ni fracturarse.
- Desgaste bajo: debido al paso del pantógrafo del tren a altas velocidades la aleación estará sometida a fuerzas de fricción muy altas. Para evitar estar reponiendo el cable con frecuencia, se exige que el desgaste sea mínimo.
- Aspecto exterior: el hilo no deberá presentar asperezas, estrías, astillas, costuras o incisiones en toda su superficie, debiendo estar exenta de toda traza de óxido o ácido sulfúrico.
- Marcaje: las bobinas deberán ir provistas de una placa resistente al deterioro en la que consten los siguientes datos: Nombre del fabricante, denominación del hilo de contacto, longitud y masa neta del hilo (por bobina), masa bruta (hilo ranurado más bobina), número de bobina, número de pedido y fecha de fabricación.

3.1.3 Nomenclatura

Los hilos de contacto para catenaria se denominarán de la siguiente forma:

Donde B indica el único tipo de ranura de sujeción admitido por RENFE, la segunda letra identifica el perfil (C para sección circular, F para sección ovalada), S es la sección recta del hilo expresada en mm² y D es la designación simbólica del material con el que está fabricado.

Por ejemplo, un hilo de CuMg 0,1 de sección circular de 120mm² se denominará:

BC-120/CuMg0,1

3.2. Aleaciones de cobre

En este apartado se exponen las aleaciones de cobres comerciales actualmente utilizadas en las redes ferroviarias además de las propuestas como alternativa. Todos estos materiales son los que forman la base de datos. Junto a ellos aparecerán las propiedades más relevantes. Para la realización de este proyecto se han tenido en cuenta las siguientes suposiciones:

Densidad constante: la variación de la densidad entre las diferentes aleaciones es muy pequeña debido al alto porcentaje de cobre. Por ello, la densidad se ha considerado constante e igual a 8,90 g/cm³.

Módulo de Young constante: durante la realización del proyecto se ha constatado que la variación del módulo de Young es muy pequeña, prácticamente constante e igual a 115 GPa.

3.2.1 Aleaciones comerciales

Los materiales que aparecen a continuación son las aleaciones aprobadas por RENFE y que aparecen en la normativa ADIF para la fabricación de hilos de contacto de una catenaria.

Nº aleación	Nombre comercial	Composición(%)	Límite Elástico mínimo (MPa)	Límite Elástico máximo (MPa)	Conductividad (%IACS)
CW004A	Cobre ETP	99,90Cu + 0,0005Bi + 0,04O + 0,005Pb	69	360	101
CW013A	Cobre-plata	99,84Cu + 0,0005Bi + 0,04O + Ag(0,08-0,12)	69	360	101
CW127A	Cobre de bajo contenido en magnesio	99,69Cu + 0,01 P + Mg(0,1 a 0,3)	69	440	80
CW128A	Cobre de alto contenido en magnesio	99,29Cu + 0,01 P + Mg(0,4 a 0,7)	69	500	65
CW129A	Cobre-estaño	99,45Cu + Sn(0,15 a 0,55)	69	430	75

Tabla 1. Aleaciones comerciales según normativa ADIF.

3.2.1.1 Cobre ETP y cobre-plata

- El cobre ETP (electrolytically tough pitch) es la aleación más alta en cobre y más conductora de todas con las que se trabaja.
- El cobre-plata tiene unas propiedades muy similares al cobre ETP. En esta aleación, la plata se utiliza para incrementar la resistencia al recocido del material base, lo cual permite lograr, sin sacrificar características mecánicas ni eléctricas, una mejor estabilidad térmica de los productos que integran la catenaria y, en consecuencia mejorar, su durabilidad.
- Ambos materiales se utilizan en líneas de tren de baja y media velocidad donde el factor determinante en el diseño del hilo de contacto es la alta conductividad.

3.2.1.2 Cobre-magnesio y cobre-estaño

- Tanto el cobre-magnesio (alto y bajo contenido en magnesio) como el cobre-estaño tienen menor contenido en cobre que los citados anteriormente. Por ello, su conductividad es menor, por el contrario, aumentan sus propiedades mecánicas sustancialmente.
- Ambos materiales se utilizan en líneas de tren de alta velocidad donde el factor determinante en el diseño del hilo de contacto es la resistencia mecánica. Estas aleaciones deben ser capaces de resistir el paso de los trenes a altas velocidades. Por tanto, es importante que sean buenos conductores pero la propiedad limitante en el diseño es la resistencia mecánica.

3.2.2 Aleaciones propuestas

Los materiales que aparecen a continuación son las diferentes aleaciones que se han propuesto como alternativa a las aleaciones comerciales. El criterio de elección principal ha sido que tengan un alto contenido en cobre y por tanto una alta conductividad pero también se han buscado materiales con menor conductividad pero mayor resistencia mecánica.

Nº aleación	Nombre comercial	Composición(%)	Límite Elástico mínimo (MPa)	Límite Elástico máximo (MPa)	Conductividad (%IACS)
C10100	Cobre ETP O.F*	99,99Cu	69	365	101
C10200	Cobre O.F	99,95Cu +Ag	69	365	101
C10300	Cobre fósforo 0,001 O.F	99,95 Cu + Ag + P (0,001 a 0,005)	69	345	99
C10400	Cobre plata 0,027 O.F	99,95Cu + 0,027Ag min	69	365	100
C10500	Cobre plata 0,034 O.F	99,95Cu + 0,034Ag min	69	365	100
C10600	Cobre plata 0,054 O.F	99,90Cu+ 0,054Ag min	69	365	100
C10700	Cobre plata 0,085 O.F	99,90Cu + 0,085Ag min	69	345	92
C10800	Cobre fósforo 0,005 O.F	99,95 Cu + Ag + P (0,005 a 0,012)	69	365	101
C11000	Cobre ETP	99,90Cu + 0,040 max	69	365	100
C11100	Cobre ETP + Cd	99,90Cu + 0,040 max+ 0,01Cd max	69	365	100
C11300	Cobre plata 0,027	99,90Cu+ 0,027Ag min	69	365	100
C11400	Cobre plata 0,034	99,90Cu+ 0,034Ag min	69	365	100
C11500	Cobre plata 0,054	99,90Cu+ 0,054Ag min	69	365	100
C11600	Cobre plata 0,085	99,90Cu+ 0,085Ag min	76	386	96
C14300	Cobre cadmio	Cu 99,90 + (0,05 a 0,15) Cd	69	345	93

Nº aleación	Nombre comercial	Composición(%)	Límite Elástico mínimo (MPa)	Límite Elástico máximo (MPa)	Conductividad (%IACS)
C14500	Cobre telurio	99,90Cu +Te (0,4 a 0,7) + P(0,04 a 0,12)	69	345	93
C14700	Cobre azufre	99,5 Cu + S (0,20 a 0,50)	69	379	95
C15000	Cobre zirconio	99,80 Cu + Ag + Zr (0,10 a 0,20)	41	496	93
C15500	Cobre magnesio 0,08 (Cobre magnesio plata)	99.75 Cu + Ag (0.027-0.10) + Mg(0.08-0.13)	125	517	90
C19500	Cobre estaño (Strescon)	96,10 Cu + (0,4 a 0,7)Sn	170	650	50

Tabla 2. Aleaciones propuestas. Datos extraídos de ASM international; Properties and Selection-Non Ferrous Alloys

(*)O.F: Sin Oxígeno (Oxygen free)

3.2.2.1 Aplicaciones

- Cobre ETP O.F y cobre O.F: Se utilizan para la fabricación de barras colectoras (conexión de un cuadro eléctrico a la red que lo alimenta), guías de onda, ánodos, componentes de transistores klitrones (osciladores de microondas) y tubos de microondas.
- Cobre fósforo 0,001 O.F.: Sus principales aplicaciones son como barras colectoras, conductores eléctricos y terminales, conmutadores y como tuberías de control termostático
- Cobre plata O.F.: Se utilizan para la fabricación de cables conductores, piezas de radio, bobinados, interruptores, segmentos del colector, juntas de automóviles y radiadores. Muchos de los usos de esta aleación se basan en la buena resistencia a la fluencia a elevadas temperaturas y la alta temperatura de reblandecimiento que posee.
- Cobre fósforo 0,005 O.F.: Sus principales aplicaciones son como unidades de refrigeradores, aire acondicionad, conmutadores y productos chapados. También se utiliza para

fabricar los quemadores, tubos de los quemadores de aceite, condensadores e intercambiadores de calor, líneas de pulpa y papel.

- Cobre ETP: Producido en todas las formas excepto en forma tubería, y se utiliza para la construcción de fachadas, canalones de bajada, canaletas, techos, juntas, radiadores, barras, alambres eléctricos, conductores trenzados, piezas de radio, interruptores, terminales, clavijas, clavos, remaches.

- Cobre ETP con cadmio: Se utiliza principalmente para la producción del alambre para la transmisión de energía eléctrica donde se desea resistencia mecánica cuando éste se somete a sobrecargas.

- Cobre plata: Producido en todas las formas excepto tubería: juntas, radiadores, barras colectoras, bobinados, interruptores, terminales, segmentos del colector, equipos de proceso químico, rodillos de impresión y metales revestidos.

- Cobre cadmio: se utiliza para aplicaciones que requieren resistencia mecánica como marcos de plomo, contactos, terminales y soldaduras con recubrimiento.

- Cobre telurio: Se utiliza principalmente para la fabricación de piezas forjadas y productos que requieren alta conductividad, resistencia a la corrosión, color de cobre determinado, o una combinación de estas cualidades. Algunos ejemplos son conectores eléctricos, piezas de motor, piezas de interruptores, accesorios de plomería, puntas de soldadura, bases de los transistores, y las partes que se ensamblan mediante soldadura por horno.

- Cobre azufre: los usos típicos son en la fabricación de piezas que requieren alta conductividad, facilidad de mecanizado, resistencia a la corrosión, color cobre, o una combinación de estas propiedades. Algunos ejemplos son conectores eléctricos, piezas de motor, accesorios de fontanería, cobres de soldadura y remaches.

- Cobre zirconio: Se utiliza principalmente para la fabricación de interruptores y disyuntores de alta de servicio de temperatura, conmutadores. Zirconio y cobre se pueden tratar térmicamente y conservar gran parte de su resistencia mecánica desde la temperatura ambiente hasta 450 °C.

- Cobre magnesio: Se utiliza en la fabricación de resortes de alta conductividad, electrodos de soldadura por resistencia, accesorios eléctricos, abrazaderas, conectores, diafragmas y componentes electrónicos en general.

- Cobre estaño (Strescon): Se utiliza para tomas de corriente, terminales, conectores y otros elementos conductores de corriente que requieran una resistencia mecánica excepcional.

4. SELECCIÓN DE LA ALEACIÓN

En este apartado se busca la mejor aleación para la producción de hilo de contacto de una catenaria. Para ello se utilizará la base de datos creada con el CES-Constructor expuesta en el apartado anterior.

4.1. Índice de material

Para determinar el índice de material antes se debe realizar el planteamiento del caso de estudio. El planteamiento del caso consiste en determinar la función, las restricciones, el objetivo y las variables libres tal y como se ha explicado en el ejemplo de la introducción.

1. Función:

- Hilo conductor resistente mecánicamente fijado por sus dos extremos

2. Restricciones:

- Resistencia a la tensión y al desgaste: El hilo de contacto en las líneas de alta velocidad debe estar lo más recto posible ya que si se curva (debido a su propio peso), el pantógrafo debe recorrer más distancia de cable por metro recorrido por el tren (el pantógrafo siempre debe tocar al hilo de contacto). Además, si el cable no está tenso, el pantógrafo estaría sometido a una fatiga constante a causa de la frecuencia de cambios de altura del hilo de contacto. Para evitar el problema de la curvatura provocada en el hilo de contacto por su propio peso se debe tensar, y por ello es imprescindible una gran resistencia a la tensión sin que llegue a deformarse. Por otro lado, la aleación debe ser capaz de soportar el desgaste provocado por el paso del pantógrafo de los trenes.

- Sección específica: La sección debe de ser la de un hilo de catenaria tal y como se ha mostrado en el apartado 3.1.2

3. Objetivo

- Máxima resistencia mecánica
- Mínima resistividad eléctrica

4. Variables libres

- Selección del material

El índice de material para el hilo conductor es más sencillo de hallar que el propuesto en el ejemplo ya que solo depende de dos variables. Estas dos variables son la resistencia mecánica y la resistividad eléctrica. La resistencia mecánica vendrá dada por el límite elástico ya que es la tensión máxima que un material puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Por tanto, si se aplican tensiones superiores a este límite, el material experimenta un comportamiento plástico (no recupera espontáneamente su forma original) y quedaría inutilizado para la aplicación propuesta.

El objetivo es maximizar el límite elástico (σ_{LE}) minimizando la resistividad eléctrica (ρ). Por tanto el índice de material será:

Índice de material:

$$M = \frac{\sigma_{LE}}{\rho} \quad (7)$$

4.2. Discusión

A continuación se expondrán los datos obtenidos mediante diagramas Ashby y se determinará el mejor material. Pero para ello, antes se ha de explicar que la mejor aleación no es necesariamente la que obtenga el valor de índice de material más alto. Hay que diferenciar dos tipos de aplicaciones para hilos conductores, los que subministraran electricidad a trenes de alta velocidad, y los que la proporcionarán a los de baja velocidad.

Aleación para hilo conductor de catenaria para trenes de baja velocidad: en este tipo de conductor, es más determinante minimizar la resistividad eléctrica que maximizar la resistencia mecánica. Esto es debido a que la fuerza de tensión a la que se somete al hilo conductor es

menor que la de uno de una catenaria de tren de alta velocidad. Por ello, en este caso, será prioritario un material conductor. Ello no quiere decir que dejemos de tener en cuenta la resistencia mecánica, simplemente significa que las condiciones límite que se impondrán serán más exigentes en cuanto a la resistividad eléctrica. En la actualidad, los materiales más comunes utilizados para la construcción de hilos conductores para catenarias de trenes de baja velocidad (corta y media distancia) son el cobre ETP y el cobre plata.

Aleación para hilo conductor de catenaria para trenes de alta velocidad: en este tipo de conductor, es más determinante maximizar la resistencia mecánica que minimizar la resistividad eléctrica. Es el caso opuesto a baja velocidad, el motivo es el explicado en el caso anterior, el cable deberá estar muy tensado para que haya la mínima curvatura. Por ello, en este caso, se priorizará más un material con alta resistencia mecánica. En la actualidad, los materiales más comunes utilizados para la construcción de hilos conductores para catenarias de trenes de alta velocidad (larga distancia) son el cobre magnesio y el cobre estaño.

4.2.1 Diagrama de Ashby genérico

A continuación se puede ver el diagrama de Ashby resultante con todas las aleaciones (propuestas y comerciales). Para representar el límite elástico en todos los diagramas se ha tenido en cuenta el valor máximo de éste.

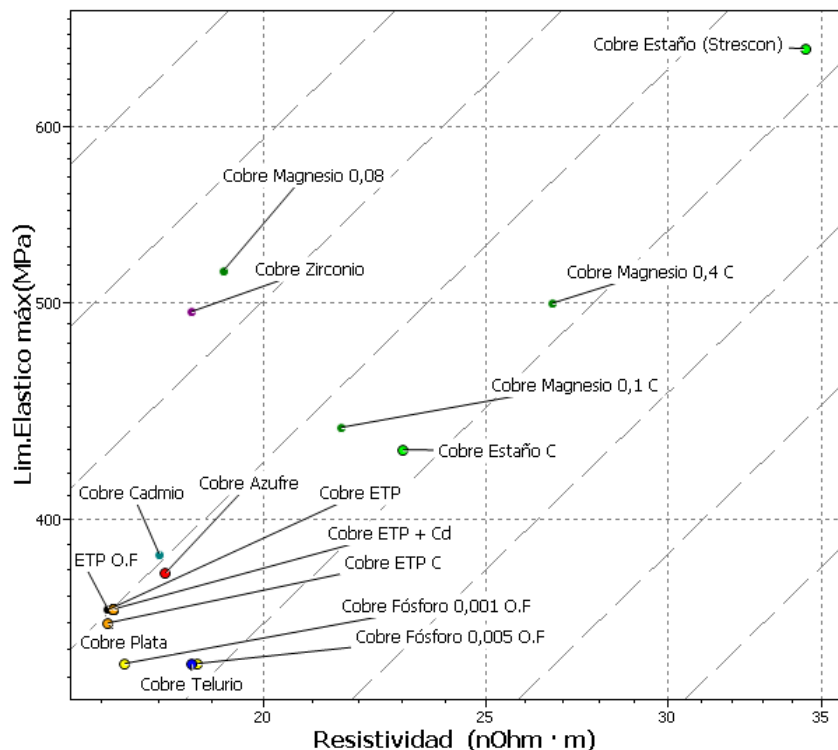


Figura 7. Diagrama de Ashby general
(02/05/14 Diagrama creado con el CES-Selector 2012)

Se ha representado límite elástico (MPa) frente a resistividad eléctrica (nOhm · m). Las mejores aleaciones según el índice de material encontrado en el apartado anterior son las que se encuentren en la parte superior izquierda del diagrama. La pendiente del índice de material es 1 y esa es la pendiente que indican las líneas diagonales discontinuas. Todos los materiales

que se encuentran sobre la misma línea discontinua tienen la misma relación de propiedades y por tanto son igual de eficientes.

En el diagrama se observa que los materiales más conductores son los diferentes cobres ETP y los cobres plata y los más resistentes los cobres magnesio, el cobre zirconio y los cobres estaño. Debajo se observa una ampliación de la zona del diagrama donde se encuentran concentrados la mayoría de los elementos. Al no existir variación significativa en los valores de los cobres plata, todos se encuentran solapados en el punto naranja indicado como cobre plata.

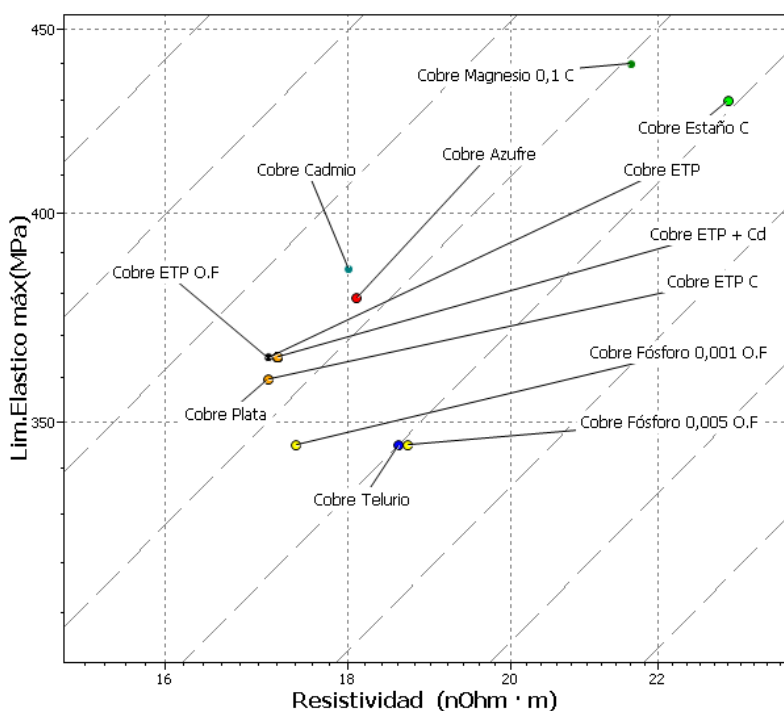


Figura 8. Diagrama de Ashby general ampliado
(02/05/14 Diagrama creado con el CES-Selector 2012)

A continuación se muestra el mismo gráfico general pero con la diferencia que solo aparece en color la aleación con el índice de material más alto.

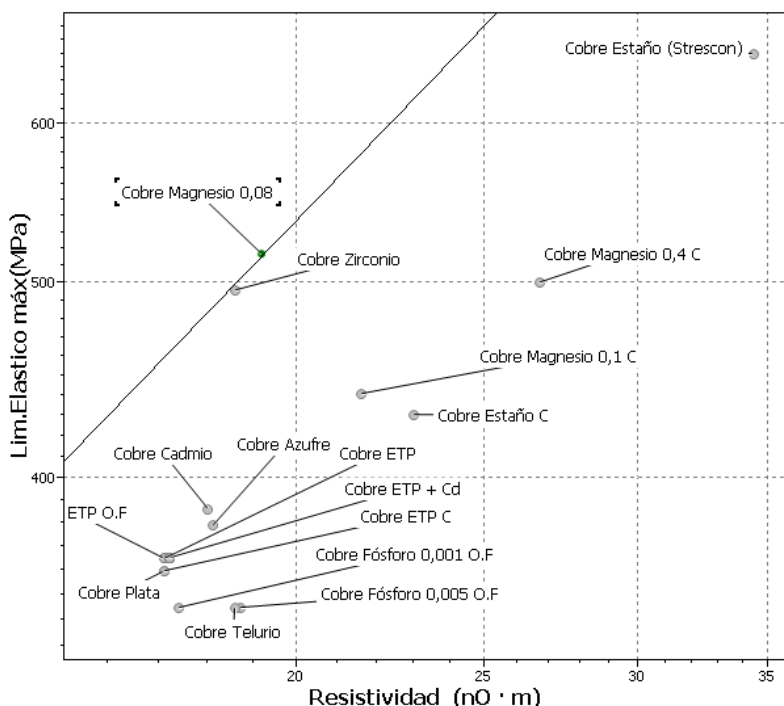


Figura 9. Diagrama de Ashby general donde se muestra el material con el índice de material más alto.

(02/05/14 Diagrama creado con el CES-Selector 2012)

La línea que aparece en el diagrama tiene pendiente 1. El elemento que aparece en color verde es el que tiene el índice de material más alto, es decir, el resultado del cociente entre el límite elástico y la resistividad eléctrica es el valor más alto de todas las aleaciones incluidas en la base de datos. Ese elemento es el cobre magnesio 0,08 (cobre magnesio plata). Tal y como se explica en el apartado 3.2.2.1, esta aleación se utiliza para la fabricación de componentes electrónicos.

Pero tal y como se ha indicado anteriormente, la aleación con el índice de material más alto puede no ser necesariamente la mejor o la única opción. Por ello, se han buscado los

materiales idóneos para hilo de contacto de catenaria de baja velocidad (Caso I) y alta velocidad (Caso II) por separado.

4.2.2 Diagrama de Ashby Caso I

El caso I consiste en encontrar el material o materiales óptimos para la construcción del hilo conductor de una catenaria por donde circulen trenes de baja y media velocidad. Para ello, las aleaciones más comunes en el mercado son el cobre ETP y el cobre plata tal y como se ha indicado en el apartado 4.2. Por tanto, se han buscado otros elementos mejores a estos definiendo unas condiciones límite superiores a las propiedades de estos. Estas condiciones límite son $\sigma_{LE} > 360$ MPa y $\rho < 19$ nOhm. El diagrama resultante es el siguiente.

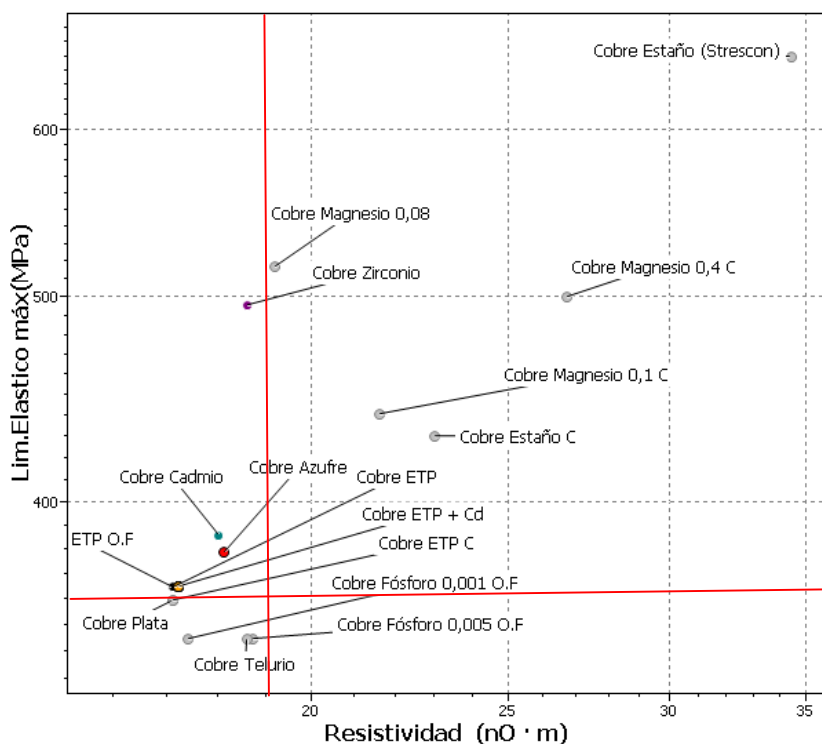


Figura 10. Diagrama de Ashby caso I. Restricciones $\sigma_{LE} > 360$ MPa y $\rho < 19$ nOhm
(07/05/14 Diagrama creado con el CES-Selector 2012)

En el diagrama aparecen coloreadas (margen superior izquierdo) las opciones que cumplen las restricciones, y en color gris las que no. Se observa que el cobre magnesio 0,08 que era la aleación con el índice de material más alto, no es óptimo para esta aplicación.

De las opciones que quedan coloreadas, no todas son viables. El cobre cadmio queda descartado ya que es extremadamente tóxico. En la aleación con zirconio, este elemento dota al material de una gran resistencia mecánica, pero también dispara su precio aunque esté en 0,1-0,2%. Por tanto el cobre zirconio queda descartado. Y por último, el cobre azufre también queda descartado por la rápida oxidación del azufre, por su proceso de fabricación (dificultad de controlar el nivel de azufre durante la producción de la aleación.) y por tener un alto desgaste.

En conclusión, las aleaciones óptimas para un hilo conductor de una catenaria de trenes de baja velocidad son los cobres ETP (los O.F incluidos).

4.2.3 Diagrama de Ashby Caso II

El caso II consiste en encontrar el material o materiales óptimos para la construcción del hilo conductor de una catenaria por donde circulen trenes de alta velocidad. Para ello, las aleaciones más comunes en el mercado son el cobre magnesio y el cobre estaño tal y como se ha indicado en el apartado 4.2. Por tanto, se han buscado otros elementos mejores a estos definiendo unas condiciones límite superiores a las propiedades de estos. Estas condiciones límite son $\sigma_{LE} > 400 \text{ MPa}$ y $\rho < 20 \text{ nOhm}$. El diagrama resultante es el siguiente:

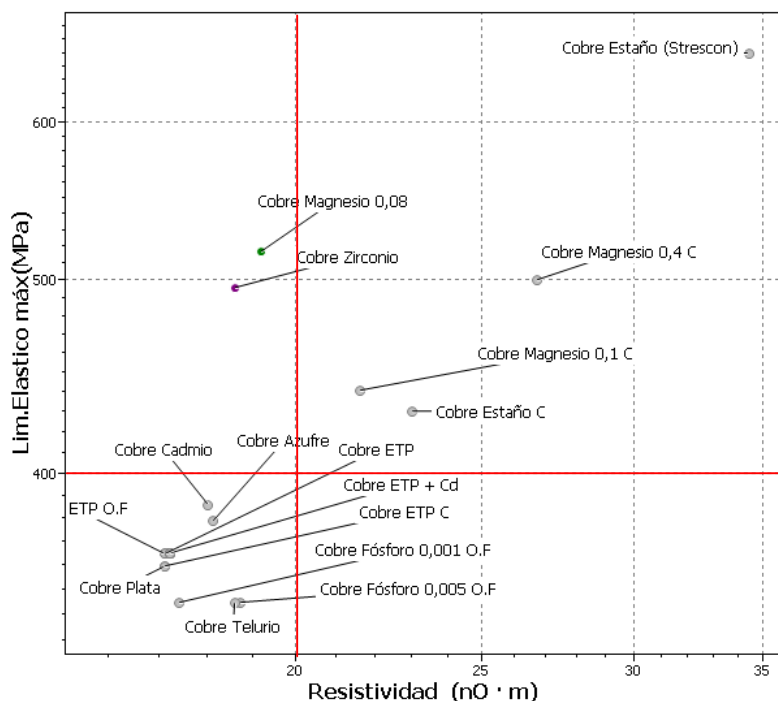


Figura 11. Diagrama de Ashby caso II. Restricciones $\sigma_{LE} > 400$ MPa y $\rho < 20$ nΩm
(09/05/14 Diagrama creado con el CES-Selector 2012)

De las opciones que quedan coloreadas (margen superior izquierdo), no todas son viables. El cobre zirconio queda descartado por su alto coste al igual que en el apartado anterior. Por tanto el único elemento óptimo respecto a las condiciones límite estipuladas es el cobre magnesio 0,08 (cobre magnesio plata) que en este caso coincide que también es la aleación con el índice de material más alto.

A continuación se plantean para el mismo Caso II unas condiciones límite menos restrictivas para ampliar el rango de aleaciones óptimas. Estas nuevas condiciones son $\sigma_{LE} > 400$ MPa y $\rho < 23$ nΩm. Se puede observar que la restricción de límite elástico es la misma mientras que el límite de la resistividad eléctrica es mayor. El diagrama quedaría así:

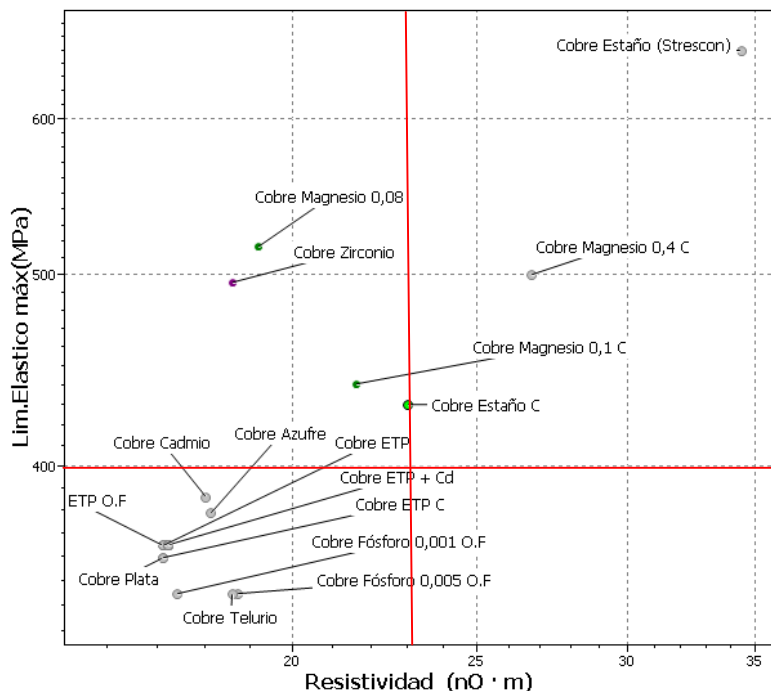


Figura 12. Diagrama de Ashby caso II Restricciones $\sigma_{LE} > 400$ MPa y $\rho < 23$ nOhm
(09/05/14 Diagrama creado con el CES-Selector 2012)

Se observa que además de las dos aleaciones que ya había, han aparecido otras dos (margen superior izquierdo). Los dos nuevos materiales óptimos son el cobre magnesio 0,1 y el cobre estaño, ambos comerciales. Es lógico ya que, precisamente, estos dos materiales son los que se utilizan en la actualidad para esta aplicación (Caso II). Por tanto estas cuatro aleaciones serían opciones óptimas según este último criterio.

5. CONCLUSIONS

Once all the necessary research has been developed and after having studied the practical case proposed it concludes the following:

1. The data base has been successfully elaborated
2. Through the material index determination for the chosen application established in section 2 and the corresponding Ashby's charts the following facts have been concluded:
 - a. The materials with best performance are the ones that have higher material index.
 - b. The best alloys for a catenary contact wire for low and medium speed trains are ETP copper and ETP copper O.F.
 - c. The best alloy for a catenary contact wire for high speed trains are Magnesium Copper 0,08 Silver

Therefore, as final conclusion it is determined that objective 1 and 2 has been successfully reached.

6. REFERENCES AND NOTES

1. ASM International Handbook Committee; ASM Handbook-VOL 02-Properties and Selection-Non Ferrous Alloys; **1992**.
2. Montserrat Cruells, Núria Llorca, Pere Molera, Antoni Roca i Joan Vinyals; *Ciència dels Materials*; Publicacions i edicions de la UB; **2007**.
3. Michael F. Ashby; *Materiales para ingeniería 1. Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño*, Volumen 1; **2005**.
4. Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF)
<http://www.adif.es> (última consulta 15 de Mayo, 2014)
5. Copper Development Association Inc.
<http://www.copper.org> (última consulta 19 de Mayo, 2014)
6. La Farga.
<http://www.lafarga.es/es/> (última consulta 23 de Mayo, 2014)
7. Base de datos UPV Universitat Politècnica de València
<http://www.upv.es/materiales> (última consulta 27 de Mayo, 2014)
8. Granta Design
<http://www.grantadesign.com/products/ces/> (última consulta 2 de Junio, 2014)
9. Railway Technical
<http://www.railway-technical.com> (última consulta 3 de Junio, 2014)
10. Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles (RENFE)
<http://www.renfe.com> (última consulta el 7 de Junio, 2014)
11. London Metal Exchange
<http://www.lme.com/> (última consulta el 7 de Junio, 2014)
12. Portal de los laboratorios analíticos
<http://www.catlab.com.ar/> (última consulta el 9 de Junio, 2014)

7. ACRONYMS

ADIF: Administrador de Infraestructuras Ferroviarias

CFRP: Carbon-fiber-reinforced polymer

ETP copper: Electrolytic-Tough-Pitch copper

FRHC: Fire Refined High Conductivity

RENFE: Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles

O.F: Libre de oxígeno (Oxygen free)

APPENDICES

APPENDIX 1: NORMATIVA ADIF CATENARIAS

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Página 1 de 13 Fecha: junio 2002
ELECTRIFICACIÓN		
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA		
PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO		
ESTA E.T. ANULA Y SUSTITUYE A LA 03.364.291.9 DE ABRIL DE 1995, 1ª EDICIÓN		
<i>Vigente!</i>		

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
ELECTRIFICACIÓN	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Página 2 de 13 Fecha: junio 2002
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA- PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO 1.- CAMPO DE APLICACIÓN3 1.1. Objeto.....3 1.2. Clasificación.....3 1.3. Definiciones.....3 1.3.1. Hilo de contacto.....3 1.3.2. Ranuras de sujeción.....3 1.3.3. Ranuras de identificación.....3 1.3.4. Capacidad mecánica.....3 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS HILOS3 2.1. Designación, composición y propiedades de los materiales3 2.2. Características geométricas4 2.3. Características físicas.....5 2.4. Características de las bobinas6 2.4. Ranuras para identificación6 2.5. Denominación de los hilos7 2.6. Aspecto exterior8 2.7. Marcas de fabricación.....8 3.- CONDICIONES DE HOMOLOGACIÓN Y RECEPCIÓN8 3.1. Presentación a recepción8 3.1.1. Estado del hilo en la presentación a recepción8 3.2. Naturaleza y proporción de los ensayos9 3.3. Obtención y preparación de muestras y probetas9 3.3.1. Obtención de muestras9 3.3.2. Obtención y preparación de probetas.....10 3.4. Ensayos.....10 3.4.1. Verificación del aspecto exterior, marcas y embalajes10 3.4.2. Verificaciones geométricas y de las masas de las bobinas10 3.4.3. Ensayo de resistencia10 3.4.4. Ensayo de tracción11 3.4.5. Ensayo de plegado11 3.4.6. Análisis químico.....12 3.4.7. Otros ensayos12 3.5. Contraensayos13 4.- EMBALAJE, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO13 5.- DOCUMENTACIÓN.....13		

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	E.T. 03.364.291.9 Página 3 de 13 Fecha: junio 2002
ELECTRIFICACIÓN		

1.- CAMPO DE APLICACIÓN

1.1. OBJETO

La presente especificación tiene por objeto regir el suministro de los hilos ranurados para la línea aérea de contacto.

1.2. CLASIFICACIÓN

Los hilos se fabricarán con el material que especifique RENFE entre los que se recogen en la tabla 1 y se clasificarán atendiendo a su forma y sección en los tipos descritos en el apartado 2.2.

1.3. DEFINICIONES

1.3.1. Hilo de contacto

Conductor que permite la conexión eléctrica entre la línea aérea y el pantógrafo de la locomotora.

1.3.2. Ranuras de sujeción

Ranuras dispuestas en sentido longitudinal en la parte superior del hilo de contacto que tienen como finalidad facilitar su suspensión por medio de las grifas correspondientes.

1.3.3. Ranuras de identificación

Canal o conjunto de canales longitudinales estrechos que se pueden encontrar en la parte superior del hilo de contacto que permiten reconocer el material empleado en su fabricación.

1.3.4. Capacidad mecánica

Es la fuerza que hay que aplicar para provocar la rotura a tracción el hilo de contacto.

2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS HILOS

2.1. DESIGNACIÓN, COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

La composición y propiedades físicas de los y las aleaciones de cobre empleados para fabricar los hilos de contacto deberán ajustarse a lo señalado en las tablas 1 y 2

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Página 4 de 13
	ELECTRIFICACIÓN	Fecha: junio 2002

TABLA 1

DESIGNACIÓN		COMPOSICIÓN (% en masa)								
Simbólica	Númerica		Cu	Bi	O	P	Pb	Ag	Mg	Sn otros
Cu-ETP ⁽¹⁾	CW004A	min. 99,90 máx. —	99,90 —	0,0005	0,04	—	0,005	—	—	0,03
CuAg0,1	CW013A	min. Resto máx. —	Resto	0,0005	0,04	—	—	0,08 0,12	—	0,03
CuMg0,2	CW127C	min. Resto máx. —	Resto	—	—	0,01	—	—	0,1 0,3	0,1
CuMg0,5	CW128C	min. Resto máx. —	Resto	—	—	0,01	—	—	0,4 0,7	0,1
CuSn0,2 ⁽¹⁾	CW129C	min. Resto máx. —	Resto	—	—	—	—	—	0,15 0,55	0,1

⁽¹⁾ Estas aleaciones están de acuerdo con la norma UNE-EN 1977:1999

TABLA 2

	CuETP	CuAg0,1	CuMg0,2	CuMg0,5	CuSn0,2
Densidad a 20°C (kg/m³)	8890	8890	8890	8890	8920
Resistividad máxima a 20°C (10 ⁻⁸ Ω .m)	1,777	1,777	2,240	2,778	2,395
Coefficiente de temperatura de la resistividad (K ⁻¹)	3,81.10 ⁻³	3,81.10 ⁻³	1,85.10 ⁻³	1,85.10 ⁻³	3,65.10 ⁻³

2.2. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

La forma de los hilos deberá ajustarse a lo indicado en las figuras 1(a) y 1(b) y sus dimensiones y tolerancias a lo que se recoge en la tabla 3. Las ranuras de sujeción deberán ser en todo caso del tipo B con las dimensiones en milímetros que aparecen en la figura 2.

HILO DE CONTACTO DE SECCIÓN CIRCULAR HILO DE CONTACTO DE SECCIÓN OVALADA

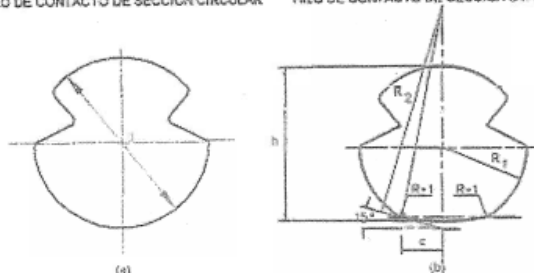
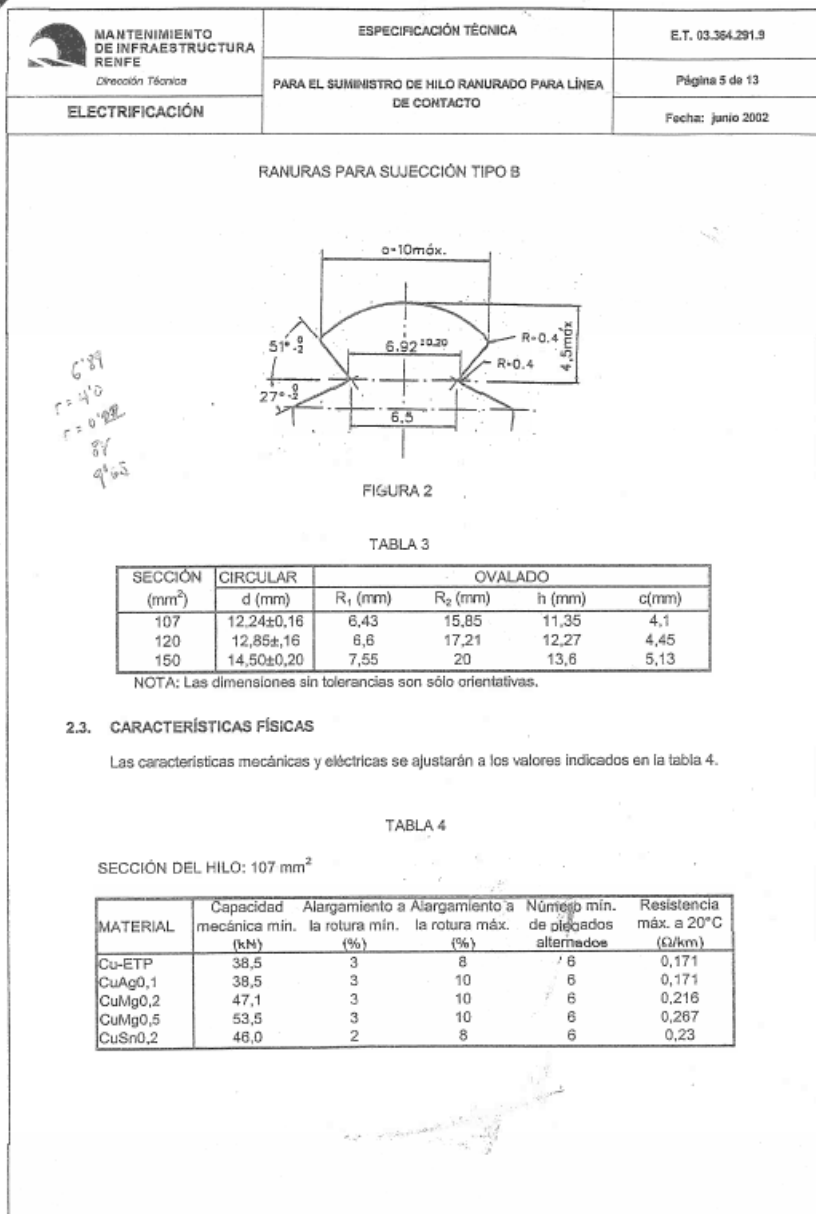


FIGURA 1



 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
		Página 6 de 13
	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Fecha: junio 2002

ELECTRIFICACIÓN

SECCIÓN DEL HILO: 120 mm²

MATERIAL	Capacidad mecánica mín. (kN)	Alargamiento a la rotura mín. (%)	Alargamiento a la rotura máx. (%)	Número mín. de plegados alternados	Resistencia máx. a 20°C (Ω/km)
Cu-ETP	43,2	3	8	6	0,153
CuAg0,1	43,2	3	10	6	0,153
CuMg0,2	51,6	3	10	6	0,193
CuMg0,5	58,8	3	10	6	0,238
CuSn0,2	50,4	2	8	6	0,205

SECCIÓN DEL HILO: 150 mm²

MATERIAL	Capacidad mecánica mín. (kN)	Alargamiento a la rotura mín. (%)	Alargamiento a la rotura máx. (%)	Número mín. de plegados alternados	Resistencia máx. a 20°C (Ω/km)
Cu-ETP	54,0	3	8	6	0,122
CuAg0,1	54,0	3	10	6	0,122
CuMg0,2	63,0	3	10	6	0,154
CuMg0,5	70,5	3	10	6	0,19
CuSn0,2	63,0	2	8	6	0,164

0,0176 Ω mm² m⁻¹ a 20°C

El límite elástico convencional correspondiente al 0,2% de deformación permanente se deberá alcanzar con, al menos, el 85% de la capacidad mecánica.

2.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS BOBINAS

La masa neta de la bobina de hilo de contacto será, como mínimo, la correspondiente a la longitud de 1.000 m y, como máximo, de 1.500 m en tanto no se especifique otra cosa en el pedido. En ningún caso se admitirán soldaduras en la bobina.

2.4. RANURAS PARA IDENTIFICACIÓN

Para distinguir los hilos de cobre electrolítico de los de fabricados con otras aleaciones, éstos deberán tener una, dos o tres estrías longitudinales en su parte superior según se indica en la figura 4

© Reservados todos los derechos

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Página 7 de 13
	ELECTRIFICACIÓN	Fecha: junio 2002

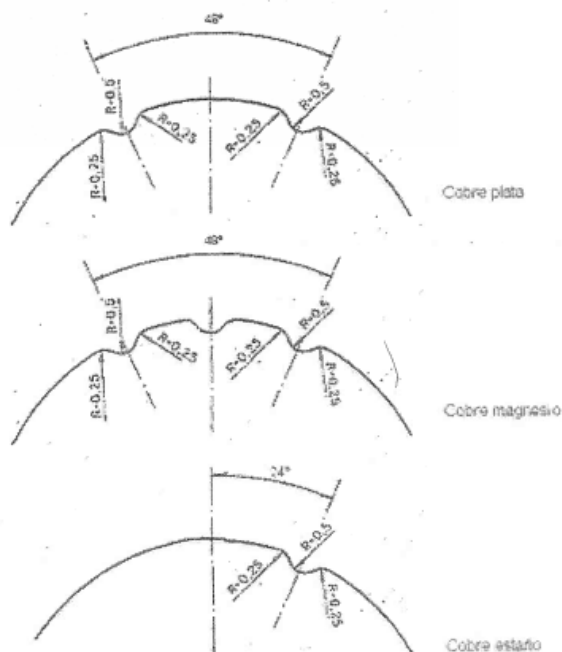


FIG. 4

2.5. DENOMINACIÓN DE LOS HILOS

Los hilos de contacto para catenaria se denominarán de la siguiente forma:

BP-S/D

donde B indica el único tipo de ranura de sujeción admitido por RENFE, la segunda letra identifica el perfil (C para sección circular, F para sección ovalada), S es la sección recta del hilo expresada en mm² (107, 120 ó 150) y D es la designación simbólica del material con el que está fabricado (ver TABLA 1).

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE <i>Dirección Técnica</i>	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	E.T. 03.384.291.9 Página 8 de 13
ELECTRIFICACIÓN		Fecha: junio 2002

Así, por ejemplo, un hilo de CuAg 0,1 de sección circular de 107 mm² se denominará:

BC-107/CuAg0,1

2.6. ASPECTO EXTERIOR

El hilo no deberá presentar asperezas, estrías, astillas, costuras o inclusiones en toda su superficie, debiendo estar esta exenta de toda traza de óxido, ácido sulfúrico o cualquier otra sustancia utilizada para el decapado.

Se admiten los cambios de color debidos al envejecimiento natural.

No se admiten empalmes.

2.7. MARCAS DE FABRICACIÓN

Todas las bobinas deberán estar provistas de una placa resistente al deterioro e impresa indeleblemente en la cual consten los siguientes datos:

- Nombre del fabricante.
- Denominación del hilo de contacto.
- Longitud y masa neta del hilo (por bobina)
- Masa bruta (hilo ranurado más bobina)
- Número de bobina
- Número de pedido
- Fecha de fabricación (con indicación del número de la semana de extrusión y el año de fabricación).

Además llevará una flecha que indique el comienzo de la bobina así como la dirección del bobinado.

3.- CONDICIONES DE HOMOLOGACIÓN Y RECEPCIÓN

3.1. PRESENTACIÓN A RECEPCIÓN

La solicitud de homologación y la presentación a recepción deberá ser notificada por escrito Renfe en el impreso establecido a estos fines, haciendo constar como mínimo:

- Fecha de presentación
- Referencia del pedido
- E.T. de Renfe 03.384.291.9
- Naturaleza y cantidad del suministro

y cualquier otra indicación particular o especial del pedido que se estime conveniente.

3.1.1. Estado del hilo en la presentación a recepción

El hilo de contacto se presentará a recepción en estado de entrega, como se indica en el apartado 4 de esta especificación.

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Página 9 de 13
ELECTRIFICACIÓN		Fecha: junio 2002

3.2. NATURALEZA Y PROPORCIÓN DE LOS ENSAYOS

TABLA 5

Lugar de ensayo	Naturaleza del ensayo
En fábrica o laboratorio acreditado autorizado por Renfe	1. Verificación del aspecto exterior, marcas y embalaje 2. Verificaciones geométricas y de masa de las bobinas 3. Ensayo de resistencia eléctrica 4. Ensayo de tracción de los hilos 5. Ensayo de plegado 6. Ensayos químicos
Ensayos individuales: 1 Ensayos de muestreo: 2, 3, 4 y 5 Ensayos de tipo: 6	

La proporción de las muestras a obtener entre las bobinas procedentes de la misma colada será la que se indica en la tabla siguiente:

TABLA 6

Nº. de bobinas procedentes de la misma colada	Nº. de muestras
$1 \leq n \leq 5$	n
$6 \leq n \leq 10$	6
$11 \leq n \leq 19$	8
$20 \leq n$	$8 + n/10$

3.3. OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y PROBETAS

3.3.1. Obtención de muestras

Todas las muestras se tomarán de bobinas diferentes seleccionadas al azar. Las muestras tendrán una longitud de 2,5 m trozos y se tomarán del extremo exterior de la bobina una vez que se ha prescindido de los 250 mm de su comienzo.

Las muestras seleccionadas se marcarán o se identificarán con un número y se precintarán bajo la indicación y control del Agente receptor o Equipo de trabajo constituido para realizar el proceso de recepción.

Para el precinto de las muestras se elegirá preferentemente alguno de los sistemas siguientes:

- Precintado de nailón tipo brida ajustable
- Precintado de plástico cilíndrico con alambre de acero corrugado.

Si no se contara con alguno de estos sistemas en el momento de la presentación a recepción, el Agente receptor o Equipo de trabajo determinará el procedimiento a seguir.

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica ELECTRIFICACIÓN	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
		Página 10 de 13
	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Fecha: junio 2002
3.3.2. Obtención y preparación de probetas Las probetas que se emplearán para los ensayos se cortarán de las muestras y serán de las longitudes que se indican en los apartados 3.3.2.1. y 3.3.2.2. Cuando en el curso de preparación de las probetas sea necesaria la destrucción de las marcas, su destrucción y nueva impresión deberán realizarse en presencia del Agente receptor. 3.3.2.1. Probeta para verificaciones geométricas y ensayos eléctricos Deberá tener una longitud de 1.200 mm. 3.3.2.2. Probetas para ensayos mecánicos Después de realizadas las verificaciones de los ensayos 1, 2 y 3 de la tabla 5, se cortarán de la parte restante de la muestra dos probetas de 400 mm y otras dos de 200 mm para los ensayos de tracción y plegado, respectivamente. 3.3.2.3. Probetas para análisis químico El sobrante de la muestra inicial se utilizará para el análisis químico. 3.4. ENSAYOS 3.4.1. Verificación del aspecto exterior, marcas y embalajes Se realizará a simple vista (corregida para una visión normal) comprobando que se cumple lo especificado en los apartados 2.6 y 2.7. 3.4.2. Verificaciones geométricas y de las masas de las bobinas Las verificaciones geométricas se harán sobre las muestras indicadas en 3.3.2.1. Las medidas se realizarán con cualquier dispositivo de medida (micrómetro, calibre, proyector de perfiles, ...) que permita apreciar centésimas de mm. Las dimensiones deberán estar de acuerdo con los valores indicados en las figuras 1 y 2 y en la tabla 2. El área de la sección recta se determinará por pesadas. Para realizar los cálculos se emplearán los valores para la densidad del hilo a 20°C que se recogen en la tabla 2, admitiéndose una tolerancia en el área calculada de $\pm 3\%$ respecto al valor nominal. 3.4.3. Ensayo de resistencia Se realizará según la norma UNE 21354:1976 y los resultados deberán estar de acuerdo con lo indicado en la tabla 3.4.3. La temperatura ambiente en que se verifique el ensayo estará comprendida entre 10 y 30°C. Si el ensayo se hace a una temperatura t diferente de la de 20°C, la resistencia R_t se referirá a		

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Página 11 de 13
	ELECTRIFICACIÓN	Fecha: junio 2002

la R_{20} a 20°C aplicando la fórmula siguiente:

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + \alpha(t - 20)}$$

donde el valor del coeficiente de temperatura de la resistencia, α , es el recogido en la tabla 2.

3.4.4. Ensayo de tracción

Se realizará según la norma UNE 7474-1:1992 sobre las dos probetas tomadas de 400 mm que se indican en el apartado 3.3.2.2.

La longitud inicial entre puntos se calculará mediante la fórmula:

$$L_0 = K \sqrt{S_0} \text{ mm.}$$

donde S_0 representa el área nominal de la sección recta del hilo (107, 120 ó 150 mm²) y la constante K vale 16,3, resultando los valores que se recogen en la tabla 7

TABLA 7

K	S_0 , mm ²	$L_0 = K \sqrt{S_0}$, mm
16,3	107	170
	120	180
	150	200

La velocidad de separación de las mordazas de la máquina no deberá superar los límites que se indican en la tabla 8.

TABLA 8

Sección, mm ²	107	120	150
Velocidad máxima de las mordazas, cm/min	8,2	8,6	9,6

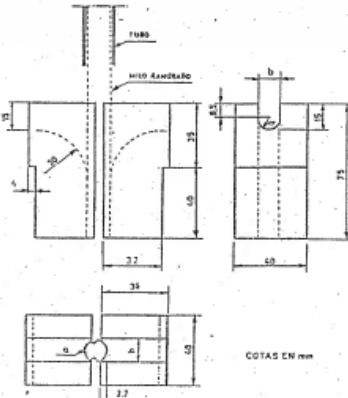
Los resultados de capacidad mecánica, límite elástico convencional y alargamiento deberán estar de acuerdo con lo indicado en el apartado 2.3.

3.4.5. Ensayo de plegado

El ensayo consiste en someter las probetas de 200 mm de largo obtenidas según se señala en el apartado 3.3.2.2, a una serie de plegados de 90°, en ambos sentidos. Se realiza a mano, colocando el hilo verticalmente en unas mordazas similares a las indicadas en la figura 5.

La primera flexión corresponde a un ángulo de 90° y se realiza curvando el hilo contra una de las mordazas. Las restantes flexiones corresponden a ángulos de 180° y se cuentan sucesivamente a partir de la posición del hilo en la primera flexión.

En cada flexión el hilo debe de tocar, en toda su longitud, la cara de la mordaza en que se

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
ELECTRIFICACIÓN	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Página 12 de 13
		Fecha: junio 2002 apoya. Un ensayo se considera que alcanza n plegados, cuando se rompe el hilo en 2 trozos al plegado $(n + 1)$.  FIG. 5 Los resultados de los ensayos realizados sobre cada una de las probetas deberán estar de acuerdo con lo indicado en la TABLA 3. 3.4.6. Análisis químico Los resultados del análisis químico, que se realizará por vía espectroscópica, deben ajustarse a lo recogido en la TABLA 1. 3.4.7. Otros ensayos El Agente Receptor podrá exigir para su información, cuando lo estime conveniente, además de los ensayos señalados, otros ensayos, siendo por cuenta de Renfe los gastos que se originen como consecuencia de estos. Se exceptúan los casos en que se precise repetición de ensayos porque se estimase que los resultados no fuesen concluyentes y los de comprobación de características a ducidas por el suministrador (por ejemplo en catálogos), que incluyan su valor, tolerancia y método de medida. 3.5. CONTRAENSAYOS Si un ensayo ofreciera un resultado negativo, se efectuará un contraensayo sobre otras 2 muestras. Si los resultados no son satisfactorios sobre estas 2 nuevas muestras, se rechazará la bobina, admitiéndose la misma en caso favorable.

 MANTENIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA RENFE Dirección Técnica	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	E.T. 03.364.291.9
	PARA EL SUMINISTRO DE HILO RANURADO PARA LÍNEA DE CONTACTO	Página 13 de 13
ELECTRIFICACIÓN		Fecha: junio 2002

4.- EMBALAJE, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Los hilos de contacto se embalarán en bobinas de madera o metálicas, debidamente protegidas por duelas de madera; los extremos de las últimas capas de espiras deberán estar sujetos a las mismas.

El enrollamiento de los hilos debe de hacerse con gran cuidado y por capas correctamente superpuestas. Las diferentes espiras de una misma capa deben de estar colocadas las unas junto a las otras sin intervalos. La cabeza del hilo debe de encontrarse en el exterior de las capas. Debe de evitarse cualquier torsión del hilo durante su enrollamiento en la bobina.

Las bobinas deben poder soportar todas las operaciones normales de carga y descarga y permitir que los hilos sean desenrollados bajo una tensión máxima de 6 kg/mm^2 .

Las medidas de las bobinas deberán ser:

- Anchura: entre 735 y 785 mm.
- Diámetro total: máximo 1840 mm.
- Sección del alojamiento del eje: cuadrada, de 80 (+2; -0) mm.

Estas medidas son obligadas para poder manipular el hilo de contacto en los portabobinas de Renfe.

Puede utilizarse la bobina de madera tipo 138/76, UNE 21.045, si incluye dispositivo de acoplamiento solidario al eje antes citado (de 80 mm x 80 mm).

Su transporte y almacenamiento deberán ser tales que no deterioren las bobinas de madera en las que se embalan los hilos de contacto.

5.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

Normas:

- UNE-EN 1977:1999
- UNE 21354:1976
- UNE 7447-1:1992
- UNE 21 045:1974
- UNE-EN 50 149

NOTA: ESTA E.T. ANULA Y SUSTITUYE A LA 03.364.291.9 DE FECHA 4-95, 1ª EDICIÓN.

APPENDIX 2: TABLAS ALEACIONES

Nº aleación	Nombre comercial	Composición(%)
C10100	Cobre ETP O.F	99,99Cu
C10200	Cobre O.F	99,95Cu +Ag
C10300	Cobre Fósforo 0,001 O.F	99,95 Cu + Ag + P (0,001 a 0,005)
C10400	Cobre Plata 0,027 O.F	99,95Cu + 0,027Ag min
C10500	Cobre Plata 0,034 O.F	99,95Cu + 0,034Ag min
C10600	Cobre Plata 0,054 O.F	99,90Cu+ 0,054Ag min
C10700	Cobre Plata 0,085 O.F	99,90Cu + 0,085Ag min
C10800	Cobre Fósforo 0,005 O.F	99,95 Cu + Ag + P (0,005 a 0,012)
C11000	Cobre ETP	99,90Cu + 0,04O max
C11100	Cobre ETP + Cd	99,90Cu + 0,04O max+ 0,01Cd max
C11300	Cobre Plata 0,027	99,90Cu+ 0,027Ag min
C11400	Cobre Plata 0,034	99,90Cu+ 0,034Ag min
C11500	Cobre Plata 0,054	99,90Cu+ 0,054Ag min
C11600	Cobre Plata 0,085	99,90Cu+ 0,085Ag min
C14300	Cobre Cadmio	Cu 99,90 + (0,05 a 0,15) Cd
C14500	Cobre Telurio	99,90Cu +Te (0,4 a 0,7) + P(0,04 a 0,12)
C14700	Cobre Azufre	99,5 Cu + S (0,20 a 0,50)
C15000	Cobre Zirconio	99,80 Cu + Ag + Zr (0,10 a 0,20)
C15500	Cobre Magnesio 0,08	99,75 Cu + Ag (0,027-0,10) + Mg(0,08-0,13)
C19500	Cobre Estaño (Strescon)	96,10 Cu + (0,4 a 0,7)Sn
CW004A	Cobre ETP C	99,90Cu + 0,0005Bi + 0,04O + 0,005Pb
CW013A	Copper Plata C	99,84Cu + 0,0005Bi + 0,04O + Ag(0,08-0,12)
CW127A	Cobre Magnesio 0,1 C	99,69Cu + 0,01 P + Mg(0,1 a 0,3)
CW128A	Cobre Magnesio 0,4 C	99,29Cu + 0,01 P + Mg(0,4 a 0,7)
CW129A	Cobre Estaño C	99,45Cu + Sn(0,15 a 0,55)

