

# LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO INDUSTRIAL RELATIVO A CENTRALES ELECTROMECÁNICAS DE COMUTACIÓN TELEFÓNICA Y LA MEMORIA DEL TRABAJO MANUAL ESPECIALIZADO ASOCIADO

PABLO SOLER FERRÁN, *Miembro de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas (SEHCYT) de la Real Sociedad Española de Física (RSEF) y colaborador en el Foro Histórico de las Telecomunicaciones.*

JOSÉ RAMÓN IGLESIAS MEDINA, *Ingeniero de telecomunicaciones. Miembro de la SEHCYT, de la RSEF, y colaborador en el Foro Histórico de las Telecomunicaciones.*

*Investigadores independientes*

## Resumen:

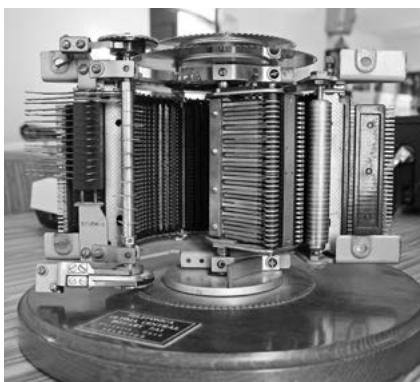
El objetivo de este trabajo es proporcionar una relación del actual patrimonio histórico español relativo a los equipos electromecánicos de conmutación telefónica, definitivamente obsoleto tras prestar servicio durante más de 80 años. Se resume el inicio y desarrollo de la telefonía automática en España basada en este tipo de equipos. Se indican las entidades que albergan dicho patrimonio, y la relación de sus principales activos, señalando las dificultades de su preservación, tanto por su estado como por el de la continuidad de las personas encargadas del mismo. Cabe destacar las instalaciones de los respectivos museos de telecomunicaciones de Canena (Jaén), La Coruña, la Universidad Pública de Navarra, así como el de San Telmo de San Sebastián, en los que los equipos están operativos y se pueden hacer llamadas reales. También se sintetizan las características del trabajo manual especializado asociado, que desempeñaban los Mecánicos, Operadores Técnicos y los Encargados de Equipo en la conservación de las centrales, así como el patrimonio documental relacionado que se está intentando localizar. Finalmente se hace un llamamiento abierto a todos los agentes cívicos y sociales sobre la necesidad de reforzar las medidas de protección del citado patrimonio para su mejor preservación y mayor estudio y conocimiento.

## Palabras Clave:

Historia de las Telecomunicaciones. Conmutación telefónica. Patrimonio histórico español de telefonía. Trabajo manual en el sector telefónico. Compañía Telefónica Nacional de España.

## Abstract:

*The goal of this paper is to provide an account of the Spanish historical heritage on electromechanical telephone switching, definitely obsolete after serving for over 80 years. It summarizes the beginning and development of automatic telephony in Spain based upon this kind of systems. We show the institutions which harbor this heritage and the main assets that they do content, pointing out the difficulties in its conservation due to its estate, as well as the increasing lack of personal capable of doing the conservation work. They are highlights respective installations the museums telecommunications from Canena (Jaén), La Coruña, the Public University of Navarra, and San Telmo museum in San Sebastian, in which equipments are working and real calls can be made. Also we resume the features of the related manual work, which was done by the Mechanics, Technical Operators and Team Managers, as well as the documentary heritage that we are trying to find. Finally we wish to make an open call upon society on the need of strengthening measures protection and further study of this heritage.*



*Keywords:*

*History of Telecommunications. Telephone Switching. Historical heritage phone in Spain. Specialized manual labor. Compañía Telefónica Nacional de España.*

## INTRODUCCIÓN

El Plan Nacional de Patrimonio Industrial<sup>1</sup> incluye, entre otras áreas que necesitan protección, la del Sector de las Comunicaciones, formando parte de dicho patrimonio tanto los equipos como los documentos asociados. En este sentido, el patrimonio tecnológico y documental de las empresas de telecomunicaciones, operadoras y suministradoras de equipos, se enmarca en los objetivos de este Plan.

Este trabajo se propone: proporcionar un avance del inventario en elaboración sobre el patrimonio histórico-telefónico español relacionado con los antiguos equipos electromecánicos de conmutación telefónica, y preservar la memoria del ya desaparecido trabajo manual especializado asociado a los mismos.

El patrimonio industrial de las tecnologías de las telecomunicaciones abarca diversas disciplinas y sus equipos. Aquí nos referimos solo a los citados sistemas de conmutación.

Las técnicas de conmutación aplicadas a la telefonía fueron en términos relativos, de una relevancia singular para las operadoras telefónicas, por su propia complejidad, implantación y evolución.

Este trabajo es solo un avance del inventariado completo, tanto de los equipos como de la documentación. Esto permitirá desarrollar futuras líneas de investigación, especialmente en relación a las funciones del personal de instalación y conservación de estos equipos, así como a su impacto económico y social.

## LOS SISTEMAS ELECTROMECÁNICOS DE CONMUTACIÓN TELEFÓNICA EN ESPAÑA

El servicio telefónico ofrece a sus usuarios la posibilidad de establecer conversaciones con cualquier otro abonado. Inicialmente, la interconexión telefónica se conseguía mediante operación manual, en las «centralitas».

El crecimiento del número de abonados impuso la necesidad de automatizar el servicio, que se inició con las primeras centrales de conmutación automática. Una central telefónica es el lugar donde se concentran los terminales de las líneas de

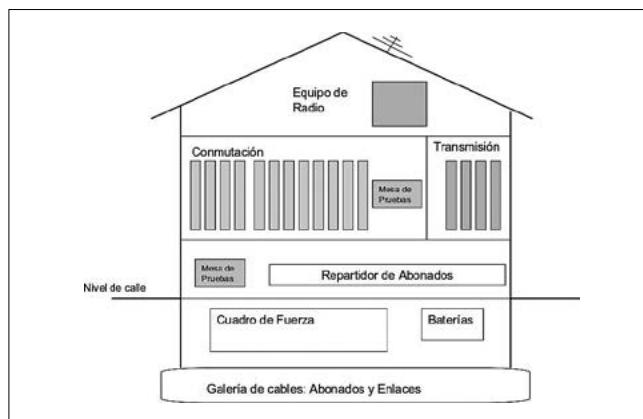


Figura 1. Esquema Edificio Central.



Figura 2. Central Pentaconta.

los abonados de un área de servicio, y es allí donde se albergan las diferentes infraestructuras que posibilitan la prestación del servicio. (fig 1)<sup>2</sup>

Los equipos de conmutación automática han sido, con diferencia, los más complejos y voluminosos. En ellos reside la «inteligencia de la telefonía», son los encargados de la señalización, el análisis, encaminamiento y tarificación de las llamadas. Por ello, su coste siempre fue mayor respecto de las otras infraestructuras. Teniendo en cuenta solo la inversión en tecnología, la de la conmutación era claramente mayoritaria. También lo eran los recursos humanos asociados.

En el cuadro 1, podemos ver el valor estimado de los bienes de CTNE en 1974, fecha en la que todos los equipos de conmutación automática eran electromecánicos.

Tipo de bien	Valor estimado en 1974 (en millones de ptas)
Solares y edificios	28.000
Equipos de conmutación	93.000
Equipos de transmisión	30.000
Equipos de abonado	26.000
Red Exterior	78.000
Equipos de trabajo, oficina y otros	2.400

Cuadro 1. Valor de bienes y equipos de la CTNE en 1974. Fuente: Anuarios de la CTNE

En un equipo de conmutación convencional, se distinguen dos partes principales: la Red de Conexión y la de Control. En la primera se establece físicamente la conexión entre las líneas, o entre líneas y enlaces a otra central. La Red de Control es la que comanda el proceso de conexión y la que tiene la «inteligencia» del establecimiento de las llamadas.

Las primeras centrales automáticas se diseñaron y construyeron con elementos electromecánicos. La conexión de los circuitos se hacía físicamente mediante elementos mecánicos (relés, ejes, etc.) gobernados eléctricamente. Estableciendo con ellos una serie sucesiva de contactos, se constituye un circuito eléctrico entre los terminales permitiendo la comunicación<sup>3</sup>. Eran los sistemas de tipo rotatorio. Posteriormente surgieron los de barras cruzadas, donde las conexiones se hacen mediante matrices de contactos controladas con relés, más eficientes, al eliminarse los ejes en continuo movimiento.

En España, el servicio automático local empezó en 1923, con la instalación de una central del sistema *Strowger* en Balaguer (Lérida), suministrado por Siemens a la Mancomunidad de Cataluña<sup>4</sup>. Le siguió en 1926 la red urbana municipal de San Sebastián con un equipo rotatorio AGF de Ericsson<sup>5</sup>. Continuó la automatización ese mismo año la CTNE, con la instalación del sistema *Rotary 7A* de ITT en Santander. Siendo en la práctica la CTNE una filial de ITT, se abrazó esta tecnología de la empresa matriz<sup>6</sup>. En esos mismos años, el desarrollo de la telefonía automática en España aparece

reflejado en las revistas *Electrical Communications*<sup>7</sup>, *Revista Telefónica Española*<sup>8</sup> y en la publicación de cursos de conferencias semanales a cargo el Departamento de Instrucción de la CTNE<sup>9</sup>.

El sistema de barras cruzadas *Pentaconta* de ITT, se empezó a instalar en 1960, con la primera central interurbana en Barcelona, y una central con abonados en Igualada (Barcelona) en 1962.

Posteriormente, la CTNE firmó un contrato de suministro con Ericsson a través de su filial Intelsa. Las primeras instalaciones de su sistema de barras cruzadas, se instalan en 1972 en Logroño, la versión interurbana ARM, y en 1973 en San Sebastián, la versión urbana ARF.

La automatización de la red española se completó en 1988, con la digitalización de la última zona rural en Polopos (Granada).

El desarrollo del servicio telefónico en España es bien conocido por la bibliografía reciente, ya citada. Pero existe una laguna historiográfica importante: el período de la Guerra Civil. Por este motivo cobran especial importancia testimonios como el de Juan de Salas, ingeniero de la CTNE en la zona franquista, sobre las instalaciones de centrales manuales y automáticas durante la guerra<sup>10</sup>.

#### PATRIMONIO ACTUALMENTE EXISTENTE EN ESPAÑA DE CENTRALES ELECTROMECÁNICAS

Varias entidades dispusieron de equipos electromecánicos en España: La CTNE como operadora de telefonía y sus empresas suministradoras (Standard Eléctrica-ITT e Intelsa-Ericsson), el Ejército, la Administración (Telégrafos) y algunas grandes empresas (centralitas y redes privadas). Esta investigación se centra en los primeros.

El patrimonio encontrado se distribuye según el tipo de instalación: museos, instalaciones de la Fundación Telefónica en terceros organismos, instalaciones en edificios y en almacenes de Telefónica<sup>11</sup>.

Hasta 2007 la colección más importante abierta al público fue la de la Fundación Telefónica en el edificio de Gran Vía, en Madrid, que se ha visto sensiblemente reducida, aunque actualmente mantiene una maqueta *Rotary 7A* y un equipo *Pentaconta*. Esta maqueta *Rotary* es la misma que la CTNE usaba para exhibiciones y demostraciones en los primeros años de la telefonía automática. Telefónica también conserva otros equipos en sus almacenes con su correspondiente documentación.

El resto de instalaciones, mayoritariamente de universidades, se detallan en el apéndice, incluyendo en la mayoría de los casos una imagen de cada una. Adicionalmente hay que

considerar los almacenes en Museo Nacional de la Ciencia y la Técnica (MNCYT) con equipos procedentes del Ejército.

Hay que destacar los casos en los que los equipos se pueden poner en funcionamiento para realizar llamadas locales reales con teléfonos conectados: son los museos de Canena (Jaén), La Coruña, la Universidad Pública de Navarra (UPNA) y los equipos de San Sebastián<sup>12</sup>.

En el museo de Canena hay una central completa *Pentaconta PC32* (este era un modelo de pequeña capacidad para zonas rurales), una centralita de cuadro manual, una maqueta de *Rotary* y una Unidad Remota digital. Todos estos equipos están interconectados y se pueden realizar llamadas entre ellos.

El museo de la UPNA dispone de una central *Rotary 7A2*, una *PC32* y una centralita de barras cruzadas de tecnología Ericsson. También se pueden realizar llamadas en todas ellas. En este museo se imparten clases prácticas.

El museo Didáctico de La Coruña destaca precisamente por ese objetivo. Para la enseñanza de las comunicaciones en el *Rotary*, se ha diseñado un sistema didáctico que visualiza el progreso de la llamada y que se puede ir deteniendo en los diferentes pasos para mejor comprensión. También dispone de una central de barras cruzadas *PC32* en funcionamiento<sup>13</sup>.

Otro museo importante es Museo Joaquín Serna de la ET-SIT-UPM, que incluye una sección de central *Rotary*, una centralita de barras cruzadas de Standard Electrica (modelo *Pentomat*), un teleconector Siemens para equipo de conmutación automática del servicio télex, una centralita del Ministerio de Defensa y otra militar de campaña de Ericsson<sup>14</sup>.

La actuación de la Fundación Telefónica ha sido trascendental para que actualmente se conserve el patrimonio indicado aquí. A pesar de esta excelente labor, hay que ser conscientes del riesgo de que este patrimonio se deteriore de forma determinante e incluso llegue a desaparecer. Los museos de la UPNA y de Canena están ubicados en lugares públicos (la Universidad y el Ayuntamiento, respectivamente) pero, por ejemplo, el de Coruña está en un local privado cedido por Telefónica y no tiene garantizado su futuro.

En la casi totalidad de los casos, la conservación de este patrimonio depende de personas voluntarias y altruistas, ya jubiladas, por lo que no hay seguridad de disponer de personal especializado a medio plazo. Especialmente meritaria es la labor de estos voluntarios en los museos de la UPNA y Coruña.

#### **El trabajo manual especializado en conmutación electromecánica**

Una característica intrínseca de los equipos electromecánicos, derivada directamente del movimiento de sus elementos, es su desgaste. Conseguir una buena calidad en las

comunicaciones, exigía un nutrido número de personas dedicada a su conservación.

Los empleados del área de conservación en la CTNE se organizaban en base a categorías laborales según las funciones que tenían adjudicadas<sup>15</sup>. Los que realizaban un trabajo manual especializado, asociado al mantenimiento de la red telefónica, correspondían a las categorías de Operadores Técnicos, Mecánicos, Celadores, Capataces y Empalmadores. Los Mecánicos y Operadores Técnicos, trabajaban en la denominada Planta Interior (Comutación, Fuerza, Transmisión y Radio).

Nos interesa para este estudio los ya desaparecidos Mecánicos (M) y Operadores Técnicos (OT) de Comutación de las centrales electromecánicas y su mando, el Encargado de Equipo (EE), responsable directo de los OT y M asignados a una central<sup>16</sup>. En los años 60 y 70, estos técnicos cualificados, junto con sus equivalentes de las empresas fabricantes e instaladoras, constituyan un importante grupo de trabajadores del sector industrial.

Entre los empleados de la CTNE, el grupo mayoritario era el perteneciente a conservación y dentro de estos a la conmutación. Analizando los datos de la formación impartida a dicho personal, se comprueba que la conmutación, de media, abarcaba el 40% del total.

Año	Nº Empl. Formacion	Nº Empl. Formación Comutación
1965	3725	1414
1966	2011	1429
1967	2784	1138
1968	1946	609
1969	3307	1130
1970	4738	1609
1971	2354	1102
1972	622	205
1973	829	437

Cuadro 2. Distribución de formación. Fuente Anuarios CTNE

La incorporación como M en la CTNE era por examen, y como OT por concurso-oposición. Para opositar a OT se exigía el bachillerato superior a los externos, o un concurso-oposición para M con una determinada antigüedad. El temario incluía, con un nivel del bachillerato de la época, aritmética, geometría, física general, electricidad y magnetismo, y conocimientos básicos de telefonía.<sup>17</sup>

Se impartían cursos de formación internos con un sistema de educación formal asimilable a la Formación Profesional en la denominada «Escuela Técnica de Telefonía». Este sistema estaba regulado en la Reglamentación Nacional del Trabajo. En el de 1958 de la CTNE, se dedicaba ya una sección específica al tema.



Figura 3. Central Pentaonta.



Figura 4. Bastidores. Central Pentaonta.

Se contemplaban los tres métodos clásicos de conservación: la preventiva, la correctiva y la cualitativa. La preventiva consistía en operaciones sistemáticas, como pruebas rutinarias e inspecciones de ajuste, para comprobar el buen estado de los equipos y prevenir su deterioro. Esta se aplicaba en los sistemas *Rotary*<sup>8</sup>. La correctiva se basaba en la localización y resolución de averías. La cualitativa consistía en la supervisión de la calidad del servicio mediante programación de llamadas, pruebas de equipos y técnicas de análisis.

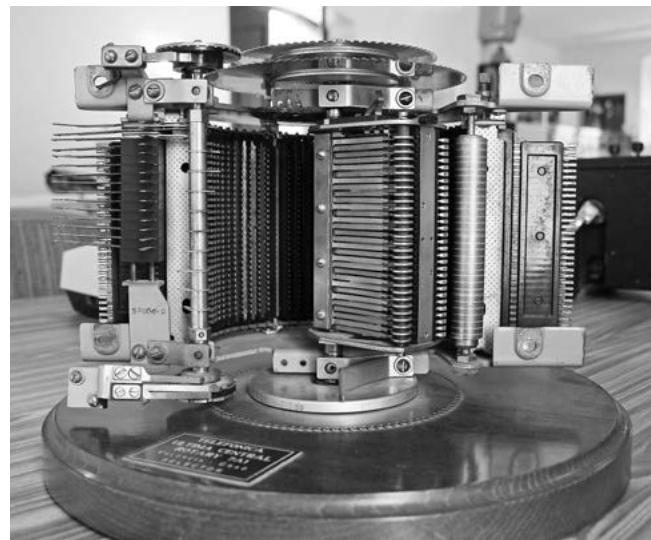


Figura 5. Selector Rotary.

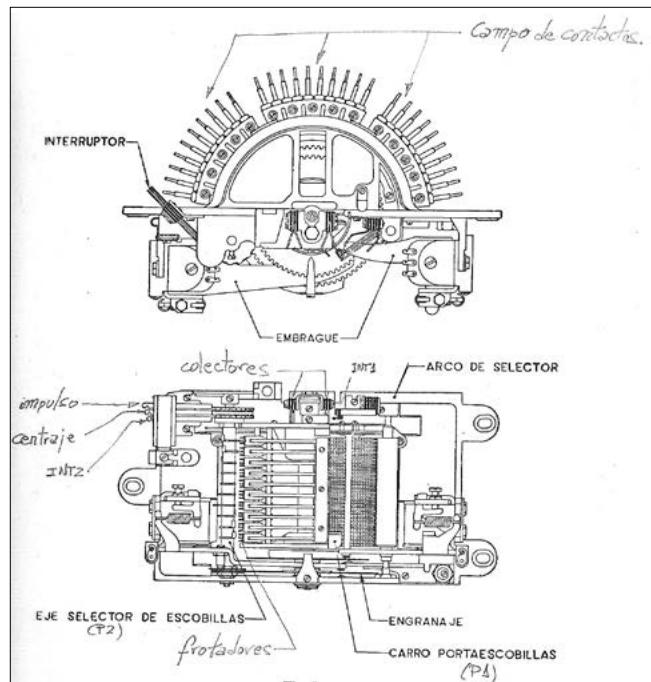


Figura 6. Selector Rotary.

Respecto a las funciones de estos trabajadores, los M realizaban las tareas rutinarias de conservación, como limpieza y ajuste de elementos, y el trabajo manual asociado a la resolución de averías<sup>19</sup>: reparaciones, reajustes, etc.

Los OT además, tenían la más compleja capacidad de localizar y reparar averías. Para ello necesitaban dominar la interpretación de los planos esquemáticos. Debían conocer perfectamente los órganos implicados en el progreso de la

llamada e identificar cada elemento según los diagramas<sup>20</sup>. Adicionalmente dirigían a los M.

La plantilla de personal era variable en función del tamaño de la central (que a su vez estaba relacionado con el número de abonados a los que daba servicio). Había M y OT en número suficiente para poder disponer de atención en tres turnos que cubrieran las 24 horas. Al frente del grupo la figura del EE, que velaba por la correcta atención de las reclamaciones e incidencias, el control de las pruebas rutinarias y de la calidad, la gestión de los repuestos, elaboración de informes, y la propia gestión de recursos humanos.

La documentación disponible era la propia de la central (planos esquemáticos y manuales descriptivos), las guías de rutinas periódicas editadas por los Departamentos Centrales, los manuales de formación y los específicos de las funciones de cada puesto.<sup>21</sup>

## CONCLUSIONES

Se ha proporcionado una primera relación de las existencias conocidas de equipos de conmutación electromecánicos. Igualmente se han enunciado las características de los puestos de trabajo especializado asociados a los mismos. Ambos conforman un patrimonio histórico-tecnológico que resulta fundamental preservar y conocer mejor, y que, en algunos casos tiene serio riesgo de deterioro o desaparición. Para ello, es necesario aumentar la sensibilización de todos los agentes sociales implicados en la conservación del mismo, además de localizar y hacer accesible a los investigadores la documentación primaria asociada a estos equipos.

### Notas

<sup>1</sup> BONET y LÓPEZ (1959)

<sup>2</sup> MARÍN (1927)

<sup>3</sup> Como ejemplo de este tipo de trabajo véase CTNE (1946 a 1968, 1965, 1971a)

<sup>4</sup> Véase ITT Standard (1966), CTNE (1950, 1960, 1969a, 1981b) que son manuales de formación. Los operadores manejaban los planos propios de cada central. Actualmente se está intentando recuperar una documentación completa de una central de cada tipo.

<sup>5</sup> Por ejemplo los Métodos de Conservación, CTNE (1935), CTNE (1969b)

<sup>6</sup> Agradecemos a D. Rafael ROMERO FRÍAS esta información, así como su interés y apoyo.

### Bibliografía

BAGWELL, O.C. y PARSONS, J. (1945) «Twenty years of Telephony in Spain». *Electrical Communications* 22(4), pp. 314-321.

BONET y LÓPEZ (1959). *Contestaciones al programa para Operadores Técnicos de la compañía Telefónica Nacional de España*, Escuela Técnica Elyte, Madrid.

CALVO, Ángel. (2010) *Historia de Telefónica: 1924-1975*. Fund. Telefónica y Ariel.

CARO, Ricardo (1925) *Centrales Telefónicas*, Calpe, Barcelona.

CHAPIUS, R.J. (2003). *100 years of telephone switching. 1 Manual and electromechanical Switching (1878-1960's)*. IOS Press, Amsterdam.

CTNE (1935) *Método de Conservación nº 34. Informe trimestral del personal de las centrales automáticas Rotary 7B*.

CTNE (1946-1968). *Rutinas del Departamento de Conservación (desde 1946 a 1968)*

CTNE (1950) *Sistema Automático Rotatorio 7D. Dibujos*.

CTNE (1960) *Descripción de circuitos del Sistema Automático 7A1*.

CTNE (1965) *Manual del Mecánico*.

CTNE (1969a) *Sistema Pentaconta 1000. Figuras y esquemáticos*.

CTNE (1969b) *Método de Conservación. Sistema Automático Pentaconta 32*.

CTNE (1971a). *Ajuste de máquinas (equipos rotatorios)*.

CTNE (1971b). *Compendio de los deberes y derechos del personal de los Equipos de Comunicación*.

CTNE (1981a). *Organización de trabajos en conmutación. Descripción de las principales tareas del encargado de equipo*.

CTNE (1981b). *Sistemas de Conmutación ARF-102*.

DE SALAS, J. (1941) «Vicisitudes del teléfono en la Guerra de España». *Anales de Mecánica y Electricidad*, 28 (4) pp. 248-253; (5) pp. 311-319; (6) pp. 366-380.

DE SALAS, J. (1942) «Instalación de una central semi-automática durante la Guerra (1936-1939)». *Anales de Mecánica y Electricidad*, 29 (4) pp. 200-209; (5) pp. 324-341.

DEAKIN, G. (1926) «Sistema de Conmutación Automática nº 7-A». *Revista Telefónica Española* v2, (6) pp. 7-17; (7) pp. 34-38; (8) pp. 9-12; (9) pp. 28-29; (10) pp. 30-35; (12) pp. 32-40. 1927 v3, (1) pp. 56-60; (2) pp. 29-35.

ETSIT UPM (2008) Museo Profesor Joaquín Serna

IGLESIAS, José Ramón y SOLER, Pablo. (2013). *Inventario de Patrimonio en España de Equipos Electromecánicos de Conmutación Telefónica*. Disponible en <http://historiatelefonia.com>.

ITT STANDARD (1966) *Sistema Pentaconta (5v)*

MARÍN BONELL, Manuel (1924): «La central telefónica automática de Balaguer», *Iberica* 21 (523), pp. 226-228.

MARÍN BONELL., M. (1927). «Explotación y conservación de centrales automáticas». *Curso de conferencias semanales*. CTNE. Departamento de Instrucción, 1 (4) pp. 69-89.

MARÍN BONELL., M. (1939) *Telefonía*, Salvat.

MCKIM, K (1928). «Providing Madrid with Automatic Telephone Service», *Electrical Communications*. 6 (3) pp. 127-140.

MUDITEL (2013) *Museo didáctico de las Telecomunicaciones de La Coruña*.\* Museo Canena (2012a) *Inventario del fondo museístico del Museo de las Telecomunicaciones*.\*

Museo Canena (2012b) *Maquetas telefónicas del Museo de las Telecomunicaciones de Canena*.

NAGORE, Carlos Alfonso (2013) *Guía de uso y mantenimiento del Museo de las Telecomunicaciones de la UPNA*, Pamplona.\*

PÉREZ YUSTE, A. (2004). *La Compañía Telefónica Nacional de España en la Dictadura de Primo de Rivera (1923-1930)*. Tesis Doctoral, UPM.

Redacción *Ericsson Review* (1926). «The new Ericsson Automatic Exchanges in San Sebastian and Vicinity», *Eric.Rev.* v3, (5-6), 50-53. «Description of the new Ericsson Automatic Exchanges in San Sebastian and Vicinity», *Eric.Rev.* v3, (7-8), pp. 93-100.

Redacción *Revista Telefónica Española* (1926) «El teléfono automático» v2, (3) pp. 24-30; «Vulgarizaciones. Órganos que entran en función en cada conexión en una central telefónica automática», v2 (4) pp. 37-38. «El nue-

vo servicio de Santander y el abonado» v2, (7) pp.19-21. «La instalación del equipo automático en Santander» v2 (7) pp.30-31.

RODRÍGUEZ APOLINARIO, Alejandro. (1927) «Sistema Rotary-Distribución». *Curso de conferencias semanales*. CTNE. Departamento de Instrucción. 1 (8) pp.24-36.

RODRÍGUEZ A., A. (1929) «El nuevo sistema automático 7-B». *Curso de conferencias semanales*. CTNE. Departamento de Instrucción. 3 (2) pp.15-33.

ROMEO LÓPEZ, José María (1984) «El edificio como central telefónica» en Navascués, P. *El edificio de la Telefónica*, Espasa Calpe.

ROMEO LÓPEZ, J.M. (2005) *Museo telecomunicaciones*, UPM, EUIT Telecomunicación.

ROMERO FRÍAS, Rafael (1994) *Colección Histórico-Tecnológica de Telefónica*. Fundación Arte y Tecnología, Telefónica de España.

SAURWEIN, G.N Y MARIN, M. (1936) «Ten year's experience in the maintenance of Rotary Automatic Equipment in Spain» *Electrical Communications* 15 (1) pp. 20-29.

SOLER, Carlos (1926a) «Instrucciones precisas sobre el funcionamiento y manejo del teléfono automático» *Revista Telefónica Española* v2, nº8, agosto 1926, pp. 24-30.

SOLER, Carlos (1926b) «El sistema automático de Madrid», *Revista Telefónica Española* v2, nº 12, diciembre 1926, pp. 7-26.

VILANOVA BOSQUE, Ramón. (1927) «Los sistemas de conmutación mecánica en Telefonía». *Curso de conferencias semanales*. CTNE. Departamento de Instrucción. 1 (4) pp.3-22.

VILANOVA B., R. (1928) «Suministro de energía a las centrales telefónicas». *Curso de conferencias semanales*. CTNE. Departamento de Instrucción. 2 (2) pp.12-28.

\* Pendiente de publicación electrónica

Adicionalmente también hay que considerar los equipos instalados en las universidades de Zaragoza, de Cantabria, Carlos III (Leganés, Madrid), el museo Joaquín Serna de la ETSIT-UPM y en el edificio de Telefónica I+D en Boecillo (Valladolid)<sup>22</sup>

## Créditos

Autores de fotos y origen de figuras esquemáticas

TOÑO RAMOS: fig. 2 (Central de Madrid/San Cristobal de Telefónica), 5 (Museo de Canena), 10, 23.

CRISTINA SOLER: fig. 15 de documentos internos propiedad de Pablo Soler.

Nota: Todas las imágenes se han obtenido con las correspondientes autorizaciones.