

República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad Metalurgia-Electromecánica
Departamento Mecánica

***Tesis en opción al título de ingeniero
mecánico***

*Efecto del fuego en el comportamiento
microestructural en aleaciones de cobre*

Autor: Geovany Sánchez Torres

Tutor: Dr. C. Tomás Fernández Columbié

*Moa - 2015
“Año 57 de la Revolución”*



Declaración de autoridad:

Yo: Geovanis Sánchez Torres

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Geovanis Sánchez Torres

Dr. C. Tomás H. Fernández Columbié



Agradecimientos

A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera.

A mi tutor por confiar en mí en la realización de este trabajo el Dr. C. Tomás Fernández Columbié.

A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que más lo necesitaba.

A mis amigos que siempre creyeron en mí.

A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realización de este trabajo.

A la revolucion, por darme la oportunidad de convertirme en profesional .

A todos

Muchas Gracias.



Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis familiares.

A la memoria de mi madre: María Isabel Torres

Quiala.

A mi padre: Ramón Sánchez Wache

A mis hijos: Geovany, Katia y Gelisabel

A mí querida y estimada esposa

Isairis Arguellez Hernández

A mis amigos

que estuvieron a mi lado durante los 6 años

de mi carrera

A mis profesores.

A nuestra revolución, por las posibilidades que

me ofrece



Resumen

En el presente trabajo se realizó la caracterización microestructural de la aleación de cobre del tipo Cu-DHP empleada en la fabricación de conductores eléctricos con protección de PVC. Para el desarrollo del trabajo fueron seleccionados cuatro tipos de conductores, conductor unifilar de 2,5 mm, el conductor unifilar de 4 mm, el conductor multifilar de 55 hilos y el conductor multifilar de 113 hilos. Se consideró la microestructura de los mismos en estado de entrega, la misma fue analizada en su sección transversal y longitudinal, en el análisis efectuado en estas secciones, luego de los conductores estar sometidos a la acción del fuego, se pudo determinar que las estructuras obtenidas son del tipo: de granos equiaxiales de diferentes tamaños orientados al azar, de bordes rectos y curvados, engrosamiento de grano y maclas y de formación de eutéctico. Al analizar la durez se pudo apreciar una disminución mayor en el conductor multifilar de 113 hilos. Por último se analiza la valoración económica y el impacto medio ambiental de las consecuencias del fuego.



Abstract

It is paper is analyzed the characterization microstructure of the alloy of copper of the type Cu-DHP used in the production of electric drivers with protection of PVC. For the development of the work four types of drivers were selected, driver to unify of 2,5 mm, the driver to unify of 4 mm, the conductive multifilar of 55 threads and the conductive multifilar of 113 threads. It was considered the microstructure of the same ones in delivery state, the same one was analyzed in their traverse and longitudinal section, in the analysis made in these sections, after the drivers to be subjected to the action of the fire, you could determine that the obtained structures are of the type: of grains equiaxiales of different oriented sizes at random, of right and curved borders, grain engrossment and macles and of eutectic formation. When analyzing the hardness you could appreciate a bigger decrease in the conductive multifilar of 113 threads. Lastly it is analyzed the economic valuation and the half environmental impact of the consequences of the fire



INTRODUCCIÓN

Numerosas aplicaciones requieren materiales estables microestructuralmente y con alta resistencia a altas temperaturas, en combinación con alta conductividad eléctrica y térmica. Entre las aplicaciones más relevantes se incluyen: a) en la industria electrónica: interruptores de alto desempeño, electromotores e intercambiadores de calor, y b) en industrias manufactureras: componentes enfriados activamente, boquillas de cohetes, cables y alambre para uso magnético, y puntas de electrodos para soldadura por resistencia.

Para todas estas aplicaciones, el metal más promisorio es el cobre, debido a su alta conductividad eléctrica y térmica. Además, el cobre presenta la ventaja de tener un bajo módulo de elasticidad, lo que minimiza los esfuerzos térmicos en estructuras enfriadas activamente. Sin embargo, el cobre requiere considerables incrementos en su resistencia para satisfacer los requerimientos de diseño para aplicaciones a altas temperaturas.

El cobre y sus aleaciones reaccionan, activamente, con el oxígeno y los vapores de agua a temperaturas elevadas, por lo menos con mayor intensidad que el aluminio y sus aleaciones. Con motivo de esta particularidad, durante el tratamiento térmico del cobre y sus aleaciones, a menudo se recurre a atmósfera protectoras, mientras que en la tecnología el tratamiento térmico del aluminio, dichas atmósferas protectoras se emplean rara vez.

El recocido de cobre y sus aleaciones se efectúa con el objetivo de eliminar aquellas desviaciones respecto a la estructura equilibrada que surgieron en el proceso de solidificación o a causa de la sollicitación mecánica, o bien como resultado del tratamiento térmico precedente.

El recocido para homogeneización consiste en calentar los lingotes hasta la temperatura máxima posible que no provoque la fusión de los componentes estructurales de las aleaciones.

Como resultado del recocido para homogeneización, aumenta la homogeneidad de la estructura y de la composición química de los lingotes. El recocido para



homogeneización es una de las condiciones a fin de adquirir un producto acabado de elevada calidad.

La calidad del material recocido queda definida no solo por sus propiedades mecánicas, sino, también, por el tamaño del grano recristalizado. El tamaño del grano, en una estructura por entero recristalizada, es bastante homogéneo. Si un material con acritud se somete al temple, al calentarlo en el se desarrollan los procesos de recuperación y recristalización. Lo mismo que durante el recocido de recristalización, un alto grado de deformación (mayor del 30 %), una baja temperatura y corto tiempo de calentamiento, proporcionan el grano fino.

Las aleaciones de cobre se distinguen por tener alta capacidad de calcinarse, a causa de la elevada conductibilidad térmica. Por ejemplo, incluso los artículos de bronce al berilio que poseen la menor conductibilidad térmica, se templan a una sección de 200 mm.

Situación problemática

Las empresas en Cuba, muchas veces se ven afectadas por problemas de incendios, en ocasiones es difícil determinar si un fallo de la instalación eléctrica ha sido la causa o no del incendio, aunque ello viene dificultado por los devastadores efectos del fuego que modifican la microestructura y propiedades de los materiales implicados, no pudiéndose observar los efectos nítidos que pudieran revelar las causas del incendio. A pesar de ello es importante el estudio que pudiera realizarse sobre estos materiales al obtener valiosa información de las condiciones operantes a lo largo del suceso

Problema

Aún son insuficientes los estudios realizados acerca del comportamiento microestructural de aleaciones de cobre sometidas al efecto del fuego

Como posible solución al problema se establece la siguiente **hipótesis:**

A partir del efecto de la temperatura para tiempo determinado, en el tamaño de grano del cobre, número de hilos y diámetro de los cables, se podrá determinar el comportamiento microestructural de las aleaciones de cobre sometidas a condiciones de fuego.



El presente trabajo tiene como **objetivo general**

Establecer la relación entre la microestructura del material, en conductores de cobre de diferentes tipologías, con las variables que determinan finalmente los efectos del fuego, temperatura y tiempo de permanencia a ésta.

El **objeto de estudio** es aleación de cobre sometida a condiciones de fuego.

El **campo de acción** es el comportamiento microestructural y la dureza de aleaciones de cobre sometida a condiciones de fuego.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar en las aleaciones de cobre, la capa de óxido en función de la tipología de los cables que pueden analizarse.
2. Establecer el procedimiento metodológico que permita la caracterización microestructural de diferentes conductores en correspondencia con la cantidad de hilos en los cables y alambres.
3. Describir las variaciones microestructurales originadas en los diferentes conductores luego de ser sometidos a condiciones de incendios.

Para dar cumplimiento a este objetivo han sido trazadas las siguientes **tareas:**

1. Establecimiento del estado del arte relacionado con el objeto de estudio.
2. Planificación, diseño y realización de experimentos.
3. Análisis de resultados y obtención de las microestructuras en los diferentes conductores en correspondencia con la cantidad de hilos en los cables y alambres.
4. Fundamentación de las inestabilidades metalúrgicas que surgen en las aleaciones de cobre sometida a un proceso de fuego.
5. Planteamiento de los efectos económicos, sociales y ambientales del proceso de incendio o fuego.



TABLA DE CONTENIDOS

SÍNTESIS	Pág
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	
1.1. Introducción	4
1.2. Generalidades del cobre	4
1.2.1. Propiedades y aplicaciones del cobre puro	4
1.2.2. Resistencia mecánica a diferentes temperaturas	6
1.2.3. Capa de óxido superficial en el cobre	6
1.3. Evaluación del daño en los conductores eléctricos	7
1.4. Dinámica y efectos del fuego en los materiales	10
1.4.1. Principios del fuego	10
1.4.2. Trayectoria y propagación del fuego	12
1.4.3. Efectos del fuego sobre elementos metálicos	12
1.4.4. Determinación de las temperaturas en los elementos metálicos	13
1.5. Tratamientos térmicos	15
1.5.1. Tratamiento térmico de recocido	16
1.5.2. Clasificación de los tipos de recocido	17
1.6. Conclusiones del capítulo 1	21
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1. Introducción	22
2.2. Composición química del cobre	22
2.3. Plan experimental	22
2.3.1. Análisis microestructural	23
2.3.2. Selección de las muestras sometidas a incendio	26
2.3.3. Instalaciones eléctricas y aparatos eléctricos	27
2.4. Equipo empleados en la experimentación	28
2.4.1. Microscopio metalográfico	28
2.4.2. Corte de las muestras	29
2.4.3. Ensayos de microdureza	29
2.4.4. Máquina pulidora metalográfica	30



2.4.5. Operación de desbaste	31
2.4.6. Pulido de las muestras	31
2.4.7. Ataque químico	32
2.5. Conclusiones del capítulo 2	33

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción	34
3.2. Análisis de la microestructura para conductor unifilar sección 2,5 mm ²	34
3.2.1. Análisis microestructural para el conductor unifilar de 4 mm ²	35
3.2.2. Análisis microestructural para el conductor multifilar de 55 hilos	37
3.2.3. Análisis microestructural para el conductor multifilar de 113 hilos	38
3.3. Análisis de la microdureza en los conductores	40
3.3.1. Análisis de regresión	41
3.3.2. Análisis de varianza	42
3.4. Valoración económica	43
3.5. Valoración del impacto medio ambiental	44
3.5.1. El fuego en las empresas	45
3.6. Conclusiones del capítulo 3	46

CONCLUSIONES GENERALES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍAS

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1. Introducción

El estudio de los mecanismos de evolución de microestructuras bajo procesamiento termomecánico de metales y aleaciones tiene una considerable importancia práctica y teórica, donde el cobre y sus aleaciones destacan por su atractivo comercial en la fabricación de electroconductores. Generalmente la temperatura de recristalización de un metal se sitúa en la mitad del punto de fusión del material, considerando la temperatura absoluta, aunque depende de diversas variables como la magnitud de la deformación y el tiempo de permanencia a la temperatura de tratamiento.

En el presente capítulo se establece como objetivo realizar un análisis de la bibliografía existente relacionada con las aleaciones de cobre y sus propiedades mecánicas.

1.2. Generalidades del cobre

El cobre, lo mismo que el oro y la plata se encuentra en forma nativa, por lo que ya en la antigüedad el hombre, que desconocía aún la metalurgia, pudo emplearlo. A pesar de que el contenido de cobre en la corteza terrestre es pequeño (0,01 %), no es un metal disperso, sino que se concentra en los minerales de cobre, por lo que su concentración es del orden del 5 %.

El volumen de la producción de cobre va aumentando. Actualmente el cobre se obtiene de minerales sulfurosos que contienen perita de cobre (Cu-FeS_2), mediante una serie de procesos metalúrgicos. El cobre bruto obtenido después de estos procesos contiene una pureza de 99,5 – 99,9 % de Cu (cobre primario, técnicamente puro) (Guliaev, 1983)

1.2.1. Propiedades y aplicaciones del cobre puro

El cobre puro recocido posee un límite de resistencia) que varía de 220 – 240 MPa, una dureza de 40 – 50 HB y alargamiento relativo) del 50 %. El cobre puro se utiliza en la industria electrónica dada su alta conductibilidad eléctrica (después de la plata es el mejor conductor de la electricidad) y se fabrica en forma de producto semiacabado: alambre, varillas, cintas, hojas, flejes y tubos.

Como consecuencia de su baja resistencia mecánica el cobre no se emplea como material de construcción, sino que se utilizan sus aleaciones con zinc, estaño, aluminio, silicio, manganeso y plomo. Además el cobre puro presenta una gran plasticidad, alta conductibilidad calorífica y pequeña oxidabilidad.

Plantea Ettlíng (1978) y Montoliu (2007) que debido a la ductilidad que presenta el mismo, permite transformarlo en cables de cualquier diámetro, a partir de 0,025 mm. La resistencia a la tracción del alambre de cobre estirado es de unos 420 MPa y puede emplearse tanto en cables y líneas de alta tensión exteriores como en el cableado eléctrico en interiores, cables de lámparas y maquinaria eléctrica en general: generadores, motores, reguladores, equipos de señalización, aparatos electromagnéticos y sistemas de comunicaciones.

Las principales propiedades físicas están recogidas a continuación

Número atómico	29
Masa atómica:	63,54
Densidad:	8,93 (sin poros).
Punto de fusión:	1083° C
Temperatura de ebullición:	2310° C
Calor específico:	0,92 cal/g
Calor latente de fusión:	50,6 cal/g
Módulo de elasticidad:	1 265 MPa
Coefficiente lineal de dilatación térmica	(25° C): $16,47 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$
Conductividad eléctrica	59 m/ohm.mm ⁻²
Conductividad térmica.	0,39 cal/cm.s.g

El cobre cristaliza según una red cúbica centrada en las caras. Los átomos están situados en cada uno de los vértices y en el centro de las caras. Estas características de la estructura son importantes dado que a ellas se debe la gran capacidad de deformación del cobre.

Quintero (1994) señala que, en la mayoría de los metales, la temperatura de recristalización para el caso estático coincide con el 60 % de la temperatura de fusión para las aleaciones y el 40 % de la temperatura de fusión para metales puros. En particular para el cobre desoxidado, la temperatura de recristalización depende de la cantidad de oxígeno presente en el metal; a menores deformaciones previas y mayor contenido de oxígeno presente, las temperaturas

de recristalización serán mayores para el cobre ETP (Levinson, 1977 y Anderson (1977)).

1.2.2. Resistencia mecánica a diferentes temperaturas

Las características mecánicas del cobre mejoran generalmente con el descenso de temperatura. La resistencia a la tracción y el límite elástico son más elevados que a temperatura ambiente, el alargamiento también aumenta. Las propiedades de resistencia a la deformación del cobre descienden muy rápidamente por encima de los 100 °C, aunque la capacidad de deformación permanece muy elevada hasta temperaturas próximas a la de fusión, siendo ésta una indicación de excelente aptitud para la deformación en caliente.

Las propiedades mecánicas del cobre permanecen a nivel satisfactorio hasta 150 °C ó 200 °C. Por encima de esta temperatura las características mecánicas disminuyen rápidamente y el metal experimenta un aumento de grano muy perjudicial para su comportamiento en servicio (Prasad y Rao, 2004).

1.2.3. Capa de óxido superficial en el cobre

Considera Humphreys (2006) que a la temperatura ordinaria, la superficie del cobre en aire seco, se recubre de una película de Cu_2O que protege la superficie, a 150 °C ésta película crece rápidamente. Bajo película de la acción de la humedad de los sulfuros, del gas carbónico, esta se ennegrece y adquiere posteriormente una pátina negra (azufre) o verde. A temperatura más elevada, la película de Cu_2O formada al aire aumenta su espesor y, según la pureza del metal puede o no escamarse.

La ley de crecimiento y adherencia de la película tienen una gran importancia para ciertas aplicaciones. Las adiciones de fósforo favorecen el escamado de la película, sobre todo mediante un rápido enfriamiento por temple en agua después del calentamiento.

Según Lugo *et al.* (2003) el cobre fundido puede absorber una cierta cantidad de carbono, sin embargo el carburo no es estable en el cobre solidificado. Debido a su acción el Cu_2O se reduce en la interfase metal/ CO , y las partículas subyacentes de Cu_2O permiten la difusión de oxígeno, por solubilidad en el cobre, y debido al

gradiente provocado por la producción que se ha llevado a cabo en la superficie. Es posible, con tiempo suficiente, desoxidar totalmente un cobre oxidado por calentamiento en atmosfera de CO, y sin que se produzca ningún daño como ocurre en el caso del hidrogeno. Los ácidos orgánicos atacan fácilmente al cobre y a todas sus aleaciones.

1.3. Evaluación del daño en los conductores eléctricos

Desde los años 60 una gran variedad de métodos físicos y químicos han sido propuestos para determinar el estado de deterioro de los conductores eléctricos. Muchos de estos estudios están enfocados a intentar determinar las condiciones a las que han estado expuesto los conductores con la finalidad de reconocer el origen de incendios en viviendas o industrias.

En la actualidad muchos de los esfuerzos se centran en determinar el origen de las perlas de fundición que se encuentran en los extremos de los conductores eléctricos en muchos de los incendios. Su interés está en determinar si el incendio ha estado originado por un cortocircuito o si el cortocircuito ha sido causado por el propio incendio.

En el primer caso las marcas encontradas serían marcas primarias llamadas por los investigadores "Primary Molten Marks" o "Cause Beads". En el segundo caso las marcas del cobre fundido serían marcas de origen secundario llamadas "Secondary Molten Marks" o "Victim Beads".

Los estudios asumen que hay diferencias significativas tanto físicas como químicas entre las muestras de cobre obtenidas después de un incendio iniciado por un fallo eléctrico y las muestras afectadas únicamente por las llamas.

Ettling (1978) analiza de manera visual numerosas muestras de conductores sometidas a sobrecorrientes, cortocircuitos y calentamiento por llamas y las compara con cables encontrados en incendios reales. Para las simulaciones se utilizan tanto conductores unifilares como multifilares. Algunas de las muestras son examinadas metalográficamente.

Primeramente analiza más de 200 muestras de conductor de cobre fundidas mediante llama. Según el autor, cuando el fuego afecta la superficie de un

conductor de cobre y si la temperatura es inferior a la de fusión (1 083 °C), éste se oxida y se decolora ligeramente pero se siguen reconociendo las marcas del trefilado. Si la temperatura asciende se empiezan a dar cambios en la estructura de los gases ocluidos en el interior del cobre. Se forman cavidades interiores y pequeñas burbujas en la superficie.

Si la temperatura sigue subiendo el cobre fundido comienza a deslizar en forma de gotas de cobre líquido dejando en el centro del conductor un núcleo sólido. Esta parte interior sin fundir asoma en forma de punta de las perlas fundidas por el calor.

Plantea .Lee (2000) y Babrauskas (2003), que cuando el conductor es multifilar el metal fundido penetra entre los hilos uniéndolos, esta unión entre los hilos puede variar desde una pequeña unión incipiente hasta una fusión completa. Este tipo de fusión se podrá observar en zonas distintas del mismo conductor, precisamente donde el fuego haya alcanzado temperaturas altas.

Respecto a las sobrecorrientes afectan a todo el conductor por igual ya que la corriente que lo recorre será igual a lo largo de todo él. Un conductor puede soportar dos o tres veces su intensidad máxima admisible durante algunos segundos sin verse afectado.

Cuando la corriente sobrepasa esos valores o bien el tiempo aumenta, en los dos conductores se destruye el aislante. Si persiste el defecto el conductor se pondrá al rojo lo que hará que cambie la estructura cristalina del cobre y que se oxide superficialmente. El conductor podrá llegar a fundirse lo que cortará el circuito. En el momento de la separación se producirá una pequeña chispa. A lo largo del circuito se podrán observar zonas que han estado a punto de fundir. En el punto de fusión se formarán glóbulos redondeados similares a los producidos por las llamas.

Singh (2007) utiliza la microscopía electrónica para analizar muestra recogida de escenarios de incendios. De las distintas causas accidentales cree que las más frecuentes son los cortocircuitos y las sobrecorrientes. Al examinar distintas



muestras mediante SEM enumera una serie de características que no se pueden observar mediante microscopía óptica.

Este autor somete a conductores de cobre y aluminio a sobrecorrientes y a la acción directa de la llama de un mechero de gas. Después de las pruebas, y tras limpiar las muestras con acetona, para eliminar los restos de aislante, los materiales son observados mediante SEM. Así en el lugar del cortocircuito se observa una estructura granular mientras que a 3 cm del extremo se observa un grano alargado en dirección longitudinal al hilo y a 15 cm sólo quedan las marcas superficiales del trefilado.

Cuando un conductor de cobre es expuesto a una llama se deteriora su superficie. Estos cristales representan los núcleos formando cristales rojizos de óxido cuproso (Cu_2O) de los cristales negros de óxido cúprico (CuO). Cuando la temperatura se acerca a la de la fusión del cobre el óxido cúprico vuelve a formar cristales rojos de óxido cuproso (Clarke, 2006).

Anderson (1989) indica que los incendios iniciados por causas eléctricas son difíciles de diferenciar. Técnicas de análisis superficial como la Espectroscopía Electrónica para Análisis Químico (ESCA) y la Espectroscopía Electrónica de Auger (AES), pueden usarse para determinar el proceso de acontecimientos en un cortocircuito en relación con el entorno donde los residuos del arco eléctrico se han formado.

En un fuego donde se destruye el aislante eléctrico del conductor la superficie del glóbulo formado por un cortocircuito mostrará los productos de la combustión. Si el cortocircuito ocurre antes de que el incendio se haya iniciado en el análisis del glóbulo terminal no se encontrarán restos de productos de combustión.

Babrauska (2003) recoge los métodos propuestos hasta la fecha para detectar si las causas de un incendio ha sido un cortocircuito. Todos los métodos asumen que hay diferencias suficientes en los restos de conductores eléctricos de cobre para poder diferenciarlos. Algunos estudios no dan ningún soporte teórico a sus resultados. También se observa que la mayoría de ellos utiliza un número pequeño de muestras que no se puede considerar estadísticamente suficiente.

Otros estudios se han producido en laboratorios pero no aportan datos suficientes para poder repetir las pruebas por lo que no son válidos para un estudio con rigor de éstos.

Nobuo (2006), estudia la relación entre la microporosidad y los factores a los que ha estado expuesto el cobre. Cuando un cortocircuito es la causa propuesta del inicio de un incendio, las marcas de los arcos eléctricos sobre los conductores son pruebas importantes para la demostración de estos hechos. Con la finalidad de clarificar la distribución de la microporosidad producida en los cortocircuitos, estas marcas han sido observadas mediante SEM.

De estas observaciones se deduce que las muestras eléctricas calentadas antes de los arcos eléctricos (Primary marks) son diferentes de las que se funden antes de ser afectadas por las llamas (Secondary marks) en cuanto a la distribución de los microporos con diámetros entre 0,5 y 1,0 μ m de diámetro (Lee, 2000).

1.4. Dinámica y efectos del fuego en los materiales

El fuego, como todo proceso de la naturaleza, es un suceso irreversible. La mayor o menor velocidad de los procesos irreversibles, así como el que ocurran preferentemente unos y no otros, esta en función de la energía que intercambia, es una consecuencia de la función de estado definida en el segundo principio de la termodinámica y que se denomina entropía.

La trayectoria que sigue el fuego y la velocidad a la que se propaga constituyen la base de la dinámica del mismo, es decir, la fuerza con que el mismo se desencadena. Tanto la trayectoria como la velocidad del incendio son magnitudes vectoriales. La dinámica del incendio, es decir, la fuerza que expresa la severidad con la que el mismo se desarrolla, aparte de ser función de la velocidad con la que el incendio se propaga en un intervalo de tiempo y del combustible presente, depende también de las condiciones del escenario (Pons, 2003).

1.4.1. Principios del fuego

El combustible ha de estar en cantidad suficiente y dispuesta en forma adecuada para que pueda iniciarse, mantenerse y propagarse la combustión. El comburente también ha de estar en las proporciones adecuadas aunque de forma mayoritaria

este resulta ser el propio oxígeno del aire. En cuanto a la fuente de calor es el punto donde se localiza la energía calorífica suficiente para comenzar la combustión (Fiallos, 2011).

Para que se produzca un incendio o una explosión han de coincidir los elementos del llamado tetraedro del fuego: combustible, comburente, fuente de ignición (calor) y reacción en cadena como se observa en la figura 1.1.

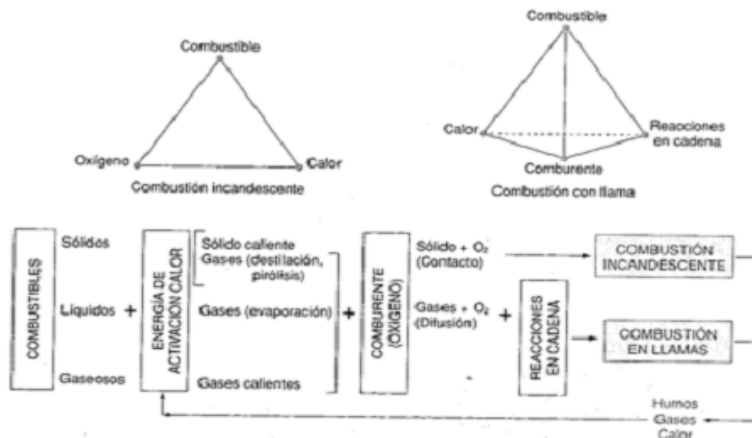


Figura 1.1. Factores de la combustión.

Los incendios eléctricos se originan principalmente por:

- ✚ El calentamiento local provocado por contactos defectuosos.
- ✚ El calentamiento excesivo como resultado de una sobretensión o una sobreintensidad.
- ✚ La formación de arco eléctrico

Estas causas pueden venir originadas por:

- ✚ Consecuencia de instalaciones defectuosas.
- ✚ Puesta en marcha o en funcionamiento de instalaciones no idóneas por deficiencias en el proyecto.
- ✚ Sobrecargas producidas a causa de ampliaciones de potencia sin modificar las instalaciones ya existentes.
- ✚ Equipos desgastados por su utilización continuada cables que han llegado al fin de su vida útil.
- ✚ Errores de diseño.

- ✚ Problemas de electricidad estática al no haberse establecido medidas para su prevención o su descarga controlada.

1.4.2. Trayectoria y propagación del fuego

El fuego, en condiciones idóneas y no forzadas, sigue una trayectoria siempre vertical. Esto es así debido a que los gases que se producen en el mismo, al estar en contacto con la fuente de calor, aumentan su temperatura, con lo que disminuye su densidad. La propagación de un incendio ocurre en cinco fases diferenciadas (Bullock, 1995).

Fase de ignición: Periodo en el que se inicia el fuego.

Fase de desarrollo: Básicamente es el desarrollo de la ignición en el que el crecimiento inicial del fuego se describe en esta fase en función de la energía desarrollada en la combustión. El fuego se describe en esta fase en función de la energía desarrollada en la combustión. En este momento existe suficiente cantidad de oxígeno y de combustible como para poder mantener combustión y como consecuencia, el desarrollo del incendio.

Fase de pleno desarrollo: Durante esta fase, el fuego se encuentra en todo su plenitud. Habitualmente, es en estos momentos cuando se produce una polimerización del combustible mientras arde, de tal forma que desaparece el oxígeno del recinto (como consecuencia del consumo del mismo durante la combustión) si no existe aporte adicional externo.

Fase de declive: Tiene lugar conforme va desapareciendo la cantidad de combustible disponible.

1.4.3. Efectos del fuego sobre elementos metálicos

El efecto del fuego sobre los materiales metálicos puede describirse como: Aumento de la temperatura en el interior del material, dependiendo del calor. Deterioro superficial del metal, principalmente por oxidación de su superficie aunque resulta más significativo el efecto térmico sobre la difusión de algunas de sus fases hacia el interior del material (Méndez, 2000).

Esta difusión se realiza a través del borde grano por la formación de fases en él, como es el caso del oxígeno. Resulta necesario trabajar con diferentes herramientas para cualificar y cuantificar el efecto del fuego en los metales: herramientas analíticas. Fundamentalmente en el análisis químico de los materiales, tanto másico como superficial. Herramientas metalográfica. Fundamentadas en el análisis metalográfica y la observación microscópica de los materiales y en particular de los metales (Moody *et al.*, 2003).

1.4.4. Determinación de las temperaturas en los elementos metálicos

Para la determinación de la temperatura alcanzada por los elementos metálicos presentes en el escenario del incendio, pilares, correas componentes de maquinas, se realiza una inspección con objeto de determinar el grado de deterioro, el cual se correlaciona tanto por la observación de fusión en algunos materiales como por el hallazgo de deformaciones de fluencia o indicios de corrosión (Ramunni *et al.*, 2006).

El grado de deterioro se puede cuantificar a través de las manifestaciones siguientes:

Zonas fundidas en materiales o piezas. En el escenario del incendio industrial existen gran cantidad de metales y aleaciones metálicas, así como elementos no metálicos, que pueden encontrarse fundido, indicándonos la temperatura que como mínimo alcanzó el incendio en aquellos lugares donde se encuentran. Los de punto de fusión más bajos se ven en muchas ocasiones (aluminios, plásticos).

Los metales de punto de fusión más alta se presentan mas raras veces fundidos en el escenario del incendio, y solo se ven en aquellos casos en que la carga calorífica es muy elevada. El hecho de observar metales de bajo punto de fusión fundidos en un indicio de la temperatura que como mínimo se ha alcanzado durante el incendio, pero no indica la temperatura máxima desarrollada, que puede y de hecho en muchos casos es superior a la temperatura de fusión de dichos metales.

Deformaciones provocadas por la fluencia. Los ensayos de fluencia se realizan para analizar las características resistentes de los materiales en las condiciones

que muestran un comportamiento viscoelástico. Se dice que un material trabaja a fluencia cuando experimenta alargamientos crecientes en función del tiempo, aun para cargas aplicadas constantemente.

Corrosión seca. Todos los metales se oxidan más rápidamente cuando aumenta la temperatura, a excepción de la plata. El calor desarrollado por el incendio sobre superficie metálica hace que se libera oxígeno, que produce una oxidación seca sobre el metal, que se ve incrementada cuando el mismo entra en contacto con el agua empleada en las tareas de extinción. El grado de corrosión es índice del calor al que se ha visto sometido el elemento metálico durante el incendio.

Otro hecho que tiene lugar cuando los metales y sus aleaciones se someten a diferentes temperaturas es la recristalización. El término temperatura de cristalización se refiere no a una temperatura definida por debajo de la cual el proceso de recristalización no ocurrirá, sino a la temperatura aproximada a la que un material altamente trabajado en frío se recristaliza por completo en una hora (Gesnouin *et al.*, 2004).

Los metales puros suelen tener bajas temperaturas de recristalización en comparación con los metales y aleaciones impuras. El zinc, el estaño tienen temperaturas de recristalización inferiores al ambiente. Esto significa que estos metales no pueden trabajarse en frío a temperatura ambiente, ya que se recristalizan espontáneamente, reconstruyendo una estructura reticular libre de tensión (Tarín y Badía, 2006).

Plantea Kuznik *et al.* (2008) que a medida que se alcanza la temperatura superior del intervalo de recuperación, aparecen nuevos cristales en la microestructura, los cuales tienen la misma composición y estructura reticular que los granos originales no deformados y no están alargados, sino que son aproximadamente uniformes. Los nuevos cristales suelen aparecer en las porciones del grano más drásticamente deformadas, por lo general en los límites de granos y planos de deslizamiento.

El agrupamiento átomos del que se forman los nuevos granos se llama núcleo. La

recristalización tiene lugar mediante una combinación de nucleación de granos libres de deformación y crecimiento de estos núcleos para abarcar todo el material trabajado en frío. A mayor cantidad de deformación previa, menor es la temperatura necesaria para iniciar el proceso de la recristalización, ya que habrá mayor distorsión y mas energía interna disponible (Hyuk *et al.*, 2000).

Al aumentar el tiempo de recocido disminuye la temperatura de recristalización. El proceso de recristalización es sensible a cambios en temperatura, otro procedimiento para ver la temperatura desarrollada en el incendio. Otro dato a tener en cuenta es el crecimiento de sufren los granos de la estructura metálica con la temperatura (Polmear, 2006).

Todos los granos crecen al aumentar la temperatura. Los granos grandes tienen menor energía libre que los pequeños, esto se asocia con la menor cantidad del área de frontera de grano; por tanto, en condiciones ideales, el menor estado de energía para un metal será aquel que tendría si estuviera formando un cristal (Askeland, 1998).

1.5. Tratamientos térmicos

Se conoce como tratamiento térmico el proceso que comprende el calentamiento de los metales o las aleaciones en estado sólido a temperaturas definidas, manteniéndolas a esa temperatura por suficiente tiempo, seguido de un enfriamiento a las velocidades adecuadas con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, especialmente la dureza, la resistencia y la elasticidad. Los materiales a los que se aplica el tratamiento térmico son, básicamente, el acero y la fundición, formados por hierro y carbono. También se aplican tratamientos térmicos diversos a los sólidos cerámicos (Callister, 1995 y Pero-Saz, 2002).

Plantean Lienhard y Lienhard (2005) que las características mecánicas de un material dependen tanto de su composición química como de la estructura cristalina que tenga. Los tratamientos térmicos modifican esa estructura cristalina sin alterar la composición química, dando a los materiales unas características mecánicas concretas, mediante un proceso de calentamientos y enfriamientos

sucesivos hasta conseguir la estructura cristalina deseada. Entre estas características están:

- ✚ Resistencia al desgaste: Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.
- ✚ Tenacidad: Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).
- ✚ Maquinabilidad: Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.
- ✚ Dureza: Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar. Se mide en unidades BRINELL (HB) o unidades ROCKWEL C (HRC), mediante el test del mismo nombre.

Según Hoyos (2010), las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros, residen en la composición química de la aleación que lo forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. Los tratamientos térmicos modifican la estructura cristalina que forman los aceros sin variar la composición química de los mismos.

Esta propiedad de tener diferentes estructuras de grano con la misma composición química se llama polimorfismo y es la que justifica los térmicos. Técnicamente el polimorfismo es la capacidad de algunos materiales de presentar distintas estructuras cristalinas, con una única composición química, el diamante y el grafito son polimorfismos del carbono. La α -ferrita, la austenita y la δ -ferrita son polimorfismos del hierro. Esta propiedad en un elemento químico puro se denomina alotropía.

1.5.1. Tratamiento térmico de recocido

Autores como Yakovleva *et al.* (2001) y Smith (2005) consideran que es el tratamiento con el que se condiciona el acero para su fabricación. Este es un término genérico que describe un tratamiento térmico que consiste en calentar hasta una temperatura adecuada, dejar permanecer un determinado tiempo y enfriar correctamente con el fin primordial de ablandar los materiales

metálicos. También se aplica para producir los cambios deseados en otras propiedades o en la microestructura.

El recocido es una práctica muy antigua que se aplica a otros materiales, por ejemplo al vidrio, además de los metales. La palabra recocido significa ablandar por el juego. Sin duda, los artesanos iniciales pensaron que el recocido era el inverso del temple; así si el acero se hacía duro al enfriar rápidamente desde temperatura elevada, debía, por tanto, ablandarse si se enfriaba muy lentamente, y en realidad esto sucede con los aceros al carbono, que fueron los iniciales. Esta idea persistió al menos durante el primer cuarto de este siglo, la dureza se creía proporcional a la velocidad de enfriamiento (Muljono *et al.*, 2001).

1.5.2. Clasificación de los tipos de recocido

Según Massardier *et al.* (2003), en la práctica, se pueden usar ciclos térmicos específicos de una variedad casi infinita para lograr los fines que se buscan en el recocido. Estos ciclos caben dentro de varias categorías que se pueden clasificar de acuerdo con la temperatura hasta la que se calienta el metal y el método de enfriamiento usado. A continuación se presentara la clasificación de este tratamiento térmico y se nombraran detalladamente algunos de los recocidos más empleados a nivel industrial.

Recocidos hipercríticos: Estos tipos de recocidos se realizan elevando la temperatura del material, hasta un valor que se encuentre por encima de la línea crítica superior (Ac_1). Dentro de estos tipos de recocidos podemos nombrar los siguientes:

1. Recocido de homogenización ó difusión: Este recocido se realiza aumentando la temperatura de la pieza hasta obtener austenita completa, es decir hasta una temperatura ubicada entre el intervalo (1 000 – 1 100 °C), seguidamente, al obtener la temperatura adecuada se efectúa en un tiempo de permanencia a temperatura constante y finalmente se enfría al horno.

El recocido de homogenización permite obtener, por tanto, una distribución homogénea de carburos, carbono, elementos aleantes y constituyentes en general; pero presenta un tamaño de grano grande o basto, por lo tanto después

de este recocido es recomendable hacer un normalizado. Este recocido se realiza después de procesos de forja, a piezas obtenidas en procesos de colada ó después de procesos de laminación.

En los aceros rápidos aparecen comúnmente estructuras segregadas y frágiles que exigen tratamientos especiales para evitar grietas posteriores; Machado (2001) es del criterio que es conveniente que estos aceros presenten una estructura uniforme en la que hayan desaparecido las concentraciones de carburos y la distribución dendrítica de los constituyentes que aparecen en el acero en bruto de colada. Para distribuir esta clase de estructuras se debe:

- ✚ Romper por forja o laminación en caliente las masas de carburos segregados para que se alarguen en el sentido de la deformación.
- ✚ Realización del recocido de homogenización que permita obtener una distribución uniforme de carburos en una matriz perlítica fina.

2. Recocido de regeneración o de fase: Este tipo de recocido se hace a temperaturas ubicadas entre 30 – 50 °C por encima de la línea crítica superior y su enfriamiento se debe hacer de manera lenta, usualmente al horno. En este recocido se debe lograr la disolución completa del carbono y elementos aleantes en la austenita; Dentro de los propósitos principales de este tratamiento se pueden mencionar los siguientes:

- ✚ Remover tensiones internas causadas por deformación en frío ó por algún otro proceso.
- ✚ Incrementar la ductilidad y disminuir la resistencia mecánica.
- ✚ Ajustar el tamaño de grano y regenerar las estructuras de los aceros conformados.
- ✚ Eliminar los efectos producidos en la estructura por los tratamientos térmicos ó mecánicos.

En caso del cobre (Pérez, 2001), la calidad del material recocido queda definida no solo por sus propiedades mecánicas, sino, también, por el tamaño del grano recristalizado. El tamaño del grano, en una estructura por entero recristalizada, es bastante homogéneo.

Todas estas aleaciones sufren transformaciones de fase en el estado sólido y se someten al temple sin transformación polimorfa. El temple o tratamiento de la solución sólida persigue dos objetivos: preparar la aleación a fin de realizar el envejecimiento y obtener la máxima ductibilidad para la deformación anterior.

Si un material con acritud se somete al temple, al calentarlo en el se desarrollan los procesos de recuperación y recristalización. Lo mismo que durante el recocido de recristalización, un alto grado de deformación (mayor del 30 %), una baja temperatura y corto tiempo de calentamiento, proporcionan el grano fino. La temperatura de calentamiento para el temple, deberá asegurar la disolución mas completa posible en la fase matriz y encontrarse en el sistema binario entre las curvas de solubilidad del sólido y la línea de este (Arqueros, 2000).

Plantea García *et al.* (2003), que el tiempo de mantenimiento queda definido por la plenitud de los procesos de disolución de las fases en exceso, mientras mas dispersas sean estas fases, con más rapidez se disolverán. Las aleaciones deformadas requieren menos tiempo que las coladas. Si las fases en exceso no se disuelven del todo será imposible adquirir las propiedades óptimas después del envejecimiento. Los calentamientos prolongados, además de ocupar mucho tiempo de los hornos, conducen al crecimiento del grano, a la formación de cascarilla y al aumento indeseable de la zona de difusión, que contiene óxidos del elemento aleado.

El enfriamiento durante el temple debe ser lo suficientemente brusco para evitar que se descomponga la solución matriz en dicho proceso. El temple en agua provoca grandes tensiones térmicas residuales, así como suscita el alabeo y encorvamiento del artículo. Por eso, al elegir los medios de temple, se debe actuar considerando las velocidades críticas (Patiño, 2007).

Las aleaciones de cobre (Mishra *et al.*, 2005) se distinguen por tener alta capacidad de calcinarse, a causa de la elevada conductibilidad térmica. Por ejemplo, incluso los artículos de bronce al berilio que poseen la menor conductibilidad térmica, se templan a una sección de 200 mm. La calidad del metal



templado se controla recurriendo a métodos metalográficos o verificando el valor de la conductibilidad eléctrica.

La temperatura y el tiempo de envejecimiento, en cada caso particular se determinan por vía experimental, considerando las propiedades requeridas del semiproducto o pieza completa. En función del régimen, de las modificaciones estructurales y del conjunto de las propiedades adquiridas, el envejecimiento se clasifica en completo, incompleto y de estabilización.

Un incremento adicional de la resistencia mecánica y dureza en las aleaciones de cobre, se puede conseguir mediante la deformación en frío, independientemente de cuando se efectuó: entre el temple y el envejecimiento o después de estos. La deformación después del envejecimiento no presenta dificultad alguna, puesto que el material es lo suficiente dúctil. En caso de necesidad de alcanzar la máxima conductividad eléctrica, la deformación entre el temple y el envejecimiento resulta más ventajosa (Furukawa *et al.*, 2006).



1.6. Conclusiones del capítulo 1

- ✓ Se pudo determinar que las aleaciones de cobre son ligeras, fuertes y de fácil formación para muchos procesos de producción; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados, así como buena soldabilidad cuando se selecciona el proceso de soldadura adecuado.
- ✓ Se determinó que los conductores eléctricos fabricados con aleaciones de cobre sometido al efecto del fuego, presentan variaciones microestructurales diferentes a cuando se aplica un tratamiento térmico, por la intensidad que alcanza la magnitud del mismo.
- ✓ El fuego ejerce gran influencia sobre los materiales metálicos, ya que con el aumento de la temperatura en el interior del material, provoca su deterioro superficial, principalmente por oxidación de su superficie.

CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

Los elementos conductores gozan de una característica que los hace prácticamente únicos y es la uniformidad de su uso a nivel mundial, por lo que su composición y procesado es prácticamente el mismo en todos los casos. Además se cuenta con transformaciones simples de recocido contra acritud y fusión-solidificación con ausencia de transformaciones alotrópicas, eutectoides y peritectoides que dificultarían su análisis y complicarían los tratamientos a estudiar.

En el capítulo se plantea como objetivo establecer determinar el comportamiento microestructural de elementos conductores fabricados de cobre.

2.2. Composición química del cobre

La composición química estándar de esta aleación según la norma chilena NCh 1339 Of 77 aparece en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición química del cobre

Cobre	Cu + Ag	Bi máx	Pb máx	P
Cu-DHP	99,90	2,5	0,23	0,015 a 0,040

La clasificación del cobre por esta norma, es del tipo Cu-DHP, cobre de la más alta conductividad, dentro de sus elementos, el fósforo, afecta la conductividad eléctrica.

2.3. Plan experimental

Se utilizó una metodología de ensayo en la que se utilizarán diferentes tipos de conductores. Se han escogido cuatro tipologías de conductores de cobre electrolítico con aislante de PVC. La figura 2.1 y 2.2 muestra los calibres de los conductores seleccionados.



Figura 2.1. Conductores unifilares sección 2,5 y 4 mm² con aislamiento PVC.

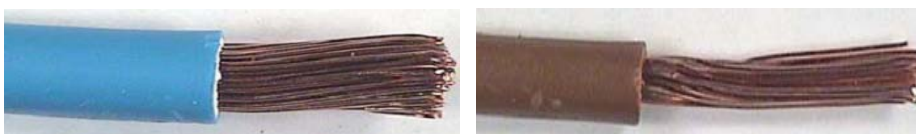


Figura 2.2. Conductor multifilar ,113 y 55 hilos y sección 13 y 6 mm² con aislamiento PVC.

Hemos elegido estas dos variedades de cable unifilar y multifilar por que estos son los utilizados en las instalaciones eléctricas. El cable unifilar es más rígido, mientras que el multifilar es mucho más flexible, estos últimos se usan en electricidad en aplicaciones donde se requiere cierta flexibilidad en servicio o durante su instalación. La flexibilidad de un cable aumenta cuanto menor es la sección de los hilos. Y los diferentes grosores utilizados son para estudiar la influencia de la difusión en cada uno de ellos.

2.3.1. Análisis microestructural

Las microestructuras que se observan se corresponden al cobre sin afectar por ningún tratamiento térmico. La comparación de éstas microestructuras con las que se vayan obteniendo de las pruebas nos deberá mostrar el estado de deterioro del conductor.

Las micrografías se corresponden con las cuatro tipologías de cables conductores elegidas expuestas anteriorente. Se han realizado probetas metalográficas de cortes transversales y longitudinales. La figura 2.3 y 2.4, son del conductor unifilar sección $2,5 \text{ mm}^2$, en sus secciones longitudinal y transversal.

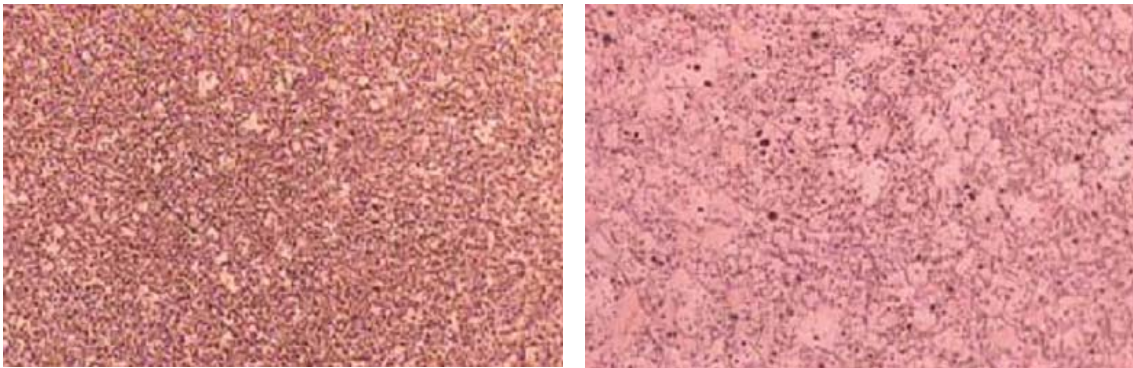


Figura 2.3. Corte transversal del conductor unifilar sección $2,5 \text{ mm}^2$ x100 y x400 aumentos.

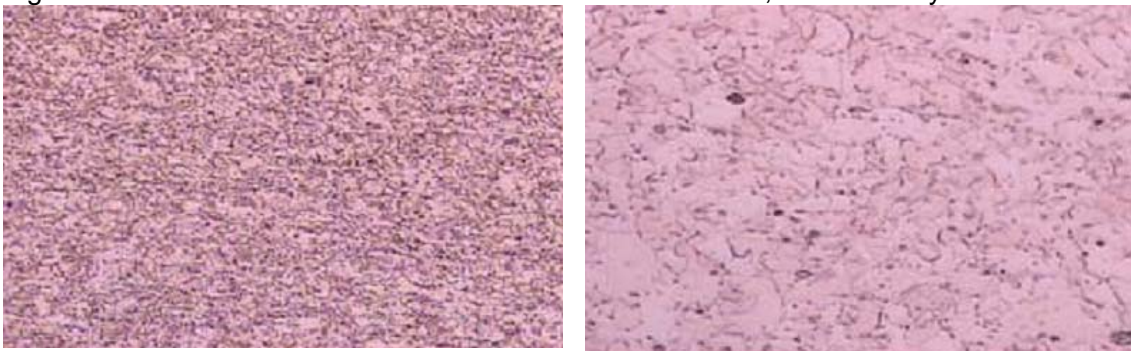


Figura 2.4. Corte longitudinal del conductor unifilar sección $2,5 \text{ mm}^2$ x100 y x400 aumentos.

Para el conductor unifilar de sección de 4 mm^2 , se realizó el mismo procedimiento, las microestructuras de las figuras 2.5 y 2.6 se corresponden con el corte transversal y longitudinal de este conductor.

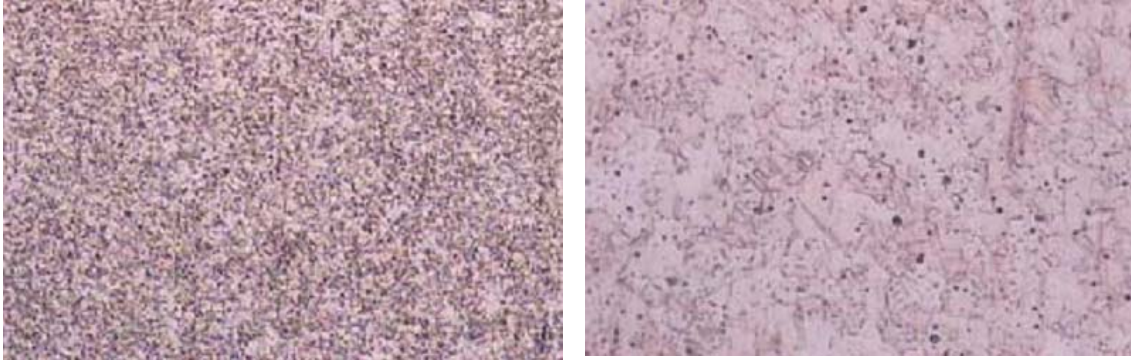


Figura 2.5. Corte transversal del conductor de 4 mm^2 x100 y x400 aumentos.

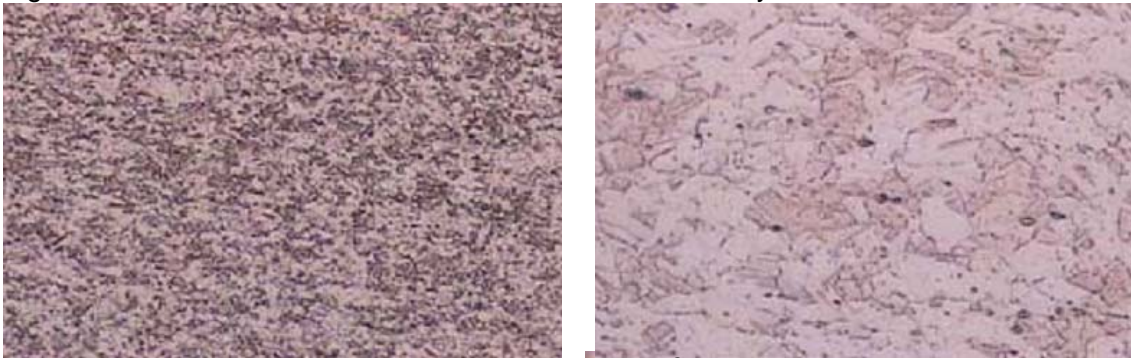


Figura 2.6. Corte longitudinal del conductor de 4 mm^2 x100 y x400 aumentos.

Para los conductores multifilar se procedió a realizar una observación transversal en los hilos componentes de los mismos, luego se realizó el análisis microestructural en la sección transversal y longitudinal de los mismos. En la figura 2.7 y 2.8 se observa el corte transversal y longitudinal del conductor de 113 hilos, de sección 6 mm^2 .

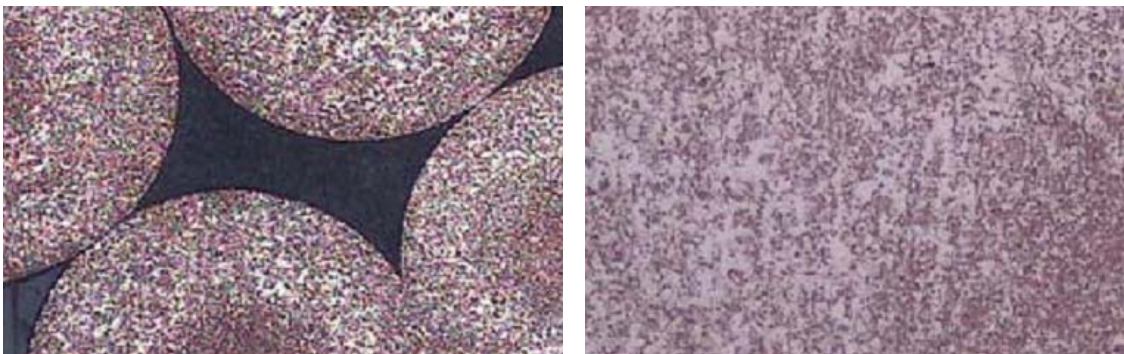


Figura 2.7. Corte transversal del conductor de 113 hilos x100 y x400 aumentos.

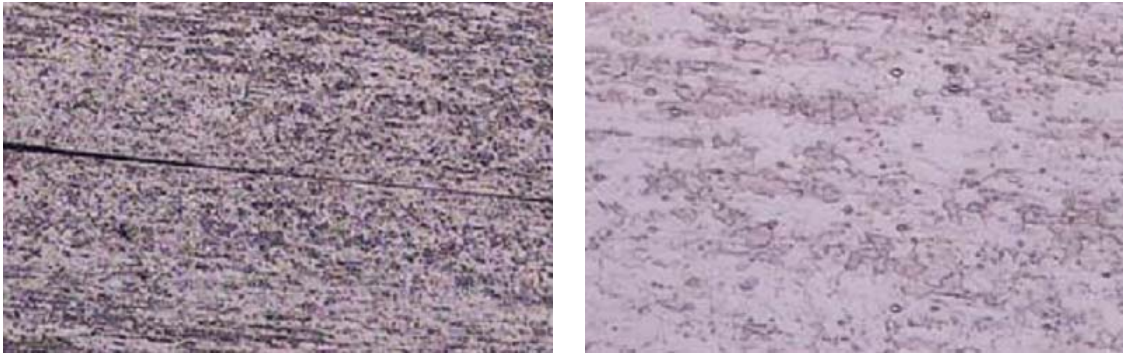


Figura 2.8. Corte longitudinal del conductor de 113 hilos x100 y x400 aumentos.

El conductor multifilar de 55 hilos, su microestructura se muestra en las figuras 2.9 que se corresponde con el corte longitudinal y la figura 2.10 con el corte transversal.

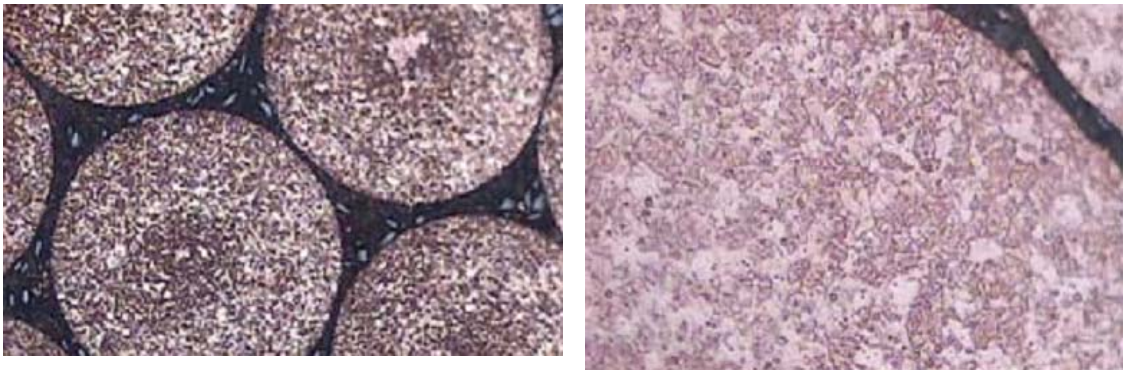


Figura 2.9. Corte longitudinal del conductor de 55 hilos x100 y x400 aumentos.

El corte transversal, se muestra en la figura 2.10.

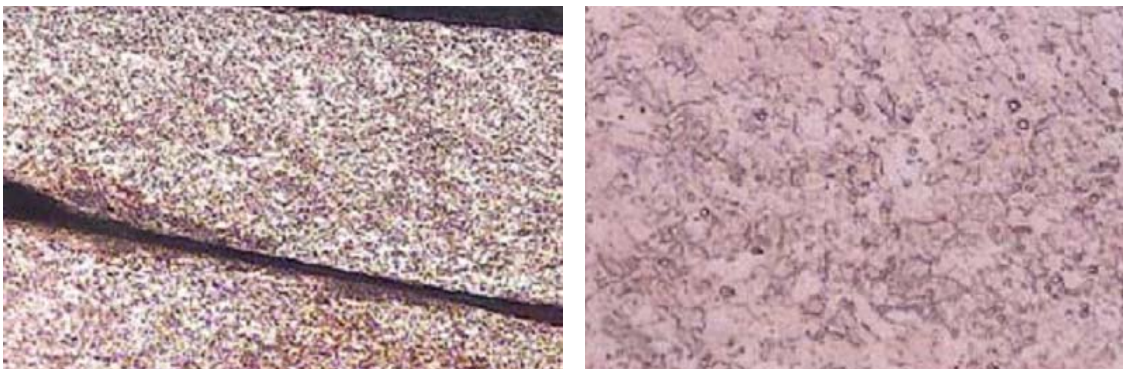


Figura 2.9. Corte transversal del conductor de 55 hilos x100 y x400 aumentos.

Las características microestructurales que habrá que tener en cuenta de las muestras obtenidas de los ensayos, serán las siguientes: tamaño y forma del grano, (dendríticos o equiaxiales), presencia de distintas fases, localización de eutécticos, presencia de poros y tamaño de éstos, precipitados en bordes de

granos, tamaño de capa de óxido, formación de cuellos de sinterización entre hilos, fragilidad del cable, defectos de solidificación, (rechupes, desgarros).

2.3.2. Selección de las muestras sometidas a incendio

Como se realizará el análisis de las microestructuras en conductores eléctricos expuestos a condiciones de incendio, las muestras se recogen una vez examinado el escenario del incendio y encontrado el foco inicial u origen del incendio. Se recogen tanto en el propio lugar del foco inicial como en las partes de la línea donde se espera que se confirme la sobrecarga. Se recoge muestras que se espera que no haga falta examinar si los resultados de los primeros análisis se confirman y que servirían para un análisis más amplio en caso de que los resultados iniciales no confirmaran la teoría propuesta. La figura 2.11 muestra el comportamiento de los cables luego del suceso.



Figura 2.11. Comportamiento de los conductores luego del suceso.

Antes de su recogida las muestras se fotografiaron en la posición en que quedaron tras el incendio, con la intención de que no haya una pérdida de información en ninguna operación. Se recogieron utilizando las tenazas de corte, sin realizar tracciones o flexiones ya que sino se podría modificar la microestructura del cobre. Se ha procurado no golpearlas ni doblarlas ya que pueden desprender las películas superficiales de óxidos o de otros elementos que tuvieran adheridos.

Las muestras recogidas se empaquetaron en bolsas de plástico (figura 2.12) con sistema de cierre hermético de manera que quedaran preservadas de la humedad o de otros materiales que pudieran contaminarlas. Cada bolsa se etiqueta con un código que indica el tipo de muestra.



Figura 2.12. Aspectos de las muestras luego del incendio.

Tras una inspección visual detallada se identifican varios puntos que pueden aportar información y que se prepararán para su observación. Se procedió a tomar fotografías de detalles. Una vez realizadas las fotografías pertinentes, se elegirán las muestras más representativas, es decir las que contengan perlas, más oxidación, estén más deterioradas, y una que no esta deteriorada la cual no servirá de patrón.

2.3.3. Instalaciones eléctricas y aparatos eléctricos

Para dar un entendimiento de nuestro trabajo, se consideran los tipos de instalaciones eléctricas: provisionales y fijas

Las instalaciones eléctricas provisionales son aquellas que han envejecido y el material aislante que las cubre está deteriorado, puede causar incendios por corto circuito o por subir la carga de energía eléctrica en las líneas de distribución, incendiando la estructura sobre la que están instalados los conductores, más aun si la estructura es de madera o de algún material similar.

Las instalaciones fijas son los conductores que deben de ir entubados y la calidad de los materiales deberán cumplir con la norma oficial correspondiente, principalmente en aquellos lugares donde se manejen líquidos y gases inflamables, en cuyo caso las tomas de corriente y registro deberán ser a prueba de explosión.

Los equipos eléctricos defectuosos son también causa frecuente de incendio por corto circuito en lo mismo y transmisión de fuego a materiales combustibles en su

proximidad, tanto en equipos eléctricos como sus cables de alimentación deberán estar en perfectas condiciones.

Según lo expuestos anteriormente, nuestro trabajo se fundamenta en la instalación eléctrica del tipo provisional.

2.4. Equipo empleados en la experimentación

La microestructura tiene una fuerte influencia en las propiedades y en la correcta aplicación de los materiales. Su determinación y control requiere de técnicas metalográficas y microscópicas. El principal objetivo de la caracterización microestructural es revelar los constituyentes y la estructura por medio de microscopía, por lo que son de vital importancia una buena selección y preparación de las muestras a analizar. Este proceso va a posibilitar la comprobación de determinados requerimientos relacionados con la microestructura, como son: la determinación de la composición en la microestructura y su distribución, la caracterización de la morfología de los granos, el estudio de la porosidad existente (tamaño y características de los poros), la presencia oxidación.

2.4.1. Microscopio metalográfico

Se empleó un microscopio óptico binocular marca NOVEL modelo NIM – 100, ubicado en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales del ISMM de Moa, que está dotado de una cámara instalada, el hardware IMI.VIDEOCAPTURE.exe (2006), que refleja la micrografía en el computador. La muestra de la figura 2.13, se corresponde con el microscopio empleado en la experimentación.



Figura 2.3. Microscopio óptico NOVEL modelo NIM - 100.

El microscopio que se observa en la figura 2.13 es de fabricación china, presenta objetivo acromático de 4,10X, 80X, 100 X, para el caso objeto de estudio, la observación se realizará a 50 X.

2.4.2. Corte de las muestras

Para el estudio microestructural de las muestras, es necesario la previa preparación metalográfica que comienza con una etapa de corte de la muestra que se desea estudiar, en nuestro caso, tenemos conductores que poseen varios hilos, se procedió a asegurarlo con cinta adhesiva, para evitar de esta manera que los hilos se separen. Como el objetivo es estudiar la sección transversal y longitudinal de los hilos de cobre, se realizará el corte utilizando como herramienta de corte una tronzadora con refrigeración automática que evite que la muestra se caliente, produciéndole alteraciones en la misma.

La fijación de las piezas durante el corte debe garantizar su estabilidad y fijación, evitando posibles movimientos que puedan ocasionar superficies dañadas.

2.4.3. Ensayos de microdureza

Para la medición de la dureza se trabajo con la norma ASTM NORMA E18 – 89^a. En la caracterización mecánica, primeramente se realizó un barrido de microdureza en todas las microestructuras, tanto de forma longitudinal, como transversal. Se utilizó un microdurómetro Vickers, tal como el que se ilustra en la figura 2.14 aplicando una carga de 100 g, realizando las mediciones cada 500 μm .



Figura.2.14. Microscopio utilizado para el ensayo de microdureza.

Para calcular la microdureza (VHN) se utilizó la formula:

$$HVN = 1,854 \cdot \frac{P}{d^2} \left[\frac{kg}{mm^2} \right] \quad (2.4)$$

$$\text{Diámetro medio} = \bar{d} \text{ (mm)} \dots \bar{d} = \frac{(d_1 + d_2) + (d_3 - d_4)}{2} \quad (2.5)$$

$$\text{Microdureza promedio: } \overline{VHN} = \frac{\sum VHN_1 + VHN_2}{2} \left[\frac{kg}{mm^2} \right] \quad (2.6)$$

Donde:

1,58 - constante

P - peso, kgf/mm²

El número de dureza HV se determina por el tamaño de las huellas (figura 2.15). El comportamiento que tienen los materiales (cobre) frente a la resistencia que estos ofrecen al dejarse penetrar por un material más duro; se estudia con el ensayo de dureza. Los ensayos de microdureza determinan valores de dureza en áreas muy pequeñas, donde se utiliza un indentador de diamante en forma piramidal, que es un material de mucha mayor dureza que la muestra.

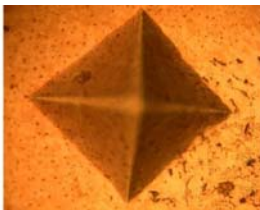


Figura 2.15. Huella de indentación para la medición de la dureza

Para determinar la microdureza (HVN) de las probetas de análisis se realizó el ensayo para una carga de 50 g, donde se midió los diámetros de la huella de la punta de diamante penetrada en un tiempo de 15 segundos, las medidas se tomaron para dos puntos de prueba seleccionados aleatoriamente en la superficie de las probetas. El número de dureza HV se determina por el tamaño de las huellas obtenidas en las diagonales.

2.4.4. Máquina pulidora metalográfica

La pulidora metalográfica empleada es marca MONTASUPAL, la cual está ubicada en el laboratorio de Ciencia de los Materiales del ISMM, para lograr el acabado final, en ella se utilizó un paño de fieltro grueso usando como sustancia



abrasiva el óxido de cromo (Pasta GOI), las características de la máquina aparecen a continuación.

Voltaje.	250 V
Corriente.	2,5 Amp
Número de revoluciones.	300 -1 000 rev/min
Potencia del motor.	3,7 kW

Para eliminar los residuos de partículas, grasas y suciedades se limpió la superficie con agua.

2.4.5. Operación de desbaste

En el trabajo se empezó con lijas de grano 60, pasando sucesivamente por las de 120, 180, 240, 320, 400 y 600. Los papeles de lija fueron apoyados sobre una superficie plana, se frotó en una dirección hasta que se observó en su superficie sólo marcas de desbaste correspondientes al papel que se está utilizando. La dirección de desbaste se giró a 90° al pasar de un papel al siguiente, se realizó la limpieza de la probeta con agua con el fin de eliminar las posibles virutas y restos de granos de la última lija utilizada.

La superficie de la probeta, desbastada hasta el grano más fino y limpia, se pasó por unos paños impregnados en abrasivo. El tipo de abrasivo utilizado en este caso fue pasta GOI y como paño se utilizó el fieltro.

2.4.6. Pulido de las muestras

La superficie de la probeta, desbastada hasta el grano más fino y limpia, se pasó por unos paños impregnados en abrasivo. El tipo de abrasivo utilizado en este caso fue pasta GOI y como paño se utilizó el fieltro.

Los paños, siempre húmedos y con suficiente abrasivo, se sujetaron a un disco giratorio. Se han realizado dos etapas de pulido con el fin de obtener una superficie especular, susceptible de ser atacada y examinada al microscopio.

En nuestro caso para realizar el pulido nos hemos ayudado de unas pulidoras manuales, marca MONTASUPAL. El disco gira, y la probeta, apoyada suavemente sobre él, se hizo girar describiendo círculos en sentido contrario al del disco.



Se han realizado dos etapas de pulido con el fin de obtener una superficie especular, susceptible de ser atacada y examinada al microscopio. Para pasar de una etapa de pulido a la siguiente, la probeta se ha aclarado con alcohol, arrastrando con él restos del primer pulido y evitando así la contaminación del siguiente paño. Una vez terminadas las dos etapas del pulido, se procedió a la limpieza de la probeta, antes de proceder al ataque.

2.4.7. Ataque químico

Antes de atacar, la probeta se le realizó un desengrasado. En este caso, para atacar el material se empleó una solución de Para el ataque químico del cobre electrolítico hemos empleado medio crisol de dicromato potásico con una gota de ácido clorhídrico.

Preparado el reactivo, se vierte un poco en una cápsula en la que se introduce la probeta unos instantes, mojando la superficie pulida. Se detiene el ataque con agua y se observa la superficie. La operación se repite hasta que la superficie a examinar esté bien atacada. Después del ataque se lavó la probeta de nuevo con abundante agua corriente y se secó con alcohol (absoluto) y secada al aire.



2.5. Conclusiones del capítulo 2

- Se establecieron las técnicas experimentales, a través de las cuales se le dará cumplimiento al desarrollo del trabajo, así como la caracterización de cada uno de los equipos y máquinas para validar los resultados a obtener.
- Se fundamentaron las propiedades a investigar, definiendo los principales parámetros a medir a partir en los elementos conductores seleccionados en estado de entrega y su comportamiento microestructural, tanto longitudinal como transversal
- Con la determinación de la microdureza en los elementos conductores luego del efecto del incendio, se podrá determinar las condiciones de deformación que han sufrido las diferentes microestructuras.

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

La evolución microestructural depende de la extensión y proporción relativa de los procesos de restauración durante los tratamientos termomecánicos gobernados por la temperatura de deformación, el grado de deformación, la tasa de deformación y la tasa de enfriamiento después de la deformación, así como por las características del material tales como la energía de falla de apilamiento y el tamaño, distribución y coherencia de segundas fases.

El objetivo del capítulo es realizar el análisis microestructural establecer determinar el comportamiento microestructural de los elementos conductores de electricidad sometido al impacto de fuego, así como la microdureza obtenida.

3.2. Análisis de la microestructura para conductor unifilar sección 2,5 mm²

Fueron observadas las microestructuras obtenidas del conductor unificar de 2,5 mm², se aprecia en las muestras, una superficie con fuerte deterioro en los hilos con fuerte reducción de los óxidos superficiales que provoca la importante pérdida de material.

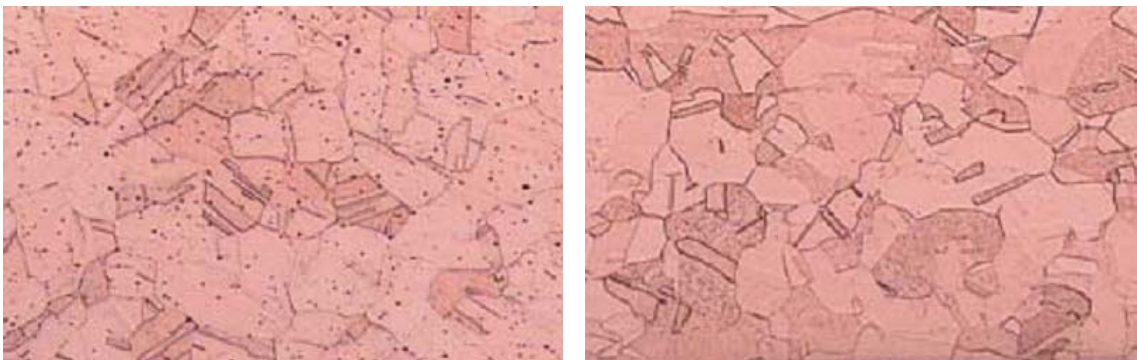


Figura 3.1. Corte transversal del conductor unifilar sección 2,5 mm²

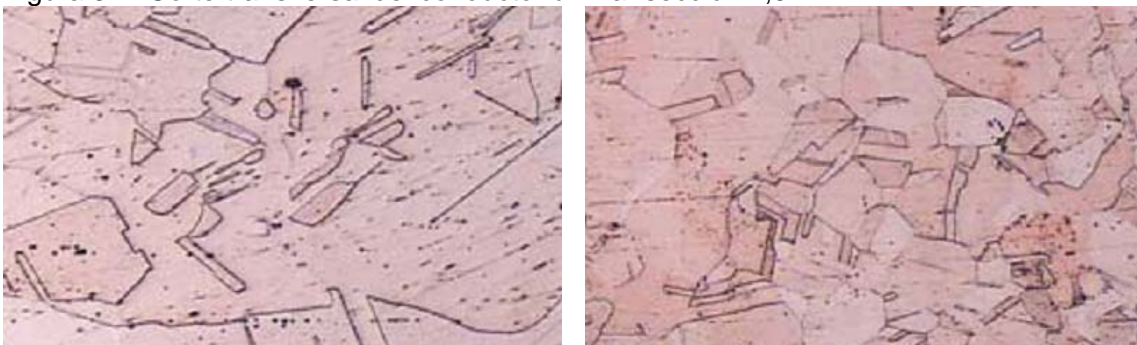


Figura 3.2. Corte longitudinal del conductor unifilar sección 2,5 mm²

En las figuras se observa que, en comparación con las muestras analizadas en el epígrafe 2.3.1 del capítulo 2, estado de entrega, las obtenidas, luego del fuego, se caracterizan por su heterogeneidad microestructural, con granos equiaxiales de diferentes tamaños orientados al azar, de bordes rectos y curvados, con algunas partículas pequeñas de segunda fase dispersas dentro de ellos y maclas térmicas.

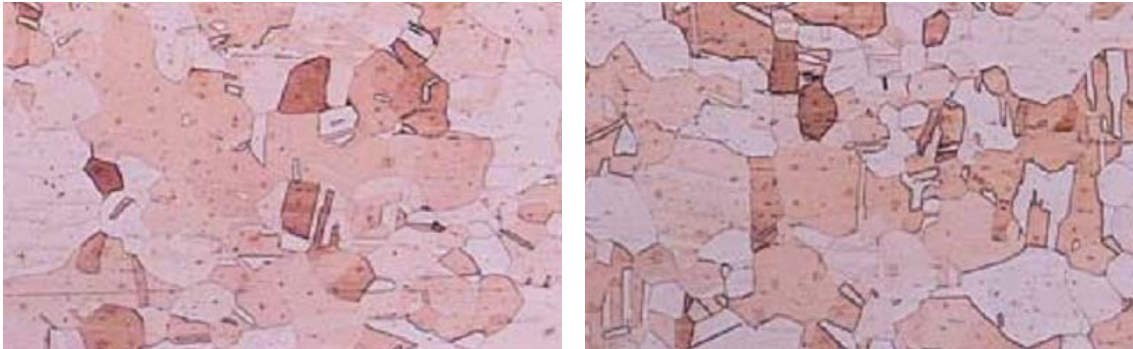
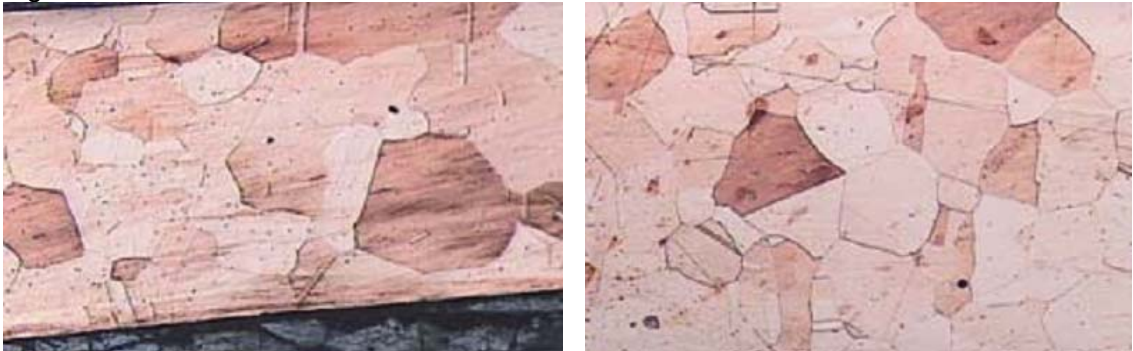
Comparativamente en la secuencia de fotomicrografías presentadas, se observa que el menor tamaño promedio de grano, en apariencia, se corresponde al cobre cuando es sometido a un proceso de normalizado seguido en orden creciente de magnitud por el estado de entrega y después por todas las condiciones de control.

El normalizado, mantiene su heterogeneidad microestructural aunque se observa más refinado, con algunos bordes menos definidos que otros, pero la microestructura sigue conservando en esencia todas las características. Con el aumento de la temperatura, a partir de esta condición normalizada, los bordes de grano se definen más en aspecto y tamaño, adquiriendo una forma más regular y redondeada, aunque se mantiene la heterogeneidad microestructural. La presencia de las maclas persiste para todas las temperaturas.

En tal sentido, los granos de un metal de grano fino recristalizado empiezan a crecer rápidamente, a expensas de otros granos, cuando se calientan a temperatura superior. Este fenómeno se conoce con el nombre de crecimiento anormal de grano.

3.2.1. Análisis microestructural para el conductor unifilar de 4 mm²

Para el conductor multifilar de 4 mm² fueron obtenidas las microestructuras que se observan en las figuras 3.3 y 3.4, la primera se corresponde con el corte transversal realizado al elemento conductor y la segunda con el corte longitudinal, ambas secciones muestran el efecto de la temperatura y su efecto en el tamaño de los granos. Con respecto a esto, es conocida la tendencia de las impurezas a segregarse en las dislocaciones. En metales relativamente puros la concentración de impurezas atómicas segregadas en las dislocaciones puede ser elevada; en particular los átomos de soluto intersticial, como el oxígeno en el cobre.

Figura 3.3. Corte transversal del conductor unifilar sección 4 mm²Figura 3.4. Corte longitudinal del conductor unifilar sección 4 mm²

Con respecto a la muestra patrón obtenida de este conductor unificar, se puede apreciar el engrosamiento de grano y maclas. El comportamiento del tamaño de grano se corresponde con el descrito anteriormente para el esfuerzo de fluencia, con referencia a la temperatura. Es decir, a medida que aumenta la temperatura, se espera la presencia de eventos dinámicos que originen cambios microestructurales en el material tendentes, por lo general, a aumentar su tamaño de grano y disminuir su esfuerzo de fluencia.

En los materiales en los cuales los procesos de recuperación son lentos, tales como los metales de baja y moderada energía de falla de apilamiento (aceros inoxidables austeníticos, níquel, cobre y sus aleaciones), podrían acumularse suficiente densidad de dislocaciones durante la deformación en caliente permitiendo que la recristalización dinámica ocurra durante la deformación, con un fuerte ablandamiento microestructural que se traduce en una reducción de la resistencia del material de modo que la curva de fluencia presenta incluso unos valores máximos de tensión.

Estos máximos caracterizan el conformado en caliente de estos materiales en los conocidos procesos de recristalización dinámica discontinua de pico simple (bajas temperaturas y/o altas velocidades de deformación) o cíclica de picos múltiples (altas temperaturas y/o bajas velocidades de deformación).

3.2.2. Análisis microestructural para el conductor multifilar de 55 hilos

Las microestructuras que se muestran en la figura 3.5 y 3.6 se corresponden con el conductor multifilar de 55 hilos, de igual manera se consideró la sección transversal y longitudinal de dicho conductor.

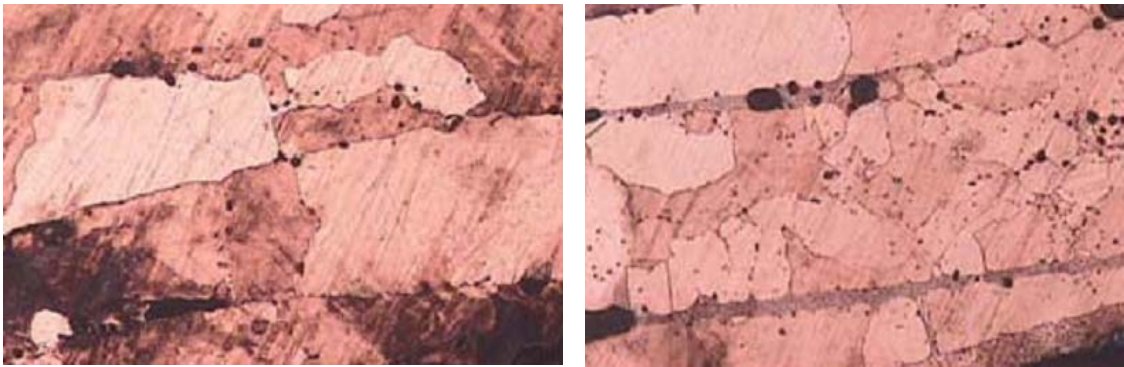


Figura 3.5. Corte transversal del conductor multifilar de 55 hilos.

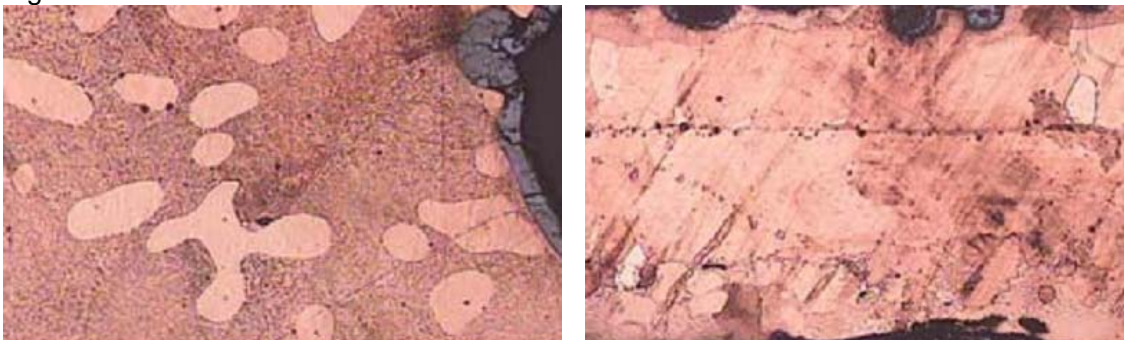


Figura 3.6. Corte longitudinal del conductor multifilar de 55 hilos.

El análisis de la microestructura en los hilos de cobre de la muestra, en su corte y preparación longitudinal, como en los cortes transversales observados, nos indica una fuerte formación de eutéctico cobre - oxígeno, tanto en la superficie de los hilos, como en los espacios entre hilos, por infiltración del material fundido.

El tamaño de grano es muy grande debido al fuerte engrosamiento por las elevadas temperaturas e incluso puede apreciarse el efecto de fusiones incipientes en el material por el redondeo de los granos o de los propios hilos.

El corte transversal, en las figuras, presenta una microestructura de fuerte sinterización entre los hilos con una importante formación de fase líquida que proporciona con su posterior solidificación en los granos y una más que notable formación de cuellos de unión. Se puede apreciar la formación de poros, por lo que puede apuntarse como temperatura alcanzada la que se encontraría entre la transformación eutéctica, 1 064 °C y la de formación de líquido para las aleaciones hipoeutéctica Cu-O, alrededor de los 1 075 °C.

3.2.3. Análisis microestructural para el conductor multifilar de 113 hilos

Para el conductor multifilar de 113 hilos se consideró de igual manera que los conductores anteriores su sección transversal y longitudinal, así como la microestructura patrón planteada en el capítulo 2. Las figuras 3.7 y 3.8, se corresponden con los resultados obtenidos.

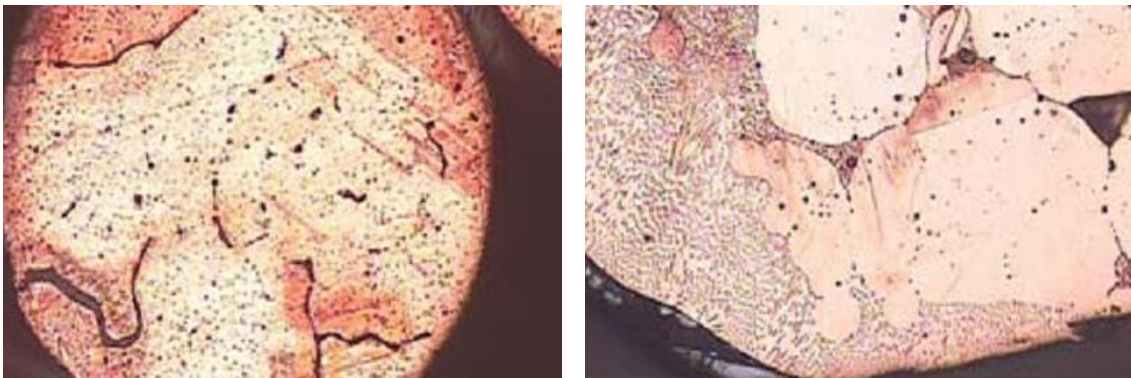


Figura 3.7. Corte transversal del conductor multifilar de 113 hilos.

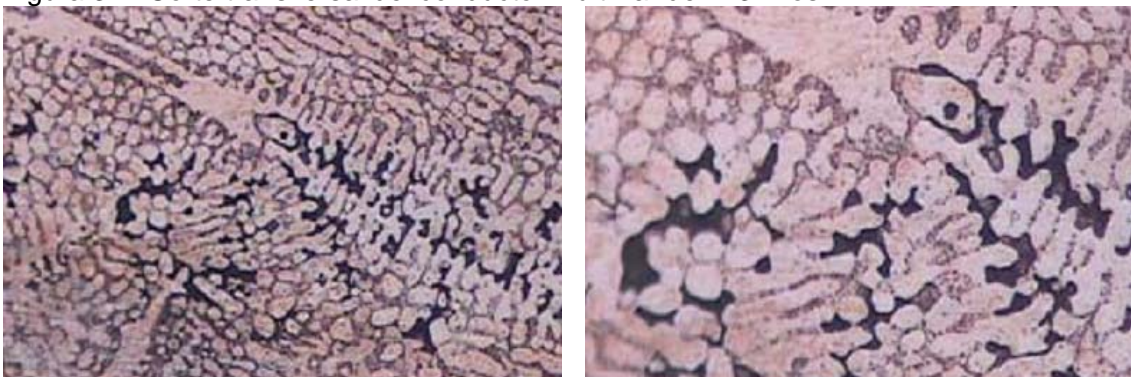


Figura 3.8. Corte longitudinal del conductor multifilar de 113 hilos

Siguiendo con el análisis de las fotomicrografías de las figuras 3.7 y 3.8, para las deformaciones por proceso de fuego, se observa la tendencia hacia una mayor equiaxialidad de los granos que adquieren un aspecto y tamaño cada vez más

regular, sobre todo a la menor deformación, así como una disminución paulatina de las maclas térmicas, hasta llegar a una estructura más homogénea, temperatura a la cual se pueden observar todavía pequeñas cantidades de granos pequeños, en la figura 3.7 se sigue observando la presencia de partículas de segunda fase dispersas en la matriz del cobre, pero en menor cantidad.

La parte con los hilos no fundidos, presenta una microestructura de granos muy groseros provocada por temperaturas muy elevadas de recocido. Además se aprecia en los hilos presentados en las dos figuras una fuerte fragilización en borde de grano provocada, principalmente, por una fuerte oxidación a través del borde de grano al verse sometido a una atmósfera oxidante (frente de llama) y elevadas temperaturas. Con posterioridad, el material se ha visto sometido a una atmósfera reductora, también a elevadas temperaturas, como la que sucede por la combustión de los materiales aislantes de los cables.

En la zona más próxima a los hilos conductores (figura 3.7), aparece una cierta difusión entre el cobre conductor y otros elementos extraños, procedentes muy probablemente del material fundido que envuelve los hilos del cable conductor para mejorar el contacto eléctrico.

En las muestras, los hilos presentan fenómenos de recristalización, con un importante efecto de crecimiento de grano. Este crecimiento de los granos, muy uniforme a lo largo de la microestructura analizada, responde al calentamiento uniforme y repetitivo que los cables conductores pudieran tener en el tiempo de servicio, si que por ello variarían significativamente sus propiedades de resistividad eléctrica.

En la figura 3.8, corte longitudinal del conductor, la zona fundida presenta, por su parte, una estructura de granos dendríticos y de formación de eutéctico en los hilos orientados en el sentido del enfriamiento. La porosidad se acumula alrededor de las dendritas de solidificación y no se aprecia signos de reacción con la atmósfera del entorno, lo que resulta indicativo de que la fusión ha sucedido con anterioridad al fuego y por tanto cuando todavía no se dispone de gases procedentes de la combustión que provocarían en el material una especial

contaminación y además, si el material quedara expuesto a la zona oxidante de las llamas, a un mayor nivel de oxidación que desembocaría en la formación de zonas con transformación eutéctica.

3.3. Análisis de la microdureza en los conductores

Se realizaron mediciones de microdureza (HV) en probetas de cobre nuevo (cobre estándar) para tenerlas como referencia. Las medidas se realizaron a lo largo de las probetas donde el cobre está dispuesto de forma longitudinal. Para determinar los resultados, se consideraron diferentes temperaturas, considerando que los conductores estuvieron sometidos a un ciclo de tratamiento térmico controlado. En la tabla 3.1 se exponen los resultados obtenidos.

Tabla 3.1. Variación de la dureza del con el aumento de la temperatura

Temperatura °C	2,5 mm	4 mm	6 mm	13 mm
32	89,75	88,80	79,33	78,88
950	79,58	64,15	68,44	64,20
975	76,06	55,16	65,01	60,73
1 000	68,54	53,82	59,21	54,46
1 050	58,21	50,98	52,66	51,11

En la tabla 3.1 se puede apreciar la variación de la dureza en cada uno de los conductores con el aumento de la temperatura, para una tasa de dureza en todas las muestras a temperatura ambiente, luego de estar expuestas a condiciones de temperatura hay una disminución de la dureza, típico de los procesos de recocido.

Se han obtenidos menores niveles de dureza en los conductores para el caso de una velocidad y temperatura de deformación mayor, y se produce un ablandamiento del material a partir de cierta deformación, posiblemente debido a que el material recrystalizaría durante la deformación y se alcanza un esfuerzo de estado estacionario.

Propiedades básicas importantes como la resistencia, la dureza, la ductilidad y la tenacidad, son influenciadas de manera importante y modificadas por elementos de aleación y por procesos de tratamientos térmicos. A partir de una dureza de 89,75; dureza en estado de entrega, la deformación plástica en frío origina un endurecimiento del metal que trae como consecuencia una pérdida en la

plasticidad. Los sucesivos trefilados aumentan este endurecimiento y dan lugar a un mayor peligro de rotura. El tratamiento térmico impuesto a los conductores, afectan sensiblemente las características de conducción luego de perder la condición de entrega.

En la figura 3.9 se muestra la comparación del cambio de dureza con el aumento de la temperatura, en las diferentes secciones de los cables.

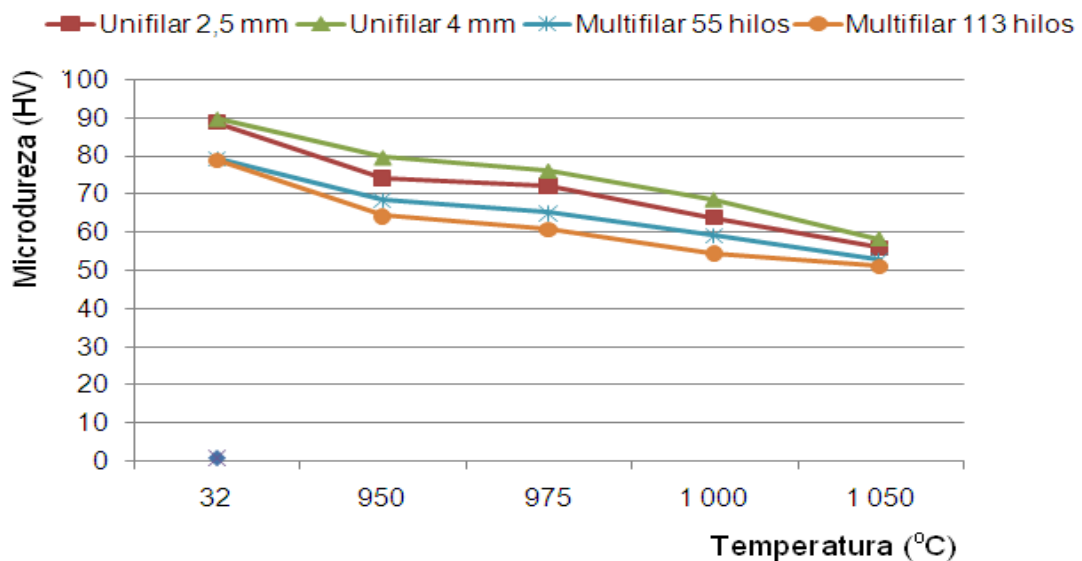


Figura 3.9. Comparación del cambio de dureza con el aumento de la temperatura, en las diferentes secciones de cable

En la figura 3.9 se muestra la variación de dureza con el aumento de temperatura, para el conductor unificar de 4 mm se ha mantenido una mayor dureza, el mismo al presentar mayor diámetro se hace más resistente a las llamas del fuego, precedido por el unificar de 2,5 mm, para el cable multifilar de 113 hilos, es de mayor diámetro por la cantidad de hilos que presenta, pero por poseer esta cantidad, los mismos son de menores diámetro, lo cual lo hace más susceptible a los cambios por altas temperaturas.

3.3.1. Análisis de regresión

El análisis de correlación desarrolla métodos que nos sirven para " para investigar si dos o más variables están relacionadas y para medir la intensidad de esta relación. El análisis de regresión, por su parte, nos ayudara a determinar el modelo o ecuación matemática que mejor representa la relación existente entre las variables

analizadas. Se realizó el análisis de regresión para las variables temperatura como variable independiente la variable dureza como para variable dependiente.

La tabla 3.2 recoge los resultados del análisis de regresión múltiple.

Tabla 3.2. Resultados del análisis de regresión múltiple

Análisis de regresión múltiple				
Variable dependiente: Temperatura				
	Error	Estadístico		
Parámetro	Estimación	estándar	T	P-Valor
CONSTANTE	-13865,4			
Unifilar 25 mm	-1855,3			
unifilar 4 mm	-239,919			
Multifilar 55 hil	3530,41			
Multifilar 113 hi	-993,308			

La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Temperatura y 4 variables independientes.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Temperatura} = -13865,4 - 1855,3 \cdot \text{Unifilar 25 mm} - 239,919 \cdot \text{unifilar 4 mm} + 3530,41 \cdot \text{Multifilar 55 hilos} - 993,308 \cdot \text{Multifilar 113 hilos}$$

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 100,0% de la variabilidad en Temperatura. El estadístico R-cuadrado ajustado, que es más conveniente para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 0,0 %. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 0,0.

El error absoluto medio (MAE) de 1,19035E-9 es el valor medio de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el fichero.

3.3.2. Análisis de varianza

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de carga en las contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha elegido la suma de cuadrados Tipo III (valor por defecto), se ha medido la contribución de cada factor eliminando los

efectos del resto de los factores. En la tabla 3.3, se recoge el resumen del análisis de varianza para temperatura vs dureza.

Tabla 3.3. Resumen del análisis de varianza.

Análisis de varianza					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	745 439,0	4	186 360,0		
Residuo	0,0	0	0,0		
Total (Corr.)	745439,0	4			
R-cuadrado = 100,0 porcentaje					
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0,0 porcentaje					
Error estándar de est. = 0,0					
Error absoluto medio = 1,19035E-9					
Estadístico de Durbin-Watson = 2,62295					
Autocorrelación residual en Lag 1 = -0,347662					

Los P-valores comprueban la importancia estadística de cada uno de los factores. Dado que ningún P-valor es inferior a 0,05, ninguno de los factores tiene efecto estadísticamente significativo en temperatura para un nivel de confianza del 95,0%.

El análisis de las características observadas está basado en la modelación matemática de ellas mediante el modelo lineal. En el ANOVA la repetición de la observación se debe entender como la repetición del experimento, entendiéndose por repetición (réplica) la realización repetida del hecho que se estudia bajo las condiciones que los caracterizan, no es recomendable la utilización de esta técnica para una sola observación.

3.4. Valoración económica

En la evaluación de los distintos materiales aplicables en un proyecto, se debe tener en cuenta no solo el costo de adquisición, sino también el de mantenimiento, reparación eventualmente, el de recambio. El cobre y el equipamiento que lo utilizan implican una mayor inversión inicial; sin embargo cuando se analiza el costo considerando todo el ciclo de vida útil del mismo, resulta extremadamente económico. A pesar que los métodos computacionales ahorran números de corridas, gastos de materiales, se debe tener en cuenta el consumo por concepto de energía eléctrica. La tabla 3.4 recoge la valoración económica del proceso.

Tabla 3.4. Valoración económica

Consumo de máq. en 1 hr	Tiempo de trabajo computadora(hr)	Tarifa eléct. ISMM a 12 hrs diarias	Tarifa del operario 1 hr	Costo total (\$)
350 Watt	25	0,044	18,75	20,62
3,7 Watt	18	0,044	9,78	7,74
1,2 Watt	6	0,044	4,60	1,2
Costo de los conductores				
Conductor	Precio CUP	Total CUP		
Unifilar 2,5 mm	1,32	1,32		
Unifilar 4 mm	1,58	1,58		
Multifilar 55 hilos	2,22	2,22		
Multifilar 113 hilos	3,33	3,33		

Al estimar los costos por concepto de máquina y mano de obra se incurre en un total de 29,56 CUP, por otro lado se tuvo en cuenta el valor de los alambres conductores empleados, donde se incurrió en un costo de 8,45 CUP para un total de 38,01 CUP.

3.5. Valoración del impacto medio ambiental

La base de la existencia de cualquier organización es el producto o servicio que ofrece a la sociedad. Las compañías que cumplen las necesidades de los clientes con productos o servicios atractivos, útiles y de alta calidad encuentran clientes, aquellos que no lo hacen no sobreviven. Así una decisión crítica para los ingenieros es la selección, definición y diseño de los productos. El objetivo de una decisión de producto es la de cumplir las demandas del mercado con una ventaja competitiva.

Actualmente son cada vez más los productos que se diseñan teniendo en cuenta los aspectos medioambientales a lo largo de su ciclo de vida completo. La protección medioambiental integrada se lleva a la práctica como idea global, desde el producto ecológico, pasando por el proceso de producción que protege el medio ambiente, hasta llegar a la reutilización y la eliminación de residuos ecológicos. Todas las áreas quedan incluidas, desde la investigación y el desarrollo, hasta la distribución.

El impacto medioambiental que un producto pueda tener en el medio, está determinado en gran medida por su etapa de diseño. El objetivo actual de las empresas en el mundo, es crear productos que sean medioambientalmente



adecuados a lo largo de su ciclo de vida, para lo cual se invierten muchos recursos en mejorar el diseño de los productos, con el objetivo de minimizar la huella que los productos generan en el medio ambiente.

3.5.1. El fuego en las empresas

En cualquiera de sus manifestaciones el fuego es un enemigo mortal del almacenamiento de información, puede presentarse por múltiples causas y casi siempre es una consecuencia no una causa como tal de desastres. La protección contra incendios y otras catástrofes, principalmente cuando hay mercancías, equipos e instalaciones y recursos humanos, la misma exige una planeación cuidadosa. En el caso de incendios no basta contar solo con un conjunto de extinguidores adecuado, sino también sistemas de detección y de alarma. Además se debe contar con el entrenamiento óptimo del personal. Los incendios son causados por el uso inadecuado de los combustibles, fallas de instalaciones electricas defectuosas y el inadecuado almacenamiento y traslado de sustancias peligrosas

El fuego es una de las principales amenazas contra la seguridad es considerado el enemigo numero uno de las computadoras ya que puede destruir fácilmente los archivos de información y programas. Desgraciadamente los sistemas antifuego dejan mucho que desear, causando casi igual daño que el propio fuego, sobre todo en los elementos electrónicos. El dióxido de carbono actual alternativa al agua resulta peligroso para los propios empleados si quedan atrapados en la sala de computo.



3.6. Conclusiones del capítulo 3

- ❖ Las microestructuras obtenidas han permitido observar y analizar los importantes cambios a los que están sujeta la aleación de cobre, al ser sometidos al proceso de incendio tanto en la sección longitudinal, como en la sección transversal.
- ❖ Fue caracterizado el comportamiento microestructural de los conductores unificar de 2,5 mm, el unificar de 4 mm, así como el multifilar de 55 hilos y el multifilar de 113 hilos, los cuales por sus características presentan diferentes estructuras.
- ❖ Se caracterizó las incidencias medioambientales que inciden en el proceso de incendio, así como elementos del fuego que afectan en las empresas.



Conclusiones generales

- ❖ Las microestructuras analizadas en los conductores eléctricos unificar de diámetro de 2,5 mm, el de 4 mm, en los multifilar de 55 hilos y el de 113 hilos, se pudo determinar que en su corte longitudinal y transversal las estructuras obtenidas son de granos equiaxiales de diferentes tamaños orientados al azar, de bordes rectos y curvados, engrosamiento de grano y maclas y de formación de eutéctico.
- ❖ Al realizar el análisis de microdureza, se comprobó que existe una disminución de la dureza de 89,75 HV para el conductor unificar de 2,5 mm, hasta una dureza de 51,11 HV para el multifilar de 113 hilos luego del tratamiento térmico de recocido impuesto por el fuego.
- ❖ Al realizar la valoración económica donde se consideró el tiempo empleado en la preparación de las muestras, mano de obra, el precio de los conductores, se incurre en un costo de 38,01 CUP.
- ❖ El fuego, como enemigo número uno en las empresas afecta grandemente al ecosistema, la pérdidas de grandes recursos, al ser humano y al medio ambiente, lo anterior está relacionado con las emanaciones de gases, vapores y humos.



Recomendaciones

- ❖ Someter la aleación de cobre a proceso de tratamiento térmico, según las temperaturas consideradas en este trabajo para comparar las microestructuras obtenidas en condiciones de tratamiento forzado.
- ❖ Considerar en próxima investigación, las características del óxido cuprico que se origina en la superficie de los conductores, luego de estar expuestos a condiciones de incendio.

BIBLIOGRAFÍAS



Referencias bibliográficas

1. Anderson, R. Surface Analysis of Electrical Arc Residues in Fire Investigation Journal of Forensic Sciences Vol. 34, May, pp. 633 - 637.y 1:4, 1539 – 1544, 1989.
2. Arqueros, L. Propiedades mecánicas del cobre endurecido por dispersión de alúmina, obtenida por molienda reactiva y extrusión en caliente. Memoria para optar al título de Ingeniero de Ejecución Metalúrgico, Universidad de Santiago de Chile, Marzo 2000.
3. Askeland, D., La Ciencia e Ingeniería de los materiales. Grupo Ed. Iberoamérica, México, 1998.
4. Babrauskas, V. Fires due to Electric Arcing: Can 'Cause' Beads Be Distinguished from 'Victim' Beads by Physical or Chemical Testing? Fire and Materials pp. 189 – 201, 2003.
5. Bullock, R.; Chesert, R.; Clifton, G. Guidelines for the management of severe head Injung. The brain trauma foundation. 1995.
6. Callister, W. Introducción a la ciencia e Ingeniería de los Materiales. Reverté S.A. México. 1995.
7. Clarke, C. Evaluation of fire damaged copper wire. Advanced Materials & Processes, April 2006.
8. Ettling, B. Electrical Wiring in Building Fires. V. Fire Technology 14, 317 – 325, 1978.
9. Fiallos, V. Resistencias eléctricas OHMIO". [en línea], 3 de julio del 2011. Disponible en: <http://www.hotmail.com>. 3-07-2011.
10. Furukawa, M.; Fukuda, Y.; Oh-ishi, K.; Horita, Z.; Langdon, T. An investigation of deformation in copper single crystals using equal-channel angular pressing. Materials Science Forum 503 - 504 (Nanomaterials by Severe Plastic Deformation), 113 – 118, 2006.
11. García, J.; Espinoza, R.; Palma H.; Sepúlveda, A. Deformación a alta temperatura de aleaciones de cobre endurecidas por dispersion, NUCLEOTECNICA 23 (37), 7 – 15, 2003.



12. Gesnouin, C.; Hazarabedian, A.; Bruzzoni, P.; Ovejero, J.; Bilmes, P.; Llorente, C. Effect of post-weld heat treatment on the microstructure and hydrogen permeation of 13CrNiMo steels, *Corrosion Science* 46 1633 – 1647, 2004.
13. Humphreys, J. Recrystallization, Materials Science Center. The University of Manchester, [On-Line]. 2006. Disponible en la web: <http://www.recrystallization.info>
14. Hoyos, P. Efecto de la técnica de pases de revenido en las propiedades mecánicas del acero ASTM A743: Grado CA6NM, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, 2010 Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co>
15. Hyuk, S.; Cheol-Kim, R.; Park, K. Microstructure Changes in Equal Channel Angular Pressed Low Carbon Steel by Static Annealing. *Acta Materialia*, (48) 3245 – 3252, 2000.
16. Kuznik, F.; Virgone, J.; Noel, J., Optimization of a phase change material wallboard for building use, *Applied Thermal Engineering*, 28 (11-12) 1291 – 1298, 2008.
17. Lee, E. Discrimination between Primary and Secondary Molten Marks on Electric Wires by DAS. *J. Applied Fire Science* 9, 361 – 379, 2000.
18. Levinson, D. Copper metallurgy as a diagnostic tool for analysis of the origin of building fire. *W. Fire Technology* 13, 211 – 222, 1977.
19. Lienhard, J.; Lienhard, J. A heat transfer textbook, PhlogistonPress, 2005.
20. Lugo, N.; Cabrera, J.; Puchi, E.; y Prado, J. Deformación a alta temperatura bajo condiciones de deformación variable de un acero ARMCO. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.* Vol. 18 (2), pp. 47 – 61. 2003.
21. Machado, J. Desarrollo de un ciclo térmico de recocido estático para la producción de un acero para estampado extra-profundo. Trabajo final de especialización en Siderurgia, USB. Caracas, 2001.
22. Massardier, V., Guétaz, V.; Yoshida, H. Study of the role of played by nitrogen on deep-drawing properties of aluminum killed steels sheets obtained after continuous annealing. *Material Science Forum*, Vol. 462-432, 1267 – 1272, 2003.



23. Méndez, V. Impacto ambiental producido por el proceso de combustión en calderas. Tesis para optar por el grado científico de M. Sc. en Ciencias. Universidad de Cienfuegos, (C.F), 2000. 92 p.
24. Mishra, A.; Richard, V.; Gregori, F.; Asaro, R.; Meyers, M. A. Microstructural evolution in copper processed by severe plastic deformation. *Materials: Properties, Microstructure and Processing* (2005), A410-A411 290-298.
25. Moody, N.; Thompson, A.; Ricker, R.; Was, G. Hydrogen Effects on Material Behaviour and Corrosion Deformation Interactions, Jones, editors. ISBN: 0-87339-501 - 8. TMS, 2003.
26. Montoliu, A. El fuego y la electricidad en instalaciones de baja y alta tensión. Fundación Mapfre. 2007
27. Muljono, D., Ferry, M., Dunne, D. Influence of Heating Rate on Anisothermal Recrystallization in Low and Ultra-Low Carbon Steels. *Materials Science and Eng. A*, 303 (A), 90 – 99, 2001.
28. Patiño, D. Comportament de coure comercial pur processat per deformació plàstica severa (ECAE), Febrero 2007.
29. Pérez, R. Molienda reactiva de aleaciones en base Cobre. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico, Universidad de Chile, Abril 2001.
30. Pero-Sanz, J., Ciencia de los materiales. *Metalurgia Física: Estructura y Propiedades*, Editorial DUSSAT SA, 3ra Edición. España. 2002. pp 393 – 502.
31. Polmear, I., *Light Alloys, from traditional Alloys to Nanocrystals*. Ed. Elsevier 2006.
32. Pons, G. *Dinámica del fuego. Origen y causa de los incendios*. Ed. Abisal. 2003.
33. Prasad, Y.; Rao, K. Mechanisms of high temperature deformation in electrolytic copper in extended ranges of temperature and strain rate. *Materials Science and Engineering A*. 3 (74) 335 – 341. 2004.
34. Quintero, O. *Aleaciones Férricas Especiales*. Departamento de Ciencia de los Materiales. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. 1994 Cap. 2.



35. Ramunni, V.; De Paiva-Coelho, T.; De Miranda, P. Interaction of hydrogen with the microstructure of low-carbon steel", *Materials Science and Engineering A*, 435 - 436 504-514, 2006.
36. Singh, R. Scannig electrón miroscoy of burn electric wires. *Scanning Microscopic* 2007.
37. Smith, W. *Fundamentos de la ciencia e Ingeniería de materiales*, Concepción Fernández España, Madrid. 2005.
38. Tarín, R.; Badía, P., *Apuntes Aleaciones Ligeras (guiones y figuras)* E.T.S.I. de Aeronáuticos, 2006.
39. Yakovleva, I.; Karkina, L.; Khlebnikova, Y.; Schastlvtsev, V.; Tabatchikova, T. Evolution of the Lamellar Pearlitic Structure upon Annealing of Carbon Steel: I. Crystallography of Cementite Spheroidization. *The Physics of Metals and Metallography*, 92 (6) 602 – 609, 2001.
40. Yasuaki, H. Analysis of soldered wire burnt in a fire. *J. Forensic Sci*, January, 51 (1) 2006.