



ESCUELA NACIONAL DE  
CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y MUSEOGRAFÍA  
"MANUEL DEL CASTILLO NEGRETE"  
CIUDAD DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE CONSERVACION, RESTAURACION Y MUSEOGRAFIA  
"Manuel del Castillo Negrete"

**INVESTIGACION Y RESTAURACION DE UNA CAMPANA DE COBRE DE  
SANTUARIO MAPETHE**

D.I., Constructor de Instrumentos de Percusión  
Gerardo Ramos Olvera

Königinstr. 51  
8000 München 22  
República Federal de Alemania

Munich, Alemania a 23 de noviembre de 1992

## INDICE

PREFACIO	1
INTRODUCCION	3
Parte I	
HISTORIA DE LAS CAMPANAS	4
LA FUNDICION DE LAS CAMPANAS	6
COMPOSICION METALOGRAFICA DE LAS CAMPANAS	6
ACUSTICA DE LAS CAMPANAS	7
LA TECNICA DE LA SOLDADURA	11
Soldadura oxiacetilena	12
Soldadura eléctrica	13
Soldadura de argón	13
Metal de aportación	14
Fundentes	14
Deformaciones	15
Hornos de caldeo	15
Chaflanes	16
Acabados	16
Parte II	
LA CAMPANA DE SANTUARIO MAPETHE HGO.	17
HISTORIA DE LA CAMPANA DE MAPETHE	18

COMPOSICION METALOGRAFICA	18
Campana de Santuario Mapethé	
ACUSTICA DE LA CAMPANA DE MAPETHE	19
APLICACION DE LA SOLDADURA	20
Campana de Santuario Mapethé	
Acabados	23
Formación de la pátina artificial	24
EXPERIMENTACION PREVIA	24
RESULTADOS	26
CONCLUSIONES	27
APENDICE	
BIBLIOGRAFIA	30

## Prefacio

La Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel del Castillo Negrete" (ENCRM), ha apoyado durante varios años los trabajos de conservación y restauración de los bienes culturales de la Iglesia del Poblado de Santuario Mapethé, Hidalgo. Se ha dado asistencia principalmente a los trabajos de conservación y restauración de pinturas de caballete, restauración de un órgano tubular, así como la de una campana rajada de cobre que es objeto de esta investigación. Actualmente se pretende trabajar con uno de los cinco retablos que alberga esta Iglesia por presentar principalmente problemas estructurales. La oportunidad de intervenir en dicha obra resulta un trabajo importante y apasionado para el restaurador y lo lleva a indagar constantemente sobre nuevas técnicas y posibilidades en la conservación de nuestro legado cultural.

De los diversos talleres que existen dentro de la ENCRM, el taller de metales es relativamente el más reciente y por esa razón el que más necesita de una ardua experiencia para ir conformando con bases sólidas los conocimientos tan específicos sobre la problemática en la conservación y restauración de piezas metálicas. La oportunidad de conquistar terrenos nuevos en esta rama se inicia precisamente con la restauración de una de las campanas de Santuario Mapethé.

Este trabajo se realizó en un periodo de un año y medio (de octubre de 1990 a febrero de 1992), primero durante el desarrollo de mi servicio social y posteriormente como profesor de la ENCRM.

La redacción de este trabajo se llevó a cabo durante los meses de octubre y noviembre de 1992 en la República Federal de Alemania, en la cual me encuentro ahora continuando con mis estudios.

Quiero recalcar que para apoyar ésta investigación, realice un registro fotográfico que abarca todas las facetas de la misma. Esta parte visual de mi trabajo cumple hoy en día funciones didácticas en la ENCRM y no está a mi alcance.

Como un gran ejemplo de las posibilidades del trabajo interdisciplinario, quiero agradecer, el asesoramiento, apoyo técnico-científico y material por parte de la UAM-X y de la UNAM. Quiero antes que todo mencionar el trabajo del Sr. Roberto González, técnico en metales de los talleres de Diseño Industrial de la

UAM-X. Su asesoría, la gran experiencia en el manejo del equipo de soldadura, y sobre todo su gran interés por la investigación son cosas que agradezco infinitamente, ya que corriendo graves riesgos físicos pasamos dos días soldando la campana y todo esto incondicionalmente. Los análisis metalográficos fueron realizados por el Dr. Rickarts; el asesoramiento y análisis acústicos los llevó a cabo el Dr. Ricardo Ruiz, del Centro de instrumentos, ambos laboratorios pertenecientes al Instituto de Física de la UNAM. A ambos agradezco su apoyo científico, sin el cual no habríamos podido intervenir la campana y obtener los resultados que apoyan esta investigación. Al D. I. Carlos Rico de los talleres de diseño industrial de la UAM-X. por su asesoramiento y por el préstamo de todo el equipo necesario para llevar a cabo la soldadura, gracias. Agradezco igualmente a la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel del Castillo Negrete", quien tuvo la confianza en mi persona, cargando ella con la responsabilidad principal sobre la investigación. Además sin su apoyo económico este trabajo no se habría realizado; quiero mencionar a la Cons. María del Carmen Castro por su apoyo en los criterios de restauración, a la Cons. Ilse Cimadevilla Cervera, por la realización de la pátina y al fotógrafo Jesús Gonzalez, por la realización del video durante el proceso de soldado y estudios acústicos.

Quiero agradecer al profesor Daniel Guzmán (ENCRM) su apoyo en la culminación de la investigación, al ayudarme a colocar la campana.

Una de las satisfacciones personales más gratas de esta investigación es el ver nuevamente la campana en el lugar donde ha plasmado su historia, cumpliendo nuevamente sus funciones. Se cima así el primer escalón en la conservación y restauración de pequeñas campanas de Iglesia.

## INTRODUCCION

Las campanas durante siglos han tenido una fuerte influencia en la sociedad, y el significado que puedan representar para ésta, no sólo desde el punto de vista ideológico sino como un medio de comunicación no puede dejarse olvidado. Sin embargo cuando una campana se raja pierde un gran porcentaje de su sonoridad y al desaparecer esa esencia se corre el riesgo de que una determinada comunidad olvide ese significado cultural, aunque en ningún momento pierda su belleza estética y su estancia histórica.

El trabajo tan eficiente que ha realizado La Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel del Castillo Negrete" (ENCRM) en el poblado de Santuario Mapethé, Hidalgo, ha sido la base para que los habitantes de este lugar tuvieran la confianza de dejar en nuestras manos parte de su legado cultural con el fin de abrir nuevos campos dentro de la conservación y restauración.

A partir de 1990 se tuvo la posibilidad de intervenir una de las nueve campanas que alberga la Iglesia de Santuario Mapethé de las cuales tres están rajadas. La participación de los alumnos del taller de metales de la ENCRM, consistió en la realización de su historia clínica y limpieza y por medio de algunos reactivos químicos tratar de acercarse a su composición metalográfica y con ésta implementar un proceso para el control de corrosión. Dicho trabajo no pudo concluirse por la carencia de material especializado.

Entre 1991 y principios de 1992 se tuvo la oportunidad de llevar a cabo un trabajo interdisciplinario con otras instituciones (UNAM y UAM-X) que cuentan con los recursos técnico-científicos que hacían falta para la restauración de la campana. Con tal apoyo se evaluó el criterio que uno debía seguir para realizar la intervención por medio de la soldadura y devolverle así su función sonora.

Si nuestra campana de estudio la vemos únicamente como un objeto de exposición, el criterio de restauración que se lleva a cabo consiste en resanar las grietas con resinas sintéticas. Pero considerando que una campana es un instrumento musical, el criterio de restauración debe girar en torno a recuperar su función sonora sin olvidar en ningún momento sus estancias históricas, estéticas y culturales.

La soldadura, como un medio capaz de devolver la brillantez sonora a la campana, me dirige a proponer un modelo de investigación y experimentación muy serio, como consecuencia de la poca información con la que contamos en nuestro país sobre la fundición, acústica y restauración de campanas, a pesar de que existen en México algunos lugares con tradición en la fundición de las mismas, como es el caso de Tlahuelompa, Hidalgo.

Esta carencia de experiencia en restauración de campanas nos obliga a apoyarnos en aquellas áreas técnico-científicas, tales como análisis metalográficos y acústicos, técnicas de soldadura, así como una amplia experimentación, indispensables para poder llevar a cabo la restauración de este tipo de instrumentos musicales.

Este proyecto está dividido en dos partes. La primera corresponde a una investigación bibliográfica histórica sobre el desarrollo, la fundición y acústica de las campanas así como de algunas técnicas de soldadura. La segunda corresponde a la parte técnico-experimental que fue la que me llevó a la conclusión de mi investigación obteniendo resultados más importantes de los que esperaba.

## **HISTORIA DE LAS CAMPANAS**

Las campanas han acompañado al hombre a través de varios siglos de historia y es muy probable que su nacimiento se haya dado en la edad de Bronce. En Babilonia se dejaban escuchar las campanas por el año 1000 AC.. En China fueron famosas las de carrillón, de las que nos cuentan las crónicas de la dinastía Chou ( 1150 al 250 AC.). Fueron los Griegos y Romanos los que empezaron a fabricar campanas de dimensiones más grandes. La implantación de la doctrina cristiana en el mundo occidental fue la causa de que éstas llegaran a poblados pequeños y con el paso de las décadas a las grandes ciudades<sup>1</sup>.

Desde un principio se le utilizó para ahuyentar espíritus maléficos, en especial durante la celebración de cultos primitivos, para la celebración de la Misa y para avisar a la población de peligros<sup>2</sup>. Actualmente las campanas siguen siendo empleadas en los servicios religiosos, como instrumento musical y como medio de comunicación.

Con el transcurso del tiempo la forma ha ido cambiando. Se cree que la primera forma que adoptó fue la de un plato, posteriormente la de una olla hasta la forma que conocemos actualmente que pudo haber nacido de algún instrumento musical en forma de maraca o panal.

La campana se desarrolló de dos diversas maneras: la oriental y la occidental. La oriental adquirió forma de barril alargado, con paredes de grosor constante. La occidental se desarrolló en la forma de copa con un agujero al centro para colgarse de un dedo<sup>3</sup>.

La forma occidental de la campana siguió desarrollándose. En el siglo IX aproximadamente, se le agregó un cinturón alrededor de la boca para evitar que se rompiera con el impacto del badajo. La adición de éste cinturón o arco sonoro es el responsable del tono característico de la campana que conocemos actualmente.

Los primeros sonidos musicales traídos por los europeos a estas tierras fueron de carácter bélico según narran crónicas de ese tiempo. Ahí se mencionan trompetas, tambores, etc..

A nuestro país la campana fue introducida después de la conquista. Bernal Díaz del Castillo ya la consideraba en sus crónicas junto con los órganos tubulares, las flautas, chirimías, cascabeles, trompetillas, etc.. En el siglo XVI ya estaba presente la campana en la iconografía musical mexicana<sup>4</sup>.

Para el siglo XVII las campanas son ya elementos de orgullo y preocupación en las construcciones religiosas. En este siglo y en el posterior, las catedrales del país se engalanaron con campanas de grandes proporciones: en Puebla se construye para la catedral la campana nombrada Santa María con un peso de 136 quilates y magnífica sonoridad, según se narra en la Gazeta de México que se publicaba por aquellos días.<sup>5</sup>

La construcción de campanas se vió favorecida con el ingenio de arquitectos, maestros constructores, herreros-fundidores y estudiosos de la Acústica<sup>6</sup>. A este respecto es importante mencionar que la campana más grande del mundo en función es la de la Catedral de Colonia (RFA), conocida con el nombre de Friburgo. Fue fundida en 1258, pesa 25 toneladas y mide 1.80 mts de altura. Esta es superada en sus dimensiones sólo por una campana que fué fundida en 1733 en Moscú llamada Kolokol; pesa 196 toneladas, mide 5.8 mts de altura y 6.9 mts

de diámetro y la parte más gruesa de sus paredes alcanza los 70 cm.. Esta campana, que es la más grande del mundo está fuera de función.<sup>7</sup>

Las campanas no lograron captar la atención y el desarrollo que los Organos Tubulares recibieron de maestros de capilla, chantres, organeros y maquineros.

### **LA FUNDICION DE CAMPANAS**

El proceso de fabricación ha continuado siendo el mismo hasta nuestros días apoyándose actualmente en la tecnología tan avanzada de nuestro tiempo. Así mismo se han hecho campanas de diversos materiales: hierro, cobre, latón, etc.. Actualmente se realizan en bronce por sus excelentes resultados acústicos.

La campana se divide en dos partes principalmente: el vaso y el badajo.

Para fabricar el vaso o campana propiamente dicho se forma su contorno en moldes por medio de plantillas metálicas con la forma de la campana, posteriormente se moldea una falsa campana de arcilla quebradiza del tamaño de la que se desea obtener y se cubre con una ligera capa de cera agregándole los adornos también en cera. Una vez seco todo el conjunto (con la ayuda de una hoguera) se extrae la falsa campana y en el espacio que ocupaba, se vierte el metal fundido. Al enfriarse este, se rompen los moldes (interno y externo) y se le da el acabado final que consiste en eliminar pequeños defectos de fabricación. En caso de ser necesario afinarlas se elimina material del interior.

### **COMPOSICION METALOGRAFICA DE LAS CAMPANAS.**

La aleación óptima para la construcción de campanas es el bronce compuesto por un 78% de cobre y un 22% de estaño ; sin embargo encontramos campanas que incluyen en su composición: plomo, zinc, hierro, magnesio, níquel, así como impurezas.<sup>8</sup>

Antiguamente estaba extendida la creencia de que cuanto más caro y noble fuera el metal con que se fundieran (oro o plata) mejor sería su calidad sonora. Sin embargo, recientes estudios han comprobado que campanas con pequeños

porcentajes de oro y plata no logran acercarse a la calidad sonora de las campanas que contienen la aleación ya antes mencionada además de repercutir de igual manera los excelentes conocimientos y habilidades por parte del campanero.

El principal componente del bronce es el cobre el cual se funde a  $1083^{\circ}\text{C}$ . Este proporciona buenas características para la aleación: alta resistencia a la corrosión y una excelente conductibilidad térmica. Sin embargo el cobre no es un metal de considerable dureza. En el trabajo en caliente, pasando los  $200^{\circ}\text{C}$  sus propiedades de conductibilidad, ductibilidad y resistencia al impacto disminuyen<sup>9</sup>.

Los bronces son aleaciones de cobre y estaño del 2 al 20%. Contenidos más altos de estaño, del 20 al 25% se encuentran únicamente en bronces especiales tales como los de las campanas.<sup>10</sup>

La ya mencionada aleación para campanas por su alto contenido de estaño, provoca que el bronce sea un material quebradizo y reduce así considerablemente su resistencia. Sin embargo estos porcentajes en la aleación proporcionan una mayor impermeabilidad y un tono más agradable y brillante.

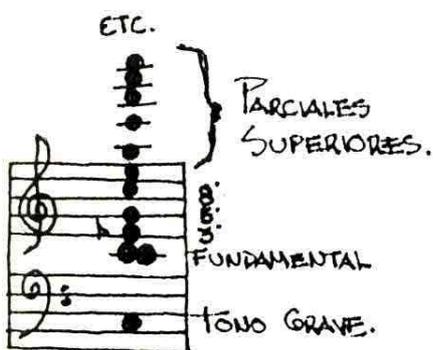
## **ACUSTICA DE LAS CAMPANAS**

Desde el siglo XV algunos países como Inglaterra y Holanda ya habían logrado una excelente calidad sonora en la construcción de sus campanas; contaban con un complejo patrón tonal teniendo la oportunidad de corregir aquella campana que no alcanzara un tono aceptable eliminando material del interior.<sup>11</sup>

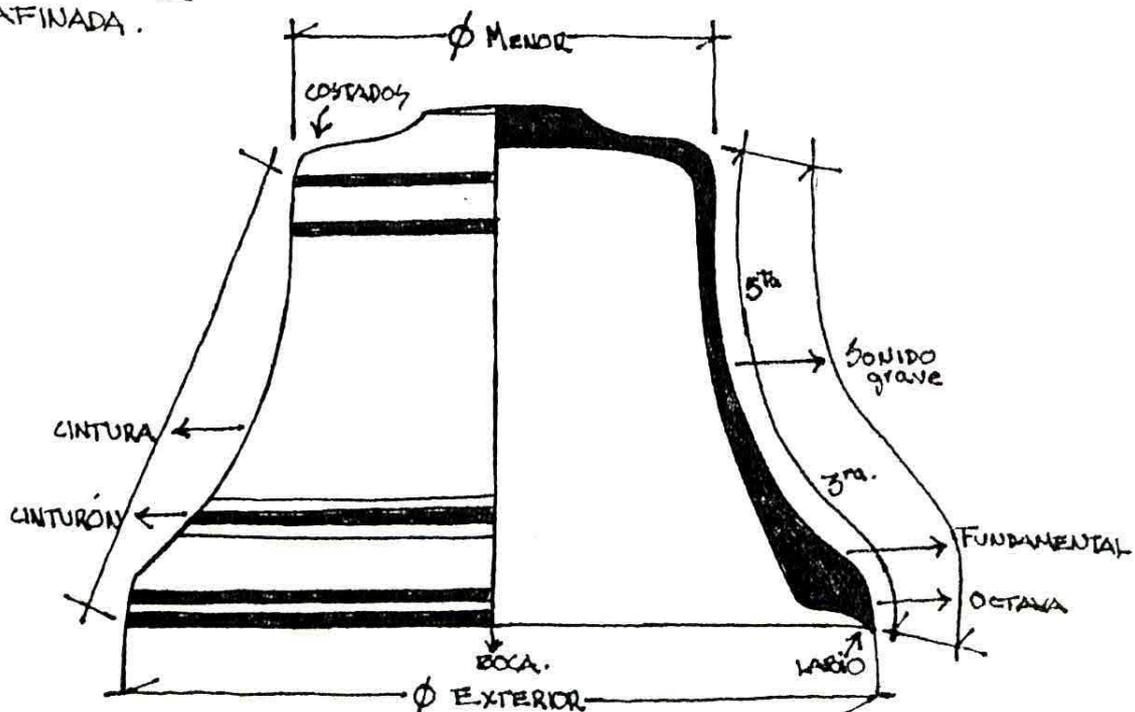
La construcción de campanas es una combinación de conocimientos y habilidades: El diámetro del arco sonoro se calcula de acuerdo a la nota que se desea obtener y esto a su vez determina el ancho de las paredes, la altura y la densidad del material.

A las campanas se les considera como placas vibrantes (como la tecla de una Marimba) en cuanto a la forma en que vibran y el tono que emiten. Debido a que los cálculos acústicos son muy complicados<sup>12</sup>, se necesitan experimentos para determinar las frecuencias fundamentales y los sobretonos por medio de analizadores de espectro sonoro.

Al sonar una campana, por ser esta un cuerpo vibrante se mueve simultaneamente en muchos modos distintos y generan muchas frecuencias diversas denominadas parciales. El parcial de frecuencia mas bajo recibe el nombre de fundamental y las frecuencias superiores corresponden a los sobretonos ó parciales conformando estos la calidad sonora.



SERIE TONAL  
DE  
UNA CAMPANA  
PERFECTAMENTE  
AFINADA.



LOCALIZACION DE LOS SOBRETONOS  
EN UNA CAMPANA.

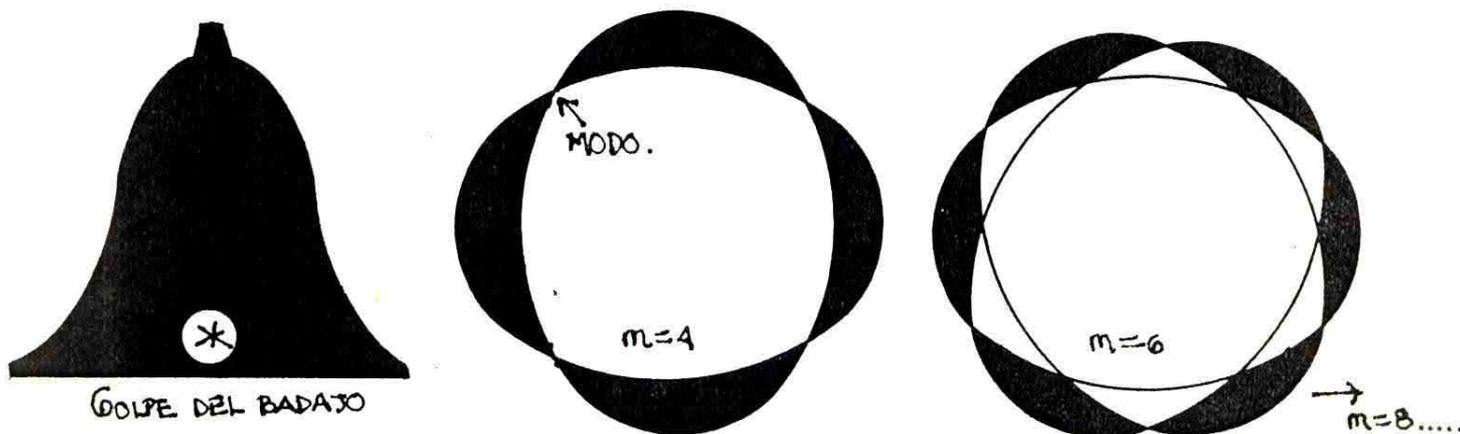
Las leyes físicas concernientes a la relación de barras, placas o bloques de diferentes tamaños y formas nos permiten entender la acústica de los instrumentos de percusión; estos instrumentos incluyen además de las campanas, diapasones, xilófonos, marimbas, etc.<sup>13</sup>.

Las fuerzas nodales producidas en las vibraciones de flexión de las placas pueden ser visibles mediante un método desarrollado en 1787 por físicos tales como Kirchhoff, Thomson, etc.. Este experimento consiste en colocar arena sobre una placa; ésta al golpearla empieza a vibrar provocando que la arena se dirija hacia las zonas nodales (zonas estáticas).

Una campana es un cuerpo de una gran complejidad acústica. Sus parciales no pueden desarrollarse mediante razones aritméticas simples, a diferencia de lo que ocurre en una cuerda completamente elástica o en una columna vibrante de aire (una Flauta).

Por lo tanto en las campanas, un incremento de grosor y elasticidad del material vibrante aumentará su frecuencia de vibración, mientras que los incrementos de diámetro y densidad disminuyen la frecuencia de vibración.<sup>14</sup>

Cuando golpeamos una campana vibrará simultáneamente en un gran número de modos divididos en líneas nodales de dos distintas clases: las que se dirigen de arriba hacia abajo (meridianos nodales) y las que la rodean (círculos nodales).

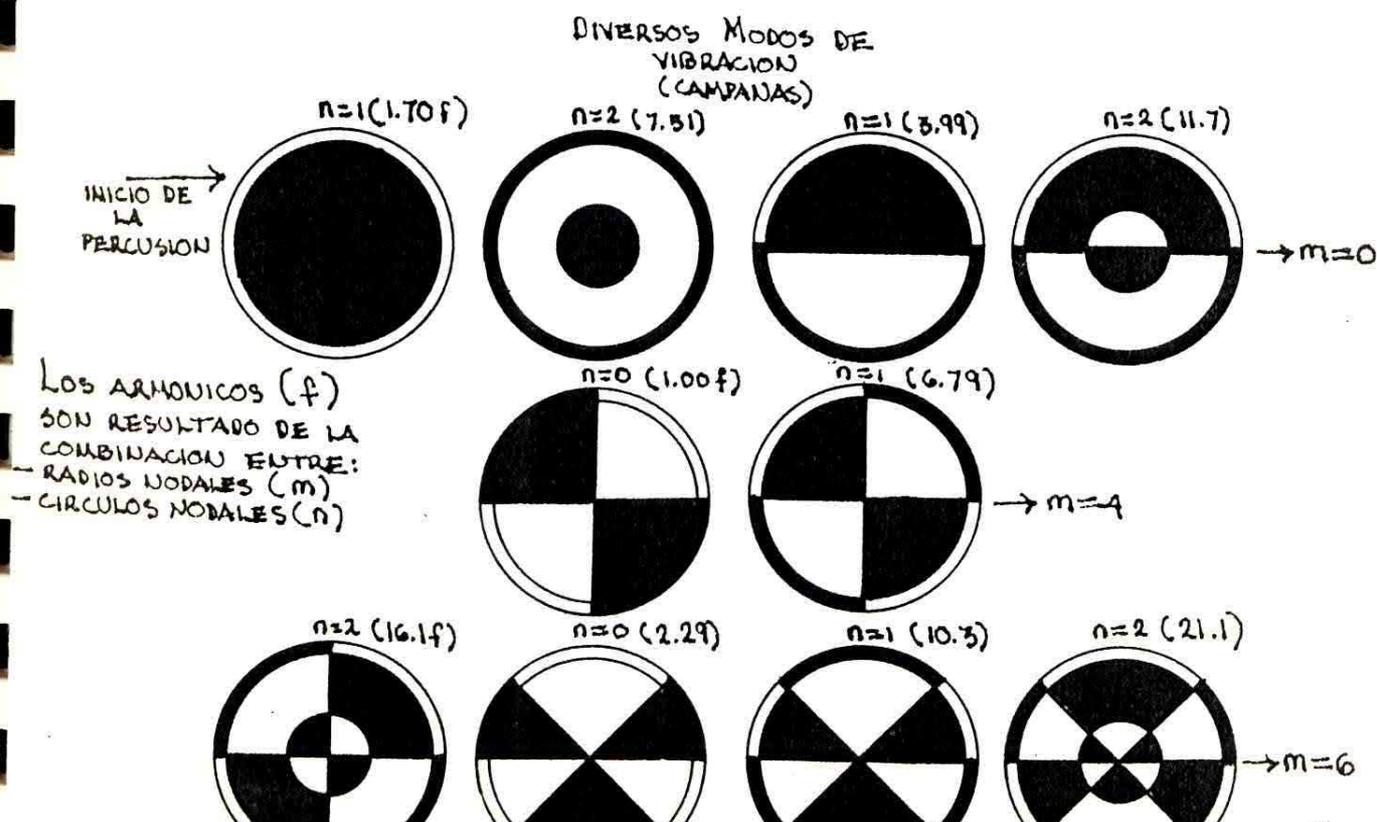


Movimiento del borde de la campana  
después de su percusión.

Meridiáanos nodales: si nos imaginamos una campana seccionada dando un corte longitudinal tenemos exactamente la forma de un diapasón y que además acústicamente funciona como tal (los extremos vibran de un lado a otro).

Círculos nodales: nos imaginamos otra campana seccionada; pero ahora con cortes transversales. Comprobamos que resultan varios anillos los cuales no sólo muestran diámetros distintos, sino que además sus grosores son diferentes. Cada aro por consiguiente, vibrará de manera desigual y cuando sea golpeada la campana por el badajo sonarán a la vez tonos agudos y bajos, armoniosamente entremezclados. Todas estas vibraciones se irán superponiendo en el interior de la campana y produciendo un conjunto de sonidos de más de cien armónicos (sonidos simples) diferentes.

En resumen podemos decir que la calidad tonal de una campana se le confiere al denominado timbre y es el resultado de los diversos modos de vibración que adopta este cuerpo al ser golpeado. La frecuencia más grave se denomina fundamental y éste depende del ancho y del diámetro del arco sonoro (cinturón), que es aquella zona donde golpea el badajo. Los sonidos restantes están formados o por sobretonos o por parciales que no corresponden entre sí ya que dependen de la combinación de radios nodales ( $m$ ) y círculos nodales ( $n$ ).



Es importante mencionar que una campana con defectos acústicos, podría ser corregida dependiendo de la gravedad de éstos, ya sea limando o cincelando la parte interna de la campana. Actualmente en muchos talleres estas correcciones se realizan en tornos.

Aunque una campana haya sido construida con éxito, siempre quedarán incógnitas de como sonará una vez instalada en el campanario.

Muchos físicos en acústica afirman que no es posible que dos campanas lleguen a sonar idénticamente. El tamaño, el grosor, el peso, la densidad del material el ritmo de las oscilaciones, así como el tamaño y material del badajo forman la sonoridad tan peculiar de cada campana. Y en este conjunto no podemos dejar de mencionar el papel que juega el aire que se genera en el campanario, actuando éste como un tubo de órgano gigante, dando cuerpo y proporcionando la plenitud a los tonos de una campana.

Aunque hemos comentado que probablemente las campanas existen desde hace varios milenios, el campanario como construcción independiente no empezó a generarse en la arquitectura occidental hasta el siglo IX.

## **LA TECNICA DE LA SOLDADURA**

Por el año 600 A.C. se empezó a utilizar la primera técnica de soldadura que consistía en la forja . Esta técnica consiste en el calentamiento del metal al rojo vivo y por medio de golpes lograr unir las piezas metálicas. Para poder facilitar la unión de dichas piezas se utilizaba un fundente de arena de cuarzo con el propósito de eliminar la escoria.<sup>15</sup>

En la actualidad la avanzada tecnología de la soldadura nos brinda un gran número de posibilidades para poder lograr esa unión íntima entre dos ó más piezas de cualquier tipo de metales.

## PROCESOS DE SOLDADURA AUTOGENA.

POR FUSION	CON PRESION	AMARILLA
Gas oxiacetilénica	Forja ó calda resistencia óhmica (tope ó puntos)	Fuerte Blanda
Eléctrica arco voltáico inducción.		

Para nuestro estudio veremos unas de las principales características de tres métodos de soldadura que creemos que podrían funcionar para la restauración de la campana del poblado de Santuario Mapethé.

### SOLDADURA OXIACETILENA

Consiste en la unión del acetileno con el oxígeno (acetileno). La flama del acetileno produce una temperatura de 3400°C aproximadamente.

El oxígeno es el elemento principal para que se produzca la combustión y el acetileno produce el calor. La unión de las juntas se puede producir con o sin metal de aportación por efecto de la fusión localizada en los bordes a soldar.

La soldadura oxiacetilena ofrece la ventaja de soldar cualquier metal casi con cualquier espesor. Además de que existe independencia entre la flama, el metal base y el de aportación. El manantial de calor puede existir sin la fusión del metal base y el de aportación, los cuales pueden fundirse por separado.

Una mala aplicación del calor puede producir deformaciones muy serias.<sup>16</sup>

## SOLDADURA ELECTRICA

Este método se empezó a utilizar en 1914. Produce una temperatura de 3500°C aproximadamente. La corriente eléctrica junto con el electrodo ó metal de aportación son los responsables de que se genere el arco eléctrico; osea de la fusión simultánea del metal base con el de aportación.

Todos los metales no ferrosos son difíciles de soldar con el arco eléctrico. Dada su gran conductibilidad térmica. A pesar de esto se venden electrodos para metales no ferrosos, en este caso el cobre y sus aleaciones..

Las deformaciones que produce este método son mínimas en comparación con la oxiacetilena gracias a que el calor del arco se concentra más sobre la zona que se desea soldar.<sup>17</sup>

## SOLDADURA DE ARGON

Podemos decir que es una combinación de la oxiacetilena con la eléctrica. Tiene una punta de tungsteno que es la que produce el arco eléctrico y el argón es el que genera la flama. Al combinarse, ambos generan una temperatura arriba de los 4000°C. Gracias a su potencia no es necesario calentar a altas temperaturas la pieza a soldar y así no disminuir las características físicas del metal base, con la ventaja de que si se sabe usar correctamente esta técnica no se corre el riesgo de una deformación seria en la pieza a soldar ya que el calor es muy concentrado permitiendo una fusión rapidísima de las juntas.

Si no se tienen las precauciones debidas los tres métodos pueden resultar fatales. Siempre hay que fijarse que el equipo esté en perfectas condiciones y no empezar el trabajo sin un equipo adecuado para la protección del cuerpo.

Cabe recalcar que además de las características antes mencionadas acerca de los diversos métodos de soldadura, existen otros instrumentos que facilitan el trabajo al momento de soldar una pieza , aportando también ciertas propiedades físicas, sobre todo de resistencia. A continuación hablaremos brevemente de dichos instrumentos.

### Metal de aportación.

Consiste en una aleación de bajo punto de fusión, con un buen escurrimiento al momento de soldar (esto significa que el material nuevo pueda penetrar en cualquier lugar a una temperatura más baja del metal original) y una excelente resistencia mecánica.

El metal de aportación esta preparado en barras cilíndricas de diámetros de 2 hasta 8 mm.. Tiene un costo relativamente elevado , pero por sus características físicas al momento de realizar el trabajo, como por ejemplo: rapidez en el trabajo, ahorro de energía ó gas, etc., el costo se compensa.<sup>18</sup>

### Fundentes

En la ejecución de cualquier tipo de soldadura se recomienda que las superficies a unir estén perfectamente limpias. Como se ha mencionado el metal base junto con el de aportación debe dar lugar a una perfecta adherencia. Para lograrlo, es necesario conseguir un fundente capaz de disolver los óxidos y otras impurezas. Los fundentes son polvos de una combinación de borax y ácido bórico además de algunas sales minerales.

Para el cobre y sus aleaciones se recomiendan los CUPXITE. Otras características que nos da el fundente es que baja el punto de fusión tanto del material base como del metal de aporte, además de que nos proporciona mayor resistencia mecánica.<sup>19</sup>

Como conclusión podemos decir que los fundentes:

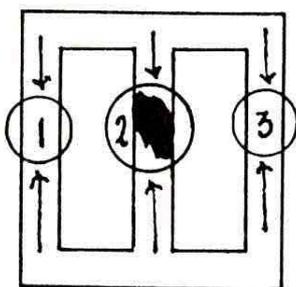
- hacen subir a la superficie las impurezas del metal.
- anulan las reacciones químicas que se pueden presentar durante el trabajo.
- protegen al metal base de la oxidación actuando como elemento reductor.
- y producen una unión mas homogénea entre el metal base y el de aportación dando al mismo tiempo una mayor resistencia mecánica.

## Deformaciones

Las piezas soldadas por fusión no se deforman como consecuencia del método de soldadura, sino por el efecto de una ley física y mecánica (tensiones internas del material) . Y en general la deformación dependerá de la forma, las dimensiones y la naturaleza del metal que se vaya a soldar.

Bajo la acción del calor, la pieza se dilata y al enfriarse ésta, se contrae. Si la dilatación y la contracción no se pueden producir libremente la pieza tenderá a deformarse.

Para controlar tales tensiones es necesario calentar total o parcialmente dependiendo de las características de cada metal.<sup>20</sup>



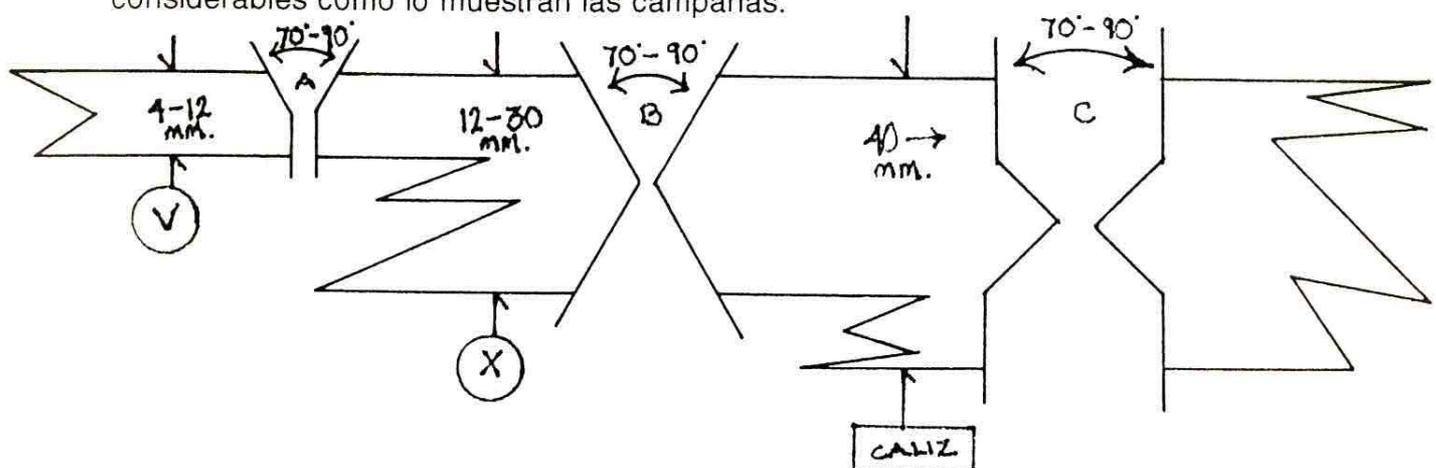
1y3 aplicación del calor hasta terminar;  
la unión. (tensiones internas)  
2 unión.

## Hornos de caldeo.

En las reparaciones de objetos de fundición (campanas u otros) frecuentemente se necesita hacer un caldeo o calentamiento previo de la pieza a fin de evitar rupturas debido a las tensiones internas del material. Se recomienda fabricar hornos con ladrillo refractario denso para evitar pérdida de calor y asegurar un enfriamiento lento. Un cambio drástico de la temperatura podría provocar que el material se cristalice y pierda resistencia al impacto.

## Chaflanes

Para confiar plenamente en la unión de la pieza soldada es muy importante la preparación de la misma. Se le debe practicar un chaflán para asegurar que la soldadura penetre con facilidad hasta el nacimiento de la grieta; de lo contrario los resultados no serán confiables sobre todo cuando se trata de grosores tan considerables como lo muestran las campanas.



Estos dependen del grosor que se vaya a soldar.<sup>22</sup>

El ángulo de apertura del chaflán varía entre 70 y 90°C ; sin embargo, siempre es preferible una apertura mínima, lo que permite un número menor de pasadas al momento de soldar y dificulta la inclusión de escorias en la junta, las cuales actúan disminuyendo la resistencia.

Los chaflanes se pueden hacer con máquinas herramientas o con el soplete de corte oxacetilénico.

## Acabados.

Para eliminar bordes o sobrantes de soldadura se puede recurrir a las máquinas herramientas y herramientas manuales. Si es necesario igualar el color del metal nuevo con el metal original se puede recurrir a infinidad de técnicas de pátinas artificiales.

## LA CAMPANA DE SANTUARIO MAPETHE HGO.

Anteriormente se había mencionado la importancia ideológica-cultural que representa una campana para muchísimas comunidades. Pero sabemos que además de su función sonora tiene importancias de otro tipo: Históricas y estéticas.

Pero una campana rajada al perder su sonoridad pierde una parte importante de su esencia y como consecuencia provoca que una determinada comunidad pueda olvidar su significado cultural e ideológico por el hecho de no escuchar un sonido brillante y armonioso.

La restauración de la campana de Santuario Mapethé Hgo., surge como una oportunidad de recuperar esos valores culturales que resultan ser tan importantes para los habitantes de esta comunidad así como para ver si en un futuro existe la posibilidad de restaurar todas aquellas que sufren los mismos daños.

La campana de Santuario Mapethe por el hecho de estar rajada ya no tenía función sonora. La recuperación del sonido como una de las principales metas de dicha intervención nos llevó a la conclusión de que un método de soldadura era la única opción viable para recuperar su tañido y preevenir un deterioro mayor.

La intervención a esta campana hizo necesario el estudio de las áreas científicas, técnicas y culturales que van relacionadas a la construcción de campanas. tales como: historia, técnicas de fundición, principales materiales constructivos, acústica de barras. Y en este caso procesos de soldadura, así como una amplia experimentación.

Considero importante mencionar que los expertos fundidores de campanas son de la idea de volver a fundir aquellas campanas rajadas; esta opción trae consecuencias no sólo en la pérdida de diseños, sino también en pérdidas de las características físicas en el material (metal). Esto es grave, sobre todo cuando ya se le tiene conceptualizada por parte de sus usufructuarios.

La intervención se llevo a cabo con la aprobación de los responsables del comite de restauración de la comunidad de Santuario Mapethe.

## **HISTORIA DE LA CAMPANA DE SANTUARIO MAPETHE**

La historia de esta campana es difícil de conocer; por lo tanto no es posible dar una fecha exacta de su fundición, pero es probable que sea de principios del siglo XIX ; tampoco es posible saber el nombre del autor.

Proviene del templo de Santuario Mapethe Hidalgo, localizado en el Valle del Mezquital. Se cree que esta campana pudo ser fundida en este Estado por tener tradición en el trabajo de los metales. Por su forma puede decirse que corresponde al desarrollo de la técnica occidental del siglo IX aproximadamente.

Actualmente el campanario de este Templo alberga nueve campanas, tres de ellas están rajadas. Todas son diferentes entre sí y corresponden a épocas distintas de construcción.

## **COMPOSICION METALOGRAFICA**

### **Campana de Santuario Mapethe**

Al inicio de la investigación se pensaba que la composición metalográfica era bronce. Pero para proponer la técnica de soldadura más viable de acuerdo a la aleación del metal fue necesario hacer un estudio metalográfico con muestras que se tomaron de las grietas. Este análisis se llevó a cabo por medio de una técnica conocida con el nombre de difracción de rayos X dirigida por el Dr. Rickarts en el Instituto de Física de la UNAM. Este método no proporciona los porcentajes exactos de los metales constructivos de la aleación, pero por medio de las gráficas se pudo calcular porcentajes relativos. El análisis de absorción atómica proporciona datos más exactos, pero obstáculos burocráticos impidieron que éste se llevara a cabo.

De acuerdo a las gráficas obtenidas por medio del análisis de difracción de rayos X se registro al cobre como el elemento de mayor porcentaje (97%). El 3% restante se encuentra dividido en otros elementos metálicos considerados como contaminantes.

El análisis muestra una gran variedad de metales que son los que forman parte del 3% y de acuerdo a sus características físicas forman dislocaciones. O sea que no es posible que estos lleguen a formar una aleación.

Al estudiar las características físicas de la fundición reconocemos que la campana muestra un gran porcentaje de porosidad, debido probablemente a que la fundición se llevó a cabo al aire libre, o a que los moldes no hayan estado bien sellados. Por lo tanto es posible que las rajadas de la campana fueran ocasionadas en parte por el alto porcentaje de esta porosidad, además de que el cobre tiene poca resistencia al impacto del badajo.

La porosidad provoca que el material se fatigue con el paso de los años y si el badajo no es el adecuado, ya sea por el material o por su peso, con mucha facilidad tenderá a fracturarse la campana.

También es importante tomar en cuenta la localización geográfica de la campana. Los cambios muy bruscos de temperatura provocan que el metal presente tensiones internas constantes ocasionando fracturas.

### **ACUSTICA DE LA CAMPANA DE Santuario Mapethe.**

Como sabemos la denominada calidad sonora (timbre) de una campana no sólo depende de la aleación correcta, sino también del excelente conocimiento y habilidad al momento de fundirla.

Al relacionar nuestra campana de estudio con las cualidades anteriores podemos observar que desde el punto de vista acústico la aleación ó material constructivo no es el indicado para este tipo de instrumentos musicales. Por otra parte el alto porcentaje de porosidad provoca que las vibraciones que se generan al momento de golpear la campana se disgreguen con mayor rapidez, sin olvidar las malas características acústicas del cobre.

Otro imperfecto se nota en el arco sonoro (zona de golpe del badajo) que da la nota fundamental de la campana. Este no sólo muestra porosidad, sino que los grosores del arco son sumamente variados, provocando con ésto que se desarrollen frecuencias diversas (denominadas parciales) que al irse superponiendo en el interior de la campana generan un sonido no armonioso.

Podemos deducir de lo anterior que el sonido de esta campana nunca fue de una excelente calidad; pero sí a esto le aumentamos las dos rajadas el sonido se vuelve nulo ya que las vibraciones que se generan por golpear la campana se ven

interrumpidas al llegar a las fracturas. Por este motivo se propone un método de soldadura que nos afiance la unión del metal original con el de aporte, que evite que la campana se siga rajando con el paso del tiempo, y asegure la continuidad de las vibraciones, tratando así de recuperar su sonoridad.

Para poder constatar si existió un cambio sonoro después de restaurar la campana fue necesario realizar un estudio acústico llevado a cabo por el Dr. en acústica Ricardo Ruiz del Centro de Instrumentos de la UNAM.

El estudio consistió en realizar un análisis del espectro sonoro de la campana antes y después de soldarse con el propósito de verificar :

- si después de soldada la campana tuvo un mejoramiento sonoro,
- si aumentó el tiempo de resonancia,
- si se llegaron a generar nuevos armónicos,
- si tiene un sonido más armonioso,

## **APLICACION DE LA SOLDADURA.**

### **Campana de Santuario Mapethé**

Para llevar a cabo el proceso de soldado es indispensable conocer con toda precisión las características físicas del metal constructivo de la campana.

Hay varias técnicas de soldadura y se debe escoger entre ellas la adecuada de acuerdo a los siguientes criterios:

a) las particularidades de la campana: tipo de aleación, grosores donde se encuentran las rajadas, características de la fundición,

b) la experiencia en el manejo del equipo que se vaya a elegir y los recursos económicos con los que se cuentan.

La soldadura eléctrica y sobre todo la de argón son técnicas que no se descartarían para próximas intervenciones.

La soldadura de argón podría proporcionar mejores resultados que la oxiacetilénica en la restauración de la campana de Santuario Mapethé. La primera proporciona una mayor potencia y concentración de la flama en los bordes. Estos se funden con mayor rapidez y provocan que las tensiones internas sean menores, evitando el riesgo de que el metal se cristalice. Las desventajas de esta técnica son su alto costo y el requerimiento de especialistas.

Debido a las características físicas del metal constructivo de la campana, por una mayor experiencia en el manejo del equipo, y por ser relativamente más económico que la de argón se propuso utilizar la soldadura oxiacetilena como la opción más viable para nuestra propuesta de restauración.

Para dar inicio a la intervención de la campana fue necesario realizar algunos pasos previos a la soldadura para asegurar mejores resultados mecánicos y por consiguiente acústicos.

Primero barrenamos los extremos de ambas rajadas con el propósito de frenar su crecimiento y así evitar que la campana se parta totalmente con el paso del tiempo.

El barreno debe pasar de un extremo al otro de la pared de la campana. Su diámetro se calculó de acuerdo a la longitud, abertura de la grieta y al grosor del arco sonoro de la campana.

Para evitar esfuerzos internos causados por el rotomartillo al momento de ejecutar los barrenos fue necesario empezar el trabajo con una broca de 1/32", seguida de otra de 1/16" y concluir con la de 1/8". Este proceso se debe seguir para evitar al máximo que la fricción de la broca provoque el crecimiento de la fractura.

El siguiente paso consistió en achaflanar ambas grietas. Anteriormente se habló acerca de los distintos tipos de chaflanes que se pueden realizar dependiendo del grosor de la pieza a soldar y de la función que ésta desarrolle.

Debido a que la campana de Santuario Mapethé tiene en la zona del arco sonoro 4 cm. y a que estará sometida a golpes (por el badajo), es necesario practicar el chaflán en forma de cáliz. Este tipo de chaflán, que es el indicado para los grosores mayores de 3 cm. proporciona mayor resistencia a los impactos.

El-achaflanado se puede llevar a cabo con la boquilla de corte oxiacetilénica; este proceso resulta muy sencillo y rápido, pero las consecuencias que puede provocar a la campana son graves por exponerla constantemente a alzas y bajas de temperatura. El metal disminuye sus propiedades físicas cada vez que se calienta. Por tal motivo se decidió utilizar un reguilete industrial con un disco de carburo. La temperatura que éste genera debido a la fricción es de 150°C, los cuales no son críticos para las propiedades físicas del cobre.

Antes de dar inicio al proceso de la soldadura se tuvo que limpiar perfectamente bien la campana, sobre todo las zonas de las juntas. Se eliminó

polvo e impurezas del medio ambiente a los cuales esta expuesta en el campanario. Estos se eliminaron con cepillos de cerdas blandas . Posteriormente se limpió la campana con gasolina blanca para asegurarse de que no presentara grasa sobre todo en los bordes a soldar, ya que de lo contrario las juntas nunca tendrán una perfecta adherencia.

El fundente que se utilizó es una mezcla de ácido bórico con sales minerales marca INFRA. Esta mezcla ayuda durante la aplicación de la soldadura a disolver óxidos y otras impurezas que pueden estar presentes en las juntas.

La soldadura ó metal de aportación que se aplicó a las rajadas de la campana consiste en una aleación con 95% de cobre y 5% de estaño. Este hace posible bajar el punto de fusión y hacer más resistente la soldadura.

Aplicando este tipo de aleación en combinación con el fundente antes mencionado se logra bajar aún más el punto de fusión de los bordes a soldar, proporcionando al mismo tiempo mayor resistencia al impacto del badajo.

Para poder aplicar la soldadura en las grietas, la campana debe estar a una temperatura de 300°C aproximadamente. Para evitar la pérdida de calor fue necesario instalar la campana dentro de un pequeño horno de ladrillos refractarios densos. De no poder controlar la pérdida de temperatura, es imposible lograr la fusión entre el metal base y el metal de aportación.

La campana de Santuario Mapethé está fundida en cobre. Este, por ser un metal con una excelente conductibilidad térmica conserva muy bien el calor , pero de igual manera lo segrega con mucha rapidez. Tomando en cuenta el grosor del arco sonoro de la campana, es importante mantener una temperatura homogénea durante el proceso de soldado.

Debido a la alta temperatura a la cual se sometería la campana dentro del horno, resultaría imposible moverla para aplicar la soldadura en ambas grietas. Por tal motivo tuvimos que construir el horno con unas pequeñas ventanas de asbesto frente a cada una de las rajadas y así poder aplicar con mayor facilidad la soldadura.

El calentamiento previo a la soldadura se realizó con sopletes de gasolina blanca, los cuales fueron dirigidos sobre toda la superficie de la campana. Su posición se cambió constantemente para lograr una temperatura más homogénea y evitar posteriormente nuevas fracturas en el metal.

También se utilizó carbón vegetal como fuente de calor para calentar los ladrillos refractarios y así evitar que éstos absorbieran calor de la campana.

La aplicación de la soldadura se llevó a cabo en dos partes.

Primero se soldaron las dos grietas que se localizaban en la parte externa de la campana. Este proceso duró aproximadamente tres horas de trabajo frente al horno que despedía una temperatura de 500°C aproximadamente.

Al concluir este proceso se cerró perfectamente bien el horno para que el enfriamiento de la campana se fuera dando gradualmente evitando al máximo cambios bruscos de temperatura.

El tiempo que tardó la campana en disipar el calor hasta una temperatura ambiente fue de 24 horas. Este proceso se repitió exactamente igual al día siguiente pero soldando ahora las grietas localizadas en el interior.

La presión que se utilizó en los tanques fue: 10 lb/cm<sup>3</sup> en el oxígeno y en el acetileno 5 lb/cm<sup>3</sup>. Se utilizaron tres tamaños de boquillas (números 20, 10 y 5), y dos distintos diámetros en las barras del metal de aporte (1/4" y 1/8"). El propósito de utilizar diversos tamaños de boquillas, así como barras de aporte, es para facilitar la aplicación de la soldadura de acuerdo como el trabajo lo requiera. Ejemplo: Si se necesita mayor potencia en la fuente de calor debemos usar la boquilla del número 5, debido a que la flama es más concentrada. Generalmente las barras de soldadura de 1/8 se usan para dar los acabados finales.

El control riguroso de la temperatura es necesario para una aplicación adecuada de la soldadura. También es sumamente importante que al terminar el trabajo la disipación del calor sea gradual y extremadamente lenta para evitar deformaciones, nuevas fracturas y que el metal se cristalice perdiendo resistencia al impacto; igualmente se prevé así una pérdida en la calidad tonal.

#### ACABADOS-

Por las dificultades técnicas al momento de colocar la soldadura no fue posible dejar los cordones perfectamente a nivel del metal base. Fue necesario desbastar el sobrante con máquinas herramientas tales como: un reguilete industrial con un disco de carburo, y un mototul industrial con fresas de carburo de tungsteno. Se usaron también algunas herramientas manuales como: lima bastarda, lima de doble caña y una lima de cola de ratón.

## FORMACION DE LA PATINA ARTIFICIAL-

Desgraciadamente por la temperatura tan elevada a la cual se sometió la campana, la pátina original formada por cloruros y carbonatos se perdió totalmente convirtiéndose en pequeñas escamas que se desprendían sin la menor fuerza. Creemos que no es necesario tratar de patinarla toda para obtener de nuevo su color original verdoso. Pero si es necesario homogenizar las zonas del metal nuevo que contrastan muchísimo con el tono del metal base.

La patina artificial se obtuvo a través de la acción del sulfuro de amonio, el cual funciona como un agente colorante del cobre y sus aleaciones formando una película estable y protectora contra agentes degradantes del medio ambiente.

## EXPERIMENTACION PREVIA A LA RESTAURACION

Para poder intervenir la campana de Santuaário Mapethé fue necesario realizar una experimentación controlada con una pequeña campana de bronce sin ningún valor histórico. Esta experimentación consistió en:

a) con un afinador marca Korg tuner DT1 se verificó su afinación. La fundamental fue C+3-30Cents.

b) Se simularon dos rajadas con las mismas proporciones y características de la campana de Santuario Mapethé. La nota fundamental que registro fue C+1-30Cents.. El tono de la campana decreció dos octavas perdiéndose totalmente la resonancia.

c) Las dos rajadas se soldaron con oxiacetilena; utilizando barras de bronce comercial, No sólo se recupero la resonancia sino que se pudo afinar a su sonido original. Afinación final C+3-30Cents..

Es importante hacer notar que la campana que se utilizó para la experimentación es de dimensiones muy pequeñas con relación a la campana de santuario Mapethé. Tanto las dimensiones como el material (bronce) facilitan indiscutiblemente el trabajo de la soldadura; tomando en cuenta que el bronce funde a 850°C dependiendo del porcentaje de estaño.

A pesar de que la aplicación de la soldadura en ésta campana no se puede comparar con el grado de dificultad técnico que representa el soldar la campana

de Santuario Mapethé los resultados que se obtuvieron con la recuperación tonal de ésta son la justificación para intervenir la campana del poblado de Santuario Mapethe confiando en obtener los mismos resultados acústicos en dicha campana.

De acuerdo a los resultados obtenidos con la experimentación continuamos con los análisis del espectro sonoro de la campana de Santuario Mapethé. El proceso del análisis acústico se llevó a cabo antes y después de soldarla.

La campana se colocó dentro de una cámara anecóica con el propósito de evitar la formación de otros tipos de armónicos que pudieran alterar los resultados. Se instaló un micrófono en cada una de las rajadas a una distancia de 30cm. y a un ángulo de 30°. Posteriormente con un martillo se golpeo la campana para poder registrar su espectro sonoro y registrar su sonido en un Deck digital con señal analógico.

Para la grabación y registro del espectro sonoro se utilizó:

- Una grabadora digital Bruel &Kjaer 7400.
- Una grabadora digital con señal analógica Denon DRT 2000.
- Analizador de espectros de alta resolución con dos canales Bruel&Kjaer2034
- Un micrófono Bruel & Kjaer2807.
- Dos micrófonos Bruel &Kjaer 4161.
- Unos Audífonos Denon R\_&=DT digital y dos cassettes metálicos Denon.

Al hacer una comparación tanto de las grabaciones como de las gráficas del espectro sonoro antes y después del proceso de soldadura podemos concluir que existe definitivamente un mejoramiento en la calidad tonal de la campana.

En la grabación se puede notar claramente que el tiempo de duración de la resonancia es el doble de cuando estaba rajada la campana; así como un incremento en la intensidad del volumen.

A pesar de que las grabaciones, así como las gráficas de los análisis acústicos de la campana de Santuario Mapethé muestran un mejoramiento en la calidad tonal, el timbre que da la campana restaurada es más agudo que cuando estaba rajada además de notarse la pérdida de algunos armónicos que enriquecían ese sonido tan característico de ellas.

## RESULTADOS

Debido a las ya mencionadas características de la fundición, así como del material resulta lógico pensar que una pieza metálica de fundición, en este caso la campana de Santuario Mapethé, por ser un instrumento musical que está expuesto constantemente a impactos y como consecuencia de éstos a vibraciones, tiende a fracturarse con mucha facilidad debido a la falta de una aleación óptima y a la carencia de conocimientos por parte del fundidor.

De acuerdo a los resultados acústicos señalados por el Dr. Ricardo Ruiz, una campana, como la de Santuario Mapethé, por no presentar grosores constantes sobre todo en el área del arco sonoro ( que además de ser el que da la nota fundamental, es el que recibe el golpe del badajo) resulta difícil que hubiese tenido una buena calidad sonora. Desgraciadamente nunca podremos saber cómo era realmente su sonido original debido a que ésta duro muchos años en deterioro.

Otra posible causa por la cual ésta se rajó es que un cuerpo vibrante que presenta grosores irregulares al estimularlo por medio de un golpe vibra sin la libertad necesaria provocando que con el tiempo el metal se fatigue y como consecuencia se raje.

Una campana que no presenta grosores constantes vibra en formas diversas generando tensiones que funcionan no sólo como bloqueadores de la resonancia, sino que también no permiten que muchos armónicos se generen libremente obteniendo un sonido poco armonioso.

Esta campana al estar vibrando constantemente con tensiones internas tiende tarde o temprano a fracturarse para lograr liberar todas las tensiones a las cuales ésta sometida.

Podemos deducir que al momento de fracturarse nuestra campana de estudio perdió tensiones permitiendo que el cuerpo de la campana vibre con toda libertad para dar un sonido mas armonioso, aunque la intensidad del volumen y el tiempo de resonancia sea menor por la falta de continuidad de las vibraciones al llegar a las rajadas.

Al soldar las rajadas se vuelve a obtener continuidad de las vibraciones y con esto mayor tiempo de resonancia e intensidad en el volumen, pero de nuevo la campana vuelve a presentar tensiones internas al momento de vibrar

generándose menor número de armónicos y con esto dando otra vez un timbre poco armonioso.

Se había mencionado que es muy difícil saber como era su sonido original. Pero de acuerdo a lo anterior y a los resultados comprobados de la experimentación previa con la campana de bronce, es posible que el sonido actual de la campana restaurada es como sonaba antes de su deterioro. Pero esto surge como nueva hipótesis que se tendría que comprobar con un arduo trabajo en la restauración de campanas rajadas.

En este sentido no sería extraño que la campana volviese a fracturarse para liberar de nuevo tensiones y armónicos que den un timbre mas armonioso a la campana.

## CONCLUSIONES

El tañir de las campanas ha acompañado a la humanidad durante muchísimos siglos. Desgraciadamente muchas de ellas han perdido parte de su esencia, deteriorándose por diversas causas a las cuales somos en su gran mayoría ajenos.

Es muy difícil generalizar que un gran número de campanas rajadas -sobre todo aquellas de dimensiones gigantes- puedan ser soldadas y así revivir esa parte muerta. Pero creo que esta investigación es apenas el primer escalón para afirmar con toda seguridad si existen posibilidades de restaurarlas por las complicaciones técnicas que éstas presentan al momento de aplicar la soldadura.

Por el momento el único camino que nos puede llevar a obtener una técnica capaz de soldar cualquier tipo de campana es la severa experimentación en la restauración de campanas rajadas y de esta manera seguir disfrutando de su tañido que tanto significa para sus usufructuarios y para toda la humanidad.

La fuerte responsabilidad para la aplicación de la soldadura en la campana de Mapethé se tomó apoyándose en bases muy serias para no provocar mayores daños y sobre todo para evitar consecuencias graves al responsable de dicha aplicación por ser éste un trabajo de alto riesgo a la salud.

La mejora indiscutible de la calidad sonora de esta campana no es la única parte importante de esta investigación, aunque la calidad tonal (timbre) es muy

difícil de evaluar ya que depende totalmente del gusto y sensibilidad auditiva de cada persona.

Para poder llegar a estos resultados fue muy importante el apoyo de otras ramas del conocimiento humano que tienen una relación directa con las campanas como es el caso de la Historia, de la Metalurgia y la Acústica. En este sentido no podemos pasar por desapercibido el desarrollo de la ciencia y de la tecnología, cuyo desarrollo ha coadyuvado a la elaboración de tan minuciosos estudios.

La técnica moderna de la soldadura posee grandísima importancia y presenta indiscutiblemente ventajas en el caso de la restauración de la campana de Mapethé. Pero también podemos afirmar que de acuerdo a la experiencia vivida la ejecución de la soldadura no resulta ser tan fácil como puede parecer a primera vista. Requiere de un conjunto de conocimientos adecuados y una gran habilidad al que se le confía el difícil trabajo de crear una junta perfecta, no sólo desde el punto de vista estético sino también funcional y de una óptima resistencia mecánica.

Considero que los objetivos fueron alcanzados, no sólo acusticamente hablando, sino también en el aspecto de respetar al máximo sus estancias históricas, estéticas y culturales. Desafortunadamente en estos momentos es muy difícil determinar cuánto tiempo seguirá tañiendo esta campana debido a las características físicas y constructivas de la misma, así como al tiempo que soportará la soldadura.

Basándome en la experiencia vivida y en los resultados obtenidos llego a las siguientes conclusiones para intervenciones posteriores:

Es muy importante asegurarse de que la campana que se vaya a restaurar presente la aleación óptima y que en la manufactura se muestre un buen conocimiento tanto acústico como de fundición.

Una vez que la campana presenta tales características y que uno puede confiar en que ésta tuvo una buena calidad tonal antes de fracturarse es válido intervenirla, ya que de lo contrario uno está expuesto a perjudicar más la obra, además de tiempo y gastos innecesarios.

Para campanas rajadas que presentan deficiencias técnicas como en el caso de la campana de Mapethé se debe practicar un método preventivo para evitar que el daño ya provocado siga aumentando y termine por dañarlas totalmente.

- Se debe barrenar donde termina la rajada con un barreno proporcional al largo y ancho de la grieta.
- Rotar 90° el golpe del badajo de su posición original, para evitar que las grietas sigan creciendo.
- El badajo original se debe cambiar por uno de bronce con un peso del 3% del total de la campana. Este proceso se llevó a cabo en la campana de Santuario Mapethé. Para el nuevo badajo en bronce fue necesario realizar un modelo torneado en madera previo a su fundición, tratando de respetar al máximo la forma del original.

Generalmente las campanas traen badajos de acero con un peso del 4% del peso total. Al cambiarlo por uno más ligero y de un material más blando la intensidad del volúmen y el tiempo de resonancia en la campana disminuyen, ya que el impacto del badajo no es tan agresivo.

Con estos cambios se puede asegurar que la campana resistirá más y se perjudicará menos, sin olvidar que ésta ya tiene un daño. A través de esta prevención se podrá disfrutar en algunos casos por más tiempo el tañido de las campanas.

## APENDICE

Graficas y resultados del análisis metalográfico.

A continuación se presentan tres gráficas que son resultado de un análisis de difracción de rayos X. Las tres muestran la composición metalográfica de la campana de Santuario Mapethé. Cada una de estas gráficas va acompañada de una lista de los metales constructivos de la aleación. Este análisis desgraciadamente no proporciona los porcentajes exactos de dichos metales.

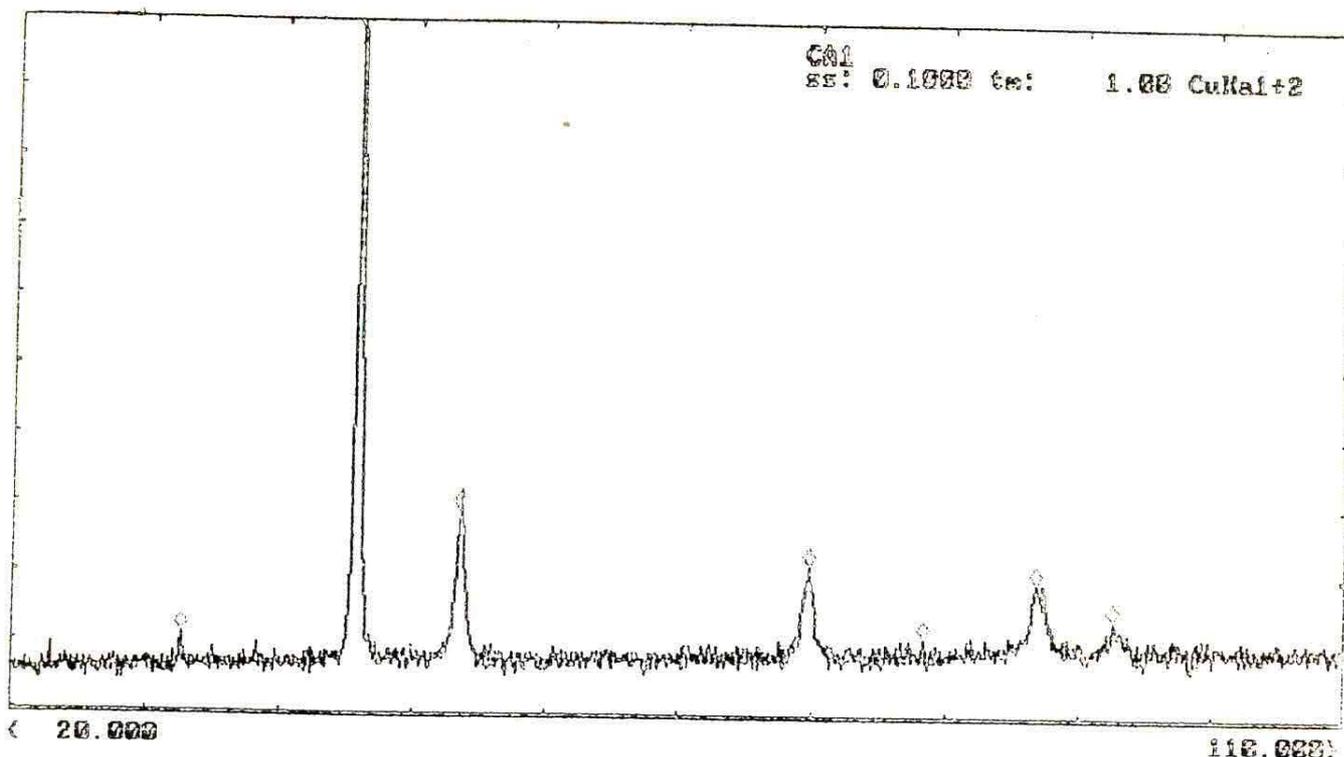
Los picos más altos de las gráficas (en la 1, señalados con un rombo) corresponden al cobre, con un porcentaje aproximado del 95%, y el 5% restante al estaño, plomo y zinc principalmente. En el listado de la composición metalográfica, sin embargo se presentan otros elementos en cantidades ínfimas; éstos difícilmente forman una aleación con los metales principales (dislocación).

Gráficas de los estudios acústicos.

Análisis del espectro sonoro de la campana de Santuario Mapethé.

La gráfica 4 muestra el análisis del espectro sonoro de la campana rajada (negro) y la gráfica 5 la de la campana ya soldada (rojo).

La gráfica 6 muestra una sobreposición del espectro sonoro de la campana antes (negro) y después (rojo) de la restauración. En ella se puede observar un aumento en la resonancia y el desarrollo de nuevos armónicos. A pesar de que la gráfica nos da información de un mejoramiento acústico, fue necesario realizar grabaciones antes y después de la restauración con dos fines: en primer lugar para apoyar los resultados de las gráficas y en segundo término para poder dar una opinión acerca de la calidad del timbre característico en las campanas (opinión subjetiva).



Wells Back Edit Quit Help Print Clear Zoom -> E

Sample: CA1

Data file: CA1.RAW

11-Sep-1991 11:40:23

Seq	2theta	d	rel. I	Seq	2theta	d	rel. I
1	31.303	2.8558	11.25	2	43.166	2.0945	100.00
2	43.166	2.0945	100.00	3	50.100	1.8196	29.36 ?
3	50.100	1.8196	29.36 ?	4	73.830	1.2827	21.40
4	73.830	1.2827	21.40	6	89.231	1.0970	19.21
5	81.601	1.1791	11.18	7	94.458	1.0496	13.81
6	89.231	1.0970	19.21	1	31.303	2.8558	11.25
7	94.458	1.0496	13.81	5	81.601	1.1791	11.18

Sample: CA1

File : CA1.RAW

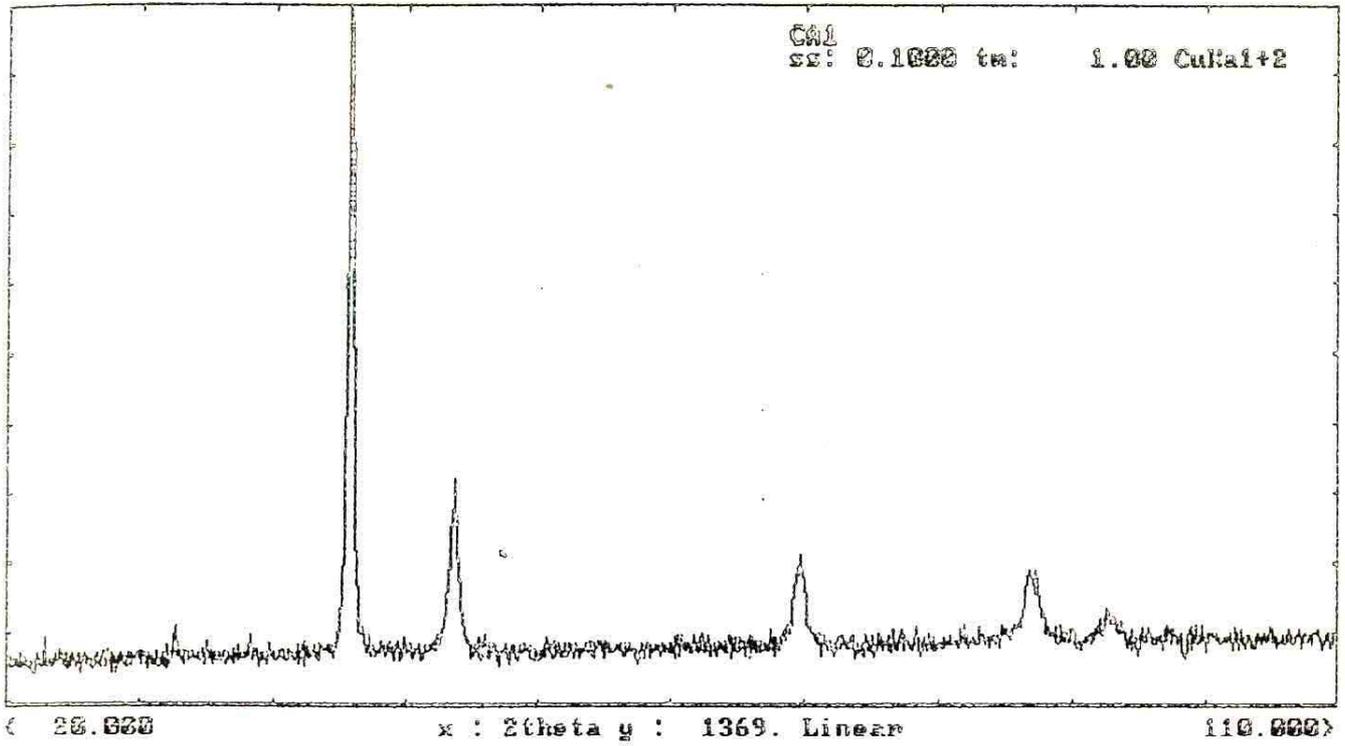
Data base: \JCP

Criterion: 2, 2theta offset: +0.00, d offset: +0.00 %, penalty: 3

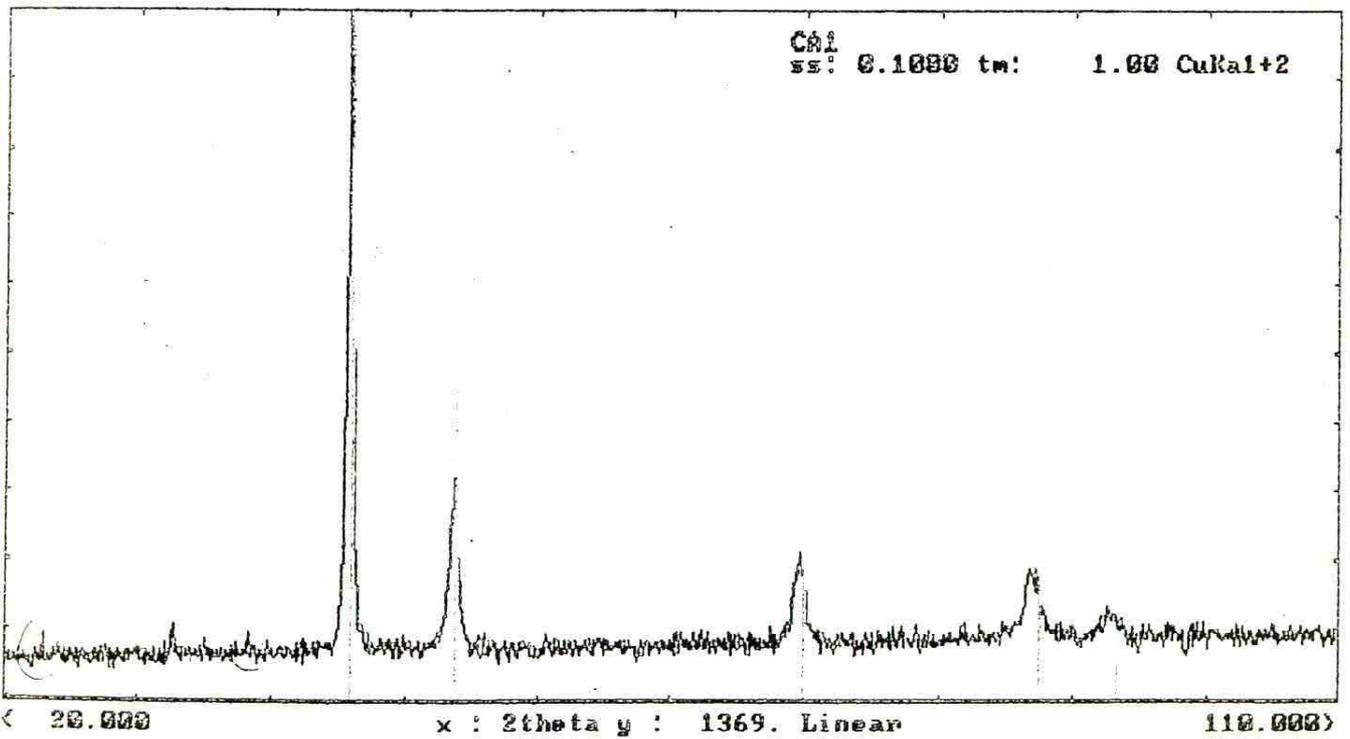
40923 phases processed, 68 match chemistry/subfile, 68 match intensity

Pattern	-	Formula / Name	mtc/nm	f.o.m.
26-1289	I	Ni <sub>48</sub> Sn <sub>52</sub> Nickel Tin	69/ 0	1.48
25-1228	C	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub> Copper Zinc	12/ 0	1.49
30-0511	C	Cu <sub>327.92</sub> Sn <sub>88.08</sub> Copper Tin	30/ 0	1.49
31-0486	C	Cu <sub>81</sub> Sn <sub>22</sub> Copper Tin	33/ 0	1.54
28-0440	C	AuSn <sub>2</sub> Gold Tin	57/ 0	1.62
3-1111	Q	Be <sub>21</sub> Ni <sub>5</sub> Beryllium Nickel	48/ 0	1.68
28-0441	C	AuSn <sub>4</sub> Gold Tin	58/ 0	1.74
29-0652	C	Au <sub>3</sub> Zn Gold Zinc	50/ 0	1.81
31-0485	C	Cu <sub>39</sub> Sn <sub>11</sub> Copper Tin	28/ 0	1.81
26-0564		Cu <sub>10</sub> Sn <sub>3</sub> Copper Tin	42/ 0	1.84
7-0055	Q	Au <sub>3</sub> Zn Gold Zinc	34/ 0	1.98
27-0156		CuAu Copper Gold	32/ 0	2.01
7-0139		Au <sub>3</sub> Zn Gold Zinc	38/ 0	2.04
30-0510	C	Cu <sub>41</sub> Sn <sub>11</sub> Copper Tin	17/ 0	2.05
25-0365	I	AuPb <sub>2</sub> Gold Lead	40/ 0	2.05
4-0845	I	Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub> Nickel Tin	37/ 0	2.07

Elapsed time: 24.88 seconds



Sample Name: Match Silo Clear Sect. Wall H ad. Weight: 0.0000 g. Date: 11/19/00



11/19/00 0.0000 g. Date: 11/19/00

File : CA1.RAW

Data base: \JCP

Criterion: 2, 2theta offset: +0.00; d offset: +0.00 %, penalty: 3

40923 phases processed, 41 match chemistry/subfile, 41 match intensity

Positive Chemistry selected !

Pattern	-	Formula / Name	mtc/nm	f.o.m.
25-1228	C	Cu <sub>5</sub> Zn <sub>8</sub> Copper Zinc	12/ 0	1.49
34-0981		ZnTaCuO <sub>4</sub> Copper Zinc Tantalum Oxide	40/ 0	2.02
25-1195	C	Au <sub>2</sub> CuZn Copper Gold Zinc	36/ 0	2.12
22-0611	D	Cu(Cu,Zn)(Sb,As) <sub>2</sub> S Copper Zinc Antimony Arsenic Sulfi	27/ 0	2.23
33-0510	C	CuP <sub>2</sub> YbZn Copper Ytterbium Zinc Phosphide	34/ 0	2.26
20-0355		Au <sub>22</sub> Cu <sub>33</sub> Zn <sub>45</sub> Copper Gold Zinc	29/ 0	2.28
26-0573	*	Cu <sub>2</sub> ZnSiSe <sub>4</sub> Copper Zinc Silicon Selenide	34/ 0	2.36
28-0405		Cu <sub>1.5</sub> ZnSO <sub>4</sub> (OH) <sub>3</sub> Copper Zinc Sulfate Hydroxide	37/ 0	2.39
26-0574	I	Cu <sub>2</sub> ZnSiS <sub>4</sub> Copper Zinc Silicon Sulfide	31/ 0	2.47
19-0386		Cu <sub>7</sub> Hf <sub>6</sub> Zn <sub>16</sub> Copper Hafnium Zinc	24/ 0	2.48
23-0232	I	Cu <sub>0.85</sub> Zn <sub>0.15</sub> Nb <sub>2</sub> O <sub>6</sub> Copper Zinc Niobium Oxide	31/ 0	2.52
25-1225	C	CuMnZn Copper Manganese Zinc	11/ 0	2.53
21-1038		CuScZn Copper Scandium Zinc	21/ 0	2.57
25-0326		Cu <sub>2</sub> ZnGeS <sub>4</sub> Copper Zinc Germanium Sulfide	22/ 0	2.60
38-0152	Q	(Cu <sub>0.3</sub> Zn <sub>0.7</sub> ) <sub>5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub> Copper Zinc Carbonate Hydro	29/ 0	2.61
8-0349	Q	CuZn Copper Zinc	17/ 0	2.64

Elapsed time: 24.27 seconds

File : CA1.RAW

Data base: \JCP

Criterion: 2, 2theta offset: +0.00, d offset: +0.00 %, penalty: 3

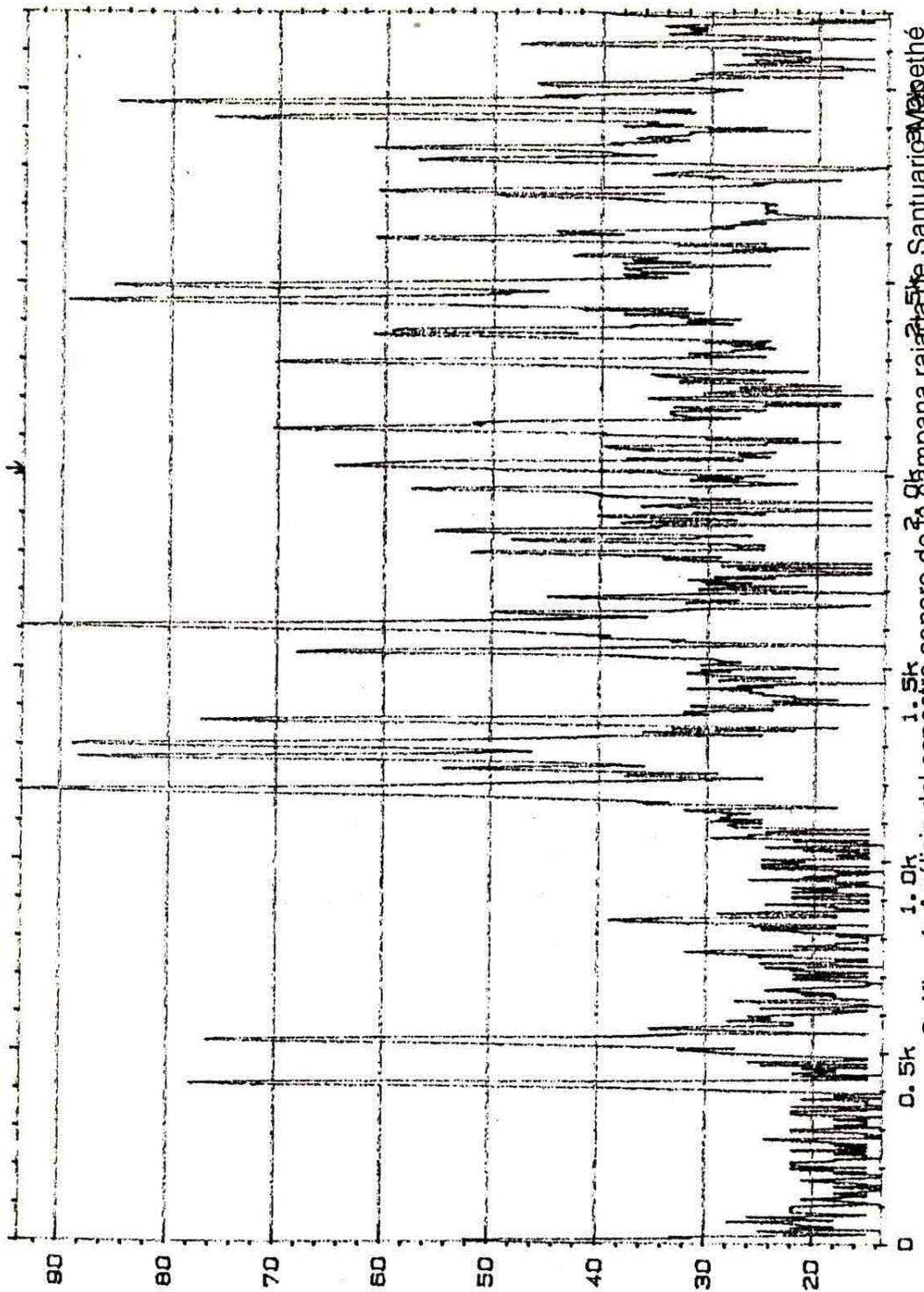
40923 phases processed, 50 match chemistry/subfile, 50 match intensity

Positive Chemistry selected !

Pattern	-	Formula / Name	mtc/nm	f.o.m.
30-0511	C	Cu <sub>327.92</sub> Sn <sub>88.08</sub> Copper Tin	30/ 0	1.49
31-0486	C	Cu <sub>81</sub> Sn <sub>22</sub> Copper Tin	33/ 0	1.54
35-1352	I	Cu <sub>8</sub> Fe <sub>3</sub> Sn <sub>2</sub> S <sub>12</sub> Copper Iron Tin Sulfide	67/ 0	1.57
28-0017	C	Al <sub>3</sub> Cu <sub>12</sub> Sn Aluminum Copper Tin	13/ 0	1.65
31-0485	C	Cu <sub>39</sub> Sn <sub>11</sub> Copper Tin	28/ 0	1.81
26-0564		Cu <sub>10</sub> Sn <sub>3</sub> Copper Tin	42/ 0	1.84
29-0584	C	Cu <sub>4</sub> SnS <sub>4</sub> Copper Tin Sulfide	53/ 0	1.91
30-0504	C	(Cu <sub>2</sub> S <sub>4</sub> SnSr) Copper Strontium Tin Sulfide	45/ 0	1.97
30-0510	C	Cu <sub>41</sub> Sn <sub>11</sub> Copper Tin	17/ 0	2.05
30-0124	C	BaCu <sub>2</sub> S <sub>4</sub> Sn Barium Copper Tin Sulfide	45/ 0	2.07
18-0442		Hf <sub>5</sub> (Sn,Cu) <sub>4</sub> Copper Hafnium Tin	36/ 0	2.09
27-0196	I	Cu <sub>4</sub> SnS <sub>4</sub> Copper Tin Sulfide	40/ 0	2.22
29-0467	C	CoCu <sub>2</sub> Sn Cobalt Copper Tin	11/ 0	2.23
35-0420	I	Cu <sub>3.20</sub> Fe <sub>0.90</sub> S <sub>4.90</sub> Sn Copper Iron Tin Sulfide	31/ 0	2.24
27-0168		Cu <sub>2</sub> FeSnSe <sub>3.8</sub> Copper Iron Tin Selenide	29/ 0	2.25
31-0454	C	CrCuSnSe <sub>4</sub> Copper Chromium Tin Selenide	30/ 0	2.37

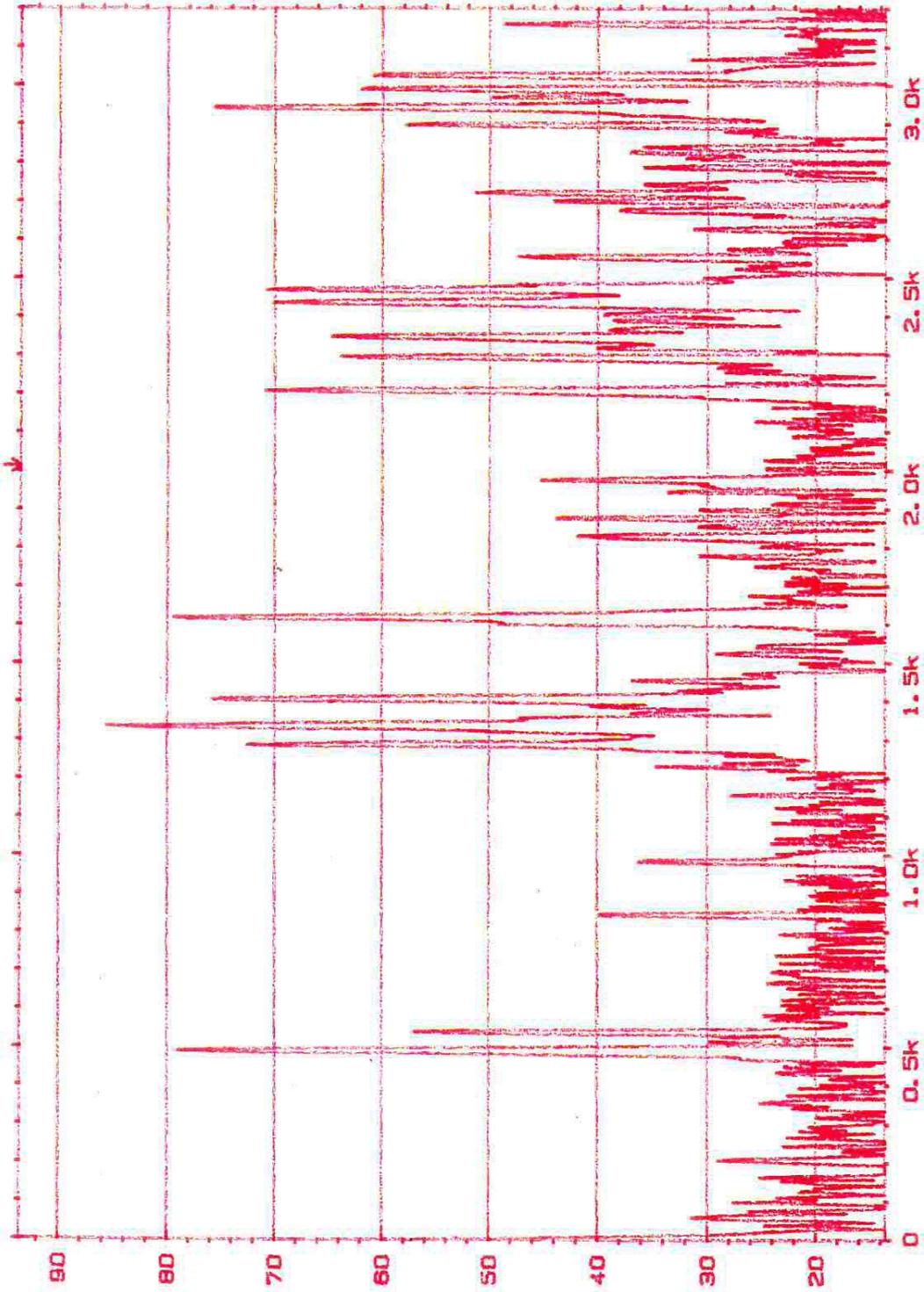
Elapsed time: 24.22 seconds

WB3 INST SPEC CH. A MAG 80dB INPUT MAIN Y, 48.6dB  
Y: 93.6dB / 20.0VU RMS 80dB X: 2012Hz  
X: CHZ + 3.2kHz  
SETUP W1



Gráfica 4: Análisis del espectro sonoro de la Cámara rajada de Santuario de Repethé

W3 INST SPEC CH. A MAG 80dB INPUT 7.6dB  
Y: 93.6dB / 20.0µV RMS  
X: 0Hz + 3.2kHz LIN  
SETUP W1



Gráfica 5: espectro sonoro de la campana soldada

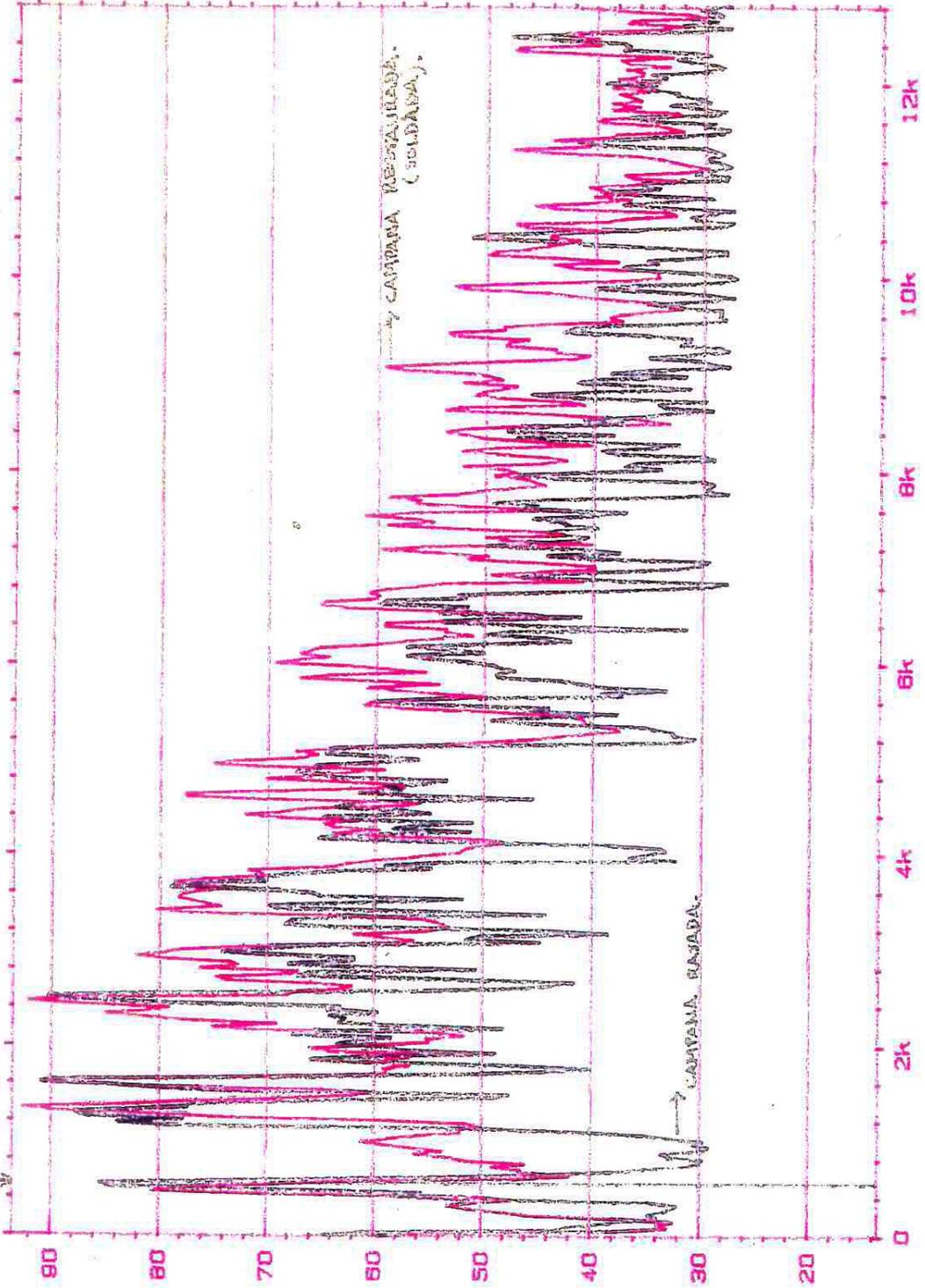


Brüel & Kjær

Type 2034

P

W3 AUTO SPEC CH. A  
Y: 93.6dB / 20.0µV  
X: 0Hz + 12.8kHz  
SETUP W1 #A: 43  
[ ] INPUT  
RMS 80dB  
LIN  
MAIN Y: 23.7dB  
X: 16096Hz



Gráfica 6: sobreposición comparativa de los espectros sonoros de la campana antes (negro) y después (rojo) de soldada

## HISTORIA CLINICA DE LA CAMPANA DE SANTUARIO MAPETHE, HGO.

Epoca

siglo XIX aproximadamente.

### Dimensiones generales

-longitud total	49.5 cm.
-longitud del arco sonoro	28.5 cm.
-diámetro interior superior	16.5 cm.
-diámetro exterior superior	17.5 cm
-diámetro interior inferior	34,5 cm.
-diámetro exterior inferior	38.5 cm.

### Grieta-A

-longitud	9.0 cm.
-ancho	0.4 cm.
-profundidad	2,0 cm.



### Grieta-B

-longitud	10.9 cm.
-ancho	0.8 cm.
-profundidad	2,3 cm.



peso total de la campana 35 kg.



CAMPANA DE SANTUARIO MAPETHE RESTAURADA.



CAMPANA DE SANTUARIO MAPETHE RESTAURADA.

## REFERENCIAS

- 1-BRAGARD,R. "Instrumentos de Música" Ed Daimon Manuel Tamayo  
Barcelona 1973 Pag.54
- 2-ídem
- 3-"Enciclopedia Americana" Tomo 3  
New York 1963 pag 477
- 4-"La imagen de la Música en México" Artes de México 1971, No148, pag.6
- 5-"La musica en México" Gazeta de México 1976 pag. 160-161.
- 6-ídem.
- 7-ídem.
- 8-"El Cobre y sus Aleaciones en la Tecnología" CIDECE Madrid.
- 9-DUDDLE, R.S. "Manual del Metalista" ED Gustavo Gili  
Barcelona 1958 pag. 179.
- 10-"El Cobre y sus Aleaciones en la Tecnología" CIDECE Madrid.
- 11-CLOUSTON, R.W.M. "The Welding of Cracked Bells"  
Studies for conservation No4, Vol. II, Oct.1956, pag 170.
- 12-JOSEPHS, Jess "La física del sonido musical"  
centro regional de ayuda técnica México Argentina. 1961
- 13-ídem.
- 14-SHEN,SINGAR..."Science American".
- 15-PATTON,W.J. "Ciencia y técnica de la soldadura". Ed Urma 1980
- 16-RINALDI, EMILIO. "Tratado moderno de la soldadura" Ed José Monteso,  
Barcelona 1976.
- 17PATTON, W.J. "Ciencia y técnica de la soldadura" EDd Urma 1980
- 18-DUDDLE, R.S. "Manual del metalista" Ed Gustavo Gili  
Barcelona 1958
- 19-ídem.
- 20-HOMMAND, R. "Soldadura automática" Ed Urma 1986
- 21-ídem.
- 22-RINALDI, EMILIO. "Tratado moderno de la soldadura" Ed José Monteso  
Barcelona 1976.

**BIBLOGRAFIA**

BRAGARD R.

"Instrumentos musicales". Ed. Daimon Manuel Tamayo Barcelona 1973

CLOUSTON R.W.M.

"The Welding of Cracked Bells" Studies for Conservatio No 4, Vol II, 1956

DUDDLE R.S.

"Manual del metalista" Ed. Gustavo Gili Barcelona 1958

"CIDEC "El cobre y sus aleaciones" Madrid

"Enciclopédia Americana" Tomo 3, New York, 1963

"Enciclopédia de la Música" SALVAT Tomo 3

HOMMAND Rolt.

"Soldadura Automática" ED Urma.

"La imagen de la música en México" Revista Artes de México No 148, 1971

JOSHEPS, Jess.

"La física del sonido musical" Centro regional de ayuda México-Argentina.

PATTON, W.,

"Ciencia y técnica de la soldadura". Ed Urma

RINALDI, Emilio.

"tratado moderno de la soldadura" Ed Jose Monteso. Barcelona 1976

SABINE, W.

"Colected papers on acoustic" Harvard University Press. Cambridge 1988

SHEN, SINYAR

"Science American" Revista.